



**STANDART DOKUMA KUMAŞLARIN TASARIMI İÇİN YAPAY ZEKA
TEKNİKLERİNİ UYGULAMA VE KARŞILAŞTIRMA**

BİLGE BERKHAN KASTACI

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. H. Ziya ÖZEK

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erkan ÖZHAN

2024

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



STANDART DOKUMA KUMAŞLARIN TASARIMI İÇİN YAPAY ZEKA
TEKNİKLERİNİ UYGULAMA VE KARŞILAŞTIRMA

BİLGE BERKHAN KASTACI

ORCID: 0000-0001-6897-0554

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Danışman: Prof. Dr. H. Ziya ÖZEK
İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erkan ÖZHAN

ŞUBAT-2024
Her hakkı saklıdır.

ÖZET

STANDART DOKUMA KUMAŞLARIN TASARIMI İÇİN YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİNİ UYGULAMA VE KARŞILAŞTIRMA

Bilge BERKHAN KASTACI

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. H. Ziya ÖZEK

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erkan ÖZHAN

Bilim ve teknolojideki gelişmelerin endüstriye uyarlanması kapsamında, yapay zekâ uygulamalarının tekstil sektöründe kullanımı da giderek artmaktadır. İşletmelerin geçmişteki verilerinin doğru değerlendirilip analiz edilmesi ile gelecekteki durumlarının tahmin edilmesinde istatistiki yöntemlerin eksik kaldığı durumlarda bu yöntemlerin kullanılması oldukça iyi sonuçlar verebilmektedir. Dokuma kumaşların yapısal ve performans özelliklerinin tahmini kumaş tasarımı açısından son derece önemlidir. Bu çalışmada, pamuklu dokuma kumaşlar ile poliester/ viskon karışımlı dokuma kumaşların ayrı ayrı yapısal özelliklerinden; kumaş eni, kumaş birim alan ağırlıkları, kumaş kıvrımları ile en önemli performans özelliklerinden olan kopma kuvveti, yırtılma mukavemeti ve dikiş açılma mukavemetinin tahmini için ampirik veriler ile çoklu doğrusal regresyon, yapay sinir ağları, rastgele orman algoritmaları ve mars tekniği kullanılarak modeller geliştirilmiştir. Modeller oluşturulurken Minitab İstatistik Programı, Weka ve R yazılımı kullanılmıştır. Bu çalışmada kumaş özellikleri ile değişkenler arasındaki ilişkiyi daha iyi ortaya koymak adına, tahmin edilmesi planlanan kumaş özelliklerine etkiyen açıklayıcı değişkenler araştırılmış, ilgili değişkenlerle çeşitli modeller denenmiş ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Dört farklı teknik ile oluşturulan modeller içerisinde kumaşların yapısal özellikleri için rastgele orman algoritmaları, performans özellikleri için ise regresyon modellerinin diğer modellere göre daha iyi tahmin sonucu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Dokuma Kumaş, Regresyon, Yapay Sinir Ağları, Rastgele Orman Algoritması, Mars Tekniği, Kumaş Tasarımı.

ABSTRACT

UTILIZATION AND COMPARISON OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES FOR THE DESIGN OF STANDARD WOVEN FABRICS

Bilge BERKHAN KASTACI

Department of Textile Engineering

PhD Thesis

Supervisor: Prof. Dr. H. Ziya ÖZEK

Co-Supervisor: Assist. Prof. Erkan ÖZHAN

The utilization of artificial intelligence techniques in the textile and apparel sector has been increasing as the adaptation of recent developments in science and technology into industry continues. The use of such methods are particularly very useful when making predictions based on the past company data in the cases where statistical methods are likely to be insufficient. An accurate projection of both structural and performance properties of woven fabrics is extremely important in fabric design. In this study, several models based on multiple linear regression, artificial neural networks and random forest algorithms were developed to predict basic structural properties and performance qualities of woven fabrics. Industrial data from the two groups of woven fabrics, pure cotton and poliester/viscose blend, are used to predict raw and finished fabric width, fabric unit area weight, warp and weft crimps, together with breaking strength, tear strength and seam slippage strength, which are the most important performance characteristics. Minitab Statistics Program, Weka and R software were used for creating the relevant models. For the sake of revealing the best relationship between the properties and variables of fabric, various explanatory variables influencing the fabric properties were taken into consideration and several models were developed and the overall results are compared. Among all the models created by four different techniques, random forest algorithms appear to have better prediction ability for the structural properties of fabrics while regression models prove better values for the performance characteristics of fabrics.

Keywords: Woven Fabric, Regression, Artificial Neural Networks, Random Forest Algorithm, Mars Technique, Fabric Design.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xviii
SİMGELER DİZİNİ	xxv
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tekstil Tasarımı	1
1.2 Literatür Özeti.....	3
1.2.1 Kumaş Yapısal Özelliklerinin Tahminlenmesi Üzerine Yapılan Çalışmalar	3
1.2.2 Kumaş Performans Özelliklerinin Tahminlenmesi Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	5
1.4 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	13
2. KURAMSAL TEMELLER.....	16
2.1 Dokuma Kumaş Özellikleri	16
2.1.1 Dokuma Kumaş Yapısal Özellikleri	16
2.1.2 Dokuma Kumaş Mekanik Özellikleri	22
2.1.2.1 Kumaş Kopma Kuvveti.....	22
2.1.2.2 Kumaş Yırtılma Mukavemeti.....	23
2.1.2.3 Kumaşlarda Dikiş Kayması Dayanımı	25
2.2 Regresyon Analizi ve Kuramsal Yapısı	26
2.2.1 Regresyon Analizi Tanımı	26
2.2.2 Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli	28
2.2.2.1 Tahminlerin Standart Hatası	29
2.2.2.2 Çoklu Determinasyon (Belirlilik) Katsayısı.....	29
2.2.2.3 Regresyon Modelinin Genel Anlamlılığının (Uyum İyiliğinin) Sınanması	31
2.2.2.4 Regresyon Katsayılarının Önem Testi	32
2.2.2.5 Regresyon Modellerinde En iyi Alt Kümenin Belirlenmesi (Stepwise Yöntemi)	32
2.2.2.6 Regresyon Modellerinde Çapraz Doğrulama (Cross- Validation).....	33
2.2.2.7 Regresyon Modellerinde Çoklu Doğrusallık (Multicollinearity).....	34
2.2.3 Lojistik Regresyon Modeli	35
2.3 Yapay Zekâ Sistemleri ve Kuramsal Yapısı	42

2.3.1 Yapay Sinir Ağı Elemanları.....	44
2.3.2 Yapay Sinir Ağı Tasarımı	47
2.4 Rastgele Orman Algoritmalarının Kuramsal Yapısı.....	53
2.4.1 Rastgele Orman Algoritması Öğrenme Süreci	55
2.5 Mars Modellerinin Kuramsal Yapısı	56
2.5.1 Mars Modeli Adımları	57
3. MATERYAL VE METOD.....	58
3.1 Materyal	58
3.2 Test Yöntemleri	58
3.3 Model Kodlama Sistemi	59
3.4 Veri Tabanının Hazırlanması.....	60
3.5 Regresyon ve Yapay Zekâ Modellerinin Kurgulanması.....	66
3.6 Kurgulanan Modellerin Endüstriyel Kullanım Kriterleri.....	73
4. TAHMİN MODELLERİNİN KURULMASI.....	74
4.1 Çözümlü Kıvrımı İçin Tahmin Modelleri	74
4.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Çözümlü Kıvrımının Tahmin Modellerinin Kurulması.....	74
4.1.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Çözümlü Kıvrımı İçin Regresyon Modelleri	75
4.1.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Çözümlü Kıvrımı İçin Yapay Zekâ Modelleri	80
4.1.2 Karışım Kumaşlarda Çözümlü Kıvrımının Tahmin Modellerinin Kurulması.....	82
4.1.2.1 Karışım Kumaşlarda Çözümlü Kıvrımı İçin Regresyon Modelleri	82
4.1.2.2 Karışım Kumaşlarda Çözümlü Kıvrımı İçin Yapay Zekâ Modelleri.....	87
4.1.3 Tüm Veri Setinde Çözümlü Kıvrımının Tahmin Modellerinin Kurulması	89
4.1.3.1 Tüm Veri Setinde Çözümlü Kıvrımı İçin Regresyon Modelleri	89
4.1.3.2 Tüm Kumaşlarda Çözümlü Kıvrımı İçin Yapay Zekâ Modelleri	94
4.2 Atkı Kıvrımı İçin Tahmin Modelleri	96
4.2.1 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Kıvrımının Tahmin Modelleri.....	97
4.2.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Kıvrımı İçin Regresyon Modelleri.....	97
4.2.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Kıvrımı İçin Yapay Zekâ Modelleri	101
4.2.2 Karışım Kumaşlarda Atkı Kıvrımının Tahmin Modellerinin Kurulması	103
4.2.2.1 Karışım Kumaşlarda Atkı Kıvrımı İçin Regresyon Modelleri	104
4.2.2.2 Karışım Kumaşlarda Atkı Kıvrımı İçin Yapay Zekâ Modelleri	108
4.2.3 Tüm Veri Setinde Atkı Kıvrımının Tahmin Modellerinin Kurulması.....	111
4.2.3.1 Tüm Kumaşlarda Atkı Kıvrımı İçin Regresyon Modelleri	111
4.2.3.2 Tüm Kumaşlarda Atkı Kıvrımı İçin Yapay Zekâ Modelleri	116

4.3 Ham Kumaş Eni İçin Tahmin Modelleri	118
4.3.1 Pamuklu Kumaşlarda Ham Kumaş Eni İçin Tahmin Modellerinin Kurulması	118
4.3.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Ham Kumaş Eni İçin Regresyon Modelleri	118
4.3.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Ham Kumaş Eni İçin Yapay Zekâ Modelleri	123
4.3.2 Karışım Kumaşlarda Ham Kumaş Eni Tahmin Modellerinin Kurulması	125
4.3.2.1 Karışım Kumaşlarda Ham Kumaş Eni İçin Regresyon Modelleri	126
4.3.2.2 Karışım Kumaşlarda Ham Kumaş Eni İçin Yapay Zekâ Modelleri	130
4.3.3 Tüm Veri Setinde Ham Kumaş Eni Tahmin Modellerinin Kurulması	132
4.3.3.1 Tüm Kumaşlarda Ham Kumaş Eni İçin Regresyon Modelleri	133
4.3.3.2 Tüm Kumaşlarda Ham Kumaş Eni İçin Yapay Zekâ Modelleri	138
4.4 Mamül Kumaş Eni İçin Tahmin Modelleri	140
4.4.1 Pamuklu Kumaşlarda Mamül Kumaş Eni İçin Tahmin Modellerinin Kurulması	140
4.4.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Mamül Kumaş Eni İçin Regresyon Modelleri	140
4.4.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Mamül Kumaş Eni İçin Yapay Zekâ Modelleri	145
4.5 Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Tahmin Modelleri	147
4.5.1 Pamuklu Kumaşlarda Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Tahmin Modellerinin Kurulması	147
4.5.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Regresyon Modelleri	147
4.5.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Yapay Zekâ Modelleri	151
4.5.2 Karışım Kumaşlarda Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı Tahmin Modellerinin Kurulması	154
4.5.2.1 Karışım Kumaşlarda Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Regresyon Modelleri	154
4.5.2.2 Karışım Kumaşlarda Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Yapay Zekâ Modelleri	158
4.5.3 Tüm Veri Setinde Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı Tahmin Modellerinin Kurulması	161
4.5.3.1 Tüm Kumaşlarda Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Regresyon Modelleri	161

4.5.3.2 Tüm Kumaşlarda Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Yapay Zekâ Modelleri	166
4.6 Mamül Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Tahmin Modelleri	168
4.6.1 Pamuklu Kumaşlarda Mamül Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Tahmin Modellerinin Kurulması	168
4.6.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Mamül Birim Alan Ağırlığı İçin Regresyon Modelleri	169
4.6.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Mamül Birim Alan Ağırlığı İçin Yapay Zekâ Modelleri	173
4.7 Çözümlü Kopma Kuvveti İçin Tahmin Modelleri	175
4.7.1 Pamuklu Kumaşlarda Çözümlü Kopma Kuvveti İçin Tahmin Modellerinin Kurulması	175
4.7.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Çözümlü Kopma Kuvveti İçin Regresyon Modelleri.....	176
4.7.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Çözümlü Kopma Kuvveti İçin Yapay Zekâ Modelleri...	180
4.7.2 Karışım Kumaşlarda Çözümlü Kopma Kuvveti Tahmin Modellerinin Kurulması	182
4.7.2.1 Karışım Kumaşlarda Çözümlü Kopma Kuvveti İçin Regresyon Modelleri.....	183
4.7.2.2 Karışım Kumaşlarda Çözümlü Kopma Kuvveti İçin Yapay Zekâ Modelleri	187
4.7.3 Tüm Veri Setinde Çözümlü Kopma Kuvveti Tahmin Modelleri Kurulması.....	189
4.7.3.1 Tüm Kumaşlarda Çözümlü Kopma Kuvveti İçin Regresyon Modelleri.....	190
4.7.3.2 Tüm Kumaşlarda Çözümlü Kopma Kuvveti İçin Yapay Zekâ Modelleri.....	194
4.8 Atkı Kopma Kuvveti İçin Tahmin Modelleri	196
4.8.1 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Kopma Kuvveti İçin Tahmin Modellerinin Kurulması	197
4.8.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Kopma Kuvveti İçin Regresyon Modelleri	197
4.8.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Kopma Kuvveti İçin Yapay Zekâ Modelleri	202
4.8.2 Karışım Kumaşlarda Atkı Kopma Kuvveti Tahmin Modellerinin Kurulması	204
4.8.2.1 Karışım Kumaşlarda Atkı Kopma Kuvveti İçin Regresyon Modelleri.....	205
4.8.2.2 Karışım Kumaşlarda Atkı Kopma kuvveti İçin Yapay zekâ Modelleri	209
4.8.3 Tüm Veri Setinde Atkı Kopma kuvveti Tahmin Modellerinin Kurulması.....	212
4.8.3.1 Tüm Kumaşlarda Atkı Kopma Mukavemeti İçin Regresyon Modelleri.....	212
4.8.3.2 Tüm Kumaşlarda Atkı Kopma kuvveti İçin Yapay Zekâ Modelleri	217
4.9 Çözümlü Yırtılma Mukavemeti İçin Tahmin Modelleri	219

4.9.1 Pamuklu Kumaşlarda Çözü Yırtılma Mukavemeti İçin Tahmin Modellerinin Kurulması	220
4.9.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Çözü Yırtılma Mukavemeti İçin Regresyon Modelleri	220
4.9.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Çözü Yırtılma Mukavemeti İçin Yapay Zekâ Modelleri	225
4.10 Atkı Yırtılma Mukavemeti İçin Tahmin Modelleri	227
4.10.1 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Yırtılma Mukavemeti İçin Tahmin Modellerinin Kurulması	227
4.10.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Yırtılma Mukavemeti İçin Regresyon Modelleri	228
4.10.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Yırtılma Mukavemeti İçin Yapay Zekâ Modelleri	232
4.11 Çözü Dikiş Kayma Direnci İçin Tahmin Modelleri.....	234
4.11.1 Pamuklu Kumaşlarda Çözü Dikiş Kayma Direnci İçin Tahmin Modellerinin Kurulması	234
4.11.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Çözü Dikiş Kayma Direnci Lojistik Regresyon Modelleri	235
4.11.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Çözü Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Yapay Zekâ Modelleri	240
4.11.2 Karışım Kumaşlar Çözü Dikiş Kayma Direnci Tahmin Modellerinin Kurulması	242
4.11.2.1 Karışım Kumaşlarda Çözü Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Lojistik Regresyon Modelleri	243
4.11.2.2 Karışım Kumaşlarda Çözü Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Yapay Zekâ Modelleri	248
4.11.3 Tüm Veri Setinde Çözü Dikiş Kayma Mukavemeti Tahmin Modellerinin Kurulması	250
4.11.3.1 Tüm Kumaşlarda Çözü Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Lojistik Regresyon Modelleri	251
4.11.3.2 Tüm Kumaşlarda Çözü Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Yapay Zekâ Modelleri	256
4.12 Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Tahmin Modelleri.....	258

4.12.1	Pamuklu Kumaşlarda Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Tahmin Modellerinin Kurulması	258
4.12.1.1	<i>Pamuklu Kumaşlarda Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Lojistik Regresyon Modelleri</i>	<i>259</i>
4.12.1.2	<i>Pamuklu Kumaşlarda Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Yapay Zekâ Modelleri</i>	<i>263</i>
4.12.2	Karışım Kumaşlarda Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti Tahmin Modellerinin Kurulması	266
4.12.2.1	<i>Karışım Kumaşlarda Atkı Dikiş Açma Mukavemeti İçin Lojistik Regresyon Modelleri</i>	<i>266</i>
4.12.2.2	<i>Karışım Kumaşlarda Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Yapay Zekâ Modelleri</i>	<i>270</i>
4.12.3	Tüm Veri Setinde Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti Tahmin Modellerinin Kurulması	273
4.12.3.1	<i>Tüm Kumaşlarda Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Lojistik Regresyon Modelleri</i>	<i>274</i>
4.12.3.2	<i>Tüm Kumaşlarda Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Yapay Zekâ Modelleri</i>	<i>278</i>
5.	TAHMİN MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE DOĞRULANMASI	281
5.1	Modellerin Karşılaştırılması	281
5.1.1	Pamuklu Kumaşlarda Tahmin Modellerinin Karşılaştırılması	281
5.1.2	Karışım Kumaşlarda Tahmin Modellerinin Karşılaştırılması.....	284
5.1.3	Tüm Kumaşlarda Tahmin Modellerinin Karşılaştırılması.....	287
5.2	Modellerinin Doğrulanması	290
5.3	Tasarım Uygulama Çalışması	295
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	297
KAYNAKLAR.....		304
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.Çoklu doğrusal regresyon analizinde varyans analizi (Kargı, 2015)	31
Çizelge 2.2. Modelin ayırım gücünün AUC (ROC eğrisinin altında kalan alan) değerlerine göre değerlendirilmesi (Köksal, 2011)	40
Çizelge 3.1.Tüm kumaşlara uygulanan testler ve standartları.....	59
Çizelge 3.2. Yapısal parametrelerin tahmin edilmesi için pamuklu ve karışım kumaşlarda kullanılan kodlar	59
Çizelge 3.3. Mekanik performansların tahmin edilmesi için pamuklu ve karışım kumaşlarda kullanılan kodlar	60
Çizelge 3.4. Pamuklu ve karışım kumaşlarda her model için kullanılan veri sayıları	61
Çizelge 3.5. Pamuklu ve karışım kumaşlarda her model için kullanılan veri sayıları	66
Çizelge 3.6. Model performansı için sınır değerler; %R korelasyon katsayısı ve % R^2 belirlilik katsayısı	73
Çizelge 4.1. Pamuklu kumaşlarda çözgü kıvrımı regresyon modelleri için R^2 belirlilik katsayıları.....	75
Çizelge 4.2. Minitab çözgü kıvrımı 1P15 regresyon modeli özet tablosu.....	76
Çizelge 4.3. Minitab çözgü kıvrımı 1P15-1 regresyon modeli özet tablosu	78
Çizelge 4.4. Pamuklu kumaşlarda çözgü kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı.....	80
Çizelge 4.5. Çözgü kıvrımı için yapay zekâ modelleri özet tablosu	81
Çizelge 4.6. Karışım kumaşlarda çözgü kıvrımı regresyon modelleri için % R^2 belirlilik katsayıları.....	83
Çizelge 4.7. Minitab çözgü kıvrımı 1K12 regresyon modeli özet tablosu.....	84
Çizelge 4.8. Minitab çözgü kıvrımı 1K12-1 regresyon modeli özet tablosu.....	85
Çizelge 4.9. Karışım kumaşlarda çözgü kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı.....	87
Çizelge 4.10. Karışım kumaşlarda çözgü kıvrımı için yapay zekâ modelleri özet tablosu.....	88
Çizelge 4.11. Tüm kumaşlarda çözgü kıvrımı regresyon modelleri için % R^2 belirlilik katsayıları	90
Çizelge 4.12. Minitab çözgü kıvrımı 1PK0 regresyon modeli özet tablosu.....	92
Çizelge 4.13. Minitab çözgü kıvrımı 1PK0-1 regresyon modeli özet tablosu	93

Çizelge 4.14. Tüm kumaşlarda çözgü kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı.....	94
Çizelge 4.15. Tüm kumaşlarda çözgü kıvrımı için yapay zekâ modelleri özet tablosu	96
Çizelge 4.16. Pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı regresyon modelleri için %R ² belirlilik katsayıları.....	98
Çizelge 4.17. Minitab atkı kıvrımı 2P8 regresyon modeli özet tablosu	98
Çizelge 4.18. Minitab atkı kıvrımı 2P8-1 regresyon modeli özet tablosu.....	100
Çizelge 4.19. Pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı.....	101
Çizelge 4.20. Pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ modelleri özet tablosu	103
Çizelge 4.21. Karışım kumaşlarda atkı kıvrımı regresyon modelleri için %R ² belirlilik katsayıları	105
Çizelge 4.22. Minitab atkı kıvrımı 2K4 regresyon modeli özet tablosu.....	106
Çizelge 4.23. Minitab atkı kıvrımı 2K4-1 regresyon modeli özet tablosu	107
Çizelge 4.24. Karışım kumaşlarda atkı kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı.....	108
Çizelge 4.25. Karışım kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ modelleri özet tablosu	110
Çizelge 4.26. Tüm kumaşlarda atkı kıvrımı regresyon modelleri için %R ² belirlilik katsayıları	112
Çizelge 4.27. Minitab atkı kıvrımı 2PK0 regresyon modeli özet tablosu	114
Çizelge 4.28. Minitab atkı kıvrımı 2PK0-1 regresyon modeli özet tablosu.....	115
Çizelge 4.29. Tüm kumaşlarda atkı kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı.....	116
Çizelge 4.30. Tüm kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ modelleri özet tablosu.....	118
Çizelge 4.31. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş eni regresyon modelleri için %R ² belirlilik katsayıları	120
Çizelge 4.32. Minitab ham kumaş eni 3P8 regresyon modeli özet tablosu.....	121
Çizelge 4.33. Minitab ham kumaş eni 3P8-1regresyon modeli özet tablosu	122
Çizelge 4.34. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş eni tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı.....	123
Çizelge 4.35. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş eni için yapay zekâ modelleri özet tablosu.	125

Çizelge 4.36. Karışım kumaşlarda ham kumaş eni regresyon modelleri için $%R^2$ belirlilik katsayıları	127
Çizelge 4.37. Minitab ham kumaş eni 3K4 regresyon modeli özet tablosu	128
Çizelge 4.38. Minitab ham kumaş eni 3K4-1 regresyon modeli özet tablosu.....	129
Çizelge 4.39. Karışım kumaşlarda ham kumaş eni tahmininde yapay zekâ modelleri için $%R$ korelasyon katsayısı.....	131
Çizelge 4.40. Karışım kumaşlarda ham kumaş eni için yapay zekâ modelleri özet tablosu .	132
Çizelge 4.41. Tüm kumaşlarda ham kumaş eni regresyon modelleri için $%R^2$ belirlilik katsayıları	134
Çizelge 4.42. Minitab ham kumaş eni 3PK8 regresyon modeli özet tablosu modeli özet tablosu	135
Çizelge 4.43. Minitab ham kumaş eni 3PK8-1 regresyon modeli özet tablosu	136
Çizelge 4.44. Tüm kumaşlarda ham kumaş eni tahmininde yapay zekâ modelleri için $%R$ korelasyon katsayısı.....	138
Çizelge 4.45. Tüm kumaşlarda ham kumaş eni için yapay zekâ modelleri özet tablosu	139
Çizelge 4.46. Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş eni regresyon modelleri için $%R^2$ belirlilik katsayıları	141
Çizelge 4.47. Minitab mamül kumaş eni 4P8 regresyon modeli özet tablosu.....	143
Çizelge 4.48. Minitab mamül kumaş eni 4P8-1 regresyon modeli özet tablosu	144
Çizelge 4.49. Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş eni tahmininde yapay zekâ modelleri için $%R$ korelasyon katsayısı.....	145
Çizelge 4.50. Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş eni için yapay zekâ modelleri özet tablosu	146
Çizelge 4.51. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı regresyon modelleri için $%R^2$ belirlilik katsayıları.....	148
Çizelge 4.52. Minitab ham kumaş birim alan ağırlığı 5P5 regresyon modeli özet tablosu...	149
Çizelge 4.53. Minitab ham kumaş birim alan ağırlığı 5P5-1 regresyon modeli özet tablosu	150
Çizelge 4.54. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı tahmininde yapay zekâ modelleri için $%R$ korelasyon katsayısı	152
Çizelge 4.55. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı için yapay zekâ modelleri özet tablosu.....	153
Çizelge 4.56. Karışım kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı regresyon modelleri için $%R^2$ belirlilik katsayıları.....	155

Çizelge 4.57. Minitab ham kumaş birim alan ağırlığı 5K5 regresyon modeli özet tablosu ..	156
Çizelge 4.58. Minitab ham kumaş birim alan ağırlığı 5K5-1 regresyon modeli özet tablosu	157
Çizelge 4.59. Karışım kumaşlarda ham kumaş eni tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı.....	159
Çizelge 4.60. Karışım kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı için yapay zekâ modelleri özet tablosu.....	160
Çizelge 4.61. Tüm kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı regresyon modelleri için %R ² belirlilik katsayıları.....	162
Çizelge 4.62. Minitab ham kumaş birim alan ağırlığı 5PK2 regresyon modeli özet tablosu	163
Çizelge 4.63. Minitab ham kumaş birim alan ağırlığı 5PK2-1 regresyon modeli özet tablosu	164
Çizelge 4.64. Tüm kumaşlarda ham kumaş ham kumaş birim alan ağırlığı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı	166
Çizelge 4.65. Tüm kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı için yapay zekâ modelleri özet tablosu.....	167
Çizelge 4.66. Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş birim alan ağırlığı regresyon modelleri için %R ² belirlilik katsayıları	169
Çizelge 4.67. Minitab mamül kumaş birim alan ağırlığı 6P5 regresyon modeli özet tablosu	170
Çizelge 4.68. Minitab mamül kumaş birim alan ağırlığı 6P5-1 regresyon modeli özet tablosu	171
Çizelge 4.69. Pamuklu kumaşlarda mamül birim alan ağırlığı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı.....	173
Çizelge 4.70. Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş birim alan ağırlığı için yapay zekâ modelleri özet tablosu	174
Çizelge 4.71. Pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti regresyon modelleri için %R ² belirlilik katsayıları.....	176
Çizelge 4.72. Minitab çözgü kopma kuvveti 7P1 regresyon modeli özet tablosu	178
Çizelge 4.73. Minitab çözgü kopma kuvveti 7P1-1 regresyon modeli özet tablosu	179
Çizelge 4.74. Pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı.....	180
Çizelge 4.75. Pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri özet tablosu.....	182

Çizelge 4.76. Karışım kumaşlarda çözgü kopma kuvveti regresyon modelleri için $%R^2$ belirlilik katsayıları	184
Çizelge 4.77. Minitab çözgü kopma kuvveti 7K5 regresyon modeli özet tablosu.....	185
Çizelge 4.78. Minitab çözgü kopma kuvveti 7K5-1 regresyon modeli özet tablosu.....	186
Çizelge 4.79. Karışım kumaşlarda çözgü kopma kuvveti tahmininde yapay zekâ modelleri için $%R$ korelasyon katsayısı.....	187
Çizelge 4.80. Karışım kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri özet tablosu	189
Çizelge 4.81. Tüm kumaşlarda çözgü kopma kuvveti regresyon modelleri için $%R^2$ belirlilik katsayıları	191
Çizelge 4.82. Minitab çözgü kopma kuvveti 7PK5 regresyon modeli özet tablosu.....	192
Çizelge 4.83. Minitab çözgü kopma kuvveti 7PK5-1 regresyon modeli özet tablosu	193
Çizelge 4.84. Tüm kumaşlarda çözgü kopma kuvveti tahmininde yapay zekâ modelleri için $%R$ korelasyon katsayısı.....	195
Çizelge 4.85. Tüm kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri özet tablosu	196
Çizelge 4.86. Pamuklu kumaşlarda atkı kopma kuvveti regresyon modelleri için $%R^2$ belirlilik katsayıları	198
Çizelge 4.87. Minitab atkı kopma kuvveti 8P6 regresyon modeli özet tablosu	199
Çizelge 4.88. Minitab atkı kopma kuvveti 8P6-1 regresyon modeli özet tablosu.....	201
Çizelge 4.89. Tüm kumaşlarda atkı kopma kuvveti tahmininde yapay zekâ modelleri için $%R$ korelasyon katsayısı.....	202
Çizelge 4.90. Pamuklu kumaşlarda atkı kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri özet tablosu	204
Çizelge 4.91. Karışım kumaşlarda atkı kopma kuvveti regresyon modelleri için $%R^2$ belirlilik katsayıları	206
Çizelge 4.92. Minitab atkı kopma kuvveti 8K6 regresyon modeli özet tablosu	207
Çizelge 4.93. Minitab atkı kopma kuvveti 8K6-1 regresyon modeli özet tablosu	208
Çizelge 4.94. Karışım kumaşlarda atkı kopma kuvveti tahmininde yapay zekâ modelleri için $%R$ korelasyon katsayısı.....	210
Çizelge 4.95. Karışım kumaşlarda atkı kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri özet tablosu	211

Çizelge 4.96. Tüm kumaşlarda atkı kopma kuvveti regresyon modelleri için %R ² belirlilik katsayıları	213
Çizelge 4.97. Minitab atkı kopma kuvveti 8PK4 regresyon modeli özet tablosu	214
Çizelge 4.98. Minitab atkı kopma kuvveti 8PK4-1 regresyon modeli özet tablosu.....	216
Çizelge 4.99. Tüm kumaşlarda atkı kopma kuvveti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı.....	217
Çizelge 4.100. Tüm kumaşlarda atkı kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri özet tablosu	219
Çizelge 4.101. Pamuklu kumaşlarda çözgü yırtılma mukavemeti regresyon modelleri için %R ² belirlilik katsayıları.....	221
Çizelge 4.102. Minitab çözgü yırtılma mukavemeti 9P1 regresyon modeli özet tablosu	222
Çizelge 4.103. Minitab çözgü yırtılma mukavemeti 9P1-1 regresyon modeli özet tablosu..	223
Çizelge 4.104. Pamuklu kumaşlarda çözgü yırtılma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı	225
Çizelge 4.105. Pamuklu kumaşlarda çözgü yırtılma mukavemeti için yapay zekâ modelleri özet tablosu.....	226
Çizelge 4.106. Pamuklu kumaşlarda atkı yırtılma mukavemeti regresyon modelleri için %R ² belirlilik katsayıları.....	228
Tablo 4.107. Minitab atkı yırtılma mukavemeti 10P2 regresyon modeli özet tablosu	230
Çizelge 4.108. Minitab atkı yırtılma mukavemeti 10P2-1 regresyon modeli özet tablosu	230
Çizelge 4.109. Pamuklu kumaşlarda atkı yırtılma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı	232
Çizelge 4.110. Pamuklu kumaşlarda atkı yırtılma mukavemeti için yapay zekâ modelleri özet tablosu.....	233
Çizelge 4.111. Pamuklu kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti regresyon modelleri için %R ² belirlilik katsayıları	235
Çizelge 4.112. Minitab çözgü dikiş kayma mukavemeti 11P14 regresyon modeli özet tablosu	238
Çizelge 4.113. Minitab çözgü dikiş kayma mukavemeti 11P14-1 regresyon modeli özet tablosu	239
Çizelge 4.114. Pamuklu kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı	240
Çizelge 4.115. Pamuklu kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti için yapay zekâ modelleri özet tablosu	242

Çizelge 4.116. Karışım kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti regresyon modelleri için %R ² belirlilik katsayıları	244
Çizelge 4.117. Minitab çözgü dikiş kayma mukavemeti 11K1 regresyon modeli özet tablosu	246
Çizelge 4.118. Minitab çözgü dikiş kayma mukavemeti 11K1-1 regresyon modeli özet tablosu	247
Çizelge 4.119. Karışım kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı	248
Çizelge 4.120. Karışım kumaşlarda çözgü kayma mukavemeti için yapay zekâ modelleri özet tablosu.....	250
Çizelge 4.121. Tüm kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti regresyon modelleri için %R ²	251
Çizelge 4.122. Minitab çözgü dikiş kayma mukavemeti 11PK1 regresyon modeli özet tablosu	253
Çizelge 4.123. Minitab çözgü dikiş kayma mukavemeti 11PK1-1 regresyon modeli özet tablosu.....	255
Çizelge 4.124. Tüm kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı	256
Çizelge 4.125. Tüm kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti için yapay zekâ modelleri özet tablosu.....	257
Çizelge 4.126. Pamuklu kumaşlarda atkî dikiş kayma mukavemeti regresyon modelleri için %R ² belirlilik katsayıları	259
Çizelge 4.127. Minitab atkî dikiş kayma mukavemeti 12P14 regresyon modeli özet tablosu	261
Çizelge 4.128. Minitab atkî dikiş kayma mukavemeti 12P14-1 regresyon modeli özet tablosu	263
Çizelge 4.129. Pamuklu kumaşlarda atkî dikiş kayma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı	264
Çizelge 4.130. Pamuklu kumaşlarda atkî dikiş kayma mukavemeti için yapay zekâ modelleri özet tablosu.....	265
Çizelge 4.131. Karışım kumaşlarda atkî dikiş kayma mukavemeti regresyon modelleri için %R ² belirlilik katsayıları	267
Çizelge 4.132. Minitab atkî dikiş kayma mukavemeti 12K8 regresyon modeli özet tablosu.....	269
Çizelge 4.133. Minitab atkî dikiş kayma mukavemeti 12K8-1 regresyon modeli özet tablosu	270

Çizelge 4.134. Karışım kumaşlarda atkî dikiş kayma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı	271
Çizelge 4.135. Karışım kumaşlarda atkî dikiş kayma mukavemeti için yapay zekâ modelleri özet tablosu	272
Çizelge 4.136. Tüm kumaşlarda atkî dikiş kayma mukavemeti regresyon modelleri için %R ² belirlilik katsayıları	274
Çizelge 4.137. Minitab atkî dikiş kayma mukavemeti 12PK4 regresyon modeli özet tablosu	276
Çizelge 4.138. Minitab atkî dikiş kayma mukavemeti 12PK4-1 regresyon modeli özet tablosu	278
Çizelge 4.139. Tüm kumaşlarda atkî dikiş kayma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı	279
Çizelge 4.140. Tüm kumaşlarda atkî dikiş kayma mukavemeti için yapay zekâ modelleri özet tablosu	280
Çizelge 5.1. Pamuklu kumaşlarda yapısal parametrelerin karşılaştırılması	282
Çizelge 5.2. Pamuklu kumaşlarda performans parametrelerinin karşılaştırılması	283
Çizelge 5.3. Karışım kumaşlarda yapısal parametrelerin karşılaştırılması	285
Çizelge 5.4. Karışım kumaşlarda performans parametrelerinin karşılaştırılması	286
Çizelge 5.5. Tüm kumaşlarda yapısal parametrelerin karşılaştırılması	288
Çizelge 5.6. Tüm kumaşlarda performans parametrelerinin karşılaştırılması	289
Çizelge 5.7. Diğerlerinden daha anlamlı çıkan regresyon modellerinde eğitim verileri ve test verilerinde; model (eğitim) değerleri ile test değer arasında korelasyon testi %R korelasyon katsayıları	291
Çizelge 5.8. Diğerlerinden daha anlamlı çıkan yapay sinir ağı modellerinde eğitim verileri ve test verilerinde; gerçek değerler ile model değer arasında korelasyon testi %R korelasyon katsayıları	292
Çizelge 5.9. Diğerlerinden daha anlamlı çıkan rastgele orman algoritmalarında eğitim verileri ve test verilerinde; gerçek değerler ile model değer arasında korelasyon testi %R korelasyon katsayıları	293
Çizelge 5.10. Diğerlerinden daha anlamlı çıkan Mars modellerinde eğitim verileri ve test verilerinde; gerçek değerler ile model değer arasında korelasyon testi %R korelasyon katsayıları	294
Çizelge 5.11. Tasarım model ve gerçek değerleri	296
Çizelge 6.1. Pamuklu kumaşlar, karışım kumaşlar ve tüm kumaşlar için; regresyon modeli, yapay sinir ağı modeli, rastgele orman algoritmaları ve Mars modellerinden en iyi model için	

sonuç çıkarımı (kırmızı renkli rakamlar en yüksek değerleri, yeşil fon güvenli kullanım, turuncu fon kontrollü kullanım değerlerini tanımlar).....	300
--	-----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Bezayağı örgünün tam tekrarı (Morino ve Matsudaira, 2005).....	18
Şekil 2.2. Yüzen ipliklerin 9 tipi ve ağırlıkları (Morino H ve Matsudaira M, 2005)	19
Şekil 2.3. Kumaşta kıvrım oluşumu (Özek, 2013)	20
Şekil 2.4. İplik kıvrımının kumaşta görünümü (Özek, 2013).....	20
Şekil 2.5.CRE prensibine göre çalışan kopma mukavemet cihazı (Saville,1999)	23
Şekil 2.6. Yırtılma mukavemeti test cihazı ve numune yerleşimi (Kastacı, 2016)	25
Şekil 2.7. Kopma mukavemet cihazında dikiş kayma dayanımı testi (Saville,1999)	26
Şekil 2.8. Çapraz- doğrulama diyagramı	34
Şekil 2.9.Performanslarına göre ROC eğrileri (Ertosun A ve ark, 2022).....	39
Şekil 2.10. Yapay Sinir Hücresinin Elemanları.....	44
Şekil 2.11. Toplama fonksiyonu örnekleri (Öztemel, 2012)	45
Şekil 2.12. Aktivasyon fonksiyonu örnekleri (Şengöz, 2017).....	46
Şekil 2.13. Kullanım amaçlarına göre yapay sinir ağı topolojileri (Kargı, 2015)	49
Şekil 2.14. Öğrenme algoritmaları ve uygulandıkları alanlar (Saraç, 2004).....	50
Şekil 2.15. Veri parçalamada sık kullanılan oranlar (Eğrioğlu, Yolcu ve Baş, 2020)	51
Şekil 2.16. Yapay sinir ağına ilişkin istatistiki performans ölçütleri (Yakut ve Çot, 2019)	52
Şekil 2.17. Rastgele orman algoritmasının işleyişine yönelik adımlar (Sabancı, 2019)	54
Şekil 2.18. Rastgele orman modeli oluşturma algoritması (Yılmaz, 2014)	56
Şekil 3.1. Açıklayıcı değişkenler için ilişki diyagramı.....	62
Şekil 3.2.Yapay sinir ağı model parametreleri	69
Şekil 3.3. Rastgele orman algoritması model parametreleri.....	70
Şekil 3.4. Mars tekniği model parametreleri	71
Şekil 4.1. Pamuklu kumaşlarda çözgü kıvrımının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).....	74
Şekil 4.2. 1P15-1 regresyon modeli artık analizi, normality test	79

Şekil 4.3. 1P15-1 Pamuklu kumaşlarda çözgü kıvrımı regresyon modeli; gerçek ve model değerleri arasında korelasyon Testi	79
Şekil 4.4. 1P15-1 çözgü kıvrımı tahmini için yapay sinir hücresi.....	81
Şekil 4.5. Karışım kumaşlarda çözgü kıvrımının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).....	82
Şekil 4.6.1K12-1 regresyon modeli artık analizi, normality test.....	86
Şekil 4.7. 1K12-1 karışım kumaşlarda çözgü kıvrımı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi.....	86
Şekil 4.8. 1K12 çözgü kıvrımı tahmini için yapay sinir hücresi	88
Şekil 4.9. Tüm kumaşlarda çözgü kıvrımının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).....	89
Şekil 4.10. 1PK0-1 tüm kumaşlarda çözgü kıvrımı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi.....	94
Şekil 4.11. 1PK7 çözgü kıvrımı tahmini için yapay sinir hücresi	96
Şekil 4.12. Pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).....	97
Şekil 4.13. 2P8-1 pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi.....	101
Şekil 4.14. 2P8 atkı kıvrımı tahmini için yapay sinir hücresi	102
Şekil 4.15. Karışım kumaşlarda atkı kıvrımının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).....	104
Şekil 4.16. 2K4-1 karışım kumaşlarda atkı kıvrımı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi.....	108
Şekil 4.17. 2K4 atkı kıvrımı tahmini için yapay sinir hücresi	109
Şekil 4.18. Tüm kumaşlarda atkı kıvrımının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).....	111

Şekil 4.19. 2PK0-1 tüm kumaşlarda atkı kıvrımı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi.....	116
Şekil 4.20. 2PK5-1 atkı kıvrımı tahmini için yapay sinir hücresi	117
Şekil 4.21. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş eninin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).....	119
Şekil 4.22. 3P8-1 pamuklu kumaşlarda ham en regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi.....	123
Şekil 4.23. 3P0 ham en tahmini için yapay sinir hücresi.....	124
Şekil 4.24. Karışım kumaşlarda ham kumaş eninin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).....	126
Şekil 4.25. 3K4-1 karışım kumaşlarda ham en regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi.....	130
Şekil 4.26. 3K9 ham en tahmini için yapay sinir hücresi	132
Şekil 4.27. Tüm kumaşlarda ham kumaş eninin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).....	133
Şekil 4.28. 3PK8-1 tüm kumaşlarda ham en regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi.....	137
Şekil 4.29. 3PK4 ham en tahmini için yapay sinir hücresi.....	139
Şekil 4.30. Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş eninin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).....	140
Şekil 4.31. 4P8-1 pamuklu kumaşlarda mamül en regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi.....	144
Şekil 4.32. 4P9 mamül en tahmini için yapay sinir hücresi	146
Şekil 4.33. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)	147
Şekil 4.34. 5P4-1 pamuklu kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi.....	151

Şekil 4.35. 5P3 ham kumaş birim alan ağırlığı tahmini için yapay sinir hücresi	153
Şekil 4.36. Karışım kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)	154
Şekil 4.37. 5K5-1 karışım kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi	158
Şekil 4.38. 5K3-1 ham kumaş birim alan ağırlığı tahmini için yapay sinir hücresi	160
Şekil 4.39. Tüm kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).	161
Şekil 4.40. 5PK2-1 tüm kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi	165
Şekil 4.41. 5PK2 ham kumaş birim alan ağırlığı tahmini için yapay sinir hücresi	167
Şekil 4.42. Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)	168
Şekil 4.43. 6P5-1 pamuklu kumaşlarda mamül kumaş birim alan ağırlığı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi	172
Şekil 4.44. 6P0 mamül kumaş birim alan ağırlığı tahmini için yapay sinir hücresi.....	174
Şekil 4.45. Pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).....	175
Şekil 4.46. 7P1-1 pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi.....	180
Şekil 4.47. 7P3 çözgü kopma kuvveti tahmini için yapay sinir hücresi.....	182
Şekil 4.48. Karışım kumaşlarda çözgü kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).....	183
Şekil 4.49. 7K5-1 karışım kumaşlarda çözgü kopma kuvveti regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi.....	187
Şekil 4.50. 7K1-1 çözgü kopma kuvveti tahmini için yapay sinir hücresi.....	188

Şekil 4.51. Tüm kumaşlarda çözgü kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).....	190
Şekil 4.52. 7PK5-1 tüm kumaşlarda çözgü kopma kuvveti regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi.....	194
Şekil 4.53. 7PK11 çözgü kopma kuvveti tahmini için yapay sinir hücresi	196
Şekil 4.54. Pamuklu kumaşlarda atkı kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).....	197
Şekil 4.55. 8P6-1 pamuklu kumaşlarda atkı kopma kuvveti regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi.....	201
Şekil 4.56. 8P4-1 atkı kopma kuvveti tahmini için yapay sinir hücresi	203
Şekil 4.57. Karışım kumaşlarda atkı kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).....	205
Şekil 4.58. 8K4-1 karışım kumaşlarda atkı kopma kuvveti regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi.....	209
Şekil 4.59. 8K0 atkı kopma kuvveti tahmini için yapay sinir hücresi.....	211
Şekil 4.60. Tüm kumaşlarda atkı kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).....	212
Şekil 4.61. 8KP4-1 tüm kumaşlarda atkı kopma kuvveti regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi.....	217
Şekil 4.62. 8PK14-1 atkı kopma kuvveti tahmini için yapay sinir hücresi	218
Şekil 4.63. Pamuklu kumaşlarda çözgü yırtılma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)	220
Şekil 4.64. 9P1-1 pamuklu kumaşlarda çözgü yırtılma mukavemeti regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında Korelasyon Testi.....	224
Şekil 4.65. 9P3 çözgü yırtılma mukavemeti tahmini için yapay sinir hücresi	226
Şekil 4.66. Pamuklu kumaşlarda atkı yırtılma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt	

kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)	227
Şekil 4.67. 10P2--1 pamuklu kumaşlarda atkı yırtılma mukavemeti regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi	231
Şekil 4.68. 10P4 atkı yırtılma mukavemeti tahmini için yapay sinir hücresi	233
Şekil 4.69. Pamuk kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)	234
Şekil 4.70. 11P14-1 çözgü dikiş kayma mukavemeti tahmini için yapay sinir hücresi	241
Şekil 4.71. Karışım kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)	243
Şekil 4.72. 11K6 çözgü dikiş kayma mukavemeti tahmini için yapay sinir hücresi	249
Şekil 4.73. Tüm kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)	250
Şekil 4.74. 11PK3 çözgü dikiş kayma mukavemeti tahmini için yapay sinir hücresi	257
Şekil 4.75. Pamuk kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)	258
Şekil 4.76. 12P8-1 atkı dikiş kayma mukavemeti tahmini için yapay sinir hücresi	265
Şekil 4.77. Karışım kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)	266
Şekil 4.78. 12K0-1 atkı dikiş kayma mukavemeti tahmini için yapay sinir hücresi	272
Şekil 4.79. Tüm kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)	273
Şekil 4.80. 12PK0 atkı dikiş kayma mukavemeti tahmini için yapay sinir hücresi	280
Şekil 5.1 Farklı konstrüksiyonlarda kumaş tasarım örnekleri	296

Şekil 6.1. % Çözümlü kıvrımı için gerçek değerler ile en iyi modelden tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (veriler küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır).....298

Şekil 6.2. Mamül kumaş birim alan ağırlığı için gerçek değerler ile en iyi modelden tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (veriler küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır).....299



SİMGELER DİZİNİ

$\widehat{Y}_i$	Tahmin Edilen Bağımlı Değişken
$\widehat{\beta}_i$	Tahmin Edilen Regresyon Katsayısı
c	Kıvrım
e_i	Kalıntı Terimi
F	Ashenhurst Ortalama Yüzme Uzunluğu
F	F istatistiği
H	Hipotez
K	Örtme Faktörü
P	Olasılık değeri
R^2	Belirlilik katsayısı
R^2_{adj}	Düzeltilmiş belirlilik katsayısı
S	Kumaş Sıklık
s	standart hata
T	Kumaş Yapı Faktörü
t	t istatistiği
Tex	İplik Lineer Yoğunluk
Ts	Kumaş Sıklık Faktörü
W	Wald istatistiği
W_i	Yapay sinir ağı ağırlık
X_i	Açıklayıcı (Girdi) Değişkeni
Y_i	Regresyon Bağımlı Değişken
Z	Z istatistiği
β_i	Regresyon Katsayısı
ϵ_i	Hata Terimi
ρ	Lif Özgül Ağırlık
σ_e	Tahminlerin standart hatası

KISALTMALAR DİZİNİ

10-fold	K-fold cross validation
AIC	Akaike Information Criterion
atk_ipl_buk_mik	Atkı ipliği büküm miktarı
atk_ipl_ure_met	Atkı ipliği üretim metodu
atk_kiv	Atkı kıvrımı
atk_lyc_dte	Atkı elastan numarası
atk_sik	Atkı sıklık
atk_tex	Atkı iplik tex numarası
BIC	Bayesian Information Criterion
CFF	Sıklık faktörü faktörü
cov_fak	Peirce örtme faktörü
coz_ipl_buk_mik	Çözü ipliği büküm miktarı
coz_ipl_ure_met	Çözü ipliği üretim metodu
coz_kiv	Çözü kıvrımı
coz_lyc_dte	Çözü elastan numarası
coz_sik	Çözü sıklık
coz_tex	Çözü iplik tex numarası
CRE	Sabit uzama oranı
dik_acm_atk	Atkı dikiş kayma mukavemeti
dik_acm_coz	Çözü dikiş kayma mukavemeti
FYF	Yüzme faktörü
ham_en	Ham kumaş eni
ham_kum_bir_ala_agi	Ham kumaş birim alan ağırlığı
KL	Örgü faktörü
kop_muk_atk	Atkı kopma mukavemeti
kop_muk_coz	Çözü kopma mukavemeti
kum_spe_fle_rgi	Elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı
MAE	Mean Absolute Error
mam_en	Mamül kumaş eni
mam_kum_bir_ala_agi	Mamül kumaş birim alan ağırlığı
MARS	Multivariate Adaptive Regression Splines
OG	Kumaş yapı faktörü

OR	Odds Ratio
ort_ely_muk_kat	Ortalama elyaf mukavemet katsayısı
RAE	Relative Absolute Error
RMSE	Root Mean Square Error
RO	Rastgele orman algoritmaları
ROC	Receiver Operating Characteristic
RRSE	Root Relative Squared Error
tar_en	Tarak eni
VIF	Variance Inflation Factor
yir_muk_atk	Atkı yırtılma mukavemeti
yir_muk_coz	Çözüğü yırtılma mukavemeti
YSA	Yapay sinir ağı

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans ve Doktora tez çalışmalarım boyunca değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlanma fırsatı bulduğum, Doktora tez çalışmam süresince yoğun akademik çalışmalarına rağmen değerli zamanını ayırarak, akademik bakış açısıyla katkılarını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Sayın Prof. Dr. H. Ziya ÖZEK 'e en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince değerli katkılarından dolayı ve özellikle tahmin modelleri kurma aşamasında ve program yazılımı konusunda görüşlerini ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Erkan ÖZHAN' a çok teşekkür ederim.

Derin istatistik bilgisi ile ne zaman yardım istesem özveri ile yardımlarını esirgemeyen ve beni bu konuda eğiten, yol gösteren tez izleme komitemin değerli hocası Sayın Prof. Dr. Pelin GÜRKAN ÜNAL' a çok teşekkür ederim.

Doktora Tez İzleme Komitesi üyesi Sayın Prof. Dr. Erdi UZUN' a çalışmamın tüm aşamalarında yönlendirici ve olumlu katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Pamuklu dokuma kumaş veri tabanımın oluşturulmasında katkı sağlayan Matesa Tekstil A.Ş. Boyahane Müdürü kıymetli arkadaşım Ali KEBAPÇI'ya, Dokuma İşletme Şefi Menderes İNEP' e, Poliester-Viskon dokuma kumaş veri tabanımın oluşturulmasında katkı sağlayan Uğur Tekstil A.Ş. Ürün Geliştirme Müdürü kıymetli arkadaşım Ali TIRAŞ' a çok teşekkür ederim.

Bütün özverisiyle çalışmalarım sırasında manevi katkılarını esirgemeyen annem, babam ve eşim Eshabil KASTACI' ya, hayat enerjisiyle beni ayakta tutan kızım Elif Dila KASTACI' ya ve desteklerini gördüğüm herkese sonsuz teşekkür ederim.

Bilge BERKHAN KASTACI

Yüksek Tekstil Mühendisi

1. GİRİŞ

1.1 Tekstil Tasarımı

Tekstil üretimi genel olarak, liften ipliğe, iplikten tekstil yüzeyine ve tekstil yüzeyinin ön terbiye, renklendirme ve bitim işlemleri ile mamul hale getirilme süreçlerini kapsar. Dokuma kumaş üretimi de bu dönüşüm sürecinde, ipliklerin yüzey oluşturacak şekilde bir araya getirildiği bir aşamadır. Her üretim aşamasının kendi değişkenleri yanı sıra, önceki süreçlerin girdileri ve çıktıları da ürün özelliklerini etkilemektedir. Dolayısıyla etkin ve belirli güven aralığında bir dokuma kumaş tasarımında, önceki aşamaların verileri mutlaka dikkate alınmalı ve hatta sonraki aşamalarda uygulanacak işlemlerin niteliği de bilinmeli ve göz önünde tutulmalıdır. Çok sayıda girdi ve değişkenin yanı sıra, kullanılan malzemelerin de kendi içinde önemli varyasyon göstermeleri nedeniyle, yeni kumaş geliştirme ya da tasarım süreçleri kritik önem taşır. Deneme yanılma yönteminin yaygın kullanıldığı dokuma kumaş üretiminde, hedeflenen tanımlara uyan bir ürünü ortaya koyacak sistematik ve tutarlı tasarım yöntemlerinin yetersiz ya da eksik olduğu bilinmektedir.

Ürünlerin tasarım süreci fonksiyonel bakımdan soyut bir kavram olarak ortaya konulan bir ihtiyaç ya da talebin, somut bir ürüne (kumaş, sistem ya da aygıt) dönüştürme faaliyetleridir. Ürün veya ürünlerin işlevselliğini artırma, geliştirme, iyileştirme ve farklılaştırmaya yönelik standart ve yenilikçi faaliyetlerin tümünü kapsar (Özek, 2018). Tasarım aynı zamanda kısıtlar dâhilinde işleyen bir araştırma ve problem çözme sürecidir ki, bu sürecin hedefi problemi tanımlayarak, ihtiyacın karşılanması için sürdürülebilir ve yaratıcı çözümlerin bulunmasıdır (Gürcüm ve Yalçın, 2016).

Diğer taraftan tasarım araştırmacılar tarafından;

- Fiziksel bir yapının doğru fiziksel bileşenlerini bulma;
- Şimdiki zaman gerçeklerinden gelecek zamanın olasılıklarına hayali sıçrama;
- Bilişsel iş;
- Belirsizlik içerisinde karar verme;

gibi çeşitli tanımlarla da yorumlanmıştır. Bu bağlamda tasarım; belirli bir problemin çözümüne yönelik organizasyon ve karar verme süreci olarak görülebilir (Turan, 2011).

Tekstil ürünleri ya da dokuma kumaşların tasarımı, moda tasarımı ve mühendislik tasarımı olmak üzere iki ayrı tasarım kümesi referans alınarak gerçekleştirilir. Moda tasarımı

daha çok görsel ve estetik unsurlar ile güncel moda trendlerini kapsar. Estetik açıdan yaratıcı bir fikir serbest el çizimi ya da bilgisayar destekli sistemler ile ifade edilir. Kumaşın örgüsü ve iplik bileşenlerinin renk ve yapısal efektleri ile kombine edilecek kumaş dokusu da bu kapsamda değerlendirilir.

Mühendislik tasarımı (ya da teknik tasarım) ise, belirtilen bir işlevin gerçekleştirilebilir bir yapı üzerine kurgusunu, haritalanmasını içerir. Kumaş mühendislik tasarımı; hammadde girdisi, kumaş yapısı ve bitmiş ürün arasındaki ilişkilerle ilgilenen uygulamalı bir bilimdir. Kumaş mühendislik tasarımının başarısı, güvenilir objektif ölçümler ile kumaş kalite ve performans özelliklerinin doğru tahminine bağlıdır. Kumaş kalitesi ve performans özelliklerini doğru tahminleyebilmek için; lif, iplik ve kumaş özellikleri arasındaki doğası gereği doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilen etkili ve izlenebilir bir metodoloji gereklidir.

Kumaş özellikleri ile değişkenler arasındaki ilişkilere dayanan çeşitli geometrik ve dinamik matematiksel modellerin tekstil yapılarının analizinde, temel ilkeleri açıklamak ve kumaş özellik ve davranışlarını tahmin etmek için kullanımı mümkündür. Ancak, kumaş yapısal özelliklerinin öngörülmesi için geliştirilen bu modellerin kumaş tasarımında kullanımları oldukça sınırlıdır. Bunun nedeni, matematiksel modellerin genellikle belirli idealize edilmiş varsayımlara dayanıyor olması ve bu basitleştirici varsayımların büyük tahmin hatalarına neden olmasıdır. Bu modeller probleme özel, ampirik esastır ve yapıdaki herhangi bir değişiklik durumunda yeni bir analiz ya da çözüm gerektirmesi olasıdır. Üretim sürecinde yer alan gerçek dünya dinamiklerin belirsizlikleri ya da ihmal edilmiş olmaları nedeniyle pratikte iyi sonuç vermeyebilirler.

Kumaş yapısı ve özellikleri temel olarak elyaf özelliklerinden (uzunluk, incelik vb.), eğirme yöntemlerinden (ring, rotor, hava jetli vb.), iplik parametrelerinden (numara, büküm, tek ve çift kat, elyaf karışımları vb.), kumaş yapısal parametrelerinden (çözgü ve atkı yoğunluğu, örgü vb.) ve son olarak terbiye ve bitim işlemlerinden etkilenir. Kumaş özelliklerini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan üç modelleme yöntemi olduğu söylenebilir (Behera ve Hari, 2010):

- Deneysel verilere ve istatistik analizlere dayalı ampirik modeller,
- Yapısal özelliklerden türetilen geometrik ya da fiziksel esaslı matematik modeller,
- Yapay zekânın bir parçası olan yapay sinir ağı (ANN) modeller.

Bu modellerin temel prensiplerini ve kullanılabilecekleri durumları doğru anlamak ve yorumlamak gerekir. Doğrusal olmayan ve karmaşık kumaş parametrelerinin verimli bir şekilde kullanılması için gerçekçi bir modelleme sistemi, kumaş özelliklerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesine yardımcı olabilir (Behera ve Hari, 2010). Kumaş özelliklerini öngören modelleme metodolojileri, müşterinin istediği özelliklere göre kumaşları tasarlamak için gerekli ve yararlıdır. Kumaş özelliğini belirleyen farklı parametreler arasındaki ilişkiler biliniyorsa, belirli son kullanım uygulamaları için bu özelliği optimize etmek amacıyla da kullanılabilirler. Bu metodolojiler istenen kumaş özelliğini sağlayacak süreç parametreleri ve malzeme değişkenlerinin farklı kombinasyon seviyelerini tanımlamak için de kullanılabilir.

Bu çalışmada, dokuma kumaşların önemli yapısal parametrelerinden olan ham ve mamul kumaş eni, kıvrım değerleri ile üç farklı mekanik özellik değerinin tasarım aşamasında tahminlemeye yönelik modeller geliştirilmiştir. Tezin ilk bölümünde literatür özeti ve tezin amacı verilmiştir. Dokuma kumaş yapısı, regresyon modelleri ve bu çalışmada uygulanan yapay zekâ tekniklerine ait kuramsal bilgiler ikinci bölümde, materyal ve metod bilgisi de üçüncü bölümde verilmiştir. Çalışma kapsamında kurulan modeller ve bu modellerden elde edilen sayısal veriler dördüncü bölümde, modellerin karşılaştırılması ve doğrulanması beşinci bölümde yer almıştır. Altıncı ve son bölümde sonuçların genel irdelemesi yapılmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Dokuma kumaşların yapısal ve performans özelliklerinin tahmin edilebilmesi kritik bir öneme sahiptir. Bu alanda, ilgili literatür araştırıldığında önceki yıllarda yapılmış olan değişik çalışmalar vardır. Bunların arasında önemli görülen bazı çalışmalar alt başlıklar halinde ele alınmıştır.

1.2.1 Kumaş Yapısal Özelliklerinin Tahminlenmesi Üzerine Yapılan Çalışmalar

1990 yılında Başer; dokuma kumaşların yapısal tasarımı için kumaş çekmelerinin tahminlenmesi amacıyla geometrik modelleri incelemiş ve özellikle bezayağı kumaşlar dışında farklı örgü yapılarındaki kumaşlar için atkı ve çözgü ipliklerinin dokuma yapısına girerken birbirini etkilemelerinden dolayı ayrıntılı geometrik-mekanik analiz yapılmadan çözümlenemeyeceğinden dolayı en geçerli yolun işletmelerde sürekli olarak dokunmakta olan kumaşların dokuma ve apre çekmelerini doğru ölçme ve hesap yöntemleri kullanarak sürekli arşiv oluşturmak, yeni üretime girecek kumaşlar tasarlanırken arşivden en yakın özelliklerdeki

kumaş bilgilerinin süzdürülerek kullanılmasının daha pratik bir yaklaşım olduğunu ortaya koymuştur (Başer, 1990).

2007 yılında Lin; 26 kumaş üzerinde hesapladığı çözgü ve atkı yönünde ayrı ayrı örtme faktörleri ile toplam kumaş örtme faktörünü girdi parametresi olarak alarak, çözgü yönünde ve atkı yönünde kıvrımları tahminleyen yapay sinir ağları ile iki model oluşturmuştur. Çözgü yönünde kumaş kıvrımı için R^2 belirlilik katsayı değerini %85,09, atkı yönünde kıvrımının R^2 değerini ise %87,23 bulmuştur (Lin, 2007).

2013 yılında Özkan; farklı numaralarda poliester ve pamuk atkı iplikleriyle farklı çözgü gerginliklerinde ve farklı atkı sıklıklarında dokuma kumaşlarda yapılan çözgü ve atkı kıvrım ölçüm sonuçlarının, ham kumaşta çözgü ve atkı kıvrımının çözgü gerginliğinden bağımsız olmadığını göstermiştir. Gerek çözgü gerginliği – kıvrım eğrilerinden gerekse basit doğrusal regresyon denklemlerinden elde ettiği korelasyon katsayılarıyla (R^2 -farklı iplik numaralarında ve farklı sıklıklarda minimum 0,41 ile maksimum 0,99 aralığında) çözgü gerginliğinin kıvrımlara etkisi olduğu görülmüştür. Artan çözgü gerginliği ile ham kumaşta çözgü kıvrımının azaldığını, atkı kıvrımının ise tam aksine artış gösterdiğini ortaya koymuştur (Özkan, 2013).

2014 yılında Maqsood ve arkadaşları; pamuklu kumaşlar üzerinde çözgü ve atkı yönünde kumaş çekmelerini tahminlemek adına çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturmuşlardır. Modelde çözgü kıvrımı için atkı numarası, çözgü sıklığı, atkı sıklığı, kumaş eni, örgü yüzme uzunluğu, tarak numarasını almış, atkı kıvrımı için ise çözgü numarası, atkı numarası, yüzme uzunluğu, tarak numarası ve taraktan geçiş sayısını almıştır. Bu bağımsız değişkenler ile çözgüde kıvrım için R^2 belirlilik katsayı değeri %71,8, atkı kıvrımı için ise %67,05 çıkmıştır (Maqsood, Hussain, Nawab ve Shaker, 2014).

Kadi ve Karnoub 2015 yılında, çözgü ve atkı değişkenlerinin kumaşın çekme oranına etkisini araştırmışlardır. Model olarak basit doğrusal regresyon modeli kullanmışlar ve çekme oranlarını etkileyen her bağımsız değişken için ayrı ayrı modeller oluşturmuşlardır. Burada çözgü yönünde kumaş çekme oranını etkileyen değişkenler olarak: atkı sıklığı, atkı numarası, atkı tipi, atkı ipliği gerilimi, çözgü ipliği gerilimi ve örgü yüzme uzunluğunu almıştır. Aynı şekilde atkı yönünde de çözgü sıklığı, çözgü numarası, çözgü tipi, atkı ipliği gerilimi, çözgü ipliği gerilimi ve örgü yüzme uzunluğunu almıştır (Kadi ve Karnoub, 2015).

2017 yılında Malik ve arkadaşları; bariyer kumaşlarda çözgü ve atkı yönünde kıvrım oranlarını tahminlemek için yapay sinir ağına dayalı bir model oluşturmuştur. Çözgü ipliği

kıvrımı için girdi parametresi olarak örgü yüzme uzunluğu, atkı sıklığı, atkı iplik inceliği, atkı ipliği filament inceliği, tezgâh hızı ve ağızlık kapama açısını almış, atkı yönünde kıvrım için iki model oluşturmuş, ilk modelde girdi parametresi olarak atkı filament inceliğini dâhil etmemiş, ikinci modelde ise atkı filament inceliğini dahil etmiş fakat bu defa da atkı iplik inceliğini dâhil etmemiştir. Burada çözgü kıvrımı için R^2 belirlilik katsayı değeri %94, atkı kıvrımında ilk modelde %79,5, ikinci modelde ise %97,9 ile yüksek tahmin gücünde modeller elde etmiştir (Malik, Geereke, Farooq, Aibibu ve Chokri, 2017).

Aynı yılda, Alp ve Bakıcı; yaptıkları çalışmada çözgüsü dimi 3/1 S örgülü farklı iplik numarası ve farklı iplik sıklıklarında kumaşlar dokutmuş ve sıklık ve iplik numarasının çözgü ve atkı kıvrımı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya çıkartmıştır. Aynı zamanda yaptıkları çalışmada ağartılmış kumaşların, çözgü atkı kıvrımı ağartılmamış olandan daha yüksek olduğu da tespit edilmiştir (Alp ve Bakıcı, 2017).

2019 yılında Aydın; yapmış olduğu yüksek lisans tezinde farklı yapısal özelliklere sahip dokuma kumaşlarda kıvrım oranlarına etki eden faktörleri araştırmıştır. Çalışmasında çözgü ipliği parametrelerini (numara, sıklık ve gerginlik) sabit tutup; örgüyü, atkı sıklığını ve atkı numarasını değiştirerek çeşitli kumaşlar elde etmiş ve bu kumaşların atkı ve çözgü yönünde kıvrımlarını incelemiştir. Yaptığı analizler sonucu, çözgü ipliğinde atlama oranı arttıkça çözgü kıvrımının azaldığını, atkı kıvrımının ise az oranda arttığını; atlama artarken atkı numarası da eş zamanlı kalınlaşırsa kıvrımın çok değişmediğini görmüş, atkı sıklığı arttıkça hem atkı hem çözgü kıvrımı artmış, atkı ipliği ile örgü sabit tutulduğunda atkı numarasının kalınlaşması atkı kıvrımını azaltmış, çözgü kıvrımını ise arttırmıştır (Aydın, 2019).

1.2.2 Kumaş Performans Özelliklerinin Tahminlenmesi Üzerine Yapılan Çalışmalar

1998 yılında Fan ve Hunter; yaptıkları çalışmada, yapay sinir ağlarını kullanarak kamgarn dokuma kumaşların aşınma dayanımı, çözgü ve atkı yönlü dikiş kayması, buruşmazlık rijitliğini, kesme rijitliği, çözgü ve atkı eğilme rijitliği, kumaş kalınlığını tahmin etmeye çalışmışlardır. Bunun için geri yayılım yapay sinir ağı kullanmışlardır. Girdi parametreleri olarak kumaş kompozisyonu, örgü, çözgü ve atkı iplik tipi, çözgü ve atkı ipliği tek kat ve katlı büküm miktarları, çözgü ve atkı sıklığı, kumaş ağırlığı, örtme faktörü, çözgü ve atkı kıvrımı, çözgü ve atkı ipliği yün içeriği, çözgü ve atkı ipliği sıklık faktörü, çözgü ve atkı iplikleri nihai numaraları, çözgü ve atkı ipliklerinde kullanılan lif incelikleri kullanılmıştır. Çıktı parametrelerinden aşınma dayanımı, çözgü ve atkı dikiş kayması, buruşmazlık, kesme rijitliği,

      ve atk  eğilme rijitliği ve kumaş kalınlığı için gerçek değerler ile model değerlerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada modelin kumaş özelliklerine etki eden parametrelerin düzgün şekilde haritalandırıldığı fakat boya-terbiye işlemlerinde     lemeyen kumaş parametreleri sebebiyle tahminlemede     r    hataların olabileceği sonucuna varmışlardır. (Fun ve Hunter, 1998).

Gong ve Chen, 1999 yılında yaptıkları çalışmada farklı kumaş kompozisyonunda ve farklı     lerde dokunan kumaşların mekanik performanslarını tahminlemeye çalışmışlardır. Bunun için ileri beslemeli geri yayılımlı yapay sinir ağı algılayıcıları kullanılmıştır. Çalışmada farklı sayıda giriş parametreleri ile iki farklı model oluşturmuş, daha az giriş parametresi bulunan modelin tahmin gücünü daha iyi bulmuştur. Giriş parametreleri olarak gerilme enerjisi, uzama, çekme dayanımı, atk  uzamasının       uzamasına oranı, kesme rijitliği, 0,5 derece kesme açısında kesme gecikmesi, eğilme rijitliği, sürtünme katsayısı, sürtünme katsayısının ortalama sapması, geometrik pürüzlülüğü, sıkıştırma eğrisinin doğrusallığı, sıkıştırma enerjisi, sıkışma direnci, 50 g/cm² lik basınç altında kumaş kalınlığı, kumaş ağırlığı alınmış dikiş kayması, dikiş büzülmesi, presleme kolaylığı, genel tutum gibi özellikler tahminlenmiştir. Oluşturulan modeller $\pm 0,5$ hata seviyesinde tahminlerde bulunmuştur (Gong ve Chen, 1999).

2005 yılında Morino ve Matsudaira; yaptıkları çalışmada kumaşlarda mekanik özelliklerde kuşkusuz en önemli faktörlerden olan     y ; çapraz sıkılık faktörü “CFF (crossing-over firmness factor)” ve iplik yüzme faktörü “FYF (floating yarn factor)” olarak tanımlanmış ve gerilme, eğilme, kesme, sıkıştırma ve KES-FB cihazından elde edilen diğer yüzey özelliklerini çoklu doğrusal regresyon modeli ile ilişkilendirmişler ve korelasyon katsayılarını %80’ in üzerinde bulmuşlardır (Morino ve Matsudaire, 2005).

2006 yılında Behera ve Karthikeyan yaptıkları çalışmada, paraşüt kumaşların hem yapı hem de performans parametrelerinin tahminlenmesi için yapay sinir ağı (radyal temelli fonksiyon ağı) modeli geliştirmişlerdir. Ağa girdi parametreleri olarak, kumaş ağırlıkları,       ve atk  sıkılıkları,       ve atk  lineer yoğunlukları,      ve iplik türleri girilmiştir. Tahmin edilmek istenen çıktı parametreleri, kumaşların kesme y   , yüzde uzama oranları, hava porozitesi, yırtılma mukavemeti ve patlama mukavemetidir. Sonuç olarak tahmin parametrelerinin test edilen tüm numunelerde m kemmek korelasyona sahip olduğu ve sistemin performansının kendine verilen eğitim, yani kullanılan veri çeşitliliği ve miktarına bağlı olduğu ve haritalama ne kadar iyi olursa, tahminin o kadar iyi olacağı sonucuna varmışlardır (Behera ve Karthikeyan, 2006).

Kumpikaite ve Sviderskyte 2006 yılında farklı kumaş faktörlerinin kopma uzamasına etkisini incelemiştir. Çalışmada 12 farklı örgü için, Ashenhurst, Galceran, Brierley ve Milasius tarafından tanımlanan örgü faktörlerini ve aynı zamanda Galceran, Newton, Seyam, Brierly ve Milasius'a ait kumaş yapı faktörlerini kullanmış ve regresyon modellerinde %90'ın üzerinde R^2 belirlilik katsayısı ile bu faktörlerin kopma uzamasında oldukça önemli olduğunu ortaya koymuştur (Kumpikaite ve Sviderskyte, 2006).

2007 yılında Gurumurthy yaptığı çalışmada, pamuklu dokuma kumaşların yapay sinir ağları ile sıkıştırılabilirlik özelliklerini tahminlemeye yönelik model oluşturmuştur. Bu modeli sıkıştırılabilirliği tahmin etmek için Peirce ve Kemp' in geometrik modellerini kullanarak kumaş kalınlıklarını hesaplamıştır. Daha sonra KES-FB3 ile kumaşların sıkıştırılabilirliklerini deneysel olarak ölçmüştür. Son olarak çok katmanlı geri yayılım yapay sinir ağlarını kullanarak da sıkıştırılabilirliğin tahmini üzerine bir model oluşturmuş ve bu üç modeli birbiri ile karşılaştırmıştır. Oluşturduğu yapay sinir ağı modelinin deneysel veri sonuçları ve geometrik modeller ile 0,85-0,95 aralığında korelasyon katsayısı ile iyi uyum yeteneğine sahip olduğu sonucuna varmıştır (Gurumurthy, 2007).

2007 yılında Can ve Kırtay, bezayağı kumaşların yırtılma mukavemetine etki eden iplik özelliklerini incelemiştir. Çözümlü yönünde yırtılma mukavemeti için kurmuş olduğu ilk parabolik regresyon modelinde, çözgü numarasını ve çözgü ipliği mukavemetini bağımsız değişken seçmiş, ikinci modelde ise çözgü ipliği büküm miktarı ile yine çözgü ipliği mukavemetini bağımsız değişken seçmiştir. Atkı yönünde yırtılma mukavemeti için ise oluşturduğu ilk parabolik regresyon modelinde atkı ipliği büküm miktarı ile atkı ipliği mukavemetini bağımsız değişken seçerken, ikinci modelde atkı ipliği numarası ile atkı ipliği mukavemetini bağımsız değişken olarak seçmiştir. Tüm modellerde belirlilik katsayısı R^2 %80' in üzerinde anlamlı çıkmıştır (Can ve Kırtay, 2007).

Yine 2008 yılında Kumpikaite belirli 12 örgü tipi için Milasius'un örgü faktörünü ve kumaş yapı faktörlerini kullanarak bu faktörlerin kopma kuvveti ve kopma uzamasına etkisini araştırmıştır. Regresyon modellerinde bu faktörlerin anlamlılığını yüzme uzunluğu eşit dağılmış, yatay ekseninde yüzme yapmış ve hiçbir ayırım yapmadan belirlediği örgüler için ayrı ayrı oluşturmuştur. Örgüleri kategorize etmediği modellerde Milasius' un faktörlerinin özellikle kopma kuvvetinde oldukça düşük ($R^2=0,14-0,62$ aralığında), kopma uzamasında ise yüksek ($R^2=0,88-0,98$ aralığında) etkisi olduğunu bulmuştur (Kumpikaite, 2008).

2009 yılında Hadizadeh ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, dokuma kumaşların başlangıç modüllerini tahminlemeye çalışmışlardır. Bunun için Leaf ve Kandil'in başlangıç modülünü hesaplamada kullandıkları matematiksel model ile yapay sinir ağıları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda matematiksel modellerin genellikle belirli idealize edilmiş varsayımlara dayanması nedeniyle, başarı potansiyelinin büyük ölçüde bu varsayımların uygulanabilirliği tarafından yönetildiği, yapı- özellik ilişkilerini belirleyen nedenleri açıklamak için daha kullanışlı olduklarını doğrulamışlar, tekstil endüstrisindeki karmaşık ve doğrusal olmayan süreçlerin modellenmesi için çıkan düşük tahmin hatası nedeniyle ($R=0,90$ ' ın üzerinde) başlangıç yük-uzama davranışını tahmin etmek amacıyla kullanılabileceğini ortaya çıkarmışlardır (Hadizadeh, Ali, Jeddi ve Tehran, 2009).

Behera ve Goyal' ın aynı yıl yaptıkları bir başka çalışmada, yapay sinir ağı modellerini kullanarak hava yastığı olarak kullanılacak kumaşların performans özelliklerini tahminlemişlerdir. Bunun için ileri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Girdi parametreleri olarak, kumaşların ağırlıkları, çözgü ve atkı sıklıkları, çözgü ve atkı iplik numaraları, çözgü ve atkı iplik mukavemetleri, çözgü ve atkı ipliği % uzamaları, kumaş örtü faktörü, çözgü ve atkı yüzde kıvrımları, kumaş kalınlığı, çözgü ve atkı eğilme rijitliği, her kumaş için sisteme tanıtılmıştır. Çıktı parametreleri olarak çözgü ve atkı kopma yükü, çözgü ve atkı yönü kumaş yüzde uzamaları, hava geçirgenliği, çözgü ve atkı yırtılma mukavemetleri, patlama mukavemeti, çözgü ve atkı dikiş direnci ve paketlenabilirlik tahminlenmeye çalışılmıştır. YSA performans tahmininin sonuçları düşük tahmin hatasına (ortalama %12) sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Behera ve Goyal, 2009).

2009 yılında Kadem ve Oğulata bezayağı ve dimi örgü yapısında ipliği boyalı pamuklu kumaş numuneleri üzerinde yırtılma mukavemetine etki ettiğini düşündükleri iplik numarası, atkı ve çözgü sıklıkları ve kumaş kalınlığını bağımsız değişken olarak her örgü için ayrı ayrı regresyon modeli oluşturmuşlar ve bezayağı ve dimi kumaşlarda bu değişkenlerin atkı yönünde yırtılma mukavemeti için belirlilik katsayısını %90 ın üzerinde bulmuşlardır. Bu etki çözgü yönünde atkı yönündeki kadar iyi çıkmamıştır (%64-%76 aralığında) (Kadem ve Oğulata, 2009).

Padaki ve arkadaşları 2010 yılında, ortaya koydukları çalışmalarında çok katmanlı kumaşlarda gerilme, sıkıştırılabilirlik ve geçirgenlik özelliklerine kumaş yapı faktörlerinden çapraz sıklık faktörü (CFF) ve iplik yüzme faktörü (FYF) etkisini araştırırken bunlara muadil olduğunu düşündükleri geçiş indeksi (I) ve yüzme indeksini (F) tanımlamışlardır. Etkinin

derecesini anlayabilmek adına regresyon modelleri oluşturmuşlar ve yapısal faktörlerin gerilme ve geçirgenlik özelliklerinde oldukça etkili olduğunu, sıkıştırılabilirlik özelliğinde ise etkisinin olmadığını ortaya koymuşlardır (Padaki, Alagirusamy, Deopuro ve Fangueno, 2010).

2011 yılında Abromavicius ve arkadaşları çeşitli 2/1 ve 2/2 örgü varyantlarında, aynı çözgüde farklı atkı sıklıklarında kumaş numunelerinde kopma kuvveti ve uzama özelliklerine tanımlamış oldukları Milasius'un P örgü faktörünün etkisini araştırmışlardır. Regresyon modellerinin belirlilik katsayılarına göre atkı sıklıklarının kopma kuvveti ve uzamaya etkisini %90'ların üzerinde bulurken, örgü faktörünün uzamaya etkisi her örgü için ayrı ayrı %0-65 arası ve mukavemete etkisi ise %0-85 arasında değişkenlik göstermiştir. Tüm örgüler için ortak bir model oluşturmamışlardır (Abromavicius, Laureckiene ve Milasius, 2011).

2011 yılında Malik ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, düz ve daha fazla yüzme uzunluğunda kumaşların (bezayağı ve 3/1 dimi örgülü) çözgü ve atkı yönünde gerilme dayanımlarının tahmini için çoklu regresyon modeli kullanmışlardır. Modeli oluşturmak için girdi verisi olarak çözgü ve atkı iplik mukavemetleri, kumaşların çözgü ve atkı sıklıkları ve örgülerin yüzme uzunluğu belirleyici değişkenler olarak kullanılmıştır. Gerçek değer ile model tahmini arasında korelasyon katsayısı 0,90'ın üzerinde çıkmış olup, kumaş gerilme mukavemetinin regresyon modeli yardımıyla doğru bir şekilde tahmin edilebileceği sonucuna varıldı (Malik, Malik, Hussain, Arain, ve Phil, 2011).

2012 yılında yine Malik ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, tek katmanlı ileri beslemeli geri yayılma yapay sinir ağlarını kullanarak, poliestere-pamuk karışımı kumaşlarda atkı ve çözgü yönlü gerilme mukavemetlerini tahminlemişlerdir. Girdi parametreleri olarak çözgü ve atkı ipliği doğrusal yoğunlukları, çözgü ve atkı sıklıkları, çözgü ve atkı iplikleri mukavemetleri ve kullanılan örgülerin yüzme uzunlukları alınmıştır. Bu girdilerin kopma kuvvetinin tahmin edilmesinde ayrı ayrı duyarlılıklarına bakılarak % katkı oranları ortaya çıkarılmıştır. Burada mukavemete en yüksek katkısı olan değişkenler atkı ve çözgü yönünde sıklıklar (%48) olarak bulunmuştur (Malik, Haleem, Malik ve Tanwari, 2012).

2012 yılında Sankaran ve Subramaniam 16 farklı örgü için Morino'nun çapraz sıklık faktörü (CFF) ve iplik yüzme faktörü (FYF) ile Milasius'un kumaş sıklık faktörü (FFF) değerlerini hesaplamış ve bu faktörlerin gerilme, eğilme, kesme, sıkıştırma ve yüzey özelliklerine etkisini ortaya koymuşlardır. Bunun için korelasyon eğrilerinden faydalanarak eğilme ve kesme özellikleri ile örgü parametreleri arasında güçlü korelasyon olduğunu, gerilme

özellikleri ile örgü parametreleri arasında ise zayıf korelasyon olduğu sonucunu çıkarmışlardır (Sankaran ve Subramaniam, 2012).

2012 yılında Özdemir ve Mert; Ashenhurst ortalama yüzme uzunluğu (F) ve Galceran'ın örgü geçiş katsayısı (KL)'nin hücresele kumaşlarda çekme, patlama ve darbe dayanımları üzerine etkisini araştırmışlardır. Buna göre yüzme uzunluğu fazla olan kumaşların patlama ve darbe dayanımları iyi iken bezayağı kumaşların ise çekme dayanımlarının daha iyi olduğu sonucunu istatistiksel testlerle ortaya koymuştur (Özdemir ve Mert, 2012).

2012 yılında Ming ve arkadaşları yaptıkları çalışmada zaman içerisinde yaşlanan ipek kumaşın kopma mukavemetlerini yapay sinir ağları ile tahminlemeye çalışmışlardır. İpek kumaşlar yaşlandırma için açık alana yerleştirilerek doğal yaşlanma süresi 150 gün olarak ayarlanmış ve kumaşlara 15, 30, 45, 60, 75, 90, 120 ve 150.nci günlerde kopma kuvveti testi yapılmıştır. Modelde, 15. gün, 30. gün, 45. gün, 60. gün ve 75. gün ölçülen kopma kuvveti değerleri modelleri eğitmek için kullanılırken, 90, 120 ve 150.nci gün ölçülen değerler tahminlenmeye çalışılmıştır. Yapay sinir ağlarının tahmin doğruluğu veri setinin genişliğine bağlıdır. Bu nedenle, sinir ağı, doğal eskime sürecinde ipek kumaşın mekanik özelliklerinin doğrudan öngörülmesi için uygun bulunmamıştır (Ming, Jiang ve Zuo, 2012).

2013 yılında Hatua ve arkadaşları yaptıkları çalışmada farklı oranlarda poliestere içerikli dokuma kumaşların ultraviyole koruma faktörünü (UPF) tahminlemeye çalışmışlardır. Tahminleme için doğrusal olmayan regresyon modeli (eğri uydurma) ve yapay sinir ağları kullanılmıştır. Girdi parametresi olarak, kumaşlarda atkı ipliği sıklığı, atkı numarası, atkı poliestere oranı alınmış, çıktı parametresi olarak da ultraviyole koruma faktörü tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak dokuma kumaşların UPF'si, doğrusal olmayan regresyon ve YSA modelleri ile çok iyi bir doğrulukla tahmin edilebildiği öngörülmüştür. YSA modelinin tahmin doğruluğu ($R^2=0,99$), doğrusal olmayan regresyon modelinden ($R^2=0,96$) daha iyi bulunmuştur (Hatua, Majumdar ve Das, 2013).

2015 yılında Yang ve arkadaşları çok katmanlı balistik kumaşlarda darbe direncine örgü yapısının etkisini araştırırken, Morino' nun çapraz sıklık faktörü (CFF) ve iplik yüzme faktörü (FYF), Padaki' nin geçiş indeksi (I) ve yüzme indeksi (F), Skliannikov' un örgü sıklık faktörü (C) ve Milasius' un örfü sıklık faktörü (FFF) yerine sıklığın daha iyi ifade edilebilmesi için Geçiş İndeksi (I) / Yüzme İndeksi (F) kullanımını önermiştir (Yang, Ngo ve Tran, 2015).

Mishra 2015 yılında yaptığı çalışmada, atkı ve çözgü yönünde tek iplik mukavemetinin kumaşta faydalanma yüzdesini yapay sinir ağı ile tahminlemeye çalışmışlardır. Girdi olarak atkı ve çözgü yönünde tek iplik mukavemeti (SL, ST), atkı ve çözgü yönünde % kıvrım (CL, CT), desen yüzme uzunluğu (FL), yük taşıyan iplikler arası mesafe (P), atkı ipliklerinin yük taşıyan iplik üzerindeki bağlanma kuvveti (VT) alınmış, çıktı parametresi ise iplik mukavemeti kullanım yüzdesi (%SU) dir. Yapay sinir ağı modelinin dokuma kumaşlarda farklı girdiler kullanılarak yapılan modellerde % iplik mukavemeti kullanımını çok iyi tahminlediği ($R^2=0,80-0,97$ aralığında) sonucuna varılmıştır (Mishra 2015).

2015 yılında Eryürük ve Kaloğlu ortaya koydukları çalışmada atkı sıklığı, kumaş ağırlığı ve kumaş kalınlığının çözgü yönünde ve atkı yönünde yırtılma mukavemetine etkisini araştırmışlar, ortaya koydukları basit doğrusal regresyon modelleri ile R^2 belirlilik katsayısına baktıklarında; çözgü yönünde yırtılma mukavemetinde en anlamlı açıklayıcı değişkenin %69 ile atkı sıklığı olduğunu, atkı yönünde yırtılma mukavemetinde ise %72 ile kumaş ağırlığı olduğunu vurgulamışlardır (Eryürük ve Kaloğlu, 2015).

2016 yılında Hossain, kumaşların kopma kuvveti, yırtılma mukavemeti ve patlama mukavemeti ile ilgili ortaya koydukları çalışmada bulundukları zaman itibarı ile geçmişte yapılmış mukavemetle ilgili çalışmalarda kabuller ve etkiyen faktörleri tablolar ile ortaya koymuşlar, özellikle örgü yapıları için örtme faktörü, geçiş ve yüzme indeksleri, sıklık faktörleri gibi tüm faktörleri de derlemişlerdir (Hossain, 2016).

Jahan'ın 2017 yılında yaptığı çalışmada, bezayağı, 2/1 dimi ve 2/2 dimi örgülerde kopma, yırtılma, aşınma ve eğilme dayanımının belirli iplik numarası ve sıklıklarda nasıl değiştiğini ortaya koymuştur. Buna göre bezayağı örgü kopma kuvveti ve eğilme dayanımında en yüksek değerler alırken, yırtılma mukavemeti ve aşınma dayanımında en iyi performansı yüzme uzunluğu en fazla olan 2/2 dimi örgüler göstermiştir (Jahan, 2017).

2017 yılında Türker; yaptıkları çalışmada pamuklu dokuma kumaşların kumaş ağırlığı, kalınlığı, atkı ve çözgü kopma mukavemetlerini, aynı zamanda poliester dokuma kumaşların ise hava ve su geçirgenliklerini tahmin etmeye çalışmıştır. Bunun için radyal temelli fonksiyon (RBF) ağı kullanmış ve poliester kumaşlar için yapay sinir ağı modelinde çözgü ve atkı sıklığı ve numarası ile örgü faktörü, çözgü ve atkı iplik tipi ve kumaş ağırlığı girdi parametresi olarak alınmış, reynolds sayısı ve hava geçirgenliği ise çıktı parametresi olarak alınmıştır. Pamuklu kumaşlarda ise örgü faktörü, çözgü ve atkı sıklık, numara ve kıvrım oranları ile çözgü ve atkının

üretim metotları girdi parametreleri olarak alınmış, kumaş kalınlığı, kumaş ağırlığı, çözgü ve atkı kopma mukavemetleri çıktı parametresi olarak alınmıştır. Aynı şartlarda dokunan poliester kumaşların atkı ve çözgü kopma kuvveti için ölçülen ve tahmin edilen değerler arası belirlilik katsayısı R^2 ; 0,90' ın üzerinde değerlerle pamuklu kumaşlara göre daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır (Türker, 2017).

Abou ve Nassif 2018 yılında, esneyebilir dokuma kumaşların sıklığını incelerken yapay sinir ağı, doğrusal regresyon ve logaritmik regresyon modelleri kullanmışlardır. Açıklayıcı değişken olarak kurdukları modellerde Milasius' un daha önce hesaplamış olduğu örgü faktörünü, elastan iplik numarasını ve yine elastan'ın çekim oranını almışlar ve modelin anlamlılığını belirlilik katsayısı R^2 ile doğrusal regresyonda %86, logaritmik regresyonda %89 ve YSA da %99,9 olarak bulmuşlardır (Abou ve Nassif, 2018).

2018 yılında Thanikai ve arkadaşları daha önce Milasius'un üzerinde çalıştığı 11 örgü için Morino' nun çapraz sıklık faktörü (CFF), iplik yüzme faktörü (FYF), Milasius' un örgü faktörü (P) ile kumaş sıklık faktörünün (FFF) yırtılma mukavemeti üzerine etkisini korelasyon analizi ile ortaya koymuşlardır. Buna göre CFF arttıkça yırtılma mukavemeti artmış, FYF arttıkça yine yırtılma mukavemeti artmış, FFF arttıkça yırtılma mukavemetinin azaldığını ve FYF ile P' nin pozitif ilişki içerisinde oldukları ve yırtılma mukavemeti üzerinde benzer etkilere sahip olduklarını vurgulamışlardır (Thanikai, Prakash ve Jebastin, 2018).

2018 yılında Milasius ve Laureckiene yaptıkları çalışmada sadece rips grubu ve dimi grubu örgüler için kumaşlarda yırtılma mukavemetinde örgünün etkisini incelerken Milasius ve Brierley örgü faktörlerini (P ve Fm) kullanarak regresyon modeli kurmuşlar, bu modelin tüm örgülerde anlamlı olmadığını ve kullanılamayacağını ortaya çıkarmışlardır (Milasius ve Laureckiene, 2018).

2019 yılında Shanbeh ve arkadaşları dokuma kumaşlarda örgü faktörlerinin kesme direncine etkisini araştırmışlar ve bunun için Milasius'un kumaş sıklık faktörü (FFF) ve Galuszynski'nin kumaş örtme faktörü (FCF)' nü kullanarak bunların kesme direnci üzerindeki etkilerini basit doğrusal regresyon modelleri ile ortaya koymuşlardır. Bu açıklayıcı değişkenlerin kesme direnci üzerine etkisini, R^2 belirlilik katsayısına bakarak %82-87 aralığında anlamlı bulmuşlardır (Shanbeh, Johari, Zarrebini, Barburski ve Komisarczyk, 2019).

Dokuma kumaşların tutum ve konfor özellikleri ile ilgili; 2004 yılında Hui ve arkadaşları yaptıkları çalışmada çok katmanlı ileri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağı modeli

kullanarak kumaş tutumunu tahminlemeye çalışmışlardır (Hui, Lau, Ng ve Chan, 2004). 2007 yılında Bhattacharjee ve Kothari; yaptıkları çalışmada pamuklu dokuma kumaşların termal dirençlerini ileri beslemeli geri yayılım ağı kullanarak tahminlemeye çalışmışlardır (Bhattacharjee ve Kothari, 2007). Pattanayak ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ileri beslemeli geri yayılım modeli kullanarak kumaş numunesinden dökümlülük parametreleri tahminlenmeye çalışılmıştır (Pattanayak, Luximon ve Khandal, 2010). Mitra ve arkadaşları yaptıkları çalışmada pamuklu kumaşların termal direncini tahminlemeye çalışmışlardır. Bunun için ileri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağlarını kullanmışlardır (Mitra, Majumdar, Majumdar ve Bannerjee, 2013). Erenler ve Oğulata; yaptıkları çalışmada, ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağlarını kullanarak, dokuma kumaşların sertliklerini tahminlemeye çalışmışlardır (Erenler ve Oğulata, 2013). Erenler ve Oğulata 2015 yılında, yapay sinir ağları ile oluşturdukları modelde gömleklik kumaşların konfor özelliklerinden hava geçirgenliği, su buharı geçirgenliği ve sertlik parametrelerini tahminlemeye çalışmışlardır (Erenler ve Oğulata, 2015). Tadesse ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bulanık mantık ve yapay sinir ağı modeli kullanarak kumaş toplam tutum değerlerini tahminlemeye çalışmışlardır (Tadesse vd., 2019). İtfaiyeci giysilerin termal koruyucu ve termofizyolojik konfor özelliklerini çok katmanlı ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağları ile tahmin eden bir çalışmayı da Mandal ve arkadaşları yapmışlardır (Mandal, Annaheim, Greve, Camenzind ve Rossi, 2019).

Geçmiş çalışmalara bakıldığında; dokuma kumaşların yapısal ve performans özelliklerinin tahminlenmesine yönelik çeşitli çalışmaların var olduğu görülür. Genelde, bu çalışmaların spesifik bir kumaş tipine ya da belirli bir kumaş özelliği ya da performansına odaklı olduğu dikkat çekmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, müşteri isteklerine uygun kumaş tasarımı yapmak üzere; kumaşın yapısal ve performans özelliklerinin tahminlenmesinde deneysel verilerin analiziyle elde edilen ampirik modeller ve yapay sinir ağları, rastgele orman algoritmaları ve Mars tekniğinin kullanıldığı skolaistik modeller yardımı ile tahmin gücünü ve kullanılabilirliğini daha geniş ürün aralığında uygulayabilmek olacaktır. Çalışma kapsamında kullanılacak endüstriyel veri setinin içerik ve büyüklüğü ile modellerin genel uygulanabilirliği ölçüsünde, kabul edilebilir düzeylerde tahminler verecek bir yöntem geliştirilmesi hedeflenecektir.

1.4 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın ana amacı dokuma kumaş tasarımı yaparken, kumaşın hedeflenen yapısal ve performans özelliklere uygun olarak üretilmesini sağlayacak girdileri belirleyecek bir model

geliştirmektedir. Girdi parametrelerini en etkin biçimde tahminlemek üzere, klasik istatistiksel yaklaşımlarının yanısıra yapay zekâ teknikleri de kullanılmış ve geliştirilen farklı modellerin tahmin güçleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Gerçek işletme verilerinin kullanıldığı istatistiksel regresyon modelleri ile yapay zekâ uygulamalarından yapay sinir ağları, rastgele orman algoritmaları ve Mars tekniklerinin kullanılabilirliği üzerine modeller geliştirilmiştir.

Bu çalışmada iki farklı firmada dokunmuş %100 pamuk ve poliester/viskon karışımı dokuma kumaşların yapısal özellikleri (kumaş eni, kumaş birim alan ağırlığı ve kumaş kıvrımları) ve performans özelliklerinin (kopma kuvveti, yırtılma mukavemeti ve dikiş kayma mukavemeti) tahminlenmesi için farklı bağımsız değişkenler (girdi değişkenleri) ile regresyon modelleri oluşturulmuştur. Bu modeller arasında, tahmin edilebilirlik açısından en iyi sonucu veren değişkenler ile yapay sinir ağları, rastgele orman algoritmaları ve mars teknikleri ile de modeller oluşturulmuş ve uygulanabilirliği açısından birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Bu konuda yapılmış çalışmalar incelendiğinde;

- Önceki çalışmalarda mevcut tahmin parametresine uygun olarak sayılı ölçekte tekstil ürününün üretilmesi ve test edilmesi üzerine kurgulanmıştır, bu tez çalışmasında sayıca oldukça fazla gerçek işletme verisi kullanılmıştır.
- Dokuma kumaş alanında hem yapısal hem de performans özelliklerinin aynı anda ve aynı parametreler ile tahmin edildiği çalışma günümüze kadar yapılmamıştır.
- Tekstil alanında her ne kadar istatistiksel olarak regresyon modelleri ile yapay sinir ağlarına dayalı modeller çalışılmış olsa da Mars tekniği ve rastgele orman algoritmaları ile tekstil alanında modellemeler ilk defa bu çalışma ile ortaya konmuştur.
- Dokuma kumaş alanında performans tahminine yönelik çalışmaların çoğunda temel örgüler ile üretilmiş kumaşlar kullanılmıştır. Bu çalışmada çok farklı örgülerde, birbirinden çok farklı konstrüksiyonlarda kumaşlar bir arada değerlendirilmiştir.
- Bu çalışma ile dokuma kumaşların gerek yapısal gerekse performans özelliklerinin tahmininde özellikle kumaşların örgü düzeni, literatürde şimdiye kadar ortaya konmuş tüm örgü faktörleri ve kumaş yapısal faktörleri ile subjektif olarak modellere dâhil edilmiştir.
- Literatürde tekstil alanında yapılmış hiçbir çalışmada farklı işletmelerden alınan numuneler birarada modellenmemiş ve modeller farklı veri setleriyle denenmemiştir. Bu tez çalışmasında iki farklı dokuma işletmesinden alınan veriler, önce ayrı ayrı daha sonra ise bir arada değerlendirilmiştir.
- Bu tez çalışmasında farklı parametreler ile 4000' e yakın model oluşturulmuş, birçok parametre, anlamlı kombinasyonlar ile modele dâhil edilmiş ve sonuçlar

karşılaştırılmıştır. Bu kadar çok parametrenin modellere katkısının ortaya konulduğu bu kadar kapsamlı bir çalışma ilk defa ele alınmıştır.

Tez çalışması, tekstil ve hazır giyim sektöründe bilgisayar destekli üretim bazında, hedef ürün spektlerine yönelik performans tahminleri yapabilecek ve üretim girdilerini doğru belirleyerek israf ve gecikmelerin de önüne geçilmesini sağlayacaktır. Bu çerçevede sektörün 11. Kalkınma planı öncelikli faaliyet alanları ile de örtüşmektedir. Benzer şekilde, Endüstri 4.0 ve nesnelerin interneti (IOT) uygulamalarının giderek önem kazandığı bir dönemde yapay zekâ uygulamalarının endüstride kullanılacak olması da yine ülkemizin kalkınma öncelikleri ile örtüşmektedir.

Bu çalışmanın akademik anlamda bir diğer önemi de sanayi ve üniversite iş birliği bazında çok geniş çapta endüstriyel veri setleriyle gerçekleştirilmiş olmasıdır. Çeşitli firmaların geçmiş yıllarda gerçekleştirmiş oldukları çok sayıda muhtelif ürünlere ait girdiler ve değişkenlerin kullanılmış olması hem çalışmanın endüstriyel boyutunu geliştirecek hem de öngörülecek tahmin değerlerinin tutarlılık ve duyarlılığını da daha üst düzeylere çıkaracaktır. Farklı kumaş tipleri arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığı ya da aynı kumaş tiplerinde dokunmuş endüstriyel dokuma kumaşlar arasındaki benzerlik düzeyinin ne ölçüde olduğuna dair pratik veriler de elde edilebilecektir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Dokuma Kumaş Özellikleri

2.1.1 Dokuma Kumaş Yapısal Özellikleri

Dokuma kumaşlar, birbirlerine dik yönde kesişen iki dizi ipliğin bu kesişme sırasında birbirine bağlanarak örgü dediğimiz bir düzende doku oluşturmasıyla elde edilen yapılardır. Bir dokuma kumaşı tam anlamıyla tanımlayabilmek için teknik tasarım sürecinde belirlenen temel yapısal değişkenleri; çözgü ve atkı iplik numaraları, çözgü ve atkı sıklıkları, örgü ve çözgü ve atkı kıvrımları olmak üzere 4 alt gruba ayrılır. Bu temel parametrelere bağlı yardımcı parametreler ise kumaş birim ağırlığı, kumaş kalınlığı, kumaş örtme faktörü, kumaş sıklığı (dokunabilirlik), kumaş genişliği (kumaş eni) ve kumaş uzunluğu (parti boyudur) olarak sıralanır (Özek, 2013).

Dokuma kumaş karakteristik parametrelerinin tanımlanması için “TS ISO 2959:2014 Dokuma kumaşın Tanımlanması” standardına göre şu değişkenlerin tanımlanmasını gerektirir.

- Kumaş işlem durumu
- Kompozisyon
- İplik Tanımları
- Birim uzunluktaki iplik sayıları
- Örgü
- Çözgü ve Atkı Düzenlemesi
- Kumaş eni
- Birim alan ağırlığı
- Üretim özellikleri

İpliğin inceliğini belirtmek amacıyla belirli uzunluk ve ağırlık birimlerinin çeşitli sistemler uyarınca oranlanması sonucu iplik numarası tespit edilir. Pamuk iplikçiliği gibi kesikli elyaf iplikçiliğinde yaygın olarak Ne numaralama sistemi, metrik sistemin dönüştürülmesiyle bulunur. Numaralama sistemlerinden Tex, metrik sisteme dâhil olup ipliğin lineer yoğunluğunu ifade eder ve 1000 m uzunluğundaki bir ipliğin gram cinsinden ağırlığını gösterir.

Sıklık, kumaşın eni ve boyu yönünde birim uzunluğa giren iplik sayısına denir. Çözümlü sıklığı, kumaşın eni boyunca, atkı sıklığı da kumaşın boyunca birim uzunluğa düşen iplik sayısıdır. Birim alandaki iplik sayısı atkı ve çözgü ipliği sayısı toplamıdır. Sıklık değerleri, iplik ya da (tel- atkı) /cm veya iplik/inç olarak ifade edilir (Özdil, 2014).

Kumaş örgüsü çözgü ve atkı ipliklerinin birbiriyle nasıl bir düzen içinde bağlantı yaptıklarını belirler. Kumaş tasarım uygulamalarında çoğu kumaşın örgüsü, küçük bir alan üzerindeki örgü düzeninin (raporunun), tüm kumaş alanı boyunca tekrarlanmasıyla elde edilir. Örgü türü, atkı ve çözgü ipliklerinin bağlantı ya da atlama dengesine bağlı olarak, maksimum sıklığı etkiler. Atlama uzunlukları arttıkça, bağlantı yapan ipliklerin sayısı oransal olarak azalır ve atlama bölgelerinin altında kalan iplikler daha fazla sıkıştırılabilir. Bu kumaşın daha sık dokunabileceğini ifade eder ve kumaş kalınlığı artar (Özek, 2013).

Dokuma kumaşları tasarlamak ve yapısal parametrelerini seçmek için dokumanın iki boyutlu örgü matrisinin her zaman bir faktörle değerlendirmeye alınması gerekir. Kumaş yapısını ortaya çıkarırken tasarımcıların özellikle ihtiyaç duyduğu bu faktör için ilk olarak, 19.yy’ da Ashenhurst (1884) tarafından ortalama yüzme uzunluğu (F) önerildi.

Ashenhurst’un ortalama yüzme uzunluğu F;

$$F_{1(2)} = \frac{R_{2(1)}}{t_{1(2)}} \quad (2.1)$$

burada R_1 ve R_2 sırasıyla örgü raporundaki çözgü ve atkı iplik sayılarını, t ise ipliklerin kesişerek yaptığı bağlantı sayısını vermektedir (Özek, 2013). Ancak, bu faktörün bir dokuma kumaşın teknik ve son kullanım açısından önemli olan tüm özelliklerini yansıtmadığı görülmüştür, yani örgü türleri arasındaki farkı ortaya koyamamıştır.

Benzer şekilde Galceran’ ın örgü faktörü KI ;

$$KI_{1(2)} = \frac{\sum_{i=1}^{R_{2(1)}} t_{1(2)i}}{R_1 R_2} \quad (2.2)$$

burada R_1 ve R_2 sırasıyla örgü raporundaki çözgü ve atkı iplik sayılarını, t ise ipliklerin yaptığı bağlantı sayısını vermektedir (Kumpikaite ve Sviderskytė, 2006).

Brierley (F^m) ve Skliannikov’ un (C) örgü faktörleri birbirine benzer yaklaşımlarla;

$$C = \frac{6R_1R_2 - (2n_f + \sum_{i=1}^6 K_i n_{fi})}{6R_1R_2} \quad (2.3)$$

$$F_m = \frac{1}{\sqrt{C}} \quad (2.4)$$

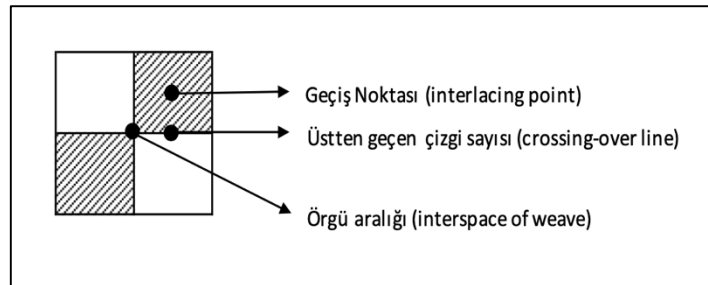
Burada R_1 ve R_2 sırasıyla örgü raporundaki çözgü ve atkı iplik sayılarını, n_f örgü yapısında iplikler arasındaki serbest alanları, K ise örgüye göre tanımlanan eliminasyon katsayısını verir (Milasius, 2000). Milasius bu çalışmanın devamında (P) örgü faktörünü geliştirmiştir (Milasius A ve Milasius V, 2008):

$$P_{1(2)} = \sqrt{\frac{3R_1R_2}{3R_1R_2 - (2n_{f1(2)} + \sum_{i=1}^6 K_i n_{fi1(2)})}} \quad (2.5)$$

Brierley, Skliannikov ve Milasius'un karmaşık yapıli örgü faktörlerine karşılık Morino daha basit bir yaklaşım ile sıklık faktörü (CFF) ile iplik yüzme faktörü (FYF);

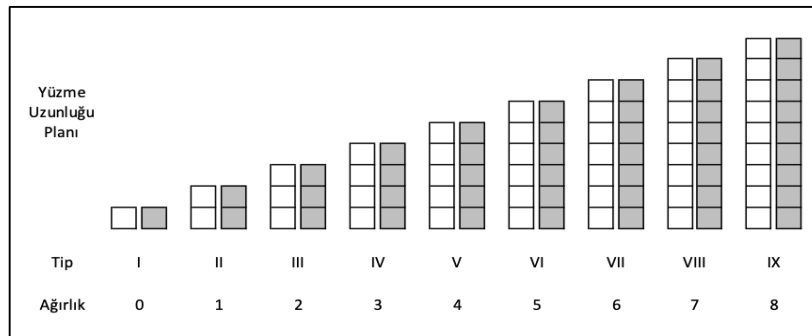
$$CFF = \frac{N_c}{N_i} \quad (2.6)$$

Burada Şekil 2.1'de görüldüğü gibi; N_c , tam tekrarda üstten geçen çizgilerin sayısını, N_i ise tam tekrarda birbirine geçiş nokta sayısını ifade eder (Morino ve Matsudaira, 2005).



Şekil 2.1. Bezayağı örgünün tam tekrarı (Morino ve Matsudaira, 2005)

$$FYF = \frac{(Tip1-9 - 1)(Bir tekrarda mevcut Tip1-9 sayısı)}{Tam Tekrarda Geçiş Sayısı} \quad (2.7)$$



Şekil 2.2. Yüzen ipliklerin 9 tipi ve ağırlıkları (Morino H ve Matsudaira M, 2005)

Formül 2.7’de FYF için yüzen iplik ağırlıkları Şekil 2.2’de verildiği gibidir.

Özellikle karışık desenli armürlü örgülerde CFF ve FYF değerlerinin hesaplamasının zaman almasından dolayı; daha kolay bir hesaplama yöntemi ile Padaki geçiş indeksi (I)’ni tanımlamış, bu indeksin CFF çapraz sıklık değeri ile aynı değeri verdiğini öngörmüştür:

$$I = \left(\frac{i_{wp} + i_{wf}}{R_1 R_2} \right) \quad (2.8)$$

burada; i çözgü ve atkıda geçiş sayısını, R ise tekrar sayısını verir (Padaki ve ark, 2010). Yine Padaki aynı şekilde yüzme indeksi (F) ile Morino’nun FYF iplik yüzme faktörünü aynı değerler ve daha kolay hesaplama yöntemi ile revize etmiştir:

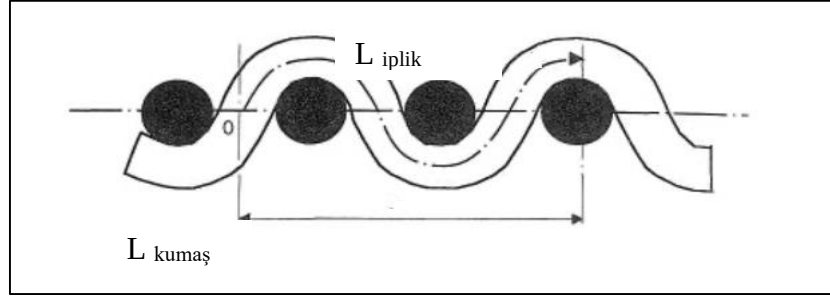
$$F = \left(\frac{f_{wp} + f_{wf}}{R_1 R_2} \right) \quad (2.9)$$

burada f_{wp} ve f_{wf} çözgü ve atkı yönünde yüzme sayısını, R ise tekrar sayısını verir (Padaki ve ark, 2010);

$$I + F = 2 \quad (2.10)$$

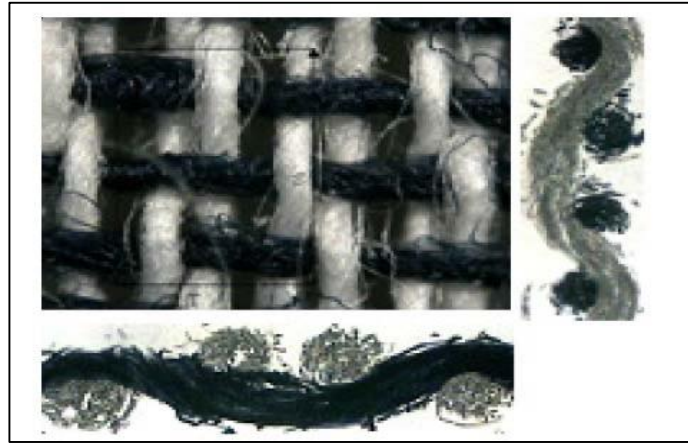
Bir diğer temel yapısal parametre iplik kıvrımıdır. Dokuma kumaşlar çözgü ve atkı ipliklerinin birbirine dik yönde kesişerek örgü yapısına göre bağlanmaları ile oluşur. Bu bağlantılar nedeniyle iplikler karşılıklı olarak alt konumdan üste ya da tersi olacak şekilde konum değiştirerek kumaş içine kıvrım olarak yerleşirler. Bu davranış, gergin çözgü iplikleri arasına örgü düzenine uygun biçimde yerleştirilen atkı ipliğinin tefeleme işlemiyle kumaş içine doğru sıkıştırılması ile uygulanır. Sıkıştırma işlemi sırasında çözgü iplikleri etrafında kıvrılmaya maruz kalan atkı ipliği, ağızlık içine yatırılan serbest uzunluğuna oranla daha uzun (dalgalı) bir yol izlemek zorunda kalacağından geriliminde de bir artış olur. Bu karşılıklı etkileşim sonucu, tezgâh üzerinde oluşan kumaş kendi düzleminde atkı ve çözgü yönündeki temel kuvvetlerin etkisi altında gergin ve kararsız bir yapıdadır. Bu yüzden kumaş tezgâhtan çıkarıldıktan sonra gerilmeler büyük ölçüde ortadan kalktığından, kumaş enden ve boydan çekerek daha yoğunlaşır (Başer, 1990). Çözgü ve atkıda oluşan kıvrım Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’te de görüldüğü gibi, dalgalı iplik uzunluğunun, kumaş uzunluğuna oranı olarak tanımlanabilir.

$$\text{Kıvrım} = \% c = \left(\frac{L_{\text{iplik}} - L_{\text{kumaş}}}{L_{\text{kumaş}}} \right) \times 100 \quad (2.11)$$



Şekil 2.3. Kumaşta kıvrım oluşumu (Özek, 2013)

Kıvrım değerleri çözgü ve atkı iplikleri için ayrı ayrı hesaplanır. Pratikte atkı kıvrımı, kullanılan tarak genişliği ve ham kumaş eni üzerinden de hesaplanabilir.



Şekil 2.4. İplik kıvrımının kumaşta görünümü (Özek, 2013)

Kumaşların kullanım yerleri ve kullanım koşullarına göre farklı ağırlıklarda olması istenir. Kumaş gramajına; kumaş sıklıkları, kumaşta kullanılan iplik numaraları, kumaşta kullanılan örgü tipi ve bitim işlemleri etki eder (Bozdoğan, 2010). Burada örgü tipi kumaş kıvrımları açısından önemlidir.

Kumaşlara ait bir başka yapısal parametre kumaş kalınlığıdır. Kumaş kalınlığı, kumaşların ön yüzü ile arka yüzü arasındaki en üst ve alt yüzeyler arasındaki mesafedir. Pratikte kalınlık ölçümleri, kumaşların ölçümde kullanılan basınca çok duyarlı oldukları için nadiren kullanılır. Bunun yerine birim alan başına kumaş ağırlığı ticari olarak kalınlık göstergesi olarak kullanılır (Saville,1999).

Bir dokuma kumaşın, mümkün olan maksimum sıklık değerlerinde dokunmuş referans kumaş parametrelerine oranı, “kumaş sıklığı” (fabric tightness) olarak adlandırılır. Kumaş sıklığı, kumaşın örtme faktörü ile benzer amaçlar için kullanılır. Buradaki amaç, kumaş

özelliklerinin kumaş sıklığı ile ilişkilendirilmesi ve tasarımın belli bir performansa sahip kumaş ile ilişkilendirilmesine olanak sağlamasıdır. Love ve Hamilton, kumaş sıklığını kumaş örtme faktörü ile ilişkilendirmiş olup kullanılabilirliği farklı örgülerde iplik çaplarının kestirilmesindeki zorluk ve örtme faktörü için kullanılan tabloların karmaşıklığı nedeniyle dokuma kumaş tasarımında kullanılabilirliğini kısıtlamıştır (Özek, 2013).

Pierce'ın kumaş örtme faktörü, kumaş örgüsündeki farklılığı ortaya koymamakla beraber;

Peirce'ın dokuma limitlerine örtme faktörü (Göktepe Ö, 2015);

$$K_1 = \frac{n_1}{\sqrt{N_{e1}}} \quad \text{ve} \quad K_2 = \frac{n_2}{\sqrt{N_{e2}}} \quad (2.12)$$

$$K = K_1 + K_2 - \frac{K_1 K_2}{28} \quad (2.13)$$

Burada n inçteki iplik sıklığı olup, N_e numara imperyal birim sisteminde iplik numarasıdır.

Yıllar içerisinde Galseran ve Seyam; kumaşın örtmesini ve sıklığını aynı anda ifade eden, kumaşın örgü türünü, sıklık ve iplik numaralarını da kapsayan kumaş yapı faktörünü ortaya koymuşlardır. Galceran'ın kumaş yapı faktörü;

$$OG_1 = \frac{(1+0,73Kl_1)(S_1\sqrt{T_1}+S_2\sqrt{T_2})}{5\sqrt{1000}+(\sqrt{\pi\rho_1}+\sqrt{\pi\rho_2})} \quad (2.14)$$

$$OG_2 = \frac{(1+0,73Kl_2)(S_1\sqrt{T_1}+S_2\sqrt{T_2})}{5\sqrt{1000}+(\sqrt{\pi\rho_1}+\sqrt{\pi\rho_2})} \quad (2.15)$$

$$OG = \frac{\frac{S_1\sqrt{T_1}}{\sqrt{1000}} + \frac{S_2\sqrt{T_2}}{\sqrt{1000}}}{\frac{5\sqrt{\pi\rho_1}}{1+0,73Kl_1} + \frac{5\sqrt{\pi\rho_2}}{1+0,73Kl_2}} \quad (2.16)$$

Burada OG₁ ve OG₂ çözgü ve atkı yönünde yapı faktörünü OG ise genel yapı faktörünü verir. Her üç formül 100 ile çarpıldığında değerler yüzdelik olarak ifade edilir. Kl: Galceran'ın örgü faktörü, T: lineer yoğunluk (tex), S: sıklık (tel/cm) ve ρ : lif özgül ağırlığını (g/cm³) ifade eder (Hossain, 2016).

Seyam'ın kumaş yapı faktörü;

$$T_1 = \frac{S_1}{F_2} d_1 \left(\frac{\pi(F_2-1)}{4} + 2 \right) \quad \text{ve} \quad T_2 = \frac{S_2}{F_1} d_2 \left(\frac{\pi(F_1-1)}{4} + 2 \right) \quad (2.17)$$

$$t_{m1} = \frac{e_1}{(e_1 - i_1)\pi d_1 / 4 + 2i_1 d_1} \quad \text{ve} \quad t_{m2} = \frac{e_2}{(e_2 - i_2)\pi d_2 / 4 + 2i_2 d_2} \quad (2.18)$$

$$T_s = \frac{S_1 + S_2}{t_{m1} + t_{m2}} \quad (2.19)$$

Burada T_1 ve T_2 çözgü ve atkı yönünde kumaş yapı faktörü, T_s ise kumaş sıkılık faktörüdür. Formüllerde; S : çözgü ve atkı yönünde iplik sıklıkları (tel/cm), F : çözgü ve atkı yönünde Ashenhurst örgü faktörü, d : çözgü ve atkı yönünde iplik çapları, e : birim örgüde çözgü ve atkı yönünde iplik sayısı, i : birim örgüde çözgü ve atkı yönünde kesişme (intersection) sayısı, t_m : atkı ve çözgü yönünde maksimum sıklık değerlerini ifade eder.

Son olarak kumaşların yardımcı yapısal parametreleri metrik sistemle ölçülen kumaş eni ve kumaş boyudur. Konfeksiyonda serim ve kesimin gerçekleşeceği masasının enine göre müşteri tarafından belirli bir kumaş eni talep edilebilir. Kumaş eni ham ve mamül olarak bir metre yardımıyla düz bir zeminde serbest halde ve kırışksız olarak serilmiş kumaşın, iki kenarı arasında uzaklığın kenarlara dik olarak ölçülmesiyle bulunur. Kumaş tasarımı aşamasında ham ve mamül kumaş eninin doğru tahminlenmesi son derece önemlidir. Müşterilerin istediği kumaş boyunda üretimi gerçekleştirmek çözgü boyunca ham ve mamül kumaş proseslerinde kıvrımların doğru tahmin edilmesiyle gerçekleşir.

2.1.2 Dokuma Kumaş Mekanik Özellikleri

Kumaşların mekanik özellikleri arasında, kopma kuvveti önemli performans kriterlerinden biri olarak öne çıkar. Çeşitli fiziksel testler ile ölçülen mekanik özellikler sayesinde, kumaşın öngörülen tasarım amacına uygun olup olmadığı ve kumaşın kullanım esnasındaki olası performansı belirlenir.

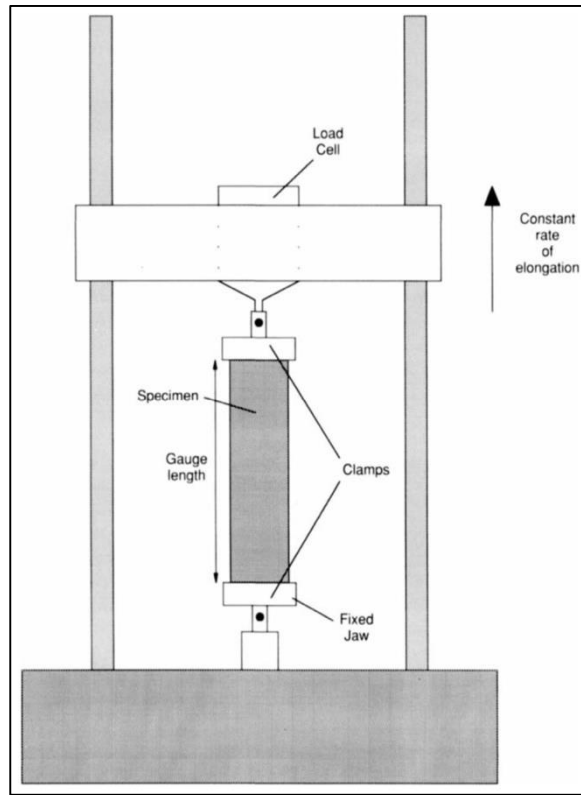
Kumaşın mekanik özellikleri arasında; kumaşın kopma kuvveti ve kopma uzaması, yırtılma mukavemeti, patlama mukavemeti, aşınma mukavemeti, dikiş mukavemeti ve dikiş kayma dayanımı ile boncuklanma (pilling) ve buruşmazlık sayılabilir. Bu çalışmada dokuma kumaşların mekanik özelliklerinden kopma kuvveti, yırtılma mukavemeti ve dikiş kayma dayanımı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

2.1.2.1 Kumaş Kopma Kuvveti

Kopma kuvveti, kopma ile sonuçlanan bir çekme deneyinde kumaş numunesine kopma anında uygulanan en büyük kuvvettir. Kumaşın kopma kuvvetine, lif özelliklerinden lif cinsi,

inceliği, mukavemeti, stapel uzunluğu ve olgunluk derecesi; iplik özelliklerinden, iplik numarası, düzgünsüzlük, büküm faktörü ve kat adeti; kumaş özelliklerinden sıklık ve kıvrım değerleri, iplik numaraları, örgü ve son olarak kumaşa uygulanan terbiye, renklendirme ve bitim işlemleri etki eder.

Kopma kuvveti özellikle dokuma kumaşlarda kullanılan en önemli performans karakteristiklerinden biri olup, çekme kuvvetinin materyale uygulanış biçimi dikkate alınarak farklı prensiple çalışan cihazlarla ölçümü yapılabilir. Şekil 2.5'te görüldüğü gibi dokuma kumaşların kopma kuvveti yaygın olarak sabit uzama oranı (CRE) ilkesi ile çalışılan cihazlar ile ölçülür.



Şekil 2.5.CRE prensibine göre çalışan kopma mukavemet cihazı (Saville,1999)

Kopma kuvveti, çekme kuvveti çözgü ve atkı yönünde olacak şekilde yerleştirilen belirli en ve uzunluktaki numuneler ile ilgili standartlara uygun olarak ayrı ayrı ölçülür.

2.1.2.2 Kumaş Yırtılma Mukavemeti

Yırtılma mukavemeti, belirli koşullar altında bir kumaşta yırtılmayı başlatmak, devam ettirmek veya yaymak için gereken karşı koyma kuvvetidir (Hu, 2008). Yırtılma davranışı, kumaş ve giysilerin kullanım sürecinde çok sık maruz kaldıkları bir durumdur. Yırtılmaya karşı

dayanıklılık ev tekstilleri, askeri giysiler, çadır ve yelken bezleri gibi kullanım yerlerinin yanı sıra tüm giysilik dokuma kumaşlar için de gereklidir, çünkü her türlü tekstil ürünün son kullanıma bağlı olarak yırtılması, ürün kalitesini dolayısıyla müşteri imajını etkileyen en önemli parametrelerdendir.

Yırtılma sırasında iplikler ya tek tek ya da gruplar halinde kopar, bu nedenle yırtılmada tek ipliklerin mukavemeti önemlidir. Genelde yırtılma işleminde, kumaş konstrüksiyonuna bağlı olarak iplikler birbirleri üzerinden kayarak küçük gruplar teşkil etmekte ve sonra kopmaktadır. İplikler ne kadar yumuşak ve kayma özelliği ne kadar çoksa kümeleşmeleri de o kadar kolaydır. Uzun atlamaların olduğu örgüler, sık bağlantılı bezayağı tipi örgülere göre ipliklerin daha rahat hareket etmesine ve kümeleşmesine izin verdikleri için yırtılmaya karşı daha dirençli olurlar. Kumaşın çözgü ve atkı sıklığı, doğal olarak yırtılma mukavemeti üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Ancak, yüksek sıklığa sahip kumaşlar, yüksek kopma kuvvetine karşın; rijit yapıları nedeniyle daha düşük yırtılma mukavemetine sahiptir (Bozdoğan, 2010). Kumaşlara uygulanan terbiye işlemleri de kumaşların yırtılma özelliğini değiştirir. Örneğin buruşmazlık ya da kaplama işlemi ipliklerin kümeleşmesini güçleştirdiği buruşmazlık işlemine tabi tutulan kumaşların yırtılma mukavemeti daha düşük olmaktadır.

Yırtılma mukavemeti ölçümü, CRE tipi universal çekme kopma cihazlarıyla yapılabiliyor olsa da yaygın olarak sarkaç metodu ile çalışan yırtılma mukavemeti test cihazları ile ölçülür. Şekil 2.6'da verilen balistik sarkaç metodu ile çalışan Elmendorf aleti sıkça kullanılmaktadır. Üzerinde önceden kesilmiş bir çentik bulunan dikdörtgen şeklinde hazırlanan numunenin iki ucu, test cihazının biri sabit diğeri hareketli iki çenesi arasında sabitlenir. Hareketli çenenin bağlı olduğu ve yerçekimi etkisi ile aşağıya doğru salınım yapabilen sarkaç kolun serbest bırakılmasıyla numune yırtılma etkisine maruz bırakılır. Sarkaç başlangıç pozisyonundayken, en yüksek potansiyel enerjiye sahiptir ve numune bu konumdayken çeneler arasına yerleştirilir. Sarkacın serbest bırakılmasıyla birlikte, hareketli çene ileriye doğru hareket etmekte, dolayısıyla sabit ve hareketli çeneler birbirinden ayrılmaktadır. Sarkacın, başlangıçtaki yüksekliği sebebiyle sahip olduğu potansiyel enerjinin bir kısmı kumaş boyunca meydana gelen yırtılma sebebiyle kaybedilmektedir. Dolayısıyla, sarkaç en alt pozisyonuna ulaştığında, yeniden en üst pozisyona ulaşacak enerjiye sahip olmamaktadır. Başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki yükseklik farkı, kumaşın yırtılması esnasındaki enerji kaybı ile orantılı olmaktadır (Saville, 1999).



Şekil 2.6. Yırtılma mukavemeti test cihazı ve numune yerleşimi (Kastacı, 2016)

İlgili standart dikkate alınarak yırtılma mukavemeti testi atkı ve çözgü yönünde, kumaşta aynı atkı ve çözgüye denk gelmeyecek şekilde farklı yerlerinden 5 defa tekrarlanır ve ortalamaları alınır.

2.1.2.3 Kumaşlarda Dikiş Kayması Dayanımı

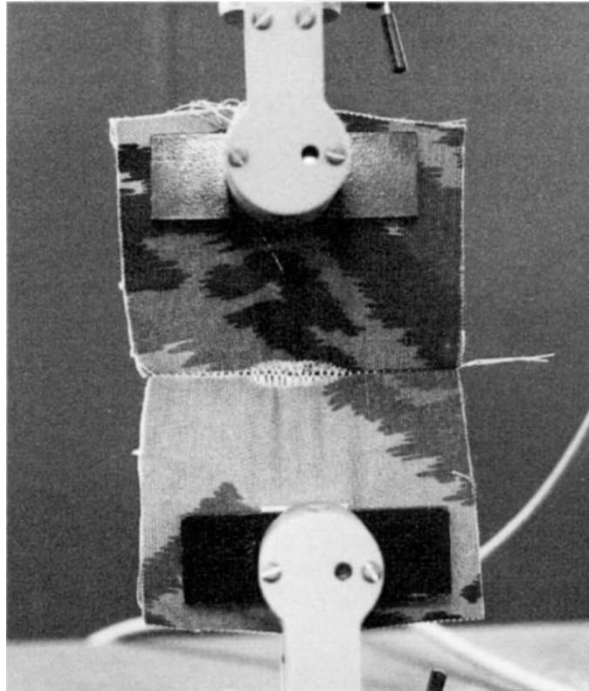
Dikilmiş bir giysinin kalitesi ve performansı, görünüm ve diğer mekanik özellikler ile dikiş mukavemetine ve dikiş kaymasına bağlıdır. Dikiş ipliğinin kopması veya dikiş kayması nedeniyle giysinin dikiş yerlerinin bozulması, servis edilebilirliği etkiler. Dikiş mukavemeti veya dikişin açılmasına direnme kabiliyeti önemli bir kumaş özelliğidir ve dikiş verimliliğini ve optimum dikiş koşullarını belirlemek için gereklidir. Bunlar, dikiş tipini, ilmek tipini, dikişin birim uzunluğu başına ilmek sayısını, dikiş ipliği boyutunu ve iğne boyutunu içerebilir.

Dikiş mukavemeti, dikiş hattında dikiş ipliğini koparmak için gereken kuvvetle ilgilidir. Genellikle bir dikiş ipliğinin mukavemetini test etmek veya güçlü endüstriyel kumaşlarda birleşim yerlerini test etmek için kullanılır. Dikiş kayması, dikiş yönüne dik bir kuvvetin uygulanması nedeniyle dikişin açılma eğilimi olarak tanımlanır. Bir kumaşın dikiş yerindeki iplik kaymasının bir ölçüsüdür. Bazen dikişi dikmek için kullanılan ipliğin kırılmasını ifade eder. Dikiş kayma testi, dikiş açma testi olarak da adlandırılır.

Bir giyside veya ev eşyasında aşağıdakiler de dâhil olmak üzere farklı nedenlerle dikiş kayması meydana gelebilir:

- Belirli iplik ve kumaş yapı özelliklerine göre düşük sayıda çözgü veya atkı ipliği
- Dikiş payı çok küçük
- Kullanım nedeniyle dikişe uygulanan yüksek kuvvet gereksinimleri
- Yanlış dikiş seçimi veya yapısı
- Dikişin yetersiz esnekliği (Hu, 2008).

Dokuma kumaşlarda dikişte ipliklerin kayma dayanımı sabit dikiş açılması metodu ve sabit yük metodu olarak iki farklı yöntemle test edilir. Her iki yöntemde numunelerin hazırlanma şekli farklı olup, sabit dikiş açılması metodu testi yapılacak kumaşın dikişsiz kumaşla mukayesesini de mümkün kılmaktadır. Deney cihazı olarak Şekil 2.7’de de görüldüğü gibi, bir çenesi sabit diğeri test boyunca sabit hızla hareket eden (CRE tipi) çekme cihazları kullanılır. Test, çözgü ve atkı yönünde uygulandığı standarda göre en az beş numune üzerinde tekrarlanır.



Şekil 2.7. Kopma mukavemet cihazında dikiş kayma dayanımı testi (Saville,1999)

2.2 Regresyon Analizi ve Kuramsal Yapısı

2.2.1 Regresyon Analizi Tanımı

Regresyon analizi değişkenler arası fonksiyonel ilişkilerin araştırılmasında kullanılan bir yöntemdir. Daha genel anlamda, regresyon analizi, bir yanıt (bağımlı) değişkeni ve bir veya

birkaç açıklayıcı değişken arasındaki nedensel ilişkiyi tanımlama, tahmin veya kestirmek için kullanılan istatistiksel modeller sınıfı olarak da ifade edilebilir (Aydın, 2014). Regresyon çözümlemesinde “Açıklanan ya da Bağımlı Değişken” ve “Açıklayıcı ya da Bağımsız Değişken” olmak üzere iki değişken ile ilgilenilir. Burada olayı tanımlayan bağımlı değişken ve olayı etkileyen ise bağımsız değişkendir (Ersöz ve Ersöz, 2019).

Regresyon modeli; açıklayıcı yani bağımsız değişkenlerin sayısına, fonksiyon özelliğine ve veri kaynağına göre sınıflandırılır. Bağımsız değişkenlerin sayısına göre gruplandırıldığında basit regresyon analizi ve çoklu regresyon analizi söz konusudur. Fonksiyon özelliğine göre; gruplandırıldığında doğrusal regresyon analizi ve doğrusal olmayan regresyon analizini içerir. Veri kaynağına göre gruplandırıldığında ise ana kütle verileri ile regresyon analizi; örneklem verileri ile regresyon analizi ve zaman serilerinde regresyon analizi söz konusudur (Kargı, 2015).

Yanıt değişkeni Y ve açıklayıcı değişkenler kümesi $X_1, X_2, \dots, X_k$ (k açıklayıcı değişken sayısını gösterir) ile ifade edilir. Y ve $X_1, X_2, \dots, X_k$ arasındaki gerçek ilişki aşağıdaki gibi bir regresyon modeli ile yaklaştırılır:

Yanıt (bağımlı) değişkeni = açıklayıcı (bağımsız) değişkenlerin bir fonksiyonu + rassal hata veya matematiksel bir biçimde,

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) + \varepsilon \quad (2.20)$$

olarak ifade edilir.

Hangi yöntem olursa olsun regresyon analizlerinin işleyiş süreci:

- Problemin ifadesi
- Konuyla ilgili potansiyel değişkenlerin seçimi
- Veri toplama
- Model tanımlama
- Tahmin yönteminin seçimi
- Model tahmini
- Model doğrulama ve eleştiri şeklinde sıralanır (Aydın, 2014).

2.2.2 Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli

Regresyon modelinde bir bağımlı ve birden fazla bağımsız değişkenin bulunduğu ana kütle, çoklu regresyon modelinde;

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \dots + \beta_k X_{ik} + \epsilon_i \quad (2.21)$$

şeklinde gösterilebilir. Bu modelde Y_i , bağımlı yani etkilenen değişken, X_{i1} , X_{i2} , X_{i3} , ..., X_{ik} ise bağımsız, yani etkileyen değişkenler, ϵ_i ise hata terimidir. Modelde k-1 sayıda bağımsız değişken, k sayıda değişken ve katsayı bulunmaktadır (Turanlı ve Güriş, 2010).

Çoklu doğrusal regresyon modelinde β_0 parametresi regresyon sabitidir. Diğer bir deyişle modelde yer alan bütün bağımsız değişkenlerin değerleri sabit tutulduğunda β_0 bağımlı değişkenin ortalamasını verir. β_1 'den β_k 'ye kadar olan X değişkenlerinin katsayıları ise kısmi regresyon katsayılarıdır. Örneğin β_k yorumlanırken bu parametreye ilişkin değişken X_{ik} dışındaki diğer tüm bağımsız değişkenlerin etkilerinin sabit olduğu varsayılır ve bu varsayım altında X_{ik} 'deki bir değişkenin ortalamasında ne kadar bir değişmeye yol açtığını gösterir. β_1 ... β_k nin modelde yer alan işaretleri ise bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki bağıntının yönünü vermektedir (Kargı, 2015).

Bu testin kullanılabilmesi için;

- Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olmalıdır.
- Bağımsız değişkenlerin birbiriyle ilişkili (Çoklu bağlantı- Multicollinearty) olmaması
- Hata terimlerinin normal dağılması (Normallik- Normality)
- Hata terimlerinin varyansının sabit olması (Eşvaryanslık- Homoscedasticity)
- Hata terimleri arasında ilişki olmaması (Otokorelasyon-Autocorrelation)
- Bağımlı değişkende oranlı ve aralıklı ölçek kullanılması gibi varsayımların sağlanması gerekir (Ersöz F ve Ersöz T, 2019)

Çoklu doğrusal regresyon modelinde $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \dots + \beta_k X_{ik} + \epsilon_i$ ve Y değişkenlerinin bütün değerleri bilindiğinde β_0 , β_1 .. β_k katsayılarının sayısal değerleri bulunabilir. Ancak tüm değerleri bilmek olanaksızdır; bu nedenle, ana kütleyle ilişkin örnek gözlemler kullanılarak katsayıların tahmini yapılır (Kargı V, 2015). Regresyon denkleminde yer alan katsayılar, en küçük kareler yönteminden yararlanarak gerçek Y değerleri ile tahmin

edilen Y' değerleri arasındaki farklarının kareleri minimize edilerek belirlenebilir (Turanlı ve Gürış, 2010).

X ile Y arasında gerçek ilişki;

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \dots + \beta_k X_{ik} + \epsilon_i \quad (2.22)$$

Burada ϵ_i hata terimidir. Tahmin edilen ilişki ise;

$$\widehat{Y}_i = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 X_{i1} + \widehat{\beta}_2 X_{i2} + \widehat{\beta}_3 X_{i3} + \dots + \widehat{\beta}_k X_{ik} + e_i \quad (2.23)$$

Burada e_i , ϵ_i hata teriminin gerçek değerinin tahmin değerini ifade eder ve bu terime kalıntı terimi denir.

$$T = \sum_{i=1}^k (Y_i - \widehat{Y}_i) \quad (2.24)$$

T'nin $\widehat{\beta}_0, \widehat{\beta}_1, \dots, \widehat{\beta}_k$ ya göre kısmi türevleri alınarak sıfıra eşitlendiğinde katsayılar ayrı ayrı bulunur.

$$\frac{\partial T}{\partial \widehat{\beta}_0} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial \widehat{\beta}_1} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial \widehat{\beta}_2} = 0, \dots, \quad \frac{\partial T}{\partial \widehat{\beta}_k} = 0 \quad (2.25)$$

Çoklu doğrusal regresyon modelinde hesaplama ve yorumlar, basit doğrusal regresyon modeline benzetmekle beraber klasik yöntemle hesaplamadaki zorluklardan dolayı SPSS, Minitab, R programlama dili veya Microsoft Office Excel programları ile çok daha kolay yapılabilmektedir (Ersöz F, Ersöz T, 2020).

2.2.2.1 Tahminlerin Standart Hatası

Tahminin standart hatası, regresyon yardımı ile yapılacak tahminin doğruluğunu gösterir. Hata sıfıra ne kadar yakınsa yapılan tahminler o derece güvenilirler. Tahminin standart hatası;

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{\sum e^2}{n-k}} = \sqrt{\frac{\sum (Y - \widehat{Y})^2}{n-k}} \quad (2.26)$$

formülü ile hesaplanır. Formülde yer alan n değeri örnekleme ilişkin veri sayısını, k değeri de modelde yer alan değişken sayısını gösterir (Kargı, 2015).

2.2.2.2 Çoklu Determinasyon (Belirlilik) Katsayısı

Çok değişkenli doğrusal regresyon modelinde, r^2 modelin bağımsız değişkenlerinin, bağımlı değişkendeki değişkenlik düzeyini ne derece açıkladığının ölçüsüdür. Bu uyum iyiliğinin bir ölçüsü olup korelasyon katsayısı “r” nin karesi ile ifade edilir. İki değişkenli

modelde determinasyon katsayısı “ r^2 ” ile gösterilirken ikiden çok değişkenli modellerde ise “ R^2 ” ile gösterilir (Bozoğlu, 2022).

$$\begin{matrix} (SST) & (SSR) & (SSE) \\ \text{Toplam değişim} & = & \text{Açıklanan değişim} + \text{Açıklanamayan değişim (hata)} \end{matrix} \quad (2.27)$$

$$SST = \sum (Y - \bar{Y})^2 \quad (SST = \text{Toplam değişimin kareleri toplamı}) \quad (2.28)$$

$$SSE = \sum (Y - \hat{Y})^2 \quad (SSE = \text{Açıklanamayan hata terimlerinin kareleri toplamı}) \quad (2.29)$$

$$SSR = \sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2 \quad (SSR = \text{Açıklanan değişimin kareleri toplamı}) \quad (2.30)$$

Belirlilik katsayısı açıklanan değişimin, toplam değişmeye oranı olarak tanımlanır ve;

$$1 = \frac{SSE}{SST} + \frac{SSR}{SST} \quad (2.31)$$

$$\frac{SSE}{SST} = 1 - \frac{SSR}{SST} \quad (2.32)$$

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST} \quad (2.33)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2} \quad (2.34)$$

R^2 değeri 0 ile 1 arasında değişir. Bu değerin 0’ a yaklaşması bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkendeki değişmeyi açıklayamadığını gösterirken, 1’e yaklaşması ise bağımlı değişkendeki değişimin bağımsız değişkenler tarafından iyi açıklandığını gösterir (Bayram, 2016). R^2 değeri modele yeni bir değişken eklendiğinde daima artar. Çünkü R^2 ifadesinin. Payı artarken paydası aynı kalır. Bu sakıncayı ortadan kaldırmak için modele yeni değişkenler eklendiğinde serbestlik derecesi hesaba katılarak düzeltme yapılır. Buna düzeltilmiş çoklu determinasyon katsayısı denir ve (Kargı, 2015);

$$R^{-2} = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-k} \quad (2.35)$$

$$\text{ya da } R^{-2} = 1 - \frac{\sum \frac{e^2}{n-k}}{\sum \frac{y^2}{n-1}} \quad (2.36)$$

2.2.2.3 Regresyon Modelinin Genel Anlamlılığının (Uyum İyiliğinin) Sınanması

Bağımsız değişkenlerin her biri ile ($x_1, x_2, \dots, x_k$), bağımlı değişken (y) arasındaki ilişkiyi sağlayan parametrelerin hepsi birlikte test edilmek istenirse F testine başvurulur. F testi bağımsız değişkenlerin tamamının bağımlı değişken üzerindeki etkisini test etmek için kullanılır. Bu süreç çoğu zaman modelin tamamının ya da genel yeterliliğinin bir testi olarak düşünülebilir (Montgomery, Peck ve Vining, 2012). Uygun hipotezler: $H_0 : \beta_0 = \beta_1 = \dots = \beta_k = 0$ (sıfır hipotezi) ve $H_1 : \beta_j \neq 0$ en az bir j için (karşıt hipotez)'dir.

Sıfır hipotezinin reddedilmesi, $x_1, x_2, \dots, x_k$, bağımsız değişkenlerinden en az birinin modele anlamlı bir katkısı olduğunu gösterir.

Çizelge 2.1.Çoklu doğrusal regresyon analizinde varyans analizi (Kargı, 2015)

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F_0
Regresyon	$SSR = \sum(\hat{Y} - \bar{Y})^2$	$k-1$	$MSR = \frac{SSR}{k-1}$	$F = \frac{MSR}{MSE}$
Artıklar	$SSE = \sum(Y - \hat{Y})^2$	$n-k$	$MSE = \frac{SSE}{n-k}$	
Toplam	$SST = \sum(Y - \bar{Y})^2$	$n-1$	$MST = \frac{SST}{n-1}$	

Regresyon analizlerinde model anlamlılığı için kullanılan varyans tablosu Çizelge 2.1'de verilmiştir. Eğer hesaplanan F değeri, F tablo istatistiği değerinden büyükse;

$$F_0 > F(\alpha, k-1, n-k) \quad (2.37)$$

ise H_0 hipotezi reddedilir, yani bağımsız değişkenler X , bağımlı değişken olan Y 'yi açıklamakta anlamlı olduğunu ve parametrelerin hepsinin sıfır olmadığını gösterir.

Aslında F oranı R^2 nin anlamlılığının sınanmasıdır. Çünkü R^2 istatistiki olarak anlamlı bulunmazsa Y ile X arasında doğrusal bir ilişki yok demektir. Yani parametreler sıfıra eşittir (Şenesen, Şenesen, 1992).

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-k}{k-1} \quad (2.38)$$

2.2.2.4 Regresyon Katsayılarının Önem Testi

Çoklu regresyonda katsayıların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı t-test kullanılarak test edilebilir. Test edilecek katsayı β_i ise temel hipotezleri; $H_0: \beta_j = 0$ (sıfır hipotezi) ve $H_1: \beta_i \neq 0$ (karşıt hipotez)' dir.

t- test tablolarından α anlamlılık düzeyinde ve (n-k) serbestlik derecesinde t tablo değeri bulunur ve t değeri hesaplanarak karşılaştırılır. t istatistiği:

$$t = \frac{\widehat{\beta}_0 - \beta_i}{\sigma_i} \quad (2.39)$$

Eğer $|t_{hesaplanan}| > |t_{tablo}|$ ise sıfır hipotezi reddedilir, karşıt hipotez kabul edilir. Bu durumda regresyon denkleminde katsayıların sıfırdan farklı ve anlamlı olduğu sonucuna varılır (Turanlı ve Güriş, 2010).

2.2.2.5 Regresyon Modellerinde En iyi Alt Kümenin Belirlenmesi (Stepwise Yöntemi)

Regresyon analizlerinde stepwise yöntemi, tahmine dayalı değişkenlerin seçiminin otomatik bir prosedürle gerçekleştirildiği modele uyma yöntemidir. Her adımda önceden belirlenmiş kriterlere dayalı olarak açıklayıcı değişkenler kümesine ekleme veya çıkarma işlemi için bir değişken dikkate alınır.

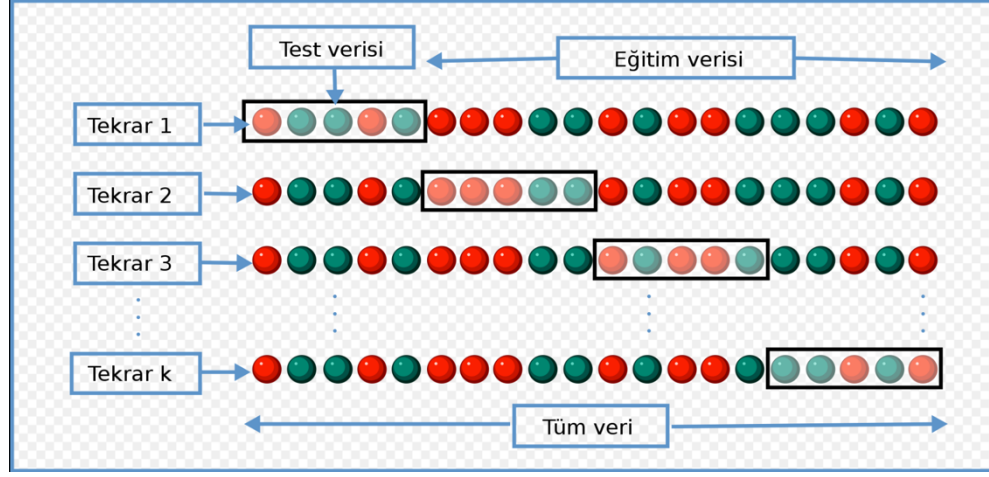
Belirtilen Alfa-Giriş (alpha to enter) ve Alfa-Kaldır (alpha to remove) değerlerine dayalı olarak modele değişkenler dâhil edilir veya değişkenler modelden çıkarılır. Modelde bulunmayan açıklayıcı değişkenlerden herhangi birinin modele eklenmesi gerekip gerekmediğini belirleyen değer Alfa- Giriş değeridir. Modeldeki açıklayıcı değişkenlerden herhangi birinin modelden kaldırılması gerekip gerekmediğini belirleyen değer ise Alfa-Kaldır değeridir. Bu değerler manuel olarak değiştirilmediği sürece Minitab istatistik programında 0,15 olarak belirlenmiştir. Her adımda, p değeri 0,15 ten küçük olan açıklayıcı değişkenler arasında en küçük p değerine sahip olan faktör modele eklenir. Benzer şekilde her ardışık adımda p değeri 0,15 ten büyük olan tahminçiler arasında en büyük p değerine sahip olan faktör modelden çıkarılır (Anonim A).

Stepwise regresyon tablosunda dâhil edilen açıklayıcı değişkenlere dair katsayı, t değeri ve p değerleri verilir. Aynı zamanda regresyon modeline ait s , R^2 , $R^2_{(adj)}$ değerleri gibi istatistiklerde stepwise özet tablosunda yer alır.

2.2.2.6 Regresyon Modellerinde Çapraz Doğrulama (Cross- Validation)

Örnek kütle üzerinden türetilen modelin tüm popülasyonu doğru bir şekilde temsil ettiğinden emin olamamak bile, modelimizin farklı bir örneklemdaki sonucu ne kadar iyi tahmin edebileceğini değerlendirmenin yolları vardır. Bir modelin doğruluğunu farklı örnekler arasında değerlendirmek, çapraz doğrulama olarak bilinir. Bir model genelleştirilebiliyorsa, farklı kişiler aynı açıklayıcı değişken kümesinden aynı sonuç değişkenini doğru bir şekilde tahmin edebilmelidir. Model farklı bir örneğe uygulanırsa ve tahmin gücünde ciddi bir düşüş varsa, model açıkça genelleme yapmamaktadır (Field, 2005).

Çapraz doğrulama, yapılan bir istatistiksel analizin bağımsız bir veri setinde nasıl bir sonuç elde edeceğini sınavan bir model doğrulama tekniğidir. Başlıca kullanım alanı bir öngörü sisteminin pratikte hangi doğrulukla çalışacağını kestirmektir. Bir öngörü probleminde, model genellikle bir "bilinen veri" kümesiyle eğitilir ("eğitim kümesi") ve bir "bilinmeyen veri" kümesiyle ("doğrulama kümesi" ya da "test kümesi") sınanır. Bu sınavmanın amacı, eğitilen modelin yeni verilere genelleşme kabiliyetini ölçmek ve aşırı uyma ya da seçim yanlılığı problemlerini tespit etmektir. Çapraz doğrulamanın ilk adımı farklı miktarlarda örnekler seçilerek veri kümeleri oluşturulmasıdır. Tipik olarak verilen eğitim kümesi ve test kümesi olarak birbirini tamamlayan iki kümeye ayrılır. Birinci küme üzerinde analiz yapılarak model oluşturulur ve ikinci küme üzerinde model sınanır. Varyansı azaltmak için bu doğrulama adımı birkaç defa tekrarlanır. Çapraz doğrulama ismini Şekil 2.8’de görüldüğü gibi aynı veri örneklerinin farklı şekillerde gruplanmasından (çaprazlama) alır. Çaprazlanan gruplar üzerinde yapılan sınav sonuçları birleştirilerek (örn. ortalama) modelin genel tahmin başarısı ölçülür (Anonim B).



Şekil 2.8. Çapraz- doğrulama diyagramı

Numune sayısının sınırlı olduğu modellerde veriler test ve eğitim verisi olarak ayrılmamışsa, istatistik paket programlarında modeli test etmek için k- bölmeli- çapraz geçerlilik (K-Folds Cross Validation) testi kullanılarak verileri 10 farklı alt kümeye bölünür, her kümenin ayrı ayrı belirlilik katsayısı R-sq değeri ve standart hata s değerlerinin ortalaması hesaplanarak oluşturulan modelin anlamlılığı ortaya konulur.

2.2.2.7 Regresyon Modellerinde Çoklu Doğrusallık (Multicollinearity)

Çoklu regresyon analizinde çoklu bağlantı terimi, bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal ilişkileri ifade eder. Doğrusallık, birbirinin yakın mükemmel doğrusal kombinasyonları olan iki değişkeni gösterir. Çoklu doğrusallık, regresyon modeli, yalnızca bağımlı değişkenle değil, aynı zamanda birbirleriyle de önemli ölçüde ilişkili olan birkaç değişken içerdiğinde ortaya çıkar (Young, 2017). Çoklu doğrusallık, çoklu regresyon modelinde faktörler arasında büyük karşılıklı korelasyonların olması olayıdır. Bir araştırmacı, istatistiksel bir modelde yanıt değişkenini öngörmek veya anlamak için her faktörün en uygun şekilde ne kadar iyi kullanılabileceğine karar vermeye çalıştığında, çoklu bağlantı, çarpık veya yanıltıcı sonuçlara yol açabilir (Harrell F, 2001). Sonuç olarak, çoklu bağlantı, tahmin ediciler için daha geniş bir güven aralığı ve daha az sağlam olasılık değerleri gerektirebilir. Yani çoklu bağlantıya sahip bir modelden elde edilen bulgular güvenilir olmayabilir (Hosmer, Lemeshow ve Sturdivant, 2013).

Bazen bir regresyon analizine daha fazla tahmin edici eklemek, çoklu bağlantı nedeniyle modelin net bir şekilde anlaşılmasını kısıtlayabilir. Çoklu doğrusal bağlantının varlığı, modeldeki her bir katsayının standart hatalarını artırmakta ve bu da analizin sonucunu

değiştirmektedir. Çoklu bağlantı, incelenen bazı önemli değişkenlerin istatistiksel olarak önemsiz olmasını sağlar (Pedhazur, 1997). Çoklu doğrusal bağlantı, regresyon katsayılarının varyansını artırarak onları kararsız hale getirmekte, bu da katsayıların yorumlanmasını zorlaştırmaktadır (Keith, 2015).

Çoklu doğrusallığı tanımlamanın bir yolu, tüm öngörücü değişkenlerin bir korelasyon matrisini taramak ve birbirleriyle çok yüksek korelasyon olup olmadığına bakmaktır (0.80 veya 0.90'ın üzerindeki korelasyonlar yüksek kabul edilir). Ancak daha incelikli çoklu bağlantı biçimlerini gözden geçirir. Varyans artış faktörü (VIF) çeşitli eşdoğrusallık tanılamaları üretir. VIF, bir tahmin edicinin diğer tahmin edici(ler) ile güçlü bir doğrusal ilişkisi olup olmadığını gösterir (Field, 2005). Doğrusallık nedeniyle tahmini regresyon katsayısının varyansının (veya standart hatanın) ne kadar şişirildiğini ölçer. İki bağımsız değişken arasındaki ilişki arttıkça VIF değeri artar, azaldıkça azalır.

$$VIF = \frac{1}{1-R^2} \quad (2.40)$$

VIF değeri için genel kabul kriterleri aşağıda belirtilmiştir (Anonim C):

VIF > 10: Değişkenler arasında yüksek derecede bağımlılık (multicollinearity)

10 > VIF > 5: Orta derece bağımlılık (multicollinearity)

VIF < 5: Zayıf veya sıfır bağımlılık (multicollinearity)

2.2.3 Lojistik Regresyon Modeli

Lojistik regresyon analizinde amaç, kategorik yanıt değişkenin değerini tahmin etmek olduğundan, aslında burada yapılmaya çalışılan iki ya da daha fazla gruba ilişkin “üyelik” tahminidir. Buna göre analizin amaçlarından birinin sınıflandırma, diğerinin ise yanıt ve açıklayıcı değişkenler arasındaki ilişkileri araştırmak olduğu ifade edilebilir.

Lojistik regresyon analizinin giderek daha yaygın kullanılmasının nedenleri kısaca şöyle açıklanmaktadır:

- Bağımlı değişken kategorik (kesikli, süreksiz) olmakla birlikte, bağımsız değişkenler sürekli, kategorik ya da ikilem olabilir. Lojistik regresyon bağımsız değişkenlerin sürekli ya da süreksiz olmasına yönelik bir kısıtlama getirmemektedir.

- Lojistik modelin parametreleri kolaylıkla yorumlanabilmekte ve matematiksel olarak kullanımı kolay olan fonksiyonlar üretilmektedir.
- Lojistik modele dayalı analizleri yapabilmeyi sağlayan çok sayıda bilgisayar paket programı (SPSS, SAS, Minitab vb.) mevcuttur.
- Bağımsız değişkenlerin olasılık fonksiyonlarının dağılımı üzerinde kısıt olmaması (yarı parametrik) nedeni ile çeşitli testler uygulanabilmektedir.
- Lojistik regresyon negatif yordama olasılıkları üretmez; lojistik regresyonda tüm olasılık değerleri pozitifdir ve aralık 0 ile 1 arasında değişir.
- Lojistik regresyon analizi, bağımsız ve bağımlı değişken arasındaki ilişkinin doğrusal olmasını gerektirmez; üstel veya polinom ilişkisi de olabilir. Lojistik regresyon bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında logit bir ilişki olduğunu varsayar; dolayısıyla lojistik regresyon doğrusal olmayan modeller üretebilir. Bir diğer deyişle lojistik regresyon, doğrusal olmayan ilişkiyi koruyarak, ilişkinin formunu doğrusal hale getiren logaritmik dönüştürmeler yapar. Lojistik regresyon bağımlı değişkene ilişkin verilerin dağılımının bir ya da daha fazla bağımsız değişkenle doğrusal olmayan ilişki gösterdiğinin bilinmesi ya da beklenmesi durumunda özellikle yararlıdır.

Çoklu doğrusal regresyon ile lojistik regresyon arasındaki en temel fark, çoklu doğrusal regresyon analizinde bağımlı değişkenin değeri tahmin edilirken, lojistik regresyon analizinde bağımlı değişkenin alabileceği değerlerden birinin gerçekleşme olasılığının tahmin edilmesidir (Bircan, 2004).

Lojistik regresyonda bağımlı değişken 0 ve 1 olmak üzere sadece iki değer alıyorsa da, lojistik regresyon katsayılarının kestirilmesi çoklu regresyona oldukça benzerdir. Lojistik regresyonda model kestiriminde en küçük kareler (ordinary least square) yöntemi yerine, en çok olabilirlik (maximum likelihood) yöntemi kullanılır. Çoklu regresyon analizi, bağımlı değişkene ilişkin gerçek değerler ile kestirilen değerler arasındaki farkın kareler toplamını en az (minimum) yapmak için, en küçük kareler yöntemini kullanır. Lojistik regresyon ise, lojistik dönüştürme gerektiren doğrusal olmayan (nonlinear) doğasından dolayı en çok olabilirlik yöntemini kullanır. Bu yöntem katsayıların en çok olabilirlik kestirimini bulmak amacıyla kullanılır. Lojistik regresyon sapmaların karesini (en küçük kareler) “en az” yapmak yerine, bir olayın olma (gerçekleşme) olasılığını “en çok (maximum)” yapmakla ilgilenir (Hair, Black, Babin, Anderson ve Tetham, 2006).

Matematiksel olarak lojistik regresyon olasılık, odds ve odds 'un logaritmasına dayanır. Olasılık basitçe, belirli bir tipteki sonuç sayısının toplam olası sonuçlar içerisindeki oranıdır. Lojistik regresyonda odds, bir olayın olma olasılığının, o olayın olmama olasılığına bölümü olarak tanımlanır. Yani bir başka deyişle (Mertler ve Vannatta, 2005):

$$\text{Odds} = \frac{P(X)}{1-P(X)} \quad (2.41)$$

Burada $P(X)$ bir olayın gerçekleşme olasılığını, $1-P(X)$ ise gerçekleşmeme olasılığını verir. Odds oranı Ψ ya da $\text{Exp}(\beta)$ (Exponentiated logistic coefficients) ile sembolize edilir.

Lojistik regresyon analizi sonucunda elde edilen sonuç modeli (amaçlanan model) doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Lojistik regresyondaki anahtar kavram, “logit” kavramıdır. Logit, odds oranının doğal logaritmasıdır.

$$\text{Logit} = \ln(\text{odds}) = \log_e(\text{odds}) \quad (2.42)$$

Özellikle lojistik regresyonda $\hat{Y}$, yordayıcı değişkenlerin mümkün olan en iyi doğrusal kombinasyonu ile sonuçlanan doğrusal olmayan modele dayalı olarak, bir sonucun ya da diğerinin ortaya çıkma olasılığıdır. Olasılık, odds ve logit kavramlarını tek bir eşitlikte bir araya getirdiğimizde (Mertler ve Vannatta, 2005):

$$\hat{Y} = \frac{e^u}{1+e^u} \quad (2.43)$$

Burada $\hat{Y}_i$, i. nci deneğin bağımlı değişkenin kategorilerinin birisinde yer almasına ilişkin kestirilen olasılıktır. e, euler katsayısı 2.718’e eşit bir sabittir. Burada u ise klasik regresyon eşitliğidir:

$$u = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_kX_k \quad (2.44)$$

Doğrusal regresyon eşitliği (u) bir grupta bulunma olasılığının, diğer grupta bulunma olasılığına bölünmesinin doğal logaritmasıdır (Tabachnick ve Fidell, 1996). Doğrusal regresyon eşitliği odds oranının log’ unu ya da logitini yaratır:

$$\ln\left(\frac{\hat{Y}}{1-\hat{Y}}\right) = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_kX_k \quad (2.45)$$

Lojistik regresyon analizinde kategorik bağımlı değişkende, istenen durum (referans) “0” ile çıkma olasılığı istenmeyen duruma ise “1” kodu verilir.

İstatistik paket programları ile yapılan lojistik regresyon analizinde; oluşturulan modeller raporlanırken,

1. Response Information; Gözlemlenen bağımlı değişkenlerin hangi gruba dahil olduğu açıklanır.

2. Regression Equation; Lojistik regresyonda istenen durumun yani bağımlı değişkenin gerçekleşme olasılığı için uygun regresyon denklemi oluşturulur. Regresyon Denkleminde;

$$P(\text{istenen durum}) = \frac{\exp \hat{Y}}{1 + \exp \hat{Y}} \quad (2.46)$$

$$\hat{Y} = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_KX_K \quad (2.47)$$

3. Model Summary; Bu tabloda Deviance R^2 , Düzeltilmiş Deviance $R^2_{(adj)}$, K-Fold Deviance R^2 , K-Fold Düzeltilmiş Deviance R^2 Akaike bilgi kriteri (AIC), Bayesian Bilgi Kriterleri (BIC), Akaike'nin Düzeltilmiş Bilgi Kriteri (AICc) ve ROC eğrisinin altındaki alan bilgileri verilir.

Sapma R^2 genellikle modelin açıkladığı yanıt değişkenindeki toplam sapma oranı olarak kabul edilir. Sapma R^2 ne kadar yüksek olursa, model verilerine o kadar uyumlu olur. Sapma R^2 her zaman %0 ile %100 arasındadır. Bir modele ek terimler eklendiğinde Deviance R^2 her zaman artar. Farklı sayıda terime sahip modelleri karşılaştırmak için düzeltilmiş sapma R^2 'yi kullanılır. Düzeltilmiş sapma R^2 değeri, doğru modeli seçmeye yardımcı olmak için modeldeki terimlerin sayısını içerir.

K-fold sapma R^2 genellikle modelin açıkladığı doğrulama verilerinin yanıt değişkenindeki toplam sapma oranı olarak kabul edilir. Modelin yeni verilere ne kadar iyi uyduğunu belirlemek için K-fold sapma R^2 'yi kullanılır. Daha büyük K-fold sapma R^2 değerlerine sahip modeller, yeni veriler üzerinde daha iyi performans gösterme eğilimindedir. Farklı modellerin performansını karşılaştırmak için K-fold sapma R^2 değerlerini kullanabilir (Anonim D).

Sapma R^2 'den önemli ölçüde daha az olan bir K-fold sapma R^2 değeri, modelin aşırı uygun olduğunu gösterebilir. Popülasyonda önemli olmayan etkiler için terimler eklediğinizde, bir aşırı-uyum modeli oluşur. Model, eğitim veri setine göre uyarlanır ve bu nedenle popülasyon hakkında tahminler yapmak için faydalı olmayabilir.

AIC (Akaike bilgi kriteri), tahmin edilen herhangi bir istatistiksel modelin uyum iyiliğinin bir göstergesi olarak adlandırılabilir. Model karşılaştırmalarında her zaman en düşük AIC değerini veren model tercih edilir. AIC sadece seçili örnek büyüklüğü içinde değil aynı zamanda seçili örnek büyüklüğü dışındaki gelecek tahmini içinde geçerlidir (Alakuş, 2022).

$$AIC = n \cdot \ln \left(\frac{SSE}{n} \right) + 2K \quad (2.48)$$

Burada n gözlem sayısı, K parametre sayısı, SSE modelin artık kareler toplamıdır.

Eğer gözlem sayısı küçükse $n/K \leq 40$ ise AIC yerine AICc ile yorum yapmak daha yerindedir.

$$AICc = AIC + \frac{2K(K+1)}{n-K-1} \quad (2.49)$$

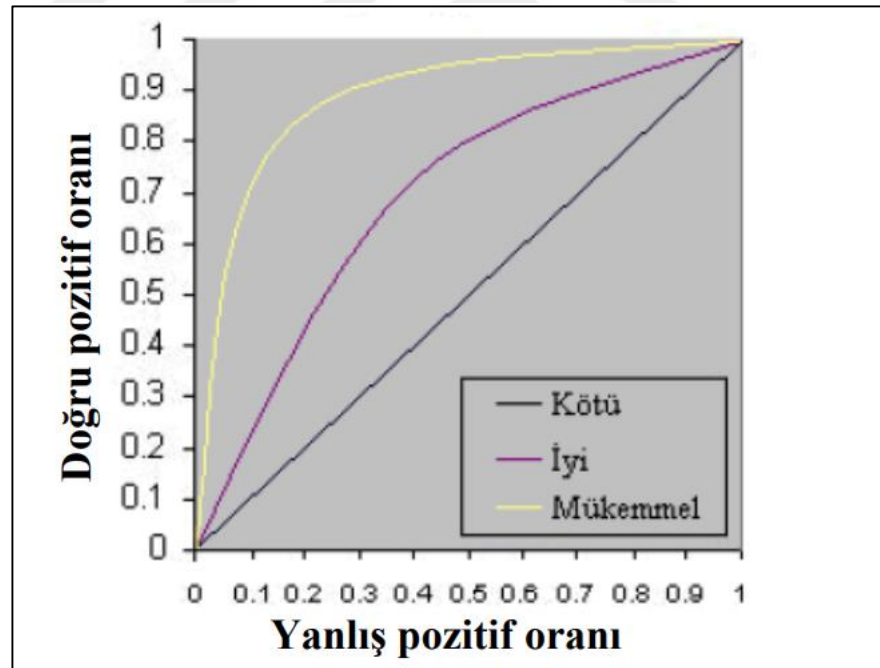
BIC (Bayesian bilgi kriteri), Bayes istatistiklerinde iki veya daha fazla alternatif model arasında seçim yapmak için kullanılan bir indekstir. Modelleri Bayesian bilgi kriteriyle karşılaştırmak, her model için BIC'nin hesaplanmasını içerir. En düşük BIC

ye sahip model en iyi olarak kabul edilir. Akaike’ın Bilgi Kriterleri genellikle yüksek boyutlu gerçekliğe sahip bilinmeyen bir model bulmaya çalışır. Öte yandan, Bayes Bilgi Kriterleri sadece gerçek modellerle karşılaşmaktadır (Alakuş, 2022).

$$BIC = n \cdot \ln \left(\frac{SSE}{n} \right) + K \cdot \ln(n) \quad (2.50)$$

ROC eğrisi analizi, herhangi bir konuda yapılan araştırmada belirli bir veri seti üzerinden uygulanan farklı analiz tekniklerinin değerlendirilmesinde, fonksiyonel olarak aynı yapıda olan model etkinliklerinin karşılaştırılarak en iyi modelin saptanmasında kullanılan bir analizdir. Test edilen değişkenin kestirilen değerlerinden hareketle belirlenen Duyarlılık ve (1-Özgüllük) oranlarına dayanır. ROC eğrisi, Y ekseninde Duyarlılık X ekseninde ise (1-Özgüllük) oranlarının yer aldığı koordinat düzleminde, belirlenen farklı eşik değerler için kestirilecek Duyarlılık ve (1-Özgüllük) çiftlerinin çıkışma noktalarının birleştirilmesiyle oluşturulur (Ertosun A ve ark, 2022).

Sınıflandırma probleminin performansını kontrol etmek ya da görselleştirmek gerektiğinde, AUC (Eğri Altındaki Alan) ROC (Alıcı Çalışma Karakteristikleri) eğrisi kullanılır. Herhangi bir sınıflandırma modelinin performansını kontrol etmek için en önemli değerlendirme ölçütlerinden biridir. Şekil 2.9’da UC- ROC eğrisi; çeşitli eşik ayarlarında sınıflandırma problemleri için bir performans ölçümüdür. ROC bir olasılık eğrisidir ve AUC, ayrılabilirliğin derecesini veya ölçüsünü temsil eder. Modelin sınıfları ne kadar doğru ayırt edebildiğini söyler.



Şekil 2.9. Performanslarına göre ROC eğrileri (Ertosun A ve ark, 2022).

Model yeterliliğinde kullanılan AUC değerleri Çizelge 2.2’de verilmiştir. Buna göre AUC ne kadar yüksekse, 1’ e ne kadar yakınsa, model sınıfı tahmin etmede o kadar iyidir. Benzer şekilde, AUC ne kadar düşükse, model sınıf tahmininde yeterli değildir (Narkhede, 2018).

Çizelge 2.2. Modelin ayırım gücünün AUC (ROC eğrisinin altında kalan alan) değerlerine göre değerlendirilmesi (Köksal, 2011)

AUC = 0,5	Model ayırım gücüne sahip değildir
0,5 < AUC < 0,7	Model zayıf ayırım gücüne sahiptir
0,7 < AUC < 0,8	Model kabul edilebilir bir ayırım gücüne
0,8 < AUC < 0,9	Model mükemmel bir ayırım gücüne
0,9 <= AUC	Model üstün bir ayırım gücüne sahiptir

4. Coefficients: Olabilirlik için oluşturulan regresyon denkleminde B katsayılar, katsayıların standart hatası (SE Coefficient), her katsayının Z değerleri (Z -Value), her katsayı için p anlamlılık düzeyi (p - Value), ve varyans artış faktörü (VIF) leri bu tabloda yer alır.

" z değerleri", katsayı tahmininin, tahmin edicinin standart hatasına bölümüdür. Bu nedenle, katsayının nokta tahminini ne kadar belirsizliğin "çevrelediğine" dair bir gösterge sağlarlar. " z değeri" ne kadar büyük olursa, belirsizlik o kadar az olur, çünkü bu, standart hatanın katsayı değerine göre giderek küçüldüğü anlamına gelir. Bu nedenle nokta tahmini etrafındaki güven aralığı daha sıkı olacaktır (Anonim E).

$$Z_{\hat{\beta}_i} = \frac{\hat{\beta}_i}{SE_{\hat{\beta}_i}} \quad (2.51)$$

P - value için; $P < 0,05$ anlamlılık düzeyini yakalayan katsayılar için modele anlamlı katkılarının olduğu söylenebilir.

Varyans artış faktörü özellikle tıpkı çoklu doğrusal regresyonda olduğu gibi VIF, bir tahmin ediciler arasında güçlü bir doğrusal ilişki olup olmadığını gösterir. VIF değerinin 10' dan büyük olması bağımsız değişkenler arasında eşdoğrusallık (multicollinearity) sıkıntısının olduğunu gösterir. Bu katsayıların adım adım elenerek regresyon denkleminde çıkarılmaları ve denklemlerin eşdoğrusallık sorunu giderilene kadar tekrar oluşturulması gerekir.

5. Analysis of Variance: Çok değişkenli doğrusal regresyon analizinde parametrelerin anlamlılığını test etmek için t testi kullanılır. Lojistik Regresyon Analizinde ise bu amaçla Wald testi kullanılır. Piyasadaki pek çok program Wald testini vermektedir. Hesaplanan t istatistiği eğitim parametresinin maksimum olabilirlik tahmini $\hat{\beta}_i$ 'nin kendi standart hatasına bölünmesiyle elde edilir (Kara, 2015), wald istatistiği ise bunun karesine eşittir (Terzi, 2022).

$$t = \frac{\hat{\beta}_i}{SE(\hat{\beta}_i)} \quad (2.52)$$

$$\text{Wald} = t^2 = \left(\frac{\widehat{B}_i}{SE(\widehat{B}_i)} \right)^2 \quad (2.53)$$

Eğim parametresinin istatistiksel anlamlılığını test etmek için uygun hipotezler; $H_0: \beta_i = 0$ ve $H_1: \beta_i \neq 0$ ’dır.

Eğim parametresini gösteren $\beta_1=0$ hipotezi için W istatistiği standart normal dağılım göstermektedir.

Eğer $|W_{hesaplanan}| > |W_{tablo}|$ ise sıfır hipotezi reddedilir, karşıt hipotez kabul edilir. Bu durumda regresyon denkleminde katsayıların sıfırdan farklı ve anlamlı olduğu sonucuna varılır (Bircan, 2004).

Wald testi, örnek hacminin büyük olması durumunda anlam kazanır. Wald istatistiği Wald Ki Kare olarak da adlandırılır.

6. Odds Ratios for Continuous Predictors: Odds, bir olayın görülme olasılığının, görülmemeye olasılığına oranıdır. Odds oranı ise iki Odds değerinin birbirine olan oranıdır. Odds oranı iki değişken arasındaki ilişkinin özet ölçüsüdür.

$$\text{OR} = \text{Exp}(\beta_i) \quad (2.54)$$

olarak hesaplanır.

Odds oranı; lojistik regresyon analizinde, modele giren her bağımsız değişkenin, bağımlı değişkenin olması beklenen olasılığına ne kadar etki ettiğinin bir ölçüsüdür.

OR=1 Maruz kalma (ilgili bağımsız değişken), sonuç oranlarını etkilemez

OR>1 Daha yüksek sonuç olasılığında maruz kalma (ilgili bağımsız değişken için)

OR<1 Daha düşük sonuç olasılığında maruz kalma (ilgili bağımsız değişken için)

Odds oranının doğruluğunu tahmin etmek için %95 güven aralığı (CI) kullanılır. Geniş bir CI, odds oranının düşük doğruluk düzeyini gösterirken, daha dar aralıkta bir CI, odds oranının daha yüksek doğruluk düzeyini gösterir. Bununla birlikte, p değerinden farklı olarak, %95 güven aralığı (CI) nın bir ölçümün istatistiksel önemini bildirmediğini belirtmek önemlidir (Suzimilas, 2010).

7. Goodness- of- Fit Test: Lojistik regresyon analizinde elde edilen modelin sonuç değişkenini tanımlamakta ne kadar etkili olduğu modelin uyum iyiliği ile incelenir. Modelin veriye uyumunun iyi olup olmadığı çeşitli istatistiksel yöntemlerle araştırma raporunda yer almalıdır. Bu yöntemlerden Pearson ki-kare testi, Hosmer-Lemeshow testi ve sapma (deviance) istatistikleri en çok tercih edilenlerdir.

Pearson ki-kare testi, Hosmer-Lemeshow testi ve sapma (deviance) istatistikleri için hipotezler:

$H_0: O_j = E_j$ Gözlenen değerler ile tahmin edilen değerler arasında anlamlı fark yoktur.

$H_1: O_j \neq E_j$ Gözlenen ve tahmin edilen değerler birbiri ile uyumsuzdur.

Deviance (sapma), bir lojistik regresyon modelinin uyum iyiliğini ölçen bir sayıdır. Bu mükemmel uyumdan uzaklık olarak düşünülebilir ve lojistik regresyon modelinin verilere mükemmel uyan ideal bir modelden ne kadar saptığının bir ölçüsüdür. Sapma 0 ile sonsuz arasında değişir ve ne kadar küçükse, model örnek verilere o kadar iyi uyar (sapma = 0, lojistik regresyon modelinin verileri mükemmel bir şekilde tanımladığı anlamına gelir). Sapmanın daha yüksek değerleri, daha az doğru bir modele karşılık gelir. Lojistik regresyondaki sapma, doğrusal regresyondaki hata kareler toplamı ile benzer bir rol üslenmektedir.

$$G^2 = 2 \sum_j O_j \log \frac{O_j}{E_j} \quad (2.55)$$

Pearson ki-kare ve sapma istatistikleri gözlenen ve beklenen değerler arasındaki farkı kullanarak modelin uyumunu değerlendirir. Her iki istatistik değeri tablo değerinden büyük ve $p > .05$ olduğunda model-veri uyumunun yeterli düzeyde olduğunu gösterir.

$$X^2 = \sum_j \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j} \quad (2.56)$$

Deviance (sapma), Pearson ki-kare testlerinde O_j : gözlemlenmiş değerler, E_j ise tahmin edilen değerleri verir (Allison, 2014).

Hosmer ve Lemeshow ki-kare uyum iyiliği testi olarak da anılan test, lojistik regresyon modelinin bir bütün olarak uyumunu değerlendirir. Özellikle açıklayıcı değişkenlerin sürekli değişkenler olduğu durumda ya da küçük örneklemle çalışıldığı durumda, geleneksel ki-kare testinden çok daha güçlüdür. Bu teste ilişkin sonucun anlamlı olmaması ($p > .05$), model-veri uyumunun yeterli düzeyde olduğunu gösterir. Bir diğer deyişle, gözlenen ve model tarafından kestirilen değerler arasında anlamlı fark yoktur; model tahminleri, gözlenen durumdan farklı değildir. Adımsal bir analiz yöntemi tercih edildiğinde, Hosmer ve Lemeshow Testi sonucu da her bir adım için sunulur (Çokluk, 2010).

2.3 Yapay Zekâ Sistemleri ve Kuramsal Yapısı

Yapay zekâ, kabaca; bir bilgisayarın ya da bilgisayar denetimli bir makinenin, genellikle insana özgü nitelikler olduğu varsayılan akıl yürütme, anlam çıkartma, genelleme ve geçmiş deneyimlerden öğrenme gibi yüksek zihinsel süreçlere ilişkin görevleri yerine getirme yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Nabiyev, 2016). 1950’li yıllarda ortaya atılan yapay zekâ teknolojisi özellikle son 20 yılda çok önemli gelişmeler kaydetmiş ve günlük yaşamda sohbet robotları, bankacılık, e-ticaret, sürücüsüz araçlar ve akıllı makine uygulamaları gibi pek çok alanda yaygın kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde 60’tan fazla yapay zekâ teknolojisinden bahsedilmektedir. Bunların birçoğu laboratuvar çalışmaları düzeyindedir. Günlük hayatta en yaygın olarak kullanılan yapay zekâ sistemleri;

- Uzman sistemler

- Makine öğrenmesi ve yapay sinir ağları
- Genetik algoritmalar
- Bulanık önermeler mantığı
- Zeki etmenler sayılabilir (Öztemel, 2012).

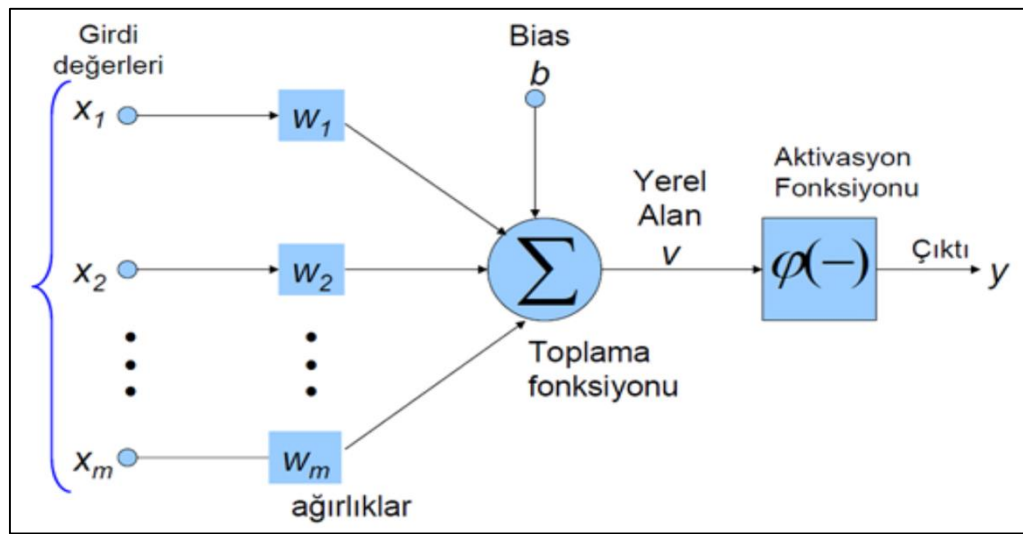
Yapay zekâ sistemlerinden biri olan yapay sinir ağları, bilgisayar ortamında verilen her bir örnekten, gerekli algoritma ve formülasyonların kullanılmasıyla bir şeyler öğrenilmesi aracılığıyla ilerleyen zaman ya da zamanlar için ilgilenilen olay hakkında karar verecek düzeye ulaşmasına “makine öğrenmesi” denilir ve yapay sinir ağları makine öğrenmesi alanında geliştirilmiş olan uygulamalardan biridir (Çakır F, 2020). Yapay sinir ağları, insan beyninden esinlenerek, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işleme yapılarıdır. Yapay sinir ağları zaman zaman bağlantıcılık (connectionism), paralel dağıtılmış işlem, sinirsel işlem, doğal zekâ sistemleri ve makine öğrenme algoritmaları gibi isimlerle de anılmaktadır (Elmas, 2018).

Yapay sinir ağlarının gerçek gücü ve avantajı hem doğrusal hem de doğrusal olmayan ilişkileri temsil etme ve bu ilişkileri doğrudan girilen verilerden öğrenme yeteneklerinde yatmaktadır. Geleneksel doğrusal modeller, doğrusal olmayan özellikler içeren modelleme verileri söz konusu olduğunda oldukça yetersizdir (Shamey ve Hussain, 2003). Yapay sinir ağları, çoğu durumda matematiksel ve regresyon modelleme yöntemlerinden daha az hatayla kullanılabilir bilgi üretebilmektedir. Yapay sinir ağları, çok sayıda giriş-çıkış (bağımsız değişkenlere bağımlı değişkenler) parametreleri arasındaki herhangi bir fonksiyonel ilişkiyi yaklaştırma avantajına sahiptir. Verilerin değişkenlerinin istatistiksel niteliği hakkında önceden bir varsayımda bulunulmasına gerek yoktur, çünkü yapay sinir ağı doğada parametrik değildir. Yapay sinir ağı, giriş ve çıkış parametreleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri yakalamak için geleneksel regresyon analizi için gerekenden çok daha küçük bir veri seti gerektirir. Küçük bir eğitim verisi setiyle bile, ağı fonksiyonel ilişkileri çok iyi şekilde genelleştirebilir. Sürekli olarak büyük miktarda veri seti bulunan bir sektörde YSA’ nın daha iyi performans göstermesi beklenir. YSA’ nın en büyük avantajı, değişkenler arasındaki etkileşim seviyelerinde bir kısıtlama olmamasıdır. Dolayısıyla gerçek dünyadaki dinamikleri çok iyi yakalayabilir (Behera ve Hari, 2010).

2.3.1 Yapay Sinir Ağı Elemanları

Bir yapay sinir ağı hücresinde Şekil 2.10'da olduğu gibi, girdiler ($X_1, X_2, X_3...$), ağırlıklar ($W_1, W_2, W_3...$), birleştirme(toplayıcı) fonksiyonu, aktivasyon (transfer) fonksiyonu ve çıktı (Y) olmak üzere 5 elemanı vardır.

1. Girdiler: Girdiler, bir yapay sinir hücresine dış ortamdan ya da diğer hücrelerden gelen bilgiler bütünüdür. Girdi verileri, ağı öğrenmesi gereken örnek veriler vasıtasıyla belirlenir. Bir yapay sinir hücresi dış ortamdan, diğer hücrelerden ve kendi kendisinden bilgi alabilir (Yakut ve Çot, 2019).



Şekil 2.10. Yapay Sinir Hücresinin Elemanları

2. Ağırlıklar: Girdiler yapay sinir hücresine gelen bilgileri gösterirken, ağırlıklar hücreye giren bilginin önemini ve etkisini göstermektedir. Yapay sinir ağı kendine yeni örnekler gösterildikçe kendisi için en uygun sonucu verene kadar ağırlık değerlerini değiştirir ve en uygun ağırlık değerlerinin bulunmasını sağlar. Yapay sinir ağı eğitime başlandığında ağırlıklar rastgele verilir ve bu rastgele ağırlıklar için eğitim seti verileri uygulanır. Eğer işlem sonunda çıkış değeri kabul edilebilir hata payına ulaşmış veya bu hatanın altında kalmışsa ağı eğitilmiştir. Aksi takdirde işlemlerde başa dönülür ve ağırlıklar yeniden ayarlanır. Bu istenilen hata seviyesine gelinceye kadar birkaç kez tekrarlanır. Gerçek değerler ile sistemden elde edilen çıktı değerleri arasındaki hatanın minimum olması önemlidir (Çakır, 2020).

3. Toplama Fonksiyonu: Yapay sinir hücresine gelen tüm girdilerin ağırlıklarıyla çarpıp toplayarak ilgili hücrenin net girdisini hesaplayan bir fonksiyondur. Problemin durumu dışında seçilen toplama fonksiyonu çeşidine göre girdi değerlerinin kendisi veya girdi değerlerinin sayısı dikkate alınmaktadır. Bir problem için toplama fonksiyonu belirlenmesi için belirli bir yöntem bulunmamaktadır. Bu kararı modeli oluşturan kişi verirken; genellikle deneme yanılma yoluyla bu karar alınır (Yılmaz, 2019). Şekil 2.11'de çeşitli toplama fonksiyonları verilmiştir.

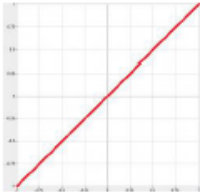
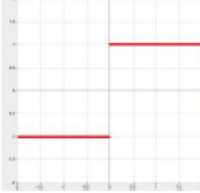
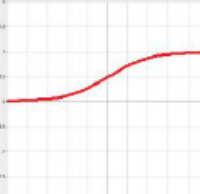
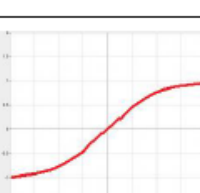
Toplam $Net = \sum_{i=1}^N X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve bulunan değerler birbirleriyle toplanarak Net girdi hesaplanır.
Çarpım $Net = \prod_{i=1}^N X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve daha sonra bulunan değerler birbirleriyle çarpılarak Net Girdi Hesaplanır.
Maksimum $Net = \text{Max}(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden ağırlıklar girdilerle çarpıldıktan sonra içlerinden en büyüğü Net girdi olarak kabul edilir.
Minimum $Net = \text{Min}(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden ağırlıklar girdilerle çarpıldıktan sonra içlerinden en küçüğü Net girdi olarak kabul edilir.
Çoğunluk $Net = \sum_{i=1}^N \text{Sgn}(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden girdilerle ağırlıklar çarpıldıktan sonra pozitif ile negatif olanların sayısı bulunur. Büyük olan sayı hücrenin net girdisi olarak kabul edilir.
Kümülatif Toplam $Net = \text{Net}(\text{eski}) + \sum_{i=1}^N X_i * W_i$	Hücreye gelen bilgiler ağırlıklı olarak toplanır. Daha önce hücreye gelen bilgilere yeni hesaplanan girdi değerleri eklenerek hücrenin net girdisi hesaplanır.

Şekil 2.11. Toplama fonksiyonu örnekleri (Öztemel, 2012)

4. Aktivasyon Fonksiyonu: Bu fonksiyon, hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonunda çıktıyı hesaplamak için değişik formüller kullanılmaktadır. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonunda da ağırlık proses elemanlarının hepsinin aynı fonksiyonu kullanması gerekmez. Bazı elemanlar aynı fonksiyonu diğerleri farklı fonksiyonlar kullanabilir. Bir problem için en uygun fonksiyonda yine tasarımcının denemeleri sonucunda belirleyebileceği bir durumdur. Uygun fonksiyonu gösteren bir formül bulunmuş değildir. Günümüzde en yaygın olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır (Öztemel, 2012). Şekil 2.12’de çeşitli aktivasyon fonksiyonları için örnekler verilmiştir.

5. Çıktı: Çıktı değeri aktivasyon fonksiyonu vasıtasıyla belirlenir. Oluşturulan çıktıyı, dış ortama, bir diğer hücreye ya da kendisine girdi olacak şekilde de gönderebilir. Bir süreç ögesi birden fazla çıktı değeri almasına karşın yalnızca tek çıktı üretilebilir. Fakat ağ biçiminde sunulduğunda bir süreç ögesinin birden fazla çıktısı varmış gibi görünmektedir. Bunun sebebi yalnızca gösterim içindir. Temelde bir süreç ögesi bir çıktı ihtiva eder (Yakut ve Çot, 2019).

Hücrenin 5. kısmı olan çıktı, aktivasyon işlemi tarafından belirlenen değerdir. Bu yapay sinir hücresi için bilgi üretilmiştir ve üretilen bilgi dışarıya ya da başka bir hücreye tekrar bilgi girişi olarak çıkacaktır. Bir hücreden uygun sadece bir adet çıktı elde edilir. Sürecin tamamlanması için diğer süreç elemanlarına giden bilgi hep aynıdır. Bir hücrenin çıktısı başka bir hücreye girdi olur. Süreç tamamlandığında sinir ağı görevini başarmış ve üretmesi gereken bilgiyi üretmiştir.

Doğrusal (Lineer) Aktivasyon Fonksiyonu		$F(Net) = A * Net$ (A sabit bir sayı)	Doğrusal problemler çözmek amacıyla aktivasyon fonksiyonu doğrusal bir fonksiyon olarak seçilebilir. Toplama fonksiyonundan çıkan sonuç, belli bir katsayı ile çarpılarak hücrenin çıktısı olarak hesaplanır.
Adım (Step) Aktivasyon Fonksiyonu		$F(Net) = \begin{cases} 1 & \text{if } Net > \text{Eşik Değer} \\ 0 & \text{if } Net \leq \text{Eşik Değer} \end{cases}$	Gelen Net girdinin belirlenen bir eşik değerin altında veya üstünde olmasına göre hücrenin çıktısı 1 veya 0 değerini alır.
Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu		$F(Net) = \frac{1}{1 + e^{-Net}}$	Sigmoid aktivasyon fonksiyonu sürekli ve türevi alınabilir bir fonksiyondur. Doğrusal olmayışı dolayısıyla yapay sinir ağı uygulamalarında en sık kullanılan fonksiyondur. Bu fonksiyon girdi değerlerinin her biri için 0 ile 1 arasında bir değer üretir.
Tanjant Hiperbolik Aktivasyon Fonksiyonu		$F(Net) = \frac{e^{Net} + e^{-Net}}{e^{Net} - e^{-Net}}$	Tanjant hiperbolik fonksiyonu, sigmoid fonksiyonuna benzer bir fonksiyondur. Sigmoid fonksiyonunda çıkış değerleri 0 ile 1 arasında değişirken hiperbolik tanjant fonksiyonunun çıkış değerleri -1 ile 1 arasında değişmektedir.
Eşik Değer Fonksiyonu		$F(Net) = \begin{cases} 0 & \text{if } Net \leq 0 \\ Net & \text{if } 0 < Net < 1 \\ 1 & \text{if } Net \geq 1 \end{cases}$	Gelen bilgilerin 0 dan küçük-eşit olduğunda 0 çıktısı, 1 den büyük-eşit olduğunda 1 çıktısı, 0 ile 1 arasında olduğunda ise yine kendisini veren çıktılar üretilebilir.
Sinüs Aktivasyon Fonksiyonu		$F(Net) = \sin(Net)$	Öğrenilmesi düşünülen olayların sinüs fonksiyonuna uygun dağılım gösterdiği durumlarda kullanılır.

Şekil 2.12. Aktivasyon fonksiyonu örnekleri (Şengöz, 2017)

Çalışmada kullanılacak değişkenler seçilip düzenlendikten sonra kullanılacak ağ modelinin, kullanılacak katman sayısı ve nöron sayısı gibi bilgilerin belirlenmesi gerekir. Bir katmanda bulunan nöron veya nöronların diğer katman veya katmanlardaki nöronlara bağlanması ile "ağ topolojisi" oluşur. Her veri için uygun ağ topolojisinin bulunması önemlidir. Verinin yapısı ile değişken sayısı gibi faktörler ağ topolojisini etkiler.

YSA işlemlerinin adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Adım 1: Problemin tanımlanması,

Adım 2: Problem ile ilgili değişkenlerin belirlenmesi,

Adım 3: Verilerin toplanması,

Adım 4: Verilerin ön işlemden geçirilmesi,

Adım 5: Sinir ağının tasarlanması (Ağın yapısı ve öğrenme kuralı seçilmesi),

Adım 6: Ağın eğitilmesi,

Adım 7: Ağın geçerliliğine bakılıp hata tespitin yapılması.

YSA yapısının temel amacı beklenen değer ile çıktı değeri arasındaki hatayı minimum yapacak ağın kurulmasıdır. Bunun için hatayı ağı yayarak çözüm üretilir. Yapay sinir ağının minimum hataya sahip ağı kurması için problem ya da çözüm bulunulması istenen olay tanımlanır. Olayı açıklayabileceği düşünülen örnekler toplanmaya başlanır. Hem test hem eğitim verileri için örneklerin toplanması gerekir. Ağın genel yapısı belirlenmelidir. Ağın öğrenme katsayısının belirlenmesi aynı zamanda gizli katmanda kullanılacak olan birleştirme ve aktivasyon fonksiyonlarının türünün seçilmesi çıktı üretilmesi için gerekli olan diğer bir aşamadır. Bu aşamada gizli katman sayısı ile her bir katmanda bulunacak nöron sayısının da belirlenmesi gereklidir. Elde edilen çıktı ile beklenen çıktı arasındaki fark tespit edilir ve elde edilen değer kabul edilebilir sınırlar içinde değilse ağırlıklarda değişim yapılır. Son olarak örnekler ağıya sunulur ve ağın örnekleri tanınması ve bilgi üretmesi istenir. Üretilen bilgi ile hata belirlemesi yapıldıktan sonra ağırlıklar güncellenerek kabul edilebilir sınırlardaki hataya ulaşılmaya çalışılır. Ağ istenilen sonuçları vermeye başladığında test verileri ağıya sunulabilir ve çözüm üretmesi beklenir (Çakır, 2020).

2.3.2 Yapay Sinir Ağı Tasarımı

Bir sinir ağı modelini oluşturmak için nöronların bağlanması sonucu oluşan topolojisi, işlemci elemanların kullandıkları toplama ve transfer fonksiyonları, kullanılacak öğrenme yöntemi, öğrenme kuralı ve algoritması belirlenmelidir. Eldeki veriye ve ağdan yapılmak istenen uygulamanın şekline göre model tasarlanır. Kurulan modelin başarısı modelin şeklinin doğru oluşturulması ile yakından ilgilidir. Bunun için YSA tasarımcısının, ağın yapısına ve işleyişine ilişkin aşağıdaki kararları vermesi gerekmektedir (Aşkın ve ark, 2011).

- **Ağ Şeklinin Seçimi:** Yapay sinir ağlarının tasarımı sürecinde ağ yapısının seçilmesi, uygulama problemine bağlı olarak seçilmelidir. Hangi problem için hangi ağın daha uygun olduğunun bilinmesi önemlidir. Kullanım amacı ve o alanda başarılı olan ağ modelleri Şekil 2.13'te de verilmiştir (Kargı, 2015).

- **Katman Sayısını Belirleme:** Yapay sinir ağ tasarımınnn bir diğer adımı ise, ağdaki katman sayısına karar vermektir. İşlemci elemanların aynı doğrultu üzerinde bir araya gelmeleriyle katmanlar oluşmaktadır. Katman sayısını belirlemenin en iyi yolu, birkaç deneme yapılarak ağın performansına bağlı olarak en uygun katman sayısına karar vermektir. Çoğu problem için iki veya üç katmanlı bir ağ istenilen sonuçları üretebilmektedir (Kargı, 2015).

- **İşlemci Eleman (Nöron) Sayısını Belirleme:** Ağın yapısal özelliklerinden bir diğer de her katmandaki işlemci eleman sayısının belirlenmesidir. Katmandaki işlemci elemanların sayısını belirlemenin en iyi yolu birkaç deneme ile ağın performansına bağlı olarak en uygun işlemci sayısına karar vermektir. Bir yapay sinir ağında işlemci eleman sayısının olması gerekenden az sayıda olması durumunda ağın öğrenme yeteneği azalırken, gereğinden çok sayıda işlemci elemanın olması durumunda ise genelleme yeteneği azalmaktadır (Kargı, 2015).

- **Fonksiyon Seçimi:** İşlemci elemanların karakteristik özelliklerinin belirlenmesi de yapay sinir ağının tasarımında alınacak önemli kararlardan birisidir. Toplama fonksiyonunun ve transfer fonksiyonunun seçimi büyük ölçüde verilerin özelliklerine ve ağdan öğrenilmesi istenen verinin türüne ve yapısına bağlıdır. Transfer fonksiyonları içinde en çok kullanılanlar, sigmoid, hiperbolik tanjant ve doğrusal fonksiyondur. Eğer ağın, bir modelin ortalama davranışını öğrenmesi isteniyorsa sigmoid, ortalamadan sapmasını öğrenmesi isteniyorsa hiperbolik tanjant fonksiyonlarının kullanılması önerilir (Saraç, 2004).

Kullanım Amacı	Ağ Türü	Ağ Kullanımı
Tahmin- Öngörü	- Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) - Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) - Elman Ağı - Jordan Ağı	Ağın girdilerinden bir çıktı değerinin tahminlenmesi
Fonksiyon Yaklaştırma	- Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) - Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF)	Eldeki birçok veri çiftini işleyerek bunları oluşturduğu bilinmeyen fonksiyonu tahmin etmeye çalışması
Desen (Örüntü) Sınıflandırma	- Doğrusal Vektör Ayırıcı (LVQ) - Uygulamalı rezonans teorisi (ART) - Olasılık Tabanlı Sinir Ağları - Tek veya Çok Katmanlı Algılayıcı - Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) - Boltzmann Makinesi	Girdilerin hangi sınıfa ait olduğunun belirlenmesi
Veri İlişkilendirme	- Kohonen'in Kendini Düzenleyen Haritaları (SOM) - Hopfield Ağları - Boltzmann Makinesi - Uygulamalı rezonans teorisi (ART)	Girdilerin içindeki hatalı bilgilerin bulunması ve eksik bilgilerin tamamlanması
Kümeleme	- Doğrusal Vektör Ayırıcı (LVQ) - Kendini Düzenleyen Haritalar (SOM) - Uygulamalı rezonans teorisi (ART)	Ağa sunulan bilgileri sınıflandırır
Veri Filtreleme	Yeniden Dolaşım (Reciculation)	Girdilerin içindeki hatalı bilgilerin bulunması ve eksik bilgilerin tamamlanması
Optimizasyon	- Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) - Olasılık Tabanlı Sinir Ağları - Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF)	Belirli kısıtlar altında bir fonksiyonun maksimum veya minimum noktalarının bulunması veya optimum çözümlerinin bulunmasıdır.

Şekil 2.13. Kullanım amaçlarına göre yapay sinir ağı topolojileri (Kargı, 2015)

• **Öğrenme Algoritmasının Seçimi:** Yapay sinir ağı yapısının seçiminden sonra uygulama başarısını belirleyen en önemli faktör öğrenme algoritmasıdır. Genellikle ağı yapısı öğrenme algoritmasının seçiminde belirleyicidir. Bu nedenle seçilen ağı yapısı üzerinde kullanılacak öğrenme algoritmasının seçimi ağı yapısına bağlıdır. Yapay sinir ağının geliştirilmesinde kullanılacak çok sayıda öğrenme algoritması bulunmakla birlikte bunlar içinden bazı algoritmaların bazı tip uygulamalar için daha uygun olduğu

bilinmektedir. Bu algoritmaların uygulama alanlarına göre sınıflandırılması Şekil 2.14 gibidir (Saraç, 2004).

Uygulama Tipi	Yapay Sinir Ağı
Öngörü Tanıma	• Geri yayılım • Delta Bar Delta • Geliştirilmiş Delta Bar Delta • Yönlendirilmiş Rassal Tarama • Geri Yayılım içinde Kendini Düzenleyen Haritalar (SOM)
Sınıflandırma	• Doğrusal Vektör Ayırıcı (LVQ) • Olasılıklı Yapay Sinir Ağları
Veri İlişkilendirme	• Hopfield Ağları • Boltzmann Makinesi
Kümeleme	• Uygulamalı Rezonans Teorisi (ART) • Kendini Düzenleyen Haritalar (SOM)

Şekil 2.14. Öğrenme algoritmaları ve uygulandıkları alanlar (Saraç, 2004)

• **Öğrenme Katsayısı ve Momentumun Seçimi:** Öğrenme sürecinde öğrenme katsayısı veya oranı (λ) ağırlıkların değişim miktarını belirler. Genellikle bu oran salınımına neden olmayacak kadar büyük alınmaya çalışılır. Öğrenme oranı, ağırlıkların bir sonraki adımda hangi oranda değiştirileceğini belirler. Ağ üzerinde önemli bir etkisi bulunan öğrenme katsayısı uygulanan probleme göre değişir. Öğrenme katsayısı genellikle (0-1) aralığında belirlenir. Öğrenme katsayısının büyük seçilmesi salınımına yol açar ve ağı herhangi bir minimum değerine ulaşmasını zorlaştırır. Bu katsayının küçük bir değer seçilmesinde ise öğrenme süresi uzar ve ağı yerel çözümlere takılmasına neden olur.

Yerel çözümü ise şu şekilde açıklayabiliriz. Bir problemin çözümü için en az hatayı veren ağırlık vektörünü pratikte her zaman belirlemek mümkün olmaz. Ağırlık vektörünü minimum kılan çözüm, ağı sahip olabileceği en iyi çözümdür. Diğer yandan bu çözüme nasıl ulaşılacağı tam olarak bilinmemektedir. Ağ, eğitim sırasında söz konusu çözüme ulaşmaya çalışır. Ancak bazen ağ farklı bir çözümü izleyebilir ve performansını daha fazla iyileştirmek mümkün olmaz. İşte bu durumda çözüm vektörleri yerel çözümü verir. Kullanıcılar, ağların performansında ϵ (tolerans değeri) değerinde hatayı kabul ederler. Bu tolerans değerinin altındaki herhangi bir noktada, olay öğrenilmiş olduğu kabul edilir. Dolayısıyla bu nokta bir yerel çözüm sağlamasına rağmen kabul edilebilir bir çözümdür (Öztemel, 2012).

Momentum katsayısı, ağı performansını üzerinde etkisi bulunan diğer bir parametredir. Bu katsayı da (0,1) gibi bir aralık içinde belirlenir. Öğrenme sürecini hızlandıran alternatif ağırlık ayarlama yöntemi olan momentum katsayısı, özellikle yerel çözümlere takılan ağların bir sıçrama ile daha iyi sonuçlar bulması amacıyla kullanılır. Momentum katsayısı ile yapay sinir ağının öğrenme oranında belirli bir

hızlanma elde edilir. Bu değerin çok küçük seçilmesi yerel çözümlerden kurtulmayı güçleştirir. Değerin çok büyük seçilmesi de tek bir çözüme ulaşılmasında sorunlar yaratabilir. Eğer momentum katsayısı kullanılmazsa ağın düşük öğrenme katsayısı ile yerel minimum çözüme ulaşması uzun zaman alır. Öte yandan yüksek öğrenme katsayısı ile de salınımdan dolayı yerel minimuma hiçbir zaman ulaşamaz. Momentum katsayısı eklendiğinde ise yerel minimuma daha hızlı bir şekilde ulaşır (Kargı, 2015).

- **Veri Parçalanması (Eğitim-Doğrulama-Test Kümeleri):** Yapay sinir ağlarının ortaya koyduğu matematiksel modelin çeşitli amaçlar için kullanılabilmesi bazı ölçütlere bağlıdır. Modelin elde olmayan veriler için iyi sonuçlar üretebilmesi oldukça önemlidir. Yapay sinir ağlarının eğitim algoritmaları ile optimum ağırlıkları elde edilebilse de mimari yapının seçimi, ağın genelleştirme yeteneğinin kontrol edilmesi, ağın ezberlemeden öğrenmesi için veri parçalanma stratejileri kullanılabilir. Yapay sinir ağlarında veri parçalanması iki farklı şekilde yapılmaktadır: eğitim ve test kümesi parçalanması; eğitim, doğrulama ve test kümesi parçalanması.

Veri seti eğitim ve test kümesi olarak parçalandığında, eğitim kümesi; optimum ağırlıkların elde edilmesi için eğitim algoritması içinde kullanılan veridir. Test kümesi ise hem mimari seçiminin gerçekleştirilmesi hem de farklı yapay sinir ağı modeli veya alternatif çözüm yöntemleri ile performans karşılaştırmaları yapmada kullanılabilir. Test kümesindeki veriler optimum ağırlıkların elde edilmesinde herhangi bir etkiye sahip olmadığından, bu küme için elde edilen tahminler örneklem dışı verilere denk gelen tahminlerdir. Veri seti, eğitim, doğrulama ve test kümesi olarak parçalandığında ise eğitim ve doğrulama kümeleri optimum ağırlıkları belirlemek için kullanılır. Eğitim kümesi ağırlıkların değişimi için öğrenme örneklerini oluştururken, doğrulama kümesi için her adımda ağın performansı kontrol edilmektedir. Doğrulama kümesinin kullanılmasının amacı, eğitim sürecinin ağı ezberlemesini engelleyecek şekilde durdurulmasını sağlamaktır. Test kümesi bu parçalanma da yine mimari seçimi ya da performans ölçümü için kullanılır. Veri parçalamada sık kullanılan oranlar Şekil 2.15'te verilmiştir.

Eğitim Kümesi	Doğrulama Kümesi	Test Kümesi
%90	%0	%10
%80	%0	%20
%70	%0	%30
%90	%5	%5
%80	%10	%10
%70	%15	%15

Şekil 2.15. Veri parçalamada sık kullanılan oranlar (Eğrioğlu, Yolcu ve Baş, 2020)

Bu iki yöntem dışında k-bölmeli çapraz geçerlilik (k-fold cross validation), birini dışarda bırakma (leave-one-out) yöntemleri de yapay sinir ağının performans karşılaştırmasında kullanılan yöntemlerdir. k- bölmeli çapraz geçerlilikte veri seti k parçaya bölünür ve her defasında 1 parça test için ayrılarak diğer parçalar üzerinden eğitim gerçekleştirilir. Dışarıda kalan parça için test performansına bakılır yani bir performans ölçüsü hesaplanır. Bu işlem k kez tekrarlandığında k adet performans ölçüsü elde edilir ve bu ölçülerin ortalaması ve varyansı ağın performansını ortaya koyar.

Birini dışarda bırakma yönteminde ise verinin eğitimi, öğrenme örneği sayısından bir eksik olacak şekilde tekrarlanır. Her eğitim aşamasında farklı bir öğrenme örneği test için ayrılarak eğitim kümesinden dışlanır. Her eğitim sonunda kenara ayrılan veri için test performansı hesaplanarak, tüm eğitim tekrarları için elde edilecek performans ölçütü hesabı üzerinden k-bölmeli çapraz geçerliliğe benzer değerlendirmeler yapılır (Eğrioğlu ve ark, 2020)

- **Normalizasyon:** Veriler ağı sunulmadan önce normalizasyon işlemine tabi tutulurlar. Verideki aşırı salınımları engellemek ve sistem performansını arttırmak için kullanılırlar. Bunun için logaritmik fonksiyonlar kullanıldığı gibi, genellikle verilerin [0, 1] veya [-1, +1] aralıklarından birine ölçeklendirilmesi önerilmektedir. Ölçekleme verilerin geçerli eksen sisteminde sıkıştırılması anlamı taşıdığından veri kalitesi aşırı salınımlar içeren problemlerin yapay sinir ağı modellerini olumsuz yönde etkileyebilir (Bayır, 2006).

$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$	Hataların Kareli Ortalaması
$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i $	Ortalama Mutlak Hata
$MPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{y_i}$	Ortalama Yüzde Hata
$MAPE = \frac{\%100}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right $	Ortalama Mutlak Yüzde Hata
$MPSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{(y_i - \hat{y}_i)}{y_i} \right)^2$	Ortalama Yüzde Hata Kareleri
$RMPSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{(y_i - \hat{y}_i)}{y_i} \right)^2}$	Ortalama Yüzde Hata Kareleri Kökü

Şekil 2.16. Yapay sinir ağına ilişkin istatistiki performans ölçütleri (Yakut ve Çot, 2019)

- **Performans Fonksiyonunun Seçilmesi:** Yapay sinir ağı algoritmasının tahmin verilerinin incelenmesi istatistiksel performans ölçütleri ile yapılır. İstatistiksel Performans ölçütü, ağın verileri arasındaki bağıntıyı ne ölçüde öğrendiğini, yani

ağın gerçek veriye ne ölçüde bir hata ile yaklaştığını gösterir. Yapay sinir ağında en sık kullanılan performans ölçütleri aşağıdaki Şekil 2.16’da verilmiştir.

2.4 Rastgele Orman Algoritmalarının Kuramsal Yapısı

Rastgele orman algoritmaları, Şekil 2.17’de görüldüğü gibi bir topluluk öğrenme yöntemidir. Tek tek oluşturulan karar ağaçları birleşerek karar ormanını oluştururlar. Karar ormanındaki her karar ağacı, orijinal veri setinden bootstrap tekniği ile farklı örneklemeler seçilerek oluşturulmaktadır. Burada bootstrap yöntemi, bir popülasyon hakkında birçok küçük örneklemin istatistiklerinin ortalamalarını kullanarak çıkarım yapmak için kullanılan bir yeniden örnekleme yöntemidir. Rastgele orman algoritmalarında, ağaçların yapmış olduğu sınıf tahminleri bir araya getirilerek, nihai sınıf tahminini yapılmaktadır (Akman, 2010).

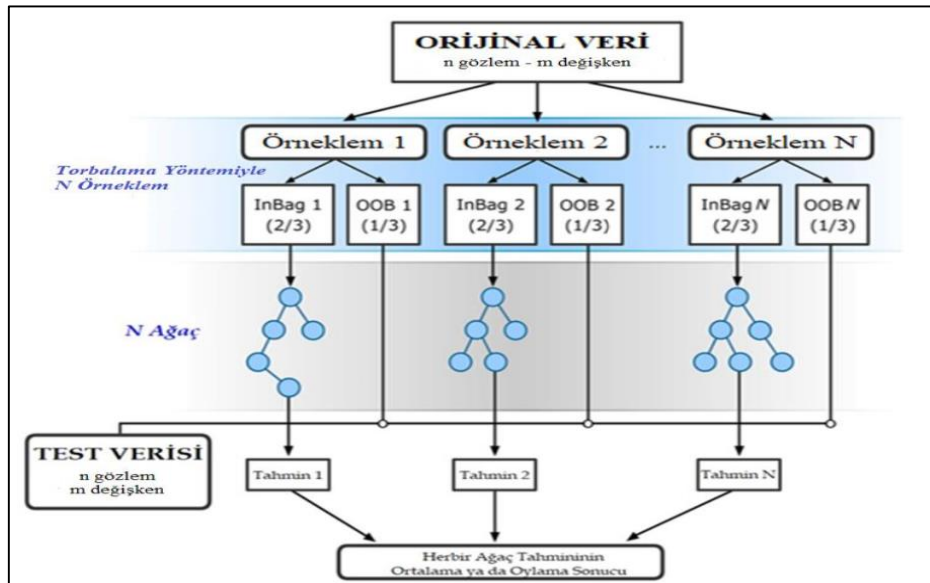
Rastgele orman yönteminin temelinde karar ağaçları vardır ve birbirinden bağımsız bir biçimde oluşturulan karar ağaçlarının bir araya gelmesiyle karar ormanları elde edilerek, karar ağaçları tarafından yapılmış olan tahminlerin birleşimi ile tek bir tahmin yapılması amaçlanır. Rastgele orman yönteminde üretilen her bir ağaç diğer ağaçlardan etkilenmeden meydana gelir. Popüler bir topluluk yöntemi olarak rastgele orman, aşırı uyumu (overfitting) önlemek için veri alt kümelerinden öğrenmek üzere tasarlanmıştır. Hem sınıflandırma hem de regresyon için kullanılırlar. RO yönteminde karar ağaçları oluşturulurken bölünme kriteri olarak, sınıf değişkenlerinin uygunluğunu ölçen Gini algoritmasını kullanır (Ceyhan, 2020).

Gini algoritması karar ağacı oluşturulmasında kullanılan bir algoritmadır. CART ağacı olarak tanımlanır. CART (Sınıflandırma ve Karar Ağaçları) karar ağacı her bir karar düğümünden itibaren ağacın iki dala ayrılması ilkesine dayanır. İlk hangi nitelikten bölüneceği ve bölünme değeri gini indeks değerine bakılarak hesaplanır. Gini indeks değeri veri setindeki varlıkların oranı olarak tanımlanabilir. İki varlığın gini değeri aynı çıkarsa sonuç dağılımları aynı demektir. Eğer veri setindeki bir nitelikte 3 veya daha fazla seçenek bulunuyorsa ve ikiden fazla bölünmeye izin verilmediği için birbirine yakın seçenekler gruplandırılır. Her bir nitelik için hesaplanan Gini değerleri arasından en küçük olanı seçilir ve bölünme bu nitelik üzerinden gerçekleşir (Adak ve Yurtay, 2013).

Rastgele orman yöntemi sınıflandırmada kullanılacak değişkenlerin belirlenmesi, değişkenler arasındaki etkileşimlerin tespit edilmesi, kayıp verilerin belirlenmesi, uç değerlerin belirlenmesi ve kümeleme analizi yapılması amacıyla kullanılır. Veri setinde çok sayıda

değişkenin olması durumunda, önem derecelerinden yola çıkarak değişken sayısının azaltılması ve modelin indirgenmesi ile daha etkin tahminlerin yapılmasında kullanışlıdır (Ceyhan, 2020).

Rastgele orman yönteminde, model kurulurken, modeli test etmek için ayrı bir test veri seti yoksa veya orijinal veri setinden test veri seti ayrılmamışsa, sınıf dağılımına bağlı kalınarak orijinal veri setinin $2/3$ ' ü öğrenme veri seti (inBag), $1/3$ 'ü ise test veri seti (Out-Of-Bag (OOB)) olarak ayrılmaktadır. Eğer ayrı bir test veri seti varsa veya orijinal veri setinden test veri seti ayrılmışsa, modelin kurulması için ayrılan öğrenme veri seti, kendi içinde $2/3$ oranında öğrenme veri seti (inBag), $1/3$ ' ü ise test veri seti (OOB) olarak ayrılmaktadır. Şekilde karar ağacı oluşturmak için orijinal veri setinden “inBag” verisi ve “OOB” verisinin hangi oranlarda seçildiği gösterilmiştir. Karar ormanı kaç karar ağacı ile oluşturulacaksa o kadar sayıda bootstrap tekniği ile örneklem oluşturulur ve her örneklem için inBag ve OOB verisi ayrılır. Kurulan her karar ağacının, o ağaç için ayrılan OOB verisi ile testi yapılarak hata oranı tahmini yapılmaktadır. Tüm karar ağaçları için yapılan OOB hata oranlarının ortalaması alınarak, karar ormanının (modelin) OOB hata oranı kestirimi hesaplanmaktadır. OOB verisi ile yapılan teste modelin iç testi de denilmektedir. Modelin testi, ayrı bir test veri seti varsa veya orijinal veri setinden test veri seti ayrılmışsa bu veri setleri ile de yapılabilir. Bu şekilde yapılan test ile ortaya çıkan hata oranı, OOB hata oranına yakın bir değer olmaktadır (Akman, 2010).



Şekil 2.17. Rastgele orman algoritmasının işleyişine yönelik adımlar (Sabancı, 2019)

2.4.1 Rastgele Orman Algoritması Öğrenme Süreci

Rastgele orman algoritmalarında Şekil 2.18’de verildiği gibi şu adımlar ile model oluşturulur:

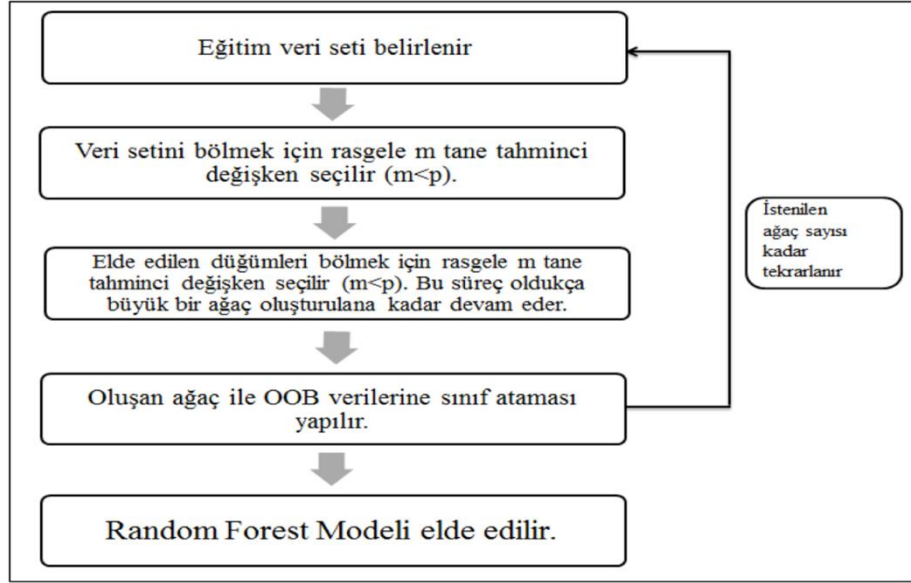
1. Her karar ağacı oluşturulurken, orijinal veri setindeki gözlem sayısı n ile aynı olacak şekilde Torbalama yöntemiyle N adet örneklem oluşturulmaktadır.

2. Orijinal veri setindeki gözlemlerin: $2/3$ ’ü InBag verisi olarak örneklemde bulunurken, $1/3$ ’ü de kurulan modelin iç hata oranını test etmek için OOB verisi olarak örneklem dışında kalmaktadır.

3. InBag verisi ile en büyük genişlikte CART karar ağacı oluşturulmaktadır. Bu ağaç oluşturulurken her düğümde mevcut tüm tahmin değişkenleri içerisinde en iyi değişkenleri seçmek yerine, her düğüm bölünmesinde toplam m tane bağımsız değişkenden p tanesi rastgele seçilmektedir ($p < m$). Çünkü ağacın aşırı büyümesi ve aşırı uyum göstermesi istenmemektedir. Seçilen bu p tane tahminci değişkenden bilgi kazancı en yüksek olan değişken ile dallara ayrılma gerçekleşmektedir. Bu değişkenin hangi değerine göre ayrımın olacağına “Gini İndeksi” ile karar verilmektedir. Hesaplanan değere göre veri seti her düğümde iki alt dala ayrılmaktadır. Bu işlem her düğüm için yeni oluşturulacak dal kalmayınca kadar tekrar edilmektedir ve elde edilen bu karar ağaçları budanmamaktadır.

4. Ormanı oluşturacak olan N ağaç sayısı elde edinceye kadar önceki adımlar tekrar edilmektedir. Ardından N tane ağacın ayrı ayrı yapmış olduğu sınıf tahminleri bir araya getirilerek yeni bir tahminde bulunmaktadır. İncelenen bir gözlemin hangi kategorilerde kaç defa sınıflandırıldığı sayılmaktadır. Her gözleme, ağaç setleri üzerinden belirlenen bir oy çoğunluğu ile sınıf ataması yapılmaktadır. Örneğin iki kategoriye sahip bir sınıflandırma modelinde, bir gözlem, tüm ağaçlar üzerinden en az %51 oy çoğunluğunu aldığı sınıfın etiketini taşımaktadır ve bu sınıf, onun tahmin edilmiş sınıf değeri olmaktadır. Sınıflandırma ağaçları için en çok oyu alan sınıf, en son tahmin olarak seçilirken, regresyon ağaçları için yapılan oylamanın ortalaması alınarak nihai tahmin yapılmaktadır.

5. Bireysel ağaçlarda kullanılmayan OOB gözlemleri ile yapılan tahminler ise ormanın iç hata oranı kestirimini yapmak için kullanılmaktadır. Ormanı oluşturan her karar ağacının OOB hata oranı hesaplanmaktadır. Yanlış sınıflandırmanın yüzdesi RF’nin sınıflandırma hatası oranı olarak belirlenmektedir (Sabancı, 2019).



Şekil 2.18. Rastgele orman modeli oluşturma algoritması (Yılmaz, 2014)

2.5 Mars Modellerinin Kuramsal Yapısı

Parametrik ve doğrusal olmayan Mars yönteminde hem sürekli hem de ikili yanıt değişkenleri için tasarlanmış yeni bir teknik olup, adımsal doğrusal regresyon ile tekrarlamalı ayırma regresyonunun bir birleşimi olarak tanımlanır.

Parametrik ve doğrusal olmayan bu yöntem, doğrusal yöntemlerin aksine değişkenlerin alt kümelerini dikkate almaktadır. Yani tahmin edici değişkenlerin oluşturmuş olduğu uzay, birbirleriyle örtüşük birçok bölgeye ayrılıp, uzanım fonksiyonlarını (spline functions) oluşturmakta ve bölgesel olan bu regresyon uzanımları da temel fonksiyon (basis function) olarak adlandırılmaktadır. Böylelikle, bu yöntem ile her bir değişken bölgelere ayrılıp, gerekli olan dönüşümler belirlenip bir dizi temel fonksiyon ve her bir temel fonksiyona ait katsayılar oluşturulur. Oluşan temel fonksiyonlar ise, bağımlı değişken ile parçalı doğrusal ilişki içindedir. Mars sağlam modeller üretir ve amaç değişkeni ile tahmin edici değişkenler arasındaki monoton olmayan ilişkileri kolaylıkla ele alır. Mars yöntemi bu süreç ile, yüksek boyuttaki verilerin içinde var olan karmaşık ilişkilerin üstesinden gelerek diğer doğrusal ve parametrik yöntemlerden daha iyi yorumlanmasını sağlar. Sonuç olarak, doğrusal ve eklemeli fonksiyonların tahmininde, tekrarlamalı ayırmanın karşılaştığı güçlüklerin üstesinden gelmek için Friedman Mars yöntemi ile ana bölgenin, kendi kardeş alt bölgelerinin belirlenmesi esnasında elenmemesi gerektiğini önermiştir. Bu sayede bundan sonraki tekrarlamalarda (iteration) hem ana hem de kardeş alt bölgeler daha ileri ayırmalar için elverişli olmaktadır (Sevimli, 2009).

2.5.1 Mars Modeli Adımları

Bu süreçte bir dizi temel fonksiyon ve bunların birleşimleri kullanılarak regresyon modellerindeki hem ileri hem de geriye doğru adım algoritmalarından yararlanılarak en uygun temel fonksiyon kümesi oluşturulur. Buna göre Mars modelinin oluşumunda birbiriyle bağlantılı iki farklı süreç uygulanır. Bunlar, ileriye ve geriye doğru adım algoritmalarıdır.

İleriye adım algoritmasında izlenen yol şöyledir;

1. En basit bir modelle başlanır. Dolayısıyla, başlangıç olarak modele sabit terim eklenir.
2. Ardından her bir açıklayıcı değişken için, temel fonksiyonların uzayı araştırılır.
3. Temel fonksiyonların uzayı içinde açıklayıcı değişkenler için artık hata kareler toplamında (sum-of-squares residual error) en çok azalmayı yapan temel fonksiyon çiftleri belirlenir ve modele alınır.
4. Çok büyük bir model bulununcaya kadar yani önceden belirlenmiş maksimum karmaşıklıkla modele ulaşıncaya kadar 2. adım olan temel fonksiyon araştırma adımına geri dönülür. Böylece, en üst seviyeye ulaşıncaya kadar eklenen temel fonksiyonlarla model büyür.

Sonuç olarak MARS'ın ileri adımlı model oluşturma süreci, kullanıcının tanımladığı maksimum temel fonksiyon sayısına ulaşıncaya kadar devam eder. Böylelikle oluşan model aşırı uyumlu (overfit) bir model olmuş olur.

Geriye adım algoritmasında ise ana amaç ileriye doğru adımda oluşturulmuş olan aşırı uyumlu modeli önlemek için model karmaşıklığını azaltmaya çalışmaktır. Bu amaçla geriye doğru adım algoritmasında, ileriye doğru adım algoritmasının devamı olarak aşağıdaki sıra takip edilir,

5. Modele giren bütün temel fonksiyonlar (sabit temel fonksiyon hariç) kümesi araştırılır. Burda uyum iyiliği kriteri olan Genelleştirilmiş Çapraz Geçerlilik (Generalized Cross Validation: GCV) kriterine en az katkısı olan temel fonksiyonlar elenir. Yani ileriye doğru adımda oluşturulan maksimum model en uygun varyans yan dengesi bulununcaya kadar budanır. Böylelikle tek tek en az etkili olan yani artık hata karelerinde artışa neden olan temel fonksiyonlar (sabit temel fonksiyon hariç) her adımda elenir.
6. Beşinci adımdaki süreç, en iyi alt model bulununcaya yani genel model için olan GCV kriteri en küçük değerine ulaşıncaya kadar devam eder (Sevimli 2009).

3. MATERYAL VE METOD

3.1 Materyal

Bu çalışmada, iki ayrı dokuma işletmelerinden alınan %100 pamuklu ve poliester/viskon ve poliester/viskon/elastan karışımli ve farklı konstrüksiyonlara sahip kumaşların verileri kullanılarak; çoklu doğrusal regresyon, lojistik regresyon, yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve Mars tekniğini baz alan çok çeşitli modeller oluşturulmuştur.

Pamuklu kumaş verileri Matesa Tekstil Dokuma İşletmesinde Smit G6300 armürlü tezgâhlarda, poliester/viskon ve poliester/viskon/elastan karışımli kumaşlar ise Uğur Tekstil Dokuma İşletmesinde Picanol Optimax armürlü tezgâhlarda dokunmuştur.

Modellerin eğitilmesinde ve doğrulanmasında kullanılan tüm veriler ilgili işletmelerin üretim yönetim sistemi veritabanından çekilmiştir. Pamuklu kumaşlara tüm testler mamül halde, poliester/viskon ve poliester/viskon/elastan kumaşlara ise yarı mamül yani ham halde yapılmıştır.

Pamuklu kumaşların veri tabanında desenleriyle ilgili örgü raporlarına ulaşamadığı için temel örgülü kumaş verileri seçilmiş, poliester/viskon ve poliester/viskon/elastan karışımli kumaşlarda ise desenlerin örgü raporları bulunduğu için herhangi bir eleme yapılmadan tüm kumaş verilerinden faydalanılmıştır.

3.2 Test Yöntemleri

Gerek yapısal gerekse mekanik performansların tahmin edilmesinde; modelin eğitilmesi için kullanılan verilerin elde edilmesi için iki farklı dokuma işletmesinde yapılan testler aşağıdaki Çizelge 3.1'deki gibidir;

Kumaştaki çözgü ve atkı ipliği sıklıkları, kumaş gramaj tayini, kumaş eni ölçümü, çözgü ve atkı kıvrım ölçümleri bu standartlara uygun olarak yapılmaktadır. Benzer şekilde kumaş kopma, yırtılma ve dikiş kayma dayanımı testleri de verilen standartlara uygun olarak yapılmıştır. Bu testler kumaş numunelerine hem çözgü hem de atkı yönünde ayrı ayrı yapılmaktadır.

Çizelge 3.1.Tüm kumaşlara uygulanan testler ve standartları

Uygulanan Testler		
1	Sıklık Tayini	TS 250 EN 1049-2 Tekstil dokunmuş kumaşlar- Yapı analiz metotları- Kısım 2- Birim uzunluktaki iplik sayısının tayini
2	Gramaj Tayini	TS 251 Dokunmuş kumaşlar- Birim uzunluk ve birim alan kütle tayini
3	Kumaş Eni Ölçümü	TS EN 1773 Tekstil- Kumaşlar, Genişlik ve uzunluğun tayini
4	Kıvrım Tayini	ASTM D 3883-99 Kumaştaki iplik kıvrımının ölçümü için standart test yöntemi
5	Kopma Kuvveti Tayini	TS EN ISO 13934-2: 2014 Tekstil- Kumaşların gerilme özellikleri- Bölüm 2: Kavrama metodu kullanılarak en büyük kuvvetin tayini
6	Yırtılma Mukavemeti Tayini	TS EN ISO 13937-1: 2006 Tekstil- Kumaşların yırtılma özellikleri- Bölüm 1: Balistik sarkaç metodu ile yırtılma kuvvetinin tayini
7	Dikiş Kayma Direnci	TS EN ISO 13936 -2: 2006 Tekstil dokuma mamullerinde ipliklerin kaymaya karşı mukavemetinin tayini- Dikiş metodu Böl 2: Sabit yük

3.3 Model Kodlama Sistemi

Farklı iki firmadan alınan pamuklu kumaş verileri ile poliesterviskon karışımı kumaş verileri için yapısal ve mekanik performansların tahmin edilmesi için ayrı ayrı modeller oluşturulmuştur. Bu bağlamda yapısal parametrelerin tahmin edilmesi için oluşturulan modellerde kullanılan kodlar Çizelge 3.2'deki gibidir;

Çizelge 3.2. Yapısal parametrelerin tahmin edilmesi için pamuklu ve karışım kumaşlarda kullanılan kodlar

Tahmin Edilen Yapısal Parametreler	Pamuklu Dokuma Kumaşlar	Karışım Dokuma Kumaşlar	Tüm Dokuma Kumaşlar
Çözümlü Kıvrımı (%)	Model 1P	Model 1K	Model 1PK
Atkı Kıvrımı (%)	Model 2P	Model 2K	Model 2PK
Ham Kumaş Eni (cm)	Model 3P	Model 3K	Model 3PK
Mamül Kumaş Eni (cm)	Model 4P	-	-
Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı (g/m-kare)	Model 5P	Model 5K	Model 5PK
Mamül Kumaş Birim Alan Ağırlığı (g/m-kare)	Model 6P	-	-

Aynı şekilde mekanik performansların tahmin edilmesi için oluşturulan modellerde kullanılan kodlar Çizelge 3.3'teki gibidir;

Çizelge 3.3. Mekanik performansların tahmin edilmesi için pamuklu ve karışım kumaşlarda kullanılan kodlar

Tahmin Edilen Mekanik Parametreler	Pamuklu Dokuma Kumaşlar	Karışım Dokuma Kumaşlar	Tüm Dokuma Kumaşlar
Çözü Köpma Kuvveti	Model 7P	Model 7K	Model 7PK
Atkı Köpma Kuvveti	Model 8P	Model 8K	Model 8PK
Çözü Yırtılma Mukavemeti	Model 9P	-	
Atkı Yırtılma Mukavemeti	Model 10P	-	
Çözü Dikiş Kayma Direnci	Model 11P	Model 11K	Model 11PK
Atkı Dikiş Kayma Direnci	Model 12P	Model 12K	Model 12PK

Modeller oluşturulurken kullanılan veri tabanında tüm pamuklu kumaşlar mamül, tüm karışım kumaşlar ise ham yani boya- terbiye işlemi görmemiştir. Bu nedenle pamuklu kumaşların yapısal parametrelerinde oluşturulan mamül en ve mamül birim alan ağırlığının tahminine yönelik modeller karışım kumaşlar için yapılmamıştır. Aynı zamanda kumaşların çoğu elastanlı olduğundan ve yırtılmadığından dolayı da pamuklu kumaşlarda yapılan çözü ve atkı yönünde yırtılma mukavemetinin tahmin edilmesine yönelik modeller karışım kumaşlar için oluşturulmamıştır.

Kumaşlarda tahmin edilecek her parametre için oluşturulan modellerde, model adının yanındaki ilk numara; tahmin edilecek parametreye etki eden tüm değişkenlerin modele dâhil edildiği en ilkel ham modeli verir. Örneğin; pamuklu kumaşlarda çözü kıvrımı için tüm değişkenlerin dâhil edildiği ham model; Model 1P şeklinde ifade edilir. Yanına konulan ikinci rakam her farklı bağımsız değişken için model numarasını verir; Model 1P0, 1P1, 1P2, ..., 1P15. Her model için bulunan en iyi alt küme için model numarasının yanında 1 varyant numarası verilir. Örneğin Model 1P0-1, demek pamuklu kumaşlar için çözü kıvrımını tahmin eden “0” nolu modelde en anlamlı alt küme ile oluşturulmuş yeni modeli ifade etmektedir.

3.4 Veri Tabanının Hazırlanması

Pamuklu kumaşlar için yapısal parametrelerden; % çözü kıvrımı, % atkı kıvrımı, ham kumaş eni, mamül kumaş eni, ham kumaş birim alan ağırlığı, mamül kumaş birim alan ağırlığı

tahmin parametresi olarak alınmıştır. Pamuklu kumaşlarda mekanik parametreler olarak ise çözgü ve atkı yönünde kopma kuvveti, çözgü ve atkı yönünde yırtılma mukavemeti, çözgü ve atkı yönünde dikiş kayması direnci tahmin parametresi olarak alınmıştır.

Karışım kumaşlar için yapısal parametrelerden; % çözgü kıvrımı, % atkı kıvrımı, ham kumaş eni, ham kumaş birim alan ağırlığı tahmin parametresi olarak alınmıştır. Karışım kumaşlarda mekanik parametreler olarak ise çözgü ve atkı yönünde kopma kuvveti, çözgü ve atkı yönünde dikiş kayması mukavemeti tahmin parametresi olarak alınmıştır.

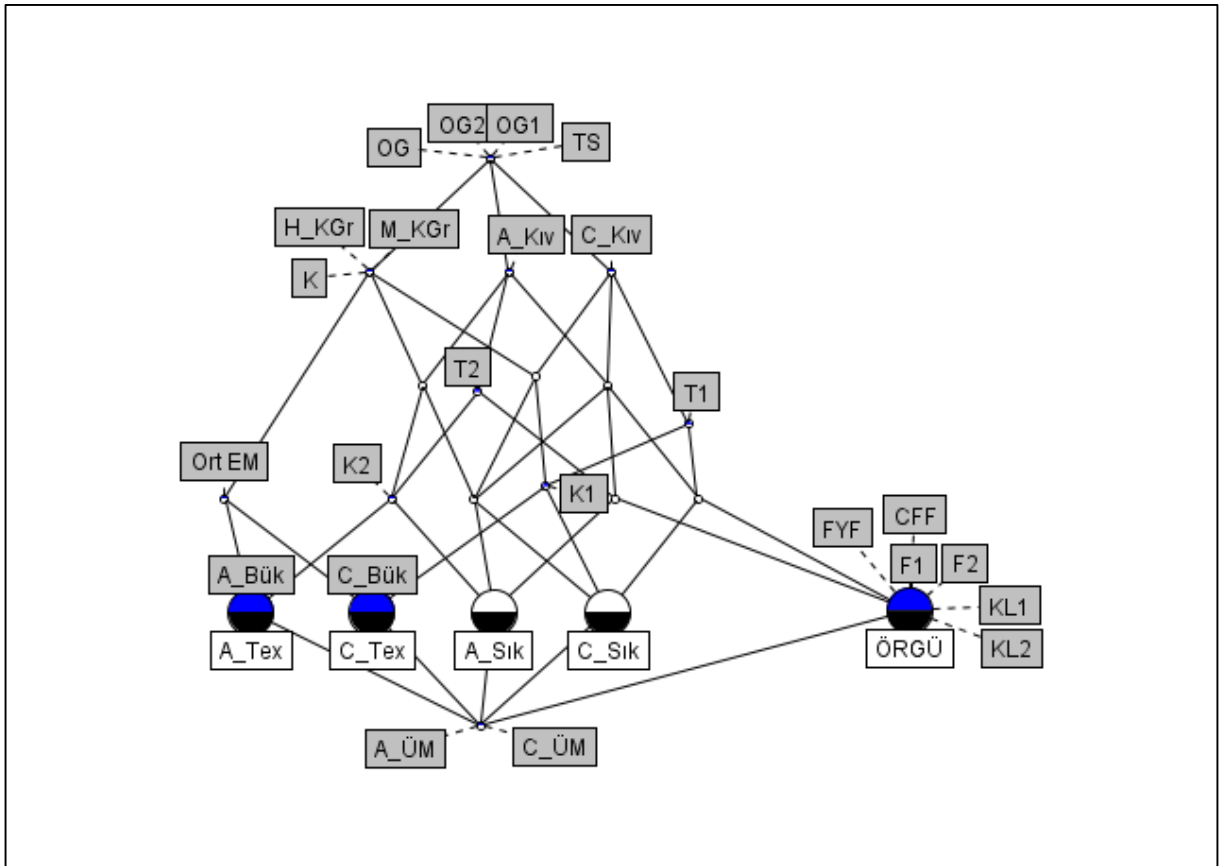
Bu çalışma kapsamında toplam 28 farklı kumaş parametresini tahminlemek için her bir parametre başına toplam 16 baz model tanımlanmıştır. Bu baz modellerde kullanılan örneklem (veri) sayısı hepsinde aynı olmamıştır. Baz model adı ve kumaş tipine göre kullanılan örneklem büyüklüğü Çizelge 3.4'te verilmiştir. Bu tablodaki her model birbirinden farklı kumaş konstrüksiyonu ya da kalitesini ifade etmektedir.

Çizelge 3.4. Pamuklu ve karışım kumaşlarda her model için kullanılan veri sayıları

Pamuklu Kumaşlar		Karışım Kumaşlar		Tüm Kumaşlar	
Model Adı	Veri Sayısı	Model Adı	Veri Sayısı	Model Adı	Veri Sayısı
1P	170	1K	234	1PK	404
2P	170	2K	232	2PK	402
3P	170	3K	232	3PK	402
4P	170	-	-	-	-
5P	170	5K	232	5PK	402
6P	170	-	-	-	-
7P	147	7K	45	7PK	192
8P	146	8K	45	8PK	191
9P	144	-	-	-	-
10P	142	-	-	-	-
11P	141	11K	232	11PK	373
12P	141	12K	232	12PK	373

Tüm kumaşlar için tahmin edilecek gerek yapısal gerekse mekanik parametreler ve bu parametrelere etki eden açıklayıcı değişkenler dikkate alınarak, her bir model için ayrı ayrı veri tabanı oluşturulmuştur.

Pamuklu kumaşlar, polyester/viskon karışım kumaşlar ve her iki veri setinin birleştirilmesi ile oluşturulan tüm kumaşlarda seçilen açıklayıcı değişkenler kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen değişkenler olarak ayrılır. Burada bir kumaş için ayırtedici ve doğrudan kontrol edilebilen değişkenler, iplik kalınlıkları, iplik sıklıkları ve örgüdür. Bunlara doğrudan kontrol edilemeyen bağımsız değişken olarak kıvrım değerleri de eklenebilir. Diğer değişkenler, bu temel değişkenler dayalı ölçüm ya da hesaplamalar ile edilmiştir. Bu çalışmada üç kumaş grubu için kullanılan tüm kumaş değişkenleri arasındaki ilişki diyagramı Şekil 3.1’de verilmiştir. Görüldüğü üzere, genel olarak diğer değişkenler arasında çok sayıda doğrudan ya da dolaylı ilişkiler vardır.



Şekil 3.1. Açıklayıcı değişkenler için ilişki diyagramı

Pamuklu kumaşların yapısal ve mekanik parametreleri için oluşturulan veri tabanında, tahmin edilen parametrelere (bağımlı değişken) etki eden açıklayıcı değişkenler (bağımsız değişken); çözgü iplik numarası, atkı iplik numarası, çözgü ipliği üretim metodu, atkı ipliği üretim metodu, çözgü ipliği büküm miktarı, atkı ipliği büküm miktarı, çözgü sıklığı, atkı sıklığı, çözgü kıvrımı, atkı kıvrımı, ham kumaş eni, mamül kumaş eni, ham kumaş birim alan ağırlığı, mamül kumaş birim alan ağırlığı, örgü faktörlerinden F1, F2, KL1, KL2, CFF, FYF ve kumaş

yapı faktörlerinden K1, K2, K, T1,T2, TS, OG1, OG2, OG' dir. Toplamda 30'un üzerinde bağımsız değişken tanımlanmış olsa da her bir baz modelde kullanılan bağımsız değişken sayısı 4-10 arasında değişmiştir.

Modellerde, pamuklu her farklı kumaş numunesi için dokuma işletmesinden çözgü ve atkı iplik inceliği Ne cinsinden, çözgü ve atkı ipliklerinin büküm miktarları (tur/m), kumaş eni bilgilerinden; tarak eni, ham eni ve mamül enleri, çözgü ve atkı sıklıkları, çözgü ve atkı yönünde % kıvrım oranları, ham kumaşta % haşıl oranı, ham kumaş birim alan ağırlıkları ile mamül kumaş birim ağırlıkları işletmeden hazır alınmış olup; kumaşlarda kullanılan çözgü ve atkı ipliklerinin lineer yoğunluğu (tex), İngiliz numaralama sisteminden (Ne) dönüştürülerek hesaplanmıştır.

Modellere dâhil edilecek kumaşlar seçilirken bezayağı, dimi, saten gibi temel örgüler ve bunların rips, panama, kırık dimi gibi basit türevleri alınmıştır. Kumaşlarda örgüyü sayısal olarak tanımlamak üzere kullanılan örgü faktörlerinden Ashenhurst' ün F1 ve F2 örgü faktörleri Formül 2.1 kullanılarak, Galceran' ın KL1 ve KL2 örgü faktörleri Formül 2.2 kullanılarak, Morino'nun CFF ve FYF örgü faktörleri Formül 2.6 ve 2.7 (veya Formül 2.8, Formül 2.9 ve Formül 2.10) kullanılarak hesaplanmıştır. Her kumaş için kumaş yapı faktörlerinden Pierce örtme faktörleri K1, K2 ve K için Formül 2.12 ve 2.13 den faydalanılmıştır, Seyam' ın yapı faktörü, T1, T2 ve TS için Formül 2.17, Formül 2.18 ve Formül 2.19'dan faydalanılmıştır. Son olarak Galceran' ın yapı faktörü OG1, OG2 ve OG ise, Formül 2.14, 2.15 ve 2.16 kullanılarak hesaplanmıştır.

Çözgü ve atkı ipliğinin üretim metodları için Open End Rotor, Ring, Penye, Kompakt iplik teknolojileri farklı kombinasyonları kullanılmış olup, modellerde etkisini ortaya çıkarmak üzere; Open End Rotor iplikler "1", Ring iplikler "2", Penye iplikler "3" ve Kompakt iplikler "4" ve katlı iplikler için "5" olarak kodlanmıştır.

İşletme verilerinde gerek pamuklu gerekse karışım çalışan dokuma işletmesinde dikiş kayma direnci için 20 kg-kuvvetin üstüne çıkan değerlerin girilmediği görülmüştür. Zira işletmeler bu değerlerin üstünde bir kuvvetin pratikte uygulanmayacağı gerekçesiyle, bunu eşik değer olarak varsayıp testi sonlandırmaktadırlar. Bu durumda veri seti düzenlenirken 20 kg-kuvvetin altı değerler için dikiş kayması gerçekleştiği için "1" kodu verilmiş, kayma olmayan kumaşlara ise "0" kodu verilerek modeller oluşturulmuştur. Modellerde dikişin açılmaması yani "0" değerine ulaşmak amaçlanmıştır.

Karışım kumaşların yapısal ve mekanik parametreleri için oluşturulan veri tabanında, tahmin edilen parametrelere (bağımlı değişken) etki eden açıklayıcı değişkenler (bağımsız değişken); çözgü iplik numarası, atkı iplik numarası, çözgü ipliği elastan numarası, atkı ipliği elastan numarası, çözgü ipliği büküm miktarı, atkı ipliği büküm miktarı, çözgü sıklığı, atkı sıklığı, çözgü kıvrımı, atkı kıvrımı, ham kumaş eni, tarak eni, ham kumaş birim alan ağırlığı, ortalama elyaf mukavemet katsayısı, örgü faktörlerinden F1, F2, KL1, KL2, CFF, FYF ve kumaş yapı faktörlerinden K1, K2, K, T1,T2, TS, OG1, OG2, OG' dir.

Farklı dokuma işletmesinden alınan karışım kumaşların tümü ham kumaş olup, farklı kompozisyonlarda poliester- viskon, poliester- viskon-elastan' dır. Elastanlı kumaşlar, atkıdan elastanlı (mono streç) ve atkı ve çözgü elastanlı (bistreç) olarak gruplanmıştır. Bu farklılıklar her bir kumaşta kompozisyon oranı olarak ortaya konmuştur.

Karışım kumaşlarda üretici ham kumaş üreticisidir ve çözgü iplikleri de katlı iplik olduğundan dokuma hazırlık dairesinde haşıl prosesi elimine edilmiştir. Karışım kumaşlarda, pamuklu kumaşların aksine çözgü ve atkı ipliklerinin üretim metotlarının modele katkısı incelenmemiştir. İpliklerin tümü tek kat üretimde Ring iplik hattından çıkmış ve daha sonra katlama büküm prosesi ile çift kat veya çift kat elastan haline dönüştürülmüştür. Veri tabanında kumaşlarda, çözgü ve atkı olarak kullanıldığı yöne göre elastan numarası belirtilmiştir.

Karışım kumaşlarda çözgü ve atkı ipliklerinde kullanılan poliester, viskon ve elastanın öz mukavemetlerindeki farklılıklardan dolayı, kumaşların mekanik performansları tahmin edilirken kumaş kompozisyonuna göre bu farklılıkları ortaya koymak için “ortalama elyaf mukavemet katsayısı” parametresi tanımlanmıştır. Burada kumaşta poliester, viskon ve elastan yüzde oranlarına göre, toplam elyaf mukavemet katsayısı için, poliester elyaf mukavemeti 47 cN/tex, viskon elyaf 18 cN/tex ve elastan ise 3,1 cN/tex alınarak hesaplanmıştır.

Örneğin; %65 poliester-%30 viskon ve %5 elastan karışımlı bir kumaş için;

$$\text{Ortalama Elyaf Mukavemet Katsayısı}=(0,65*47)+(0,30*18)+(0,05*3,1) \quad (3.1)$$

Formül 3.1'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Son olarak pamuklu kumaşlar ile karışım kumaşlar işletme farkı gözardı edilerek birleştirilmiş ve yeni veri tabanı oluşturulmuştur. Tüm kumaşlarda, yapısal ve mekanik parametreleri için oluşturulan veri tabanında, tahmin edilen parametrelere (bağımlı değişken) etki eden açıklayıcı değişkenler (bağımsız değişken); çözgü iplik numarası, atkı iplik numarası,

çözgü ipliği elastan numarası, atkı ipliği elastan numarası, çözgü ipliği büküm miktarı, atkı ipliği büküm miktarı, çözgü ipliği üretim metodu, atkı ipliği üretim metodu, çözgü sıklığı, atkı sıklığı, çözgü kıvrımı, atkı kıvrımı, ham kumaş eni, tarak eni, ham kumaş birim alan ağırlığı, ortalama elyaf mukavemet katsayısı, elyaf özgül eğilme rijitliği, örgü faktörlerinden F1, F2, KL1, KL2, CFF, FYF ve kumaş yapı faktörlerinden K1, K2, K, T1, T2, TS, OG1, OG2, OG' dir.

Tüm kumaşlarda çözgü ve atkı ipliklerinde kullanılan pamuk, poliester, viskon ve elastanın kumaş kompozisyonundaki oranına göre “elyaf özgül eğilme rijitliği” hesaplanmıştır. Burada amaç elyafın rijitliğinin kumaş kıvrımına etkisini ortaya koymaktır. Pamuk elyafı için özgül eğilme rijitliği $0,53 \text{ mNmm}^2/\text{tex}^2$, poliester için bu $0,30 \text{ mNmm}^2/\text{tex}^2$, viskon için $0,35 \text{ mNmm}^2/\text{tex}^2$ ve elastan için $0,083 \text{ mNmm}^2/\text{tex}^2$ alınmış ve kumaş için “elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı” hesaplanmıştır.

Örneğin; %65 poliester-%30 viskon ve %5 elastan karışımı bir kumaş için;

$$\text{Elyaf Özgül Eğilme Rijitliği Katsayısı} = (0,65 \cdot 0,30) + (0,30 \cdot 0,35) + (0,05 \cdot 0,083) \quad (3.2)$$

Formül 3.2' de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. %100 pamuklu kumaşlarda bu katsayı herhangi hesaplamaya gerek kalmadan direkt $0,53 \text{ mNmm}^2/\text{tex}^2$ alınmıştır. Yine pamuklu kumaşların ortalama elyaf mukavemet katsayısı da hesaplamaya gerek kalmadan pamuk elyafının mukavemeti 25 cN/tex alınmıştır.

Çoklu istatistik analizinde, anlamlı sonuçlara ulaşabilmek ve istatistiki güvenilirliği artırmak için uygulanacak temel kurallardan birisi, örneklem büyüklüğü ile bağımsız değişken sayısı arasındaki orandır (Tabachnick & Fidell, 2013). Bu oran genelde şu formülle ifade edilir:

$$N \geq 50 + (8 \times \text{Bağımsız Değişken Sayısı})$$

Bu tez çalışmasında Çizelge 3.4'te verilen model başına kullanılan örneklem sayısı ve bağımsız değişken sayısı kontrol edildiğinde; 7K ve 8K dışındaki tüm modellerde örneklem büyüklüğü ve bağımsız değişken sayısı arasındaki bu oran sağlanmaktadır.

Diğer tarafa veri kümelerinin dağılım karakteristiklerini karşılaştırmak için bazı temel parametreler bazında değerlendirme yapılmıştır. Bu anlamda üç veri seti için iplik numaraları ve sıklıkların bir arada kullanıldığı örtme faktörü (Pierce örtme faktörü “K” seçilmiştir) ve örgü faktörü (Ashenhurst' un F1 ve F2 değerleri seçilmiştir) ile veri setlerinin

dağılımkarakteristikleri karşılaştırılmıştır. Gerçek veriler kullanılarak varyasyon katsayıları ve değişim aralıkları hesaplanmış ve Çizelge 3.5'te verilmiştir. Buna göre örgüler içerisinde en fazla varyasyonun karışım kumaşlarda olduğu, kumaş sıklığı ve iplik numaralarına göre hesaplanan örtme faktörü için de en az değişkenliğin pamuklu kumaşlarda, ortalamaya göre en fazla değişkenliğin de beklenildiği üzere tüm kumaşlarda olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.5. İşletmelerden alınan gerçek veri kümelerinin örtme ve örgü faktörleri için dağılım karakteristikleri

Dağılımları	Varyasyon Katsayısı (% CV)			Değişim Aralığı (Range)		
	Kontrol			Edilen Veri		
Setleri	Pamuklu Kumaşlar	Karışım Kumaşlar	Tüm Kumaşlar	Pamuklu Kumaşlar	Karışım Kumaşlar	Tüm Kumaşlar
Örtme Faktörü K	8,39	9,73	10,00	13,56	11,31	14,84
Örgü Faktörü F1	27,64	39,22	22,00	1,50	5,00	5,00
Örgü Faktörü F2	27,64	36,72	19,50	1,50	5,00	5,00

3.5 Regresyon ve Yapay Zekâ Modellerinin Kurgulanması

Pamuklu ve karışım kumaşlarda tahmin edilecek olan yapısal veya mekanik performanslar modellerde bağımlı veya çıktı değişkeni, bu değişkenlere etki eden alt kriterlere ise bağımsız veya açıklayıcı değişken denir.

Bu çalışmada tahmin modelleri oluştururken izlenen yol şöyledir;

1. Her tahmin parametresi için modeller hazırlanırken, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin dâhil olduğu veri tabanı olduğu gibi, ilk şekliyle, Minitab 21 versiyonlu istatistik programında regresyon analizine dâhil edilmiştir.

2. Çıkan ilk ham modelde, T-test ile modelin katsayılarının anlamlılığının test edilmiştir.

$H_0; \beta_i=0$ (sıfır hipotezi) ve $H_1; \beta_i \neq 0$ (karşıt hipotezi)

Burada; $T_{\text{hesaplanan}} = \text{Katsayılar} / \text{Standart Hata katsayılar}$

$$T_{\text{hesaplanan}} = \text{Coef} / \text{SE Coef}$$

$T_{\text{tablo}} = T(\alpha, DF)$ yani $T_{\text{tablo}} = T(\alpha, n-k)$ olmak üzere $T_{\text{hesaplanan}} \geq T_{\text{tablo}}$ ise H_0 hipotezi reddedilir, H_1 hipotezi kabul edilir ve katsayıların tek tek anlamlı olduğu sonucu çıkarılır.

3. Regresyon modellerinde vif değerleri ile model katsayılarının çoklu doğrusallığı kontrol edilmiştir. VIF (variance inflation factor) değeri 10'dan küçük olduğunda söz konusu açıklayıcı değişken ile diğer değişkenler arasında çoklu doğrusal problemin olmadığı sonucu ortaya çıkar. Yani $VIF < 10$ olmalıdır.

4. Modelin bir bütün olarak anlamlılığına bakarken F testinden faydalanılır. F testi bağımsız değişkenlerin tamamının bağımlı değişken üzerindeki etkisini test etmek için kullanılır. Buna ilişkin hipotez testleri;

$H_0; \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_n = 0$ (sıfır hipotezi)

$H_1; \text{En az bir tane } \beta_j \neq 0$ (karşıt hipotezi)

Burada;

$$F_{\text{hesaplanan}} = \text{Kareler ortalaması}_{\text{regresyon}} / \text{Kareler ortalaması}_{\text{error}}$$

ve regresyon özet tabloda bu F-testinde;

$$F_{\text{hesaplanan}} = \text{Adj MS}_{\text{regresyon}} / \text{Adj MS}_{\text{error}}$$

$F_{\text{tablo}} = F(\alpha, DF_{\text{regresyon}}, DF_{\text{hata}})$ yani $F_{\text{tablo}} = F(\alpha, k-1, n-k)$ olmak üzere;

$F_{\text{hesaplanan}} \geq F_{\text{tablo}}$ ise H_0 hipotezi reddedilir, H_1 hipotezi kabul edilir ve regresyon modelinin anlamlılığını gösterir.

5. Modelin özet tablosunda, parametrenin tahmin edilme gücünün göstergesi olarak R^2 ve standart hata değerleri kontrol edilmiştir.

6. Ham modelde açıklayıcı yani bağımsız değişkenler için en iyi alt küme Stepwise yöntemi ile seçilmiştir.

7. Bu alt küme ile regresyon modeli tekrarlanmış ve bu modele ham model üzerinden varyant numarası verilmiştir.

8. Yeni regresyon modelinde de T-test ile modelin katsayılarının anlamlılığının ($p < 0,05$ olduğunda katsayı anlamlıdır) ve vif değerleri ile çoklu doğrusallığı ($vif < 10$ olduğunda çoklu doğrusallık yoktur) kontrol edilmiş, F-test ile de modelin anlamlılığının bakılmıştır ($p < 0,05$ olduğunda model anlamlıdır).

9. Katsayılardan herhangi biri anlamsız çıktığında modelden çıkarılarak regresyon modeli tekrarlanmış, birden fazla anlamsız katsayı olduğunda p değeri en büyük olandan başlanarak elimine edilmiş ve modeller yenilenmiştir.

10. Hem katsayıların hem de modelin anlamlı çıktığı son regresyon denklemi örnek model olarak kaydedilmiştir.

11. Yapılan tüm regresyon analizlerinde, modelleri eğitecek numune sayısının sınırlı olmasından dolayı veriler test ve eğitim verisi olarak ayrılmamış ancak Minitab istatistik paket programında modeli test etmek için k- bölmeli- çapraz geçerlilik (K-Folds Cross Validation) testi kullanılarak verileri 10 farklı alt kümeye bölünmüş ve her kümenin ayrı ayrı belirlilik katsayısı R^2 değeri ve standart hata s değerlerinin ortalaması hesaplanarak oluşturulan modelin anlamlılığı ortaya konulmuştur.

12. Her tahmin parametresi için oluşturulan modellerde aynı tahmin gücünü veren birden fazla model olduğunda, en anlamlı model seçilirken, aynı zamanda tüm değişkenlerin dâhil edildiği ilk modelin de R^2 değeri dikkate alınmıştır. Hem ham modelde hem de en iyi alt küme ile oluşturulmuş modelde en yüksek R^2 değerini veren model örnek model olarak seçilmiştir.

13. Bu durumda pamuklu kumaşların yapısal parametrelerinden; çözgü kıvrımı, atkı kıvrımı, ham en, mamül en, ham birim alan ağırlığı ve mamül birim alan ağırlığı olmak üzere tüm modellerin bağımlı ve bağımsız değişkenleri, yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve Mars tekniğinde girdi ve çıktı değişkenleri olarak modele dâhil edilmiştir. Aynı şekilde performans parametrelerinden çözgü ve atkı yönünde kopma kuvveti, çözgü ve atkı yönünde yırtılma mukavemeti ve çözgü ve atkı yönünde dikiş kayma mukavemeti için tüm modellerin bağımlı ve bağımsız değişkenleri yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve Mars tekniğinde girdi ve çıktı değişkenleri olarak modele dâhil edilmiştir.

14. Pamuklu kumaşlar gibi karışım kumaşlar için de yapısal parametrelerden çözgü kıvrımı, atkı kıvrımı, ham en ve ham birim alan ağırlığı için en iyi dört model ile performans parametrelerinden çözgü ve atkı yönünde kopma kuvveti ve çözgü ve atkı yönünde dikiş kayma mukavemeti için tüm modellerin bağımlı ve bağımsız değişkenleri yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve Mars tekniğinde için girdi ve çıktı değişkenleri olarak değerlendirilmiştir.

15. Pamuklu ve karışım kumaş verileri birleştirilerek tüm kumaşlar veri seti oluşturulmuş, bu veriler ile de regresyon, yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ile Mars tekniği ile modeller oluşturulmuştur.

16. Yapay sinir ağı modellerinde son çıkan örnek regresyon modellerinde kullanılan aynı veri seti kullanılmış, bu veriler eğitim ve test verisi olarak ayrılmadan k-fold-cross validation uygulanarak çapraz doğrulama yapılmıştır. Son olarak işletmelerden yeni veriler alınarak modelin doğrulanması için test edilmiştir.

17. Tüm modellerde yapay sinir ağı ile model oluşturmak için Weka programında, literatürde sıklıkla kullanılan ileri kademeli geri yayılım (cascade) ağı kurulmuştur. Uygun ağ modeli seçilirken WEKA programında Classify sekmesinden, “MultilayerPerception” işaretlenmiştir.

18. Yapay sinir ağı ile oluşturulan her model için tıpkı regresyonda en iyi alt kümeyi bulurken kullandığımız stepwise yöntemi gibi indirgenmiş öznelik seçmek için, yani en iyi alt kümeyi bulmak adına WEKA programında Classify içinde Meta sekmesinin altına “AttributeSelectedClassifier” işaretlenmiştir. Tekrar “AttributeSelectedClassifier” seçildikten sonra içine girerek Classify sekmesinden, “MultilayerPerceptron” işaretlenmiştir.

19. Yapay sinir ağlarında her model için girdi katmanındaki nöron sayısı tahmin parametresine etki edebilecek kumaş yapısal parametrelerinden seçilmiştir. Regresyon, yapay sinir, rastgele orman algoritmalarının ve Mars tekniğinin tahmin etme yeteneklerinin karşılaştırılması adına nöron sayısı, en anlamlı çıkan regresyon modelinin bağımsız değişkenleri ile aynı alınmıştır. Çıkış katmanındaki bir nöron ise tahmin edilecek olan yapısal veya performans parametresidir.

20. Tüm yapay sinir ağı modelleri için modeli tanımlayan parametreler Şekil 3.2’de verilmiştir.

weka.classifiers.functions.MultilayerPerceptron

About

A classifier that uses backpropagation to learn a multi-layer perceptron to classify instances.

More

Capabilities

GUI: False

autoBuild: True

batchSize: 100

debug: False

decay: False

doNotCheckCapabilities: False

hiddenLayers: a

learningRate: 0.3

momentum: 0.2

nominalToBinaryFilter: True

normalizeAttributes: True

normalizeNumericClass: True

numDecimalPlaces: 2

reset: False

resume: False

seed: 0

trainingTime: 500

validationSetSize: 0

validationThreshold: 20

Şekil 3.2.Yapay sinir ağı model parametreleri

Burada AutoBuild ile otomatik olarak oluşturulan tüm modellerde öğrenme oranı 0,3, momentum 0,2, iterasyon sayısı 500, gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıkıktı nöron sayısı}) / 2$ formülünden girdi ve çıkıktı nöron sayısına göre alınmıştır.

21. Yapay sinir ağları ile oluşturulan tüm modellerde aktivasyon fonksiyonu sigmoid' dir. Bu fonksiyondan dolayı veri kümeleri Weka programında ağa verilmeden önce 1 ile +1 arasında normalize edilmiştir.

22. Yapay sinir ağının tüm modellerinde öğrenme tipi “denetimli” öğrenmedir.

23. Yapay sinir ağı ile oluşturulan tüm modellerde en uygun modelin bulunması aşamasında verilerin eğitimi için kullanılan öğrenme algoritması olarak hatayı geriye yayan algoritmalarından “Levenberg- Marquadt (LM)” algoritması kullanılmıştır.

24. Tüm modellerde rastgele orman algoritmaları ile model oluştururken WEKA programında Classify içinde trees sekmesinin altına “RandomForest” işaretlenmiştir.

25. Tüm rastgele orman modelleri için modeli tanımlayan parametreler Şekil 3.3'te verilmiştir.

Parameter	Value
bagSizePercent	100
batchSize	100
breakTiesRandomly	False
calcOutOfBag	False
computeAttributeImportance	False
debug	False
doNotCheckCapabilities	False
maxDepth	0
numDecimalPlaces	2
numExecutionSlots	1
numFeatures	0
numIterations	100
outputOutOfBagComplexityStatistics	False
printClassifiers	False
seed	1
storeOutOfBagPredictions	False

Şekil 3.3. Rastgele orman algoritması model parametreleri

Rastgele orman algoritmalarında tüm verilerden torbalama yöntemi ile 100 alt grup örneklem oluşturulmuştur. Modelde eğitim verisi olarak (inbag) verilerin 2/3 ü olacak şekilde ve test verisi olarak (outofbag) de 1/3 ü olacak şekilde weka programı rastsal olarak her örneklem grubu için seçer. Tüm örneklem grupları için inbag verilerinden

toplam 100 karar ağacı oluşturulur ve bu karar ağaçlarından çıkan tahmin sonuçlarının ortalaması alınarak tek bir tahmin değeri elde edilir. Her model için bu işlem 100 iterasyon olacak şekilde tekrarlanmıştır.

26. Rastgele orman algoritmaları ile oluşturulan her model indirgenmiş öznitelik seçmek için, yani en iyi alt kümeyi bulmak adına WEKA programında Classify içerisinde Meta sekmesinin altına “AttributeSelectedClassifier” işaretlenmiştir. Tekrar “AttributeSelectedClassifier” seçildikten sonra içine girerek Classify içerisinde “trees” sekmesinin altına “RandomForest” işaretlenmiştir.

27. Tüm modellerde Mars tekniği ile model oluşturmak WEKA programında Classify içerisinde “mlr” sekmesinin altına “MLRClassifier” işaretlenmiştir. Tekrar “MLRClassifier” içerisine girip buradan da “Rlearner” sekmesi altında “regr.mars” seçilir.

28. Tüm Mars tekniği modelleri için modeli tanımlayan parametreler Şekil 3.4’te verilmiştir.

weka.classifiers.mlr.MLRClassifier

About

A classifier that wraps the MLR package for R. [More](#) [Capabilities](#)

RLearner: regr.mars

batchSize: 100

debug: False

doNotCheckCapabilities: False

dontReplaceMissingValues: False

learnerParams:

logMessagesFromR: False

numDecimalPlaces: 2

seed: 1

Şekil 3.4. Mars tekniği model parametreleri

Weka programında Rlearner sekmesinde “regr.mars” seçildikten sonra, diğer parametreler WEKA program tarafından verilir.

29. Mars tekniği ile oluşturulan her model indirgenmiş öznitelik seçmek için, yani en iyi alt kümeyi bulmak adına WEKA programında Classify içerisinde Meta sekmesinin altına “AttributeSelectedClassifier” işaretlenmiştir. Tekrar “AttributeSelectedClassifier” seçildikten sonra içine girerek programında Classify içerisinde “mlr” sekmesinin altına “MLRClassifier” işaretlenmiştir. Tekrar “MLRClassifier” içerisine girip buradan da “Rlearner” sekmesi altında “regr.mars” seçilmiştir.

Sadece hem pamuklu hem karışım hemde tüm kumaşların dikiş kayması dayanımı için çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmış fakat tahmin sonuçları bağımlı değişkenin kesikli olmasından dolayı tatmin edici bulunmamıştır. Bu nedenle dikiş kayması dayanımı için çoklu doğrusal regresyon modelleri dışında lojistik regresyon modelleri de oluşturulmuştur ve yine buradan çıkan sonuçlar yapay sinir ağları, rastgele orman algoritmaları ve Mars tekniği ile karşılaştırılmıştır. Lojistik regresyon analizi ile modeller oluşturulurken Minitab 21 istatistik paket programında;

1. Binary Logistik Analysis sekmesinden bağımlı ve tüm bağımsız değişkenler tanımlanmıştır.

2. Modelin çıktısında; tanımlanan tüm değişkenler için dikiş açılmama olasılığını gösterir regresyon modeli oluşturulmuştur.

3. Lojistik regresyon modellerinde parametrelerin tek tek istatistiksel olarak anlamlılığını ölçmek için Z-testi kullanılır. Buna ilişkin hipotez testleri;

$H_0; \beta_i=0$ (sıfır hipotezi) ve $H_1; \beta_i \neq 0$ (karşıt hipotezi)

Burada;

$Z_{\text{değeri}} = \text{Katsayılar} / \text{Standart Hata}_{\text{katsayılar}}$

$Z_{\text{value}} = \text{Coef} / \text{SE Coef}$

Z değeri ne kadar büyük olursa, modelde değişkene dair belirsizlik o kadar az olur. Katsayılar tablosunda, her açıklayıcı değişkene dair P değerlerine baktığımızda $P < 0,05$ olduğunda açıklayıcı değişkenin model için anlamlı olduğu sonucu ortaya çıkar.

4. VIF (variance inflation factor) değeri 10' dan küçük olduğunda sözkonusu açıklayıcı değişken ile diğer değişkenler arasında çoklu doğrusal problemin olmadığı sonucu ortaya çıkar. Yani VIF < 10 olmalıdır.

5. Sürekli değişkenler için Odds oranına bakılarak lojistik regresyon analizinde, modele giren her bağımsız değişkenin, bağımlı değişkenin olması beklenen olasılığına yani dikiş açılmasının gerçekleşmemesine ne kadar etki ettiği tespit edilmiştir. Burada Odds oranının 1' den büyük değer alması maruziyetin büyüklüğünü göstermektedir. Burada Odds oranının doğruluğunu tahmin etmek için %95 güven aralığı (CI) kullanılmıştır; geniş bir CI, odds oranının düşük doğruluk düzeyini gösterirken, daha dar aralıkta bir CI, odds oranının daha yüksek doğruluk düzeyini göstermiştir.

6. Modelin özet tablosunda Deviance R^2 , Deviance R^2 (adj), AIC, AICc, BIC, ROC eğrisinin altında kalan alan, k- bölmeli- çapraz geçerlilik (K-Folds Cross Validation) testi kullanılarak verileri 10 farklı alt kümeye bölünmüş ve her kümenin ayrı ayrı Deviance R^2 ve ROC eğrisinin altında kalan alanın ortalaması hesaplanarak oluşturulan modelin dikiş açılmama olasılığını tahmin ederken anlamlılığı ortaya konulmuştur.

7. Uyum iyiliği testinde elde edilen modelin sonuç değişkenini tanımlamakta ne kadar etkili olduğu modelin uyum iyiliği ile incelenir. Bunun için Deviance, Pearson ve Hosmer Lemeshow testleri ile uygulanmış ve p anlamlılık düzeyi 0,05' den büyük olması gereken tüm bu testlerde, modelin uyum iyiliği araştırılmıştır.

8. Son olarak varyans analizinde Wald testi ile regresyon modelinin ve katsayıların anlamlılığı ortaya konulmuştur. Modelin bir bütün olarak anlamlılığına bakarken Wald testinden faydalanılmıştır. Wald testi tıpkı F testi gibi lojistik regresyon modellerinde bağımsız değişkenlerin tamamının bağımlı değişken üzerindeki etkisini test etmek için kullanılır. Buna ilişkin hipotez testleri;

$H_0; \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_n = 0$ (sıfır hipotezi)

H_1 ; En az bir tane $\beta_j \neq 0$ (karşıt hipotezi)

Burada regresyon modeli için Wald istatistiğinin P değeri 0,05' den küçük olduğundan ($P < 0,05$), regresyon modeli için anlamlıdır sonucu ortaya çıkmıştır.

9. Lojistik regresyon analizinde bağımsız değişkenlerden model için yeteri kadar anlamlı olmayanlar, p anlamlılık düzeyi en yüksek olandan başlayarak sırayla elimine edilmiştir. Tüm katsayılar ve regresyon modeli anlamlı olduğunda model örnek olarak kaydedilmiştir.

3.6 Kurgulanan Modellerin Endüstriyel Kullanım Kriterleri

Modellerin işletmelerde kullanılabilirliğini yorumlarken, literatürde benzer performans modelleri üzerinde yayımlanan çalışmalar dikkate alınarak aşağıdaki Çizelge 3.6'dan faydalanılmıştır.

Çizelge 3.6. Model performansı için sınır değerler; %R korelasyon katsayısı ve % R^2 belirlilik katsayısı

R Korelasyon Katsayısı	% R- kare Belirlilik Katsayısı	Kullanılabilirlik
0,85 - 1,00	72 - 100	Kullanımı uygundur
0,75 - 0,84	56 - 71	Kullanım kontrollü olmalıdır
0,00 - 0,74	0- 55	Kullanımı uygun değildir

Çizelge 3.6'da görüldüğü gibi, R katsayısı 0,75-0,84 arası modellerde korelasyon her ne kadar iyi olsada, %R belirlilik katsayısı ortalama değerler arasında olduğundan model işletmelerde örnek veriler üzerinde denenerek kontrollü kullanılmalıdır.

4. TAHMİN MODELLERİNİN KURULMASI

4.1 Çözü Kırırımı İçin Tahmin Modelleri

Pamuklu kumaşlar, karışım kumaşlar ve bunların biraraya gelmesi ile oluşturulan tüm kumaşlar için ayrı ayrı öncelikle regresyon modelleri, daha sonra aynı açıklayıcı değişkenler ile yapay zekâ modellerinden yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve Mars tekniği ile modeller oluşturulmuş ve bu modellerin tahmin performansları için % R korelasyon katsayı ile karşılaştırılmıştır.

4.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Çözü Kırırımının Tahmin Modellerinin Kurulması

Pamuklu kumaşların çözü kırırımını tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (ıktı değişkeni) olarak % çözü kırırımı alınırken, bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak şekil 4.1’den faydalanılmıştır.

MODEL 1-P																
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Çözü Kırırımı (%)																
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler															
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri											
	Çözü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Çözü İpliği Üretim Metodu	Çözü İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözü Sıklık (tel/cm)	Atkı Sıklık (atkı/cm)	F1	KL1	CFF	FYF	K1	K	T1	TS	OG1	OG
0	x	x	x	x	x	x	x									
1	x	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x	x				x						
4		x	x	x		x	x				x					
5		x	x	x		x		x			x					
6		x	x	x		x			x		x					
7		x	x	x		x				x	x					
8			x	x			x					x				
9			x	x				x				x				
10			x	x					x			x				
11			x	x						x		x				
12		x	x	x		x							x			
13			x	x										x		
14		x	x	x		x									x	
15			x	x												x

şekil 4.1. Pamuklu kumaşlarda çözü kırırımının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.1.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Çözümlü Kıvrımı İçin Regresyon Modelleri

Pamuklu kumaşlarda çözgü kıvrımının tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Buna göre regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.1’de verildiği gibidir. Şekilde görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde örgü faktörleri (F1, KL1, CFF, FYF) ile kumaş yapı faktörleri (K, T1, TS, OG1, OG) yaygın olarak kullanılmış olup, tahmin gücü tahmin gücü en yüksek olan 15. Modele sadece kumaş yapı faktörü OG etki etmiştir. Modellere etkisinin olacağı düşünülen çözgü iplik numarası (coz_tex) ve çözgü ipliği büküm miktarının (coz_ipl_buk_mik) modellere katkısı neredeyse hiç olmamıştır. Çözgü ipliği üretim metodu (coz_ipl_ure_met) ile atkı sıklığı da (atk_sik), performansı düşük modellerde zaman zaman modellere dâhil olmuştur.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelere dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.1’ de görüldüğü üzere regresyon 1P15-1 model olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. Pamuklu kumaşlarda çözgü kıvrımı regresyon modelleri için R^2 belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
1P0	15,78	1P8	16,10
1P0-1	14,58	1P8-1	17,55
1P1	13,36	1P9	15,37
1P1-1	12,06	1P9-1	16,06
1P2	13,59	1P10	15,95
1P2-1	11,89	1P10-1	16,86
1P3	13,59	1P11	15,95
1P3-1	11,89	1P11-1	16,86
1P4	21,86	1P12	14,88
1P4-1	22,06	1P12-1	16,60
1P5	19,71	1P13	16,99
1P5-1	19,57	1P13-1	16,33
1P6	20,83	1P14	17,64
1P6-1	21,33	1P14-1	18,25
1P7	20,83	1P15	25,39
1P7-1	21,33	1P15-1	27,14*

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 1P15 modelinde Çizelge 4.3’teki özet tabloda % çözgü kıvrım için regresyon denklemi incelendiğinde; çözgü ipliği üretim metodu sayısal değerleri ipliğin nihai paket yoğunluğu baz alınarak (oe iplik 1, ring karde iplik 2, penye iplik 3 ve kompakt iplik 4) verildiği görülür. Paketleme yoğunluğunun artmasıyla iplik daha rijit bir yapıya kavuşacağı varsayımıyla kıvrımla arasında negatif bir ilişki olması beklenir, ancak

regresyon eşitliğinde pozitif ilişki elde edilmiştir. Regresyon denkleminde çözgü ipliğinin büküm miktarının etkisi negatif çıkmış olup, bu iplikte büküm miktarının artması ile iplik rijitliğinin artması ve buna bağlı olarak ipliğin kıvrılma oranının azalması gerçeğini doğrulamaktadır. Kumaş yapı parametrelerinden OG tek bir parametreye bağlı olmayıp kumaşın atkı ve çözgü yönünde sıklığı, örgü faktörü (KL) ve kumaşta kullanılan ipliklerin lineer yoğunluğu ile doğru orantılı, ipliklerde kullanılan elyafın özgül ağırlığı ile ters orantılıdır. Modelde kullanılan elyafın pamuk olduğunu düşünürsek özgül ağırlığı sabit tuttuğumuzda dahi diğer tüm parametrelerin çözgü kıvrımına etkisi farklı farklıdır. Örneğin örgü faktörü KL örgüdeki yüzme uzunluğu (geçiş miktarı) arttıkça artarken bunun çözgü kıvrımını azaltıcı yönde etkisini ortaya koyarken aynı zamanda atkı ipliğinin lineer yoğunluğunun veya atkı sıklığının artması çözgü kıvrımını arttırıcı yönde etkisini gösterir veya çözgü ipliğinin lineer yoğunluğu ve sıklığının artması da çözgünün kıvrım almasını negatif yönde etkiler. Dolayısıyla tüm bu parametrelerin birarada kullanılmasıyla hesaplanan kumaş yapı faktörünün çözgü kıvrımına etkisinin pozitif veya negatif yönde beklenmesine dair bir öngörü ortaya konulamamaktadır. Fakat regresyon denkleminde görüldüğü gibi istatistiksel olarak kumaş yapı faktörü OG' nin artışı çözgü kıvrımını da arttırmaktadır.

Çizelge 4.2. Minitab çözgü kıvrımı 1P15 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
coz_kiv = -1,60 + 0,165 çöz_ip1_ure_met - 0,00026 çöz_ip1_buk_mik + 13,19 OG						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	-1,60	1,63	-0,98	0,327		
çöz_ip1_ure_met	0,165	0,238	0,69	0,490	2,14	
çöz_ip1_buk_mik	-0,00026	0,00103	-0,26	0,798	2,15	
OG	13,19	1,64	8,02	0,000	1,02	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
1,98034	28,76%	27,48%	24,94%	2,00269	25,39%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	3	262,880	87,627	22,34	0,000	
çöz_ip1_ure_met	1	1,878	1,878	0,48	0,490	
çöz_ip1_buk_mik	1	0,258	0,258	0,07	0,798	
OG	1	252,545	252,545	64,40	0,000	
Error	166	651,011	3,922			
Lack-of-Fit	159	651,011	4,094	*	*	
Pure Error	7	0,000	0,000			
Total	169	913,891				

Bu regresyon modelinde parametrelerin tek tek istatistiksel olarak anlamlılığını ölçmek için kullandığımız t-testi'nde; T_{tablo} değerini bulurken, $n=170$ veri sayısı ve $k=4$ modele etkiyen katsayılar olmak üzere, $T(\alpha, n-k) = T_{\text{tablo}}(0,05; 166) = 1,976$ bulunur. Buna göre Çizelge 4.2'de hesaplanan T-value değerlerinden T_{tablo} değerinden büyük olanlar H_1 hipotezine göre anlamlıdır. T-test özet tabloda kumaş yapı parametrelerinden OG dışında tüm açıklayıcı değişkenler anlamsızdır. Katsayı analizinde P değerine bakıldığında, $P < 0,05$ olduğundan katsayının anlamlı olduğu, dolayısıyla kumaş yapı faktörü OG'nin anlamlı olduğu söylenebilir.

VIF (variance inflation factor) değeri 10'dan küçük olduğunda söz konusu açıklayıcı değişken ile diğer değişkenler arasında çoklu doğrusal problemin olmadığı sonucu ortaya çıkar. Yani $VIF < 10$ olmalıdır. Burada hiçbir değişken arasında otokorelasyon sorunu yoktur.

Modelin bir bütün olarak anlamlılığına bakarken F testinden faydalanılır. F testi Modelde bağımsız değişkenlerin tamamının bağımlı değişken üzerindeki etkisini test etmek yani modelin bir bütün olarak anlamlılığına bakarken kullandığımız F-testinde 1P15 modelinin regresyon çıktısına göre;

$$F_{\text{tablo}} = F(\alpha, DF_{\text{regresyon}}, DF_{\text{hata}}) \text{ ve } F_{\text{tablo}} = F(0,05, 3, 166) = 2,68$$

$$F_{\text{hesaplanan}} = 22,34$$

$$F_{\text{hesaplanan}} \geq F_{\text{tablo}} \text{ olduğundan regresyon modeli } H_1 \text{ hipotezine göre anlamlıdır diyoruz.}$$

Aynı zamanda P değeri de 0,05' den küçük olduğu için regresyon modeli anlamlıdır diyebiliriz.

Anlamlı olmayan katsayılar olduğu için stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturduğumuzda elde edilen yeni regresyon modeli 1P15-1' dir.

Çizelge 4.3'te regresyon denkleminde görüldüğü gibi çoklu doğrusal regresyon modeli basit doğrusal regresyon modeline dönmüştür. % Çözümlü kıvrımına sadece kumaş yapı faktörlerinden OG, pozitif yönde etki etmiştir. Modelin katsayılarına baktığımızda, kumaş yapı faktörlerinden OG' nin 1 birimlik artışı, % çözgü kıvrımının 13,26 oranında artışına sebep olduğu görülmektedir.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %27,1 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %52,0 ortalama bir değer olup bu modelin çözgü kıvrımının tahmin edilmesinde kullanımı elverişli değildir.

Modelin katsayılarının anlamlılığı için T-teste baktığımızda P-value = 0,000 ve $P < 0,05$ olduğu için OG' nin regresyon katsayısı β_1 anlamlıdır.

Tüm regresyon modelinin anlamlılığı için F-teste baktığımızda yine $P = 0,000$ ve $P < 0,05$ olduğu için model anlamlıdır diyoruz.

Çizelge 4.3. Minitab çözgü kıvrımı 1P15-1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation

coz_kiv = -1,56 + 13,26 OG

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-1,56	1,41	-1,11	0,270	
OG	13,26	1,62	8,18	0,000	1,00

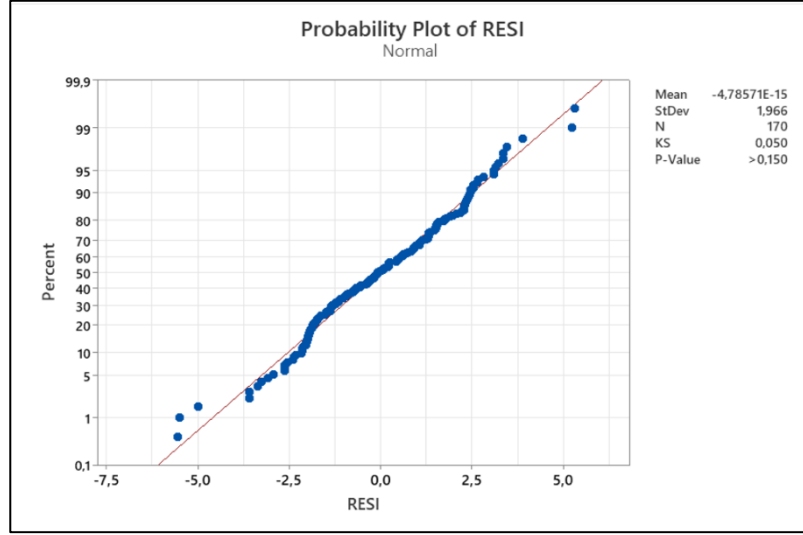
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
1,97213	28,50%	28,08%	26,42%	1,97910	27,14%

Analysis of Variance

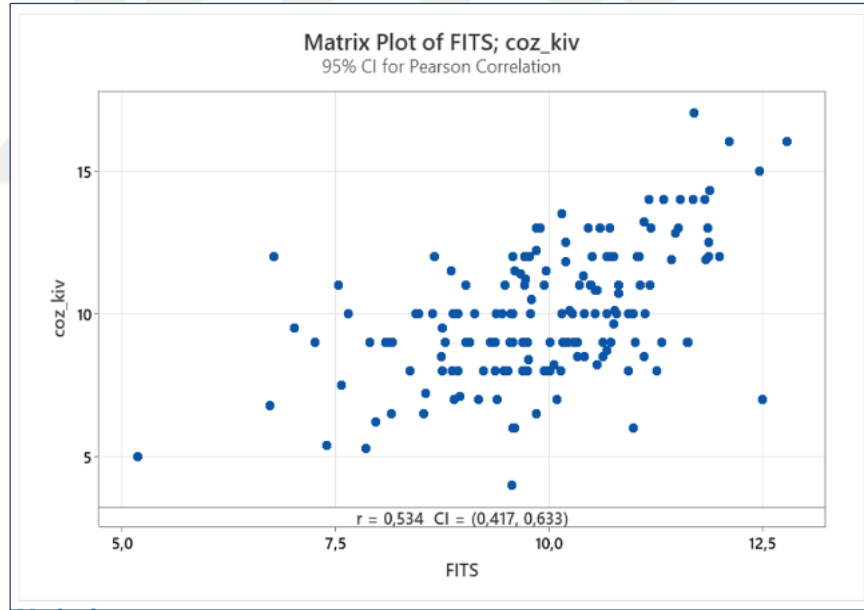
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	260,486	260,486	66,97	0,000
OG	1	260,486	260,486	66,97	0,000
Error	168	653,404	3,889		
Lack-of-Fit	161	653,404	4,058	*	*
Pure Error	7	0,000	0,000		
Total	169	913,891			

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; Şekil 4.2'de görüldüğü üzere residual-artıklarda P-value > 0,150 değeri çıkmış ve bu değer $P > 0,05$ olduğu için model artıkların normal dağıldığı varsayımını da karşılamıştır.



Şekil 4.2. 1P15-1 regresyon modeli artık analizi, normality test

Modelden çıkan % çözgü kıvrımı değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek çözgü kıvrımı arasında korelasyon grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3. 1P15-1 Pamuklu kumaşlarda çözgü kıvrımı regresyon modeli; gerçek ve model değerleri arasında korelasyon Testi

Şekil 4.3’deki korelasyon grafiğinde görüldüğü üzere gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,534$ ile ortalama bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı uygun değildir.

4.1.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Çözümlü Kıvrımı İçin Yapay Zekâ Modelleri

Çözümlü kıvrımı için yapay sinir ağlarında ana modeller çok katmanlı geri yayımlı yapay sinir ağlarında ana modeller “Multilayer Perceptron” sınıflandırma sekmesi ile, rastgele orman algoritmaları “Random Forest” sınıflandırma sekmesi ile, Mars tekniğinde ana modeller ise “Mars>reg.mars” sekmesi ile oluşturulmuştur. Tüm modellerde indirgenmiş öznelilikler ile en iyi altkümeler “AttributeSelectedClassifier” sekmesi ile oluşturulmuştur.

Tüm modellerin sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.4’te verildiği gibidir. Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 1P15 modelinin indirgenmiş nitelikler ile en iyi alt kümesi 1P15-1 dir.

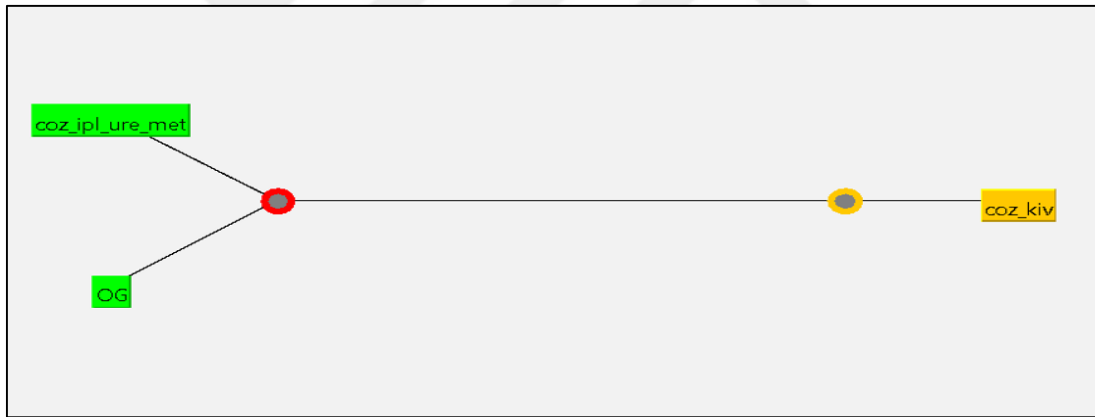
Çizelge 4.4. Pamuklu kumaşlarda çözümlü kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
1P0	38,23	40,73	45,76
1P0-1	2,37	15,66	6,14
1P1	34,79	38,49	44,95
1P1-1	-0,80	16,56	2,71
1P2	33,37	39,56	42,44
1P2-1	-2,37	18,54	3,54
1P3	33,32	38,18	43,71
1P3-1	-2,92	18,86	3,27
1P4	47,11	38,71	51,75
1P4-1	13,51	23,09	24,52
1P5	41,21	38,25	49,60*
1P5-1	11,11	23,17	24,36
1P6	44,66	38,27	49,46
1P6-1	9,83	21,70	24,53
1P7	42,71	39,38	49,59
1P7-1	9,83	21,70	24,53
1P8	31,20	38,28	37,3
1P8-1	9,32	23,11	19,79
1P9	36,03	37,96	39,43
1P9-1	4,74	22,97	20,14
1P10	34,18	37,61	39,95
1P10-1	5,72	21,07	19,8
1P11	37,97	38,48	37,85
1P11-1	5,72	21,07	19,8
1P12	32,35	35,35	38,81
1P12-1	27,13	9,07	26,26
1P13	39,31	42,89	42,55

Çizelge 4.4. Pamuklu kumaşlarda çözgü kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı (Devam)

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
1P13-1	43,49	36,77	42,53
1P14	28,35	44,96*	38,67
1P14-1	35,32	29,07	44,11
1P15	39,63	41,56	-
1P15-1	48,48*	37,14	-

1P15-1 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.4'te görüldüğü gibidir. Giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; çözgü ipliği üretim metodu (coz_ipi_ure_met), kumaş yapı faktörlerinden OG, çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan çözgü kıvrımı (coz_kiv) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi katman sayısı} + \text{çıkış katman sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (2+1) / 2 = 1$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.4. 1P15-1 çözgü kıvrımı tahmini için yapay sinir hücresi

Yapay sinir ağları için 1P15-1, rastgele orman algoritmaları için 1P14 ve Mars tekniği için 1P5 özet tablosu Çizelge 4.5’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.5. Çözgü kıvrımı için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,4848	0,4496	0,496
Ortalama mutlak hata (MAE)	1,6877	1,6709	1,6048
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	2,0775	2,1109	2,0307
Relatif mutlak hata (RAE)	%89,525	%88,630	%85,127
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%88,788	%90,215	%86,7861
Toplam örnek sayısı (TNI)	170	170	170

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi çözgü kıvrımı için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,4996 R değeri ile Mars tekniği olduğu görülmektedir. Ortalama mutlak hata (MAE), gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki farkın derecesini ortaya koymaktadır. MAE, ne kadar düşükse modelin performansı o kadar iyidir. Mars tekniği diğer modellere göre daha düşük hata oranı vermiştir. Veriler içerisindeki aykırı değerlere duyarlı olan kök ortalama kare hatası (RMSE), veriler arasındaki saçılımın düzeyi hakkında bilgi verir, bu nedenle RMSE’ nin düşük olması istenir. Üç model arasında RMSE değerleri arasında anlamlı fark olmamakla birlikte en düşük değer Mars tekniğinde görülmektedir.

4.1.2 Karışım Kumaşlarda Çözgü Kıvrımının Tahmin Modellerinin Kurulması

Karışım kumaşların çözgü kıvrımını tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak % çözgü kıvrımı alınırken, bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.5’ten faydalanılmıştır.

MODEL 1-K															
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Çözgü Kıvrımı (%)															
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler														
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri										
	Çözgü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Çözgü İpliği Elastan Numarası (dtex)	Çözgü İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözgü Sıklık (tel/cm)	Atkı Sıklık (atkı/cm)	F1	KL1	CFF	FYF	K1	K	T1	TS	OG1
0	x	x	x	x	x	x	x								
1	x	x	x	x	x	x		x							
2	x	x	x	x	x	x			x						
3	x	x	x	x	x	x				x					
4		x	x	x		x	x				x				
5		x	x	x		x		x			x				
6		x	x	x		x			x		x				
7		x	x	x		x				x	x				
8			x	x			x					x			
9			x	x				x				x			
10			x	x					x			x			
11			x	x						x		x			
12		x	x	x		x							x		
13			x	x										x	
14		x	x	x		x									x
15			x	x											x

Şekil 4.5. Karışım kumaşlarda çözgü kıvrımının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.1.2.1 Karışım Kumaşlarda Çözgü Kıvrımı İçin Regresyon Modelleri

Poliester-viskon karışım kumaşlarda çözgü kıvrımının tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Buna göre regresyon modellerinde en iyi alt küme için

kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.5'te verildiği gibidir. Şekilde görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü ipliği elastan numarası (coz_lyc_dte) ve atkı sıklığı (atk_sik) yaygın olarak kullanılmış olup, tahmin gücü daha düşük olan modellerde çözgü ipliği büküm miktarı (coz_ipl_buk_mik) ile örgü faktörlerinden KL1, CFF ve FYF ile kumaş yapı faktörlerinden Kve OG' de modellerde etkisini göstermiştir. Burada çözgü kıvrımına etkisi olacağı düşünülen çözgü iplik numarası (coz_tex) ve atkı iplik numarası (atk_tex), çözgü sıklığı (coz_sik), örgü faktörlerinden F1 ve kumaş yapı faktörlerinden K, T1, TS ve OG1'in modellere hiçbir katkısı olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelerle dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.6'da görüldüğü üzere regresyon 1K0-1, 1K1-1, 1K2-1, 1K3-1, 1K4-1, 1K5-1, 1K6-1, 1K7-1, 1K12-1, 1K14-1, model olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6. Karışım kumaşlarda çözgü kıvrımı regresyon modelleri için $\%R^2$ belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
1K0	65,02	1K8	54,68
1K0-1	66,12*	1K8-1	56,01
1K1	64,92	1K9	55,23
1K1-1	66,12*	1K9-1	63,33
1K2	64,53	1K10	52,29
1K2-1	66,12*	1K10-1	63,03
1K3	64,53	1K11	52,29
1K3-1	66,12*	1K11-1	63,03
1K4	64,18	1K12	65,66
1K4-1	66,12*	1K12-1	66,12*
1K5	64,08	1K13	61,57
1K5-1	66,12*	1K13-1	62,45
1K6	63,46	1K14	64,09
1K6-1	66,12*	1K14-1	66,12*
1K7	63,46	1K15	49,87
1K7-1	66,12*	1K15-1	49,87

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 1K12 modelinde Çizelge 4.7'deki özet tabloda % çözgü kıvrım için regresyon denklemi incelendiğinde; çözgü ipliğinde kullanılan elastan numarasının pozitif yönde etkisinin olduğu görülmektedir, çünkü aynı kalınlıkta iplik düşünüldüğünde ipliklerde kullanılan elastan kalınlaştığında ipliğin kumaş üzerinde kendini toplama eğilimini artırır, bu da aynı zamanda iplikte kıvrımın artması sonucunu doğurur. Çift kat ipliklerde artan büküm ve paketleme yoğunluğu sonucu eğilme rijitliği de artacak ve ipliğin

kıvrım alması zorlaşacaktır. Fakat regresyon denkleminde bulunan büküm miktarı ile çözgü kıvrımındaki pozitif ilişki bunu doğrular nitelikte bulunmamıştır. Atkı iplik numarasının kalınlaşması yani lineer yoğunluğunun artması sıklığa da bağlı olarak çözgü kıvrımını artırır, çünkü çözgü ipliği atkı üzerinde daha fazla yol alır. Regresyon denkleminde de bu açıkça görülmektedir. Yine atkı sıklığının artması atkı iplik numarasına da bağlı olmak üzere çözgü kıvrımına pozitif yönde etki eder, model de bunu doğrulamaktadır (Beyene ve Korra, 2022). Kumaş yapı parametrelerinden T1 tek bir parametreye bağlı olmayıp çözgü sıklığına, atkı yönünde yüzme uzunluğu F2 ye ve çözgü iplik çapına bağlıdır. Dolayısıyla tüm bu parametrelerin birarada kullanılmasıyla hesaplanan kumaş yapı faktörünün çözgü kıvrımına etkisinin pozitif veya negatif yönde beklenmesine dair bir öngörü ortaya konulamamaktadır. Fakat regresyon denkleminde görüldüğü gibi istatistiksel olarak kumaş yapı faktörü T1' in artışı çözgü kıvrımına da arttırmaktadır.

Çizelge 4.7. Minitab çözgü kıvrımı 1K12 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation					
$\text{coz_kiv} = -9,69 + 0,2390 \text{ coz_lyc_dte} + 0,00998 \text{ coz_ipl_buk_mik} + 0,0248 \text{ atk_tex} + 0,3630 \text{ atk_sik} + 0,414 \text{ T1}$					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-9,69	9,94	-0,97	0,331	
coz_lyc_dte	0,2390	0,0119	20,03	0,000	1,10
coz_ipl_buk_mik	0,00998	0,00960	1,04	0,300	2,82
atk_tex	0,0248	0,0938	0,26	0,792	2,93
atk_sik	0,3630	0,0705	5,15	0,000	1,15
T1	0,414	0,518	0,80	0,425	1,01
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
5,82451	67,26%	66,54%	65,31%	5,88814	65,66%
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	15891,5	3178,3	93,69	0,000
coz_lyc_dte	1	13615,5	13615,5	401,34	0,000
coz_ipl_buk_mik	1	36,7	36,7	1,08	0,300
atk_tex	1	2,4	2,4	0,07	0,792
atk_sik	1	898,9	898,9	26,50	0,000
T1	1	21,7	21,7	0,64	0,425
Error	228	7734,9	33,9		
Lack-of-Fit	223	7734,9	34,7	*	*
Pure Error	5	0,0	0,0		
Total	233	23626,4			

İlk model çalışması pamuklu çözgü kıvrımından sonra yer alan regresyon analizi sonuçlarını; izleme kolaylığı açısından aşağıdaki şekilde verilecektir.

1K12 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$
coz_lyc_dte, atk_sik $\rightarrow$ anlamlı
coz_ip1_buk_mik, atk_tex, T₁ $\rightarrow$ anlamsız

$\Rightarrow VIF < 10$
tüm değişkenlerde $\rightarrow$ otokorelasyon sorunu yok

F- model anlamlılık testi

$$F_{\text{tablo}} = F(0,05, 5, 228) = 2,21$$

$\Rightarrow F_{\text{hesaplanan}} = 93,69 \geq 2,21 \rightarrow H_1$ hipotezi anlamlı
 $\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05 \rightarrow$ regresyon modeli anlamlı bulunur.

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 1K12-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.8. Minitab çözgü kıvrımı 1K12-1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation

coz_kiv = -1,91 + 0,2355 coz_lyc_dte + 0,3904 atk_sik

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-1,91	1,73	-1,10	0,270	
coz_lyc_dte	0,2355	0,0113	20,77	0,000	1,00
atk_sik	0,3904	0,0657	5,94	0,000	1,00

Model Summary

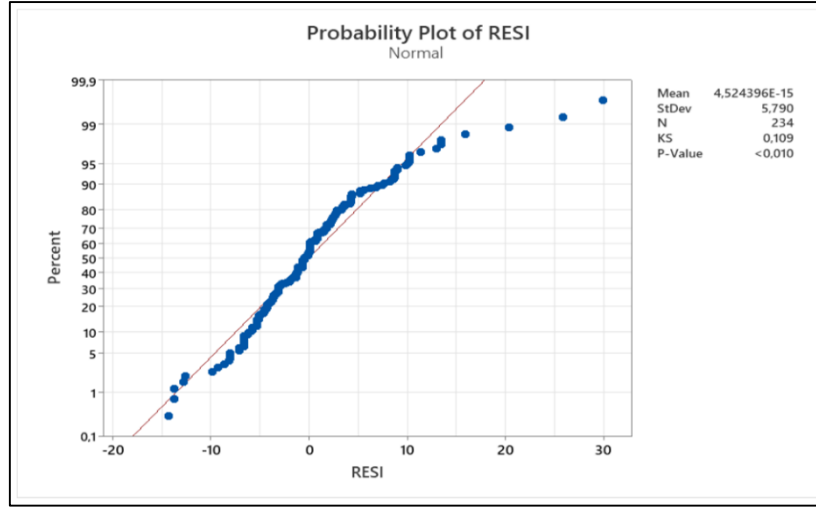
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
5,81546	66,93%	66,65%	65,81%	5,84835	66,12%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	15814,1	7907,0	233,80	0,000
coz_lyc_dte	1	14588,3	14588,3	431,36	0,000
atk_sik	1	1193,8	1193,8	35,30	0,000
Error	231	7812,3	33,8		
Lack-of-Fit	226	7812,3	34,6	*	*
Pure Error	5	0,0	0,0		
Total	233	23626,4			

Çizelge 4.8’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi % çözgü kıvrımına sadece çözgü ipliği elastan numarası (coz_lyc_dte) ve atkı sıklığı (atk_sik) pozitif yönde etki etmiştir. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda, en fazla katkıyı açıklayıcı değişkenlerden atkı sıklığının sağladığı anlaşılmaktadır. Atkı sıklığının 1 birim artması % çözgü kıvrımında 0,3904 oranında bir artışa sebep olmaktadır.

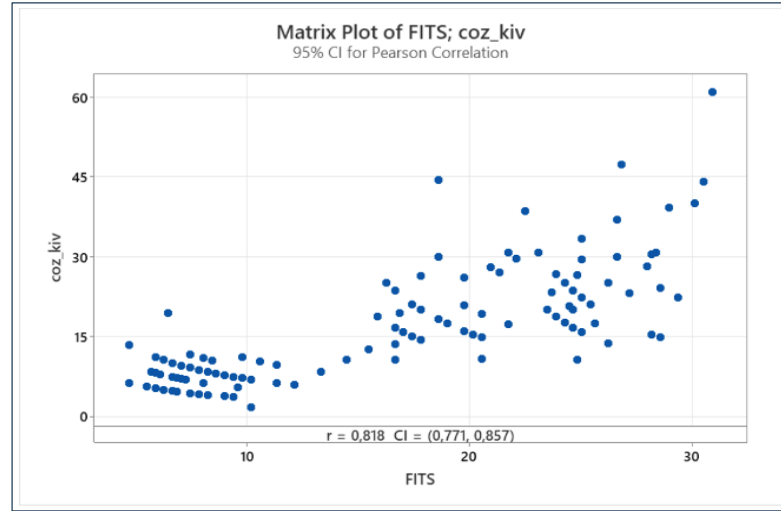
Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %66,12 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %81,31 iyi bir değer olup bu modelin çözgü kıvrımının tahmin edilmesinde kullanımı kontrollü olmalıdır.



Şekil 4.6.1K12-1 regresyon modeli artık analizi, normality test

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; Şekil 4.6'daki grafikten görüldüğü üzere residual-artıklarda P-value <0,01 değeri çıkmış ve bu değer $P > 0,05$ olduğu için model artıkların normal dağıldığı varsayımını karşılamamıştır.

Modelden çıkan %çözgü kıvrımı değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek çözgü kıvrımı arasında korelasyon grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. 1K12-1 karışım kumaşlarda çözgü kıvrımı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

Şekil 4.7'deki korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,818$ ile yüksek bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı kontrollü olmalıdır.

4.1.2.2 Karışım Kumaşlarda Çözümlü Kıvrımı İçin Yapay Zekâ Modelleri

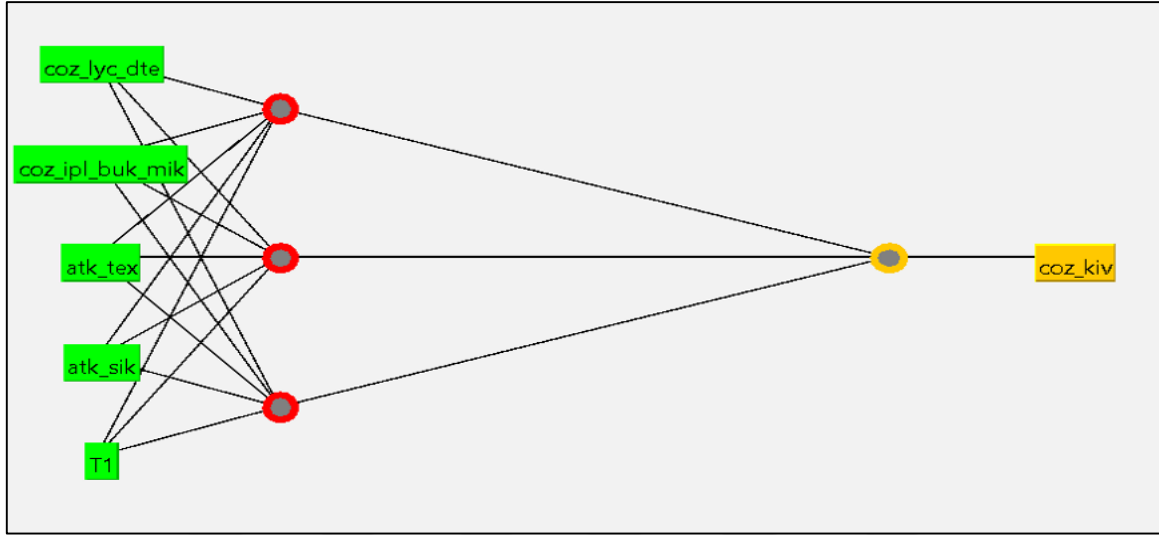
Karışım kumaşlarda çözgü kıvrımı için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznitelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.9’da verildiği gibidir.

Çizelge 4.9. Karışım kumaşlarda çözgü kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
1K0	76,81	86,43	40,14
1K0-1	77,09	87,63*	82,07
1K1	72,25	86,14	40,14
1K1-1	77,09	87,63*	82,07
1K2	71,33	87,26	40,23
1K2-1	77,09	87,63*	82,07
1K3	75,19	87,13	40,14
1K3-1	77,09	87,63*	82,07
1K4	70,33	85,61	81,95
1K4-1	77,96	86,55	82,07
1K5	72,52	85,38	81,95
1K5-1	77,96	86,55	82,07
1K6	70,80	86,37	82,23*
1K6-1	77,96	86,55	82,07
1K7	70,71	86,03	81,95
1K7-1	77,96	86,55	82,07
1K8	77,41	79,60	69,05
1K8-1	74,90	77,89	73,25
1K9	77,64	79,46	69,05
1K9-1	74,90	77,89	73,25
1K10	78,14	81,90	68,97
1K10-1	74,90	77,89	73,25
1K11	78,14	82,62	71,92
1K11-1	74,90	77,89	73,25
1K12	79,74*	85,55	82,07
1K12-1	79,48	84,94	82,07
1K13	76,44	80,75	72,97
1K13-1	75,68	79,81	72,97
1K14	73,59	85,43	34,09
1K14-1	79,73	84,97	31,97
1K15	77,34	82,60	20,93
1K15-1	75,01	80,66	18,42

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 1K12 modelidir. 1K12 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.8’de

görüldüğü gibidir. Giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; çözgü ipliği elastan numarası (coz_lyc_dte), çözgü ipliği büküm miktarı (coz_ipl_buk_mik), atkı iplik numarası (atk_tex), atkı sıklığı (atk_sik) ve kumaş yapı faktörlerinden T1, çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan çözgü kıvrımı (coz_kiv) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıktı nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (5 + 1) / 2 = 3$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.8. 1K12 çözgü kıvrımı tahmini için yapay sinir hücresi

Rastgele orman algoritmalarında; 1K0 modelinin indirgenmiş nitelikler ile en iyi alt kümesi 1K0-1 de girdi değişkeni (açıklayıcı değişken & bağımsız değişken) olarak çözgü ipliği elastan numarası (coz_lyc_dte) ve atkı sıklığı (atk_sik) alınmıştır.

Yapay sinir ağları için 1K12, rastgele orman algoritmaları için 1K0-1ve Mars tekniği için 1K6 özet tablosu Çizelge 4.10’da verildiği gibidir.

Çizelge 4.10. Karışım kumaşlarda çözgü kıvrımı için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,7974	0,8763	0,8223
Ortalama mutlak hata (MAE)	4,571	3,3579	4,0193
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	6,0849	4,8685	5,7203
Relatif mutlak hata (RAE)	%55,7004	% 40,9186	%48,9776
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%60,2574	% 48,2124	%56,6474
Toplam örnek sayısı (TNI)	234	234	234

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi çözgü kıvrımı için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,8763 R değeri ile rastgele orman algoritmaları olduğu

görülmektedir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)' ye bakıldığında en düşük değer rastgele orman algoritmalarında çıkmıştır.

4.1.3 Tüm Veri Setinde Çözümlü Kıvrımının Tahmin Modellerinin Kurulması

İki farklı işletmeden alınan pamuklu ve polyester viskon kumaşların veri seti ortak açıklayıcı değişkenler kullanılarak birleştirilmiş ve işletmelere özgü faktörler gözardı edilerek ortak bir model oluşturulmuştur.

MODEL 1-PK																			
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Çözüğü Kıvrımı (%)																			
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																		
	Kumaş İplik Özellikleri					Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri													
						Sıklıklar		Rijitlik Katsayısı	Örgü Faktörleri				Kumaş Yapı Faktörleri						
	Çözüğü İplik Numarası (Tex)	Çözüğü İpliği Elastan Numarası (dtex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Çözüğü İpliği Üretim Metodu	Çözüğü İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözüğü Sıklık (tel/cm)	Atkı Sıklık (atkı/cm)	Elyaf Özgül Eğilme Rijitliği Katsayısı	F1	KL1	CFF	FYF	K1	K	T1	TS	OG1	OG	
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x										
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x						
4		x	x	x	x		x	x	x	x				x					
5		x	x	x	x		x	x	x		x			x					
6		x	x	x	x		x	x	x			x		x					
7		x	x	x	x		x	x	x				x	x					
8		x		x	x			x	x	x					x				
9		x		x	x			x	x		x				x				
10		x		x	x			x	x			x			x				
11		x		x	x			x	x				x		x				
12		x	x	x	x		x	x	x							x			
13		x		x	x			x	x								x		
14		x	x	x	x		x	x	x								x		
15		x		x	x			x	x									x	

Şekil 4.9. Tüm kumaşlarda çözgü kıvrımının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

Tüm kumaşlarda çözgü kıvrımını tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak % çözgü kıvrımı alınırken, bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.9'den faydalanılmıştır.

4.1.3.1 Tüm Veri Setinde Çözgü Kıvrımı İçin Regresyon Modelleri

Pamuklu ve karışım kumaşların çözgü kıvrımının tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Buna göre regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan

açıklayıcı değişkenler Şekil 4.9’de verildiği gibidir. Şekilde görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü ipliği elastan numarası (coz_lyc_dte) ve atkı sıklığı (atk_sik), atkı iplik numarası (atk_tex) hemen hemen tüm modellerde kullanılmış olup, çözgü ipliği üretim metodu ise performansı yüksek olan modellerde diğer değişkenlerle beraber etkili olmuştur. Tahmin gücü daha düşük olan modellerde elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı (kum_spe_fle_rgi) ile kumaş yapı faktörlerinden K, T1, TS, OG1 ve OG’ nin de modellere katkısı olmuştur. Modellere etki edeceği düşünülen çözgü iplik numarası (coz_tex) ve büküm miktarı (coz_ip_l_buk_mik), çözgü sıklığı (coz_sik), tüm örgü faktörleri (F1, K1, CFF, FYF) ve kumaş yapı faktörlerinden K1’ in modellere hiçbir katkısı olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelere dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.11’de görüldüğü üzere regresyon 1PK0-1, 1PK1-1, 1PK2-1, 1PK3-1, 1PK4-1, 1PK5-1, 1K6-1, 1K7-1 model olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.11. Tüm kumaşlarda çözgü kıvrımı regresyon modelleri için $\%R^2$ belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
1PK0	64,63	1PK8	56,35
1PK0-1	64,64*	1PK8-1	60,66
1PK1	64,54	1PK9	55,50
1PK1-1	64,64*	1PK9-1	60,66
1PK2	64,47	1PK10	54,22
1PK2-1	64,64*	1PK10-1	60,66
1PK3	64,47	1PK11	54,22
1PK3-1	64,64*	1PK11-1	60,66
1PK4	60,66	1PK12	62,67
1PK4-1	64,64*	1PK12-1	64,29
1PK5	60,21	1PK13	62,27
1PK5-1	64,64*	1PK13-1	62,36
1PK6	59,55	1PK14	58,35
1PK6-1	64,64*	1PK14-1	60,44
1PK7	59,55	1PK15	55,87
1PK7-1	64,64*	1PK15-1	55,95

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 1PK0 modelinde Çizelge 4.12’deki özet tabloda % çözgü kıvrım için regresyon denklemi incelendiğinde; aynı atkı ipliği düşünüldüğünde çözgü iplik numarası arttığında yani iplik kalınlaştıkça çözgünün atkı ipliği üzerinden geçişi zorlaşacağı için çözgü iplik numarasının çözgü kıvrımına etkisi negatiftir. Regresyon denklemi de bunu doğrulamaktadır. Denkleminde çözgü ipliğinde kullanılan elastan numarasının pozitif yönde etkisinin olduğu görülmektedir, çünkü aynı kalınlıkta iplik

düşünüldünde ipliklerde kullanılan elastan kalınlaştığında ipliğin kumaş üzerinde kendini toparlama eğilimini arttırır, bu da aynı zamanda iplikte kıvrımın artması sonucunu doğurur. Çözümlü ipliği üretim metodu sayısal değerleri ipliğin nihai paket yoğunluğu baz alınarak verilmiştir. Paketleme yoğunluğunun artmasıyla iplik daha rijit bir yapıya kavuşacağı varsayımıyla kıvrımla arasında negatif ilişki regresyon denkleminde de görülmektedir. İpliklerde bükümün artması ipliği rijit hale getirdiğinden bükümün artması ile kıvrım azalacaktır. Pamuklu tek kat çözgünün bulunduğu veri tabanı ile çift kat çözgülerin bulunduğu karışım kumaşların veri tabanının birleşmesi ile oluşan yeni regresyonda bu etki negatif yönde çıkmıştır. Bu durumun büküm değişkeninin diğer değişkenler ile çoklu korelasyonundan kaynaklanabilir ki 9'a yaklaşan VIF değeri bu olasılığı güçlendirmektedir. Atkı iplik numarasının kalınlaşması yani lineer yoğunluğunun artması sıklığa da bağlı olarak çözgü kıvrımını arttırma eğilimi gösteririr, çünkü çözgü ipliği atkı üzerinde daha fazla yol alır. Regresyon denkleminde de bu açıkça görülmektedir. Yine atkı sıklığının artması atkı iplik numarasına da bağlı olmak üzere çözgü kıvrımına pozitif yönde etki eder, model de bunu doğrulamaktadır. Çözgü sıklığının artması çözgü iplikleri arasındaki sürtünmeyi arttıracığı için çözgü kıvrımını sınırlı da olsa negatif yönde etkilemesi beklenirken; bu etki regresyon denkleminde pozitif yönde olmuştur. Örgü faktörü F1, birim rapordaki atkı sayısı (tekrar sayısı) ile doğru orantılı, çözgü ipliğinin atkı ipliğinden geçiş sayısı ile ters orantılıdır. Bu orantı aslında çözgü ipliğinin atkı ipliği üzerindeki yüzme uzunluğu ile ilgilidir. Yüzme uzunluğu arttığında F1 de artar. Dolayısıyla yüzme uzunluğunun artması yani F1' in artması çözgü kıvrımını azaltmaktadır. Regresyon denklemi bu ilişkiyi doğrulamaktadır. Lif özgül eğilme rijitliği katsayısı kumaşın kompozisyonuna göre değişmektedir. Lifin özgül eğilme rijitliği arttığında buna bağlı olarak ipliğin eğilme rijitliği artar ve kıvrım alması zorlaşacağından çözgü kıvrımı düşer. Regresyon denkleminde bunun tersi bir durum, yani lif özgül eğilme rijitliği arttığında kıvrımın da arttığı görülmektedir, ancak bu ters ilişkinin rijitlik katsayısının çoklu korelasyonundan kaynaklanıyor olması muhtemeldir, zira ilgili değişkenin VIF değeri 18 gibi yüksek bir sayıdır.

1PK0 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$$\Rightarrow P_{deg} < 0,05$$

coz_lyc_dte, coz_tex, atk_tex, atk_sik, coz_ipi_buk_mik
coz_ipi_ure_met, coz_sik, F1, kum_spe_fle_rgi

→ anlamlı
→ anlamsız

$$\Rightarrow VIF < 10$$

coz_ip1_ure_met , kum_spe_fle_rgi

→ otokorelasyon var

F- model anlamlılık testi

$$F_{\text{tablo}} = F(0,05, 9, 394) = 1,88$$

$$\Rightarrow F_{\text{hesaplanan}} = 88,28 \geq 1,88$$

→ H_1 hipotezi anlamlı

$$\Rightarrow P_{\text{deg}} < 0,05$$

→ regresyon modeli anlamlı bulunur.

Çizelge 4.12. Minitab çözgü kıvrımı 1PK0 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation

coz_kiv = 10,15 - 0,1017 coz_tex + 0,23252 coz_lyc_dte - 0,489 coz_ip1_ure_met
- 0,00882 coz_ip1_buk_mik + 0,0644 atk_tex + 0,0162 coz_sik + 0,3127 atk_sik
- 0,856 F1 + 3,14 kum_spe_fle_rgi

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	10,15	5,21	1,95	0,052	
coz_tex	-0,1017	0,0484	-2,10	0,036	5,81
coz_lyc_dte	0,23252	0,00986	23,59	0,000	1,50
coz_ip1_ure_met	-0,489	0,548	-0,89	0,374	13,69
coz_ip1_buk_mik	-0,00882	0,00402	-2,20	0,029	8,52
atk_tex	0,0644	0,0281	2,29	0,022	3,18
coz_sik	0,0162	0,0224	0,72	0,470	1,98
atk_sik	0,3127	0,0566	5,53	0,000	2,67
F1	-0,856	0,454	-1,89	0,060	1,46
kum_spe_fle_rgi	3,14	9,21	0,34	0,733	18,00

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
4,76678	66,85%	66,09%	65,20%	4,86219	64,63%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	9	18053,7	2006,0	88,28	0,000
coz_tex	1	100,4	100,4	4,42	0,036
coz_lyc_dte	1	12645,1	12645,1	556,51	0,000
coz_ip1_ure_met	1	18,0	18,0	0,79	0,374
coz_ip1_buk_mik	1	109,7	109,7	4,83	0,029
atk_tex	1	119,6	119,6	5,26	0,022
coz_sik	1	11,9	11,9	0,52	0,470
atk_sik	1	693,7	693,7	30,53	0,000
F1	1	81,0	81,0	3,56	0,060
kum_spe_fle_rgi	1	2,6	2,6	0,12	0,733
Error	394	8952,5	22,7		
Lack-of-Fit	384	8952,5	23,3	*	*
Pure Error	10	0,0	0,0		
Total	403	27006,3			

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 1PK0-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.13. Minitab çözgü kıvrımı 1PK0-1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation

coz_kiv = 3,34 + 0,23385 coz_lyc_dte - 0,670 coz_ipl_ure_met + 0,0431 atk_tex + 0,2485 atk_sik

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	3,34	1,76	1,90	0,059	
coz_lyc_dte	0,23385	0,00932	25,09	0,000	1,33
coz_ipl_ure_met	-0,670	0,178	-3,77	0,000	1,42
atk_tex	0,0431	0,0196	2,20	0,029	1,53
atk_sik	0,2485	0,0421	5,90	0,000	1,46

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
4,79423	66,04%	65,70%	65,00%	4,86205	64,64%

Analysis of Variance

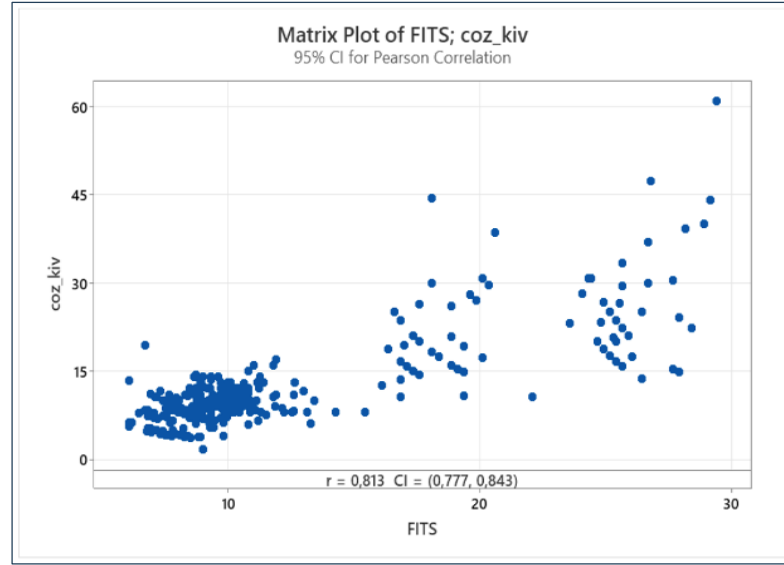
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	17835,4	4458,9	193,99	0,000
coz_lyc_dte	1	14463,3	14463,3	629,26	0,000
coz_ipl_ure_met	1	326,4	326,4	14,20	0,000
atk_tex	1	110,8	110,8	4,82	0,029
atk_sik	1	801,3	801,3	34,86	0,000
Error	399	9170,9	23,0		
Lack-of-Fit	388	9170,9	23,6	*	*
Pure Error	11	0,0	0,0		
Total	403	27006,3			

Çizelge 4.13’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi % çözgü kıvrımına, çözgü ipliği elastan numarası (coz_lyc_dte), üretim metodu (coz_ipl_ure_met), atkı ipliği numarası (atk_tex) ve atkı sıklığı (atk_sik) etki etmiştir. Çözgü ipliği üretim metodu dışında tüm değişkenlerin etkisi pozitif yönde olmuştur. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda çözgü ipliği üretim metodunun (coz_ipl_ure_met) modele katkısının en fazla olduğu görülmektedir. Modelde çözgü ipliği üretim metodunun 1 birimlik artışı, % çözgü kıvrımına negatif yönde 0,670 oranında etkisi bulunmaktadır.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %64,64 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %80,39 iyi bir değer olup bu modelin çözgü kıvrımının tahmin edilmesinde kullanımı kontrollü olmalıdır.

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value <0,01 değeri çıkmış ve bu değer $P > 0,05$ olduğu için model artıkların normal dağıldığı varsayımını da karşılamamıştır.

Modelden çıkan %çözgü kıvrımı değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek çözgü kıvrımı arasında korelasyon grafiği Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10. 1PK0-1 tüm kumaşlarda çözgü kıvrımı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

Şekil 4.10'daki korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,813$ ile yüksek bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı kontrollü olmalıdır.

4.1.3.2 Tüm Kumaşlarda Çözgü Kıvrımı İçin Yapay Zekâ Modelleri

Tüm kumaşlarda çözgü kıvrımı için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznitelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.14'te verildiği gibidir.

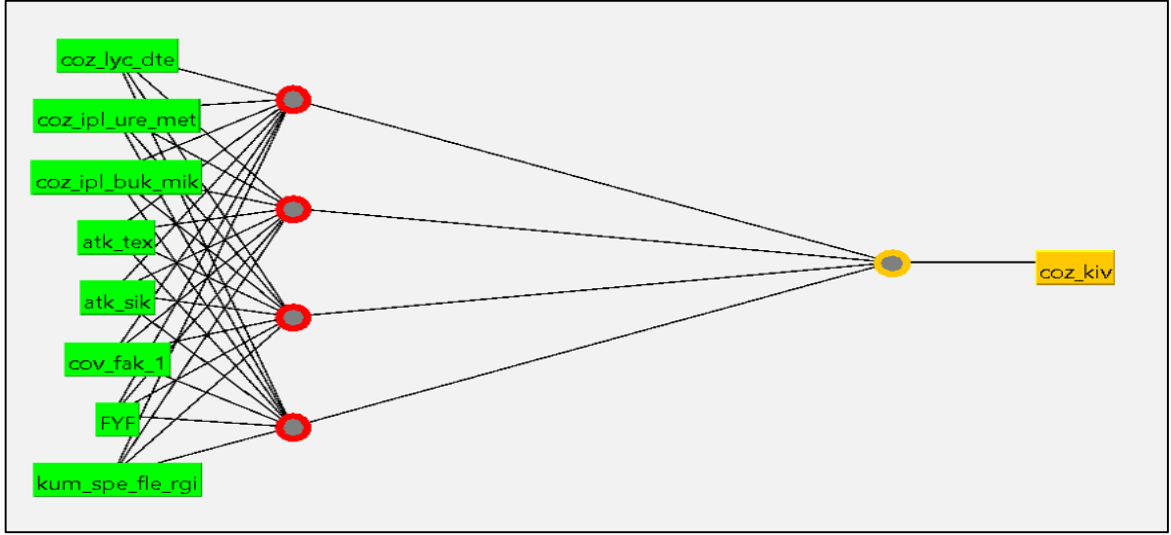
Çizelge 4.14. Tüm kumaşlarda çözgü kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
1PK0	80,17	84,63	80,59
1PK0-1	72,40	85,81	79,54
1PK1	80,25	84,89	80,90
1PK1-1	72,40	85,81	79,54
1PK2	80,06	85,84	80,83
1PK2-1	72,40	85,81	79,54
1PK3	79,95	85,89	81,36*
1PK3-1	72,40	85,81	79,54
1PK4	80,15	84,92	76,26
1PK4-1	72,40	85,81	79,54

Çizelge 4.14. Tüm kumaşlarda çözgü kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı (Devam)

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
1PK5	79,75	85,32	77,07
1PK5-1	72,40	85,81	79,54
1PK6	79,79	85,96*	77,73
1PK6-1	72,40	85,81	79,54
1PK7	80,52*	85,85	77,89
1PK7-1	72,40	85,81	79,54
1PK8	74,94	83,55	31,83
1PK8-1	73,62	79,09	78,56
1PK9	76,78	82,90	31,62
1PK9-1	73,62	79,09	78,56
1PK10	75,62	84,07	35,01
1PK10-1	73,62	79,09	78,56
1PK11	75,98	84,29	35,55
1PK11-1	73,62	79,09	78,56
1PK12	79,66	84,77	80,62
1PK12-1	72,40	85,81	79,54
1PK13	75,35	82,48	80,93
1PK13-1	73,62	79,09	78,56
1PK14	78,75	85,48	32,84
1PK14-1	73,09	83,01	27,04
1PK15	74,69	83,41	60,67
1PK15-1	73,05	78,45	20,37

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 1PK7 modelidir. 1PK7 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.11’de görüldüğü gibidir. Burada giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; çözgü ipliği elastan numarası (coz_lyc_dte), çözgü ipliği üretim metodu (coz_ipl_ure_met), çözgü ipliği büküm miktarı (coz_ipl_buk_mik), atkı iplik numarası (atk_tex), atkı sıklığı (atk_sik), örgü faktörlerinden FYF, kumaş yapı faktörlerinden K1 (cov_fak_1) ve elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı (kum_spe_fle_rgi), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan çözgü kıvrımı (coz_kiv) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıkış nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (8+1)/2 = 4$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.11. 1PK7 çözgü kıvrımı tahmini için yapay sinir hücresi

Yapay sinir ağları için 1PK7, rastgele orman algoritmaları için 1PK6 ve Mars tekniği için 1PK3 özet tablosu Çizelge 4.15’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.15. Tüm kumaşlarda çözgü kıvrımı için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,8052	0,8596	0,8136
Ortalama mutlak hata (MAE)	3,5206	2,7338	3,2125
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	4,8985	4,1789	4,7549
Relatif mutlak hata (RAE)	%59,2022	% 45,9718	%54,0203
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%59,8289	% 51,0401	%58,0752
Toplam örnek sayısı (TNI)	404	404	404

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi çözgü kıvrımı için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,8596 R değeri ile rastgele orman algoritmalarının olduğu görülmektedir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında en düşük değer rastgele orman algoritmalarında çıkmıştır.

4.2 Atkı Kıvrımı İçin Tahmin Modelleri

Pamuklu kumaşlar, karışım kumaşlar ve bunların biraraya gelmesi ile oluşturulan tüm kumaşlar için ayrı ayrı öncelikle regresyon modelleri, daha sonra aynı açıklayıcı değişkenler ile yapay zekâ modellerinden yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve Mars tekniği ile modeller oluşturulmuş ve bu modellerin tahmin performansları için % R korelasyon katsayı ile karşılaştırılmıştır.

4.2.1 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Kıvrımı İçin Tahmin Modelleri

Pamuklu kumaşların atkı kıvrımını tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak % atkı kıvrımı alınmıştır.

MODEL 2-P																
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Atkı Kıvrımı (%)																
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler															
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri											
					Sıklıklar		Örgü Faktörleri				Kumaş Yapı Faktörleri					
	Çözümlü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Atkı İpliği Üretim Metodu	Atkı İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözümlü Sıklık (tel/cm)	Atkı Sıklık (atki/cm)	F2	KL2	CFF	FYF	K2	K	T2	TS	OG2	OG
0	x	x	x	x	x	x	x									
1	x	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x	x				x						
4	x		x	x	x		x				x					
5	x		x	x	x			x			x					
6	x		x	x	x				x		x					
7	x		x	x	x				x	x	x					
8			x	x			x					x				
9			x	x				x				x				
10			x	x					x			x				
11			x	x						x		x				
12	x		x	x	x								x			
13			x	x										x		
14	x		x	x	x										x	
15			x	x												x

Şekil 4.12. Pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

Bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.12’den den faydalanılmıştır.

4.2.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Kıvrımı İçin Regresyon Modelleri

Pamuklu kumaşların atkı kıvrımının tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.12’de verildiği gibidir. Şekilde görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), çözgü sıklığı (coz_sik), örgü faktörleri (F1, KL1, CFF, FYF) ile kumaş yapı faktörleri (K, T1, TS, OG1, OG) yaygın olarak kullanılmıştır. Tahmin gücü en yüksek olan 8. Modele atkı ipliği üretim metodu, örgü faktörlerinden F2 ve kumaş yapı faktörlerinden K etki etmiştir. Modellere etkisinin olacağı düşünülen atkı iplik numarası (atk_tex) ve kumaş yapı faktörlerinden K2’ nin modellere katkısı hiç olmamıştır. Çözgü iplik numarası (coz_tex) ile atkı sıklığı da (atk_sik); performansı düşük modellerde zaman zaman modellere dâhil olmuştur.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelere dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin aşağıdaki Çizelge 4.16’da görüldüğü üzere regresyon 2P8-1 model olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.16. Pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı regresyon modelleri için $\%R^2$ belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
2P0	49,87	2P8	59,80
2P0-1	49,81	2P8-1	61,30*
2P1	46,61	2P9	58,81
2P1-1	46,76	2P9-1	60,57
2P2	45,70	2P10	56,74
2P2-1	44,72	2P10-1	58,37
2P3	45,70	2P11	56,74
2P3-1	44,72	2P11-1	58,37
2P4	49,00	2P12	42,53
2P4-1	49,81	2P12-1	42,60
2P5	45,46	2P13	44,38
2P5-1	45,35	2P13-1	45,31
2P6	44,55	2P14	56,94
2P6-1	44,72	2P14-1	58,40
2P7	44,55	2P15	46,16
2P7-1	44,72	2P15-1	50,71

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 2P8 modeli için Çizelge 4.17’deki özet tabloda % atkı kıvrımı için regresyon denklemi incelendiğinde;

Çizelge 4.17. Minitab atkı kıvrımı 2P8 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
atk_kiv = 12,581 + 0,281 atk_ip1_ure_met - 0,000061 atk_ip1_buk_mik - 0,4852 cov_fak + 1,094 F2						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	12,581	0,837	15,04	0,000		
atk_ip1_ure_met	0,281	0,105	2,66	0,008	2,83	
atk_ip1_buk_mik	-0,000061	0,000386	-0,16	0,874	3,09	
cov_fak	-0,4852	0,0336	-14,46	0,000	1,83	
F2	1,094	0,146	7,49	0,000	1,67	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
0,699885	63,84%	62,97%	60,93%	0,727081	59,80%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	4	142,717	35,679	72,84	0,000	
atk_ip1_ure_met	1	3,475	3,475	7,09	0,008	
atk_ip1_buk_mik	1	0,012	0,012	0,03	0,874	
cov_fak	1	102,364	102,364	208,97	0,000	
F2	1	27,486	27,486	56,11	0,000	
Error	165	80,824	0,490			
Lack-of-Fit	158	80,824	0,512	*	*	
Pure Error	7	0,000	0,000			
Total	169	223,540				

Atkı ipliği üretim metodu sayısal değerleri ipliğin nihai paket yoğunluğu baz alınarak (oe iplik 1, ring karde iplik 2, penye iplik 3 ve kompakt iplik 4) verildiği görülür. Paketleme yoğunluğunun artmasıyla iplik daha rijit bir yapıya kavuşacağı varsayımıyla kıvrımla arasında negatif bir ilişkisi olması beklenirken regresyon denkleminde bu ilişki pozitif çıkmıştır. Regresyon denkleminde atkı ipliğinin büküm miktarının etkisi negatif çıkmış olup, bu iplikte büküm miktarının artması ile iplik rijitliğinin artması ve buna bağlı olarak ipliğin kıvrılma oranının azalması gerçeğini doğrulamaktadır. Kumaş yapı parametrelerinden K (cov_fak) tek bir parametreye bağlı olmayıp kumaşın atkı ve çözgü yönünde sıklığı ve iplik numaralarına bağlıdır. Hem çözgü hem atkı yönünde sıklığın veya iplik numaralarının artması kumaş yapı faktörü K' yı arttırmaktadır. Dolayısıyla atkı ve çözgü yönünde bu parametrelerin bir arada kullanılmasıyla hesaplanan kumaş yapı faktörünün atkı kıvrımına etkisinin pozitif veya negatif yönde beklenmesine dair bir öngörü yapılmamaktadır. Fakat regresyon denkleminde görüldüğü gibi istatistiksel olarak kumaş yapı faktörü K'nın artışı atkı kıvrımına da arttırmaktadır. Regresyon denkleminde örgü faktörlerinden F2'nin atkı kıvrımına etkisinin pozitif yönde olduğu görülmektedir. Örgü faktörü F2, birim raporda çözgü sayısı (tekrar sayısı) ile doğru orantılı, atkı ipliğinin çözgü ipliğinden geçiş sayısı ile ters orantılıdır. Bu orantı aslında atkı ipliğinin çözgü ipliği üzerindeki yüzme uzunluğu ile ilgilidir. Atkı yönünde yüzme uzunluğu arttığında F2 de artar. Dolayısıyla yüzme uzunluğunun artması yani F2'in artması atkı kıvrımını azaltmaktadır. Regresyon denklemi bu ilişkiyi doğrulamamaktadır.

2P8 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$\Rightarrow$	$P_{deg} < 0,05$	
atk_ipl_ure_met, cov_fak, F ₂	$\rightarrow$	anlamlı
atk_ipl_buk_mik	$\rightarrow$	anlamsız
$\Rightarrow$	VIF < 10	
tüm değişkenlerde	$\rightarrow$	otokorelasyon yok

F- model anlamlılık testi

$$F_{tablo} = F(0,05, 4, 165) = 2,37$$

$\Rightarrow$	$F_{hesaplanan} = 72,84 \geq 2,37$	$\rightarrow$	H ₁ hipotezi anlamlı
$\Rightarrow$	$P_{deg} < 0,05$	$\rightarrow$	regresyon modeli anlamlı bulunur.

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 2P8-1 için yeniden regresyon analizi yapılır

Çizelge 4.18. Minitab atkı kırımını 2P8-1 regresyon modeli özet tablosu

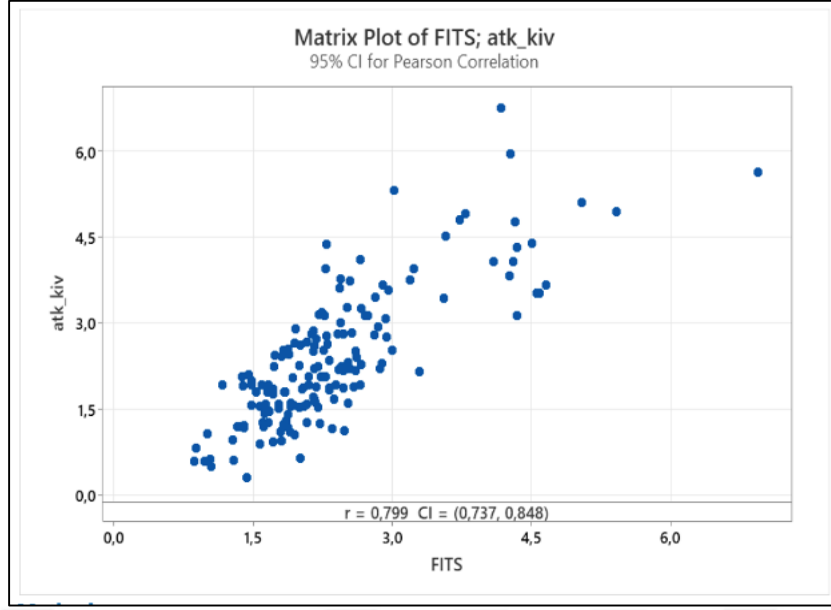
Regression Equation					
atk_kiv = 12,525 + 0,2675 atk_ip1_ure_met - 0,4841 cov_fak + 1,095 F2					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	12,525	0,757	16,55	0,000	
atk_ip1_ure_met	0,2675	0,0648	4,13	0,000	1,07
cov_fak	-0,4841	0,0327	-14,80	0,000	1,75
F2	1,095	0,145	7,55	0,000	1,66
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
0,697828	63,84%	63,18%	61,68%	0,713328	61,30%
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	142,704	47,568	97,68	0,000
atk_ip1_ure_met	1	8,305	8,305	17,06	0,000
cov_fak	1	106,711	106,711	219,14	0,000
F2	1	27,750	27,750	56,99	0,000
Error	166	80,836	0,487		
Lack-of-Fit	159	80,836	0,508	*	*
Pure Error	7	0,000	0,000		
Total	169	223,540			

Çizelge 4.18’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi % atkı kırımına atkı ipliği üretim metodu (atk_ip1_ure_met) ve örgü faktörlerinden F2 pozitif yönde, kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak) negatif yönde etki etmiştir. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda, kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak)’nın 1 birimlik artışı, % çözgü kırımının 0,4841 oranında azalmasına sebep olduğu görülmektedir.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %61,30 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %78,29 ile iyi bir değer olup bu modelin atkı kırımının tahmin edilmesinde kullanımı kontrollü olmalıdır.

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value <0,010 değeri çıkmış ve bu değer P> 0,05 şartını sağlamadığı için model artıkların normal dağıldığı varsayımını karşılanmamıştır.

Modelden çıkan % atkı kırımını değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek atkı kırımını arasında korelasyon grafiği Şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.13. 2P8-1 pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

Şekil 4.13'deki korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,7990$ ile ortalama bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı kontrollü olmalıdır.

4.2.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Kıvrımı İçin Yapay Zekâ Modelleri

Pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznitelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.19'da verildiği gibidir.

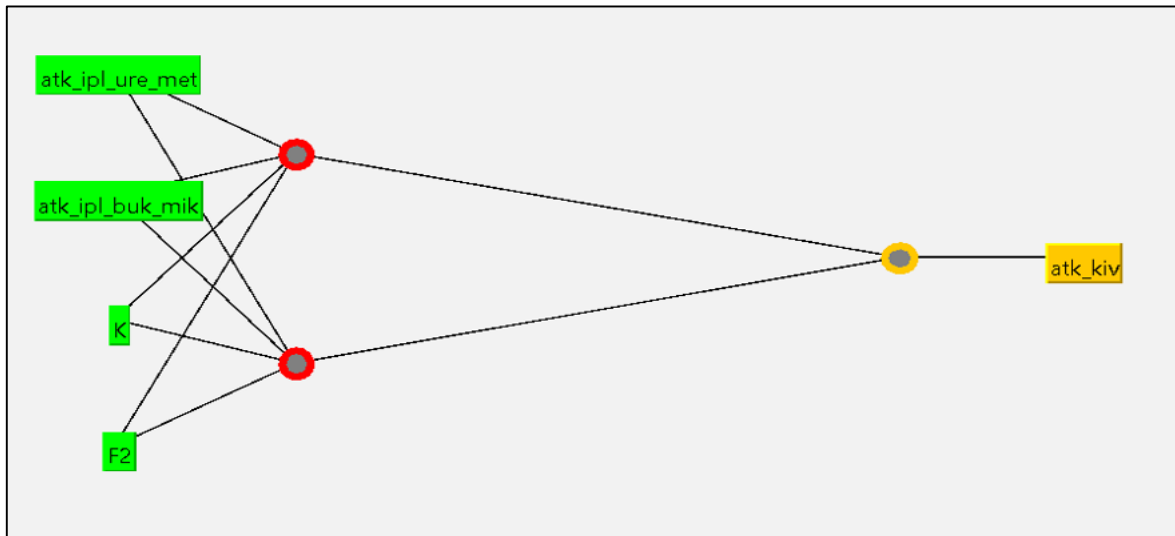
Çizelge 4.19. Pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
2P0	58,51	71,57	76,33
2P0-1	30,23	50,89	42,08
2P1	56,72	71,51	75,78
2P1-1	29,13	51,20	41,79
2P2	51,57	71,75	74,44
2P2-1	30,16	54,98	42,89
2P3	55,84	71,52	72,93
2P3-1	30,16	54,76	41,68
2P4	53,73	72,30	77,1
2P4-1	30,40	59,88	49,08
2P5	51,21	74,09	78,03

Çizelge 4.19. Pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı (Devam)

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
2P5-1	30,08	61,28	47,69
2P6	49,19	73,83	76,31
2P6-1	26,95	62,26	45,66
2P7	48,49	74,07	74,99
2P7-1	27,06	61,87	45,31
2P8	63,95*	75,38*	76,72
2P8-1	52,22	66,93	68,37
2P9	61,60	74,96	76,88
2P9-1	52,22	66,93	68,37
2P10	61,61	73,85	75,03
2P10-1	52,22	66,93	68,37
2P11	60,50	74,16	75,11
2P11-1	52,22	66,93	68,37
2P12	47,24	69,79	72,08
2P12-1	29,06	53,07	39,16
2P13	50,62	69,56	64,65
2P13-1	50,95	66,16	65,25
2P14	61,11	71,64	78,28*
2P14-1	59,13	69,43	74,94
2P15	54,15	66,68	71,46
2P15-1	53,07	62,66	69,11

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 2P8 modelidir.



Şekil 4.14. 2P8 atkı kıvrımı tahmini için yapay sinir hücresi

2P8 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.14'te görüldüğü gibidir. Burada giriş katmanını olarak açıklayıcı değişkenler; atkı ipliği üretim metodu (coz_ipl_ure_met), çözgü ipliği büküm miktarı (coz_ipl_buk_mik), kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak) ve örgü faktörlerinden F2, çıkış katmanını olarak tahmin parametresi olan atkı kıvrımı (atk_kiv) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıktı nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (4+1) / 2 = 2$ olarak kabul edilmiştir. Yapay sinir ağları için 2P8, rastgele orman algoritmaları için 2P8 ve mars tekniği için 2P14 özet tablosu Çizelge 4.20'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.20. Pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,6395	0,7538	0,7828
Ortalama mutlak hata (MAE)	0,7585	0,5602	0,5472
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	0,9383	0,756	0,7165
Relatif mutlak hata (RAE)	%85,269	% 62,9781	%61,5149
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%81,1733	% 65,4012	%61,9906
Toplam örnek sayısı (TNI)	170	170	170

Özet tablodanda anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,7828 R değeri ile Mars tekniği olduğu görülmektedir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)' ye bakıldığında en düşük değer Mars tekniğinde çıkmıştır.

4.2.2 Karışım Kumaşlarda Atkı Kıvrımının Tahmin Modellerinin Kurulması

Karışım kumaşların çözgü kıvrımını tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak % çözgü kıvrımı alınırken, bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.15'ten faydalanılmıştır.

MODEL 2-K																
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Atkı Kıvrımı (%)																
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler															
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri											
	Çözümlü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Atkı İpliği Elastan Numarası (dte)	Atkı İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözümlü Sıklık (tel/cm)	Atkı Sıklık (atkı/cm)	F2	KL2	CFF	FYF	K2	K	T2	TS	OG2	OG
0	x	x	x	x	x	x	x									
1	x	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x	x				x						
4	x		x	x	x		x				x					
5	x		x	x	x			x			x					
6	x		x	x	x				x		x					
7	x		x	x	x					x	x					
8			x	x			x					x				
9			x	x				x				x				
10			x	x					x			x				
11			x	x						x		x				
12	x		x	x	x								x			
13			x	x										x		
14	x		x	x	x										x	
15			x	x												x

Şekil 4.15. Karışım kumaşlarda atkı kıvrımının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.2.2.1 Karışım Kumaşlarda Atkı Kıvrımı İçin Regresyon Modelleri

Poliester-viskon karışım kumaşlarda atkı kıvrımının tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.15'te verildiği gibidir. Şekilde görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı ipliği elastan numarası (atk_lyc_dte) ve çözgü sıklığı (coz_sik), örgü faktörlerinden F2, KL2, CFF, FYF ve kumaş yapı faktörlerinden K, T2, TS, OG2 ve OG yaygın olarak kullanılmış olup, tahmin gücü daha düşük olan modellerde atkı ipliği büküm miktarının da (atk_ipl_buk_mik) zaman zaman modellere etkisi gözlemlenmiştir. Burada atkı kıvrımına etkisi olacağı düşünülen atkı iplik numarası (atk_tex) ve atkı sıklığı (atk_sik) ve kumaş yapı faktörlerinden K2' nin modellere hiçbir katkısı olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümeler için R² belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin aşağıdaki Çizelge 4.21'de görüldüğü üzere regresyon 2K4-1, model olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.21. Karışım kumaşlarda atkı kıvrımı regresyon modelleri için %R² belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R ²	Model No	k-fold R ²
2K0	46,32	2K8	41,73
2K0-1	48,16	2K8-1	41,73
2K1	44,94	2K9	40,84
2K1-1	47,00	2K9-1	40,84
2K2	44,38	2K10	40,60
2K2-1	46,67	2K10-1	40,60
2K3	44,38	2K11	40,60
2K3-1	46,67	2K11-1	40,60
2K4	47,01	2K12	43,72
2K4-1	48,20*	2K12-1	44,25
2K5	45,79	2K13	26,72
2K5-1	47,00	2K13-1	29,45
2K6	45,35	2K14	44,57
2K6-1	46,67	2K14-1	45,16
2K7	45,35	2K15	31,86
2K7-1	46,67	2K15-1	31,86

Regresyonda en yüksek R² değerini veren 2K4 modelinde aşağıdaki Çizelge 4.22’de % atkı kıvrım için regresyon denklemi incelendiğinde; atkı ipliğinde kullanılan elastan numarasının pozitif yönde etkisinin olduğu görülmektedir, çünkü aynı kalınlıkta iplik düşünüldüğünde ipliklerde kullanılan elastan kalınlaştığında ipliğin kumaş üzerinde kendini toplama eğilimini artırır, bu da aynı zamanda iplikte kıvrımın artması sonucunu doğurur. Çift kat ipliklerde bükümün artması ipliğin yaylanma ve kendini toplama eğilimini artırır bu da kumaşta daha kolay kıvrım almasını sağlar. Regresyon denkleminde büküm miktarı ile atkı kıvrımındaki negatif ilişki bunun tersini göstermektedir. Çözümlü iplik numarasının kalınlaşması yani lineer yoğunluğunun artması sıklığa da bağlı olarak atkı kıvrımını artırır, çünkü atkı ipliği çözgü üzerinde daha fazla yol alır. Regresyon denkleminde de bu durumun tersi görülmektedir. Yine çözgü sıklığının artması çözgü iplik numarasına da bağlı olmak üzere atkı kıvrımına pozitif yönde etki eder, model de bunu doğrulamaktadır. Kumaş yapı parametrelerinden K2 (cov_fak_2) tek bir parametreye bağlı olmayıp atkı sıklığına ve atkı iplik numarasına bağlıdır. Dolayısıyla atkı yönünde bu parametrelerin birarada kullanılmasıyla hesaplanan kumaş yapı faktörünün atkı kıvrımına etkisinin pozitif veya negatif yönde beklenmesine dair bir öngörü ortaya konulamamaktadır. Bu ilişki regresyon denkleminde pozitif yönde görülmektedir. Regresyon denkleminde örgü faktörlerinden F2’ nin atkı kıvrımına etkisinin pozitif yönde olduğu görülmektedir. Örgü faktörü F2, birim raporda çözgü sayısı (tekrar sayısı) ile doğru orantılı, atkı ipliğinin çözgü ipliğinden geçiş sayısı ile ters orantılıdır. Bu orantı aslında atkı

ipliğinin çözgü ipliği üzerindeki yüzme uzunluğu ile ilgilidir. Atkı yönünde yüzme uzunluğu arttığında F2 de artar. Dolayısıyla yüzme uzunluğunun artması yani F2' in artması atkı kıvrımını azaltmaktadır. Regresyon denklemi bu ilişkiyi doğrulamamaktadır.

2K4 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

⇒ $P_{\text{değ}} < 0,05$
 atk_lyc_dte, coz_tex, coz_sik, F2 → anlamlı
 atk_ip1_buk_mik, cov_fak_2 → anlamsız

⇒ $VIF < 10$
 tüm değişkenlerde → otokorelasyon yok

F- model anlamlılık testi

$$F_{\text{tablo}} = F(0,05, 6, 225) = 2,09$$

⇒ $F_{\text{hesaplanan}} = 37,49 \geq 2,09$ → H_1 hipotezi anlamlı
 ⇒ $P_{\text{değ}} < 0,05$ → regresyon modeli anlamlı bulunur.

Çizelge 4.22. Minitab atkı kıvrımı 2K4 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
atk_kiv = 9,5 + 0,2523 atk_lyc_dte - 0,0032 atk_ip1_buk_mik - 0,445 coz_tex + 0,2887 coz_sik + 3,439 F2 + 0,036 cov_fak_2						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	9,5	12,8	0,74	0,459		
atk_lyc_dte	0,2523	0,0203	12,44	0,000	1,64	
atk_ip1_buk_mik	-0,0032	0,0117	-0,27	0,786	3,11	
coz_tex	-0,445	0,144	-3,09	0,002	4,86	
coz_sik	0,2887	0,0977	2,96	0,003	2,35	
F2	3,439	0,793	4,34	0,000	1,39	
cov_fak_2	0,036	0,175	0,21	0,836	1,87	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
6,76737	49,99%	48,66%	46,45%	6,86019	47,01%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	6	10300,3	1716,71	37,49	0,000	
atk_lyc_dte	1	7085,9	7085,94	154,72	0,000	
atk_ip1_buk_mik	1	3,4	3,38	0,07	0,786	
coz_tex	1	436,6	436,60	9,53	0,002	
coz_sik	1	400,1	400,14	8,74	0,003	
F2	1	862,3	862,26	18,83	0,000	
cov_fak_2	1	2,0	1,96	0,04	0,836	
Error	225	10304,4	45,80			
Lack-of-Fit	222	10304,4	46,42	*	*	
Pure Error	3	0,0	0,00			
Total	231	20604,7				

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 2K4-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.23'te regresyon denkleminde görüldüğü gibi atkı kıvrım değerine, atkı ipliği elastan numarası (atk_lyc_dte), çözgü sıklığı (coz_sik) ve örgü faktörlerinden F2 pozitif yönde, çözgü iplik numarası (coz_tex) ise negatif yönde etki etmiştir. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda; açıklayıcı değişkenlerden örgü faktörü F2' nin modele en fazla katkı sağladığı görülmektedir. Örgü faktörü F2' nin 1 birim artması % atkı kıvrımında 3,475 oranında bir artışa sebep olmaktadır.

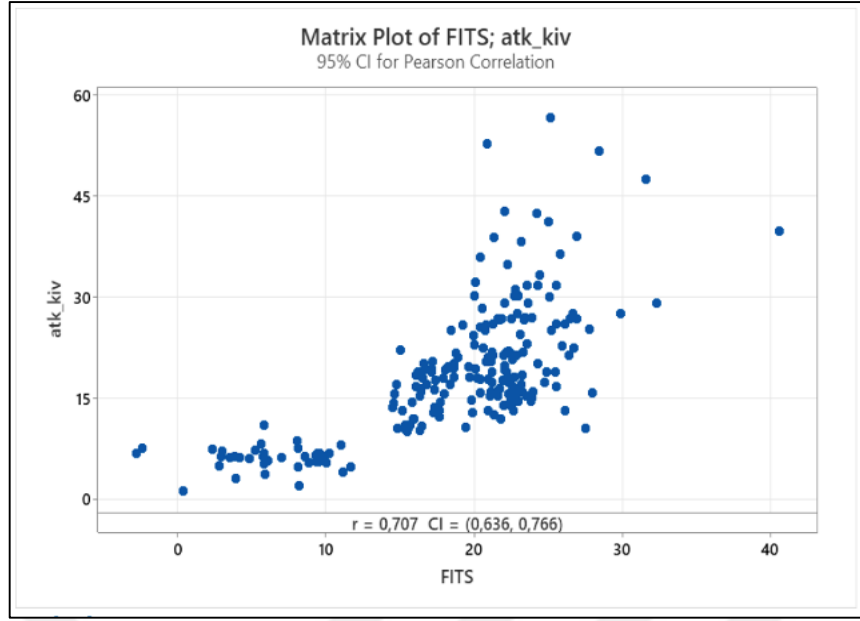
Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri % 48,20 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri % 69,42 çok da iyi bir değer olmayıp bu modelin atkı kıvrımının tahmin edilmesinde kullanımı uygun değildir.

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value <0,01 değeri çıkmış ve bu değer P> 0,05 olduğu için model artıkların normal dağıldığı varsayımını da karşılamamıştır.

Çizelge 4.23. Minitab atkı kıvrımı 2K4-1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
atk_kiv = 6,18 + 0,2513 atk_lyc_dte - 0,4116 coz_tex + 0,3015 coz_sik + 3,475 F2						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	6,18	4,14	1,49	0,137		
atk_lyc_dte	0,2513	0,0199	12,62	0,000	1,59	
coz_tex	-0,4116	0,0915	-4,50	0,000	1,97	
coz_sik	0,3015	0,0786	3,84	0,000	1,53	
F2	3,475	0,780	4,46	0,000	1,36	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
6,73899	49,97%	49,09%	47,70%	6,78245	48,20%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	4	10295,7	2573,92	56,68	0,000	
atk_lyc_dte	1	7234,6	7234,62	159,30	0,000	
coz_tex	1	918,2	918,21	20,22	0,000	
coz_sik	1	668,1	668,11	14,71	0,000	
F2	1	901,7	901,67	19,85	0,000	
Error	227	10309,0	45,41			
Lack-of-Fit	224	10309,0	46,02	*	*	
Pure Error	3	0,0	0,00			
Total	231	20604,7				

Modelden çıkan % atkı kıvrımı değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek çözgü kıvrımı arasında korelasyon grafiği Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. 2K4-1 karışım kumaşlarda atkı kıvrımı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

Şekil 4.16'daki korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,707$ ile normal bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı uygun değildir.

4.2.2.2 Karışım Kumaşlarda Atkı Kıvrımı İçin Yapay Zekâ Modelleri

Karışım kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznitelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.24'te verildiği gibidir.

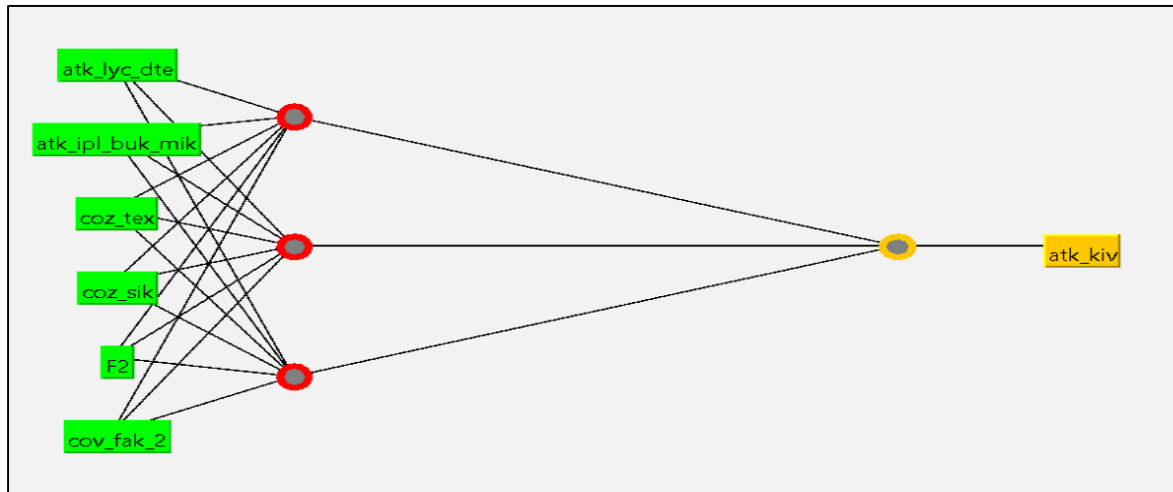
Çizelge 4.24. Karışım kumaşlarda atkı kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
2K0	59,63	76,90*	62,88
2K0-1	60,79	75,09	65,97
2K1	47,09	75,43	64,59
2K1-1	58,33	75,85	66,09*
2K2	37,75	75,00	61,83
2K2-1	57,58	73,58	63,24
2K3	34,28	75,44	61,62
2K3-1	57,84	73,34	63,03

Çizelge 4.24. Karışım kumaşlarda atkı kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı (Devam)

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
2K4	62,57*	75,54	65,61
2K4-1	57,72	76,13	64,53
2K5	59,09	75,18	63,18
2K5-1	56,84	76,62	64,27
2K6	58,15	74,11	61,97
2K6-1	57,00	74,34	60,93
2K7	58,55	73,76	63,77
2K7-1	56,97	74,33	61,72
2K8	58,93	73,38	64,75
2K8-1	60,70	74,69	62,89
2K9	57,11	73,24	62,51
2K9-1	58,74	75,4	62,01
2K10	56,43	72,66	60,92
2K10-1	58,86	73,47	59,09
2K11	56,68	73,27	62,67
2K11-1	57,78	74,06	59,00
2K12	58,03	67,22	62,24
2K12-1	51,79	66,25	63,11
2K13	40,31	47,67	57,40
2K13-1	44,15	49,54	54,68
2K14	58,53	71,30	64,00
2K14-1	56,63	70,13	64,74
2P15	49,08	56,16	71,46
2P15-1	47,78	56,14	69,11

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 2K4 modelidir.



Şekil 4.17. 2K4 atkı kıvrımı tahmini için yapay sinir hücresi

2K4 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.17’de görüldüğü gibidir. Burada giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; burada atkı ipliği elastan numarası (atk_lyc_dte), atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik), çözgü iplik numarası (coz_tex), çözgü sıklığı (coz_sik), örgü faktörlerinden F2 ve kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan atkı kıvrımı (atk_kiv) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıkış nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (6+1) / 2 = 3$ olarak kabul edilmiştir.

Mars tekniğinde; indirgenmiş nitelikler ile oluşturulan 2K1-1 modelde girdi değişkeni (açıklayıcı değişken & bağımsız değişken) olarak çözgü ipliği numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), atkı ipliği elastan numarası (atk_ipl_lyc_dte), atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik), çözgü sıklığı (coz_sik), atkı sıklığı (atk_sik) ve örgü faktörlerinden KL2 alınmıştır.

Yapay sinir ağları için 2K4, rastgele orman algoritmaları için 2K0 ve Mars tekniği için 2K1-1 özet tablosu Çizelge 4.25’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.25. Karışım kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,6257	0,769	0,6609
Ortalama mutlak hata (MAE)	5,914	4,0515	0,1585
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	8,3476	6,0413	7,0735
Relatif mutlak hata (RAE)	%83,9486	% 57,5116	%73,2255
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%88,3396	% 63,9325	%74,856
Toplam örnek sayısı (TNI)	232	232	232

Özet tablodanda anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,769 R değeri ile rastgele orman algoritması olduğu görülmektedir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında en düşük değer rastgele orman algoritmalarında çıkmıştır.

4.2.3 Tüm Veri Setinde Atkı Kıvrımının Tahmin Modellerinin Kurulması

İki farklı işletmeden alınan pamuklu ve poliester viskon kumaşların veri seti ortak açıklayıcı değişkenler kullanılarak birleştirilmiş ve işletmelere özgü faktörler ihmal edilerek ortak bir model oluşturulmuştur.

MODEL 2-PK																		
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Atkı Kıvrımı (%)																		
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																	
	Kumaş İplik Özellikleri					Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri												
						Sıklıklar		Rijitlik Katsayısı	Örgü Faktörleri				Kumaş Yapı Faktörleri					
	Çözümlü İplik Numarası (Tex)	Atkı İpliği Elastan Numarası (dte)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Atkı İpliği Üretim Metodu	Atkı İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözümlü Sıklık (tel/cm)	Atkı Sıklık (atki/cm)	Elyaf Özgül Eğilme Rijitliği Katsayısı	F2	KL2	CFF	FYF	K2	K	T2	TS	OG2	OG
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
1	x	x	x	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x	x	x	x				x						
4	x	x		x	x	x		x	x				x					
5	x	x		x	x	x		x		x				x				
6	x	x		x	x	x		x			x			x				
7	x	x		x	x	x		x				x	x					
8		x		x	x			x	x						x			
9		x		x	x			x		x					x			
10		x		x	x			x			x				x			
11		x		x	x			x				x			x			
12	x	x		x	x	x		x							x			
13		x		x	x			x								x		
14	x	x		x	x	x		x									x	
15		x		x	x			x										x

Şekil 4.18. Tüm kumaşlarda atkı kıvrımının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

Bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.18'den faydalanılmıştır.

4.2.3.1 Tüm Kumaşlarda Atkı Kıvrımı İçin Regresyon Modelleri

Pamuklu ve karışım kumaşların çözgü kıvrımının tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Buna göre regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler aşağıdaki Şekil 4.18'de verildiği gibidir. Şekilde görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde atkı ipliği elastan numarası (atk_lyc_dte), atkı iplik numarası (atk_tex), elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı (kum_spe_fle_rgi), örgü faktörlerinden F2, KL2, CFF, FYF ve kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak), T2 ve OG etkili olmuştur. Performansı biraz daha düşük olan modellerde zaman zaman çözgü iplik numarası (coz_tex) ve atkı ipliği büküm miktarının da (atk_ip_luk_mik) modellere katkısı olmuştur. Modellere etki edeceği düşünülen atkı ipliği üretim metodunun (atk_ip_lure_met), ztkı sıklığı (atk_sik), çözgü

sıklığının (coz_sik) ve kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2) nin modellemelere hemen hemen hiç etkisi olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelerle dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.26’da görüldüğü üzere regresyon 2PK0-1 model olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.26. Tüm kumaşlarda atkı kıvrımı regresyon modelleri için $\%R^2$ belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
2PK0	70,91	2PK8	70,90
2PK0-1	71,08*	2PK8-1	70,72
2PK1	70,50	2PK9	70,51
2PK1-1	70,67	2PK9-1	70,36
2PK2	70,39	2PK10	70,51
2PK2-1	70,61	2PK10-1	70,36
2PK3	70,39	2PK11	70,51
2PK3-1	70,61	2PK11-1	70,36
2PK4	70,88	2PK12	69,17
2PK4-1	70,86	2PK12-1	69,21
2PK5	70,48	2PK13	67,56
2PK5-1	70,43	2PK13-1	67,97
2PK6	70,37	2PK14	69,08
2PK6-1	70,35	2PK14-1	69,28
2PK7	70,37	2PK15	68,41
2PK7-1	70,35	2PK15-1	68,38

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 2PK0 modelinde % atkı kıvrımı için Çizelge 4.27’de görülen regresyon denklemi incelendiğinde; aynı atkı ipliği düşünüldüğünde çözgü iplik numarası arttığında yani iplik kalınlaştıkça atkı, çözgü ipliği üzerinde daha fazla yol kateder, dolayısıyla atkı kıvrımını artırır. Bu durumda çözgü iplik numarasının atkı kıvrımına etkisi pozitiftir. Atkı iplik numarası kalınlaştığında yani numarası (lineer yoğunluk-tex) arttığında eğilme rijitliği artar ve daha zor kıvrım alır. Atkı iplik numarasının artması atkı kıvrımını azaltır, aralarındaki ilişki negatif yönlüdür ve regresyon denklemi de bunu doğrulamaktadır. Denkleminde atkı ipliğinde kullanılan elastan numarasının pozitif yönde etkisinin olduğu görülmektedir, çünkü aynı kalınlıkta iplik düşünüldüğünde ipliklerde kullanılan elastan kalınlaştığında ipliğin kumaş üzerinde kendini toparlama eğilimini artırır, bu da aynı zamanda iplikte kıvrımın artması sonucunu doğurur. Atkı ipliği üretim metodu sayısal değerleri ipliğin nihai paket yoğunluğu baz alınarak (oe iplik 1, ring karde iplik 2, penye iplik 3 ve kompakt iplik 4) verildiği görülür. Paketleme yoğunluğunun artmasıyla iplik daha rijit bir yapıya kavuşacağı varsayımıyla kıvrımla arasında negatif bir ilişki olması beklenir, regresyon

denklemini de bunu doğrulamaktadır. İplikte büküm miktarının artması ile iplik rijitliğinin artması ve buna bağlı olarak ipliğin kıvrılma oranının azalması ile beklenen negatif etki regresyon denkleminde pozitif yönde çıkmıştır. Çözgü sıklığının artması çözgü iplik numarasına da bağlı olmak üzere atkı kıvrımına pozitif yönde etki eder, model de bunu doğrulamaktadır. Atkı sıklığının artması atkı iplikleri arasındaki sürtünmeyi arttıracak için atkı iplik kıvrımına negatif yönde etkileyeceği düşünülürken, bu etki regresyon denkleminde pozitif yönde olmuştur. Örgü faktörü F2, birim raporda çözgü sayısı (tekrar sayısı) ile doğru orantılı, atkı ipliğinin çözgü ipliğinden geçiş sayısı ile ters orantılıdır. Bu orantı aslında atkı ipliğinin çözgü ipliği üzerindeki yüzme uzunluğu ile ilgilidir. Yüzme uzunluğu arttığında F2 de artar. Dolayısıyla yüzme uzunluğunun artması yani F2' in artması atkı kıvrımını azaltmaktadır. Regresyon denklemi bu ilişkiyi doğrulamamaktadır, atkı kıvrımı ve F2 arasındaki ilişki pozitif çıkmıştır. Elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı kumaşın kompozisyonuna göre değişmektedir. Elyafın özgül eğilme rijitliği arttığında buna bağlı olarak ipliğin eğilme rijitliği de artar, buna bağlı olarak kıvrım alması zorlaşır ve atkı kıvrımı düşer. Regresyon denklemi de bunu doğrulamaktadır.

2PK0 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$$T_{\text{tablo}} (0,05; 392) = 1,960$$

$$\Rightarrow T_{\text{değ}} > 1,960$$

atk_lyc_dte, F₂, kum_spe_fle_rgi

→ anlamlı

coz_tex, atk_tex, atk_ipl_ure_met, atk_ipl_buk_mik, coz_sik, atk_sik

→ anlamsız

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

atk_lyc_dte, F₂, kum_spe_fle_rgi

→ anlamlı

coz_tex, atk_tex, atk_ipl_ure_met, atk_ipl_buk_mik, coz_sik, atk_sik

→ anlamsız

$$\Rightarrow VIF < 10$$

atk_ipl_ure_met, kum_spe_fle_rgi

→ otokorelasyon var

F- model anlamlılık testi

$$F_{\text{tablo}} = F (0,05, 9, 392) = 1,88$$

$$\Rightarrow F_{\text{hesaplanan}} = 111,08 \geq 1,88$$

→ H₁ hipotezi anlamlı

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

→ regresyon modeli anlamlı bulunur.

Çizelge 4.27. Minitab atk1 kıvrımı 2PK0 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation					
$\text{atk_kiv} = 25,09 - 0,0133 \text{ coz_tex} - 0,0526 \text{ atk_tex} + 0,1896 \text{ atk_lyc_dte} \\ - 1,440 \text{ atk_ipl_ure_met} + 0,00164 \text{ atk_ipl_buk_mik} + 0,0205 \text{ coz_sik} + 0,0835 \text{ atk_sik} \\ + 2,908 \text{ F2} - 50,7 \text{ kum_spe_fle_rgi}$					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	25,09	7,07	3,55	0,000	
coz_tex	-0,0133	0,0516	-0,26	0,796	4,44
atk_tex	-0,0526	0,0508	-1,03	0,301	7,00
atk_lyc_dte	0,1896	0,0149	12,77	0,000	2,99
atk_ipl_ure_met	-1,440	0,826	-1,74	0,082	23,31
atk_ipl_buk_mik	0,00164	0,00511	0,32	0,748	9,04
coz_sik	0,0205	0,0595	0,34	0,731	6,23
atk_sik	0,0835	0,0770	1,08	0,279	3,31
F2	2,908	0,598	4,86	0,000	1,48
kum_spe_fle_rgi	-50,7	14,5	-3,49	0,001	30,11
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
5,80820	71,83%	71,19%	70,48%	5,82896	70,91%
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	9	33725,6	3747,29	111,08	0,000
coz_tex	1	2,3	2,25	0,07	0,796
atk_tex	1	36,1	36,12	1,07	0,301
atk_lyc_dte	1	5498,6	5498,58	162,99	0,000
atk_ipl_ure_met	1	102,4	102,40	3,04	0,082
atk_ipl_buk_mik	1	3,5	3,50	0,10	0,748
coz_sik	1	4,0	3,99	0,12	0,731
atk_sik	1	39,6	39,59	1,17	0,279
F2	1	798,0	798,00	23,65	0,000
kum_spe_fle_rgi	1	410,9	410,90	12,18	0,001
Error	392	13224,2	33,74		
Lack-of-Fit	383	13224,2	34,53	*	*
Pure Error	9	0,0	0,00		
Total	401	46949,8			

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 2PK0-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.28. Minitab atkı kıvrımı 2PK0-1 regresyon modeli özet tablosu

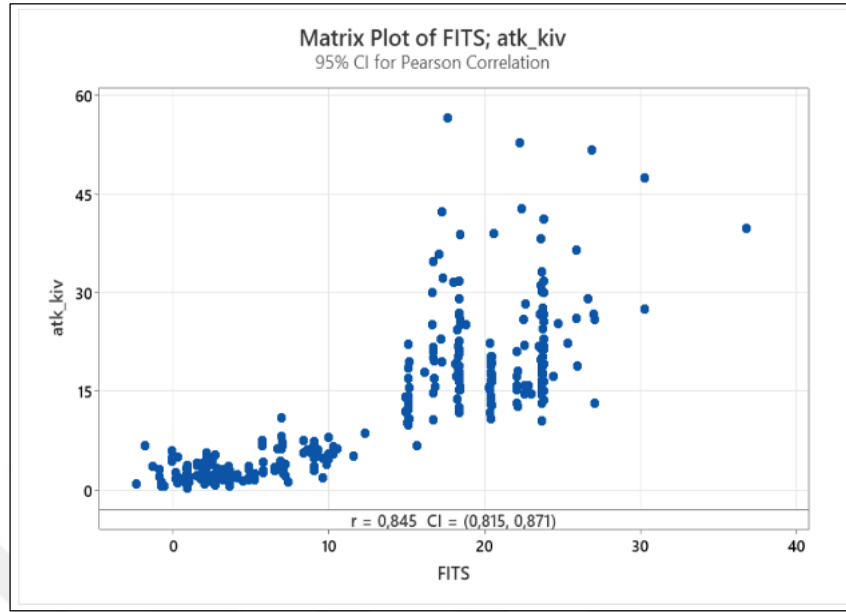
Regression Equation						
atk_kiv = 14,42 - 0,0726 atk_tex + 0,1861 atk_lyc_dte + 3,299 F2 - 27,81 kum_spe_fle_rgi						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	14,42	2,28	6,33	0,000		
atk_tex	-0,0726	0,0201	-3,62	0,000	1,09	
atk_lyc_dte	0,1861	0,0142	13,10	0,000	2,73	
F2	3,299	0,500	6,60	0,000	1,04	
kum_spe_fle_rgi	-27,81	4,37	-6,36	0,000	2,72	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
5,81484	71,41%	71,12%	70,79%	5,81219	71,08%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	4	33526,3	8381,57	247,88	0,000	
atk_tex	1	442,4	442,39	13,08	0,000	
atk_lyc_dte	1	5806,0	5805,96	171,71	0,000	
F2	1	1472,9	1472,94	43,56	0,000	
kum_spe_fle_rgi	1	1365,9	1365,94	40,40	0,000	
Error	397	13423,5	33,81			
Lack-of-Fit	388	13423,5	34,60	*	*	
Pure Error	9	0,0	0,00			
Total	401	46949,8				

Çizelge 4.28’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi % atkı kıvrımına atkı iplik numarası (atk_tex), atkı ipliği elastan numarası (atk_lyc_dte), örgü faktörlerinden F2 ve elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı (kum_spe_fle_rgi) etki etmiştir. Regresyon denkleminde atkı ipliği elastan numarası (atk_lyc_dte) ile örgü faktörü F2’ nin modele katkısı pozitif yönde, atkı iplik numarası (atk_tex) ve elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı (kum_spe_fle_rgi) nün katkısı ise negatif yönlüdür. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı (kum_spe_fle_rgi) nün modele katkısının en fazla olduğu görülmektedir. Modelde elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı (kum_spe_fle_rgi) nün 1 birimlik artışı, % atkı kıvrımına negatif yönde 27,81 oranında etki sağlamıştır.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %71,08 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %84,30 ile iyi bir değer olup bu modelin atkı kıvrımının tahmin edilmesinde kullanımı kontrollü olmalıdır.

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value <0,01 değeri çıkmış ve bu değer $P > 0,05$ olduğu için model artıkların normal dağıldığı varsayımını da karşılamamıştır.

Modelden çıkan % atkı kıvrımı değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek atkı kıvrımı arasında korelasyon grafiği Şekil 4.19’te verilmiştir.



Şekil 4.19. 2PK0-1 tüm kumaşlarda atkı kıvrımı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

Şekil 4.19’deki korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı, $r = 0,845$ ile yüksek bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı kontrollü olmalıdır.

4.2.3.2 Tüm Kumaşlarda Atkı Kıvrımı İçin Yapay Zekâ Modelleri

Tüm kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznitelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.35’te verilmiştir.

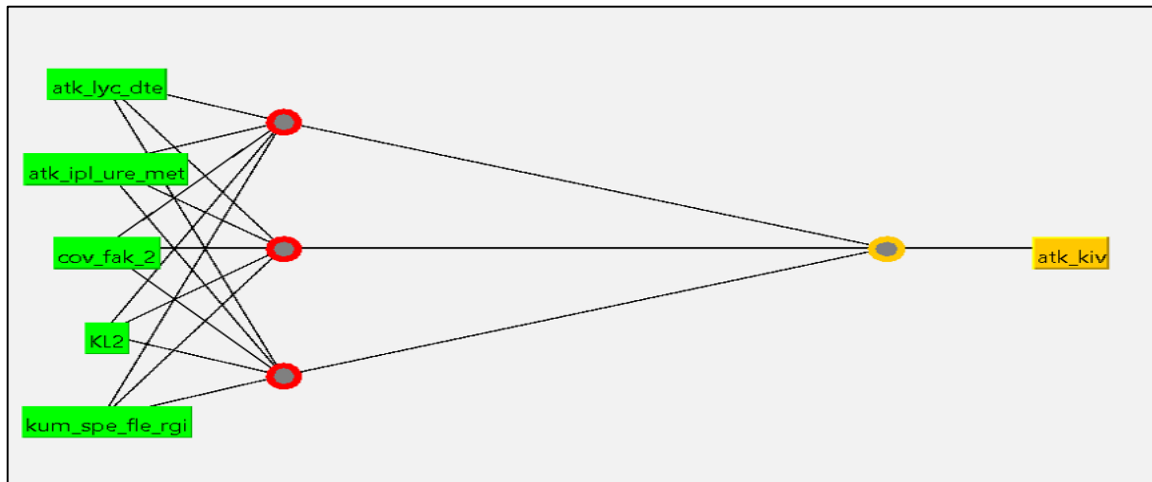
Çizelge 4.29. Tüm kumaşlarda atkı kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
2PK0	83,66	90,01	85,62
2PK0-1	82,90	88,23	84,20
2PK1	84,46	89,86	85,63
2PK1-1	84,15	88,22	84,19
2PK2	82,85	89,87	85,09
2PK2-1	84,27	88,14	83,73
2PK3	83,15	89,46	84,64
2PK3-1	84,09	88,11	83,51
2PK4	83,21	89,64	85,37

Çizelge 4.29. Tüm kumaşlarda atkı kıvrımı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı (Devam)

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
2PK4-1	83,24	88,02	84,98
2PK5	84,88	89,67	85,45
2PK5-1	85,42*	88,36	84,78
2PK6	82,87	89,33	84,67
2PK6-1	84,56	88,62	83,82
2PK7	82,87	89,13	84,08
2PK7-1	84,47	88,35	84,11
2PK8	83,11	90,23*	85,57
2PK8-1	82,90	88,23	84,20
2PK9	84,89	90,19	84,78
2PK9-1	84,15	88,22	84,19
2PK10	83,14	89,87	84,28
2PK10-1	84,27	88,14	83,73
2PK11	83,58	89,64	84,23
2PK11-1	84,09	88,11	83,51
2PK12	83,40	87,59	84,70
2PK12-1	78,99	82,80	83,19
2PK13	80,17	83,99	83,58
2PK13-1	79,69	84,39	83,40
2PK14	84,76	87,96	86,10*
2PK14-1	81,55	83,83	84,08
2PK15	81,81	84,31	83,56
2PK15-1	81,72	84,70	83,70

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 2PK5-1 modelidir.



Şekil 4.20. 2PK5-1 atkı kıvrımı tahmini için yapay sinir hücresi

2PK5-1 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.20’de görüldüğü gibidir. Burada giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; atkı ipliği elastan numarası (atk_lyc_dte), atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2), örgü faktörlerinden (KL2), elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı (kum_spe_fle_rgi), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan atkı kıvrımı (atk_kiv) seçilmiştir. Gizli katmansayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıkış nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (5+1) / 2 = 3$ olarak kabul edilmiştir.

Yapay sinir ağları için 2PK5-1, rastgele orman algoritmaları için 2PK8 ve Mars tekniği için 2PK14 özet tablosu Çizelge 4.30’da verildiği gibidir.

Çizelge 4.30. Tüm kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,8542	0,9023	0,861
Ortalama mutlak hata (MAE)	3,7107	2,6842	3,5434
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	5,7145	4,6613	5,4972
Relatif mutlak hata (RAE)	%40,6142	% 29,3792	%38,7826
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%52,8132	% 43,0798	%50,8046
Toplam örnek sayısı (TNI)	402	402	402

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,9023 R değeri ile rastgele orman algoritması olduğu görülmektedir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında en düşük değer rastgele orman algoritmalarında çıkmıştır.

4.3 Ham Kumaş Eni İçin Tahmin Modelleri

4.3.1 Pamuklu Kumaşlarda Ham Kumaş Eni İçin Tahmin Modellerinin Kurulması

Pamuklu kumaşların ham kumaş enini tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıkış değişkeni) olarak ham kumaş eni (ham_kum_eni) alınırken, bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Çizelge 4.37’den faydalanılmıştır.

4.3.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Ham Kumaş Eni İçin Regresyon Modelleri

Pamuklu kumaşlarda ham kumaş eninin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Buna göre regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan

açıklayıcı değişkenler aşağıdaki Şekil 4.21’de verildiği gibidir. Şekilde görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), çözgü sıklığı (coz_sik), atkı sıklığı (atk_sik), mamül en (mam_en), örgü faktörleri F1 ile kumaş yapı faktörleri K, OG1, OG yaygın olarak kullanılmıştır. Tahmin gücü en yüksek olan 8. Modele atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), örgü faktörlerinden F2 ve kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak) etki etmiştir. Modellerle etkisinin olacağı düşünülen atkı iplik numarası (atk_tex) ve kumaş yapı faktörlerinden K2’ nin modellere katkısı hiç olmamıştır. Çözgü iplik numarası (coz_tex) ile atkı sıklığı da (atk_sik) performansı düşük modellerde zaman zaman modellere dahil olmuştur.

MODEL 3-P																	
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Ham Kumaş Eni (cm)																	
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri												
					Sıklıklar		En	Örgü Faktörleri				Kumaş Yapı Faktörleri					
	Çözü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Atkı İpliği Üretim Metodu	Atkı İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözü Sıklık (tel/cm)	Atkı Sıklık (atkı/cm)	Mamül En (cm)	F2	KL2	CFF	FYF	K2	K	T2	TS	OG2	OG
0	x	x	x	x	x	x	x	x									
1	x	x	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x	x	x				x						
4	x		x	x	x		x	x				x					
5	x		x	x	x		x		x			x					
6	x		x	x	x		x			x		x					
7	x		x	x	x		x				x	x					
8			x	x			x	x					x				
9			x	x			x		x				x				
10			x	x			x			x			x				
11			x	x			x				x		x				
12	x		x	x	x		x							x			
13			x	x			x								x		
14	x		x	x	x		x									x	
15			x	x			x										x

Şekil 4.21. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş eninin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelere dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin aşağıdaki Çizelge 4.31’de görüldüğü üzere regresyon 3P8-1 model olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.31. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş eni regresyon modelleri için %R² belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R ²	Model No	k-fold R ²
3P0	71,65	3P8	78,07
3P0-1	72,08	3P8-1	78,27*
3P1	70,31	3P9	77,13
3P1-1	71,22	3P9-1	77,44
3P2	70,37	3P10	77,33
3P2-1	71,22	3P10-1	77,60
3P3	70,37	3P11	77,33
3P3-1	71,22	3P11-1	77,60
3P4	71,30	3P12	69,36
3P4-1	71,13	3P12-1	69,21
3P5	69,90	3P13	69,31
3P5-1	69,69	3P13-1	69,80
3P6	70,05	3P14	74,34
3P6-1	69,84	3P14-1	74,97
3P7	70,05	3P15	72,38
3P7-1	69,84	3P15-1	72,78

Regresyonda en yüksek R² değerini veren 3P8 modeli için Çizelge 4.32'deki özet tabloda ham kumaş eni için regresyon denklemi incelendiğinde; atkı ipliği üretim metodu sayısal değerleri ipliğin nihai paket yoğunluğu baz alınarak (oe iplik 1, ring karde iplik 2, penye iplik 3 ve kompakt iplik 4) verildiği görülür. Paketleme yoğunluğunun artmasıyla iplik daha rijit bir yapıya kavuşacağı varsayımıyla kıvrımla arasında negatif bir ilişki olması beklenir, regresyon denkleminde bu ilişki pozitif çıkmıştır. Regresyon denkleminde atkı ipliğinin büküm miktarının etkisi negatif çıkmış olup, bu iplikte büküm miktarının artması ile iplik rijitliğinin artması ve buna bağlı olarak ipliğin kıvrılma oranının azalması gerçeğinden kaynaklanmaktadır. Atkı kıvrımı az olan kumaş daha az kendini toplar, ham eni daha geniş çıkar. Kumaş yapı parametrelerinden K (cov_fak) tek bir parametreye bağlı olmayıp kumaşın atkı ve çözgü yönünde sıklığı ve iplik numaralarına bağlıdır. Hem çözgü hem atkı yönünde sıklığın artması kumaş yapı faktörü K'yı artırmaktadır, ipliğin kalınlaşması da K'yı arttırmaktadır. Dolayısıyla atkı ve çözgü yönünde bu parametreleri birlikte kullanarak hesaplanan kumaş yapı faktörünün ham kumaş enine etkisinin pozitif veya negatif yönde beklenmesine dair bir öngörü ortaya konulamamaktadır. Regresyon denkleminde bu etki negatif yöndedir. Regresyon denkleminde örgü faktörlerinden F2'nin ham kumaş enine etkisinin pozitif yönde olduğu görülmektedir. Atkı yönünde yüzme uzunluğu arttığında F2 de artacağından, bu artış atkı kıvrımını azaltacak ve dolayısıyla ham kumaş enini artıracaktır. Regresyon denklemi bu ilişkiyi doğrulamaktadır. Mamül kumaş eni, ham en ile doğrudan ilgilidir. Eğer bir kumaşın mamül eni biliniyorsa ki bu

aslında kumaşın bitmiş haldeki enidir, istenen bu en için ham en ne olmalıdır sorusunun cevabı bu regresyon denklemi ile bulunur. Kumaşta mamül enin istenenden fazla veya eksik çıkması, ham eninde bununla orantılı olarak fazla veya eksik ende olduğunu gösterir. Aralarındaki ilişki pozitif yöndedir ve regresyon denklemi de bunu doğrular.

Çizelge 4.32. Minitab ham kumaş eni 3P8 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation					
ham_en = 40,53 + 1,215 atk_ipl_ure_met - 0,00114 atk_ipl_buk_mik - 1,521 cov_fak + 3,126 F2 + 1,0036 mam_en					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	40,53	7,17	5,66	0,000	
atk_ipl_ure_met	1,215	0,415	2,92	0,004	2,91
atk_ipl_buk_mik	-0,00114	0,00151	-0,76	0,451	3,12
cov_fak	-1,521	0,133	-11,46	0,000	1,90
F2	3,126	0,582	5,37	0,000	1,76
mam_en	1,0036	0,0424	23,69	0,000	1,30
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
2,71897	80,00%	79,39%	78,03%	2,79605	78,07%
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	4848,98	969,80	131,18	0,000
atk_ipl_ure_met	1	63,25	63,25	8,56	0,004
atk_ipl_buk_mik	1	4,22	4,22	0,57	0,451
cov_fak	1	970,56	970,56	131,28	0,000
F2	1	213,12	213,12	28,83	0,000
mam_en	1	4148,29	4148,29	561,13	0,000
Error	164	1212,42	7,39		
Lack-of-Fit	158	1212,42	7,67	*	*
Pure Error	6	0,00	0,00		
Total	169	6061,39			

3P8 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

atk_ipl_ure_met, cov_fak, F2, mam_en

→ anlamlı

atk_ipl_buk_mik

→ anlamsız

$$\Rightarrow VIF < 10$$

tüm değişkenlerde

→ otokorelasyon yok

F- model anlamlılık testi

$$F_{\text{tablo}} = F(0,05, 5, 164) = 2,21$$

$$\Rightarrow F_{\text{hesaplanan}} = 131,18 \geq 1,88$$

→ H_1 hipotezi anlamlı

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

→ regresyon modeli anlamlı bulunur.

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 3P8-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.33'de regresyon denkleminde görüldüğü gibi ham kumaş enine; atk ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), mamül en (mam_en) ve örgü faktörlerinden F2 pozitif yönde, kumaş

yapı faktörlerinden K (cov_fak) negatif yönde etki etmiştir. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda, örgü faktörlerinden F2’ nin 1 birimlik artışı, ham kumaş enini 3,170 oranında artmasına sebep olduğu görülmektedir.

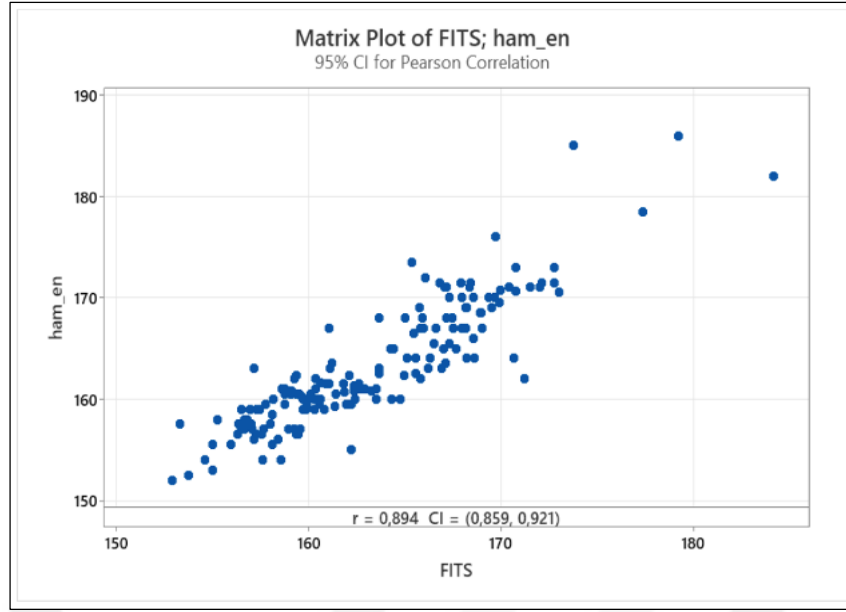
Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri % 78,27 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri % 88,47 ile iyi bir değer olup bu modelin ham kumaş enini tahmin edilmesinde kullanımı uygundur.

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value = 0,037 değeri çıkmış ve bu değer $P > 0,05$ şartını sağlamadığı için model artıkların normal dağıldığı varsayımını karşılanmamıştır.

Çizelge 4.33. Minitab ham kumaş eni 3P8-1regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
ham_en = 38,98 + 0,978 atk_ip1_ure_met - 1,503 cov_fak + 3,170 F2 + 1,0070 mam_en						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	38,98	6,86	5,68	0,000		
atk_ip1_ure_met	0,978	0,273	3,59	0,000	1,26	
cov_fak	-1,503	0,130	-11,54	0,000	1,84	
F2	3,170	0,578	5,48	0,000	1,74	
mam_en	1,0070	0,0421	23,94	0,000	1,29	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
2,71543	79,93%	79,44%	78,24%	2,78357	78,27%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	4	4844,76	1211,19	164,26	0,000	
atk_ip1_ure_met	1	95,01	95,01	12,88	0,000	
cov_fak	1	981,17	981,17	133,07	0,000	
F2	1	221,41	221,41	30,03	0,000	
mam_en	1	4225,16	4225,16	573,02	0,000	
Error	165	1216,64	7,37			
Lack-of-Fit	159	1216,64	7,65	*	*	
Pure Error	6	0,00	0,00			
Total	169	6061,39				

Modelden çıkan ham kumaş eni değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek kumaş eni arasında korelasyon grafiği Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22. 3P8-1 pamuklu kumaşlarda ham en regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

Şekil 4.22'deki korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,894$ ile yüksek bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı için uygundur.

4.3.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Ham Kumaş Eni İçin Yapay Zekâ Modelleri

Pamuklu kumaşlarda ham kumaş eni için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznitelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.34'te verildiği gibidir.

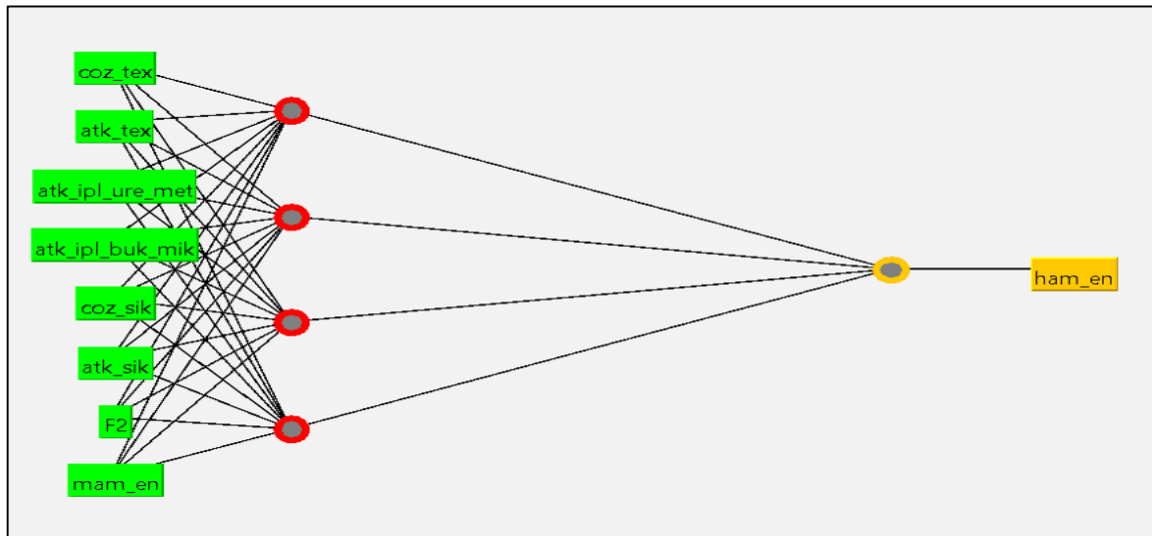
Çizelge 4.34. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş eni tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
3P0	83,52*	83,13	89,06*
3P0-1	64,18	70,37	75,36
3P1	79,89	83,51	88,31
3P1-1	71,42	81,56	80,53
3P2	81,40	82,39	88,51
3P2-1	69,36	76,08	79,26
3P3	82,32	82,94	88,45
3P3-1	69,36	75,96	79,60
3P4	78,29	82,16	88,60
3P4-1	64,00	72,81	74,77
3P5	79,83	82,08	88,14

Çizelge 4.34. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş eni tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı (Devam)

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
3P5-1	67,73	78,56	78,59
3P6	80,89	81,68	88,78
3P6-1	67,48	72,87	77,71
3P7	77,31	81,68	87,76
3P7-1	67,48	72,87	78,00
3P8	80,76	83,73	87,51
3P8-1	64,33	69,40	75,82
3P9	78,95	83,48	87,92
3P9-1	66,18	69,44	76,09
3P10	77,79	83,87	88,10
3P10-1	66,24	70,29	76,33
3P11	77,00	84,14	87,57
3P11-1	66,24	70,32	76,91
3P12	76,49	83,04	87,55
3P12-1	68,13	74,02	81,50
3P13	66,21	80,16	83,20
3P13-1	61,67	72,50	75,75
3P14	79,22	85,13*	87,80
3P14-1	81,38	83,52	85,82
3P15	72,46	82,30	85,63
3P15-1	70,53	78,40	81,04

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 3P0 modelidir ve temel hücre yapısı Şekil 4.23'te görüldüğü gibidir.



Şekil 4.23. 3P0 ham en tahmini için yapay sinir hücresi

3P0 modelinde giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik), çözgü sıklığı (coz_sik), atkı sıklığı (atk_sik), örgü faktörlerinden F2 ve mamül kumaş eni (mam_en), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan ham kumaş eni (ham_en) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıktı nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (8+1) / 2 = 4$ olarak kabul edilmiştir.

Yapay sinir ağları için 3P0, rastgele orman algoritmaları için 3P14 ve Mars tekniği için 3P0 özet tablosu Çizelge 4.35’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.35. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş eni için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,8352	0,8513	0,8906
Ortalama mutlak hata (MAE)	2,7248	2,1878	2,0671
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	3,5159	3,2097	2,7208
Relatif mutlak hata (RAE)	%56,5794	% 45,4279	%42,9223
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%58,7424	% 53,6256	%45,4585
Toplam örnek sayısı (TNI)	170	170	170

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,89 R değeriyle Mars tekniği olduğu görülmektedir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında en düşük değer Mars tekniğinde çıkmıştır.

4.3.2 Karışım Kumaşlarda Ham Kumaş Eni Tahmin Modellerinin Kurulması

Karışım kumaşların çözgü kıvrımını tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak % çözgü kıvrımı alınırken, bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak aşağıdaki Şekil 4.24’ten faydalanılmıştır.

MODEL 3-K																	
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Ham Kumaş Eni (cm)																	
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri												
	Çözümlü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Atkı İpliği Elastan Numarası (dte)	Atkı İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözümlü Sıklık (tel/cm)	Atkı Sıklık (atki/cm)	Tarak En (cm)	F2	KL2	CFF	FYF	K2	K	T2	TS	OG2	OG
0	x	x	x	x	x	x	x	x									
1	x	x	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x	x	x				x						
4	x		x	x	x		x	x				x					
5	x		x	x	x		x		x			x					
6	x		x	x	x		x			x		x					
7	x		x	x	x		x				x	x					
8			x	x			x	x					x				
9			x	x			x		x				x				
10			x	x			x			x			x				
11			x	x			x				x		x				
12	x		x	x	x		x							x			
13			x	x			x								x		
14	x		x	x	x		x									x	
15			x	x			x										x

Şekil 4.24. Karışım kumaşlarda ham kumaş eninin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.3.2.1 Karışım Kumaşlarda Ham Kumaş Eni İçin Regresyon Modelleri

Poliester-viskon karışım kumaşlarda çözgü kıvrımının tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.24’te verildiği gibidir. Şekilde görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı ipliği elastan numarası (atk_lyc_dte) ve çözgü sıklığı (coz_sik), örgü faktörlerinden F2, KL2, CFF, FYF ve kumaş yapı faktörlerinden K, T2, TS, OG2 ve OG yaygın olarak kullanılmış olup, tahmin gücü daha düşük olan modellerde atkı ipliği büküm miktarının da (atk_ip_l_buk_mik) zaman zaman modellere etkisi gözlemlenmiştir. Burada atkı kıvrımına etkisi olacağı düşünülen atkı iplik numarası (atk_tex) ve atkı sıklığı (atk_sik) ve kumaş yapı faktörlerinden K2’ nin modellere hiçbir katkısı olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümeler için R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.36’da görüldüğü üzere regresyon 3K0-1 ve 3K4-1, model olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.36. Karışım kumaşlarda ham kumaş eni regresyon modelleri için %R² belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R ²	Model No	k-fold R ²
3K0	31,37	3K8	27,82
3K0-1	32,64*	3K8-1	27,82
3K1	30,30	3K9	26,87
3K1-1	31,57	3K9-1	26,87
3K2	29,34	3K10	26,36
3K2-1	30,85	3K10-1	26,36
3K3	29,34	3K11	26,36
3K3-1	30,85	3K11-1	26,36
3K4	31,67	3K12	26,10
3K4-1	32,64*	3K12-1	27,12
3K5	30,42	3K13	6,14
3K5-1	31,43	3K13-1	9,20
3K6	29,70	3K14	29,30
3K6-1	30,85	3K14-1	30,19
3K7	29,70	3K15	12,26
3K7-1	30,85	3K15-1	12,24

Regresyonda en yüksek R² değerini veren 3K4 modelinde Çizelge 4.37'deki tabloda ham kumaş eni için regresyon denklemi incelendiğinde; atkı ipliğinde kullanılan elastan numarasının negatif yönde etkisinin olduğu görülmektedir. Çünkü aynı kalınlıkta iplik düşünüldüğünde, kullanılan elastan lifinin kalınlaşması ipliğin kumaş üzerinde kendini toplama eğilimini arttırır, bu da aynı zamanda kumaş enini düşürür. Çift kat ipliklerde bükümün artması iplik yapısını görece rijitleştireceği için kumaşta kıvrım almasını güçleştirecektir. Büküm miktarı ile atkı kıvrımı arasında negatif, ham kumaş eni ile arasında pozitif ilişki olacaktır. Regresyon denklemi bunu doğrulamaktadır. Çözümlü iplik numarasının kalınlaşması yani lineer yoğunluğunun artması sıklığa da bağlı olarak atkı kıvrımını arttırır, çünkü atkı ipliği daha rijit bir yapıya kavuşan çözgü üzerinde daha fazla yol alır. Atkı kıvrımının artması ham kumaş enini düşürür, dolayısıyla çözgü iplik numarası ile ham kumaş eni arasında negatif ilişki vardır. Regresyon denkleminde bu durumun tersi görülmektedir. Yine çözgü sıklığının artması çözgü iplik numarasına da bağlı olmak üzere atkı kıvrımına pozitif yönde etki eder, atkı kıvrımının artması ham enin düşmesi anlamına gelir, yani ham en ile çözgü sıklığı arasında negatif bir ilişki vardır, regresyon modeli de bunu doğrulamaktadır. Kumaş yapı parametrelerinden K2 (cov_fak_2) tek bir parametreye bağlı olmayıp atkı sıklığına ve atkı iplik numarasına bağlıdır. Atkı sıklığının artması ve atkı numarasının kalınlaşması kumaş yapı faktörü K2' yi arttırır. Bu da sıklığa ve kalınlığa bağlı olarak atkı kıvrımını düşürür. Kıvrımın düşmesi ham enin artmasına sebep olur. Bu K2 ile ham en ile arasında pozitif ilişki olduğunu

gösterir zira regresyonda da bu ilişki pozitif çıkmıştır. Örgü faktörü F2 nin artışı, atkı yönünde yüzme uzunluğunun artışı ifade eder. Dolayısıyla yüzme uzunluğunun yani F2' in artması atkı kıvrımını azaltır, böylece ham en artmış olur. Regresyon denklemi bu ilişkiyi doğrulamamaktadır.

Çizelge 4.37. Minitab ham kumaş eni 3K4 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation					
ham_en = 94,4 - 0,2067 atk_lyc_dte + 0,0011 atk_ip1_buk_mik + 0,265 coz_tex - 0,408 coz_sik - 4,330 F2 + 0,112 cov_fak_2 + 0,4474 tar_en					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	94,4	20,5	4,61	0,000	
atk_lyc_dte	-0,2067	0,0327	-6,32	0,000	3,17
atk_ip1_buk_mik	0,0011	0,0136	0,08	0,938	3,11
coz_tex	0,265	0,177	1,49	0,137	5,47
coz_sik	-0,408	0,114	-3,58	0,000	2,38
F2	-4,330	0,929	-4,66	0,000	1,42
cov_fak_2	0,112	0,208	0,54	0,591	1,95
tar_en	0,4474	0,0679	6,59	0,000	2,01
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
7,84691	35,82%	33,81%	30,91%	7,95584	31,67%
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	7	7697,4	1099,63	17,86	0,000
atk_lyc_dte	1	2458,6	2458,57	39,93	0,000
atk_ip1_buk_mik	1	0,4	0,38	0,01	0,938
coz_tex	1	137,5	137,46	2,23	0,137
coz_sik	1	789,4	789,39	12,82	0,000
F2	1	1338,1	1338,05	21,73	0,000
cov_fak_2	1	17,9	17,88	0,29	0,591
tar_en	1	2670,3	2670,25	43,37	0,000
Error	224	13792,6	61,57		
Lack-of-Fit	221	13792,6	62,41	*	*
Pure Error	3	0,0	0,00		
Total	231	21490,0			

3K4 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$T_{\text{tablo}}(0,05; 224) = 1,960$

$\Rightarrow T_{\text{değ}} > 1,960$

atk_lyc_dte, coz_sik, F₂, tar_en

$\rightarrow$ anlamlı

atk_ip1_buk_mik, coz_tex, cov_fak_2

$\rightarrow$ anlamsız

$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$

atk_lyc_dte, coz_sik, F₂, tar_en

$\rightarrow$ anlamlı

atk_ip1_buk_mik, coz_tex, cov_fak_2

$\rightarrow$ anlamsız

$\Rightarrow VIF < 10$

tüm değişkenlerde

$\rightarrow$ otokorelasyon yok

F- model anlamlılık testi

$$F_{\text{tablo}} = F(0,05, 7, 224) = 2,01$$

$\Rightarrow F_{\text{hesaplanan}} = 17,86 \geq 2,01 \rightarrow H_1$ hipotezi anlamlı
 $\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05 \rightarrow$ regresyon modeli anlamlı bulunur.

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 3K4-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.38. Minitab ham kumaş eni 3K4-1 regresyon modeli özet tablosu

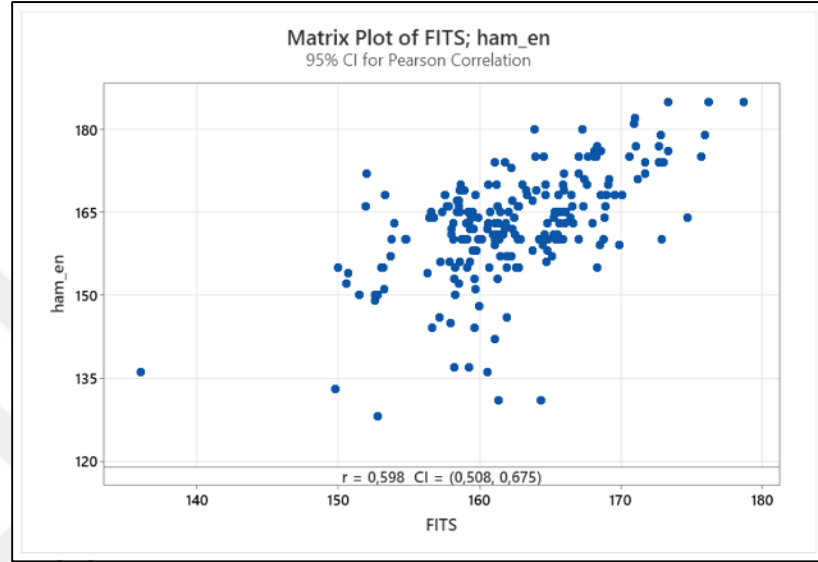
Regression Equation					
ham_en = 94,0 - 0,2090 atk_lyc_dte + 0,279 coz_tex - 0,3730 coz_sik - 4,268 F2 + 0,4545 tar_en					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	94,0	14,2	6,64	0,000	
atk_lyc_dte	-0,2090	0,0319	-6,55	0,000	3,03
coz_tex	0,279	0,117	2,39	0,017	2,38
coz_sik	-0,3730	0,0919	-4,06	0,000	1,56
F2	-4,268	0,913	-4,67	0,000	1,38
tar_en	0,4545	0,0664	6,85	0,000	1,93
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
7,81772	35,73%	34,30%	32,34%	7,89886	32,64%
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	7677,6	1535,52	25,12	0,000
atk_lyc_dte	1	2624,8	2624,82	42,95	0,000
coz_tex	1	350,4	350,38	5,73	0,017
coz_sik	1	1006,9	1006,91	16,48	0,000
F2	1	1335,1	1335,09	21,84	0,000
tar_en	1	2864,2	2864,19	46,86	0,000
Error	226	13812,4	61,12		
Lack-of-Fit	223	13812,4	61,94	*	*
Pure Error	3	0,0	0,00		
Total	231	21490,0			

Çizelge 4.38’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi ham kumaş enine, atkı ipliği elastan numarası (atk_lyc_dte), çözgü sıklığı (coz_sik) ve örgü faktörlerinden F2 negatif yönde, çözgü iplik numarası (coz_tex) ve tarak eni (tar_en) pozitif yönde etki etmiştir. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda; açıklayıcı değişkenlerden örgü faktörü F2’ nin modele en fazla katkı sağladığı görünmektedir. Örgü faktörü F2’ nin 1 birim artması ham kumaş enine 4,268 oranında bir azalmaya sebep olmaktadır.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri % 32,64 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri % 57,13 çok da iyi bir değer olmayıp bu modelin ham kumaş eninin tahmin edilmesinde kullanımı uygun değildir.

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value <0,01 değeri çıkmış ve bu değer $P > 0,05$ olduğu için model artıkların normal dağıldığı varsayımını da karşılamamıştır.

Modelden çıkan ham kumaş eni değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek ham kumaş eni arasında korelasyon grafiği Şekil 4.25’de verilmiştir.



Şekil 4.25. 3K4-1 karışım kumaşlarda ham en regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

Şekil 4.25’deki korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,598$ ile ortalama bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile ham kumaş eninin tahmin edilmesine dair bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı uygun değildir.

4.3.2.2 Karışım Kumaşlarda Ham Kumaş Eni İçin Yapay Zekâ Modelleri

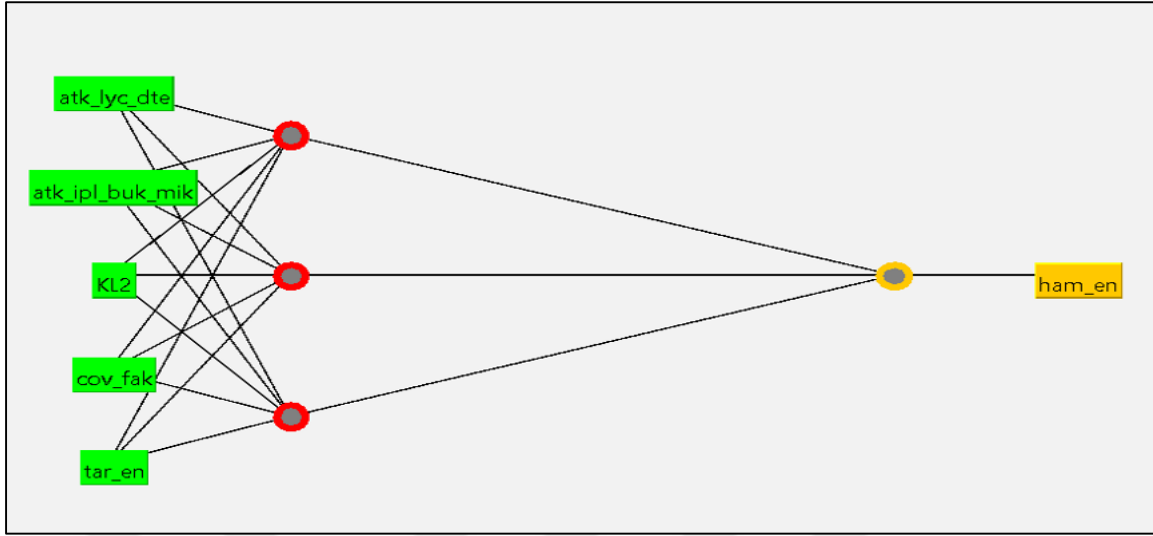
Karışım kumaşlarda ham kumaş eni için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznitelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.39’da verildiği gibidir.

Çizelge 4.39. Karışım kumaşlarda ham kumaş eni tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
3K0	45,10	62,84	52,91
3K0-1	20,48	47,98	33,94
3K1	36,04	65,32	51,45
3K1-1	27,37	48,17	35,62
3K2	33,23	67,72*	49,73
3K2-1	27,15	39,26	34,46
3K3	30,78	63,53	51,78
3K3-1	27,15	39,68	34,28
3K4	40,81	62,57	52,73
3K4-1	20,48	47,98	33,94
3K5	51,25	61,47	53,19*
3K5-1	27,51	47,27	35,30
3K6	45,48	63,46	48,94
3K6-1	27,20	37,8	35,37
3K7	44,51	61,84	51,07
3K7-1	27,21	38,31	34,28
3K8	44,35	61,27	40,51
3K8-1	30,70	48,75	37,34
3K9	48,56*	60,83	44,28
3K9-1	26,96	46,37	35,15
3K10	42,08	59,62	41,74
3K10-1	28,87	41,79	28,30
3K11	41,31	60,20	42,19
3K11-1	28,76	42,65	26,10
3K12	42,15	51,22	44,50
3K12-1	25,02	44,74	33,04
3K13	15,94	31,33	28,94
3K13-1	10,41	19,86	24,75
3K14	45,02	54,48	52,58
3K14-1	10,95	39,62	33,97
3K15	13,12	30,29	32,02
3K15-1	18,22	23,98	24,67

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 3K9 modelidir. 3K9 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.26'da görüldüğü gibidir. Burada giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; atkı ipliği elastan numarası (atk_ lyc_dte), atkı ipliği büküm miktarı, Örgü faktörlerinden KL2, kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak) ve tarak eni (tar_en), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan ham kumaş eni (ham_en) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; a=

(girdi katman sayısı+ çıktı katman sayısı) /2 formülünden; $a = (5+1) /2 = 3$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.26. 3K9 ham en tahmini için yapay sinir hücresi

Yapay sinir ağları için 3K9, rastgele orman algoritmaları için 3K2 ve Mars tekniği için 3K5 özet tablosu Çizelge 4.40’da verildiği gibidir.

Çizelge 4.40. Karışım kumaşlarda ham kumaş eni için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,4856	0,6772	0,5319
Ortalama mutlak hata (MAE)	6,8289	5,4062	6,2364
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	9,0033	7,5078	8,1904
Relatif mutlak hata (RAE)	%96,1434	% 76,1126	%87,8015
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%93,0824	% 77,621	%84,6778
Toplam örnek sayısı (TNI)	232	232	232

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,6772 R değeri ile rastgele orman algoritmaları olduğu görülmüştür. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında en düşük değer rastgele orman algoritmalarında çıkmıştır.

4.3.3 Tüm Veri Setinde Ham Kumaş Eni Tahmin Modellerinin Kurulması

İki farklı işletmeden alınan pamuklu ve poliester viskon kumaşların veri seti ortak açıklayıcı değişkenler kullanılarak birleştirilmiş ve işletmeye özgü faktörler ihmal edilerek

ortak bir model oluşturulmuştur. Tüm kumaşlarda atkı kıvrımını tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak ham kumaş eni alınırken, bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.27’den faydalanılmıştır.

MODEL 3-PK																		
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Ham Kumaş Eni (cm)																		
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																	
	Kumaş İplik Özellikleri					Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri												
	Çözümlü İplik Numarası (Tex)	Atkı İpliği Elastan Numarası (dte)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Atkı İpliği Üretim Metodu	Atkı İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Sıklıklar		En	Rijitlik Katsayısı	Örgü Faktörleri				Kumaş Yapı Faktörleri				
						Çözümlü Sıklık (tel/cm)	Atkı Sıklık (atki/cm)			F2	KL2	CFF	FYF	K2	K	T2	TS	OG
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x								
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x							
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x						
3	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x					
4	x	x		x	x	x		x	x	x				x				
5	x	x		x	x	x		x	x		x				x			
6	x	x		x	x	x		x	x			x		x				
7	x	x		x	x	x		x	x				x	x				
8		x		x	x			x	x	x					x			
9		x		x	x			x	x		x				x			
10		x		x	x			x	x			x			x			
11		x		x	x			x	x				x		x			
12	x	x		x	x	x		x	x							x		
13		x		x	x			x	x								x	
14	x	x		x	x	x		x	x									x
15		x		x	x			x	x									x

Şekil 4.27. Tüm kumaşlarda ham kumaş eninin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.3.3.1 Tüm Kumaşlarda Ham Kumaş Eni İçin Regresyon Modelleri

Pamuklu ve karışım kumaşların ham kumaş eninin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.27’de verildiği gibidir. Şekilde görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde atkı ipliği elastan numarası (atk_lyc_dte), çözgü sıklığı (coz_sik), tarak eni (tar_en), elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı (kum_spe_fle_rgi), örgü faktörlerinden F2, KL2, CFF, FYF ve kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak), T2 ve OG etkili olmuştur. Performansı biraz daha düşük olan modellerde zaman zaman atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met) ve atkı ipliği büküm miktarının da (atk_ipl_buk_mik) modellere katkısı olmuştur. Modellere etki edeceği düşünülen çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), atkı sıklığı (atk_sik)

ve kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2), TS ve OG2' nin modellemelere hiçbir etkisi olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelerle dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.41'de görüldüğü üzere regresyon 3PK8-1 model olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.41. Tüm kumaşlarda ham kumaş eni regresyon modelleri için $\%R^2$ belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
3PK0	33,72	3PK8	35,27
3PK0-1	34,29	3PK8-1	35,14*
3PK1	32,70	3PK9	34,06
3PK1-1	33,11	3PK9-1	33,99
3PK2	32,35	3PK10	33,84
3PK2-1	32,85	3PK10-1	33,76
3PK3	32,35	3PK11	33,84
3PK3-1	32,85	3PK11-1	33,76
3PK4	33,83	3PK12	28,71
3PK4-1	34,29	3PK12-1	28,63
3PK5	32,83	3PK13	22,31
3PK5-1	33,11	3PK13-1	22,88
3PK6	32,48	3PK14	28,98
3PK6-1	32,85	3PK14-1	29,07
3PK7	32,48	3PK15	24,94
3PK7-1	32,85	3PK15-1	24,36

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 3PK8 modelinde ham kumaş eni için Çizelge 4.42'deki tabloda görülen regresyon denklemi incelendiğinde; denklemde atkı ipliğinde kullanılan elastan numarasının negatif yönde etkisinin olduğu görülmektedir, çünkü aynı kalınlıkta iplik düşünüldüğünde, kullanılan elastanın kalınlaşması ipliğin kumaş üzerinde kendini toparlama eğilimini artırır, bu da aynı zamanda iplikte kıvrımın artması ve buna bağlı olarak ham enin düşmesi sonucunu doğurur. Atkı ipliği üretim metodu sayısal değerleri ipliğin nihai paket yoğunluğu baz alınarak (oe iplik 1, ring karde iplik 2, penye iplik 3 ve kompakt iplik 4) verildiği görülür. Paketleme yoğunluğunun artmasıyla iplik daha rijit bir yapıya kavuşacağı varsayımıyla kıvrımla arasında negatif bir ilişki olması beklenirken regresyon denkleminde bu ilişki pozitif yönlü çıkmıştır. Bükümün artması hem çift kat hem de tek kat ipliklerde ipliği daha rijit hale getirdiğinden, bükümün artması ile kıvrım azalacaktır. Pamuklu tek kat çözgü ile çift kat çözgülü karışım kumaşların veri tabanlarının birleşmesi ile oluşan yeni regresyon analizinde bu etki negatif yönde çıkmıştır. Kumaş yapı parametrelerinden K

(cov_fak) tek bir parametreye bağlı olmayıp atkı ve çözgü sıklığına ve atkı ve çözgü iplik numarasına bağlıdır. Sıklıkların artması veya iplik numaralarının kalınlaşması kumaş yapı faktörü K' yı arttırır. Bu da sıklığa ve kalınlığa bağlı olarak atkı kıvrımını düşürür. Kıvrımın düşmesi ham enin artmasına sebep olur. Bu K ile ham en ile arasında pozitif ilişki olduğunu gösterir zira regrasyonda bu ilişki negatif çıkmıştır. Örgü faktörü F2, atkı yönünde yüzme uzunluğu artışını ifade eder, dolayısıyla yüzme uzunluğunun yani F2' in artması atkı kıvrımını azaltır, böylece ham en artmış olur. Regresyon denklemi bu ilişkiyi doğrulamamaktadır. Ham en ile tarak eni arasındaki ilişki, üretimde verilecek tarak eni için istenen ham ene ulaşılabilir mi anlamında önemlidir. Atkının tarak eni boyunca aldığı yol kıvrımsız ilk uzunluğu, kıvrımlı hali ise ham eni verir. Dolayısıyla aynı atkıdan söz ediyorsak tarak eni ile ham en arasında pozitif ilişki vardır, tarak ne kadar geniş seçilirse ham en de o oranda geniş çıkar. Elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı kumaşın kompozisyonuna göre değişmektedir. Elyafın özgül eğilme rijitliği arttığında buna bağlı olarak ipliğin eğilme rijitliği de artar ve kıvrım alması zorlaşarak atkı kıvrımı düşer. Regresyon denklemi de bunu doğrulamaktadır.

Çizelge 4.42. Minitab ham kumaş eni 3PK8 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
ham_en = 92,5 - 0,1609 atk_lyc_dte + 0,898 atk_ip1_ure_met - 0,01052 atk_ip1_buk_mik - 0,687 cov_fak - 3,161 F2 + 0,4724 tar_en + 40,5 kum_spe_fle_rgi						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	92,5	12,8	7,24	0,000		
atk_lyc_dte	-0,1609	0,0188	-8,54	0,000	3,67	
atk_ip1_ure_met	0,898	0,926	0,97	0,333	22,35	
atk_ip1_buk_mik	-0,01052	0,00318	-3,31	0,001	2,67	
cov_fak	-0,687	0,183	-3,75	0,000	1,88	
F2	-3,161	0,697	-4,54	0,000	1,54	
tar_en	0,4724	0,0432	10,94	0,000	4,04	
kum_spe_fle_rgi	40,5	15,3	2,64	0,009	25,56	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
6,64929	36,91%	35,79%	34,32%	6,66786	35,27%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	7	10192,7	1456,10	32,93	0,000	
atk_lyc_dte	1	3227,0	3227,00	72,99	0,000	
atk_ip1_ure_met	1	41,6	41,57	0,94	0,333	
atk_ip1_buk_mik	1	485,8	485,79	10,99	0,001	
cov_fak	1	622,6	622,64	14,08	0,000	
F2	1	910,0	910,02	20,58	0,000	
tar_en	1	5287,6	5287,57	119,59	0,000	
kum_spe_fle_rgi	1	309,1	309,13	6,99	0,009	
Error	394	17419,9	44,21			
Lack-of-Fit	385	17419,9	45,25	*	*	
Pure Error	9	0,0	0,00			
Total	401	27612,6				

3PK8 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$$T_{\text{tablo}} (0,05; 394) = 1,960$$

$$\Rightarrow T_{\text{değ}} > 1,960$$

atk_lyc_dte, atk_ip1_buk_mik, tar_en, F2, cov_fak, kum_spe_fle_rgi
atk_ip1_ure_met

→ anlamlı
→ anlamsız

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

atk_lyc_dte, coz_sik, F2, tar_en
atk_ip1_buk_mik, coz_tex, cov_fak_2

→ anlamlı
→ anlamsız

$$\Rightarrow VIF < 10$$

atk_ip1_ure_met, kum_spe_fle_rgi

→ otokorelasyon yok

F- model anlamlılık testi

$$F_{\text{tablo}} = F (0,05, 7, 394) = 2,01$$

$$\Rightarrow F_{\text{hesaplanan}} = 32,93 \geq 2,01$$

→ H_1 hipotezi anlamlı

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

→ regresyon modeli anlamlı bulunur.

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 3PK8-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.43. Minitab ham kumaş eni 3PK8-1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
ham_en = 100,41 - 0,1584 atk_lyc_dte - 0,00819 atk_ip1_buk_mik - 0,694 cov_fak - 3,078 F2 + 0,4674 tar_en + 26,80 kum_spe_fle_rgi						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	100,41	9,80	10,25	0,000		
atk_lyc_dte	-0,1584	0,0187	-8,49	0,000	3,60	
atk_ip1_buk_mik	-0,00819	0,00207	-3,96	0,000	1,13	
cov_fak	-0,694	0,183	-3,79	0,000	1,88	
F2	-3,078	0,691	-4,45	0,000	1,52	
tar_en	0,4674	0,0429	10,90	0,000	3,98	
kum_spe_fle_rgi	26,80	5,84	4,59	0,000	3,71	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
6,64879	36,76%	35,80%	34,31%	6,67480	35,14%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	6	10151,1	1691,85	38,27	0,000	
atk_lyc_dte	1	3187,6	3187,63	72,11	0,000	
atk_ip1_buk_mik	1	692,9	692,92	15,67	0,000	
cov_fak	1	634,6	634,60	14,36	0,000	
F2	1	876,1	876,05	19,82	0,000	
tar_en	1	5250,6	5250,62	118,78	0,000	
kum_spe_fle_rgi	1	931,5	931,48	21,07	0,000	
Error	395	17461,5	44,21			
Lack-of-Fit	386	17461,5	45,24	*	*	
Pure Error	9	0,0	0,00			
Total	401	27612,6				

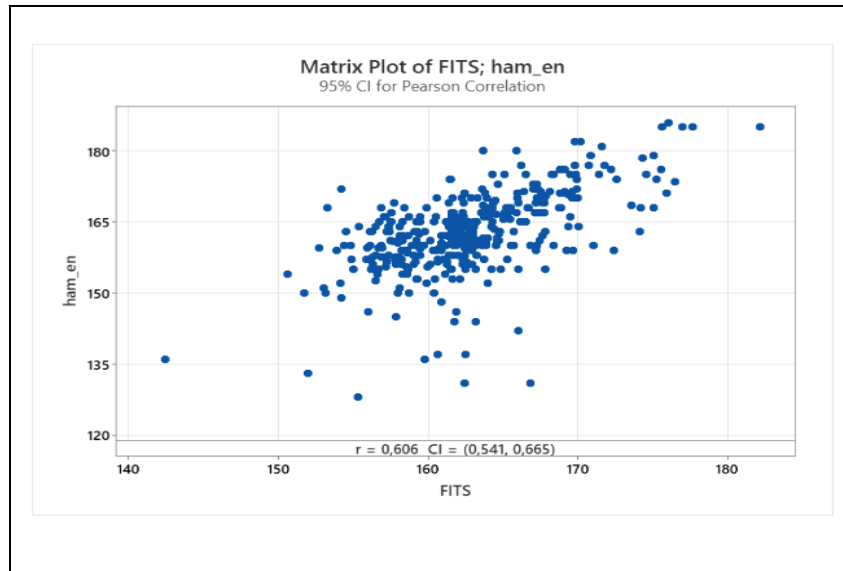
Çizelge 4.43'de regresyon denkleminde görüldüğü gibi ham kumaş enine atkı ipliği elastan numarası (atk_lyc_dte), atkı ipliği büküm miktarı (atk_ip1_buk_mik), tarak eni (tar_en), kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak), örgü faktörlerinden F2 ve elyaf özgül eğilme rijitliği

katsayısı (kum_spe_fle_rgi) etki etmiştir. Regresyon denkleminde tarak eni (tar_en) ile elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı (kum_spe_fle_rgi) nün ham kumaş enine etkisi pozitif yönde, atkı ipliği elastan numarası (atk_lyc_dte), atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik), kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak) ve örgü faktörü F2' nin modele katkısı ise negatif yönlüdür. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı (kum_spe_fle_rgi) nün modele katkısının en fazla olduğu görülmektedir. Modelde elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı (kum_spe_fle_rgi) nün 1 birimlik artışı, kumaş ham enine 27,81 oranında artış sağlamaktadır.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %35,14 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri % 59,27 ile ortalama bir değer olup bu modelin ham kumaş eninin tahmin edilmesinde uygun değildir.

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value <0,01 değeri çıkmış ve bu değer $P > 0,05$ olduğu için model artıkların normal dağıldığı varsayımını da karşılamamıştır.

Modelden çıkan ham kumaş eni değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek ham kumaş eni arasında korelasyon grafiği Şekil 4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.28. 3PK8-1 tüm kumaşlarda ham en regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon test

Şekil 4.28'deki korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,606$ ile ortalama bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı uygun değildir.

4.3.3.2 Tüm Kumaşlarda Ham Kumaş Eni İçin Yapay Zekâ Modelleri

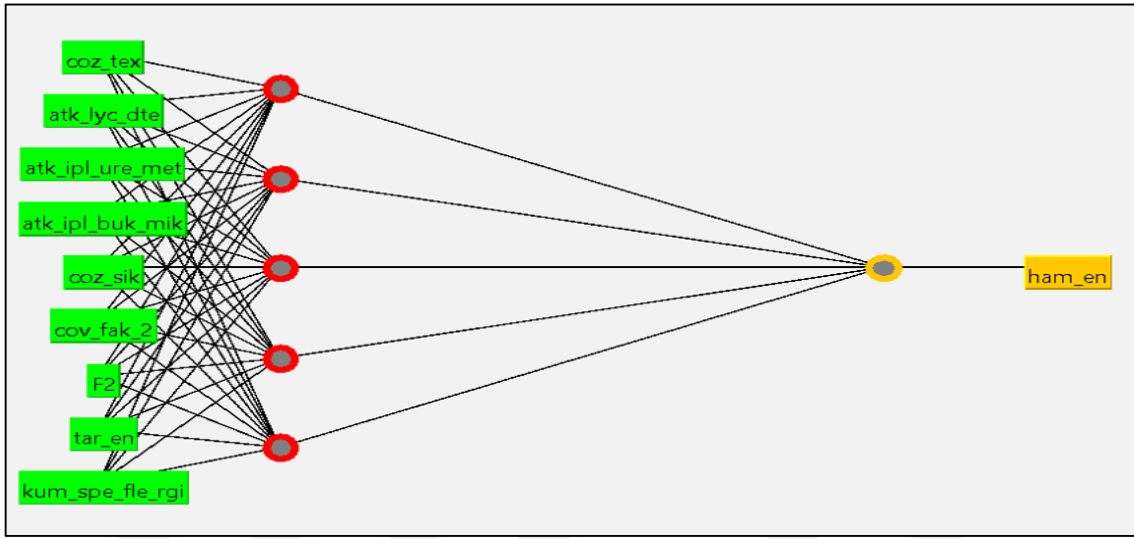
Tüm kumaşlarda ham kumaş eni için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznitelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.44'te verildiği gibidir.

Çizelge 4.44. Tüm kumaşlarda ham kumaş eni tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
3PK0	63,49	71,19	63,19
3PK0-1	16,46	50,26	44,29
3PK1	61,98	70,10	61,68
3PK1-1	25,88	53,14	43,60
3PK2	61,54	68,18	59,26
3PK2-1	22,90	37,30	36,77
3PK3	64,87	67,23	59,50
3PK3-1	22,90	37,41	32,27
3PK4	65,04*	70,24	63,29
3PK4-1	16,46	50,26	44,29
3PK5	64,77	68,68	61,17
3PK5-1	25,88	53,14	43,60
3PK6	64,35	67,64	59,77
3PK6-1	22,90	37,30	36,77
3PK7	61,82	67,16	59,95
3PK7-1	22,90	37,41	32,27
3PK8	61,35	71,74*	60,11
3PK8-1	16,46	50,26	44,29
3PK9	63,23	70,74	57,85
3PK9-1	25,88	53,14	43,60
3PK10	58,03	68,32	54,97
3PK10-1	24,67	32,92	34,30
3PK11	59,65	68,34	56,64
3PK11-1	24,62	33,01	28,48
3PK12	59,97	64,47	56,84
3PK12-1	20,57	44,99	37,23
3PK13	40,58	55,14	55,14
3PK13-1	7,71	29,37	29,89
3PK14	64,34	67,25	63,90*
3PK14-1	22,35	30,20	30,06
3PK15	52,70	56,72	52,18
3PK15-1	10,59	29,20	30,31

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 3PK4 modelidir. 3PK4 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.29'da

görüldüğü gibidir. Burada giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı ipliği elastan numarası (atk_lyc_dte), atkı ipliği üretim metodu (atk_ipi_ure_met), atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipi_buk_mik), çözgü sıklığı (coz_sik), kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2), örgü faktörlerinden F2, tarak eni (tar_en) ve elyaf özgül eğilme rijitliği katsayısı (kum_spe_fle_rgi), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan ham kumaş eni (ham_en) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıkış nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (9 + 1) / 2 = 5$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.29. 3PK4 ham en tahmini için yapay sinir hücresi

Yapay sinir ağları için 3PK4, rastgele orman algoritmaları için 3PK8 ve Mars tekniği için 3PK14 özet tablosu Çizelge 4.45’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.45. Tüm kumaşlarda ham kumaş eni için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,6504	0,7174	0,639
Ortalama mutlak hata (MAE)	4,4679	3,7428	4,2646
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	6,6357	5,8076	6,379
Relatif mutlak hata (RAE)	%73,5315	% 61,5986	%70,1869
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%79,8273	% 69,8653	%76,7395
Toplam örnek sayısı (TNI)	402	402	402

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi model 0,71 R değeriyle rastgele orman algoritmaları olmuştur. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında en düşük değer rastgele orman algoritmalarında çıkmıştır.

4.4 Mamül Kumaş Eni İçin Tahmin Modelleri

Mamul en tahminlemesi, karışım kumaşlara ait veri olmadığı için yalnızca pamuklu kumaşlar için yapılmıştır.

4.4.1 Pamuklu Kumaşlarda Mamül Kumaş Eni İçin Tahmin Modellerinin Kurulması

Pamuklu kumaşların ham kumaş enini tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak mamül kumaş eni (mam_en) alınmıştır.

MODEL 4-P																	
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Mamül Kumaş Eni (cm)																	
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri												
	Çözümlü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Atkı İpliği Üretim Metodu	Atkı İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözümlü Sıklık (tel/cm)	Atkı Sıklık (atki/cm)	Ham En (cm)	F2	KL2	CFF	FYF	K2	K	T2	TS	OG2	OG
0	x	x	x	x	x	x	x	x									
1	x	x	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x	x	x				x						
4	x		x	x	x		x	x				x					
5	x		x	x	x				x				x				
6	x		x	x	x		x			x		x					
7	x		x	x	x		x				x	x					
8			x	x			x	x					x				
9			x	x			x		x				x				
10			x	x			x			x			x				
11			x	x			x				x		x				
12	x		x	x	x		x							x			
13			x	x			x								x		
14	x		x	x	x		x									x	
15			x	x			x										x

Şekil 4.30. Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş eninin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

Bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.30'dan faydalanılmıştır.

4.4.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Mamül Kumaş Eni İçin Regresyon Modelleri

Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş eninin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.30'da verildiği gibidir. Şekilde görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), çözgü sıklığı (coz_sik), atkı sıklığı (atk_sik), ham en (ham_en), örgü faktörleri F2, KL2, CFF, FYF

ile kumaş yapı faktörleri K2, K, TS, OG1, OG yaygın olarak kullanılmıştır. Tahmin gücü en yüksek olan 8. Modele atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), ham kumaş eni (ham_en), örgü faktörlerinden F2 ve kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak) etki etmiştir. Modellere etkisinin olacağı düşünülen atkı iplik numarası (atk_tex) ve kumaş yapı faktörlerinden T2' nin modellere hiçbir katkısı olmamıştır. Atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik), performansı düşük modellerde zaman zaman modellere dâhil olmuştur.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelerle dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.46'da görüldüğü üzere regresyon 4P8-1 model olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.46. Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş eni regresyon modelleri için $\%R^2$ belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
4P0	77,87	4P8	81,02
4P0-1	78,09	4P8-1	81,26*
4P1	76,74	4P9	80,26
4P1-1	77,17	4P9-1	80,57
4P2	76,53	4P10	80,17
4P2-1	76,99	4P10-1	80,45
4P3	76,53	4P11	80,17
4P3-1	76,99	4P11-1	80,45
4P4	77,44	4P12	72,87
4P4-1	77,44	4P12-1	72,94
4P5	76,28	4P13	74,94
4P5-1	76,28	4P13-1	75,22
4P6	76,06	4P14	77,44
4P6-1	76,06	4P14-1	78,06
4P7	76,06	4P15	75,93
4P7-1	76,06	4P15-1	76,26

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 4P8 modeli için Çizelge 4.47'deki özet tabloda mamül kumaş eni için regresyon denklemi incelendiğinde; atkı ipliği üretim metodu sayısal değerleri ipliğin nihai paket yoğunluğu baz alınarak (oe iplik 1, ring karde iplik 2, penye iplik 3 ve kompakt iplik 4) verildiği görülür. Paketleme yoğunluğunun artmasıyla iplik daha rijit bir yapıya kavuşacağı varsayımıyla kıvrımla arasında negatif bir ilişkisi olması beklenirken, denklemde bu ilişki pozitif çıkmıştır. Regresyon denkleminde atkı ipliğinin büküm miktarının etkisi pozitif çıkmış olup, bu durum iplikte artan büküm miktarının iplik rijitliğini artırmasına bağlı olarak iplik kıvrım oranında bir azalma beklentisinden kaynaklanmaktadır. Atkı kıvrımı az olan kumaş daha az kendini toplar, ham eni ve dolayısıyla mamül eni daha geniş çıkar.

Kumaş yapı parametrelerinden K (cov_fak) tek bir parametreye bağlı olmayıp kumaşın atkı ve çözgü yönünde sıklığı ve iplik numaralarına bağlıdır. Hem çözgü hem atkı yönünde sıklığın ve iplik kalınlığının artması kumaş yapı faktörü K' yı arttırmaktadır. Tüm bu parametreler ile mamül en arasında doğrusal bir ilişkinin öngörülmesi oldukça zordur. Ancak K' nin artması kumaşı ağırlaştırır ve sıkılaştırır, böyle bir kumaşın mamül işlemlerde eni de görece daha az toplar, yani K ile mamül en arasında regresyon denkleminde görüldüğü gibi pozitif ilişki var diyebiliriz. Regresyon denkleminde örgü faktörlerinden F2' nin mamül kumaş enine etkisinin negatif yönde olduğu görülmektedir. Örgü faktörü F2,' nin artması atkı kıvrımını azaltır dolayısıyla ham kumaş enini artıran bir etki yapar. F2' nin artması ham kumaş eni ile bağlantılı olan mamül kumaş eni de arttırır. Regresyon denklemi bu negatif ilişkiyi doğrulamamaktadır. Mamül kumaş eni, ham en ile doğrudan ilgilidir. Ham kumaş eninden mamül işlemler sonucu bitmiş kumaş eninin öngörülmesi burada regresyon denklemi ile gerçekleşir. Kumaşta ham enin istenenden fazla veya eksik çıkması, mamül eninde bununla orantılı olarak fazla veya eksik ende olduğunu gösterir. Aralarındaki ilişki pozitif yöndedir ve regresyon denklemi de bunu doğrular.

4P8 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$\Rightarrow$	$P_{deg} < 0,05$	
atk_ipl_ure_met, cov_fak, F2, ham_en		$\rightarrow$ anlamlı
atk_ipl_buk_mik		$\rightarrow$ anlamsız

$\Rightarrow$	$VIF < 10$	
tüm değişkenlerde		$\rightarrow$ otokorelasyon yok

F- model anlamlılık testi

$$F_{tablo} = F(0,05, 5, 164) = 2,21$$

$\Rightarrow$	$F_{hesaplanan} = 155,84 \geq 2,01$	$\rightarrow$	H_1 hipotezi anlamlı
$\Rightarrow$	$P_{deg} < 0,05$	$\rightarrow$	regresyon modeli anlamlı bulunur.

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 4P8-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.48'de regresyon denkleminde görüldüğü gibi mamül kumaş enine; ham en (ham_en), kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak) pozitif yönde, atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), örgü faktörlerinden F2 negatif yönde etki etmiştir. Modelin regresyon

katsayılarına baktığımızda, örgü faktörlerinden F2 'nin 1 birimlik artışı, ham kumaş enini 3,111 oranında azalmasına sebep olduğu görülmektedir.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri % 81,26 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri % 90,14 ile iyi bir değer olup bu modelin mamül kumaş enini tahmin edilmesinde kullanımı uygundur.

Çizelge 4.47. Minitab mamül kumaş eni 4P8 regresyon modeli özet tablosu

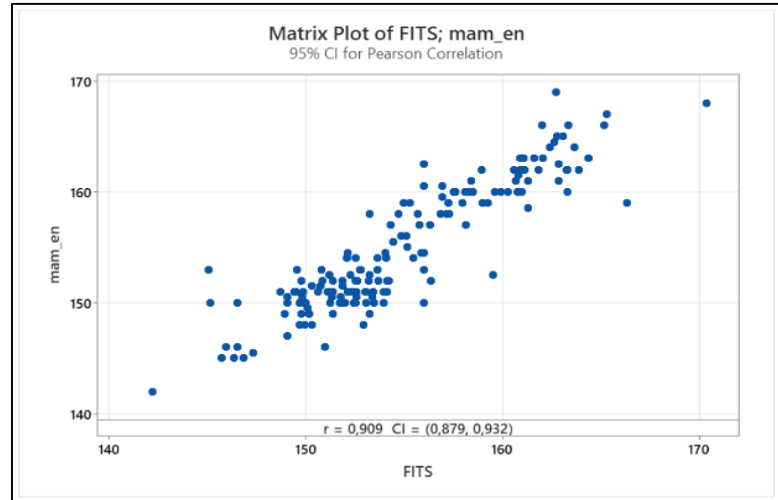
Regression Equation						
mam_en = 2,84 - 1,309 atk_ip1_ure_met + 0,00002 atk_ip1_buk_mik + 1,307 cov_fak - 3,110 F2 + 0,7711 ham_en						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	2,84	6,86	0,41	0,679		
atk_ip1_ure_met	-1,309	0,359	-3,64	0,000	2,83	
atk_ip1_buk_mik	0,00002	0,00132	0,01	0,990	3,13	
cov_fak	1,307	0,118	11,06	0,000	1,96	
F2	-3,110	0,497	-6,26	0,000	1,67	
ham_en	0,7711	0,0326	23,69	0,000	1,13	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
2,38334	82,61%	82,08%	80,82%	2,44602	81,02%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	5	4426,25	885,25	155,84	0,000	
atk_ip1_ure_met	1	75,44	75,44	13,28	0,000	
atk_ip1_buk_mik	1	0,00	0,00	0,00	0,990	
cov_fak	1	694,56	694,56	122,28	0,000	
F2	1	222,35	222,35	39,14	0,000	
ham_en	1	3187,38	3187,38	561,13	0,000	
Error	164	931,57	5,68			
Lack-of-Fit	157	929,57	5,92	20,72	0,000	
Pure Error	7	2,00	0,29			
Total	169	5357,83				

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value> 0,150 değeri çıkmış ve bu değer P> 0,05 şartını sağladığı için model artıkların normal dağıldığı varsayımını karşılamıştır.

Çizelge 4.48. Minitab mamül kumaş eni 4P8-1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation					
mam_en = 2,86 - 1,306 atk_ip1_ure_met + 1,307 cov_fak - 3,111 F2 + 0,7710 ham_en					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	2,86	6,56	0,44	0,663	
atk_ip1_ure_met	-1,306	0,226	-5,78	0,000	1,13
cov_fak	1,307	0,115	11,41	0,000	1,85
F2	-3,111	0,494	-6,30	0,000	1,66
ham_en	0,7710	0,0322	23,94	0,000	1,11
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
2,37611	82,61%	82,19%	81,05%	2,43003	81,26%
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	4426,25	1106,56	195,99	0,000
atk_ip1_ure_met	1	188,73	188,73	33,43	0,000
cov_fak	1	734,87	734,87	130,16	0,000
F2	1	223,77	223,77	39,63	0,000
ham_en	1	3235,19	3235,19	573,02	0,000
Error	165	931,57	5,65		
Lack-of-Fit	158	929,57	5,88	20,59	0,000
Pure Error	7	2,00	0,29		
Total	169	5357,83			

Modelden çıkan mamül kumaş eni değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek mamül kumaş eni arasında korelasyon grafiği Şekil 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.31. 4P8-1 pamuklu kumaşlarda mamül en regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

Şekil 4.31’deki korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,909$ ile çok yüksek bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı için uygundur.

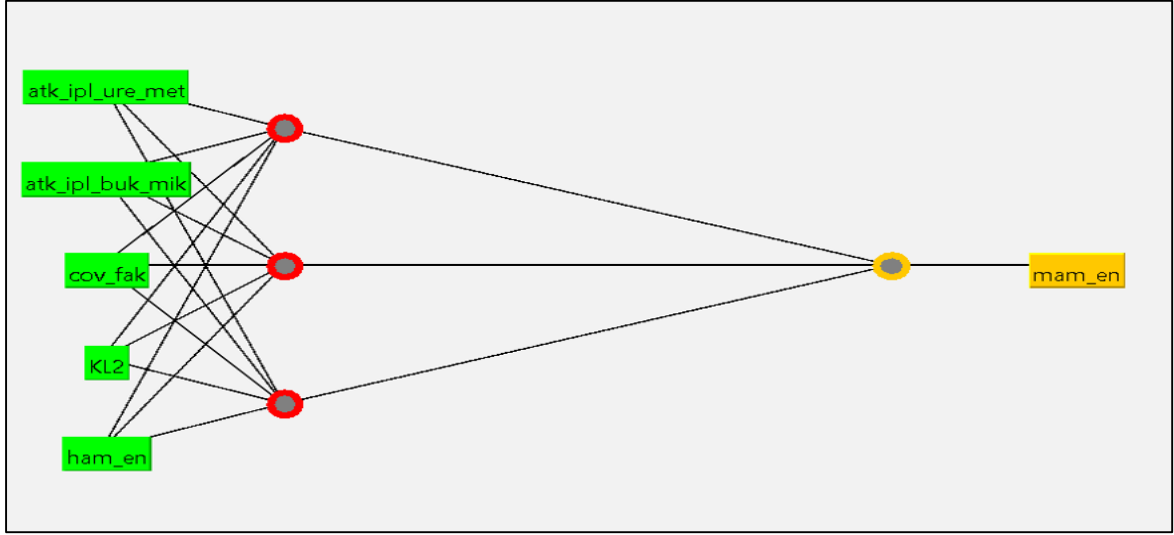
4.4.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Mamül Kumaş Eni İçin Yapay Zekâ Modelleri

Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş eni için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznitelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.49’da verildiği gibidir.

Çizelge 4.49. Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş eni tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
4P0	85,48	83,28	90,41
4P0-1	72,93	77,17	81,41
4P1	84,36	83,26	90,13
4P1-1	72,93	77,17	81,41
4P2	84,15	82,86	90,3
4P2-1	72,93	77,17	81,41
4P3	84,42	83,36	89,74
4P3-1	72,93	77,17	81,41
4P4	84,67	82,49	89,96
4P4-1	72,93	77,17	81,41
4P5	81,94	82,39	90,08
4P5-1	72,93	77,17	81,41
4P6	82,27	82,61	90,59*
4P6-1	72,93	77,17	81,41
4P7	83,63	82,52	89,74
4P7-1	72,93	77,17	81,41
4P8	86,87	85,76	89,15
4P8-1	72,93	77,17	81,41
4P9	87,42*	85,86	89,20
4P9-1	72,93	77,17	81,41
4P10	87,31	85,96*	89,22
4P10-1	72,93	77,17	81,41
4P11	87,39	85,61	88,89
4P11-1	72,93	77,17	81,41
4P12	85,83	82,21	89,06
4P12-1	72,42	76,76	81,29
4P13	76,96	82,75	83,17
4P13-1	76,36	83,10	84,04
4P14	83,16	84,98	88,23
4P14-1	75,30	82,01	83,73
4P15	79,38	83,96	85,12
4P15-1	73,59	79,47	82,33

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 4P9 modelidir.



Şekil 4.32. 4P9 mamül en tahmini için yapay sinir hücresi

4P9 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.32’de görüldüğü gibidir. Burada, giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; burada atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik), kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak), örgü faktörlerinden KL2 ve ham kumaş eni (ham_en), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan mamül kumaş eni (mam_en) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıkış nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (5+1) / 2 = 3$ olarak kabul edilmiştir.

Yapay sinir ağları için 4P9, rastgele orman algoritmaları için 4P10 ve Mars tekniği için 4P6 özet tablosu Çizelge 4.50’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.50. Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş eni için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,8742	0,8596	0,9059
Ortalama mutlak hata (MAE)	2,1222	2,0712	1,8418
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	2,7519	2,8755	2,3853
Relatif mutlak hata (RAE)	%42,8829	% 41,8525	%37,2176
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%48,7652	% 50,9564	%42,2692
Toplam örnek sayısı (TNI)	170	170	170

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi model olarak 0,90 R değeriyle mars tekniği öne çıkar. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında en düşük değer Mars tekniğinde çıkmıştır.

4.5 Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Tahmin Modelleri

4.5.1 Pamuklu Kumaşlarda Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Tahmin Modellerinin Kurulması

Pamuklu kumaşların ham kumaş birim alan ağırlığını tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi), bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak aşağıdaki Şekil 4.33’den faydalanılmıştır.

MODEL 5-P																	
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı (gr/m-kare)																	
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																
	Kumaş İplik Özellikleri		Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri														
	Çözümlü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Çözümlü Sıklık (tel/cm)	Atkı Sıklık (atkı/cm)	Ham En (cm)	Haşıl Oranı (%)	Çözümlü Kıvrım (%)	F1	KL1	CFF	FYF	K1	K	T1	TS	OG1	OG
0	x	x	x	x	x	x	x	x									
1	x	x	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x	x	x				x						
4		x		x	x	x	x	x				x					
5		x		x	x	x	x		x			x					
6		x		x	x	x	x			x		x					
7		x		x	x	x	x				x	x					
8					x	x	x	x					x				
9					x	x	x		x				x				
10					x	x	x			x			x				
11					x	x	x				x		x				
12		x		x	x	x	x							x			
13					x	x	x								x		
14		x		x	x	x	x									x	
15					x	x	x										x

Şekil 4.33. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.5.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Regresyon Modelleri

Pamuklu kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler aşağıdaki Şekil 4.33’de verildiği gibidir. Şekilde görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), çözgü sıklığı (coz_sik), atkı sıklığı (atk_sik), örgü faktörlerinden KL1, CFF, FYF ve kumaş yapı faktörlerinden K1, K, T1, TS OG1 ve OG yaygın olarak kullanılmıştır. Tahmin gücü en

yüksek olan 4, 5, 6 ve 7. modellere atkı iplik numarası (atk_tex) ve kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_1) etki etmiştir. Atkı sıklığı (atk_sik), ham kumaş eni (ham_en), haşıl oranı (has_ora) , çözgü kıvrım (coz_kiv) ve örgü faktörlerinden F1, performansı daha düşük modellerde zaman zaman modellere dâhil olmuştur.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelerle dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.51’de görüldüğü üzere regresyon 5P4-1, 5P5-1, 5P6-1, 5P7-1 modelleri olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.51. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı regresyon modelleri için % R^2 belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
5P0	89,49	5P8	56,32
5P0-1	89,45	5P8-1	56,16
5P1	89,94	5P9	56,76
5P1-1	89,89	5P9-1	56,95
5P2	90,10	5P10	57,25
5P2-1	90,01	5P10-1	57,35
5P3	90,10	5P11	57,25
5P3-1	90,01	5P11-1	57,35
5P4	91,60	5P12	83,61
5P4-1	92,01*	5P12-1	83,95
5P5	91,64	5P13	28,91
5P5-1	92,01*	5P13-1	29,53
5P6	91,58	5P14	89,73
5P6-1	92,01*	5P14-1	89,97
5P7	91,58	5P15	35,41
5P7-1	92,01*	5P15-1	36,91

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 5P5 modeli için Çizelge 4.52’deki özet tabloda ham kumaş birim alan ağırlığı için regresyon denklemi incelendiğinde; atkı ipliği numarası arttığında yani atkı kalınlaştığında ham kumaş ağırlığı artar, aralarındaki bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de açıkça görülmektedir. Kumaşta atkı sıklığının artması normal şartlarda ham kumaş ağırlığını arttırmasına rağmen, regresyon denkleminde atkı sıklığı ile ham kumaş ağırlığı arasında ters orantı yani negatif ilişki çıkmıştır. Çözgü yönünde sıklık ve çözgü iplik kalınlığına bağlı olan K1 (cov_fak_1) arttığında kumaş ağırlığı da artar ki, bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de görülmektedir. Örgü faktörlerinden KL1, birim raporda çözgü ipliğinin atkı ipliğinden geçiş sayısı ile doğru orantılı, çözgü sayısı ve atkı (tekrar sayısı) yani birim rapor sayısının büyüklüğü ile ters orantılıdır. Çözgü ve atkı ipliği arasında bağlantı miktarı arttığında KL’ de artar. Örgü değişkeninin kumaş ağırlığına etkisi, kumaş kıvrımını da

beraberinde etkilediği için dolaylıdır. Çözgü kıvrımı ham kumaş ağırlığında kullanılan gerçek çözgü ipliğinin miktarını ortaya koyduğu için önemlidir. Çözgü kıvrımı arttığında ham kumaş ağırlığı da artar. Aralarındaki bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de görülmektedir. Ham kumaş gramajı, atkı ve çözgü yönünde kumaş için kullanılan toplam iplik miktarı ile doğru orantılı ham kumaş eni ile ise ters orantılıdır. Dolayısıyla regresyonda ham kumaş birim alan ağırlığı ile ham kumaş eni arasındaki negatif ilişki de bunu doğrular niteliktedir. Pamuklu kumaş çözgülerine haşılama işlemi uygulandığı için, ham kumaş birim alan ağırlığı aslında haşıllı kumaş ağırlığıdır. Burada çözgü ipliklerine uygulanan haşıl kimyasalı ile çözgü ipliği üzerine aldığı % haşıl oranı kadar ağırlaşır. Dolayısıyla haşıl oranı ile ham kumaş ağırlığı arasında pozitif bir ilişki vardır, ancak regresyon denklemi bu durumu doğrulamamaktadır.

Çizelge 4.52. Minitab ham kumaş birim alan ağırlığı 5P5 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
ham_kum_bir_ala_agi = 9,4 + 2,508 atk_tex - 0,231 atk_sik + 6,842 cov_fak_1 - 11,3 KL1 + 1,204 coz_kiv - 0,183 ham_en - 0,61 has_ora						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	9,4	55,0	0,17	0,864		
atk_tex	2,508	0,124	20,17	0,000	3,07	
atk_sik	-0,231	0,332	-0,69	0,489	3,04	
cov_fak_1	6,842	0,603	11,35	0,000	1,99	
KL1	-11,3	11,3	-1,00	0,317	2,41	
coz_kiv	1,204	0,785	1,53	0,127	1,40	
ham_en	-0,183	0,274	-0,67	0,505	1,13	
has_ora	-0,61	1,42	-0,43	0,667	1,78	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
20,0618	92,48%	92,15%	91,62%	20,6484	91,64%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	7	801490	114499	284,48	0,000	
atk_tex	1	163768	163768	406,90	0,000	
atk_sik	1	194	194	0,48	0,489	
cov_fak_1	1	51805	51805	128,72	0,000	
KL1	1	406	406	1,01	0,317	
coz_kiv	1	946	946	2,35	0,127	
ham_en	1	180	180	0,45	0,505	
has_ora	1	75	75	0,19	0,667	
Error	162	65201	402			
Lack-of-Fit	155	65201	421	*	*	
Pure Error	7	0	0			
Total	169	866691				

5P5 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$$T_{\text{tablo}} (0,05; 162) = 1,976$$

$$\Rightarrow T_{\text{değ}} > 1,976$$

atk_tex, cov_fak_1

→ anlamlı

atk_sik, KL1, coz_kiv, ham_en, has_ora

→ anlamsız

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

atk_tex, cov_fak_1

→ anlamlı

atk_sik, KL1, coz_kiv, ham_en, has_ora

→ anlamsız

$$\Rightarrow VIF < 10$$

tüm değişkenlerde

→ otokorelasyon yok

F- model anlamlılık testi

$$F_{\text{tablo}} = F (0,05, 7, 162) = 2,01$$

$$\Rightarrow F_{\text{hesaplanan}} = 284,48 \geq 2,01$$

→ H_1 hipotezi anlamlı

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

→ regresyon modeli anlamlı bulunur.

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 5P5-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.53. Minitab ham kumaş birim alan ağırlığı 5P5-1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation

$$\text{ham_kum_bir_ala_agi} = -43,1 + 2,6100 \text{ atk_tex} + 7,314 \text{ cov_fak_1}$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-43,1	10,2	-4,21	0,000	
atk_tex	2,6100	0,0733	35,62	0,000	1,08
cov_fak_1	7,314	0,441	16,57	0,000	1,08

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
19,9359	92,34%	92,25%	92,00%	20,1875	92,01%

Analysis of Variance

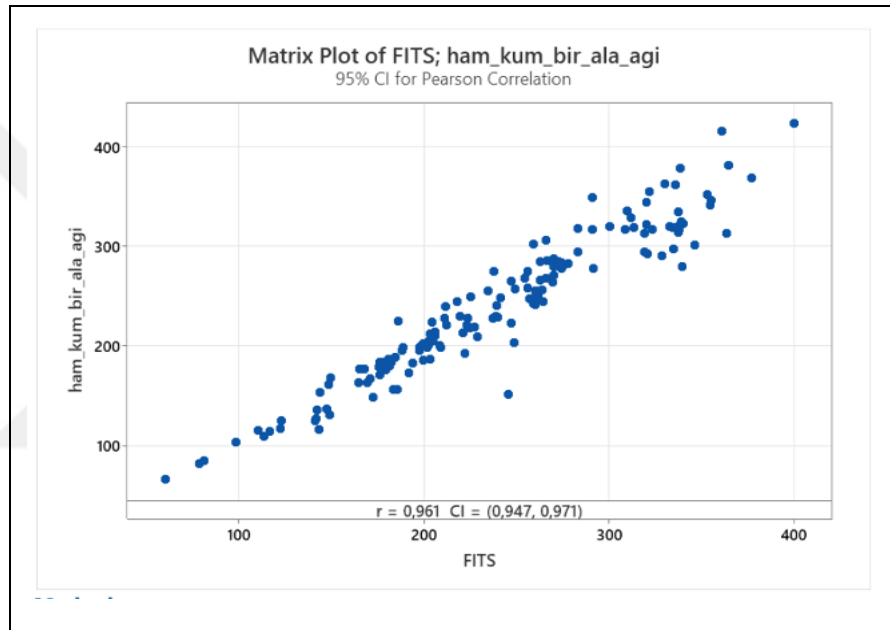
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	800319	400159	1006,84	0,000
atk_tex	1	504130	504130	1268,44	0,000
cov_fak_1	1	109158	109158	274,65	0,000
Error	167	66373	397		
Lack-of-Fit	160	66373	415	*	*
Pure Error	7	0	0		
Total	169	866691			

Çizelge 4.53'te regresyon denkleminde görüldüğü gibi ham kumaş birim alan ağırlığına; atkı iplik numarası (atk_tex) ve kumaş yapısı faktörlerinden K1 (cov_fak_1) pozitif yönde etki

etmiştir. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda, kumaş yapı faktörlerinden K1 (cov_fak_1) 1 birimlik artışı, ham kumaş enini 7,314 oranında artmasına sebep olduğu görülmektedir.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri % 92,01 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri % 95,92 ile çok iyi bir değer olup bu modelin ham kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesinde kullanımı uygundur.

Modelden çıkan ham kumaş birim alan ağırlığı değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek ham kumaş birim alan ağırlığı arasında korelasyon grafiği Şekil 4.34'te verilmiştir.



Şekil 4.34. 5P4-1 pamuklu kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

Şekil 4.23'teki korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,961$ ile çok iyi bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı için uygundur.

4.5.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Yapay Zekâ Modelleri

Pamuklu kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öz nitelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.54'te verildiği gibidir.

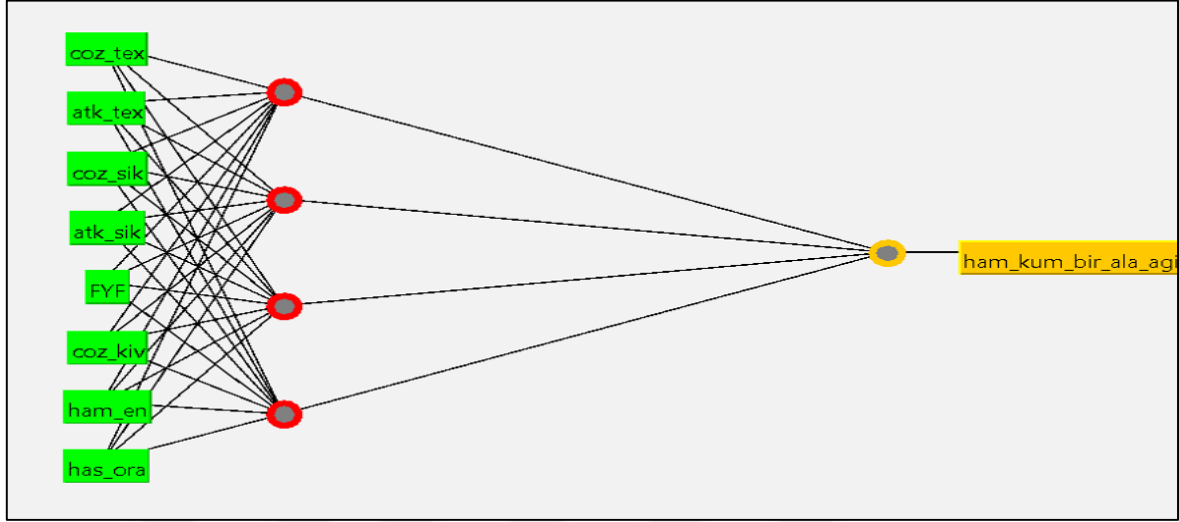
Çizelge 4.54. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
5P0	98,58	95,54	98,18
5P0-1	89,67	91,61	92,69
5P1	98,61	95,65	98,19
5P1-1	90,70	91,68	93,05
5P2	98,47	95,82*	98,23*
5P2-1	91,10	92,10	93,39
5P3	98,68*	95,67	98,23*
5P3-1	89,40	91,97	93,42
5P4	93,11	94,65	95,83
5P4-1	93,85	94,66	95,65
5P5	93,19	95,65	95,83
5P5-1	93,89	94,58	95,71
5P6	93,76	94,62	95,83
5P6-1	93,63	94,97	95,65
5P7	93,33	94,62	95,83
5P7-1	93,62	94,77	95,65
5P8	68,25	81,35	73,43
5P8-1	69,59	76,17	72,99
5P9	65,77	80,21	72,42
5P9-1	67,34	78,24	72,62
5P10	66,89	80,75	72,29
5P10-1	67,91	77,03	73,38
5P11	66,14	80,06	72,15
5P11-1	66,93	77,02	72,99
5P12	89,64	91,95	94,42
5P12-1	86,82	90,31	91,62
5P13	49,47	68,28	57,28
5P13-1	51,00	63,29	61,22
5P14	92,34	94,15	94,33
5P14-1	93,70	94,14	94,51
5P15	50,40	65,54	55,25
5P15-1	54,58	60,57	59,32

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 5P3 modelidir.

5P3 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.35'te görüldüğü gibidir. Burada giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), çözgü sıklığı (coz_sik), atkı sıklığı (atk_sik), örgü faktörlerinden FYF, çözgü kıvrımı (coz_kiv), ham en (ham_en) ve haşıl oranı (has_ora), çıkış katmanı olarak tahmin

parametresi olan ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_al_ağı) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıktı nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (8+1) / 2 = 4.5$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.35. 5P3 ham kumaş birim alan ağırlığı tahmini için yapay sinir hücresi

Yapay sinir ağırları için 5P3, rastgele orman algoritmaları için 5P2 ve Mars tekniği için 5P2 özet tablosu Çizelge 4.55’te verildiği gibidir.

Çizelge 4.55. Pamuklu kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,9868	0,9582	0,9823
Ortalama mutlak hata (MAE)	7,9636	14,2649	9,1909
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	11,8406	20,8082	13,387
Relatif mutlak hata (RAE)	%13,3527	% 23,9182	%15,4105
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%16,4997	% 28,996	%18,6545
Toplam örnek sayısı (TNI)	170	170	170

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zeka modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,98 R değeri ile yapay sinir ağı olduğu görülmektedir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında en düşük değer yapay sinir ağılarında çıkmıştır.

4.5.2 Karışım Kumaşlarda Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı Tahmin Modellerinin Kurulması

Karışım kumaşların ham kumaş birim alan ağırlığını tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak ham kumaş birim alan ağırlığı alınırken, bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak aşağıdaki Şekil 4.36'dan faydalanılmıştır.

MODEL 5-K																		
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı (gr/m-kare)																		
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																	
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri													
					Sıklıklar		En	Kıvrım	Örgü Faktörleri				Kumaş Yapı Faktörleri					
	Çözümlü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Çözümlü İplik Elastan Numarası (dtex)	Atkı İplik Elastan Numarası (dtex)	Çözümlü Sıklık (tel/cm)	Atkı Sıklık (atki/cm)	Ham En (cm)	Çözümlü Kıvrım (%)	F1	KL1	CFF	FYF	K1	K	T1	TS	OG1	OG
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
1	x	x	x	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x	x	x	x				x						
4		x	x	x		x	x	x	x				x					
5		x	x	x		x	x	x		x			x					
6		x	x	x		x	x	x			x							
7		x	x	x		x	x	x				x	x					
8			x	x			x	x	x					x				
9			x	x			x	x		x				x				
10			x	x			x	x			x			x				
11			x	x			x	x				x		x				
12		x	x	x		x	x	x							x			
13			x	x			x	x								x		
14		x	x	x		x	x	x									x	
15			x	x			x	x										x

Şekil 4.36. Karışım kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.5.2.1 Karışım Kumaşlarda Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Regresyon Modelleri

Poliester-viskon karışım kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler aşağıdaki Şekil 4.36'da verildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü iplik numarası (coz_tex), çözgü sıklığı (coz_sik), atkı sıklığı (atk_sik), çözgü kıvrımı (coz_kiv), örgü faktörlerinden F1, KL1, CFF, FYF ve kumaş yapı faktörlerinden K1, K, T1, TS, OG1 ve OG yaygın olarak kullanılmış olup, parametrelerden; atkı iplik numarası (atk_tex), atkı ipliği elastan numarası (atk_ipl_lyc_dte), ham kumaş eninin de (ham_en) zaman zaman modellere etkisi

gözlemlenmiştir. Ham kumaş birim alan ağırlığına etki edeceği düşünülen tüm değişkenlerin farklı modellerde katkısı olduğu görülmüştür.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelere dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.56’da görüldüğü üzere regresyon 5K5-1, model olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.56. Karışım kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı regresyon modelleri için $\%R^2$ belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
5K0	0,00	5K8	83,27
5K0-1	89,31	5K8-1	83,44
5K1	0,00	5K9	82,88
5K1-1	89,40	5K9-1	83,00
5K2	0,00	5K10	82,79
5K2-1	89,33	5K10-1	82,90
5K3	0,00	5K11	82,79
5K3-1	89,33	5K11-1	82,90
5K4	89,74	5K12	72,68
5K4-1	89,74	5K12-1	72,75
5K5	89,91	5K13	22,93
5K5-1	89,89*	5K13-1	24,59
5K6	89,84	5K14	76,66
5K6-1	89,83	5K14-1	76,70
5K7	89,84	5K15	64,90
5K7-1	89,83	5K15-1	65,20

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 5K5 modeli için Çizelge 4.57’deki özet tabloda ham kumaş birim alan ağırlığı için regresyon denklemi incelendiğinde; atkı ve çözgü yönünde elastan numarası kalınlaştığında çözgü ve atkı yönünde kıvrımlar artacağı için direkt olmasada dolaylı olarak ham gramaja etkisi vardır. Kıvrım arttığında ham kumaşta kullanılan iplik miktarı artacak ve dolayısıyla çıkan ham kumaş da daha ağır olacaktır. Burada elastan numarası ile ham kumaş ağırlığı arasındaki pozitif ilişki regresyon denkleminde de görülmektedir. Atkı ipliği numarası arttığında yani atkı kalınlaştığında ham kumaş ağırlığı artar, aralarındaki bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de açıkça görülmektedir. Kumaşta atkı sıklığının artması da ham kumaş ağırlığını arttırır çünkü bu sayede kumaşta daha fazla iplik kullanılır, regresyon denkleminde atkı sıklığı ile ham kumaş ağırlığı arasındaki pozitif ilişki görülmektedir. Çözgü yönüne sıklık ve çözgü iplik kalınlığına bağlı olan K1 (cov_fak_1) arttığında kumaş ağırlığı da artar aralarındaki bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de görülmektedir. Örgü faktörlerinden KL1 çözgü ve atkı ipliği arasındaki bağlantı miktarını ifade

eder. Örgünün kumaş ağırlığına etkisi kumaş kıvrımını da beraberinde etkilediği için dolaylıdır. Çözüğü kıvrımı ham kumaş ağırlığında kullanılan toplam çözgü uzunluğunu ortaya koyduğu için önemlidir. Çözüğü kıvrımı arttığında ham kumaş ağırlığı da artar. Aralarındaki bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de görülmektedir. Ham kumaş gramajı, atkı ve çözgü yönünde kumaş için kullanılan toplam iplik miktarı ile doğru orantılı ham kumaş eni ile ise ters orantılıdır. Dolayısıyla regresyonda ham kumaş birim alan ağırlığı ile ham kumaş eni arasındaki negatif ilişki de bunu doğrular niteliktedir.

Çizelge 4.57. Minitab ham kumaş birim alan ağırlığı 5K5 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation					
ham_kum_bir_agi = -76,3 + 0,1087 atk_lyc_dte + 0,2028 coz_lyc_dte + 3,370 atk_tex + 3,111 atk_sik + 1,175 coz_kiv - 26,31 KL1 + 7,497 cov_fak_1 - 0,288 ham_en					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-76,3	30,3	-2,52	0,013	
atk_lyc_dte	0,1087	0,0642	1,69	0,092	1,97
coz_lyc_dte	0,2028	0,0708	2,87	0,005	3,43
atk_tex	3,370	0,260	12,97	0,000	1,98
atk_sik	3,111	0,330	9,43	0,000	2,20
coz_kiv	1,175	0,232	5,06	0,000	3,32
KL1	-26,31	8,10	-3,25	0,001	2,15
cov_fak_1	7,497	0,479	15,65	0,000	2,39
ham_en	-0,288	0,156	-1,84	0,067	1,38
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
19,5288	90,91%	90,58%	89,89%	20,1717	89,91%
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	8	850222	106278	278,67	0,000
atk_lyc_dte	1	1095	1095	2,87	0,092
coz_lyc_dte	1	3133	3133	8,22	0,005
atk_tex	1	64152	64152	168,21	0,000
atk_sik	1	33940	33940	89,00	0,000
coz_kiv	1	9769	9769	25,62	0,000
KL1	1	4028	4028	10,56	0,001
cov_fak_1	1	93382	93382	244,86	0,000
ham_en	1	1290	1290	3,38	0,067
Error	223	85046	381		
Lack-of-Fit	211	83932	398	4,28	0,003
Pure Error	12	1114	93		
Total	231	935268			

5K5 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$T_{tablo} (0,05; 223) = 1,960$

$\Rightarrow T_{deg} > 1,960$

coz_lyc_dte, atk_tex, atk_sik, coz_kiv, KL1, cov_fak_1

$\rightarrow$ anlamlı

atk_lyc_dte, ham_en

$\rightarrow$ anlamsız

$\Rightarrow P_{deg} < 0,05$

coz_lyc_dte, atk_tex, atk_sik, coz_kiv, KL1, cov_fak_1

$\rightarrow$ anlamlı

atk_lyc_dte, ham_en

$\rightarrow$ anlamsız

$\Rightarrow$ VIF < 10
tüm değişkenlerde

$\rightarrow$ otokorelasyon yok

F- model anlamlılık testi

$$F_{\text{tablo}} = F(0,05, 8, 223) = 1,94$$

$\Rightarrow F_{\text{hesaplanan}} = 278,67 \geq 1,94 \rightarrow H_1$ hipotezi anlamlı

$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05 \rightarrow$ regresyon modeli anlamlı bulunur.

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 5K5-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

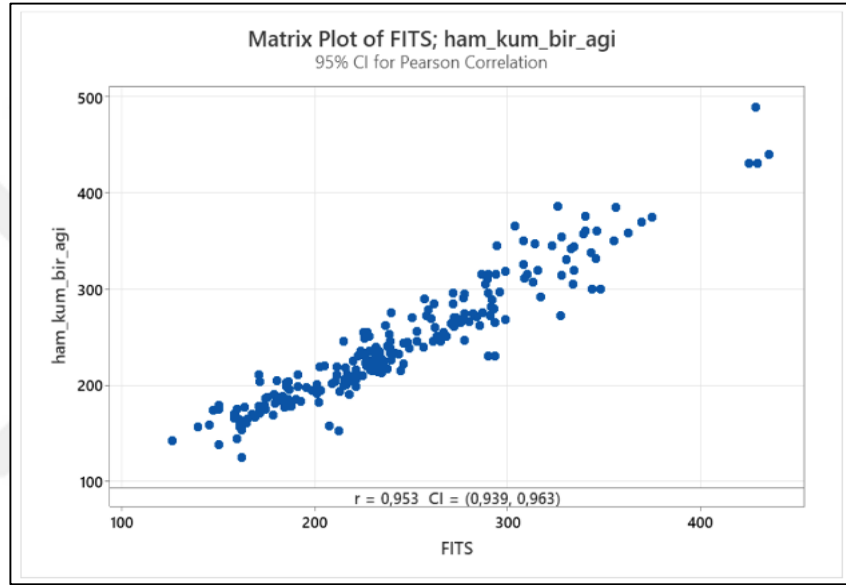
Çizelge 4.58. Minitab ham kumaş birim alan ağırlığı 5K5-1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation					
ham_kum_bir_agi = -74,9 + 0,2290 coz_lyc_dte + 3,599 atk_tex + 3,092 atk_sik + 1,182 coz_kiv - 25,52 KL1 + 7,508 cov_fak_1 - 0,323 ham_en					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-74,9	30,5	-2,46	0,015	
coz_lyc_dte	0,2290	0,0693	3,30	0,001	3,27
atk_tex	3,599	0,223	16,15	0,000	1,45
atk_sik	3,092	0,331	9,34	0,000	2,20
coz_kiv	1,182	0,233	5,07	0,000	3,32
KL1	-25,52	8,12	-3,14	0,002	2,14
cov_fak_1	7,508	0,481	15,61	0,000	2,39
ham_en	-0,323	0,156	-2,08	0,039	1,35
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
19,6102	90,79%	90,50%	89,85%	20,1839	89,89%
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	7	849127	121304	315,44	0,000
coz_lyc_dte	1	4196	4196	10,91	0,001
atk_tex	1	100317	100317	260,86	0,000
atk_sik	1	33565	33565	87,28	0,000
coz_kiv	1	9897	9897	25,74	0,000
KL1	1	3802	3802	9,89	0,002
cov_fak_1	1	93678	93678	243,60	0,000
ham_en	1	1657	1657	4,31	0,039
Error	224	86141	385		
Lack-of-Fit	212	85027	401	4,32	0,003
Pure Error	12	1114	93		
Total	231	935268			

Çizelge 4.58’de verilen regresyon denkleminde, ham kumaş birim alan ağırlığına, çözgü ipliği elastan numarası (coz_lyc_dte), atkı iplik numarası (atk_tex), atkı sıklığı (atk_sik), çözgü kıvrımı (coz_kiv), kumaş yapı faktörlerinden K1 (cov_fak_1) ve ham kumaş eni (ham_en) çözgü sıklığı (coz_sik) pozitif yönde ve örgü faktörlerinden KL1 ve ham kumaş eni (ham_en) negatif yönde etki etmiştir. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda; açıklayıcı değişkenlerden örgü faktörü KL1’ in modele en fazla katkı sağladığı görünmektedir. Örgü faktörü KL1’ in 1 birim artması ham kumaş birim alan ağırlığında 25,52 oranında bir azalmaya sebep olmaktadır.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri % 89,89 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %94,81 çok iyi bir değer olup bu modelin ham kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesinde kullanımı uygundur. Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value <0,01 değeri çıkmış ve bu değer $P > 0,05$ olduğu için model artıkların normal dağıldığı varsayımını da karşılamamıştır.

Modelden çıkan ham kumaş birim alan ağırlığı değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek ham kumaş birim alan ağırlığı arasında korelasyon grafiği Şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.37. 5K5-1 karışım kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

Şekil 4.37'deki korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,953$ ile çok yüksek bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile ham kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesine dair bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı uygundur.

4.5.2.2 Karışım Kumaşlarda Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Yapay Zekâ Modelleri

Karışım kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznetelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.59'da verildiği gibidir.

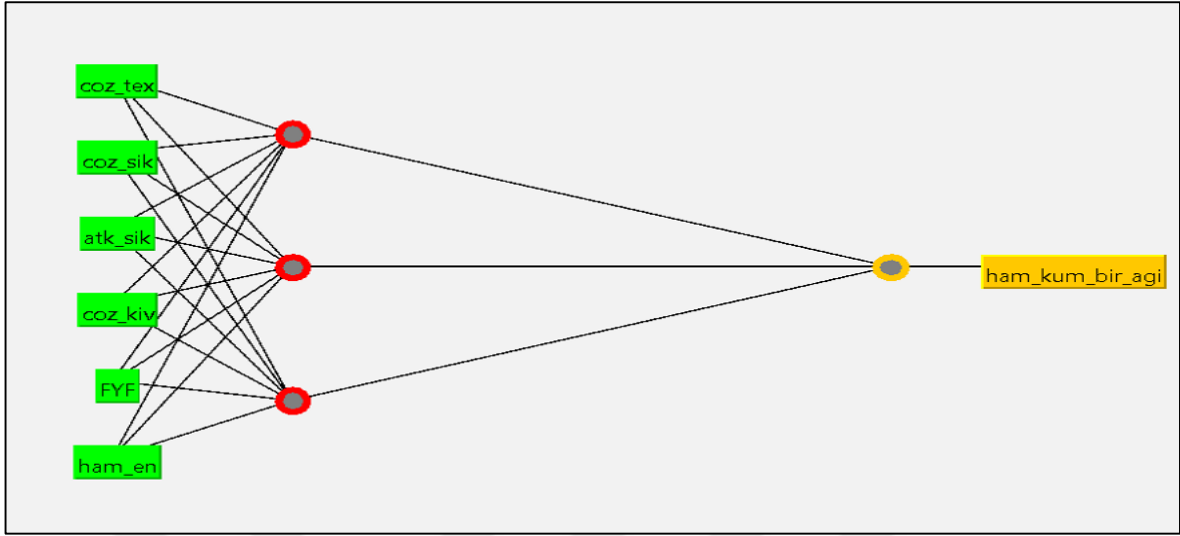
Çizelge 4.59. Karışım kumaşlarda ham kumaş eni tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
5K0	92,34	93,90	94,34
5K0-1	92,98	93,20	93,76
5K1	91,73	93,81	94,57*
5K1-1	91,16	93,00	91,90
5K2	91,66	94,08	94,18
5K2-1	92,71	93,13	93,98
5K3	92,77	94,28*	94,25
5K3-1	93,08*	92,87	93,99
5K4	92,31	93,69	94,05
5K4-1	90,66	93,21	92,59
5K5	92,60	93,92	94,27
5K5-1	90,19	92,92	92,78
5K6	93,07	93,98	93,70
5K6-1	90,48	93,19	92,34
5K7	92,70	93,95	93,34
5K7-1	90,17	92,75	92,68
5K8	88,72	92,71	92,65
5K8-1	85,16	91,00	92,17
5K9	90,25	92,49	92,70
5K9-1	85,16	91,00	92,17
5K10	89,34	92,64	92,60
5K10-1	85,16	91,00	92,17
5K11	88,61	92,70	92,37
5K11-1	85,16	91,00	92,17
5K12	82,30	87,57	86,96
5K12-1	81,89	87,14	84,93
5K13	70,20	83,43	82,42
5K13-1	71,08	83,54	83,07
5K14	82,93	88,23	86,87
5K14-1	84,37	87,49	86,51
5K15	74,22	81,13	79,62
5K15-1	69,95	80,75	79,24

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 5K3-1 modelidir.

5K3-1 modelinin kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.38’de görüldüğü gibidir. Burada giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; çözgü iplik numarası (coz_tex), çözgü sıklık (coz_sik), atkı sıklık (atk_sik), çözgü kıvrımı (coz_kiv), örgü faktörlerinden FYF, çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_alala_agi) seçilmiştir. Gizli katmansayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; a=

(girdi katman sayısı+ çıktı katman sayısı) /2 formülünden; $a = (6+1) /2 = 3$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.38. 5K3-1 ham kumaş birim alan ağırlığı tahmini için yapay sinir hücresi

Yapay sinir ağları için 5K3-1, rastgele orman algoritmaları için 5K3 ve Mars tekniği için 5K1 özet tablosu Çizelge 4.60’da verildiği gibidir.

Çizelge 4.60. Karışım kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,9308	0,9428	0,9457
Ortalama mutlak hata (MAE)	18,4975	15,1767	15,2188
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	24,2337	21,6995	20,6452
Relatif mutlak hata (RAE)	%36,5804	% 30,0132	%30,0966
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%38,0221	% 34,046	%32,3919
Toplam örnek sayısı (TNI)	232	232	232

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,94 R değeriyle Mars tekniği olduğunu söyleyebiliriz. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE) için en düşük değeri rastgele orman algoritmalarında ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında ise en düşük değer Mars tekniğinde çıkmıştır.

4.5.3 Tüm Veri Setinde Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı Tahmin Modellerinin Kurulması

İki farklı işletmeden alınan pamuklu ve polyester viskon kumaşların veri seti ortak açıklayıcı değişkenler kullanılarak birleştirilmiş ve işletmelere özgü faktörler ihmal edilerek ortak bir model oluşturulmuştur.

MODEL 5-PK																		
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı (g/m-kare)																		
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																	
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri													
	Çözümlü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Çözümlü İpliği Elastan Numarası (dtex)	Atkı İpliği Elastan Numarası (dtex)	Çözümlü Sıklık (tel/cm)	Atkı Sıklık (atki/cm)	Haşıl Oranı	En	Kıvrım	Çözümlü Kıvrım (%)	F1	KL1	CFE	FYF	K1	K	T1	TS
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x							
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x						
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x					
3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x				
4		x	x	x		x	x	x	x	x	x				x			
5		x	x	x		x	x	x	x	x		x			x			
6		x	x	x		x	x	x	x	x			x		x			
7		x	x	x		x	x	x	x	x				x	x			
8			x	x			x	x	x	x	x					x		
9			x	x			x	x	x	x		x				x		
10			x	x			x	x	x	x			x			x		
11			x	x			x	x	x	x				x		x		
12		x	x	x		x	x	x	x	x							x	
13			x	x			x	x	x	x								x
14		x	x	x		x	x	x	x	x								x
15			x	x			x	x	x	x								x

Şekil 4.39. Tüm kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).

Tüm kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığını tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak ham kumaş eni birim alan ağırlığı, bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.39'dan faydalanılmıştır.

4.5.3.1 Tüm Kumaşlarda Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Regresyon Modelleri

Pamuklu ve karışım kumaşların ham kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler aşağıdaki Şekil 4.39'da verildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), çözgü sıklık (coz_sik), atkı sıklık (atk_sik), haşıl oranı (has_ora), örgü faktörlerinden

F1, KL1, CFF, FYF ve kumaş yapı faktörlerinden K1, K, T1, TS, OG1, OG etkili olmuştur. Performansı biraz daha düşük olan modellerde zaman zaman atkı ipliği elastan numarası (atk_ipl_lyc_dte), ham kumaş eni (ham_en) ve çözgü kıvrımı da (coz_kiv) modellere katkısı olmuştur. Modellere etki edeceği düşünülen çözgü ipliği elastan numarası (coz_ipl_lyc_dte)'nin modellemelere hiçbir etkisi olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelerle dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.61'de görüldüğü üzere regresyon 5PK2-1 ve 5PK3-1 modeller olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.61. Tüm kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı regresyon modelleri için $\%R^2$ belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
5PK0	82,23	5PK8	62,64
5PK0-1	82,33	5PK8-1	62,51
5PK1	82,59	5PK9	62,54
5PK1-1	82,73	5PK9-1	62,51
5PK2	82,62	5PK10	62,62
5PK2-1	82,74*	5PK10-1	62,51
5PK3	82,62	5PK11	62,62
5PK3-1	82,74*	5PK11-1	62,51
5PK4	76,45	5PK12	75,11
5PK4-1	76,87	5PK12-1	75,22
5PK5	76,25	5PK13	25,32
5PK5-1	77,78	5PK13-1	26,17
5PK6	77,50	5PK14	76,46
5PK6-1	77,78	5PK14-1	76,67
5PK7	77,50	5PK15	41,93
5PK7-1	77,78	5PK15-1	42,04

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 5PK2 modeli için Çizelge 4.62'deki özet tabloda ham kumaş birim alan ağırlığı için regresyon denklemi incelendiğinde; atkı ve çözgü yönünde elastan numarası kalınlaştığında çözgü ve atkı kıvrımları artacağı için doğrudan ham gramaja etkisi vardır. Kıvrım arttığında ham kumaşta kullanılan ipliklerin birim alandaki uzunluğu ve dolayısıyla ağırlığı artacak, sonuç olarak ham kumaş daha ağır olacaktır. Burada elastan numarası ile ham kumaş ağırlığı arasındaki pozitif ilişki olmasına rağmen regresyonda bu ilişki negatif çıkmıştır. Çözgü ve atkı ipliği numarası arttığında yani iplikler kalınlaştığında ham kumaş ağırlığı da artar, bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de açıkça görülmektedir. Kumaşta çözgü ve atkı sıklığının artması daha fazla iplik kullanılmış olması nedeniyle ham kumaş ağırlığını artırır. Regresyon denkleminde çözgü ve atkı sıklığı ile ham kumaş ağırlığı

arasında pozitif ilişki görülmektedir. Örgü faktörlerinden CFF, birim raporda çözgü ve atkı ipliğinin geçiş sayısı ile doğru orantılı, çözgü sayısı ve atkı (tekrar sayısı) yani birim rapor sayısının büyüklüğü ters orantılıdır. Çözgü ve atkı ipliği arasında bağlantı miktarı arttığında CFF’ de artar. Örgünün kumaş ağırlığına etkisi kumaş kıvrımını da beraberinde etkilediği için dolaylıdır. Haşıl oranı arttığında kumaşta kullanılan çözgü ipliğinin ağırlığı da artacağı için ham kumaş gramajı daha yüksek çıkacaktır. Regresyon denklemi bu pozitif ilişkiyi doğrulamamaktadır. Çözgü kıvrımı ham kumaş ağırlığında kullanılan gerçek çözgü ipliğinin miktarını ortaya koyduğu için önemlidir. Çözgü kıvrımı arttığında ham kumaş ağırlığı da artar. Aralarındaki bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de görülmektedir. Ham kumaş gramajı, atkı ve çözgü yönünde kumaş için kullanılan toplam iplik miktarı ile doğru orantılı ham kumaş eni ile ise ters orantılıdır. Dolayısıyla regresyonda ham kumaş birim alan ağırlığı ile ham kumaş eni arasındaki negatif ilişki de bunu doğrular niteliktedir.

Çizelge 4.62. Minitab ham kumaş birim alan ağırlığı 5PK2 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation

ham_kum_bir_ala_agi = -1,1 + 2,688 coz_tex + 2,343 atk_tex - 0,0618 atk_lyc_dte - 0,0324 coz_lyc_dte + 2,793 coz_sik + 1,271 atk_sik - 24,83 CFF - 1,969 has_ora + 2,393 coz_kiv - 0,412 ham_en

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-1,1	36,0	-0,03	0,976	
coz_tex	2,688	0,248	10,82	0,000	4,59
atk_tex	2,343	0,163	14,39	0,000	3,21
atk_lyc_dte	-0,0618	0,0732	-0,84	0,399	3,24
coz_lyc_dte	-0,0324	0,0943	-0,34	0,731	4,12
coz_sik	2,793	0,299	9,35	0,000	6,99
atk_sik	1,271	0,340	3,74	0,000	2,88
CFF	-24,83	4,34	-5,72	0,000	1,96
has_ora	-1,969	0,606	-3,25	0,001	4,85
coz_kiv	2,393	0,297	8,06	0,000	3,14
ham_en	-0,412	0,186	-2,22	0,027	1,26

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
27,4911	83,61%	83,19%	82,34%	27,9237	82,62%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	10	1507558	150756	199,48	0,000
coz_tex	1	88535	88535	117,15	0,000
atk_tex	1	156464	156464	207,03	0,000
atk_lyc_dte	1	538	538	0,71	0,399
coz_lyc_dte	1	89	89	0,12	0,731
coz_sik	1	66121	66121	87,49	0,000
atk_sik	1	10552	10552	13,96	0,000
CFF	1	24705	24705	32,69	0,000
has_ora	1	7984	7984	10,56	0,001
coz_kiv	1	49123	49123	65,00	0,000
ham_en	1	3726	3726	4,93	0,027
Error	391	295502	756		
Lack-of-Fit	373	294388	789	12,75	0,000
Pure Error	18	1114	62		
Total	401	1803060			

5PK2 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$$T_{\text{tablo}} (0,05; 391) = 1,960$$

$$\Rightarrow T_{\text{değ}} > 1,960$$

coz_tex, atk_tex, coz_sik, atk_sik, CFF, has_ora, coz_kiv, ham_en
coz_lyc_dte, atk_lyc_dte

→ anlamlı
→ anlamsız

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

coz_tex, atk_tex, coz_sik, atk_sik, CFF, has_ora, coz_kiv, ham_en
coz_lyc_dte, atk_lyc_dte

→ anlamlı
→ anlamsız

$$\Rightarrow VIF < 10$$

tüm değişkenlerde

→ otokorelasyon yok

F- model anlamlılık testi

$$F_{\text{tablo}} = F (0,05, 10, 391) = 1,83$$

$$\Rightarrow F_{\text{hesaplanan}} = 199,48 \geq 1,83$$

→ H_1 hipotezi anlamlı

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

→ regresyon modeli anlamlı bulunur.

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 5PK2-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.63. Minitab ham kumaş birim alan ağırlığı 5PK2-1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation					
ham_kum_bir_ala_agi = -2,4 + 2,638 coz_tex + 2,360 atk_tex + 2,775 coz_sik + 1,288 atk_sik - 25,10 CFF - 1,645 has_ora + 2,256 coz_kiv - 0,407 ham_en					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-2,4	34,7	-0,07	0,945	
coz_tex	2,638	0,243	10,85	0,000	4,42
atk_tex	2,360	0,161	14,63	0,000	3,15
coz_sik	2,775	0,297	9,33	0,000	6,95
atk_sik	1,288	0,339	3,80	0,000	2,86
CFF	-25,10	4,33	-5,80	0,000	1,96
has_ora	-1,645	0,525	-3,14	0,002	3,64
coz_kiv	2,256	0,190	11,88	0,000	1,29
ham_en	-0,407	0,181	-2,25	0,025	1,19
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
27,4632	83,56%	83,23%	82,50%	27,8239	82,74%
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	8	1506649	188331	249,70	0,000
coz_tex	1	88741	88741	117,66	0,000
atk_tex	1	161375	161375	213,96	0,000
coz_sik	1	65655	65655	87,05	0,000
atk_sik	1	10903	10903	14,46	0,000
CFF	1	25339	25339	33,60	0,000
has_ora	1	7415	7415	9,83	0,002
coz_kiv	1	106391	106391	141,06	0,000
ham_en	1	3824	3824	5,07	0,025
Error	393	296411	754		
Lack-of-Fit	375	295297	787	12,72	0,000
Pure Error	18	1114	62		
Total	401	1803060			

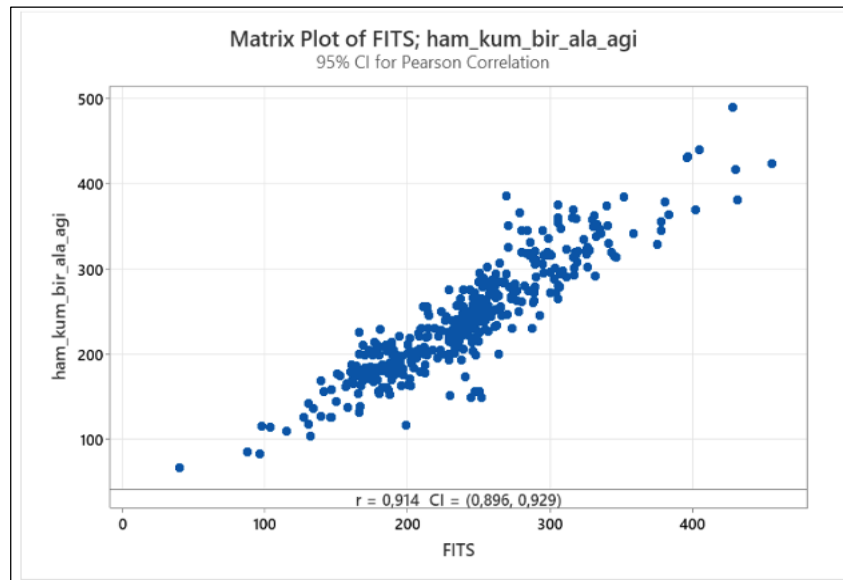
Çizelge 4.63’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi ham kumaş birim alan ağırlığına çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), çözgü sıklık (coz_sik), atkı sıklık (atk_sik) pozitif yönde, örgü faktörlerinden CFF, haşıl oranı (has_oran), çözgü kıvrımı (coz_kiv) ve ham kumaş eni (ham_en)’ nin modele katkısı ise negatif yönlüdür. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda örgü faktörlerinden CFF’ nin modele katkısının en fazla olduğu görülmektedir. Modelde örgü faktörlerinden CFF’ nin 1 birimlik artışı, kumaş ham enine 25,10 oranında azalma sağlamaktadır.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %82,74 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %90,96 ile çok iyi bir değer olup bu modelin ham kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesinde kullanılması uygundur.

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value = 0,069 değeri çıkmış ve bu değer $P > 0,05$ olduğu için model artıkların normal dağıldığı varsayımını da karşılanmaktadır.

Modelden çıkan ham kumaş birim alan ağırlığı değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek ham kumaş birim alan ağırlığı arasında korelasyona baktığımızda;

Şekil 4.40’daki korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değeri (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,914$ ile çok yüksek bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı uygundur.



Şekil 4.40. 5PK2-1 tüm kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı regresyon modeli; gerçek değer ile model değeri arasında korelasyon testi

4.5.3.2 Tüm Kumaşlarda Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Yapay Zekâ Modelleri

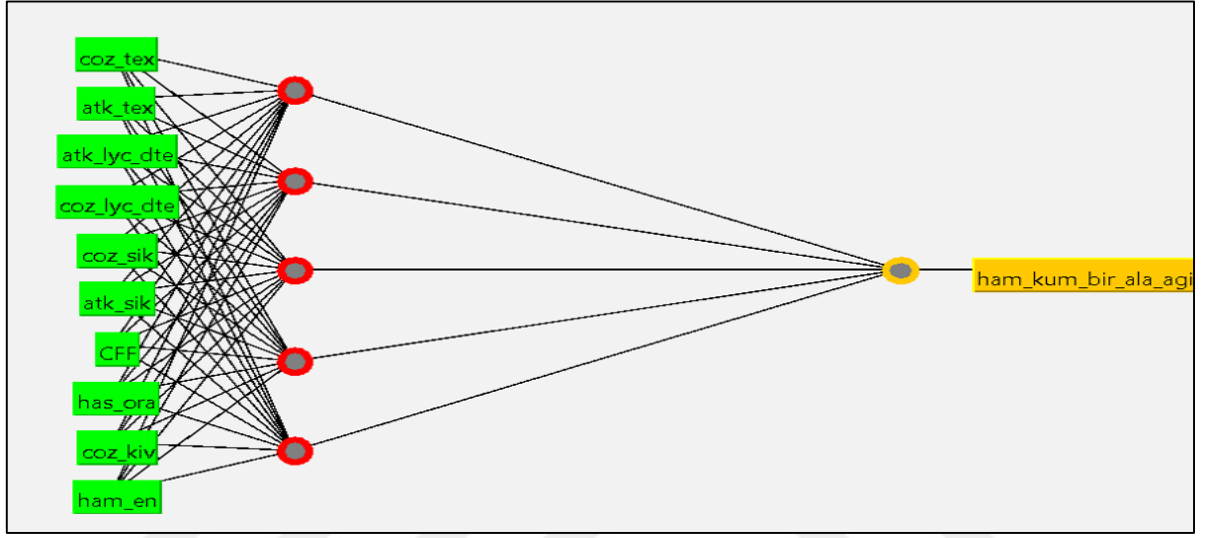
Tüm kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznetelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.64’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.64. Tüm kumaşlarda ham kumaş ham kumaş birim alan ağırlığı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
5PK0	95,60	94,89	95,54
5PK0-1	79,80	86,99	86,44
5PK1	95,78	94,91*	95,61*
5PK1-1	83,01	86,96	86,53
5PK2	95,87*	94,69	95,51
5PK2-1	82,76	88,17	86,48
5PK3	95,64	94,80	95,49
5PK3-1	83,03	88,08	86,05
5PK4	88,58	91,53	89,45
5PK4-1	79,80	86,99	86,44
5PK5	90,38	91,29	89,44
5PK5-1	83,01	86,96	86,53
5PK6	90,15	91,56	89,75
5PK6-1	82,76	88,17	86,48
5PK7	90,48	91,45	89,60
5PK7-1	83,03	88,08	86,05
5PK8	80,42	87,10	82,69
5PK8-1	68,14	77,92	76,01
5PK9	81,27	87,40	82,75
5PK9-1	64,98	78,05	76,41
5PK10	81,05	87,33	83,12
5PK10-1	66,89	77,99	75,91
5PK11	81,25	87,60	83,53
5PK11-1	67,07	78,59	77,26
5PK12	86,35	89,91	90,00
5PK12-1	72,89	80,51	79,08
5PK13	61,49	73,70	54,37
5PK13-1	42,63	59,08	40,91
5PK14	89,8	89,68	89,12
5PK14-1	84,08	86,32	85,38
5PK15	61,68	73,94	68,17
5PK15-1	51,66	56,87	56,85

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 5PK2 modelidir. 5PK2 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.28’de

görüldüğü gibidir. Burada giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; burada çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), çözgü ipliği elastan numarası (coz_lyc_dte), atkı ipliği elastan numarası (atk_lyc_dte), çözgü sıklık (coz_sik), atkı sıklık (atk_sik), örgü faktörlerinden CFF, haşıl oranı (has_ora), çözgü kıvrımı (coz_kiv) ve ham kumaş eni (ham_en), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_al_ağı) seçilmiştir. Gizli katman 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıkış nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (10 + 1) / 2 = 5$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.41. 5PK2 ham kumaş birim alan ağırlığı tahmini için yapay sinir hücresi

Yapay sinir ağları için 5PK2, rastgele orman algoritmaları için 5PK1 ve Mars tekniği için 5PK1 özet tablosu Çizelge 4.65’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.65. Tüm kumaşlarda ham kumaş birim alan ağırlığı için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,9587	0,9491	0,9561
Ortalama mutlak hata (MAE)	13,7875	14,8126	13,551
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	19,2082	21,8036	19,6193
Relatif mutlak hata (RAE)	%25,4723	% 27,3661	%25,0353
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%28,6414	% 32,5114	%29,2544
Toplam örnek sayısı (TNI)	402	402	402

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi model, birbirlerine çok yakın 0,95 R değerleri ile yapay sinir ağı ve Mars tekniği olmuştur. Model performansları açısından diğer parametrelerden,

ortalama mutlak hata (MAE)' ye bakıldığında en düşük değer Mars tekniğinde ve kök ortalama kare hatası (RMSE)' ye bakıldığında ise en düşük değer yapay sinir ağlarında çıkmıştır.

4.6 Mamül Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Tahmin Modelleri

Pamuklu kumaşlar için ayrı ayrı öncelikle regresyon modelleri, daha sonra aynı açıklayıcı değişkenler ile yapay zekâ modellerinden yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve Mars tekniği ile modeller oluşturulmuş ve bu modellerin tahmin performansları için % R korelasyon katsayı ile karşılaştırılmıştır.

4.6.1 Pamuklu Kumaşlarda Mamül Kumaş Birim Alan Ağırlığı İçin Tahmin Modellerinin Kurulması

Pamuklu kumaşların mamül kumaş birim alan ağırlığını tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_agi), bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.42'den faydalanılmıştır.

MODEL 6-P															
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Mamül Kumaş Birim Alan Ağırlığı (gr/m-kare)															
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler														
	Kumaş İplik Özellikleri		Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri												
	Çözümlü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Sıklıklar		En	Örgü Faktörleri				Kumaş Yapı Faktörleri					
			Çözümlü Sıklık (tel/cm)	Atkı Sıklık (atki/cm)	Mamül En (cm)	F1	KL1	CFF	FYF	K1	K	T1	TS	OG1	OG
0	x	x	x	x	x	x									
1	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x				x						
4		x		x	x	x				x					
5		x		x	x		x			x					
6		x		x	x			x		x					
7		x		x	x				x	x					
8					x	x					x				
9					x		x				x				
10					x			x			x				
11					x				x		x				
12		x		x	x							x			
13					x								x		
14		x		x	x									x	
15					x										x

Şekil 4.42. Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.6.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Mamül Birim Alan Ağırlığı İçin Regresyon Modelleri

Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler aşağıdaki Şekil 4.42’de verildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), çözgü sıklığı (coz_sik) ve kumaş yapı faktörlerinden K1, K, T1, TS, OG1 ve OG yaygın olarak kullanılmıştır. Mamül en, atkı sıklığı (atk_sik), örgü faktörlerinden F1, KL1, CFF, FYF performansı daha düşük modellerde zaman zaman modellere dâhil olmuştur. Tahmin gücü en yüksek olan 4, 5, 6 ve 7. modellere atkı iplik numarası (atk_tex) ve kumaş yapı faktörlerinden K1 (cov_fak_1) etki etmiştir.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelerle dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.66’da görüldüğü üzere regresyon 6P4-1, 6P5-1, 6P6-1, 6P7-1 modelleri olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.66. Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş birim alan ağırlığı regresyon modelleri için % R^2 belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
6P0	89,29	6P8	38,22
6P0-1	89,15	6P8-1	38,20
6P1	89,64	6P9	39,33
6P1-1	89,50	6P9-1	39,33
6P2	89,74	6P10	40,28
6P2-1	89,58	6P10-1	40,28
6P3	89,74	6P11	40,28
6P3-1	89,58	6P11-1	40,28
6P4	92,16	6P12	83,58
6P4-1	92,27*	6P12-1	83,69
6P5	92,19	6P13	14,03
6P5-1	92,27*	6P13-1	14,03
6P6	92,17	6P14	89,16
6P6-1	92,27*	6P14-1	89,38
6P7	92,17	6P15	16,39
6P7-1	92,27*	6P15-1	16,39

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 6P5 modeli için Çizelge 4.67’deki özet tabloda mamül kumaş birim alan ağırlığı için regresyon denklemi incelendiğinde; atkı ipliği numarası arttığında yani atkı kalınlaştığında mamül kumaş ağırlığı artar, aralarındaki bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de açıkça görülmektedir. Kumaşta atkı sıklığının artması normal şartlarda mamül kumaş ağırlığını artırmasına rağmen, regresyon denkleminde atkı sıklığı ile

ham kumaş ağırlığı arasında ters orantı yani negatif ilişki çıkmıştır. Çözgü yönüne sıklık ve çözgü iplik kalınlığına bağlı olan K1 (cov_fak_1) arttığında kumaş ağırlığı da artar aralarındaki bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de görülmektedir. Örgü faktörlerinden KL1, birim raporda çözgü ipliğinin atkı ipliğinden geçiş sayısı ile doğru orantılı, çözgü ve atkı tekrar sayısı yani birim rapor sayısının büyüklüğü ters orantılıdır. Çözgü ve atkı ipliği arasında bağlantı miktarı arttığında KL1'de artar. Örgünün kumaş ağırlığına etkisi kumaş kıvrımını da beraberinde etkilediği için dolaylıdır. Mamül kumaş gramajı, atkı ve çözgü yönünde kumaş için kullanılan toplam iplik miktarı ile doğru orantılı, mamül kumaş eni ile ise ters orantılıdır. Dolayısıyla regresyonda mamül kumaş birim alan ağırlığı ile mamül kumaş eni arasındaki negatif ilişki de bunu doğrular niteliktedir.

Çizelge 4.67. Minitab mamül kumaş birim alan ağırlığı 6P5 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
mam_kum_bir_ala_agi = 47,8 + 2,449 atk_tex - 0,265 atk_sik + 6,648 cov_fak_1 - 12,44 KL1 - 0,424 mam_en						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	47,8	48,0	1,00	0,320		
atk_tex	2,449	0,108	22,70	0,000	2,67	
atk_sik	-0,265	0,292	-0,91	0,365	2,70	
cov_fak_1	6,648	0,519	12,81	0,000	1,70	
KL1	-12,44	9,51	-1,31	0,193	1,98	
mam_en	-0,424	0,290	-1,46	0,146	1,29	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
18,6878	92,73%	92,51%	92,11%	19,0192	92,19%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	5	730534	146107	418,36	0,000	
atk_tex	1	179925	179925	515,20	0,000	
atk_sik	1	288	288	0,83	0,365	
cov_fak_1	1	57351	57351	164,22	0,000	
KL1	1	598	598	1,71	0,193	
mam_en	1	744	744	2,13	0,146	
Error	164	57274	349			
Lack-of-Fit	158	57274	362	*	*	
Pure Error	6	0	0			
Total	169	787808				

6P5 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$$T_{\text{tablo}} (0,05; 164) = 1,976$$

$$\Rightarrow T_{\text{değ}} > 1,976$$

atk_tex, cov_fak_1

→ anlamlı

atk_sik, KL1, mam_en

→ anlamsız

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

atk_tex, cov_fak_1

→ anlamlı

atk_sik, KL1, mam_en

→ anlamsız

$$\Rightarrow VIF < 10$$

tüm değişkenlerde

→ otokorelasyon yok

F- model anlamlılık testi

$$F_{\text{tablo}} = F (0,05, 5, 164) = 2,21$$

$$\Rightarrow F_{\text{hesaplanan}} = 418,36 \geq 2,21$$

→ H_1 hipotezi anlamlı

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

→ regresyon modeli anlamlı bulunur.

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 6P5-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.68. Minitab mamül kumaş birim alan ağırlığı 6P5-1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation

$$\text{mam_kum_bir_ala_agi} = -39,04 + 2,5081 \text{ atk_tex} + 6,824 \text{ cov_fak_1}$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-39,04	9,63	-4,05	0,000	
atk_tex	2,5081	0,0689	36,38	0,000	1,08
cov_fak_1	6,824	0,415	16,44	0,000	1,08

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
18,7529	92,55%	92,46%	92,21%	18,9213	92,27%

Analysis of Variance

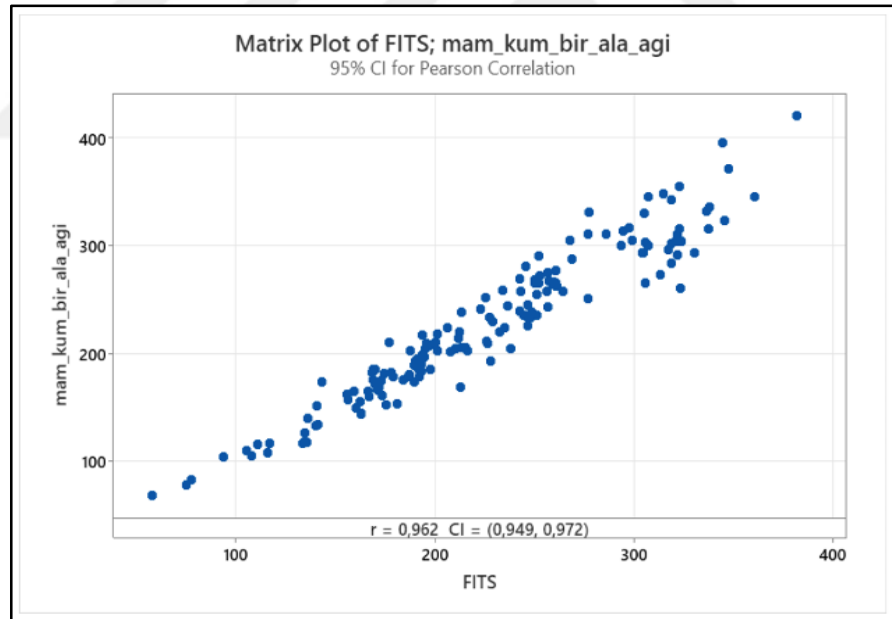
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	729079	364539	1036,59	0,000
atk_tex	1	465524	465524	1323,74	0,000
cov_fak_1	1	95017	95017	270,19	0,000
Error	167	58729	352		
Lack-of-Fit	160	58729	367	*	*
Pure Error	7	0	0		
Total	169	787808			

Çizelge 4.68’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi ham kumaş birim alan ağırlığına; atkı iplik numarası (atk_tex) ve kumaş yapı faktörlerinden K1 (cov_fak_1) pozitif yönde etki etmiştir. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda, kumaş yapı faktörlerinden K1 (cov_fak_1) 1 birimlik artışı, ham kumaş enini 6,824 oranında artmasına sebep olduğu görülmektedir.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %92,27 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %96,05 ile çok iyi bir değer olup bu modelin mamül kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesinde kullanımı uygundur.

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte residual-artıklarda P-value = 0,083 değeri çıkmış ve bu değer $P > 0,05$ şartını sağladığı için model artıkların normal dağıldığı varsayımını karşılamıştır.

Modelden çıkan ham kumaş birim alan ağırlığı değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek ham kumaş birim alan ağırlığı arasında korelasyon grafiği Şekil 4.43’de verilmiştir.



Şekil 4.43. 6P5-1 pamuklu kumaşlarda mamül kumaş birim alan ağırlığı regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

Şekil 4.43’deki korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,962$ ile çok yüksek bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı için uygundur.

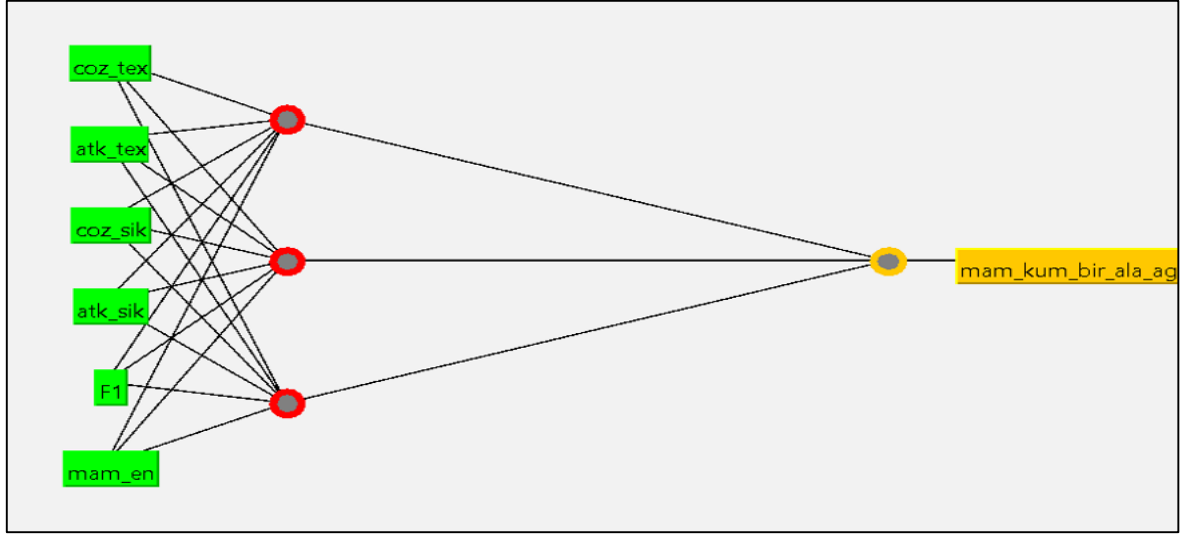
4.6.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Mamül Birim Alan Ağırlığı İçin Yapay Zekâ Modelleri

Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş birim alan ağırlığı için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznelilikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.69’da verildiği gibidir.

Çizelge 4.69. Pamuklu kumaşlarda mamül birim alan ağırlığı tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
6P0	98,43*	96,59	98,07
6P0-1	89,93	93,79	92,58
6P1	98,18	96,63*	98,11
6P1-1	90,27	93,68	92,85
6P2	98,23	96,56	98,13
6P2-1	90,76	94,04	93,09
6P3	98,22	96,56	98,14*
6P3-1	90,11	93,99	93,06
6P4	93,60	95,18	95,74
6P4-1	93,98	95,62	96,00
6P5	92,55	95,19	95,75
6P5-1	93,97	95,60	95,96
6P6	93,45	95,36	95,74
6P6-1	94,06	95,82	95,95
6P7	95,98	95,41	95,74
6P7-1	93,92	95,64	95,98
6P8	63,57	71,32	65,56
6P8-1	59,95	67,67	65,73
6P9	55,14	72,71	64,67
6P9-1	55,14	72,71	64,67
6P10	53,34	71,14	64,88
6P10-1	53,37	71,14	64,88
6P11	53,72	71,83	62,59
6P11-1	53,72	71,83	62,59
6P12	92,09	93,18	93,49
6P12-1	86,39	89,36	91,85
6P13	39,65	41,17	47,48
6P13-1	35,38	39,10	46,53
6P14	92,41	93,74	93,84
6P14-1	93,36	93,15	94,1
6P15	32,33	50,89	38,71
6P15-1	32,33	50,89	38,71

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 6P0 modelidir.



Şekil 4.44. 6P0 mamül kumaş birim alan ağırlığı tahmini için yapay sinir hücresi

6P0 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.44’de görüldüğü gibidir. Burada, giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), çözgü sıklığı (coz_sik), atkı sıklığı (atk_sik), örgü faktörlerinden F1 ve mamül kumaş eni (mam_en), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_agi) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi katman sayısı} + \text{çıkış katman sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (6+1) / 2 = 3$ olarak kabul edilmiştir.

Yapay sinir ağları için 6P0, rastgele orman algoritmaları için 6P1 ve Mars tekniği için 6P3 özet tablosu Çizelge 4.70’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.70. Pamuklu kumaşlarda mamül kumaş birim alan ağırlığı için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,9843	0,9663	0,9814
Ortalama mutlak hata (MAE)	9,4001	12,4822	9,8794
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	12,1498	17,8029	13,0993
Relatif mutlak hata (RAE)	%16,5193	% 21,9356	%17,3616
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%17,7664	% 26,0327	%19,1548
Toplam örnek sayısı (TNI)	170	170	170

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda atkı kıvrımı için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,9843 R değeri ile yapay sinir ağı olduğunu söyleyebiliriz. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata

(MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)' ye bakıldığında en düşük değer yapay sinir ağlarında çıkmıştır.

4.7 Çözü Köpma Kuvveti İçin Tahmin Modelleri

Pamuklu kumaşlar, karışım kumaşlar ve bunların biraraya gelmesi ile oluşturulan tüm kumaşlar için ayrı ayrı öncelikle regresyon modelleri, daha sonra aynı açıklayıcı değişkenler ile yapay zekâ modellerinden yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve Mars tekniği ile modeller oluşturulmuş ve bu modellerin tahmin performansları için % R korelasyon katsayı ile karşılaştırılmıştır.

4.7.1 Pamuklu Kumaşlarda Çözü Köpma Kuvveti İçin Tahmin Modellerinin Kurulması

Pamuklu kumaşların çözü köpma kuvvetini tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (ıktı değişkeni) olarak ham kumaş çözü köpma kuvveti (coz_kop_muk), bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak şekil 4.45'ten faydalanılmıştır.

MODEL 7-P																		
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Çözü Kopma Mukavemeti (kgf)																		
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																	
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri													
					Sıklıklar		Kıvrım	Ağırlık	Örgü Faktörleri				Kumaş Yapı Faktörleri					
	Çözü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Çözü İpliği Üretim Metodu	Çözü İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözü Sıklık (tel /cm)	Atkı Sıklık (atki /cm)	Çözü Kıvrım (%)	Mamül Kumaş Birim Alan Ağırlık (gr/m-kare)	F1	KL1	CFE	FYF	K1	K	T1	TS	OG1	OG
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
1	x	x	x	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x	x	x	x				x						
4		x	x	x		x	x	x	x				x					
5		x	x	x		x	x	x		x			x					
6		x	x	x		x	x	x			x		x					
7		x	x	x		x	x	x				x	x					
8			x	x			x	x	x	x				x				
9			x	x			x	x			x			x				
10			x	x			x	x				x		x				
11			x	x			x	x				x		x				
12		x	x	x		x	x	x							x			
13			x	x			x	x								x		
14		x	x	x		x	x	x									x	
15			x	x			x	x										x

şekil 4.45. Pamuklu kumaşlarda çözü köpma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.7.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Çözgü Kopma Kuvveti İçin Regresyon Modelleri

Pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler aşağıdaki Şekil 4.45'te verildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), çözgü sıklığı (coz_sik), mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_agi) ve kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak) ve TS yaygın olarak kullanılmıştır. Tahmin gücü en yüksek olan 0, 1, 2 ve 3. modellere çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), çözgü sıklığı (coz_sik) ve mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_agi) etki etmiştir. Çözgü ipliği üretim metodu (coz_ipl_ure_met), çözgü ipliği büküm miktarı (coz_ipl_buk_mik) ve çözgü kıvrımı (coz_kiv) performansı daha düşük modellerde zaman zaman modellere dahil olmuştur. Çözgü kopma kuvvetine etkisi olduğu düşünülen atkı sıklığı (atk_sik) ve örgü faktörlerinden F1, KL1, CFF, FYF ve kumaş yapı faktörlerinden K1, T1, OG1 ve OG2 nin modellere hiçbir etkisi olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelere dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin aşağıdaki Çizelge 4.71'de görüldüğü üzere regresyon 7P0-1, 7P1-1, 7P2-1, 7P3-1 modelleri olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.71. Pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti regresyon modelleri için $\%R^2$ belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
7P0	54,15	7P8	45,69
7P0-1	53,84*	7P8-1	46,40
7P1	54,56	7P9	45,98
7P1-1	53,84*	7P9-1	46,40
7P2	54,18	7P10	45,86
7P2-1	53,84*	7P10-1	46,40
7P3	54,18	7P11	45,86
7P3-1	53,84*	7P11-1	46,40
7P4	51,27	7P12	51,26
7P4-1	51,42	7P12-1	51,42
7P5	51,66	5P13	39,68
7P5-1	51,42	7P13-1	40,71
7P6	51,33	7P14	51,68
7P6-1	51,42	7P14-1	51,42
7P7	51,33	7P15	39,87
7P7-1	51,42	7P15-1	39,32

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 7P1 modeli için Çizelge 4.72'deki özet tabloda çözgü kopma kuvveti için regresyon denklemi incelendiğinde; çözgü ipliği numarası arttığında yani çözgü kalınlaştığında birim ipliğin mukavemeti artacağı için çözgü yönünde kopma kuvvetinde de artış beklenir; çözgü iplik numarası ile çözgü kopma kuvveti arasındaki bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de açıkça görülmektedir. Çözgü ipliği üretim metodu sayısal değerleri ipliğin nihai paket yoğunluğu baz alınarak (oe iplik 1, ring karde iplik 2, penye iplik 3 ve kompakt iplik 4) verildiği görülür. Paketleme yoğunluğunun artmasıyla iplik kesitindeki liflerin birbirine temas alanı artar, bu da beraberinde iplikte mukavemet artışına sebep olur. İplik mukavemetindeki artış, kumaş kopma mukavemetini de arttırır. Bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de görülmektedir. Çözgü ipliğinde büküm miktarının artışı birim iplikte de mukavemet artışına neden olduğundan, büküm miktarının çözgü kopma kuvvetine pozitif katkısının olması beklenen bir durum iken regresyon denkleminde bu ilişki negatif olarak görülmektedir. Bu durumun büküm değişkeninin diğer değişkenler ile çoklu korelasyonundan kaynaklanabilir ki 19,86 VIF değeri bu olasılığı güçlendirmektedir. Atkı iplik numarası arttığında yani atkı ipliği kalınlaştığında, temas alanı artacağı için çözgü kıvrımı artar ve çözgü ipliğinin hareket edeceği alan sınırlandırılmış olur. Bu durumda çözgü yönünde mukavemet artışı beklenir, ancak nihai kopma kuvveti değerinde bir düşme olması olasıdır. Benzer durum atkı sıklığının artışı ile çözgü kopma kuvveti arasındaki ilişkide de geçerlidir. Regresyon denkleminde bu ilişki her iki değişken içinde negatif yönlü gerçekleşmiştir. Tabloda bu değişkenler arasındaki çoklu korelasyon yani VIF değerindeki artış bu ters ilişkiye neden olabilir. Örgüsü aynı olan kumaşlarda çözgü kıvrımının artması ile kıvrım açısına bağlı olarak ipliğin eksenel yük taşıma kapasitesi düşeceği için kumaşın kopma mukavemeti düşecektir. Denklemden bu negatif ilişkiyi doğrular niteliktedir. Dengeli kumaşlarda örgüde geçiş miktarının artması ile oluşan çözgü kıvrımının artması, mukavemeti arttırır. Örgü faktörü KL1, örgüdeki geçiş miktarı arttıkça artarken, bir başka ifadeyle örgü bağlantı sayısı artışı, çözgü kopma kuvvetini arttırır. Kumaş birim alan ağırlığının artması, örgüden kaynaklı artışın da olması kaydıyla kumaş kopma kuvvetini arttıran faktörlerdendir, zaten regresyon denklemi de bunu doğrulamaktadır.

7P1 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$$T_{\text{tablo}} (0,05; 137) = 1,979$$

$$\Rightarrow T_{\text{değ}} > 1,979$$

coz_tex, coz_ipl_ure_met, atk_tex, coz_sik, coz_kiv, mam_kum_bir_ala_agi
coz_ipl_buk_mik, atk_sik, KL1

→ anlamlı
→ anlamsız

$\Rightarrow P_{\text{deg}} < 0,05$
 coz_tex, coz_ip1_ure_met, atk_tex, coz_sik, coz_kiv, mam_kum_bir_ala_agi $\rightarrow$ anlamlı
 coz_ip1_buk_mik, atk_sik, KL1 $\rightarrow$ anlamsız

$\Rightarrow VIF < 10$
 coz_ip1_buk_mik, mam_kum_bir_ala_agi $\rightarrow$ otokorelasyon var

F- model anlamlılık testi

$$F_{\text{tablo}} = F(0,05, 9, 137) = 1,88$$

$\Rightarrow F_{\text{hesaplanan}} = 22,54 \geq 2,21 \rightarrow H_1$ hipotezi anlamlı

$\Rightarrow P_{\text{deg}} < 0,05 \rightarrow$ regresyon modeli anlamlı

bulunur.

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 7P1-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.72. Minitab çözgü kopma kuvveti 7P1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
kop_muk_coz = 2,5 + 0,366 coz_tex + 2,90 coz_ip1_ure_met - 0,0181 coz_ip1_buk_mik - 0,422 atk_tex + 0,473 coz_sik - 0,047 atk_sik + 3,35 KL1 - 0,875 coz_kiv + 0,2194 mam_kum_bir_ala_agi						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	2,5	16,3	0,15	0,878		
coz_tex	0,366	0,151	2,41	0,017	7,56	
coz_ip1_ure_met	2,90	1,23	2,36	0,020	2,27	
coz_ip1_buk_mik	-0,0181	0,0160	-1,13	0,260	19,86	
atk_tex	-0,422	0,112	-3,76	0,000	9,67	
coz_sik	0,473	0,183	2,59	0,011	8,02	
atk_sik	-0,047	0,254	-0,18	0,854	7,27	
KL1	3,35	6,25	0,53	0,594	2,86	
coz_kiv	-0,875	0,419	-2,09	0,039	1,75	
mam_kum_bir_ala_agi	0,2194	0,0479	4,58	0,000	16,83	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
9,15209	59,69%	57,04%	53,62%	9,38100	54,56%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	9	16993,6	1888,18	22,54	0,000	
coz_tex	1	488,1	488,07	5,83	0,017	
coz_ip1_ure_met	1	467,7	467,75	5,58	0,020	
coz_ip1_buk_mik	1	107,0	106,95	1,28	0,260	
atk_tex	1	1186,4	1186,37	14,16	0,000	
coz_sik	1	561,5	561,46	6,70	0,011	
atk_sik	1	2,8	2,84	0,03	0,854	
KL1	1	24,0	23,97	0,29	0,594	
coz_kiv	1	364,5	364,49	4,35	0,039	
mam_kum_bir_ala_agi	1	1756,9	1756,92	20,98	0,000	
Error	137	11475,2	83,76			
Lack-of-Fit	130	11475,0	88,27	2318,94	0,000	
Pure Error	7	0,3	0,04			
Total	146	28468,8				

Çizelge 4.73’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi çözgü kopma kuvvetine; çözgü iplik numarası (coz_tex), çözgü sıklık (coz_sik) ve mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_agi) pozitif yönde ve atkı iplik numarası (atk_tex) negatif yönde etki etmiştir. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda, çözgü iplik numarası (coz_tex)’ 1 birimlik artışı, çözgü kopma kuvvetinin 0,468 oranında artmasına sebep olduğu görülmektedir.

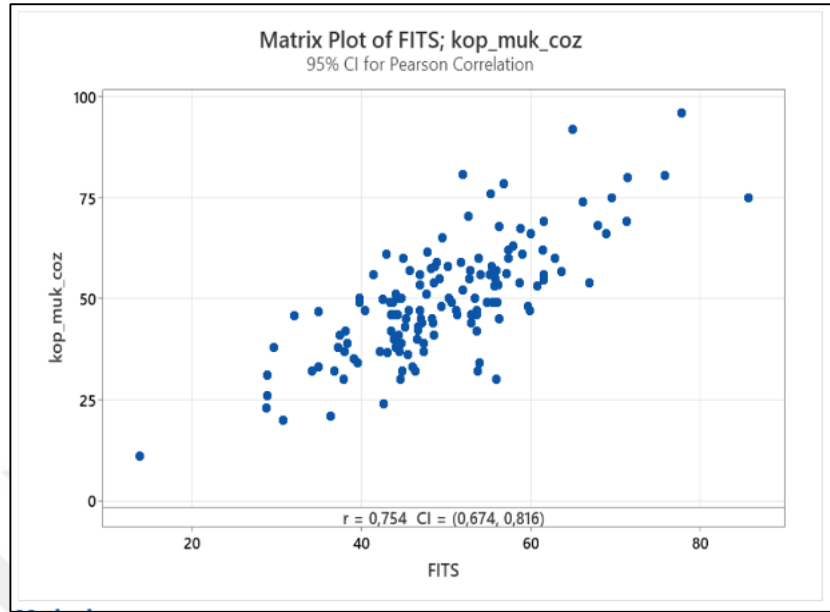
Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %53,84 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %73,35 ile iyi bir değer olup bu modelin çözgü kopma kuvvetinin tahmin edilmesinde kontrollü olarak kullanılması uygundur.

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value >0,15 değeri çıkmış ve bu değer P> 0,05 şartını sağlamadığı için model artıkların normal dağıldığı varsayımını karşılamıştır.

Çizelge 4.73. Minitab çözgü kopma kuvveti 7P1-1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation					
kop_muk_coz = -10,71 + 0,468 coz_tex - 0,4477 atk_tex + 0,347 coz_sik + 0,2166 mam_kum_bir_ala_agi					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-10,71	7,07	-1,51	0,132	
coz_tex	0,468	0,133	3,51	0,001	5,67
atk_tex	-0,4477	0,0958	-4,67	0,000	6,82
coz_sik	0,347	0,131	2,66	0,009	3,97
mam_kum_bir_ala_agi	0,2166	0,0335	6,46	0,000	7,98
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
9,30615	56,80%	55,59%	53,51%	9,45496	53,84%
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	16171,0	4042,74	46,68	0,000
coz_tex	1	1065,5	1065,47	12,30	0,001
atk_tex	1	1890,1	1890,07	21,82	0,000
coz_sik	1	610,5	610,52	7,05	0,009
mam_kum_bir_ala_agi	1	3614,0	3613,97	41,73	0,000
Error	142	12297,8	86,60		
Lack-of-Fit	135	12297,6	91,09	2393,14	0,000
Pure Error	7	0,3	0,04		
Total	146	28468,8			

Modelden çıkan çözgü kopma kuvveti değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek çözgü kopma kuvveti arasında korelasyon grafiği Şekil 4.46’da verilmiştir.



Şekil 4.46. 7P1-1 pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

Şekil 4.46’daki korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,754$ ile yüksek bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kontrollü kullanımı için uygundur.

4.7.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Çözgü Kopma Kuvveti İçin Yapay Zekâ Modelleri

Pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznitelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.74’te verildiği gibidir.

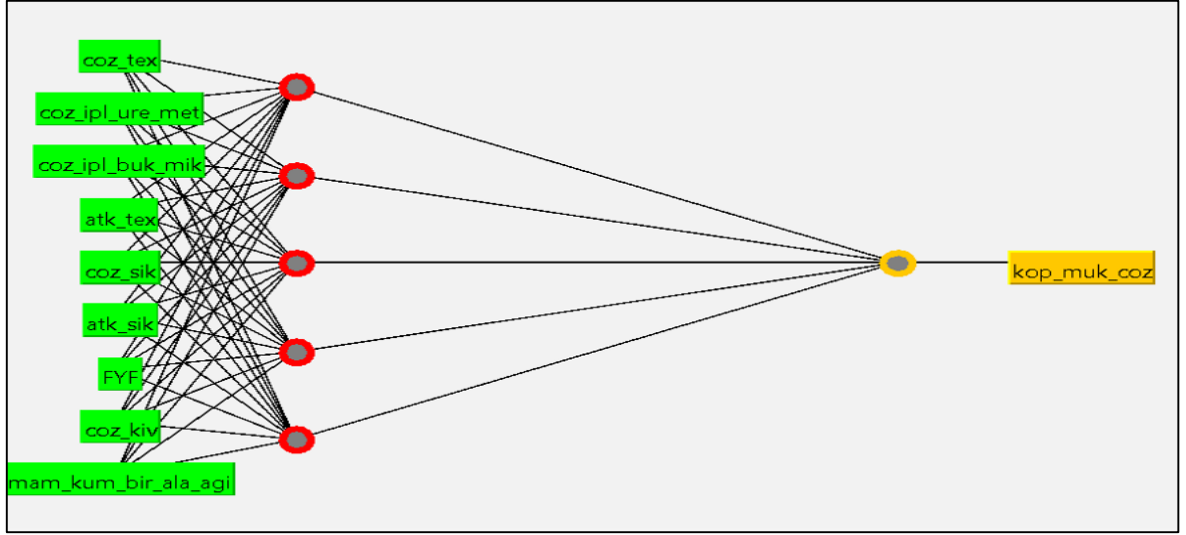
Çizelge 4.74. Pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
7P0	59,99	70,78	72,67
7P0-1	44,12	51,91	60,52
7P1	63,00	69,30	72,67
7P1-1	46,61	51,95	61,13
7P2	61,05	69,98	72,86*
7P2-1	46,61	54,22	63,45
7P3	63,52*	70,23	72,27

Çizelge 4.74. Pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı (Devam)

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
7P3-1	46,24	53,81	63,30
7P4	53,33	72,20	72,40
7P4-1	53,55	69,91	65,80
7P5	61,05	72,30*	72,40
7P5-1	53,77	54,19	65,82
7P6	59,72	71,94	72,19
7P6-1	54,63	59,60	63,98
7P7	54,91	71,43	72,20
7P7-1	54,61	69,88	64,10
7P8	57,30	70,31	72,59
7P8-1	52,22	67,33	64,36
7P9	57,61	68,49	72,59
7P9-1	51,51	67,30	64,56
7P10	55,87	69,46	72,59
7P10-1	51,72	68,68	64,72
7P11	57,37	69,64	72,59
7P11-1	51,44	68,91	64,73
7P12	58,77	69,70	70,66
7P12-1	41,06	55,32	60,81
5P13	51,44	65,71	64,47
7P13-1	41,21	53,82	60,93
7P14	59,16	70,25	71,98
7P14-1	43,73	63,07	59,17
7P15	51,72	65,46	62,19
7P15-1	42,01	58,36	60,41

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 7P3 modelidir. 7P3 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.47’de görüldüğü gibidir. Burada, giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; çözgü iplik numarası (coz_tex), çözgü ipliği üretim metodu (coz_ipl_ure_met), çözgü ipliği büküm miktarı (coz_ipl_buk_mik), atkı iplik numarası (atk_tex), çözgü sıklığı (coz_sik), atkı sıklığı (atk_sik), örgü faktörlerinden FYF, çözgü kıvrımı (coz_kiv) ve mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_ağı), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan çözgü yönünde kopma kuvveti (kop_muk_coz) seçilmiştir. Gizli katman 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıkış nöron sayısı}) / 2$ formülünden; nöron sayısı $a = (9+1) / 2 = 5$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.47. 7P3 çözgü kopma kuvveti tahmini için yapay sinir hücresi

Yapay sinir ağları için 7P3, rastgele orman algoritmaları için 7P5 ve Mars tekniği için 7P2 özet tablosu Çizelge 4.75’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.75. Pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,6352	0,7230	0,7286
Ortalama mutlak hata (MAE)	9,0952	7,1734	7,5235
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	11,4698	9,6173	9,5812
Relatif mutlak hata (RAE)	%84,7014	% 66,8039	%70,0648
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%81,9893	% 68,7467	%68,4891
Toplam örnek sayısı (TNI)	147	147	147

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,728 R değeri ile Mars tekniği olduğu söylenebilir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE)’ ye bakıldığında en düşük değer rastgele orman algoritmalarında ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında ise en düşük değer mars tekniğinde çıkmıştır.

4.7.2 Karışım Kumaşlarda Çözgü Kopma Kuvveti Tahmin Modellerinin Kurulması

Karışım kumaşların çözgü kopma kuvvetini tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak çözgü kopma kuvveti alınırken, bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak aşağıdaki Şekil 4.48’den faydalanılmıştır.

MODEL 7-K																	
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Çözgü Kopma Mukavemeti (kgf)																	
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri												
	Çözgü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Ortalama Elyaf Mukavemet Katsayısı	Çözgü İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözgü Sıklık (tel /cm)	Atkı Sıklık (atki /cm)	Çözgü Kıvrım (%)	Ham Kumaş Birim Alan Ağırlık (gr/m-kare)	F1	KL1	CFF	FYF	K1	K	T1	TS	OG1
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x								
1	x	x	x	x	x	x	x	x		x							
2	x	x	x	x	x	x	x	x			x						
3	x	x	x	x	x	x	x	x				x					
4		x	x	x		x	x	x	x				x				
5		x	x	x		x	x	x		x			x				
6		x	x	x		x	x	x			x		x				
7		x	x	x		x	x	x				x	x				
8			x	x			x	x	x	x				x			
9			x	x			x	x		x				x			
10			x	x			x	x			x			x			
11			x	x			x	x				x		x			
12		x	x	x		x	x	x							x		
13			x	x			x	x								x	
14		x	x	x		x	x	x									x
15			x	x			x	x									x

Şekil 4.48. Karışım kumaşlarda çözgü kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.7.2.1 Karışım Kumaşlarda Çözgü Kopma Kuvveti İçin Regresyon Modelleri

Poliester/viskon karışım kumaşlarda çözgü kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler aşağıdaki Şekil 4.48’de verildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü ipliği büküm miktarı (coz_ipl_buk_mik), çözgü sıklığı (coz_sik), çözgü kıvrımı (coz_kiv), kumaş yapı faktörlerinden K1 (cov_fak_1), K (cov_fak) ve OG yaygın olarak kullanılmış olup, parametrelerden ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi) da zaman zaman modellere etkisi gözlemlenmiştir. Çözgü kopma kuvvetine etki edeceği düşünülen; çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat), atkı sıklığı (atk_sik), örgü faktörlerinden F1, KL1, CFF, FYF ve kumaş yapı faktörlerinden T1, TS, OG1’ in modellere hiçbir katkısı olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümeler için R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.76’da görüldüğü üzere regresyon 7K4-1, 7K5-1, 7K6-1 ve 7K7-1 modelleri olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.76. Karışım kumaşlarda çözgü kopma kuvveti regresyon modelleri için %R² belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R ²	Model No	k-fold R ²
7K0	8,87	7K8	35,64
7K0-1	46,54	7K8-1	46,77
7K1	9,90	7K9	42,28
7K1-1	46,54	7K9-1	46,77
7K2	15,07	7K10	41,42
7K2-1	46,54	7K10-1	46,77
7K3	15,07	7K11	41,42
7K3-1	46,54	7K11-1	46,77
7K4	31,74	7K12	27,20
7K4-1	52,34*	7K12-1	36,01
7K5	38,32	7K13	32,51
7K5-1	52,34*	7K13-1	36,01
7K6	38,25	7K14	33,41
7K6-1	52,34*	7K14-1	36,01
7K7	38,25	7K15	40,49
7K7-1	52,34*	7K15-1	40,35

Regresyonda en yüksek R² değerini veren 7K5 modeli için Çizelge 4.77'deki özet tabloda çözgü kopma kuvveti için regresyon denklemi incelendiğinde; çözgü ipliğinde büküm artışı, birim iplikte de mukavemet artışına neden olacaktır. Dolayısıyla büküm miktarının çözgü kopma kuvvetine pozitif katkısının olması beklenen bir durum iken regresyon denkleminde bu ilişki negatif olarak görülmektedir. Atkı iplik numarası arttığında yani kalınlaştığında çözgü kıvrımı artmasına bağlı olarak ipliğin dikey ve radyal yük taşıma kapasitesi değişir. Dikey doğrultuda azalan yük taşıma kapasitesi de kopma dayanımının düşmesine yol açacaktır. Ancak regresyon denklemi bu negatif ilişkiyle uyum içinde bir sonuç vermemiştir. Atkı sıklığı arttığında ise çözgü yönünde kopma kuvvetinden artış olması beklenir. Atkı sıklığı ve çözgü kopma kuvveti arasındaki bu pozitif ilişki, regresyon denkleminde zayıf bir negatif ilişki olarak yer almıştır. Ham kumaş birim alan ağırlığının artışı, çözgü kaynaklı artışın da olması koşuluyla çözgü yönünde kopma kuvvetinin artmasına neden olur, fakat regresyon denkleminde bu ilişki negatif çıkmıştır. Çözgü kıvrımının artması ile kıvrım açısına bağlı olarak ipliğin eksenel yük taşıma kapasitesi azalır ve kumaş mukavemeti düşer. Denklem bunu doğrular niteliktedir. Kumaşta çözgü sıklığı ve çözgü iplik numarasına göre artış gösteren kumaş yapı faktörlerinden K1 (cov_fak_1)' in artışının mukavemeti arttırması beklenen bir sonuç olup regresyon denkleminde de bu ilişki pozitif çıkmıştır. Örgü faktörü KL1, örgüdeki geçiş miktarı yani bağlantı sayısı arttıkça artış göstereceğinden çözgü kopma kuvvetini de artırır. Kumaşın

kompozisyonuna göre hesaplanan ortalama elyaf mukavemet katsayısı doğrudan elyaf, iplik ve kumaş mukavemetini pozitif etkilerki regresyon modelinde de bu ilişki doğrulanmaktadır.

7K5 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

coz_kiv, cov_fak_1

→ anlamlı

coz_ipl_buk_mik, atk_tex, atk_sik, ham_kum_bir_ala_agi, KL1, ort_ely_muk

→ anlamsız

$$\Rightarrow VIF < 10$$

tüm değişkenlerde

→ otokorelasyon yok

F- model anlamlılık testi

$$F_{\text{tablo}} = F(0,05, 8, 36) = 2,21$$

$$\Rightarrow F_{\text{hesaplanan}} = 9,35 \geq 2,21$$

→ H_1 hipotezi anlamlı

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

→ regresyon modeli anlamlı bulunur.

Çizelge 4.77. Minitab çözgü kopma kuvveti 7K5 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
kop_muk_coz = -139 - 0,138 coz_ipl_buk_mik + 0,47 atk_tex - 0,02 atk_sik - 0,029 ham_kum_bir_ala_agi - 1,991 coz_kiv + 7,29 cov_fak_1 + 29,9 KL1 + 5,57 ort_ely_muk						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	-139	300	-0,46	0,646		
coz_ipl_buk_mik	-0,138	0,162	-0,85	0,400	3,70	
atk_tex	0,47	1,28	0,37	0,716	4,54	
atk_sik	-0,02	1,49	-0,01	0,990	2,56	
ham_kum_bir_ala_agi	-0,029	0,195	-0,15	0,883	8,71	
coz_kiv	-1,991	0,628	-3,17	0,003	1,73	
cov_fak_1	7,29	2,00	3,65	0,001	4,92	
KL1	29,9	26,9	1,11	0,273	2,12	
ort_ely_muk	5,57	5,23	1,06	0,294	1,78	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
25,9939	67,52%	60,30%	38,12%	32,0401	38,32%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	8	50566,8	6320,85	9,35	0,000	
coz_ipl_buk_mik	1	490,6	490,63	0,73	0,400	
atk_tex	1	91,0	90,95	0,13	0,716	
atk_sik	1	0,1	0,10	0,00	0,990	
ham_kum_bir_ala_agi	1	14,8	14,81	0,02	0,883	
coz_kiv	1	6798,8	6798,79	10,06	0,003	
cov_fak_1	1	9011,1	9011,08	13,34	0,001	
KL1	1	836,4	836,42	1,24	0,273	
ort_ely_muk	1	765,7	765,65	1,13	0,294	
Error	36	24324,5	675,68			
Total	44	74891,3				

Modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturarak elde edilen revize model 7K5-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.78’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi çözgü kopma kuvvetine, çözgü ipliği büküm miktarı (coz_ip1_buk_mik) ve çözgü kıvrımı (coz_kiv) negatif yönde, kumaş yapı faktörlerinden K1 (cov_fak_1) pozitif yönde etki etmiştir. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda; açıklayıcı değişkenlerden kumaş yapı faktörü K1 (cov_fak_1) in modele en fazla katkı sağladığı görülmektedir. Kumaş yapı faktörü K1 (cov_fak_1) in 1 birim artması çözgü kopma kuvvetinde 5,987 oranında bir artışa sebep olmaktadır.

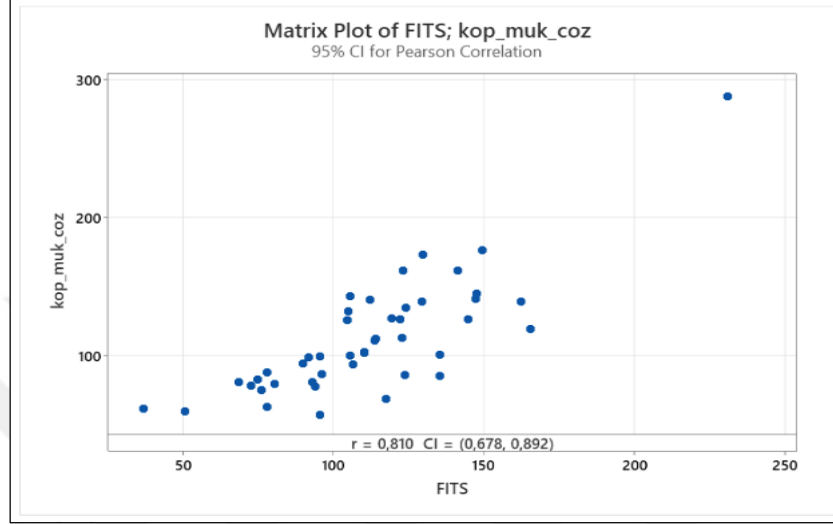
Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %52,34 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %72,34 ortalama bir değer olup bu modelin çözgü kopma kuvvetinin tahmin edilmesinde kontrollü kullanımı uygun değildir.

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value>0,150 değeri çıkmış ve bu değer P> 0,05 olduğu için model artıkların normal dağıldığı varsayımını da karşılamıştır.

Çizelge 4.78. Minitab çözgü kopma kuvveti 7K5-1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
kop_muk_coz = 163,2 - 0,2060 coz_ip1_buk_mik - 2,096 coz_kiv + 5,987 cov_fak_1						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	163,2	61,9	2,64	0,012		
coz_ip1_buk_mik	-0,2060	0,0836	-2,47	0,018	1,05	
coz_kiv	-2,096	0,466	-4,50	0,000	1,03	
cov_fak_1	5,987	0,888	6,74	0,000	1,05	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
25,0362	65,68%	63,17%	54,18%	28,1645	52,34%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	3	49192	16397,4	26,16	0,000	
coz_ip1_buk_mik	1	3810	3810,3	6,08	0,018	
coz_kiv	1	12692	12692,2	20,25	0,000	
cov_fak_1	1	28508	28507,8	45,48	0,000	
Error	41	25699	626,8			
Total	44	74891				

Modelden çıkan çözgü kopma kuvveti değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek çözgü kopma kuvveti arasında korelasyon grafiğinde Şekil 4.49’da görüldüğü üzere gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,8110$ ile iyi bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile çözgü kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dair bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı kontrollü olmalıdır.



Şekil 4.49. 7K5-1 karışım kumaşlarda çözgü kopma kuvveti regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

4.7.2.2 Karışım Kumaşlarda Çözgü Kopma Kuvveti İçin Yapay Zekâ Modelleri

Karışım kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznitelikler ile en iyi altküme modellerinin tahmin sonuçları R değeri Çizelge 4.79’da verilmiştir.

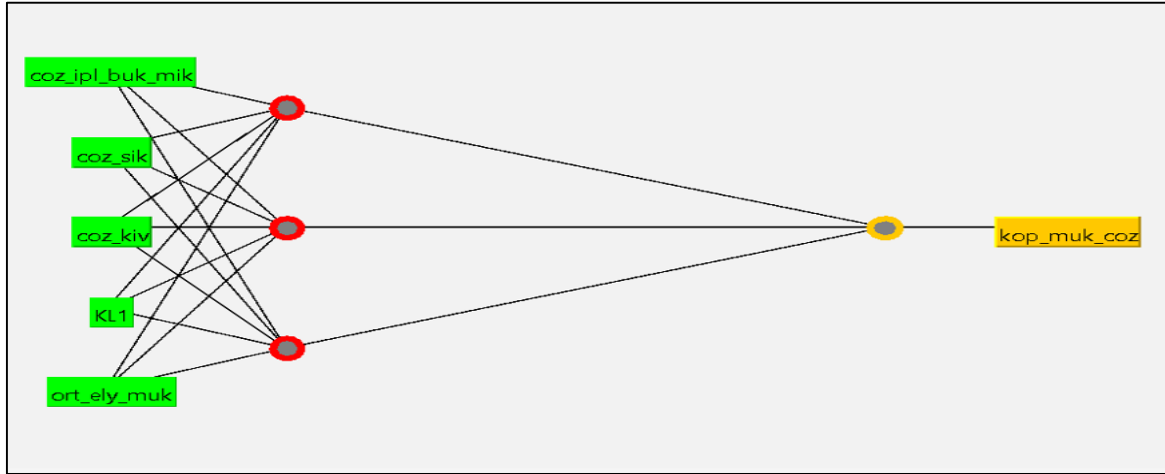
Çizelge 4.79. Karışım kumaşlarda çözgü kopma kuvveti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
7K0	49,85	55,98	29,33
7K0-1	22,96	45,87	46,60
7K1	37,81	55,46	27,05
7K1-1	60,79*	48,85	46,65
7K2	38,93	51,68	23,46
7K2-1	58,61	47,17	45,62
7K3	45,85	52,29	25,28
7K3-1	34,13	47,37	44,02
7K4	45,79	56,89	25,10
7K4-1	50,86	52,36	35,93
7K5	43,25	57,22*	26,52

Çizelge 4.79. Karışım kumaşlarda çözgü kopma kuvveti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı (Devam)

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
7K5-1	45,64	52,01	37,49
7K6	46,71	56,90	26,52
7K6-1	45,89	50,66	37,49
7K7	56,35	56,84	24,13
7K7-1	45,52	48,07	37,49
7K8	42,20	57,17	63,50
7K8-1	52,73	46,52	62,33
7K9	43,97	55,67	64,32*
7K9-1	52,73	46,52	62,33
7K10	46,01	56,68	64,32*
7K10-1	52,73	46,52	62,33
7K11	46,15	55,90	62,89
7K11-1	52,73	46,52	62,33
7K12	35,16	38,98	49,01
7K12-1	33,66	30,41	37,64
7K13	30,61	45,24	51,36
7K13-1	30,85	44,59	51,36
7K14	44,15	47,17	56,21
7K14-1	52,78	38,90	53,95
7K15	31,51	47,81	43,70
7K15-1	33,41	38,97	45,90

Yapay sinir ağlarında korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 7K1-1 modelidir.



Şekil 4.50. 7K1-1 çözgü kopma kuvveti tahmini için yapay sinir hücresi

7K1-1 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.50’de görüldüğü gibidir. Burada giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; çözgü ipliği büküm miktarı

(coz_ip1_buk_mik), çözgü sıklığı (coz_sik), çözgü kıvrımı (coz_kiv), örgü faktörlerinden KL1 ve ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan çözgü yönünde kopma kuvveti (kop_muk_coz) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıkış nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (5+1) / 2 = 3$ olarak kabul edilmiştir. Yapay sinir ağları için 7K1-1, rastgele orman algoritmaları için 7K5 ve Mars tekniği için 7K9 özet tablosu Çizelge 4.80’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.80. Karışım kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,6079	0,5722	0,6432
Ortalama mutlak hata (MAE)	23,9706	23,7629	24,3507
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	33,2376	33,5932	31,6842
Relatif mutlak hata (RAE)	%77,2671	% 76,5978	%78,4924
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%80,1841	% 81,042	%76,4367
Toplam örnek sayısı (TNI)	45	45	45

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,6432 R değeri ile Mars tekniği olduğu söylenebilir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE)’ ye bakıldığında en düşük değer rastgele orman algoritmalarında ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında ise en düşük değer Mars tekniğinde çıkmıştır.

4.7.3 Tüm Veri Setinde Çözgü Kopma Kuvveti Tahmin Modelleri Kurulması

Pamuklu ve karışım kumaşların veri seti ortak açıklayıcı değişkenler kullanılarak birleştirilmiş ve işletmelere özgü faktörler ihmal edilerek ortak bir model oluşturulmuştur. Tüm kumaşlarda çözgü kopma kuvvetinin tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıkış değişkeni) olarak çözgü kopma kuvveti, bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.51’den faydalanılmıştır.

MODEL 7PK																			
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Çözü Kopma Mukavemeti (kgf)																			
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																		
	Kumaş İplik Özellikleri					Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri													
						Sıklıklar		Kıvrım	Ağırlık	Örgü Faktörleri				Kumaş Yapı Faktörleri					
	Çözü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Ortalama Elyaf Mukavemet Katsayısı	Çözü İpliği Üretim Metodu	Çözü İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözü Sıklık (tel /cm)	Atkı Sıklık (atkı /cm)	Çözü Kıvrım (%)	Ham Kumaş Birim Alan Ağırlık (g/m-kare)	F1	KL1	CFF	FYF	K1	K	T1	TS	OG1	OG
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x						
4		x	x	x	x		x	x	x	x				x					
5		x	x	x	x		x	x	x		x			x					
6		x	x	x	x		x	x	x			x		x					
7		x		x	x		x	x	x				x	x					
8			x	x	x			x	x	x					x				
9			x	x	x			x	x		x				x				
10			x	x	x			x	x			x			x				
11			x	x	x			x	x				x		x				
12		x	x	x	x		x	x	x							x			
13			x	x	x			x	x								x		
14		x	x	x	x		x	x	x									x	
15			x	x	x			x	x										x

Şekil 4.51. Tüm kumaşlarda çözgü kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.7.3.1 Tüm Kumaşlarda Çözgü Kopma Kuvveti İçin Regresyon Modelleri

Pamuklu ve karışım kumaşların çözgü kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler aşağıdaki Şekil 4.51’de verildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü iplik numarası (coz_tex), ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat), çözgü sıklık (coz_sik), çözgü kıvrımı (coz_kiv), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi) ve kumaş yapı faktörlerinden K1, K, OG1, OG etkili olmuştur. Performansı biraz daha düşük olan modellerde zaman zaman atkı iplik numarası (atk_tex), çözgü ipliği üretim metodu (coz_ipl_ure_met), çözgü ipliği büküm miktarı (coz_ipl_buk_mik), , örgü faktörlerinden KL1, CFF, FYF gibi parametrelerin de modellere katkısı olmuştur. Modellere etki edeceği düşünülen atkı sıklığı (atk_sik), örgü faktörlerinden F1 ve kumaş yapı faktörlerinden T1 ve TS’ in modellere hiçbir etkisi olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelere dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.81’de görüldüğü üzere regresyon 7PK5-1 modeli olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.81. Tüm kumaşlarda çözgü kopma kuvveti regresyon modelleri için %R² belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R ²	Model No	k-fold R ²
7PK0	74,50	7PK8	74,53
7PK0-1	75,00	7PK8-1	74,71
7PK1	75,00	7PK9	75,06
7PK1-1	75,00	7PK9-1	75,19
7PK2	74,99	7PK10	74,99
7PK2-1	75,00	7PK10-1	75,10
7PK3	74,99	7PK11	74,99
7PK3-1	75,00	7PK11-1	75,10
7PK4	75,66	7PK12	73,72
7PK4-1	75,97	7PK12-1	73,99
7PK5	76,21	7PK13	71,70
7PK5-1	76,33*	7PK13-1	71,84
7PK6	76,19	7PK14	74,26
7PK6-1	76,26	7PK14-1	74,61
7PK7	76,19	7PK15	73,29
7PK7-1	76,26	7PK15-1	73,52

Regresyonda en yüksek R² değerini veren 7PK5 modeli için Çizelge 4.82'deki özet tabloda çözgü kopma kuvveti için regresyon denklemi incelendiğinde; çözgü ipliği bükümünün artışı, iplikte de mukavemet artışı sağlayacağından büküm miktarı ile çözgü kopma kuvveti arasında pozitif bir ilişki beklenirken; bu ilişki regresyon denkleminde negatif olarak görülmektedir. Atkı iplik numarası arttığında yani kalınlaştığında çözgü kıvrımı artar. Çözgü kıvrımının artması ipliğin eksenel yük taşıma kapasitesini buna bağlı olarak kumaş kopma mukavemetini düşürür. Atkı iplik numarası ile kopma mukavemeti arasındaki bu ilişki denklemde de negatif yönlü çıkmıştır. Atkı sıklığı ile çözgü kopma mukavemeti arasında da benzer ilişki vardır, fakat denklemde bu ilişki pozitif yönlü çıkmıştır. Çözgü ipliği üretim metodu, sayısal bir değerler iplik paketleme yoğunluğuna göre verilmiştir. Dolayısıyla paket yoğunluğunun artması iplik mukavemetinin, dolayısıyla kumaş mukavemetinin artışına sebep olur. Regresyon denklemi bunu doğrular niteliktedir. Ham kumaş birim alan ağırlığının artması, artışın çözgü kaynaklı da olması kaydıyla; çözgü yönünde kopma kuvvetinin artmasına neden olur ki regresyon denklemi de bu ilişki doğrulamaktadır. Örgü değişmeksizin çözgü yönünde bir kıvrım artışı, çözgü ipliğinin temas yüzeyini artıracığı için mukavemetin de artmasını sağlar. Dengeli kumaşlarda örgüde geçiş miktarının artması sonucu oluşan çözgü kıvrım artışı mukavemeti de artırır. Bu ilişki regresyon denkleminde negatif yönlü çıkmıştır. Kumaşta çözgü sıklığı ve çözgü iplik numarasına göre artış gösteren kumaş yapı faktörlelerinden K1 (cov_fak_1)' in artışının mukavemeti arttırması beklenen bir sonuç olup regresyon denkleminde de bu ilişki

pozitif çıkmıştır. Örgü faktörü KL1, örgüdeki geçiş miktarı yani bağlantı sayısının artışını ifade ettiği için çözgünün daha iyi paketlenmesini sağlar ve çözgü kopma kuvvetini artırır. Kumaşın kompozisyonuna göre hesaplanan ortalama elyaf mukavemet katsayısı doğrudan elyaf, iplik ve kumaş mukavemetini etkileyen bir bir değişkendir ve regresyon modeli de bu ilişkiyi doğrulamaktadır.

Çizelge 4.82. Minitab çözgü kopma kuvveti 7PK5 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation

$$\begin{aligned} \text{kop_muk_koz} = & -166,3 - 0,0333 \text{ coz_ipl_buk_mik} - 0,122 \text{ atk_tex} + 0,361 \text{ atk_sik} \\ & + 5,37 \text{ coz_ipl_ure_met} + 0,1265 \text{ ham_kum_bir_ala_agi} - 2,219 \text{ coz_kiv} \\ & + 3,049 \text{ cov_fak_1} + 18,29 \text{ KL1} + 5,483 \text{ ort_ely_muk_kat} \end{aligned}$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-166,3	33,3	-5,00	0,000	
coz_ipl_buk_mik	-0,0333	0,0175	-1,90	0,059	9,06
atk_tex	-0,122	0,176	-0,69	0,490	7,84
atk_sik	0,361	0,377	0,96	0,340	5,57
coz_ipl_ure_met	5,37	2,06	2,61	0,010	7,05
ham_kum_bir_ala_agi	0,1265	0,0649	1,95	0,053	13,54
coz_kiv	-2,219	0,309	-7,19	0,000	1,48
cov_fak_1	3,049	0,601	5,08	0,000	4,66
KL1	18,29	8,28	2,21	0,028	2,13
ort_ely_muk_kat	5,483	0,755	7,26	0,000	9,40

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
16,1911	79,75%	78,75%	75,61%	17,0867	76,21%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	9	187880	20875,5	79,63	0,000
coz_ipl_buk_mik	1	944	943,6	3,60	0,059
atk_tex	1	125	125,2	0,48	0,490
atk_sik	1	240	240,3	0,92	0,340
coz_ipl_ure_met	1	1782	1782,2	6,80	0,010
ham_kum_bir_ala_agi	1	997	997,3	3,80	0,053
coz_kiv	1	13553	13553,2	51,70	0,000
cov_fak_1	1	6760	6759,8	25,79	0,000
KL1	1	1281	1280,5	4,88	0,028
ort_ely_muk_kat	1	13828	13827,6	52,75	0,000
Error	182	47712	262,2		
Lack-of-Fit	175	47712	272,6	7162,55	0,000
Pure Error	7	0	0,0		
Total	191	235591			

7PK5 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$T_{\text{tablo}} (0,05; 182) = 1,974$

$\Rightarrow T_{\text{değ}} > 1,974$

coz_kiv, cov_fak_1, coz_ipl_ure_met, KL1, ort_ely_muk

→ anlamlı

coz_ipl_buk_mik, atk_tex, atk_sik, ham_kum_bir_ala_agi

→ anlamsız

$\Rightarrow P_{deg} < 0,05$
 coz_kiv, cov_fak_1, coz_ipi_ure_met, KL1, ort_ely_muk $\rightarrow$ anlamlı
 coz_ipi_buk_mik, atk_tex, atk_sik, ham_kum_bir_ala_agi $\rightarrow$ anlamsız

$\Rightarrow VIF < 10$
 ham_kum_bir_ala_agi $\rightarrow$ otokorelasyon var

F- model anlamlılık testi

$$F_{tablo} = F(0,05, 9, 182) = 1,88$$

$\Rightarrow F_{hesaplanan} = 79,63 \geq 2,21 \rightarrow H_1$ hipotezi anlamlı
 $\Rightarrow P_{deg} < 0,05 \rightarrow$ regresyon modeli anlamlı bulunur.

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 7PK5-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

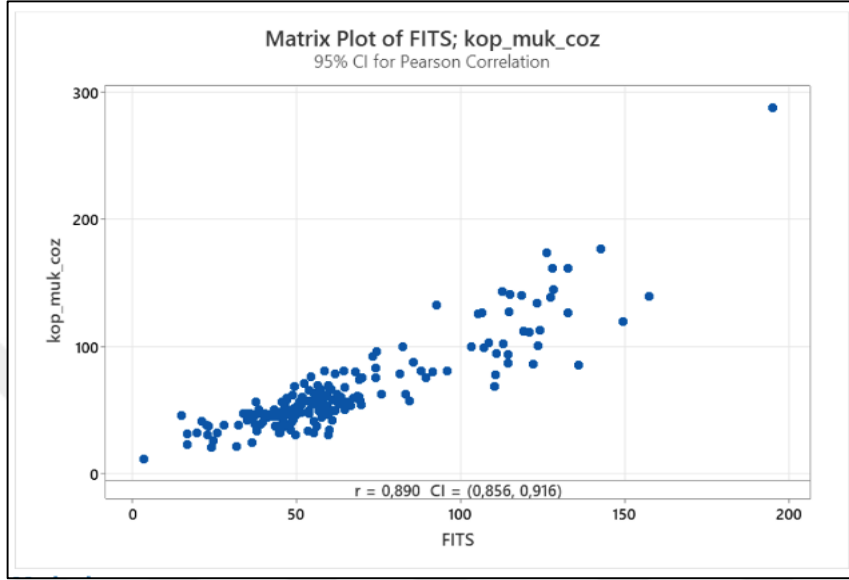
Çizelge 4.83. Minitab çözgü kopma kuvveti 7PK5-1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
kop_muk_coz = -220,5 + 4,03 coz_ipi_ure_met + 0,1393 ham_kum_bir_ala_agi - 2,283 coz_kiv + 3,193 cov_fak_1 + 20,48 KL1 + 6,483 ort_ely_muk_kat						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	-220,5	20,0	-11,03	0,000		
coz_ipi_ure_met	4,03	1,71	2,36	0,019	4,81	
ham_kum_bir_ala_agi	0,1393	0,0278	5,02	0,000	2,45	
coz_kiv	-2,283	0,292	-7,81	0,000	1,31	
cov_fak_1	3,193	0,457	6,98	0,000	2,67	
KL1	20,48	7,72	2,65	0,009	1,84	
ort_ely_muk_kat	6,483	0,569	11,40	0,000	5,27	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
16,2817	79,18%	78,51%	75,93%	17,0416	76,33%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	6	186549	31091,5	117,28	0,000	
coz_ipi_ure_met	1	1476	1476,1	5,57	0,019	
ham_kum_bir_ala_agi	1	6674	6674,0	25,18	0,000	
coz_kiv	1	16185	16184,8	61,05	0,000	
cov_fak_1	1	12922	12921,8	48,74	0,000	
KL1	1	1867	1867,3	7,04	0,009	
ort_ely_muk_kat	1	34446	34445,9	129,94	0,000	
Error	185	49042	265,1			
Lack-of-Fit	178	49042	275,5	7238,22	0,000	
Pure Error	7	0	0,0			
Total	191	235591				

Çizelge 4.83’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi çözgü kopma kuvvetine, çözgü ipliği üretim metodu (coz_ipi_ure_met), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi), kumaş yapı faktörlerinden K1 (cov_fak_1), örgü faktörlerinden KL1 ve ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat) pozitif yönde, çözgü kıvrımı (coz_kiv)’nin ise modele katkısı ise negatif yönlüdür. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda örgü

faktörlerinden KL1' in modele katkısının en fazla olduğu görülmektedir. Modelde örgü faktörlerinden KL1' in 1 birimlik artışı, kumaş ham enine 20,48 oranında artış sağlamaktadır.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %76,33 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %85,63 ile çok iyi bir değer olup bu modelin çözgü kopma kuvvetinin tahmin edilmesinde kullanılması uygundur.



Şekil 4.52. 7PK5-1 tüm kumaşlarda çözgü kopma kuvveti regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value = 0,037 değeri çıkmış ve bu değer $P > 0,05$ şartını sağlamadığı için model artıkların normal dağıldığı varsayımını da karşılamamaktadır.

Modelden çıkan çözgü kopma kuvveti değeri ile veri setinde kullanılan gerçek gerçek çözgü kopma kuvveti arasında korelasyon Şekil 4.52'de verilmiştir. Yukarıdaki korelasyon grafiğinde de görüldüğü üzere gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,890$ ile çok iyi bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı uygundur.

4.7.3.2 Tüm Kumaşlarda Çözgü Kopma Kuvveti İçin Yapay Zekâ Modelleri

Tüm kumaşların çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ ana modellerinin indirgenmiş öznitelikler ile en iyi altküme modelleri tahmin sonuçları R değeri Çizelge 4.84'te verilmiştir.

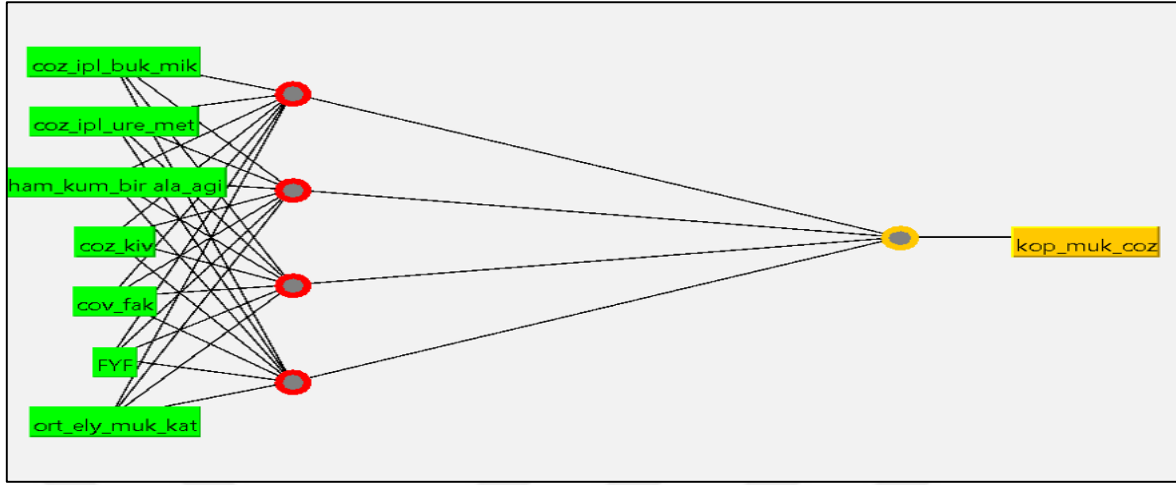
Çizelge 4.84. Tüm kumaşlarda çözgü kopma kuvveti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
7PK0	68,69	83,13	81,01
7PK0-1	66,00	75,43	78,62
7PK1	70,74	83,46	82,09
7PK1-1	69,42	76,01	79,71
7PK2	69,50	83,09	82,44
7PK2-1	70,52	77,19	78,53
7PK3	68,37	83,18	83,35
7PK3-1	70,57	76,92	78,75
7PK4	71,32	84,04	85,28*
7PK4-1	66,00	75,43	78,62
7PK5	72,60	83,29	84,85
7PK5-1	69,42	76,01	79,71
7PK6	71,90	83,64	85,28*
7PK6-1	70,52	77,19	78,53
7PK7	72,00	83,12	85,28*
7PK7-1	70,57	76,92	78,75
7PK8	76,08	84,09	84,05
7PK8-1	66,00	75,43	78,62
7PK9	77,11	83,89	84,49
7PK9-1	69,42	76,01	79,71
7PK10	77,81	84,37*	84,63
7PK10-1	70,52	77,19	78,53
7PK11	78,03*	83,86	84,55
7PK11-1	70,57	76,92	78,75
7PK12	70,98	78,80	83,80
7PK12-1	66,01	74,62	77,83
7PK13	74,67	81,64	81,23
7PK13-1	72,00	79,63	77,89
7PK14	73,98	81,18	82,60
7PK14-1	75,04	82,97	83,83
7PK15	74,62	81,28	84,69
7PK15-1	66,01	74,62	77,83

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 7PK11 modelidir.

7PK11 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.53'te görüldüğü gibidir. Burada giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; çözgü ipliği büküm miktarı (coz_ipl_buk_mik), çözgü ipliği üretim miktarı (coz_ipl_ure_met), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi), çözgü kıvrımı (coz_kiv), kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak), örgü faktörü FYF ve ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan çözgü yönünde kopma kuvveti (kop_muk_coz)

seçilmiştir. Gizli katman 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıktı nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (7+1) / 2 = 4$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.53. 7PK11 çözgü kopma kuvveti tahmini için yapay sinir hücresi

Yapay sinir ağları için 7PK11, rastgele orman algoritmaları için 7PK10 ve Mars tekniği için 7PK4 özet tablosu Çizelge 4.85’de verilmiştir.

Çizelge 4.85. Tüm kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,7803	0,8437	0,8528
Ortalama mutlak hata (MAE)	15,1046	11,0961	12,5868
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	22,4732	18,8067	18,2981
Relatif mutlak hata (RAE)	%61,642	% 45,2833	%51,3668
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%63,9472	% 53,5143	%52,0672
Toplam örnek sayısı (TNI)	192	192	192

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,8528 R değeri ile Mars tekniği olduğu söylenebilir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE)’ ye bakıldığında en düşük değer rastgele orman algoritmalarında ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında en düşük değer mars tekniğinde çıkmıştır.

4.8 Atkı Kopma Kuvveti İçin Tahmin Modelleri

Pamuklu kumaşlar, karışım kumaşlar ve bunların biraraya gelmesi ile oluşturulan tüm kumaşlar için ayrı ayrı öncelikle regresyon modelleri, daha sonra aynı açıklayıcı değişkenler ile yapay zekâ modellerinden yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve Mars tekniği ile

modeller oluşturulmuş ve bu modellerin tahmin performansları için % R korelasyon katsayı ile karşılaştırılmıştır.

4.8.1 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Kopma Kuvveti İçin Tahmin Modellerinin Kurulması

Pamuklu kumaşların atkı kopma kuvvetini tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak ham kumaş atkı kopma kuvveti (atk_kop_muk), bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.54'ten faydalanılmıştır.

MODEL 8-P																		
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Atkı Kopma Mukavemeti (kgf)																		
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																	
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri													
	Çözümlü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Atkı İpliği Üretim Metodu	Atkı İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözümlü Sıklık (tel /cm)	Atkı Sıklık (atkı /cm)	Atkı Kıvrım (%)	Mamül Kumaş Birim Alan Ağırlık (gr/m-kare)	F2	KL2	CFF	FYF	K2	K	T2	TS	OG2	OG
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
1	x	x	x	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x	x	x	x				x						
4	x		x	x	x		x	x	x				x					
5	x		x	x	x		x	x		x			x					
6	x		x	x	x		x	x			x		x					
7	x		x	x	x		x	x				x	x					
8			x	x			x	x	x					x				
9			x	x			x	x		x					x			
10			x	x			x	x			x				x			
11			x	x			x	x				x			x			
12	x		x	x	x		x	x								x		
13			x	x			x	x									x	
14	x		x	x	x		x	x										x
15			x	x			x	x										x

Şekil 4.54. Pamuklu kumaşlarda atkı kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.8.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Kopma Kuvveti İçin Regresyon Modelleri

Pamuklu kumaşlarda atkı kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler aşağıdaki Şekil 4.54'te verildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), atkı sıklığı (atk_sik), mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_agi) ve kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2), TS ve OG yaygın olarak kullanılmıştır. Tahmin gücü en yüksek olan 4, 5, 6 ve 7. modellere çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı ipliği üretim metodu

(atk_ipl_ure_met), çözgü sıklığı (coz_sik) ve mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_agi) etki etmiştir. Atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met) ve çözgü sıklığı (coz_sik) performansı daha düşük modellerde de zaman zaman modellere dahil olmuştur. Atkı kopma kuvvetine etkisi olduğu düşünülen atkı sıklığı (atk_sik), atkı kıvrımı (atk_kiv), örgü faktörlerinden F2, KL2, CFF ve FYF, kumaş yapı faktörlerinden de K(cov_fak), T2 ve OG2' nin modellere hiçbir etkisi olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelerle dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.86'da görüldüğü üzere regresyon 8P4-1, 8P5-1, 8P6-1, 8P7-1 modelleri olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.86. Pamuklu kumaşlarda atkı kopma kuvveti regresyon modelleri için $\%R^2$ belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
8P0	65,55	8P8	52,40
8P0-1	66,18	8P8-1	52,51
8P1	65,80	8P9	51,87
8P1-1	66,18	8P9-1	52,51
8P2	65,65	8P10	52,34
8P2-1	66,18	8P10-1	52,51
8P3	65,65	8P11	52,34
8P3-1	66,18	8P11-1	52,51
8P4	66,79	8P12	63,35
8P4-1	67,46*	8P12-1	62,76
8P5	67,00	8P13	53,29
8P5-1	67,46*	8P13-1	53,79
8P6	67,06	8P14	62,80
8P6-1	67,46*	8P14-1	62,76
8P7	67,06	8P15	53,57
8P7-1	67,46*	8P15-1	54,02

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 8P6 modeli için Çizelge 4.87'deki özet tabloda atkı kopma kuvveti için regresyon denklemi incelendiğinde; çözgü iplik numarası arttığında yani çözgü ipliği kalınlaştığında atkı kıvrımı artar ve atkı ipliğinin eksenel yük taşıma kapasitesi azalmış olur. Bu durumda atkı yönünde kumaş daha kolay kopar. Atkı ipliği üretim metoduna verilen kodlar ipliklerin paket yoğunlukları dikkate alınarak verilmiştir. Buna göre paket yoğunluğu arttıkça iplik mukavemeti, dolayısıyla kumaş mukavemeti artacaktır. Bu pozitif ilişki denklemde de görülmektedir. Atkı ipliğinde büküm miktarının artışı birim iplikte de mukavemet artışına neden olduğundan, büküm miktarının atkı kopma kuvvetine pozitif katkısının olması beklenen bir durum iken regresyon denkleminde bu ilişki negatif olarak

görülmektedir. Bu durumun büküm değişkeninin diğer değişkenler ile çoklu korelasyonundan kaynaklanabilir ki 10'un üzerinde VIF değeri bu olasılığı güçlendirmektedir. Çözgü sıklığı arttığında atkı kıvrımı artar ve atkı ipliklerinin kıvrım açısına bağlı olarak eksenel yük taşıma kapasiteleri düşer. Bu durumda atkı kopma mukavemeti ile çözgü sıklığı arasında negatif ilişki vardır. Aynı durum çözgü iplik numarası için de geçerlidir. Denkleminde hem çözgü iplik numarası hem de çözgü sıklığı ile çözgü kopma mukavemeti arasında olması beklenen negatif ilişki görülmektedir. Kumaşta atkı sıklığı ve atkı iplik numarasına göre artış gösteren kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2)'nin artışının mukavemeti arttırması beklenen bir sonuç olup regresyon denkleminde de bu ilişki pozitif çıkmıştır. Örgü faktörü CFF, örgüdeki geçiş miktarı arttıkça artarken dolayısıyla örgüde bağlantı sayısının artması, atkı kopma kuvvetini arttırır. Aynı örgü için kumaşlarda atkı yönünde kıvrımın artması ile atkı ipliğinin hareketinin kısıtlamasından dolayı mukavemet azalırken, dengeli kumaşlarda örgüde geçiş miktarının artması ile oluşan atkı kıvrımının artması, mukavemeti arttırır. Bu ilişki regresyon denkleminde pozitif yönlü çıkmıştır. Kumaş birim alan ağırlığının artması da kumaşta kopma kuvvetini arttıran faktörlerdendir, burada regresyon denklemi de bunu doğrulamaktadır.

Çizelge 4.87. Minitab atkı kopma kuvveti 8P6 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
$\text{kop_muk_atk} = -20,6 - 0,464 \text{ coz_tex} + 3,53 \text{ atk_ipl_ure_met} - 0,0075 \text{ atk_ipl_buk_mik} - 0,246 \text{ coz_sik} + 2,074 \text{ cov_fak_2} + 2,99 \text{ CFF} + 0,548 \text{ atk_kiv} + 0,1900 \text{ mam_kum_bir_ala_agi}$						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	-20,6	14,8	-1,39	0,166		
coz_tex	-0,464	0,153	-3,04	0,003	8,30	
atk_ip1_ure_met	3,53	1,61	2,19	0,030	3,46	
atk_ip1_buk_mik	-0,0075	0,0107	-0,70	0,487	12,52	
coz_sik	-0,246	0,175	-1,41	0,162	7,72	
cov_fak_2	2,074	0,495	4,19	0,000	4,10	
CFF	2,99	2,79	1,07	0,286	2,25	
atk_kiv	0,548	0,945	0,58	0,563	2,15	
mam_kum_bir_ala_agi	0,1900	0,0455	4,18	0,000	16,26	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
8,81818	70,36%	68,63%	66,27%	9,00541	67,06%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	8	25287,2	3160,90	40,65	0,000	
coz_tex	1	717,5	717,53	9,23	0,003	
atk_ip1_ure_met	1	372,1	372,13	4,79	0,030	
atk_ip1_buk_mik	1	37,8	37,80	0,49	0,487	
coz_sik	1	153,7	153,69	1,98	0,162	
cov_fak_2	1	1363,0	1363,03	17,53	0,000	
CFF	1	89,3	89,30	1,15	0,286	
atk_kiv	1	26,2	26,19	0,34	0,563	
mam_kum_bir_ala_agi	1	1357,6	1357,63	17,46	0,000	
Error	137	10653,2	77,76			
Lack-of-Fit	130	10641,6	81,86	49,33	0,000	
Pure Error	7	11,6	1,66			
Total	145	35940,4				

8P6 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$$T_{\text{tablo}} (0,05; 137) = 1,979$$

$$\Rightarrow T_{\text{değ}} > 1,979$$

coz_tex, atk_ipl_ure_met, cov_fak_2, mam_kum_bir_ala_agi
atk_ipl_buk_mik, coz_sik, CFF, atk_kiv

→ anlamlı
→ anlamsız

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

coz_tex, atk_ipl_ure_met, cov_fak_2, mam_kum_bir_ala_agi
atk_ipl_buk_mik, coz_sik, CFF, atk_kiv

→ anlamlı
→ anlamsız

$$\Rightarrow VIF < 10$$

atk_ipl_buk_mik, mam_kum_bir_ala_agi

→ otokorelasyon var

F- model anlamlılık testi

$$F_{\text{tablo}} = F (0,05, 8, 137) = 1,94$$

$$\Rightarrow F_{\text{hesaplanan}} = 40,65 \geq 1,94$$

→ H_1 hipotezi anlamlı

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

→ regresyon modeli anlamlı bulunur.

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 8P6-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.88’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi çözgü kopma kuvvetine; atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2) ve mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_agi) pozitif yönde ve ve çözgü sıklığı (coz_sik) ise negatif yönde etki etmiştir. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda, atkı ipliği üretim metodu’ nun (atk_ipl_ure_met) 1 birimlik artışı, atkı kopma kuvvetinin 3,16 oranında artmasına sebep olduğu görülmektedir.

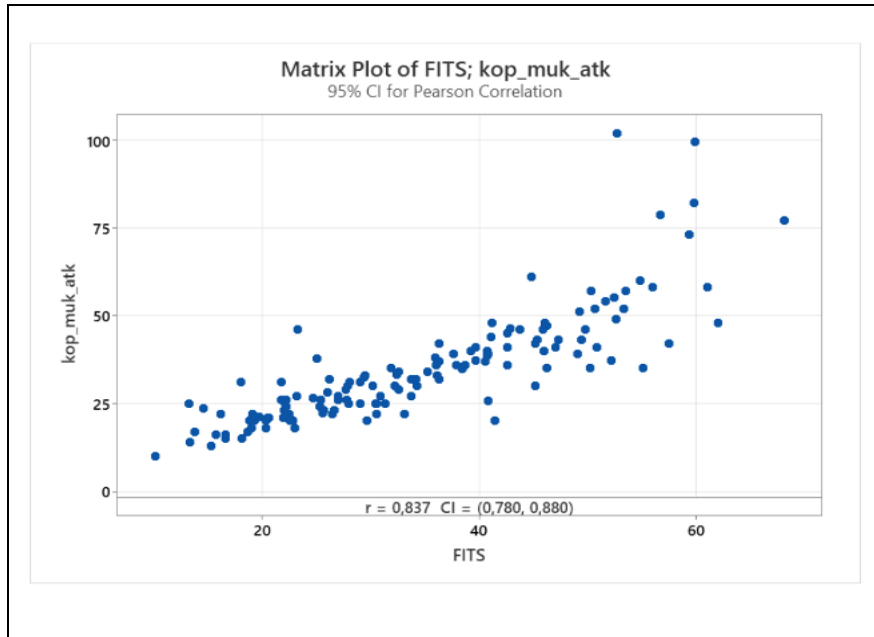
Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri % 67,46 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %82,13 ile iyi bir değer olup bu modelin atkı kopma kuvvetinin tahmin edilmesinde kullanımı kontrollü olmalıdır.

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value<0,01 değeri çıkmış ve bu değer P> 0,05 şartını sağlamadığı için model artıkların normal dağıldığı varsayımını karşılamamıştır.

Çizelge 4.88. Minitab atkı kopma kuvveti 8P6-1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation					
$\text{kop_muk_atk} = -13,57 - 0,512 \text{ coz_tex} + 3,16 \text{ atk_ipl_ure_met} - 0,393 \text{ coz_sik} + 2,048 \text{ cov_fak_2} + 0,1967 \text{ mam_kum_bir_ala_agi}$					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-13,57	7,11	-1,91	0,059	
coz_tex	-0,512	0,137	-3,74	0,000	6,72
atk_ipl_ure_met	3,16	1,21	2,61	0,010	1,97
coz_sik	-0,393	0,123	-3,20	0,002	3,83
cov_fak_2	2,048	0,470	4,36	0,000	3,73
mam_kum_bir_ala_agi	0,1967	0,0319	6,16	0,000	8,09
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
8,77509	70,01%	68,93%	67,11%	8,94992	67,46%
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	25160,1	5032,02	65,35	0,000
coz_tex	1	1077,1	1077,08	13,99	0,000
atk_ipl_ure_met	1	525,0	525,03	6,82	0,010
coz_sik	1	788,7	788,69	10,24	0,002
cov_fak_2	1	1462,4	1462,40	18,99	0,000
mam_kum_bir_ala_agi	1	2922,8	2922,76	37,96	0,000
Error	140	10780,3	77,00		
Lack-of-Fit	133	10768,7	80,97	48,79	0,000
Pure Error	7	11,6	1,66		
Total	145	35940,4			

Şekil 4.55’de görüldüğü üzere gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.55. 8P6-1 pamuklu kumaşlarda atkı kopma kuvveti regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

Modelden çıkan atkı kopma kuvveti değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek atkı kopma kuvveti arasında korelasyona baktığımızda; Şekil 4.55’de görüldüğü üzere gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı, $r = 0,837$ ile yüksek bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı kontrollü olmalıdır.

4.8.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Kopma Kuvveti İçin Yapay Zekâ Modelleri

Pamuklu kumaşlarda atkı kopma kuvveti için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznetelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.89’da verildiği gibidir.

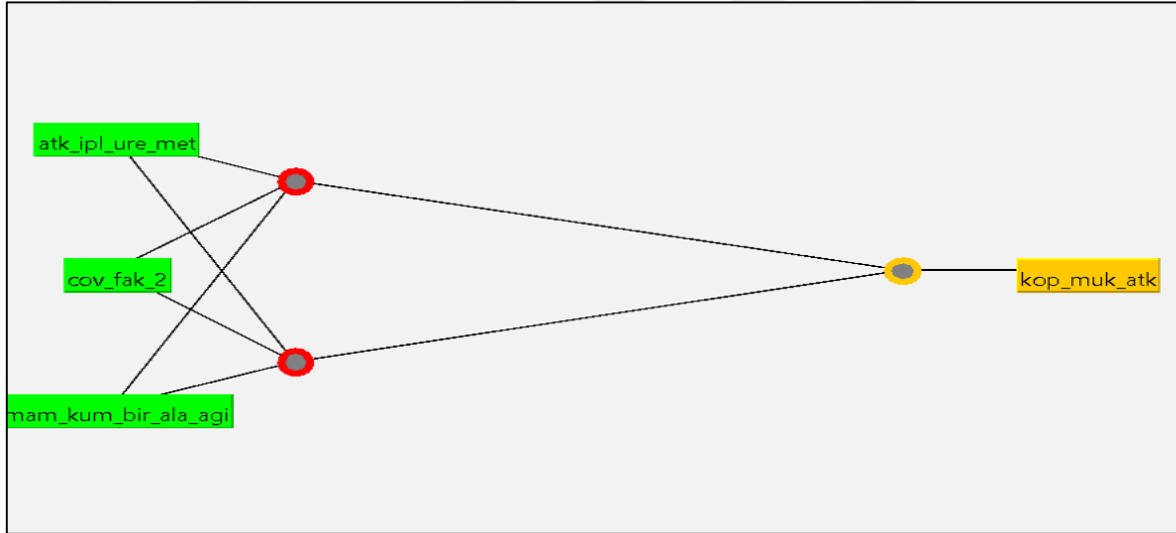
Çizelge 4.89. Tüm kumaşlarda atkı kopma kuvveti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
8P0	71,96	79,19	78,67
8P0-1	65,57	71,71	68,90
8P1	74,23	78,79	78,59
8P1-1	65,32	65,32	68,18
8P2	73,11	80,30	78,73
8P2-1	65,80	72,26	68,62
8P3	73,80	80,40	78,67
8P3-1	65,81	71,44	69,18
8P4	74,07	78,52	77,91
8P4-1	77,36*	80,87*	80,78*
8P5	72,12	78,96	78,16
8P5-1	77,36*	80,87*	80,78*
8P6	72,51	79,52	78,43
8P6-1	77,36*	80,87*	80,78*
8P7	72,14	78,87	78,20
8P7-1	77,36*	80,87*	80,78*
8P8	64,99	75,07	70,22
8P8-1	65,27	74,22	69,22
8P9	67,71	74,27	70,41
8P9-1	64,19	73,88	70,57
8P10	67,60	74,35	69,88
8P10-1	64,51	75,31	69,95
8P11	67,55	74,75	74,75
8P11-1	64,51	74,88	70,54
8P12	70,96	76,75	78,36
8P12-1	69,39	74,77	68,50

Çizelge 4.89. Tüm kumaşlarda atkı kopma kuvveti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı (Devam)

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
8P13	67,66	74,43	70,89
8P13-1	65,81	75,12	68,63
8P14	70,18	76,36	77,50
8P14-1	67,57	78,21	73,52
8P15	68,95	74,20	71,36
8P15-1	66,92	76,02	69,73

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 8P4-1 modelidir.



Şekil 4.56. 8P4-1 atkı kopma kuvveti tahmini için yapay sinir hücresi

8P4-1 kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.56’da görüldüğü gibidir. Burada, giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2) ve mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_agi), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan atkı yönünde kopma kuvveti (kop_muk_atk) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıktı nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (3+1) / 2 = 2$ olarak kabul edilmiştir.

Rastgele orman algoritmalarında indirgenmiş nitelikler ile oluşturulan 8P4-1 ham modelde girdi değişkeni (açıklayıcı değişken & bağımsız değişken) olarak; atkı ipliği üretim

metodu (atk_ipl_ure_met), kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2) ve mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_agi) alınmıştır.

Mars tekniğinde indirgenmiş nitelikler ile oluşturulan 8P4-1 modelde girdi değişkeni (açıklayıcı değişken & bağımsız değişken) olarak; atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2) ve mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_agi) alınmıştır.

Yapay sinir ağları için 8P4-1, rastgele orman algoritmaları için 8P4-1 ve Mars tekniği için 8P4-1 özet tablosu Çizelge 4.90’da verildiği gibidir.

Çizelge 4.90. Pamuklu kumaşlarda atkı kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,7736	0,8087	0,8078
Ortalama mutlak hata (MAE)	7,3081	5,8531	6,2594
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	10,185	9,2489	9,2743
Relatif mutlak hata (RAE)	%61,9091	% 49,583	%53,0247
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%64,4654	% 58,5402	%58,7006
Toplam örnek sayısı (TNI)	146	146	146

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,8087 R değeri ile rastgele orman algoritması olduğu görülmektedir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında en düşük değer rastgele orman algoritmalarında çıkmıştır.

4.8.2 Karışım Kumaşlarda Atkı Kopma Kuvveti Tahmin Modellerinin Kurulması

Karışım kumaşların atkı kopma kuvvetini tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak atkı kopma kuvveti alınmıştır. Bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak aşağıdaki Şekil 4.57’den faydalanılmıştır.

MODEL 8-K																	
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Atkı Kopma Mukavemeti (kgf)																	
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri												
					Sıklıklar		Kıvrım	Ağırlık	Örgü Faktörleri				Kumaş Yapı Faktörleri				
	Çözümlü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Ortalama Elyaf Mukavemet Katsayısı	Atkı İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözümlü Sıklık (tel /cm)	Atkı Sıklık (atkı /cm)	Atkı Kıvrım (%)	Ham Kumaş Birim Alan Ağırlık (gr/m-kare)	F2	KL2	CFF	FYF	K2	K	T2	TS	OG2
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x								
1	x	x	x	x	x	x	x	x		x							
2	x	x	x	x	x	x	x	x			x						
3	x	x	x	x	x	x	x	x				x					
4	x		x	x	x		x	x	x				x				
5	x		x	x	x		x	x		x			x				
6	x		x	x	x		x	x			x		x				
7	x		x	x	x		x	x				x	x				
8			x	x			x	x	x					x			
9			x	x			x	x		x				x			
10			x	x			x	x			x			x			
11			x	x			x	x				x		x			
12	x		x	x	x		x	x							x		
13			x	x			x	x								x	
14	x		x	x	x		x	x									x
15			x	x			x	x									x

Şekil 4.57. Karışım kumaşlarda atkı kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir).

4.8.2.1 Karışım Kumaşlarda Atkı Kopma Kuvveti İçin Regresyon Modelleri

Poliester-viskon karışım kumaşlarda atkı kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.57’de verildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde atkı kıvrımı (atk_kiv), kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2), OG2 ve OG yaygın olarak kullanılmış olup, parametrelerden ham kumaş birim alan ağırlığının (ham_kum_bir_ala_agi) da zaman zaman modellere etkisi gözlemlenmiştir. Çözümlü kopma kuvvetine etki edeceği düşünülen; çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat), atkı ipliği büküm miktarı (atl_ipl_buk_mik), çözgü sıklık (coz_sik), atkı sıklığı (atk_sik), örgü faktörlerinden F2, KL2, CFF, FYF ve kumaş yapı faktörlerinden K, T2 ve TS’ in modellere hiçbir katkısı olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümeler için R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.91’de görüldüğü üzere regresyon 8K4-1, 8K5-1, 8K6-1 ve 8K7-1 modelleri olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.91. Karışım kumaşlarda atkı kopma kuvveti regresyon modelleri için %R² belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R ²	Model No	k-fold R ²
8K0	3,16	8K8	16,27
8K0-1	23,62	8K8-1	23,62
8K1	12,50	8K9	19,71
8K1-1	23,62	8K9-1	23,62
8K2	6,06	8K10	20,96
8K2-1	23,62	8K10-1	23,62
8K3	6,06	8K11	20,96
8K3-1	23,62	8K11-1	23,62
8K4	17,80	8K12	12,12
8K4-1	27,94*	8K12-1	23,62
8K5	20,62	8K13	21,19
8K5-1	27,94*	8K13-1	23,62
8K6	21,56	8K14	18,79
8K6-1	27,94*	8K14-1	24,65
8K7	21,56	8K15	25,29
8K7-1	27,94*	8K15-1	25,30

Regresyonda en yüksek R² değerini veren 8K6 modeli için Çizelge 4.92'deki özet tabloda atkı kopma kuvveti için regresyon denklemi incelendiğinde; çözgü iplik numarası arttığında yani çözgü ipliği kalınlaştığında atkı kıvrımı artar ve atkı ipliğinin eksenel yük taşıma kapasitesi düşer. Bu durumda atkı yönünde kumaş daha kolay kopar. Burada ilişki negatif yönlü iken, regresyon denklemi bunu doğrulamamaktadır. Atkı ipliği büküm miktarının artması birim iplikte mukavemeti arttıracak için aralarında pozitif ilişki vardır. Regresyon denklemi bunu doğrulamaktadır. Çözgü sıklığı arttığında atkı kıvrımı artar ve atkı ipliğinin eksenel yük taşıma kapasitesi düşer. Bu durumda atkı yönünde kumaş daha kolay kopar. Regresyon denklemi pozitif yönlü olup bunun tersini ifade etmektedir. Kumaş birim alan ağırlığının artması da kumaşta kopma kuvvetini arttıran faktörlerdendir, burada regresyon denklemi de bunu doğrulamaktadır. Atkı yönünde kıvrımın artması ile atkı ipliğinin kıvrım açısına bağlı olarak eksenel yük taşıma kapasitesi düşecek, buna bağlı olarak kumaş mukavemeti de düşecektir. Bu ilişki regresyon denkleminde beklenildiği gibi negatif yönlü çıkmıştır. Kumaşın kompozisyonuna göre hesaplanan ortalama elyaf mukavemet katsayısı doğrudan elyaf, iplik ve kumaş mukavemetini etkilediğinden regresyon modeli de bu ilişkiyi doğrular nitelikte olmuştur. Kumaşta atkı sıklığı ve atkı iplik numarasına göre artış gösteren kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2)' nin artışının mukavemeti arttırması beklenen bir sonuç olup regresyon denkleminde de bu ilişki pozitif çıkmıştır. Örgü faktörü CFF, örgüdeki geçiş miktarı arttıkça artarken dolayısıyla örgüde bağlantı sayısının artması, atkı kopma kuvvetini arttırır.

Çizelge 4.92. Minitab atk1 kopma kuvveti 8K6 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation					
$\text{kop_muk_atk} = -390 + 1,18 \text{ coz_tex} + 0,168 \text{ atk_ipl_buk_mik} + 0,56 \text{ coz_sik} + 0,095 \text{ ham_kum_bir_ala_agi} - 1,909 \text{ atk_kiv} + 5,99 \text{ ort_ely_muk} + 3,60 \text{ cov_fak_2} + 17,7 \text{ CFF}$					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-390	281	-1,39	0,174	
coz_tex	1,18	1,29	0,91	0,368	5,88
atk_ip1_buk_mik	0,168	0,164	1,02	0,313	4,74
coz_sik	0,56	1,08	0,52	0,608	4,61
ham_kum_bir_ala_agi	0,095	0,178	0,53	0,597	9,07
atk_kiv	-1,909	0,559	-3,41	0,002	2,43
ort_ely_muk	5,99	4,68	1,28	0,209	1,78
cov_fak_2	3,60	1,90	1,90	0,066	2,43
CFF	17,7	11,9	1,48	0,148	1,99
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
23,2276	43,06%	30,41%	19,21%	24,3849	21,56%
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	8	14689,0	1836,1	3,40	0,005
coz_tex	1	448,9	448,9	0,83	0,368
atk_ip1_buk_mik	1	565,4	565,4	1,05	0,313
coz_sik	1	144,3	144,3	0,27	0,608
ham_kum_bir_ala_agi	1	153,7	153,7	0,28	0,597
atk_kiv	1	6291,6	6291,6	11,66	0,002
ort_ely_muk	1	884,8	884,8	1,64	0,209
cov_fak_2	1	1940,1	1940,1	3,60	0,066
CFF	1	1182,1	1182,1	2,19	0,148
Error	36	19422,7	539,5		
Total	44	34111,7			

8K6 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$$T_{\text{tablo}} (0,05; 137) = 1,979$$

$$\Rightarrow T_{\text{değ}} > 1,979$$

atk_kiv

→ anlamlı

coz_tex, atk_ip1_buk_mik, coz_sik, ham_kum_bir_ala_agi, ort_ely_muk, cov_fak_2, CFF → anlamsız

$$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$$

atk_kiv

→ anlamlı

coz_tex, atk_ip1_buk_mik, coz_sik, ham_kum_bir_ala_agi, ort_ely_muk, cov_fak_2, CFF → anlamsız

$$\Rightarrow VIF < 10$$

tüm değişkenlerde

→ otokorelasyon yok

F- model anlamlılık testi

$$F_{\text{tablo}} = F (0,05, 8, 36) = 2,21$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow F_{\text{hesaplanan}} &= 3,40 \geq 2,21 & \Rightarrow H_1 \text{ hipotezi anlamlı} \\ \Rightarrow P_{\text{değ}} &< 0,05 & \Rightarrow \text{regresyon modeli anlamlı bulunur.} \end{aligned}$$

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 8K6-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.93. Minitab atk1 kopma kuvveti 8K6-1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation

$$\text{kop_muk_atk} = 36,4 - 1,558 \text{ atk_kiv} + 3,97 \text{ cov_fak_2}$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	36,4	19,4	1,87	0,068	
atk_kiv	-1,558	0,358	-4,35	0,000	1,05
cov_fak_2	3,97	1,22	3,26	0,002	1,05

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
22,6495	36,84%	33,83%	28,12%	23,3711	27,94%

Analysis of Variance

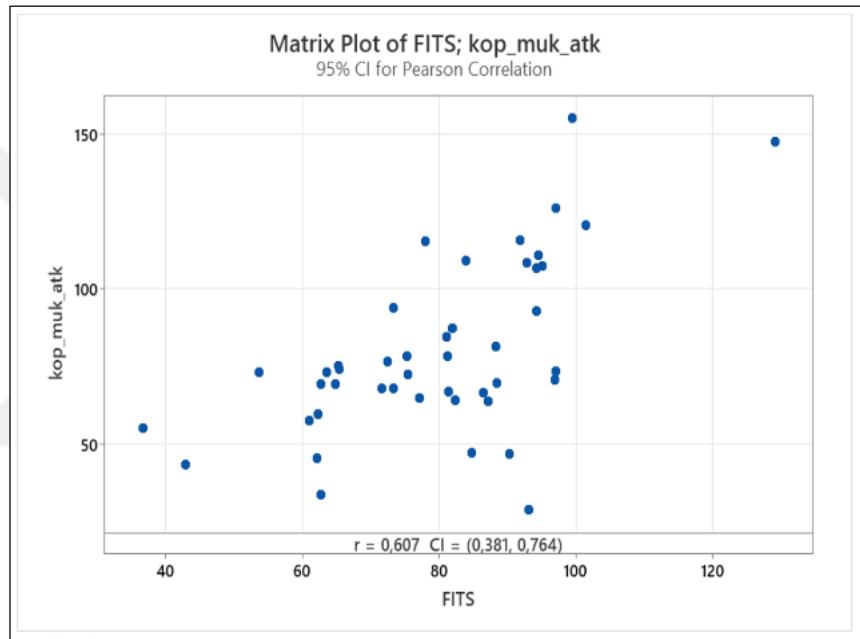
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	12566	6282,9	12,25	0,000
atk_kiv	1	9705	9705,3	18,92	0,000
cov_fak_2	1	5440	5440,1	10,60	0,002
Error	42	21546	513,0		
Lack-of-Fit	41	20156	491,6	0,35	0,900
Pure Error	1	1390	1390,2		
Total	44	34112			

Çizelge 4.93’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi atk1 kopma kuvvetine, atk1 kıvrımı (atk_kiv) negatif yönde, kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2) pozitif yönde etki etmiştir. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda; açıklayıcı değişkenlerden kumaş yapı faktörü K2 (cov_fak_2) in modele en fazla katkı sağladığı görünmektedir. Kumaş yapı faktörü K2 (cov_fak_2) in 1 birim artması çözgü kopma kuvvetinde 3,97 oranında bir artışa sebep olmaktadır.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %27,94 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %52,85 ortalama bir değer olup bu modelin atkı kopma kuvvetinin tahmin edilmesinde kullanımı uygun değildir.

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value>0,150 değeri çıkmış ve bu değer $P > 0,05$ olduğu için model artıkların normal dağıldığı varsayımını da karşılamıştır.

Modelden çıkan atkı kopma kuvveti değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek atkı kopma kuvveti arasında korelasyon grafiği Şekil 4.58’de verilmiştir.



Şekil 4.58. 8K4-1 karışım kumaşlarda atkı kopma kuvveti regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

Şekil 4.58’de korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,607$ ile ortalama bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile atkı kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dair bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı uygun değildir.

4.8.2.2 Karışım Kumaşlarda Atkı Kopma kuvveti İçin Yapay zekâ Modelleri

Karışım kumaşlarda atkı kopma kuvveti için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznetelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.94’te verildiği gibidir.

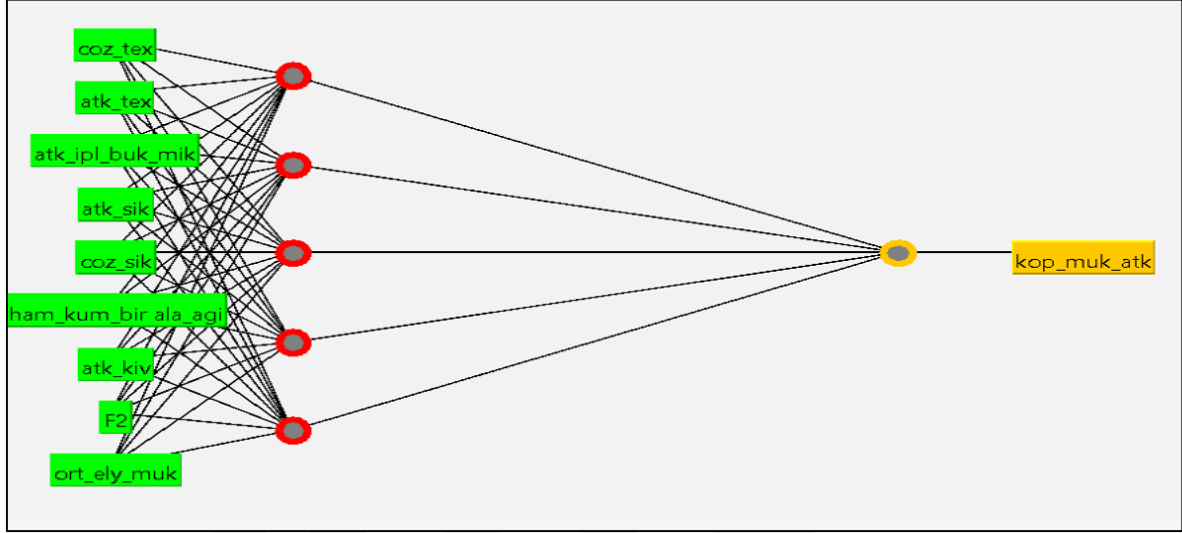
Çizelge 4.94. Karışım kumaşlarda atkı kopma kuvveti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
8K0	38,19*	22,98	20,90
8K0-1	15,10	14,80	19,90
8K1	26,33	24,40	25,33
8K1-1	19,45	17,00	12,24
8K2	16,42	25,00	23,96
8K2-1	20,43	17,92	19,67
8K3	14,22	24,67	22,58
8K3-1	19,17	17,19	17,61
8K4	19,83	21,52	47,03*
8K4-1	12,47	9,34	38,41
8K5	34,25	23,09	42,61
8K5-1	20,88	9,47	34,49
8K6	21,87	29,59	40,82
8K6-1	18,91	12,84	31,84
8K7	31,36	28,79	42,62
8K7-1	18,54	12,64	35,30
8K8	19,19	26,53	38,30
8K8-1	21,33	11,28	33,13
8K9	14,32	23,88	36,12
8K9-1	28,19	12,55	36,96
8K10	17,38	27,35	35,51
8K10-1	28,67	15,04	38,45
8K11	17,72	26,59	34,38
8K11-1	26,74	16,70	30,62
8K12	29,59	24,88	39,97
8K12-1	26,74	21,54	35,83
8K13	20,85	20,61	40,77
8K13-1	24,51	17,29	35,90
8K14	4,40	28,11	33,16
8K14-1	14,29	17,59	21,77
8K15	13,07	33,26*	36,77
8K15-1	23,19	16,25	33,88

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 8K0 modelidir.

8K0 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.59’da görüldüğü gibidir. Burada giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik), atkı sıklığı (atk_sik), çözgü sıklığı (coz_sik), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi), atkı kıvrımı

(atk_kiv), örgü faktörlerinden F2 ve ortalama elyaf mukavemet katsayısıdır, çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan atkı yönünde kopma kuvveti (kop_muk_atk) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıkış nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (9+1) / 2 = 5$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.59. 8K0 atkı kopma kuvveti tahmini için yapay sinir hücresi

Yapay sinir ağları için 8K0, rastgele orman algoritmaları için 8K7-1 ve Mars tekniği için 8K4 özet tablosu Çizelge 4.95’te verildiği gibidir.

Çizelge 4.95. Karışım kumaşlarda atkı kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,3819	0,3326	0,4703
Ortalama mutlak hata (MAE)	27,8405	19,6797	20,0212
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	35,7475	26,5684	25,1148
Relatif mutlak hata (RAE)	%127,0221	% 89,7885	%91,3465
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%127,2703	% 94,5903	%89,4154
Toplam örnek sayısı (TNI)	45	45	45

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,4703 R değeri ile Mars tekniği olduğunu söyleyebiliriz. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE)’ ye bakıldığında en düşük değer rastgele orman algoritmalarında ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında en düşük değer mars tekniğinde çıkmıştır.

4.8.3 Tüm Veri Setinde Atkı Kopma kuvveti Tahmin Modellerinin Kurulması

İki farklı işletmeden alınan pamuklu ve poliester viskon kumaşların veri seti ortak açıklayıcı değişkenler kullanılarak birleştirilmiş ve işletmelere özgü faktörler ihmal edilerek ortak bir model oluşturulmuştur. Tüm kumaşlarda atkı kopma kuvvetinin tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak atkı kopma kuvveti, bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.60'tan faydalanılmıştır.

MODEL 8PK																
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Atkı Kopma Mukavemeti (kgf)																
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler															
	Kumaş İplik Özellikleri					Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri										
	Çözümlü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Ortalama Elyaf Mukavemet Katsayısı	Atkı İpliği Üretim Metodu	Atkı İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözümlü Sıklık (tel /cm)	Atkı Sıklık (atki /cm)	Kıvrım (%)	Ham Kumaş Birim Alan Ağırlık (g/m-kare)	F2	KL2	CFF	FYF	K2	K	OG
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x					
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x				
3	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x			
4	x		x	x	x	x		x	x	x				x		
5	x		x	x	x	x		x	x		x			x		
6	x		x	x	x	x		x	x			x		x		
7	x		x	x	x	x		x	x				x	x		
8			x	x	x			x	x	x					x	
9			x	x	x			x	x		x				x	
10			x	x	x			x	x			x			x	
11			x	x	x			x	x				x		x	
12	x		x	x	x	x		x	x						x	
13			x	x	x			x	x							x
14	x		x	x	x	x		x	x							x
15			x	x	x			x	x							x

Şekil 4.60. Tüm kumaşlarda atkı kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.8.3.1 Tüm Kumaşlarda Atkı Kopma Mukavemeti İçin Regresyon Modelleri

Pamuklu ve karışım kumaşların atkı kopma kuvvetinin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.60'ta verildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde atkı iplik numarası (atk_tex), ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat), atkı kıvrımı (atk_kiv), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi) ve kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2) etkili olmuştur. Performansı biraz daha düşük olan modellerde zaman zaman çözgü iplik numarası (coz_tex),

atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), çözgü sıklık (coz_sik), örgü faktörlerinden CFF, FYF gibi parametrelerin de modellere katkısı olmuştur. Modellere etki edeceği düşünülen atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik), atkı sıklığı (atk_sik), örgü faktörlerinden F2 ve KL2 ve kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak), T2, TS, OG2 ve OG' nin modellere hiçbir etkisi olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelerle dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.96'da görüldüğü üzere regresyon 8PK4-1 modeli olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.96. Tüm kumaşlarda atkı kopma kuvveti regresyon modelleri için $\%R^2$ belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
8PK0	73,22	8PK8	70,35
8PK0-1	73,37	8PK8-1	71,15
8PK1	73,56	8PK9	70,52
8PK1-1	73,37	8PK9-1	71,15
8PK2	73,55	8PK10	69,14
8PK2-1	73,37	8PK10-1	69,37
8PK3	73,55	8PK11	70,51
8PK3-1	73,37	8PK11-1	71,15
8PK4	74,24	8PK12	71,93
8PK4-1	74,73*	8PK12-1	71,32
8PK5	74,61	8PK13	70,74
8PK5-1	74,14	8PK13-1	71,15
8PK6	74,68	8PK14	71,92
8PK6-1	74,56	8PK14-1	71,32
8PK7	74,68	8PK15	71,37
8PK7-1	74,56	8PK15-1	71,15

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 8PK4 modeli için Çizelge 4.97'deki özet tabloda çözgü kopma kuvveti için regresyon denklemi incelendiğinde; çözgü iplik numarası arttığında yani atkı ipliği kalınlaştığında atkı kıvrımı artar ve kıvrım açısına bağlı olarak kuvvete karşı koyamayan atkı iplikleri nedeniyle atkı yönünde kumaş daha kolay kopar. Buradaki ilişki negatif yönlüdür ve regresyon denklemi de bunu doğrulamaktadır. Atkı ipliği büküm miktarının artması birim iplikte mukavemeti arttıracak için aralarında pozitif ilişki vardır. Regresyon denklemi ise bunu doğrulamamaktadır. Çözgü sıklığı arttığında atkı kıvrımı artar ve atkı ipliğinin eksenel yönde taşıyabileceği yük azalacağı için atkı yönünde kumaş daha kolay kopar. Regresyon denklemi de bu negatif ilişkiyi doğrulamaktadır. Atkı ipliği üretim metoduna iplik paketleme yoğunluklarına göre verilen kodlar doğrultusunda paketleme

yoğunluğu arttıkça kumaş mukavemetide denklemde görüldüğü gibi artar. Kumaş birim alan ağırlığının artması da kumaşta kopma kuvvetini arttıran faktörlerdendir, burada regresyon denklemi de bunu doğrulamaktadır. Atkı yönünde kıvrımın artması ile kuvvete karşı koymayı zorlaştıracak için kumaş mukavemetini düşürür. Regresyon denklemi bu negatif ilişkiyi doğrulamaktadır. Kumaşta atkı sıklığı ve atkı iplik numarasına göre artış gösteren kumaş yapı faktörlemlinden K2 (cov_fak_2)' nin artışının mukavemeti arttırması beklenen bir sonuç olup regresyon denkleminde de bu ilişki pozitif çıkmıştır. Örgü faktörü F2, örgüdeki geçiş miktarı arttıkça azalır dolayısıyla örgüde bağlantı sayısının artması, atkı kopma kuvvetini azaltır. Aralarındaki bu negatif ilişkiyi regresyon denklemi de doğrulamaktadır. Kumaşın kompozisyonuna göre hesaplanan ortalama elyaf mukavemet katsayısı doğrudan elyaf, iplik ve kumaş mukavemetini etkilediğinden regresyon modeli de bu ilişkiyi doğrular nitelikte olmuştur.

Çizelge 4.97. Minitab atkı kopma kuvveti 8PK4 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
kop_muk_atk = -95,0 - 0,324 coz_tex - 0,0080 atk_ip1_buk_mik - 0,354 coz_sik + 5,45 atk_ip1_ure_met + 0,1394 ham_kum_bir ala_agi - 1,605 atk_kiv + 2,367 cov_fak_2 - 0,93 F2 + 3,519 ort_ely_muk_kat						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	-95,0	25,7	-3,69	0,000		
coz_tex	-0,324	0,194	-1,67	0,097	6,93	
atk_ip1_buk_mik	-0,0080	0,0135	-0,59	0,556	9,00	
coz_sik	-0,354	0,212	-1,67	0,097	7,71	
atk_ip1_ure_met	5,45	2,23	2,45	0,015	13,00	
ham_kum_bir ala_agi	0,1394	0,0463	3,01	0,003	10,11	
atk_kiv	-1,605	0,224	-7,17	0,000	2,37	
cov_fak_2	2,367	0,589	4,02	0,000	3,29	
F2	-0,93	2,22	-0,42	0,677	1,57	
ort_ely_muk_kat	3,519	0,734	4,79	0,000	13,07	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
13,3465	76,81%	75,66%	73,94%	13,6941	74,24%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	9	106780	11864,5	66,61	0,000	
coz_tex	1	495	495,2	2,78	0,097	
atk_ip1_buk_mik	1	62	62,0	0,35	0,556	
coz_sik	1	495	495,4	2,78	0,097	
atk_ip1_ure_met	1	1068	1068,5	6,00	0,015	
ham_kum_bir ala_agi	1	1614	1613,5	9,06	0,003	
atk_kiv	1	9163	9162,9	51,44	0,000	
cov_fak_2	1	2880	2880,1	16,17	0,000	
F2	1	31	31,1	0,17	0,677	
ort_ely_muk_kat	1	4091	4091,0	22,97	0,000	
Error	181	32241	178,1			
Lack-of-Fit	174	32230	185,2	111,62	0,000	
Pure Error	7	12	1,7			
Total	190	139022				

8PK4 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$$\Rightarrow P_{deg} < 0,05$$

atk_ipl_ure_met, atk_kiv, ham_kum_bir_ala_agi, cov_fak_2, ort_ely_muk
coz_tex, atk_ipl_buk_mik, coz_sik, F2

→ anlamlı
→ anlamsız

$$\Rightarrow VIF < 10$$

atk_ipl_ure_met, ham_kum_bir_ala_agi, ort_ely_muk_kat

→ otokorelasyon var

F- model anlamlılık testi

$$F_{tablo} = F(0,05, 9, 181) = 1,88$$

$$\Rightarrow F_{hesaplanan} = 66,61 \geq 2,21$$

→ H_1 hipotezi anlamlı

$$\Rightarrow P_{deg} < 0,05$$

→ regresyon modeli anlamlı bulunur.

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 8PK4-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.98’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi atkı kopma kuvvetine, atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi), kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2) ve ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat) pozitif yönde, çözgü iplik numarası (coz_tex), çözgü sıklığı (coz_sik) ve atkı kıvrımı (atk_kiv)’nin ise modele katkısı ise negatif yönlüdür. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met)’nin modele katkısının en fazla olduğu görülmektedir. Modelde atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met)’nin 1 birimlik artışı, atkı kopma kuvvetine 4,77 oranında artış sağlamaktadır.

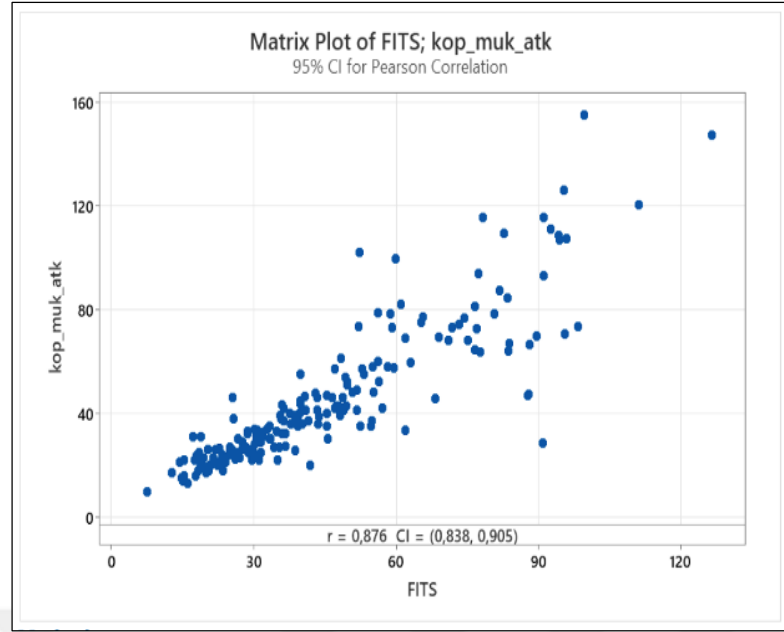
Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %74,73 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri % 86,44 ile çok iyi bir değer olup bu modelin atkı kopma kuvvetinin tahmin edilmesinde kullanılması uygundur.

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value <0,01 değeri çıkmış ve bu değer $P > 0,05$ şartını sağlamadığı için model artıkların normal dağıldığı varsayımını da karşılamamaktadır.

Çizelge 4.98. Minitab atkı kopma kuvveti 8PK4-1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation					
kop_muk_atk = -104,0 - 0,365 coz_tex - 0,444 coz_sik + 4,77 atk_ipl_ure_met + 0,1554 ham_kum_bir_ala_agi - 1,645 atk_kiv + 2,339 cov_fak_2 + 3,702 ort_ely_muk_kat					
Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-104,0	17,3	-6,02	0,000	
coz_tex	-0,365	0,185	-1,97	0,050	6,34
coz_sik	-0,444	0,171	-2,60	0,010	5,03
atk_ipl_ure_met	4,77	1,84	2,60	0,010	8,96
ham_kum_bir_ala_agi	0,1554	0,0375	4,14	0,000	6,68
atk_kiv	-1,645	0,211	-7,78	0,000	2,13
cov_fak_2	2,339	0,569	4,11	0,000	3,09
ort_ely_muk_kat	3,702	0,608	6,09	0,000	9,03
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq
13,2934	76,74%	75,85%	74,46%	13,5617	74,73%
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	7	106683	15240,4	86,24	0,000
coz_tex	1	688	687,8	3,89	0,050
coz_sik	1	1199	1199,0	6,78	0,010
atk_ipl_ure_met	1	1191	1190,6	6,74	0,010
ham_kum_bir_ala_agi	1	3035	3035,2	17,18	0,000
atk_kiv	1	10700	10699,8	60,55	0,000
cov_fak_2	1	2990	2990,1	16,92	0,000
ort_ely_muk_kat	1	6552	6551,5	37,07	0,000
Error	183	32339	176,7		
Lack-of-Fit	176	32327	183,7	110,68	0,000
Pure Error	7	12	1,7		
Total	190	139022			

Modelden çıkan atkı kopma kuvveti değeri ile veri setinde kullanılan gerçek gerçek atkı kopma kuvveti arasında korelasyona baktığımızda; Şekil 4.61’de görüldüğü üzere gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,876$ ile yüksek bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı uygundur.



Şekil 4.61. 8KP4-1 tüm kumaşlarda atkı kopma kuvveti regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

4.8.3.2 Tüm Kumaşlarda Atkı Kopma kuvveti İçin Yapay Zekâ Modelleri

Tüm kumaşlarda atkı kopma kuvveti için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznitelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.99’da verildiği gibidir.

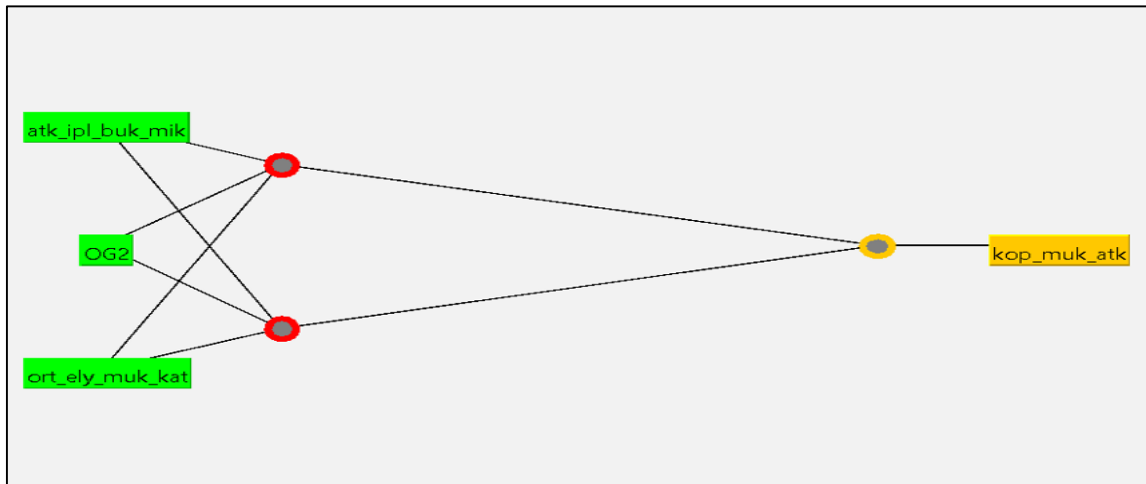
Çizelge 4.99. Tüm kumaşlarda atkı kopma kuvveti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
8PK0	78,93	82,18	83,95
8PK0-1	72,22	81,99	77,52
8PK1	79,48	81,53	83,92
8PK1-1	72,68	81,81	77,78
8PK2	80,75	81,97	84,01
8PK2-1	73,06	83,08	77,86
8PK3	78,33	81,12	84,15
8PK3-1	73,70	83,29*	78,41
8PK4	77,79	82,16	85,23
8PK4-1	79,32	80,79	83,14
8PK5	75,99	82,28	85,35*
8PK5-1	79,32	80,79	83,14

Çizelge 4.99. Tüm kumaşlarda atkı kopma kuvveti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı (Devam)

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
8PK6	77,22	81,91	85,33
8PK6-1	79,32	80,79	83,14
8PK7	76,34	82,13	85,31
8PK7-1	79,32	80,79	83,14
8PK8	78,63	81,09	83,16
8PK8-1	72,22	81,99	77,52
8PK9	78,15	80,46	82,16
8PK9-1	72,68	81,81	77,78
8PK10	78,65	82,44	82,44
8PK10-1	73,06	83,08	77,86
8PK11	78,16	80,33	82,34
8PK11-1	73,70	83,29*	78,41
8PK12	77,95	81,21	83,24
8PK12-1	71,26	77,99	77,07
8PK13	79,68	80,24	82,81
8PK13-1	72,37	78,09	77,87
8PK14	77,67	81,86	83,96
8PK14-1	81,25*	81,72	81,45
8PK15	80,77	81,07	82,32
8PK15-1	71,58	80,14	78,01

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 8PK14-1 modelidir. ve temel hücre yapısı Şekil 4.62’de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.62. 8PK14-1 atkı kopma kuvveti tahmini için yapay sinir hücresi

8PK14-1 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.62’de görüldüğü gibidir. Burada, giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; atkı ipliği büküm miktarı

(atk_ipl_buk_mik), kumaş yapı faktörlerinden OG2 ve ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan atkı yönünde kopma kuvveti (kop_muk_atk) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıkış nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (3+1) / 2 = 2$ olarak kabul edilmiştir.

Rastgele orman algoritmalarında 8PK3 modelinin indirgenmiş nitelikler ile en iyi alt kümesi 8PK3-1 de girdi değişkeni (açıklayıcı değişken & bağımsız değişken) olarak; atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik), örgü faktörlerinden FYF ve ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat) çıkmıştır.

Yapay sinir ağları için 8PK14-1, rastgele orman algoritmaları için 8PK3-1 ve Mars tekniği için 8PK5 özet tablosu Çizelge 4.100’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.100. Tüm kumaşlarda atkı kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	81,25	0,8329	0,8535
Ortalama mutlak hata (MAE)	11,4789	10,6445	8,8942
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	15,7959	14,9961	14,0739
Relatif mutlak hata (RAE)	%55,3033	% 51,2834	%42,8507
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%58,1785	% 55,2326	%51,8361
Toplam örnek sayısı (TNI)	191	191	191

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,8535 R değeri ile mars tekniği olduğu görülmektedir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında en düşük değer mars tekniğinde çıkmıştır.

4.9 Çözgü Yırtılma Mukavemeti İçin Tahmin Modelleri

Pamuklu kumaşlar için ayrı ayrı öncelikle regresyon modelleri, daha sonra aynı açıklayıcı değişkenler ile yapay zekâ modellerinden yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve Mars tekniği ile modeller oluşturulmuş ve bu modellerin tahmin performansları için % R korelasyon katsayı ile karşılaştırılmıştır.

4.9.1 Pamuklu Kumaşlarda Çözgü Yırtılma Mukavemeti İçin Tahmin Modellerinin Kurulması

Pamuklu kumaşların çözgü yırtılma mukavemetini tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak çözgü yırtılma mukavemeti (yir_muk_coz), bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.63'ten faydalanılmıştır.

MODEL 9-P															
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Çözgü Yırtılma Mukavemeti (gf)															
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler														
	Kumaş İplik Özellikleri			Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri											
	Çözgü İplik Numarası (Tex)	Çözgü İpliği Üretim Metodu	Çözgü İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Sıklık	Ağırlık	Örgü Faktörleri				Kumaş Yapı Faktörleri					
						F1	KL1	CFF	FYF	K1	K	T1	TS	OG1	OG
0	x	x	x	x	x	x									
1	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x				x						
4		x	x		x	x				x					
5		x	x		x		x			x					
6		x	x		x			x		x					
7		x	x		x				x	x					
8		x	x		x	x					x				
9		x	x		x		x				x				
10		x	x		x			x			x				
11		x	x		x				x		x				
12		x	x		x							x			
13		x	x		x								x		
14		x	x		x									x	
15		x	x		x										x

Şekil 4.63. Pamuklu kumaşlarda çözgü yırtılma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.9.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Çözgü Yırtılma Mukavemeti İçin Regresyon Modelleri

Pamuklu kumaşlarda çözgü yırtılma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.63'te verildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü iplik numarası (coz_tex), çözgü ipliği üretim metodu (coz_ipi_ure_met), örgü faktörlerinden F1, KL1, CFF, FYF ve kumaş yapı faktörlerinden K1 (cov_fak_1), K (cov_fak), T1, TS, OG1 ve OG yaygın olarak kullanılmıştır. Tahmin gücü en yüksek olan 1. modele çözgü iplik numarası (coz_tex), çözgü ipliği üretim metodu (coz_ipi_ure_met), mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_agi), örgü faktörlerinden KL1 etki etmiştir. Çözgü ipliği büküm miktarı (coz_ipi_buk_mik) ve mamül kumaş birim alan

ağırlığı (mam_kum_bir_agi) performansı daha düşük modellerde zaman zaman modellere dâhil olmuştur. Çözgü yırtılma mukavemetine etkisi olduğu düşünülen çözgü sıklığının (coz_sik) modellere hiçbir etkisi olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelerle dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.101’de görüldüğü üzere regresyon 9P1-1 modeli olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.101. Pamuklu kumaşlarda çözgü yırtılma mukavemeti regresyon modelleri için %R² belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R ²	Model No	k-fold R ²
9P0	36,64	9P8	19,82
9P0-1	39,86	9P8-1	20,10
9P1	38,63	9P9	21,35
9P1-1	40,65*	9P9-1	21,47
9P2	38,45	9P10	21,78
9P2-1	40,59	9P10-1	21,71
9P3	38,45	9P11	21,78
9P3-1	40,59	9P11-1	21,71
9P4	19,53	9P12	21,16
9P4-1	20,36	9P12-1	20,24
9P5	20,56	9P13	23,75
9P5-1	21,17	9P13-1	23,75
9P6	20,99	9P14	21,83
9P6-1	21,46	9P14-1	21,74
9P7	20,99	9P15	23,71
9P7-1	21,46	9P15-1	23,71

Çözgü ipliği yırtılma mukavemeti kopma dayanımından farklı bir mekanizmaya sahiptir ve atkı yönünde uygulanan darbe ya da kuvvet sonucu gerçekleşir. İplikler tek ya da bitişik birkaç iplik kümelenecek bu kuvveti karşılarlar. Regresyonda en yüksek R² değerini veren 9P1 modeli için Çizelge 4.102’deki özet tabloda çözgü yırtılma mukavemeti için regresyon denklemi incelendiğinde; çözgü ipliği numarası arttığında yani çözgü kalınlaştığında birim ipliğin mukavemeti artacağı için çözgü yönünde yırtılma mukavemetinde de artış beklenir, çözgü iplik numarası ile çözgü yırtılma mukavemeti arasındaki bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de açıkça görülmektedir. Çözgü ipliği üretim metodunun sayısal değeri rastgele verilen kodlar olduğu için, ortaya çıkan pozitif ilişkinin, önceki modellerde olduğu rastlantısal olduğu söylenebilir. Çözgü ipliği büküm artışı, ipliğin daha rijit ve dolayısıyla daha kırılğan bir yapıya sahip olmasını sağlayacağından iplik kopuşunu dolayısıyla kumaşın yırtılmasını kolaylaştırıcı bir etki gösterecektir. Regresyon denklemindeki negatif ilişki de bunu

doğrulamaktadır. Çözümlü sıklığının artışı da çözgü ipliklerinin daha sıkı paketlenmesi sonucu ipliklerin direncini kısmen artıracaktır. Ancak bu artış, ipliklerin serbest hareket etme yeteneğini yok edecek düzeye ulaşırsa, esnekliğini kaybeden iplikler kolay kopma eğilimi gösterecektir. Dolayısıyla bu değişkenin etkisi belirli bir düzeye dek pozitif, sonrasında ise negatif olacaktır. Regresyon denkleminde çözgü sıklığı ile çözgü yırtılma mukavemeti arasında pozitif bir ilişki gerçekleşmiştir. Örgü faktörü KL1, örgü bağlantı sayısını ifade ettiğine göre; daha çok bağlantının varlığı ipliklerin serbest hareketini kısıtlayacağı için çözgü yırtılma mukavemetini azaltıcı bir etki gösterir. Çünkü kumaşta bağlantı sayısı azaldıkça, yani örgüde yüzme uzunluğu arttıkça iplikler kümelenerek grup şeklinde hareket eder ve bu da yırtılma dayanımını artırır. Kumaşın birim alan ağırlığındaki artış, bu artışın ne ölçüde çözgü ya da atkı ipliğinden kaynaklanıyor olmasına göre farklı davranış gösterir. Artışın daha çok çözgü sıklığı ya da iplik lineer yoğunluğuna bağlı olması durumunda, sıkı paketlenmiş ipliklerin kopması ve kumaşın yırtılması kolaylaşacaktır. Dolayısıyla kumaş ağırlığı ile yırtılma mukavemeti arasında negatif bir ilişki var olacaktır, zaten regresyon denklemi de bu pozitif ilişkiyi doğrulamaktadır.

Çizelge 4.102. Minitab çözgü yırtılma mukavemeti 9P1 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
yir_muk_coz = -101 + 101,1 coz_tex + 418 coz_ip1_ure_met + 0,29 coz_ip1_buk_mik + 16,4 coz_sik - 1502 KL1 - 5,66 mam_kum_bir_ala_agi						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	-101	1609	-0,06	0,950		
coz_tex	101,1	15,1	6,71	0,000	6,23	
coz_ip1_ure_met	418	128	3,26	0,001	2,20	
coz_ip1_buk_mik	0,29	1,39	0,21	0,834	12,85	
coz_sik	16,4	18,0	0,91	0,363	6,75	
KL1	-1502	542	-2,77	0,006	1,90	
mam_kum_bir_ala_agi	-5,66	2,75	-2,06	0,041	4,77	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
959,591	44,41%	41,97%	37,88%	983,398	38,63%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	6	100774882	16795814	18,24	0,000	
coz_tex	1	41508141	41508141	45,08	0,000	
coz_ip1_ure_met	1	9777318	9777318	10,62	0,001	
coz_ip1_buk_mik	1	40449	40449	0,04	0,834	
coz_sik	1	767779	767779	0,83	0,363	
KL1	1	7081953	7081953	7,69	0,006	
mam_kum_bir_ala_agi	1	3908777	3908777	4,24	0,041	
Error	137	126151694	920815			
Lack-of-Fit	130	126145422	970349	1082,98	0,000	
Pure Error	7	6272	896			
Total	143	226926577				

9P1 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

⇒ $P_{deg} < 0,05$
 coz_tex, coz_ip1_ure_met, KL1, mam_kum_bir_ala_agi → anlamlı
 coz_ip1_buk_mik, coz_sik → anlamsız

⇒ $VIF < 10$
 coz_ip1_buk_mik → otokorelasyon var

F- model anlamlılık testi

$$F_{tablo} = F(0,05, 6, 137) = 2,09$$

⇒ $F_{hesaplanan} = 18,24 \geq 2,09$ → H_1 hipotezi anlamlı
 ⇒ $P_{deg} < 0,05$ → regresyon modeli anlamlı bulunur.

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 9P1-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.103. Minitab çözgü yırtılma mukavemeti 9P1-1 regresyon modeli özet tablosu

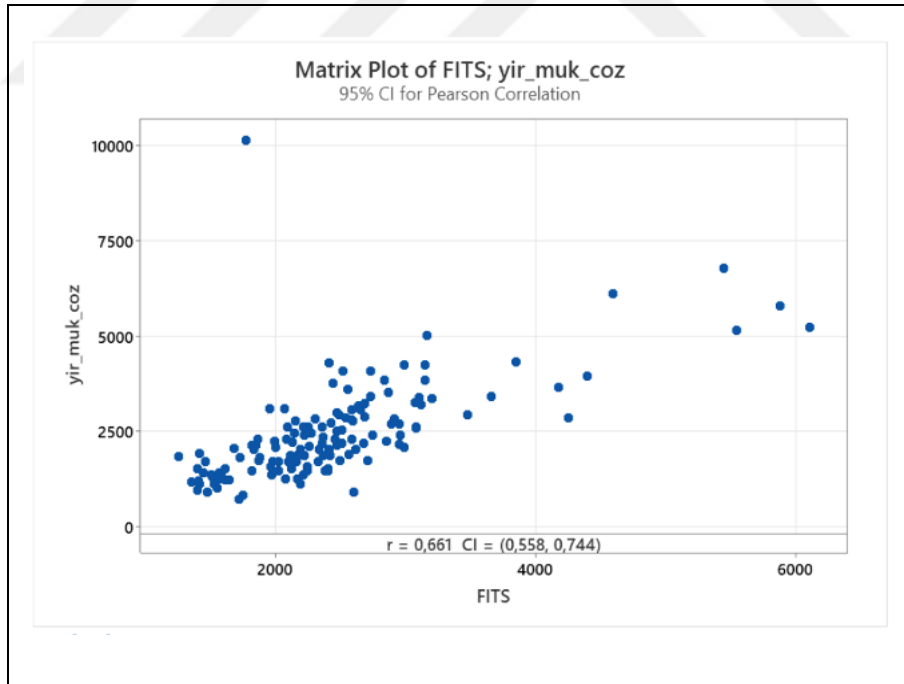
Regression Equation						
yir_muk_coz = 1354 + 87,0 coz_tex + 470 coz_ip1_ure_met - 1804 KL1 - 5,47 mam_kum_bir_ala_agi						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	1354	709	1,91	0,058		
coz_tex	87,0	10,1	8,61	0,000	2,81	
coz_ip1_ure_met	470	108	4,34	0,000	1,57	
KL1	-1804	488	-3,70	0,000	1,55	
mam_kum_bir_ala_agi	-5,47	2,22	-2,46	0,015	3,12	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
958,504	43,72%	42,11%	40,26%	967,063	40,65%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	4	99223244	24805811	27,00	0,000	
coz_tex	1	68138973	68138973	74,17	0,000	
coz_ip1_ure_met	1	17297765	17297765	18,83	0,000	
KL1	1	12550211	12550211	13,66	0,000	
mam_kum_bir_ala_agi	1	5565819	5565819	6,06	0,015	
Error	139	127703333	918729			
Lack-of-Fit	132	127697061	967402	1079,69	0,000	
Pure Error	7	6272	896			
Total	143	226926577				

Çizelge 4.103'te regresyon denkleminde görüldüğü gibi çözgü yırtılma mukavemetine; çözgü iplik numarası (coz_tex), çözgü ipliği üretim metodu (coz_ipl_ure_met) pozitif yönde ve örgü faktörlerinden KL1 ve mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_alaga) negatif yönde etki etmiştir. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda, örgü faktörlerinden KL1' in modele en fazla katkısı olduğu ve örgü faktörlerinden KL1' in 1 birimlik artışı, çözgü yırtılma mukavemetinin 1804 oranında azalmasına sebep olduğu görülmektedir.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri % 40,65 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %63,75 ile ortalama bir değer olup bu modelin çözgü yırtılma mukavemetinin tahmin edilmesinde kullanımı uygun değildir.

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value <0,010 değeri çıkmış ve bu değer $P > 0,05$ şartını sağlamadığı için model artıkların normal dağıldığı varsayımını karşılamamıştır.

Modelden çıkan çözgü yırtılma mukavemeti değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek çözgü yırtılma mukavemeti arasında korelasyon grafiği Şekil 4.64'te verilmiştir.



Şekil 4.64. 9P1-1 pamuklu kumaşlarda çözgü yırtılma mukavemeti regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında Korelasyon Testi

Şekil 4.43'te korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,661$ ile ortalama bir değer vermiştir. Yine bu duruma göre bu parametreler ile bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı için uygun değildir.

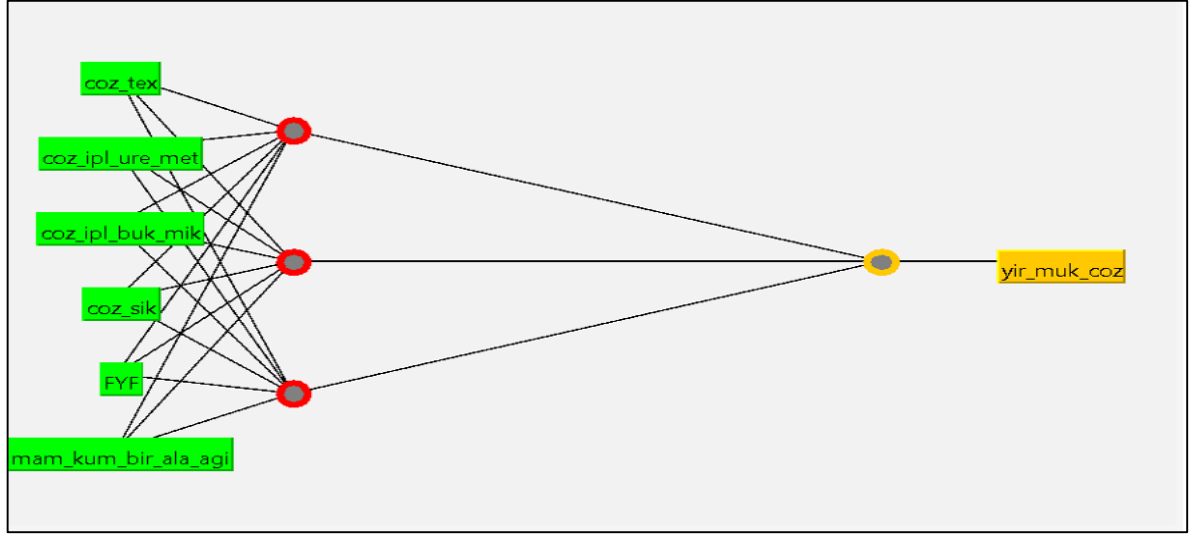
4.9.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Çözgü Yırtılma Mukavemeti İçin Yapay Zekâ Modelleri

Pamuklu kumaşlarda çözgü yırtılma mukavemeti için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznelilikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.104'te verildiği gibidir.

Çizelge 4.104. Pamuklu kumaşlarda çözgü yırtılma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
9P0	52,26	49,66	58,81
9P0-1	35,39	47,55	53,63
9P1	51,15	51,04	57,46
9P1-1	32,79	47,55	53,99
9P2	51,47	50,21	60,00
9P2-1	32,10	47,60	52,62
9P3	52,44*	50,94	56,34
9P3-1	32,10	47,60	52,21
9P4	27,09	52,81	56,46
9P4-1	13,23	46,87	47,08
9P5	26,95	51,32	54,29
9P5-1	14,60	45,65	44,06
9P6	27,04	51,79*	57,76
9P6-1	13,78	47,15	45,08
9P7	28,24	51,05	54,81
9P7-1	13,91	80,79	46,42
9P8	26,40	51,67	58,00
9P8-1	14,23	46,87	47,08
9P9	28,89	50,13	56,25
9P9-1	14,60	45,65	44,06
9P10	29,52	50,99	55,48
9P10-1	13,78	47,15	45,08
9P11	29,46	50,96	53,15
9P11-1	13,91	47,09	46,42
9P12	29,47	48,01	57,59
9P12-1	24,11	46,15	52,09
9P13	31,60	43,00	57,00
9P13-1	24,62	44,87	50,22
9P14	29,54	45,49	55,30
9P14-1	12,36	40,78	44,71
9P15	31,71	47,02	60,57*
9P15-1	22,09	44,98	46,59

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 9P3 modelidir.



Şekil 4.65. 9P3 çözgü yırtılma mukavemeti tahmini için yapay sinir hücresi

9P3 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.65'te görüldüğü gibidir. Burada, giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; çözgü iplik numarası (coz_tex), çözgü ipliği üretim metodu (coz_ipl_ure_met), çözgü ipliği büküm miktarı (coz_ipl_buk_mik), çözgü sıklığı (coz_sik), örgü faktörlerinden FYF ve mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_agi), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan çözgü yönünde yırtılma mukavemeti (yir_muk_coz) seçilmiştir. Gizli katman1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıkış nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (6+1) / 2 = 3$ olarak kabul edilmiştir.

Yapay sinir ağları için 9P3, rastgele orman algoritmaları için 9P6 ve Mars tekniği için 9P15 özet tablosu Çizelge 4.105'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.105. Pamuklu kumaşlarda çözgü yırtılma mukavemeti için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,5244	0,5179	0,6057
Ortalama mutlak hata (MAE)	756,673	650,4541	632,2267
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	1125,6258	1089,6739	1003,4039
Relatif mutlak hata (RAE)	%86,1417	% 74,0495	%71,9744
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%89,1778	% 86,3295	%79,4948
Toplam örnek sayısı (TNI)	144	144	144

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,6057 R değeri ile Mars tekniği olduğu görülmektedir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata

(MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)' ye bakıldığında en düşük değer mars tekniğinde çıkmıştır.

4.10 Atkı Yırılma Mukavemeti İçin Tahmin Modelleri

Pamuklu kumaşlar için ayrı ayrı öncelikle regresyon modelleri, daha sonra aynı açıklayıcı değişkenler ile yapay zekâ modellerinden yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve Mars tekniği ile modeller oluşturulmuş ve bu modellerin tahmin performansları için % R korelasyon katsayı ile karşılaştırılmıştır.

4.10.1 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Yırılma Mukavemeti İçin Tahmin Modellerinin Kurulması

Pamuklu kumaşların atkı yırtılma mukavemetini tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak atkı yırtılma mukavemeti (yir_muk_atk) alınmıştır.

MODEL 10-P																
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Atkı Yırılma Mukavemeti (gf)																
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler															
	Kumaş İplik Özellikleri			Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri												
	Atkı İplik Numarası (Tex)	Atkı İpliği Üretim Metodu	Atkı İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Sıklık Atkı Sıklık (tel /cm)	Ağırlık Mamül Kumaş Birim Alan Ağırlık (gr/m-kare)	Örgü Faktörleri				Kumaş Yapı Faktörleri						
						F2	KL2	CFE	FYF	K2	K	T2	TS	OG2	OG	
0	x	x	x	x	x	x										
1	x	x	x	x	x		x									
2	x	x	x	x	x			x								
3	x	x	x	x	x				x							
4		x	x		x	x				x						
5		x	x		x		x									
6		x	x		x			x		x						
7		x	x		x				x	x						
8		x	x		x	x					x					
9		x	x		x		x				x					
10		x	x		x			x			x					
11		x	x		x				x		x					
12		x	x		x							x				
13		x	x		x								x			
14		x	x		x									x		
15		x	x		x											x

Şekil 4.66. Pamuklu kumaşlarda atkı yırtılma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

Bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.66'dan faydalanılmıştır.

4.10.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Yırtılma Mukavemeti İçin Regresyon Modelleri

Pamuklu kumaşlarda atkı yırtılma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.66’da verildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde atkı iplik numarası (atk_tex), atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), örgü faktörlerinden CFF ve FYF ve kumaş yapı faktörlerinden T2 ve OG yaygın olarak kullanılmıştır. Tahmin gücü en yüksek olan 2. ve 3. modele atkı iplik numarası (atk_tex), atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), örgü faktörlerinden CFF ve FYF etki etmiştir. Atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik) ve mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_agi) ve kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak) performansı daha düşük modellerde zaman zaman modellere dâhil olmuştur. Atkı yırtılma mukavemetine etkisi olduğu düşünülen atkı sıklığı (atk_sik), örgü faktörlerinden F2, KL2 ve kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2), TS ve OG2’ in modellere hiçbir etkisi olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelere dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.106’da görüldüğü üzere regresyon 10P2-1 ve 10P3-1 modelleri olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.106. Pamuklu kumaşlarda atkı yırtılma mukavemeti regresyon modelleri için $\%R^2$ belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
10P0	57,12	10P8	53,01
10P0-1	57,82	10P8-1	51,32
10P1	56,48	10P9	51,87
10P1-1	57,82	10P9-1	51,32
10P2	57,87	10P10	54,08
10P2-1	58,65*	10P10-1	54,08
10P3	57,87	10P11	54,08
10P3-1	58,65*	10P11-1	54,08
10P4	50,65	10P12	54,08
10P4-1	51,32	10P12-1	54,58
10P5	49,93	10P13	51,89
10P5-1	51,32	10P13-1	51,32
10P6	51,05	10P14	52,04
10P6-1	52,65	10P14-1	51,32
10P7	51,05	10P15	54,72
10P7-1	52,65	10P15-1	54,72

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 10P2 modeli için Çizelge 4.107’deki özet tabloda atkı yırtılma mukavemeti için regresyon denklemi incelendiğinde; atkı iplik numarası

arttığında yani atkı kalınlaştığında iplik mukavemeti artacağı için atkı yönünde yırtılma mukavemetinde de artış beklenir, atkı iplik numarası ile atkı yırtılma mukavemeti arasındaki bu pozitif ilişki regresyon denkleminde açıkça görülmektedir. Önceki modellerde olduğu gibi atkı ipliği üretim metodu için ortaya çıkan pozitif ilişkinin rastlantısal olduğu söylenebilir. Atkı ipliği büküm artışı ipliği daha rijit ve kırılğan yapacağından kumaşın yırtılmasını da kolaylaştıracaktır. Regresyon denklemindeki negatif ilişki de bunu doğrulamaktadır. Atkı sıklığının artışı, atkı ipliklerinin temas yüzeyini büyütecek ve kumaşın tokluğunu artırıcı bir etki gösterecektir. Bu artışın dokunabilirlik limitlerine yaklaşması durumunda ise, kumaşı katılaştırıp ipliklerin serbest hareketini kısıtlayacağından dolayı yırtılmayı kolaylaştıracak bir etkiye dönüşecektir. Regresyon denkleminde bu iki değişken arasındaki ilişki negatif olarak kendini göstermiştir. Örgü faktörlerinden CFF kumaşa yüzme sayısı arttıkça azalır. Yüzen iplikler yırtılma kuvvetine daha yüksek direnç gösterecekleri için CFF değerinin azalması kumaşın daha zor yırtılacağını anlamına gelir. Çünkü kumaşlarda yüzme uzunluğu arttığında ipliklerin grup halinde hareket kabiliyeti artar ve daha zor yırtılır. Regresyon denkleminde örgü faktörlerinden CFF ile yırtılma mukavemeti arasındaki negatif ilişki de bunu doğrulamaktadır. Kumaşın birim alan ağırlığı arttığında kumaşı yırtmak için daha fazla kuvvet gerekir, dolayısıyla kumaş ağırlığı ile yırtılma mukavemeti arasında pozitif bir ilişki vardır, bu durumu regresyon denklemi doğrulamamaktadır. Kumaşın birim alan ağırlığındaki artış ile kumaş daha rijit bir hal alır, iplikler daha kararlı paketlenir ve guruplaşma eğilimi gösteremez, bu durumda kumaş daha kolay yırtılır. Regresyon denklemi de bu negatif ilişkiyi doğrular niteliktedir.

10P2 modeli için yapılan regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

T- değişken anlamlılık testi

$\Rightarrow$	$P_{deg} < 0,05$	
atk_tex, atk_ipl_ure_met, CFF		$\rightarrow$ anlamlı
atk_ipl_buk_mik, atk_sik, mam_kum_bir_ala_agi		$\rightarrow$ anlamsız
$\Rightarrow$	$VIF < 10$	
atk_ipl_buk_mik		$\rightarrow$ otokorelasyon var

F- model anlamlılık testi

$$F_{tablo} = F(0,05, 6, 135) = 2,09$$

$\Rightarrow$	$F_{hesaplanan} = 38,06 \geq 2,09$	$\rightarrow$	H_1 hipotezi anlamlı
$\Rightarrow$	$P_{deg} < 0,05$	$\rightarrow$	regresyon modeli anlamlı bulunur.

Tablo 4.107. Minitab atkı yırtılma mukavemeti 10P2 regresyon modeli özet tablosu

Regression Equation						
yir_muk_atk = 2443 + 51,1 atk_tex + 666 atk_ipl_ure_met - 1,97 atk_ipl_buk_mik - 3,6 atk_sik - 645 CFF - 3,45 mam_kum_bir_ala_agi						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	2443	1390	1,76	0,081		
atk_tex	51,1	10,5	4,89	0,000	8,88	
atk_ipl_ure_met	666	160	4,17	0,000	3,39	
atk_ipl_buk_mik	-1,97	1,31	-1,51	0,134	18,25	
atk_sik	-3,6	19,4	-0,18	0,855	4,66	
CFF	-645	252	-2,56	0,012	1,89	
mam_kum_bir_ala_agi	-3,45	3,22	-1,07	0,287	8,04	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
865,149	62,84%	61,19%	58,91%	898,286	57,87%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	6	170901258	28483543	38,06	0,000	
atk_tex	1	17867736	17867736	23,87	0,000	
atk_ipl_ure_met	1	12995482	12995482	17,36	0,000	
atk_ipl_buk_mik	1	1704532	1704532	2,28	0,134	
atk_sik	1	25190	25190	0,03	0,855	
CFF	1	4900848	4900848	6,55	0,012	
mam_kum_bir_ala_agi	1	855526	855526	1,14	0,287	
Error	135	101045185	748483			
Lack-of-Fit	126	100511580	797711	13,45	0,000	
Pure Error	9	533605	59289			
Total	141	271946443				

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 10P2-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.108. Minitab atkı yırtılma mukavemeti 10P2-1 regresyon modeli özet tablosu

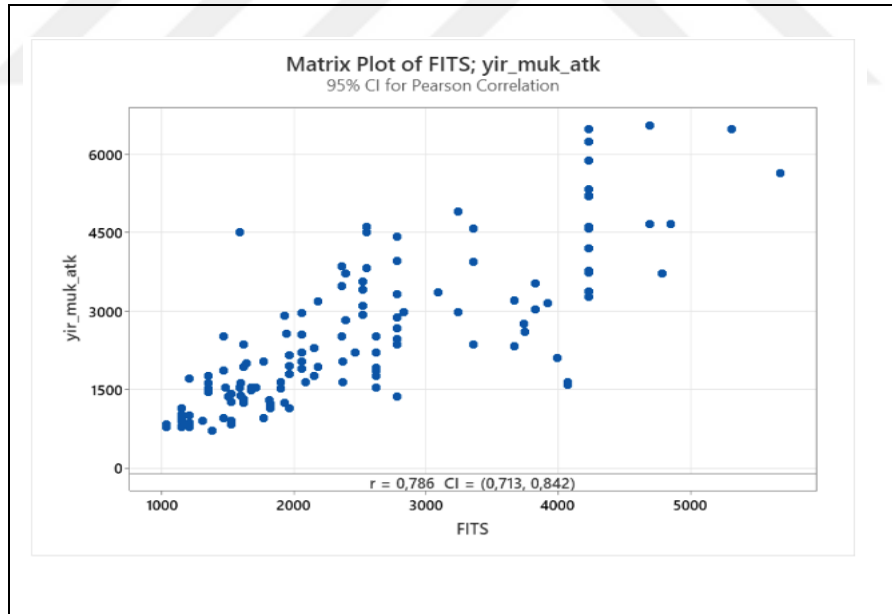
Regression Equation						
yir_muk_atk = -110 + 58,85 atk_tex + 463 atk_ipl_ure_met - 469 CFF						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	-110	469	-0,24	0,815		
atk_tex	58,85	4,71	12,49	0,000	1,79	
atk_ipl_ure_met	463	113	4,11	0,000	1,67	
CFF	-469	193	-2,44	0,016	1,09	
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	10-fold S	10-fold R-sq	
868,313	61,74%	60,91%	59,50%	889,875	58,65%	
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Regression	3	167898983	55966328	74,23	0,000	
atk_tex	1	117642223	117642223	156,03	0,000	
atk_ipl_ure_met	1	12714721	12714721	16,86	0,000	
CFF	1	4471912	4471912	5,93	0,016	
Error	138	104047460	753967			
Lack-of-Fit	51	60577673	1187798	2,38	0,000	
Pure Error	87	43469787	499653			
Total	141	271946443				

Çizelge 4.108’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi atkı yırtılma mukavemetine; atkı iplik numarası (atk_tex), atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met) pozitif yönde ve örgü faktörlerinden CFF ise negatif yönde etki etmiştir. Modelin regresyon katsayılarına baktığımızda, örgü faktörlerinden KL1’ in modele en fazla katkısı olduğu ve örgü faktörlerinden CFF’ in 1 birimlik artışı, atkı yırtılma mukavemetinin 469 oranında azalmasına sebep olduğu görülmektedir.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %58,65 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %76,58 ile iyi bir değer olup bu modelin atkı yırtılma mukavemetinin tahmin edilmesinde kontrollü kullanımı uygundur.

Modelin anlamlılığı için artıkların normal dağılım olması varsayımını kontrol etmek için yaptığımız Normality testte; residual-artıklarda P-value<0,010 değeri çıkmış ve bu değer $P > 0,05$ şartını sağlamadığı için model artıkların normal dağıldığı varsayımını karşılamamıştır.

Modelden çıkan atkı yırtılma mukavemeti değerleri ile veri setinde kullanılan gerçek atkı yırtılma mukavemeti arasında korelasyon grafiği Şekil 4.67’de verilmiştir.



Şekil 4.67. 10P2--1 pamuklu kumaşlarda atkı yırtılma mukavemeti regresyon modeli; gerçek değer ile model değer arasında korelasyon testi

Şekil 4.67’de korelasyon grafiğinde gerçek değer ile model değer (FITS) arasında korelasyon katsayısı $r = 0,786$ ile yüksek bir değer vermiştir. Bu duruma göre bu modelin tekstil işletmelerinde kullanımı uygun olacaktır.

4.10.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Yırılma Mukavemeti İçin Yapay Zekâ Modelleri

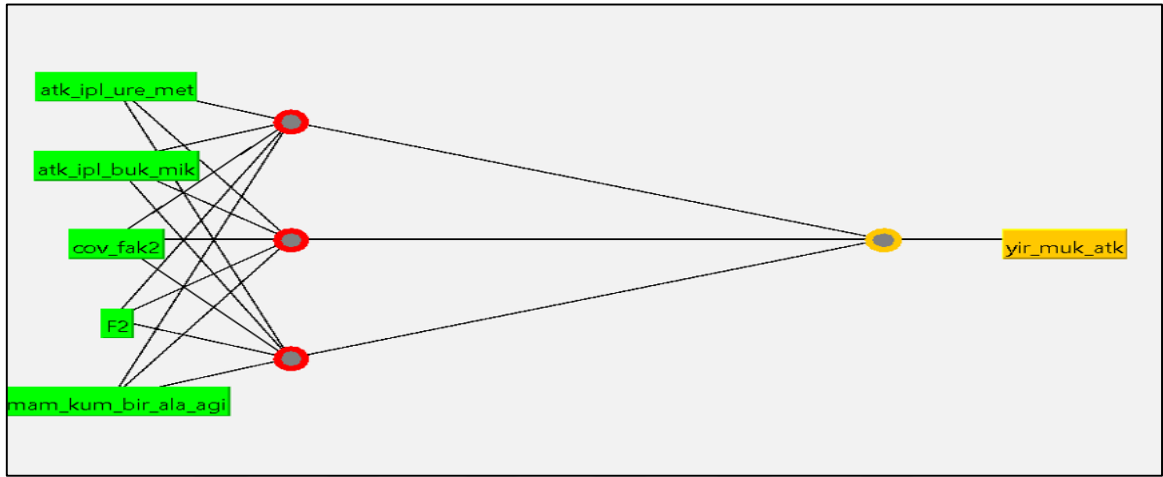
Pamuklu kumaşlarda atkı yırtılma mukavemeti için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznitelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.109’da verildiği gibidir.

Çizelge 4.109. Pamuklu kumaşlarda atkı yırtılma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
10P0	56,85	80,16	72,43
10P0-1	56,69	77,15	71,87
10P1	64,78	79,74	71,93
10P1-1	55,97	77,15	72,20
10P2	58,85	81,61	71,10
10P2-1	57,20	80,37	72,52
10P3	59,03	81,25	71,60
10P3-1	57,20	80,36	72,40
10P4	67,76*	79,87	71,05
10P4-1	43,51	63,22	56,76
10P5	59,03	80,14	71,39
10P5-1	46,56	61,55	56,76
10P6	64,10	80,67	71,00
10P6-1	43,94	66,18	61,33
10P7	65,61	81,64*	71,77
10P7-1	43,93	66,07	61,36
10P8	63,87	76,61	70,84
10P8-1	48,31	60,13	56,93
10P9	60,44	76,41	70,01
10P9-1	48,06	57,88	56,96
10P10	61,39	77,63	69,76
10P10-1	47,11	62,31	61,32
10P11	62,17	77,87	71,00
10P11-1	47,11	62,45	61,36
10P12	66,76	80,12	74,19
10P12-1	47,55	55,82	64,49
10P13	57,35	75,41	75,50*
10P13-1	45,56	51,60	57,61
10P14	61,18	72,19	71,14
10P14-1	47,56	51,60	57,61
10P15	62,99	70,65	70,65
10P15-1	47,56	51,60	57,61

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 10P4 modelidir. 10P4 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.68’de

görüldüğü gibidir. Burada, giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik), kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2), örgü faktörlerinden F2 ve mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_ağı), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan atkı yönünde yırtılma mukavemeti (yir_muk_atk) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıkıti nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (5 + 1) / 2 = 3$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.68. 10P4 atkı yırtılma mukavemeti tahmini için yapay sinir hücresi

Yapay sinir ağları için 10P4, rastgele orman algoritmaları için 10P7 ve Mars tekniği için 10P13 özet tablosu Çizelge 4.110’da verildiği gibidir.

Çizelge 4.110. Pamuklu kumaşlarda atkı yırtılma mukavemeti için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,6776	0,8164	0,755
Ortalama mutlak hata (MAE)	838,328	576,3495	675,034
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	1038,9794	804,6114	911,7138
Relatif mutlak hata (RAE)	%74,1617	% 50,9861	%59,7161
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%74,0111	% 57,316	%64,9454
Toplam örnek sayısı (TNI)	142	142	142

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,8164 R değeri ile rasgele orman algoritmaları olduğu görülmektedir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında en düşük değer rastgele orman algoritmalarında çıkmıştır.

4.11 Çözü Dikiş Kayma Direnci İçin Tahmin Modelleri

Pamuklu kumaşlar, karışım kumaşlar ve bunların biraraya gelmesi ile oluşturulan tüm kumaşlar için ayrı ayrı öncelikle lojistik regresyon modelleri, daha sonra aynı açıklayıcı değişkenler ile yapay zekâ modellerinden yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve Mars tekniği ile modeller oluşturulmuş ve bu modellerin tahmin performansları için % R korelasyon katsayı ile karşılaştırılmıştır.

4.11.1 Pamuklu Kumaşlarda Çözü Dikiş Kayma Direnci İçin Tahmin Modellerinin Kurulması

Pamuklu kumaşların çözü dikiş kayma mukavemetini tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak çözü dikiş kayma mukavemeti (dik_acm_coz), bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.69'dan faydalanılmıştır.

MODEL 11-P																			
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Çözü Dikiş Kayma Mukavemeti (Dikiş Açıldı veya Dikiş Açılmadı)																			
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																		
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri														
	Çözü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Çözü İpliği Üretim Metodu	Çözü İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Sıklıklar	Kıvrım	Ağırlık	Mamül Kumaş Birim Alan Ağırlık (gr/m-kare)	Örgü Faktörleri	Kumaş Yapı Faktörleri									
					Çözü Sıklık (tel /cm)	Atkı Sıklık (atki /cm)	Çözü Kıvrım (%)		F1	KL1	CFF	FYF	K1	K	T1	TS	OG1	OG	
0	X	x	x	x	x	x	x	x	x										
1	X	x	x	x	x	x	x	x		x									
2	X	x	x	x	x	x	x	x			x								
3	X	x	x	x	x	x	x	x				x							
4		x	x	x		x	x	x	x				x						
5		x	x	x		x	x	x		x				x					
6		x	x	x		x	x	x			x			x					
7		x	x	x		x	x	x				x	x						
8			x	x			x	x	x						x				
9			x	x			x	x		x					x				
10			x	x			x	x			x				x				
11			x	x			x	x				x			x				
12		x	x	x		x	x	x								x			
13			x	x			x	x									x		
14		x	x	x		x	x	x										x	
15			x	x			x	x											x

Şekil 4.69. Pamuk kumaşlarda çözü dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.11.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Çözü Dikiş Kayma Direnci Lojistik Regresyon Modelleri

Pamuklu kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Veri setinde dikiş açılmama durumu “0”, dikiş açılma durumu ise “1” olarak kodlanmış ve lojistik regresyon modellerinde dikiş kayma mukavemetine etkileyen, yukarıdaki Şekilde belirtilen açıklayıcı değişkenler ile kumaşlarda dikişin açılmama durumunun ortaya çıkma olasılığı araştırılmıştır. Her model için Şekil 4.69’da belirtilen açıklayıcı değişkenler ile oluşturulan modellerde Z-test ile modelde katsayıların anlamlılığına, Odds Ratio ile katsayıların beklenen durum olasılığı (burada dikiş açılmama durumu) üzerindeki olasılığı, model iyiliği testi (Deviance, Pearson ve Hosmer Lemeshow) modelin veriye uygunluğu, Wald testi ile de lojistik regresyon modelinin anlamlılığına bakılmıştır. Çıkan bu ham modelden sonra stepwise metodu ile en yüksek R^2 belirlilik katsayısını verecek alt küme oluşturulmuştur. Anlamlı alt kümeler ile oluşturulmuş her model birbiri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.69’da verildiği gibidir.

Şekil 4.69’da görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü kıvrımı (coz_kiv), kumaş yapı faktörlerinden K1 (cov_fak_1), K (cov_fak), OG1 ve OG yaygın olarak kullanılmıştır. Tahmin gücü en yüksek olan 14. Modelde atkı sıklığı (atk_sik), çözgü kıvrımı (coz_kiv), mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_agi), ve kumaş yapı faktörlerinden OG1 etkili olmuştur. Çözgü ipliği büküm miktarı (coz_ipl_buk_mik), atkı sıklığı (atk_sik), örgü faktörlerinden F1, KL1, CFF ve FYF’ nin de performansı daha düşük modellerde zaman zaman modellere dâhil olmuştur. Çözgü dikiş kayma mukavemetine etkisi olacağı düşünülen çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), çözgü ipliği üretim metodu (coz_ipl_ure_met), çözgü sıklığı (coz_sik) ve kumaş yapı faktörlerinden T1’ in modellere hiçbir katkısı olmamıştır.

Çizelge 4.111. Pamuklu kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti regresyon modelleri için R^2 belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
11P0	2,79	11P8	8,95
11P0-1	6,41	11P8-1	11,09
11P1	3,49	11P9	7,00
11P1-1	6,82	11P9-1	11,10
11P2	5,98	11P10	6,94
11P2-1	9,44	11P10-1	11,10
11P3	5,98	11P11	6,94

Çizelge 4.111. Pamuklu kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti regresyon modelleri için %R² belirlilik katsayıları (Devam)

Model No	k- fold R ²	Model No	k-fold R ²
11P3-1	9,44	11P11-1	11,10
11P4	6,53	11P12	4,06
11P4-1	7,93	11P12-1	6,32
11P5	6,12	11P13	2,03
11P5-1	7,93	11P13-1	1,43
11P6	5,94	11P14	13,24
11P6-1	8,98	11P14-1	14,80*
11P7	5,94	11P15	6,40
11P7-1	8,98	11P15-1	6,71

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelere dair R² belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.111’de görüldüğü üzere regresyon 11P14-1 modeli olduğu görülmektedir.

Regresyonda en yüksek R² değerini veren 11P14 modeli için Çizelge 4.112’deki özet tabloda çözgü dikiş kayma mukavemeti için regresyon denklemi incelendiğinde; çözgü ipliği üretim metoduna verilen kodlar paketleme yoğunluğu ile doğru orantılı olduğu için ipliklerdeki mukavemet artışı kumaşta dikiş kayma mukavemetini de pozitif yönde etkiler. Çözgü ipliği büküm miktarı artışı iplik yapısını daha rijit ve iplik yüzeyini daha tüysüz ve pürüzsüz yapacağı için ipliklerin birbiri üzerinde daha rahat kaymasına neden olur ve bu da dikiş kayma mukavemetini negatif etkiler, regresyon denkleminde de bu ilişki negatif olarak görülmektedir. Atkı iplik numarası arttığında yani atkı ipliği kalınlaştığında çözgü ipliği temas alanı görece artar ve serbest hareket alanı kısıtlanmış olur. Bu durumda çözgü yönünde dikiş açması ya da bir başka ifadeyle ipliklerin kayması zorlaşır. Aynı durum atkı sıklığının artışı ile çözgü dikiş kayma mukavemetinin artması arasındaki ilişkide de görülmektedir. Kumaşlarda atkı sıklığının, atkı ipliği çizgisel yoğunluğunun (kalınlık) veya örgü bağlantı sayısının artması çözgü ipliğinin daha fazla kıvrım almasına ve temas yüzeyinin artmasına yol açar. Sonuç olarak dikiş hattında yer alan dikiş ipliğinin uyguladığı kuvvete bağlı olarak kumaş içindeki çözgü ipliklerinin hareketi ve dikişin kayması zorlaşır. Yani çözgü kıvrım oranı arttığında, dikişli kumaşın atkı yönünde maruz kaldığı gerilme sonucu çözgü ipliklerinin atkı iplikleri arasında kayması, bir başka deyişle dikiş kayması güçleşecektir. Burada kıvrım ile çözgü dikiş kayma direnci arasında olması gereken pozitif ilişki regresyon denkleminde negatif çıkmıştır. Kumaş yapı faktörlerinden OG1 çözgü iplik numarası, çözgü sıklığı ve çözgü yönünde örgü faktörü ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla OG’ nin artışı çözgü ipliklerinin atkı yönünde dikiş kaymasını

zorlaştırır. OG1 ile çözgü dikiş kayma direnci arasındaki bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de görülmektedir. Kumaş birim alan ağırlığının artması da, iplikler arasındaki temas yüzeyini görece artıracığından, ipliklerin birbirini üzerinde kaymasını güçleştirerek, dikiş kayma direncini artıran bir etki gösterir ki regresyon denklemi de bunu doğrulamaktadır.

Çizelge 4.112’de görüldüğü gibi lojistik regresyon modellerinde parametrelerin tek tek istatistiksel olarak anlamlılığını ölçmek için Z-testi kullanılır. $Z_{\text{value}} = \text{Coef} / \text{SE}_{\text{Coef}}$ oranıyla elde edilir. Z değeri ne kadar büyük olursa, modelde değişkene dair belirsizlik o kadar az olur. Katsayılar tablosunda, her açıklayıcı değişkene dair P değerlerine baktığımızda $P < 0,05$ olduğunda açıklayıcı değişkenin model için anlamlı olduğu sonucu ortaya çıkar. Buna göre ham modelde kumaş yapı faktörü OG1 ve çözgü kıvrımı (coz_kiv) parametreleri anlamlı, diğer değişkenlerin ise model için katkılarının olmadığı sonucu ortaya çıkar.

VIF (variance inflation factor) değeri 10’ dan küçük olduğunda sözkonusu açıklayıcı değişken ile diğer değişkenler arasında çoklu doğrusal problemin olmadığı sonucu ortaya çıkar. Yani VIF < 10 olmalıdır. Burada çözgü ipliği büküm miktarı (coz_buk_mik) ve mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_agi) değişkenlerinde otokorelasyon sorunu sorunu vardır.

Olasılık oranları (Odds Ratio) tablosuna bakıldığında model için anlamlı katsayılar için Odds Ratio > 1 olması istenir, çünkü bu açıklayıcı değişkenin bağımlı değişkenin olması beklenen olasılığına ne kadar etki ettiğinin bir ölçüsüdür. Burada en yüksek etkinin kumaş yapı faktörlerinden OG1’ e ait olduğu açıkça görülmektedir.

Model özetinde; çapraz doğrulama 10- fold Deviance R- sq değeri 13,24 ile oldukça düşük bir sonuç vermiş olup, Roc eğrisinin altında kalan alan değerine baktığımıza 10-fold Area Under ROC Curve 0,7894 değeri ile modelin dikiş açılma olasılığını tahmin etmede kabul edilebilir olduğu sonucunu vermektedir.

Modelin Uyum iyiliğini kontrol ederken Deviance, Pearson ve Hosmer-Lemeshow’ a göre $P > 0,05$ olduğu için model ile veri uyumunun yeterli olduğu sonucu ortaya çıkar.

Modelin bir bütün olarak anlamlılığın bakarken Wald testinden faydalanılır. Wald testi tıpkı F testi gibi lojistik regresyon modellerinde bağımsız değişkenlerin tamamının bağımlı değişken üzerindeki etkisini test etmek için kullanılır. Burada regresyon modeli için Wald istatistiğinin P değeri 0,05’ den küçük olduğundan ($P < 0,05$), regresyon modeline anlamlıdır

diyebiliriz. Yine katsayılar için baktığımız Z testinde olduğu gibi burada da kumaş yapı faktörlerinden OG1 ve çözgü kıvrımı (coz_kiv) dışında tüm açıklayıcı değişkenler anlamsızdır.

Çizelge 4.112. Minitab çözgü dikiş kayma mukavemeti 11P14 regresyon modeli özet tablosu

Response Information

Variable	Value	Count
dik_acm_coz	0	89 (Event)
	1	52
	Total	141

Regression Equation

$$P(0) = \frac{\exp(Y')}{1 + \exp(Y')}$$

$$Y' = -7,77 + 0,007 \text{ coz_ipl_ure_met} - 0,00292 \text{ coz_ipl_buk_mik} + 0,0145 \text{ atk_tex} + 0,1670 \text{ atk_sik} + 11,56 \text{ OG1} - 0,2502 \text{ coz_kiv} + 0,0034 \text{ mam_kum_bir_ala_agi}$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	Z-Value	P-Value	VIF
Constant	-7,77	3,38	-2,30	0,021	
coz_ipl_ure_met	0,007	0,317	0,02	0,983	2,02
coz_ipl_buk_mik	-0,00292	0,00309	-0,95	0,344	7,96
atk_tex	0,0145	0,0291	0,50	0,618	8,70
atk_sik	0,1670	0,0793	2,11	0,035	5,59
OG1	11,56	3,18	3,63	0,000	1,03
coz_kiv	-0,2502	0,0995	-2,51	0,012	1,34
mam_kum_bir_ala_agi	0,0034	0,0105	0,32	0,746	11,10

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
coz_ipl_ure_met	1,0068	(0,5409; 1,8739)
coz_ipl_buk_mik	0,9971	(0,9911; 1,0031)
atk_tex	1,0146	(0,9584; 1,0741)
atk_sik	1,1818	(1,0118; 1,3804)
OG1	105089,7913	(204,5428; 5,39929E+07)
coz_kiv	0,7787	(0,6407; 0,9464)
mam_kum_bir_ala_agi	1,0034	(0,9830; 1,0242)

Model Summary

Deviance	Deviance				Area Under	10-fold	10-fold Area
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC	AICc	BIC	ROC Curve	Deviance	Under ROC
						R-Sq	Curve
22,10%	18,33%	160,62	161,71	184,21	0,7971	13,24%	0,7498

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	133	144,62	0,232
Pearson	133	131,01	0,532
Hosmer-Lemeshow	8	2,92	0,939

Analysis of Variance

Wald Test			
Source	DF	Chi-Square	P-Value
Regression	7	25,17	0,001
coz_ipl_ure_met	1	0,00	0,983
coz_ipl_buk_mik	1	0,89	0,344
atk_tex	1	0,25	0,618
atk_sik	1	4,44	0,035
OG1	1	13,18	0,000
coz_kiv	1	6,32	0,012
mam_kum_bir_ala_agi	1	0,11	0,746

Anlamalı olmayan katsayılar olduğu için stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturduğumuzda elde edilen yeni regresyon modeli 11P14-1;

Çizelge 4.113. Minitab çözgü dikiş kayma mukavemeti 11P14-1 regresyon modeli özet tablosu

Response Information

Variable	Value	Count
dik_acm_coz	0	89 (Event)
	1	52
	Total	141

Regression Equation

$$P(0) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = -9,78 + 0,1026 \text{ atk_sik} + 11,76 \text{ OG1} - 0,2673 \text{ coz_kiv} + 0,01096 \text{ mam_kum_bir_ala_agi}$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	Z-Value	P-Value	VIF
Constant	-9,78	2,65	-3,69	0,000	
atk_sik	0,1026	0,0389	2,63	0,008	1,48
OG1	11,76	3,20	3,67	0,000	1,00
coz_kiv	-0,2673	0,0973	-2,75	0,006	1,28
mam_kum_bir_ala_agi	0,01096	0,00396	2,76	0,006	1,64

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
atk_sik	1,1080	(1,0266; 1,1958)
OG1	127814,5747	(241,2433; 6,77182E+07)
coz_kiv	0,7654	(0,6326; 0,9262)
mam_kum_bir_ala_agi	1,0110	(1,0032; 1,0189)

Model Summary

Deviance	Deviance				Area Under	10-fold	10-fold Area
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC	AICc	BIC	ROC Curve	Deviance	Under ROC
						R-Sq	Curve
21,55%	19,40%	155,64	156,08	170,38	0,7919	14,80%	0,7576

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	136	145,64	0,271
Pearson	136	130,53	0,616
Hosmer-Lemeshow	8	5,30	0,725

Analysis of Variance

Wald Test			
Source	DF	Chi-Square	P-Value
Regression	4	24,40	0,000
atk_sik	1	6,94	0,008
OG1	1	13,50	0,000
coz_kiv	1	7,55	0,006
mam_kum_bir_ala_agi	1	7,64	0,006

Çizelge 4.113'de regresyon denkleminde görüldüğü gibi çözgü dikiş kayma mukavemetine; atkı sıklığı (atk_sik), Kumaş yapı faktörlerinden OG1, çözgü kıvrımı (coz_kiv) ve mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_agi) etki etmiştir. Lojistik regresyon modellerinde modelin Odds Ratio değerlerinde görüldüğü gibi istenilen şekilde çözgü yönünde

kumaşın dikişinin açılmaması olasılığına açıklayıcı değişkenlerden kumaş yapı faktörü OG1' in en yüksek etkiyi gösterdiği açıktır.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %14,80 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %38,47 ile düşük bir değer olup bu modelin çözgü dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesinde kullanımı uygun değildir.

Modelin katsayılarının anlamlılığı için Z-test ve Wald Teste baktığımızda, P-value = 0,000 ve $P < 0,05$ olduğu için atkı sıklık (atk_sik) regresyon katsayısı β_1 , kumaş yapı faktörlerinden OG1 regresyon katsayısı β_2 , çözgü kıvrımı (coz_kiv) regresyon katsayısı β_3 , ve mamül kumaş birim alan ağırlığı (mam_kum_bir_ala_agi) regresyon katsayısı β_4 anlamlıdır. Tüm regresyon modelinin anlamlılığı için Wald-teste baktığımızda regresyon modeli $P = 0,000$ ve $P < 0,05$ şartını karşıladığı için anlamlıdır.

Modelin Uyum iyiliğini kontrol ederken Deviance, Pearson ve Hosmer-Lemeshow' a göre $P > 0,05$ olduğu için model ile veri uyumunun yeterli olduğu sonucu ortaya çıkar.

Model genel anlamda düşük R^2 değeri verdiği için çözgü dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesi için uygun değildir.

4.11.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Çözgü Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Yapay Zekâ Modelleri

Pamuklu kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti için yapay zekâ ana modelleri ile 4.114'te verildiği gibidir.

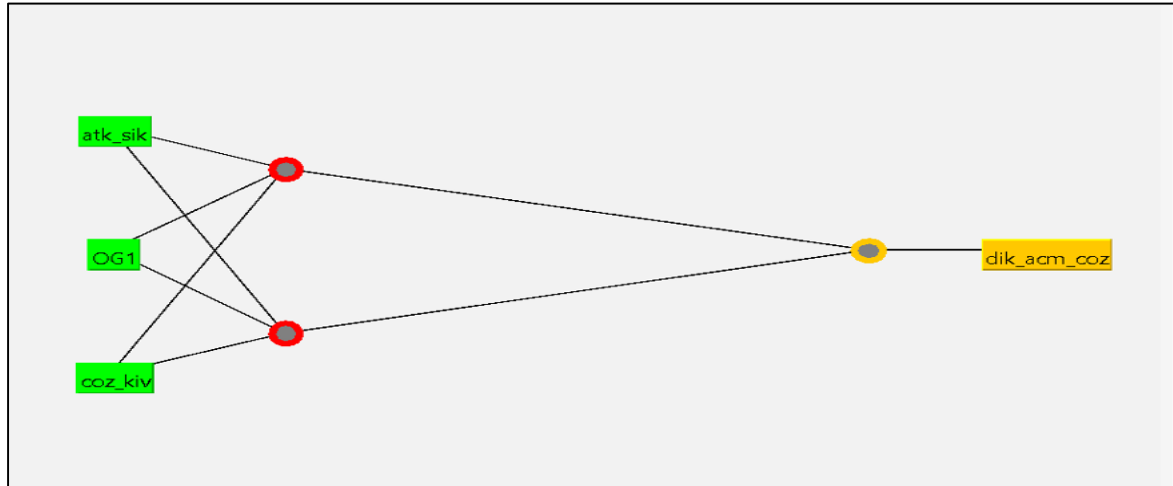
Çizelge 4.114. Pamuklu kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
11P0	8,45	18,62	17,59
11P0-1	11,70	16,28	31,55
11P1	8,29	20,30	21,28
11P1-1	15,55	20,29	31,58
11P2	2,42	22,82	31,11
11P2-1	7,43	17,47	29,17
11P3	13,98	20,70	33,53
11P3-1	9,37	17,86	32,09
11P4	13,84	32,12	27,45
11P4-1	13,34	27,68	19,50
11P5	9,13	32,92	29,48
11P5-1	7,83	28,65	23,69

Çizelge 4.114. Pamuklu kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı (Devam)

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
11P6	10,06	32,71	24,86
11P6-1	15,26	28,17	24,96
11P7	21,91	34,44*	25,26
11P7-1	9,11	25,21	26,86
11P8	19,73	28,07	36,74
11P8-1	16,90	31,04	38,46
11P9	10,78	28,82	36,20
11P9-1	18,36	27,64	37,35
11P10	9,07	27,93	37,77
11P10-1	18,49	26,72	35,94
11P11	9,40	27,59	37,77
11P11-1	20,18	26,68	34,56
11P12	4,63	15,89	30,39
11P12-1	-0,17	5,22	21,69
11P13	7,24	27,46	30,15
11P13-1	-5,76	27,42	27,96
11P14	12,71	30,00	38,55*
11P14-1	23,22*	31,06	30,41
11P15	1,49	13,20	27,00
11P15-1	2,78	15,58	22,74

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 11P14-1 modelidir.



Şekil 4.70. 11P14-1 çözgü dikiş kayma mukavemeti tahmini için yapay sinir hücresi

11P14-1 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.70’de görüldüğü gibidir. Burada, giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; burada atkı sıklığı

(atk_sik), kumaş yapı faktörlerinden OG1 ve çözgü kıvrımı (coz_kiv), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan çözgü yönünde dikiş kayma mukavemeti (dik_acm_coz) alınmıştır. Gizli katman 1 ne bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıktı nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (3+1) / 2 = 2$ olarak kabul edilmiştir.

Yapay sinir ağları için 11P14-1, rastgele orman algoritmaları için 11P7 ve Mars tekniği için 11P14 özet tablosu Çizelge 4.115’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.115. Pamuklu kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,2322	0,3444	0,3855
Ortalama mutlak hata (MAE)	0,4322	0,3904	0,3978
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	0,5027	0,4593	0,4492
Relatif mutlak hata (RAE)	%92,1524	% 83,2466	%84,8109
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%103,3951	% 94,4758	%92,4037
Toplam örnek sayısı (TNI)	141	141	141

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,3855 R değeri ile Mars tekniği olduğu görülmektedir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE)’ ye baktığımızda en düşük değer rastgele orman algoritmalarında ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında ise en düşük değer Mars tekniğinde çıkmıştır.

4.11.2 Karışım Kumaşlar Çözgü Dikiş Kayma Direnci Tahmin Modellerinin Kurulması

Karışım kumaşların çözgü dikiş kayma mukavemetini tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak çözgü dikiş kayma mukavemeti (dik_acm_coz), bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.71’den faydalanılmıştır.

MODEL 11-K																	
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Çözü Dikiş Kayma Mukavemeti (Dikiş Açıldı veya Dikiş Açılmadı)																	
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri												
					Sıklıklar		Kıvrım	Ağırlık	Örgü Faktörleri				Kumaş Yapı Faktörleri				
	Çözü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Ortalama Elyaf Mukave met Katsayısı	Çözü İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözü Sıklık (tel /cm)	Atkı Sıklık (atki /cm)	Çözü Kıvrım (%)	Ham Kumaş Birim Alan Ağırlık (gr/m-kare)	F1	KL1	CFF	FYF	K1	K	T1	TS	OG
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x								
1	x	x	x	x	x	x	x	x		x							
2	x	x	x	x	x	x	x	x			x						
3	x	x	x	x	x	x	x	x				x					
4		x	x	x		x	x	x	x				x				
5		x	x	x		x	x	x		x			x				
6		x	x	x		x	x	x			x		x				
7		x	x	x		x	x	x				x	x				
8			x	x			x	x	x					x			
9			x	x			x	x		x				x			
10			x	x			x	x			x			x			
11			x	x			x	x				x		x			
12		x	x	x		x	x	x							x		
13			x	x			x	x								x	
14		x	x	x		x	x	x									x
15			x	x			x	x									x

Şekil 4.71. Karışım kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.11.2.1 Karışım Kumaşlarda Çözgü Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Lojistik Regresyon Modelleri

Karışım kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.71’de verildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü sıklığı (coz_sik), çözgü kıvrımı (coz_kiv), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi), örgü faktörlerinden F1, KL1, CFF, FYF ve kumaş yapı faktörlerinden K1 (cov_fak_1) yaygın olarak kullanılmıştır. Tahmin gücü en yüksek olan 1. Modelde çözgü sıklığı (coz_sik), çözgü kıvrımı (coz_kiv), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi), örgü faktörlerinden etkili olmuştur. Atkı sıklığı (atk_sik) performansı daha düşük modellerde zaman zaman modellere dâhil olmuştur. Çözgü dikiş kayma mukavemetine etkisi olacağı düşünülen çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat), çözgü ipliği büküm metodu (coz_ipl_buk_mik) ve kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak), T1, TS, OG1 ve OG’n in modellere hiçbir katkısı olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelere dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin aşağıdaki Çizelge 4.116’da görüldüğü üzere regresyon 11K1-1 modelİ olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.116. Karışım kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti regresyon modelleri için $\%R^2$ belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
11K0	6,92	11K8	7,53
11K0-1	17,62	11K8-1	9,52
11K1	10,49	11K9	7,68
11K1-1	19,38*	11K9-1	11,39
11K2	7,75	11K10	6,30
11K2-1	17,29	11K10-1	10,11
11K3	7,75	11K11	6,30
11K3-1	17,29	11K11-1	10,11
11K4	12,28	11K12	0,00
11K4-1	15,57	11K12-1	2,73
11K5	15,03	11K13	0,16
11K5-1	17,82	11K13-1	2,73
11K6	12,52	11K14	2,97
11K6-1	15,76	11K14-1	2,73
11K7	12,52	11K15	0,00
11K7-1	15,76	11K15-1	2,73

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 11K1 modeli için Çizelge 4.117’deki özet tabloda çözgü dikiş kayma mukavemeti için regresyon denklemi incelendiğinde; çözgü iplik numarası ve sıklığı arttığında kumaş daha sıkı ve katı bir yapı alır, bu da ipliklerin birbirine daha iyi kenetlenmesini sağlayacağı için atkı boyunca çözgü ipliklerin kayarak açılmasını engeller, dolayısıyla çözgü iplik numarası ve sıklığı ile dikiş kayma direnci arasında regresyon denkleminde de görülen pozitif bir ilişki vardır. Çözgü ipliğinde büküm miktarının artışı birim iplik yüzeyini daha tüysüz, kaygan ve pürüzsüz yapacağı için ipliklerin birbiri üzerinden daha rahat kayar bu da dikiş kayma direncinin düşmesine neden olur, ancak regresyon denklemi bu negatif ilişkiyi doğrulamamaktadır. Atkı iplik numarası arttığında yani atkı ipliği kalınlaştığında çözgü kıvrımı artma eğilimi gösterir ve çözgü ipliğinin hareket edeceği alan sınırlandırılmış olur. Bu durumda dikiş ipliğinin uygulanan baskı sonucu çözgü ipliklerinin kayması güçleşir, aynı durum atkı sıklığının artışı ile çözgü dikiş kayma direncinin artması arasındaki ilişkide de görülmektedir. Kumaşlarda atkı sıklığının artması, atkı ipliğinin kalınlaşması veya örgüde bağlantı sayısının artması çözgü ipliği kıvrımını artırır ve daha iyi kenetlenen ipliklerin kayması güçleşir. Çözgü kıvrımı artışı, her üç durumda da kumaştaki dikiş kaymasını zorlaştırır. Dolayısıyla kıvrım arttığında kumaşta dikiş kayma direnci artar. Burada

kumaş kıvrımı ile çözgü dikiş kayma direnci arasında olması gereken pozitif ilişki regresyon denkleminde negatif çıkmıştır. Örgü faktörü KL1, örgüdeki geçiş miktarı yani bağlantı sayısındaki artışa bağlı olarak artarak, çözgü dikiş kayma direncini arttırır. Kumaş birim alan ağırlığının artması da iplikler arasındaki temas yüzeyini görece artırarak, kumaşta dikiş kayma direncinin artmasına yol açar ki regresyon denklemi de bunu doğrulamaktadır. Kumaş lif kompozisyonuna göre hesaplanan ortalama elyaf mukavemet katsayısı doğrudan elyaf, iplik ve kumaş mukavemetini pozitif yönde etkiler. Ancak kopma kuvvetindeki artışın ipliklerin birbiri üzerinde kayma davranışına doğrudan etkilemesi beklenmediği için burada dolaylı bir ilişki söz konusu olacaktır. Lif kompozisyonundaki değişimin, ortalama mukavemete etkisinden çok, ipliğin kayganlığını etkilediği ölçüde dikiş kayma direncini etkilemesi söz konusu olacaktır. Regresyon denklemi ortalama elyaf mukavemet katsayısı ile kumaş çözgü dikiş kayma mukavemeti arasında negatif bir ilişki kendini göstermiştir.

Lojistik regresyonda ilk model çalışması pamuklu çözgü dikiş kayma mukavemetinden sonraki lojistik regresyon modelleri sonuçların olay izlenebilirliği açısından aşağıdaki şekilde verilmiştir.

11K1 modeli için yapılan lojistik regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

Z- değişken anlamlılık testi

$\Rightarrow$	$P_{\text{değ}} < 0,05$	
atk_sik, coz_sik, coz_kiv, KL1		$\rightarrow$ anlamlı
coz_tex, coz_ipl_buk_mik, atk_tex, ham_kum_bir_ala_agi, ort_ely_muk_kat		$\rightarrow$ anlamsız

$\Rightarrow$	$VIF < 10$	
coz_tex, atk_tex, ham_kum_bir_ala_agi		$\rightarrow$ otokorelasyon var

Odds oranı

KL1	$\rightarrow$	en yüksek etki
coz_sik	$\rightarrow$	en düşük etki

Uyum iyiliği testi

$\Rightarrow$	Deviance $P > 0,05$	$\rightarrow$	veri uyumu yeterli
$\Rightarrow$	Pearson $P > 0,05$	$\rightarrow$	veri uyumu yeterli
$\Rightarrow$	Hosmer-Lemeshow $P > 0,05$	$\rightarrow$	veri uyumu yeterli

Wald- model anlamlılık testi

$\Rightarrow$	Regresyon $P < 0,05$	$\rightarrow$	regresyon modeli anlamlı
---------------	----------------------	---------------	--------------------------

Çizelge 4.117. Minitab çözgü diğiş kayma mukavemeti 11K1 regresyon modeli özet tablosu

Response Information

Variable	Value	Count
dik_acm_coz	0,000	197 (Event)
	1,000	35
	Total	232

Regression Equation

$$P(0,000) = \exp(Y')/(1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = -13,4 + 0,148 \text{ coz_tex} + 0,0125 \text{ coz_ipl_buk_mik} - 0,034 \text{ atk_tex} + 0,2185 \text{ atk_sik} \\ - 0,1700 \text{ coz_sik} + 0,0190 \text{ ham_kum_bir_ala_agi} - 0,1569 \text{ coz_kiv} + 7,47 \text{ KL1} \\ - 0,124 \text{ ort_ely_muk_kat}$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	Z-Value	P-Value	VIF
Constant	-13,4	13,4	-1,00	0,316	
coz_tex	0,148	0,177	0,83	0,404	33,60
coz_ip1_buk_mik	0,0125	0,0120	1,05	0,296	9,71
atk_tex	-0,034	0,156	-0,22	0,827	25,94
atk_sik	0,2185	0,0800	2,73	0,006	3,34
coz_sik	-0,1700	0,0747	-2,28	0,023	6,05
ham_kum_bir_ala_agi	0,0190	0,0119	1,60	0,109	14,11
coz_kiv	-0,1569	0,0383	-4,09	0,000	4,69
KL1	7,47	1,90	3,93	0,000	1,83
ort_ely_muk_kat	-0,124	0,129	-0,96	0,338	1,08

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
coz_tex	1,1590	(0,8195; 1,6391)
coz_ip1_buk_mik	1,0126	(0,9891; 1,0366)
atk_tex	0,9667	(0,7126; 1,3113)
atk_sik	1,2442	(1,0637; 1,4553)
coz_sik	0,8437	(0,7288; 0,9766)
ham_kum_bir_ala_agi	1,0192	(0,9958; 1,0432)
coz_kiv	0,8548	(0,7929; 0,9215)
KL1	1763,3431	(42,2123; 73660,4703)
ort_ely_muk_kat	0,8833	(0,6854; 1,1384)

Model Summary

Deviance	Deviance				Area Under	10-fold	10-fold Area
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC	AICc	BIC	ROC Curve	Deviance	Under ROC
						R-Sq	Curve
27,01%	22,43%	163,68	164,67	198,14	0,8570	10,49%	0,8013

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	222	143,68	1,000
Pearson	222	159,56	0,999
Hosmer-Lemeshow	8	6,42	0,600

Analysis of Variance

		Wald Test	
Source	DF	Chi-Square	P-Value
Regression	9	29,22	0,001
coz_tex	1	0,70	0,404
coz_ip1_buk_mik	1	1,09	0,296
atk_tex	1	0,05	0,827
atk_sik	1	7,46	0,006
coz_sik	1	5,18	0,023
ham_kum_bir_ala_agi	1	2,57	0,109
coz_kiv	1	16,75	0,000
KL1	1	15,41	0,000
ort_ely_muk_kat	1	0,92	0,338

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 11K1-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.118. Minitab çözgü dikiş kayma mukavemeti 11K1-1 regresyon modeli özet tablosu

Response Information

Variable	Value	Count
dik_acm_coz	0,000	197 (Event)
	1,000	35
	Total	232

Regression Equation

$$P(0,000) = \exp(Y')/(1 + \exp(Y'))$$
$$Y' = -4,54 + 0,2008 \text{ atk_sik} - 0,1791 \text{ coz_sik} + 0,01964 \text{ ham_kum_bir_ala_agi} - 0,1419 \text{ coz_kiv} + 7,43 \text{ KL1}$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	Z-Value	P-Value	VIF
Constant	-4,54	2,08	-2,18	0,029	
atk_sik	0,2008	0,0637	3,15	0,002	2,24
coz_sik	-0,1791	0,0468	-3,83	0,000	2,36
ham_kum_bir_ala_agi	0,01964	0,00632	3,11	0,002	3,91
coz_kiv	-0,1419	0,0319	-4,45	0,000	3,22
KL1	7,43	1,87	3,97	0,000	1,75

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
atk_sik	1,2224	(1,0790; 1,3848)
coz_sik	0,8360	(0,7627; 0,9163)
ham_kum_bir_ala_agi	1,0198	(1,0073; 1,0326)
coz_kiv	0,8677	(0,8152; 0,9237)
KL1	1681,8482	(42,7850; 66112,2277)

Model Summary

Deviance	Deviance				Area Under	10-fold	10-fold Area
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC	AICc	BIC	ROC Curve	Deviance	Under ROC
						R-Sq	Curve
25,67%	23,13%	158,29	158,67	178,98	0,8502	19,38%	0,8158

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	226	146,29	1,000
Pearson	226	168,33	0,998
Hosmer-Lemeshow	8	10,53	0,230

Analysis of Variance

Wald Test			
Source	DF	Chi-Square	P-Value
Regression	5	30,05	0,000
atk_sik	1	9,95	0,002
coz_sik	1	14,65	0,000
ham_kum_bir_ala_agi	1	9,65	0,002
coz_kiv	1	19,80	0,000
KL1	1	15,72	0,000

Çizelge 4.118'de regresyon denkleminde görüldüğü gibi çözgü dikiş kayma mukavemetine; atkı sıklığı (atk_sik), çözgü sıklığı (coz_sik), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi), çözgü kıvrımı (coz_kiv) ve örgü faktörlerinden KL1 etki etmiştir.

Lojistik regresyon modellerinde modelin Odds Ratio değerlerinde görüldüğü gibi istenilen şekilde kumaşın çözgü yönünde dikişinin açılmaması olasılığına açıklayıcı değişkenlerden örgü faktörü KL1' in en yüksek etkiyi gösterdiği açıktır.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %19,38 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %44,02 ile düşük bir değer olup bu modelin çözgü dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesinde kullanımı uygun değildir.

4.11.2.2 Karışım Kumaşlarda Çözgü Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Yapay Zekâ Modelleri

Karışım kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznelilikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.119'da verildiği gibidir.

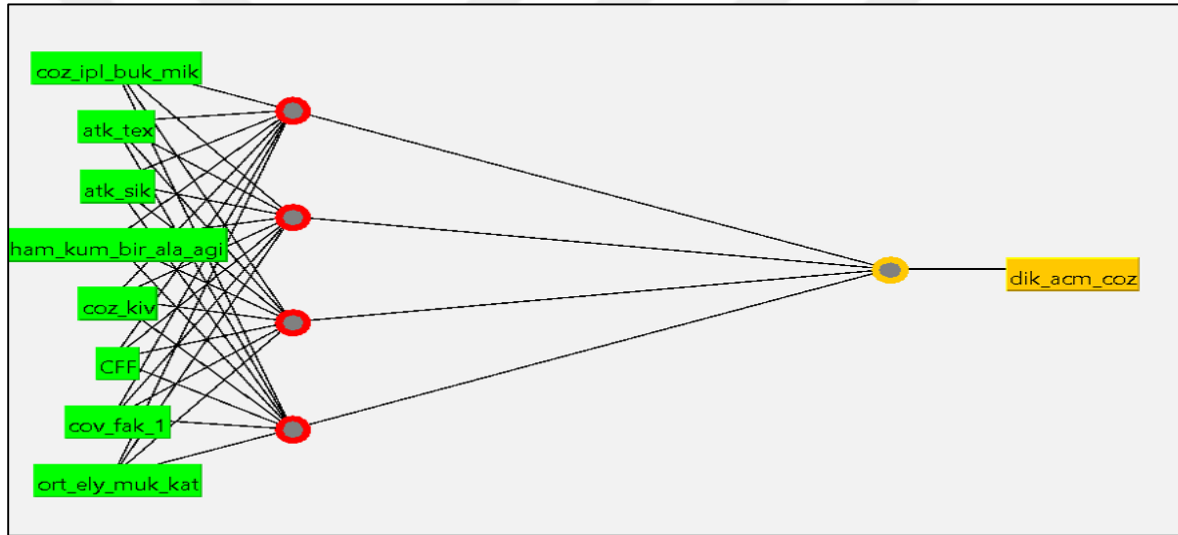
Çizelge 4.119. Karışım kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
11K0	22,96	31,91	36,3
11K0-1	9,90	21,62	21,62
11K1	23,06	32,06	37,87
11K1-1	17,98	23,98	23,98
11K2	23,83	33,06*	34,1
11K2-1	9,29	26,28	26,28
11K3	25,49	30,51	38,58*
11K3-1	8,82	24,23	24,23
11K4	19,74	29,19	38,56
11K4-1	6,75	18,62	18,62
11K5	18,99	28,85	38,25
11K5-1	12,75	19,49	19,49
11K6	27,17*	28,71	32,70
11K6-1	4,89	11,76	11,76
11K7	27,08	29,06	37,11
11K7-1	5,68	12,24	12,24
11K8	16,90	22,80	11,36
11K8-1	10,13	13,52	13,52
11K9	15,24	21,96	9,56
11K9-1	10,52	11,52	11,52
11K10	12,93	21,32	10,28
11K10-1	10,40	10,99	10,99
11K11	12,91	21,26	10,67
11K11-1	10,03	11,68	11,68
11K12	15,06	19,58	24,23
11K12-1	1,56	10,29	10,29

Çizelge 4.119. Karışım kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı (Devam)

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
11K13	18,27	15,89	12,16
11K13-1	0,03	15,78	15,78
11K14	11,90	25,18	24,24
11K14-1	2,28	13,94	13,94
11K15	13,25	26,44	12,57
11K15-1	2,82	13,85	13,85

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 11K6 modelidir.



Şekil 4.72. 11K6 çözgü dikiş kayma mukavemeti tahmini için yapay sinir hücresi

11K6 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.72’de görüldüğü gibidir. Giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; çözgü ipliği büküm miktarı (coz_ipi_buk_mik), atkı iplik numarası (atk_tex), atkı sıklığı (atk_sik), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_agi), çözgü kıvrımı (coz_kiv), örgü faktörlerinden CFF, kumaş yapı faktörlerinden K1 (cov_fak_1) ve ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan çözgü yönünde dikiş kayma mukavemeti (dik_acm_coz) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıkış nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (8 + 1) / 2 = 4$ olarak kabul edilmiştir.

Yapay sinir ağları için 11K6, rastgele orman algoritmaları için 11K2 ve Mars tekniği için 11K3 özet tablosu Çizelge 4.120’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.120. Karışım kumaşlarda çözgü kayma mukavemeti için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,2717	0,3306	0,3858
Ortalama mutlak hata (MAE)	0,2793	0,2211	0,2352
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	0,449	0,3415	0,3363
Relatif mutlak hata (RAE)	%108,4775	% 85,8741	%91,354
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%124,7392	% 94,8739	%93,4459
Toplam örnek sayısı (TNI)	232	232	232

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,3858 R değeri ile Mars tekniği olduğu görülmektedir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE)’ ye bakıldığında en düşük değer rastgele orman algoritmalarında ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında ise en düşük değer mars tekniğinde çıkmıştır.

4.11.3 Tüm Veri Setinde Çözgü Dikiş Kayma Mukavemeti Tahmin Modellerinin Kurulması

İki farklı işletmeden alınan pamuklu ve poliester viskon kumaşların veri seti ortak açıklayıcı değişkenler kullanılarak birleştirilmiş ve işletmelere özgü faktörler ihmal edilerek ortak bir model oluşturulmuştur.

MODEL 11PK																	
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Çözgü Dikiş Açma Mukavemeti (kgf)																	
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																
	Kumaş İplik Özellikleri					Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri											
	Çözgü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Ortalama Elyaf Mukavemet Katsayısı	Çözgü İpliği Üretim Metodu	Çözgü İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözgü Sıklık (tel /cm)	Atkı Sıklık (atki /cm)	Çözgü Kıvrım (%)	Ham Kumaş Birim Alan Ağırlık (g/m-kare)	F1	KL1	CFF	FVF	K1	K	T1	TS
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x							
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x						
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x					
3	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x				
4	x	x	x	x	x		x	x	x	x				x			
5		x	x	x	x		x	x	x		x			x			
6		x	x	x	x		x	x	x			x		x			
7		x	x	x	x		x	x	x				x	x			
8			x	x	x			x	x	x					x		
9			x	x	x			x	x		x				x		
10			x	x	x			x	x			x					
11			x	x	x			x	x				x		x		
12		x	x	x	x		x	x	x							x	
13			x	x	x			x	x								x
14		x	x	x	x		x	x	x								x
15			x	x	x			x	x								x

Şekil 4.73. Tüm kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.11.3.1 Tüm Kumaşlarda Çözü Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Lojistik Regresyon Modelleri

Pamuklu ve karışım kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.73'te verildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü ipliği üretim metodu (coz_ipl_ure_met), çözgü kıvrımı (coz_kiv), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi), örgü faktörlerinden F1, KL1, kumaş yapı faktörlerinden K1 (cov_fak_1), T1, OG1 ve OG yaygın olarak kullanılmıştır. Tahmin gücü en yüksek olan 1. Modelde çözgü ipliği üretim metodu (coz_ipl_ure_met), çözgü sıklığı (coz_sik), atkı sıklığı (atk_sik), çözgü kıvrımı (coz_kiv), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi) ve örgü faktörlerinden KL1 etkili olmuştur. Atkı iplik numarası (atk_tex), ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat) çözgü sıklığı (coz_sik), atkı sıklığı (atk_sik), örgü faktörlerinden CFF ve FYF performansı daha düşük modellerde zaman zaman modellere dahil olmuştur. Çözgü dikiş kayma mukavemetine etkisi olacağı düşünülen çözgü iplik numarası (coz_tex), çözgü ipliği büküm miktarı (coz_ipl_buk_mik), kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak) ve TS'in modellere hiçbir katkısı olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelere dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.121'de görüldüğü üzere regresyon 11PK1-1 modeli olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.121. Tüm kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti regresyon modelleri için % R^2

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
11PK0	9,16	11PK8	10,68
11PK0-1	11,85	11PK8-1	11,85
11PK1	14,51	11PK9	14,58
11PK1-1	18,16*	11PK9-1	15,25
11PK2	7,92	11PK10	9,31
11PK2-1	11,26	11PK10-1	11,26
11PK3	7,92	11PK11	9,31
11PK3-1	11,26	11PK11-1	11,26
11PK4	11,48	11PK12	9,16
11PK4-1	12,61	11PK12-1	11,34
11PK5	16,18	11PK13	8,02
11PK5-1	17,02	11PK13-1	10,48
11PK6	9,96	11PK14	9,02
11PK6-1	11,94	11PK14-1	11,03
11PK7	9,96	11PK15	9,53
11PK7-1	11,94	11PK15-1	10,48

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 11PK1 modeli için izelge 4.122'deki zet tabloda çözgü dikiş kayma mukavemeti için regresyon denklemi incelendiğinde; çözgü iplik numarası ve çözgü sıklığı arttığında kumaş daha sıkı ve katı bir hal alır, bu da atkı boyunca çözgü ipliklerinin kayarak açılmasını engeller, burada çözgü iplik numarası ve sıklığı ile dikiş kayma mukavemeti arasında pozitif olması beklenen ilişki regresyon denkleminde doğrulanmamıştır. Çözgü ipliğinde büküm miktarının artışı iplik yüzeyini görece daha tüysüz ve kaygan yapacağı için ipliklerin birbiri üzerinden daha rahat kayar bu da dikiş kayma direncinin düşmesine neden olur, regresyon denklemi bu negatif ilişkiyi doğrulamaktadır. Atkı iplik numarası arttığında yani atkı ipliği kalınlaştığında çözgü kıvrımı artar ve çözgü ipliğinin hareket edeceği alan sınırlandırılmış olur. Bu durumda çözgü ipliklerinin kayarak açılması güçleşir, ancak bu pozitif ilişkiyi regresyon denklemi doğrulamamaktadır. Aynı durum atkı sıklığının artışı ile çözgü dikiş kayma direncinin artması arasındaki ilişkide de görülmektedir. Atkı sıklığı ile atkı yönünde dikiş kayma direnci arasındaki bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de görülmektedir. Çözgü ipliği üretim metodu ile oluşan ilişkinin diğer modellerdeki gibi paketleme yoğunluğu ile doğru orantılı olduğunu söyleyebiliriz. Bu durumda beklenen pozitif ilişkiyi regresyon eşitliği de doğrulamaktadır. Kumaşlarda atkı sıklığının artması, atkı ipliğinin kalınlaşması veya örgüde bağlantı sayısının artması çözgü ipliğinin kıvrımını artırma eğilimi gösterecektir. Çözgü kıvrımında artışa yol açan her üç durumda da kumaş dikiş kayması zorlaşır. Dolayısıyla kıvrım arttığında kumaşta dikiş kayma direnci de artacaktır. Burada kumaş kıvrımı ile çözgü dikiş kayma direnci arasında beklenen pozitif ilişki, regresyon denkleminde negatif çıkmıştır. Örgü faktörü KL1, örgüdeki geçiş miktarı yani bağlantı sayısındaki artışa bağlı artacağından, çözgü dikiş kayma direncini de arttırır. Kumaş birim alan ağırlığının artması da, iplikler arasındaki temas yüzeyini görece arttırarak, kumaşta dikiş kayma direncini artmasını sağlar ki bu ilişiki regresyon denkleminde doğrulanmaktadır. Kumaş lif içeriğine göre hesaplanan ortalama elyaf mukavemet katsayısı doğrudan elyaf, iplik ve kumaş mukavemetini pozitif yönde etkiler. Ancak kopma kuvvetindeki artışın ipliklerin birbiri üzerinde kayma davranışına doğrudan etkilemesi beklenmediği için burada dolaylı bir ilişki söz konusu olacaktır. Lif kompozisyonundaki değişimin, ortalama mukavemete etkisinden çok, ipliğin kayganlığını etkilediği ölçüde dikiş kayma direncini etkilemesi söz konusu olacaktır. Regresyon denklemi ortalama elyaf mukavemet katsayısı ile kumaş çözgü dikiş kayma mukavemeti arasında negatif bir ilişki kendini göstermiştir.

Çizelge 4.122. Minitab çözgü diğiş kayma mukavemeti 11PK1 regresyon modeli özet tablosu

Response Information

Variable	Value	Count
dik_acm_coz	0,000	286 (Event)
	1,000	87
Total		373

Regression Equation

$P(0,000) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$
 $Y' = -1,10 - 0,0461 \text{ coz_tex} - 0,00255 \text{ coz_ipl_buk_mik} - 0,0202 \text{ atk_tex} + 0,0913 \text{ atk_sik}$
 $- 0,1224 \text{ coz_sik} + 0,626 \text{ coz_ipl_ure_met} + 0,01514 \text{ ham_kum_bir_ala_agi} - 0,0941 \text{ coz_kiv}$
 $+ 2,710 \text{ KL1} + 0,0444 \text{ ort_ely_muk_kat}$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	Z-Value	P-Value	VIF
Constant	-1,10	3,78	-0,29	0,771	
coz_tex	-0,0461	0,0308	-1,49	0,135	5,85
coz_ip1_buk_mik	-0,00255	0,00259	-0,98	0,325	7,95
atk_tex	-0,0202	0,0169	-1,20	0,231	3,21
atk_sik	0,0913	0,0432	2,11	0,035	3,57
coz_sik	-0,1224	0,0313	-3,91	0,000	6,23
coz_ip1_ure_met	0,626	0,243	2,58	0,010	8,13
ham_kum_bir_ala_agi	0,01514	0,00348	4,35	0,000	2,52
coz_kiv	-0,0941	0,0196	-4,80	0,000	1,69
KL1	2,710	0,521	5,21	0,000	5,20
ort_ely_muk_kat	0,0444	0,0811	0,55	0,584	8,82

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
coz_tex	0,9550	(0,8990; 1,0145)
coz_ip1_buk_mik	0,9975	(0,9924; 1,0025)
atk_tex	0,9800	(0,9481; 1,0130)
atk_sik	1,0955	(1,0065; 1,1924)
coz_sik	0,8848	(0,8323; 0,9407)
coz_ip1_ure_met	1,8708	(1,1628; 3,0098)
ham_kum_bir_ala_agi	1,0153	(1,0084; 1,0222)
coz_kiv	0,9102	(0,8759; 0,9458)
KL1	15,0236	(5,4162; 41,6728)
ort_ely_muk_kat	1,0453	(0,8918; 1,2254)

Model Summary

Deviance	Deviance				Area Under	10-fold	10-fold Area
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC	AICc	BIC	ROC Curve	Deviance	Under ROC
						R-Sq	Curve
23,10%	20,64%	333,59	334,32	376,72	0,8338	14,51%	0,7878

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	362	311,59	0,974
Pearson	362	315,46	0,963
Hosmer-Lemeshow	8	19,84	0,011

Analysis of Variance

		Wald Test	
Source	DF	Chi-Square	P-Value
Regression	10	64,99	0,000
coz_tex	1	2,23	0,135
coz_ip1_buk_mik	1	0,97	0,325
atk_tex	1	1,43	0,231
atk_sik	1	4,45	0,035
coz_sik	1	15,33	0,000
coz_ip1_ure_met	1	6,66	0,010
ham_kum_bir_ala_agi	1	18,95	0,000
coz_kiv	1	23,03	0,000
KL1	1	27,10	0,000
ort_ely_muk_kat	1	0,30	0,584

B11PK1 modeli için yapılan lojistik regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

Z- değişken anlamlılık testi

$\Rightarrow P_{deg} < 0,05$
atk_sik, coz_sik, coz_ipl_ure_met, ham_kum_bir_ala_agi, coz_kiv, KL1 $\rightarrow$ anlamlı
coz_tex, coz_ipl_buk_mik, atk_tex, ort_ely_muk_kat $\rightarrow$ anlamsız

$\Rightarrow VIF < 10$
tüm değişkenlerde $\rightarrow$ otokorelasyon var

Odds oranı Odds Ratio >1

KL1 $\rightarrow$ en yüksek etki
coz_sik $\rightarrow$ en düşük etki

Uyum iyiliği testi

$\Rightarrow$ Deviance P >0,05 $\rightarrow$ veri uyumu yeterli
 $\Rightarrow$ Pearson P >0,05 $\rightarrow$ veri uyumu yeterli
 $\Rightarrow$ Hosmer-Lemeshow P >0,05 $\rightarrow$ veri uyumu yetersiz

Wald- model anlamlılık testi

$\Rightarrow$ Regresyon P < 0,05 $\rightarrow$ regresyon modeli anlamlı

u modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluştururak elde edilen revize model 11PK1-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.123’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi çözgü dikiş kayma mukavemetine; atkı sıklığı (atk_sik), çözgü sıklığı (coz_sik), çözgü ipliği üretim metodu (coz_ipl_ure_met), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi), çözgü kıvrımı (coz_kiv) ve örgü faktörlerinden KL1 etki etmiştir. Lojistik regresyon modellerinde modelin Odds Ratio değerlerinde görüldüğü gibi istenilen şekilde kumaşın çözgü yönünde dikişinin açılmaması olasılığına açıklayıcı değişkenlerden örgü faktörü KL1’ in en yüksek etkiyi gösterdiği açıktır.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %18,16 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %42,61 ile düşük bir değer olup bu modelin çözgü dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesinde kullanımı uygun değildir.

Çizelge 4.123. Minitab çözgü dikiş kayma mukavemeti 11PK1-1 regresyon modeli özet tablosu

Response Information

Variable	Value	Count
dik_acm_coz	0,000	286 (Event)
	1,000	87
Total		373

Regression Equation

$$P(0,000) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$

$$Y' = -4,14 + 0,0995 \text{ atk_sik} - 0,1026 \text{ coz_sik} + 0,715 \text{ coz_ipl_ure_met} + 0,01251 \text{ ham_kum_bir_ala_agi} - 0,0952 \text{ coz_kiv} + 2,184 \text{ KL1}$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	Z-Value	P-Value	VIF
Constant	-4,14	1,15	-3,60	0,000	
atk_sik	0,0995	0,0389	2,56	0,010	2,82
coz_sik	-0,1026	0,0241	-4,25	0,000	3,78
coz_ip1_ure_met	0,715	0,162	4,40	0,000	3,70
ham_kum_bir_ala_agi	0,01251	0,00265	4,72	0,000	1,54
coz_kiv	-0,0952	0,0195	-4,89	0,000	1,66
KL1	2,184	0,437	4,99	0,000	3,68

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
atk_sik	1,1046	(1,0236; 1,1921)
coz_sik	0,9025	(0,8608; 0,9462)
coz_ip1_ure_met	2,0444	(1,4869; 2,8110)
ham_kum_bir_ala_agi	1,0126	(1,0073; 1,0179)
coz_kiv	0,9092	(0,8751; 0,9446)
KL1	8,8801	(3,7680; 20,9283)

Model Summary

Deviance	Deviance				Area Under	10-fold	10-fold Area
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC	AICc	BIC	ROC Curve	Deviance	Under ROC
						R-Sq	Curve
21,55%	20,07%	331,88	332,19	359,33	0,8247	18,16%	0,8059

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	366	317,88	0,967
Pearson	366	323,67	0,946
Hosmer-Lemeshow	8	10,84	0,211

Analysis of Variance

		Wald Test	
Source	DF	Chi-Square	P-Value
Regression	6	62,14	0,000
atk_sik	1	6,56	0,010
coz_sik	1	18,10	0,000
coz_ip1_ure_met	1	19,38	0,000
ham_kum_bir_ala_agi	1	22,23	0,000
coz_kiv	1	23,89	0,000
KL1	1	24,93	0,000

4.11.3.2 Tüm Kumaşlarda Çözümlü Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Yapay Zekâ Modelleri

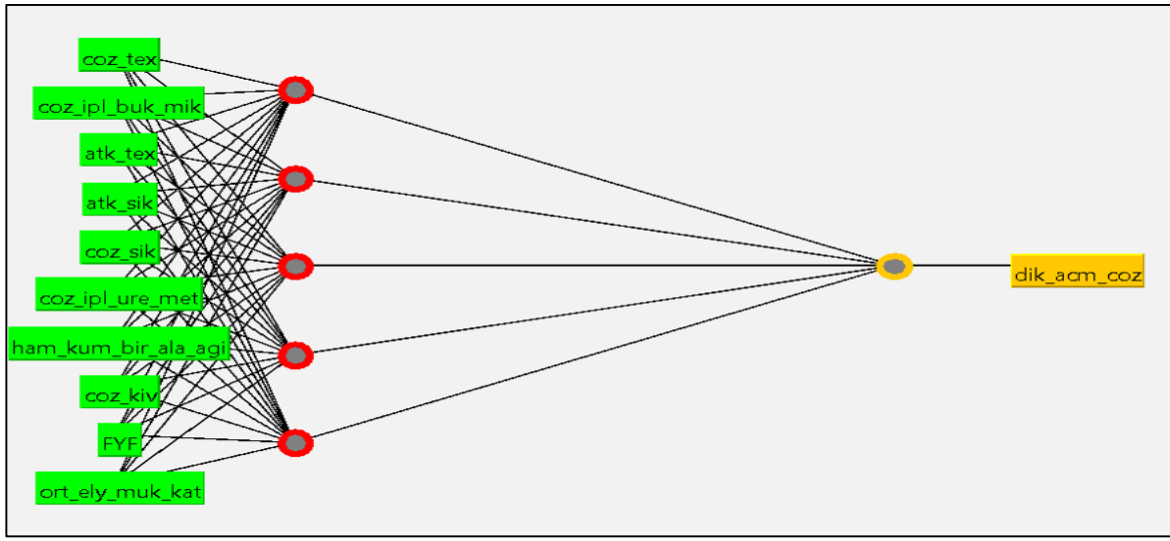
Tüm kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznetelikler ile en iyi altküne modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.124'te verildiği gibidir.

Çizelge 4.124. Tüm kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
11PK0	19,45	41,82	41,28
11PK0-1	12,85	32,32	25,91
11PK1	24,51	42,27	41,30
11PK1-1	12,85	32,32	25,91
11PK2	22,79	39,60	39,81
11PK2-1	15,94	26,44	21,49
11PK3	26,05*	40,43	39,46
11PK3-1	15,94	26,36	21,49
11PK4	22,42	47,02	39,75
11PK4-1	12,85	32,32	25,91
11PK5	23,65	47,07*	40,15
11PK5-1	12,85	32,32	25,91
11PK6	23,00	45,89	41,97*
11PK6-1	15,94	26,44	21,49
11PK7	24,96	44,53	40,75
11PK7-1	15,94	26,36	21,49
11PK8	22,40	44,94	34,07
11PK8-1	12,85	32,32	25,91
11PK9	19,80	45,02	36,71
11PK9-1	12,85	32,32	25,91
11PK10	21,22	44,12	32,63
11PK10-1	15,94	26,44	21,49
11PK11	20,35	45,45	31,76
11PK11-1	15,94	26,36	21,49
11PK12	24,28	42,57	32,68
11PK12-1	4,39	11,47	22,60
11PK13	25,77	40,26	38,06
11PK13-1	9,54	26,82	24,97
11PK14	25,03	43,52	34,12
11PK14-1	12,66	32,80	30,93
11PK15	24,11	39,18	33,77
11PK15-1	12,85	32,32	25,91

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 11PK3 modelidir.

11PK3 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.74'te görüldüğü gibidir. Burada, giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; çözgü iplik numarası (coz_tex), çözgü ipliği büküm miktarı (coz_ipl_buk_mik), atkı iplik numarası (atk_tex), atkı sıklık (atk_sik9, çözgü sıklık (coz_sik), çözgü ipliği üretim metodu (coz_ipl_ure_met), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_al_ağı), çözgü kıvrımı (coz_kiv), örgü fatörlerinden FYF ve ortalama elyaf mukavemet katsayısı, çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan çözgü yönünde dikiş kayma mukavemeti (dik_acm_atk) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıkış nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (10 + 1) / 2 = 5$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.74. 11PK3 çözgü dikiş kayma mukavemeti tahmini için yapay sinir hücresi

Yapay sinir ağları için 11PK3, rastgele orman algoritmaları için 11PK5 ve Mars tekniği için 11PK6 özet tablosu Çizelge 4.125’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.125. Tüm kumaşlarda çözgü dikiş kayma mukavemeti için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,2605	0,4707	0,4197
Ortalama mutlak hata (MAE)	0,3826	0,2718	0,3006
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	0,49	0,3742	0,3869
Relatif mutlak hata (RAE)	%106,8413	% 75,9151	%83,9523
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%115,7314	% 88,3732	%91,3692
Toplam örnek sayısı (TNI)	373	373	373

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,4707 R değeri ile rastgele orman

algoritmaları olduğu görülmektedir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)' ye bakıldığında en düşük değer rastgele orman algoritmalarında çıkmıştır.

4.12 Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Tahmin Modelleri

Pamuklu kumaşlar, karışım kumaşlar ve bunların biraraya gelmesi ile oluşturulan tüm kumaşlar için ayrı ayrı öncelikle lojistik regresyon modelleri, daha sonra aynı açıklayıcı değişkenler ile yapay zekâ modellerinden yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve Mars tekniği ile modeller oluşturulmuş ve bu modellerin tahmin performansları için % R korelasyon katsayı ile karşılaştırılmıştır.

4.12.1 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Tahmin Modellerinin Kurulması

Pamuklu kumaşların atkı dikiş kayma mukavemetini tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak atkı dikiş kayma mukavemeti (dik_acm_coz), bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.75'ten faydalanılmıştır.

MODEL 12-P																		
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti (Dikiş Açıldı veya Dikiş Açılmadı)																		
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																	
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri													
	Çözümlü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Atkı İpliği Üretim Metodu	Atkı İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Sıklıklar	Kıvrım	Ağırlık	Örgü Faktörleri	Kumaş Yapı Faktörleri									
					Çözümlü Sıklık (tel /cm)	Atkı Sıklık (atki /cm)	Atkı Kıvrım (%)	Mamül Kumaş Birim Alan Ağırlık (gr/m-kare)	F2	KL2	CFF	FYF	K2	K	T2	TS	OG2	OG
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
1	x	x	x	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x	x	x	x				x						
4	x		x	x	x		x	x	x				x					
5	x		x	x	x		x	x		x			x					
6	x		x	x	x		x	x			x		x					
7	x		x	x	x		x	x				x	x					
8			x	x			x	x	x					x				
9			x	x			x	x		x				x				
10			x	x			x	x			x			x				
11			x	x			x	x				x		x				
12	x		x	x	x		x	x							x			
13			x	x			x	x								x		
14	x		x	x	x		x	x									x	
15			x	x			x	x										x

Şekil 4.75. Pamuk kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.12.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Lojistik Regresyon Modelleri

Pamuklu kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.75’te verildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik), atkı kıvrımı (atk_kiv) ve kumaş yapı faktörlerinden OG2 yaygın olarak kullanılmıştır. Tahmin gücü en yüksek olan 14. Modelde atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik), atkı kıvrımı (atk_kiv) etkili olmuştur. Atkı dikiş kayma mukavemetine etkisi olacağı düşünülen çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), çözgü sıklığı (coz_sik), atkı sıklığı (atk_sik), mamül kumaş birim alan ağırlığı, örgü faktörlerinden F2, KL2, CFF, FYF ve kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak), K(cov_fak), T2, TS ve OG’ nin modellere hiçbir katkısı olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelerle dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.126’da görüldüğü üzere regresyon 12P14-1 modeli olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.126. Pamuklu kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemeti regresyon modelleri için $\%R^2$ belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
12P0	0,00	12P8	16,86
12P0-1	33,47	12P8-1	33,47
12P1	0,00	12P9	16,16
12P1-1	33,47	12P9-1	33,47
12P2	0,00	12P10	16,10
12P2-1	33,47	12P10-1	33,47
12P3	0,00	12P11	16,10
12P3-1	33,47	12P11-1	33,47
12P4	0,00	12P12	0,00
12P4-1	33,47	12P12-1	33,47
12P5	0,00	12P13	0,00
12P5-1	33,47	12P13-1	33,47
12P6	0,00	12P14	0,00
12P6-1	33,47	12P14-1	34,50*
12P7	0,00	12P15	22,35
12P7-1	33,47	12P15-1	33,47

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 12P14 modeli için Çizelge 4.127’deki özet tabloda atkı dikiş kayma mukavemeti için regresyon denklemi incelendiğinde; atkı ipliği üretim

metodu ile oluşan pozitif ilişkinin önceki modellerde olduğu gibi ipliğin paketleme yoğunluğu ile bağlantılı olduğunu söyleyebiliriz. Atkı ipliği büküm miktarı artışı iplik yapısını daha rijit ve iplik yüzeyini daha tüysüz ve pürüzsüz yapacağı için ipliklerin birbiri üzerinde daha rahat kaymasına neden olur ve bu da dikiş kayma mukavemetini negatif etkiler, regresyon denkleminde de bu ilişki negatif olarak görülmektedir. zė iplik numarası arttığında yani zė ipliği kalınlaştığında atkı ipliği temas alanı görece artar ve serbest hareket alanı kısıtlanmış olur. Bu durumda atkı yönünde dikiş açması ya da bir başka ifadeyle ipliklerin kayması zorlaşır. Aynı durum zė sıklığının artışı ile atkı dikiş kayma mukavemetinin artması arasındaki ilişkide de görülmektedir. Kumaşlarda zė sıklığının, zė ipliği lineer yoğunluğunun (kalınlık) veya örgü bağlantı sayısının artması atkı ipliğinin daha fazla kıvrım almasına ve temas yüzeyinin artmasına yol açar. Sonuç olarak dikiş hattında yer alan dikiş ipliğinin uyguladığı kuvvete bağlı olarak kumaş içindeki atkı ipliklerinin hareketi ve dikişin kayması zorlaşır. Yani atkı kıvrım oranı arttığında, dikişli kumaşın zė yönünde maruz kaldığı gerilme sonucu atkı ipliklerinin zė iplikleri arasında kayması, bir başka deyişle dikiş kayması güçleşecektir. Burada kıvrım ile atkı dikiş kayma direnci arasında olması gereken pozitif ilişki regresyon denkleminde negatif çıkmıştır. Kumaş yapı faktörlerinden OG2 atkı iplik numarası, atkı sıklığı ve atkı yönünde örgü faktörü ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla OG2' nin artışı atkı ipliklerinin zė yönünde dikiş kaymasını zorlaştırır. OG2 ile atkı dikiş kayma direnci arasındaki bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de görülmektedir. Kumaş birim alan ağırlığının artmasıda, iplikler arasındaki temas yüzeyini görece artıracadığından, ipliklerin birbiri üzerinde kaymasını güçleştirerek, dikiş kayma direncini artıran bir etki gösterir ki regresyon denklemi de bunu doğrulamaktadır.

Çizelge 4.127. Minitab atk1 dikiş kayma mukavemeti 12P14 regresyon modeli özet tablosu

Response Information

Variable	Value	Count
dik_acm_atk	0,000	132 (Event)
	1,000	9
Total		141

Regression Equation

$$P(0,000) = \exp(Y')/(1 + \exp(Y'))$$
$$Y' = 1,5 - 0,160 \text{ coz_tex} + 0,71 \text{ atk_ipl_ure_met} - 0,0045 \text{ atk_ipl_buk_mik} - 0,0898 \text{ coz_sik} + 9,5 \text{ OG2} - 0,876 \text{ atk_kiv} + 0,0526 \text{ mam_kum_bir_ala_agi}$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	Z-Value	P-Value	VIF
Constant	1,5	15,6	0,10	0,924	
coz_tex	-0,160	0,147	-1,08	0,278	18,63
atk_ipl_ure_met	0,71	1,49	0,48	0,633	5,49
atk_ipl_buk_mik	-0,0045	0,0111	-0,40	0,686	41,22
coz_sik	-0,0898	0,0994	-0,90	0,366	15,37
OG2	9,5	13,6	0,70	0,486	4,70
atk_kiv	-0,876	0,660	-1,33	0,184	2,77
mam_kum_bir_ala_agi	0,0526	0,0597	0,88	0,379	18,08

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
coz_tex	0,8524	(0,6386; 1,1377)
atk_ipl_ure_met	2,0332	(0,1104; 37,4321)
atk_ipl_buk_mik	0,9955	(0,9740; 1,0175)
coz_sik	0,9141	(0,7522; 1,1108)
OG2	13518,4311	(0,0000; 5,58064E+15)
atk_kiv	0,4165	(0,1143; 1,5183)
mam_kum_bir_ala_agi	1,0540	(0,9375; 1,1849)

Model Summary

Deviance	Deviance				Area Under	10-fold	10-fold Area
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC	AICc	BIC	ROC Curve	Deviance	Under ROC
						R-Sq	Curve
54,62%	44,17%	46,38	47,47	69,97	0,9604	0,00%	0,8485

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	133	30,38	1,000
Pearson	133	72,55	1,000
Hosmer-Lemeshow	8	2,09	0,978

Analysis of Variance

Wald Test			
Source	DF	Chi-Square	P-Value
Regression	7	9,73	0,205
coz_tex	1	1,18	0,278
atk_ipl_ure_met	1	0,23	0,633
atk_ipl_buk_mik	1	0,16	0,686
coz_sik	1	0,82	0,366
OG2	1	0,49	0,486
atk_kiv	1	1,76	0,184
mam_kum_bir_ala_agi	1	0,77	0,379

12P14 modeli için yapılan lojistik regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

Z- değişken anlamlılık testi

$\Rightarrow P_{deg} < 0,05$
tüm değişkenler $\rightarrow$ anlamsız

$\Rightarrow VIF < 10$
coz_tex, atk_ipl_buk_mik, coz_sik, mam_kum_bir_ala_agi $\rightarrow$ otokorelasyon var

Odds oranı Odds Ratio > 1

OG2 $\rightarrow$ en yüksek etki
atk_kiv $\rightarrow$ en düşük etki

Uyum iyiliği testi

$\Rightarrow$ Deviance $P > 0,05$ $\rightarrow$ veri uyumu yeterli
 $\Rightarrow$ Pearson $P > 0,05$ $\rightarrow$ veri uyumu yeterli
 $\Rightarrow$ Hosmer-Lemeshow $P > 0,05$ $\rightarrow$ veri uyumu yeterli

Wald- model anlamlılık testi

$\Rightarrow$ Regresyon $P < 0,05$ $\rightarrow$ regresyon modeli anlamsızdır

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 12P14-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.128’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi atkı dikiş kayma mukavemetine; atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik) ve kumaş yapı faktörlerinden OG2 etki etmiştir. Lojistik regresyon modellerinde modelin Odds Ratio değerlerinde görüldüğü gibi istenilen şekilde kumaşın atkı yönünde dikişinin açılmaması olasılığına açıklayıcı değişkenlerden kumaş yapı faktörü OG2’nin en yüksek etkiyi gösterdiği açıktır.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri % 34,50 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %58,73 ile ortalama bir değer olup bu modelin atkı dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesinde kullanımı uygun değildir.

Çizelge 4.128. Minitab atkî dikiş kayma mukavemeti 12P14-1 regresyon modeli özet tablosu

Response Information

Variable	Value	Count
dik_acm_atk	0,000	132 (Event)
	1,000	9
	Total	141

Regression Equation

$P(0,000) = \exp(Y')/(1 + \exp(Y'))$
 $Y' = -5,02 - 0,00550 \text{ atk_ipl_buk_mik} + 20,22 \text{ OG2}$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	Z-Value	P-Value	VIF
Constant	-5,02	4,00	-1,26	0,209	
atk_ip1_buk_mik	-0,00550	0,00186	-2,96	0,003	1,04
OG2	20,22	6,47	3,13	0,002	1,04

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
atk_ip1_buk_mik	0,9945	(0,9909; 0,9981)
OG2	6,06985E+08	(1899,5238; 1,93960E+14)

Model Summary

Deviance	Deviance				Area Under	10-fold	10-fold Area
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC	AICc	BIC	ROC Curve	Deviance	Under ROC
						R-Sq	Curve
49,20%	46,21%	40,00	40,18	48,85	0,9444	34,50%	0,9040

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	138	34,00	1,000
Pearson	138	68,21	1,000
Hosmer-Lemeshow	8	1,63	0,990

Analysis of Variance

Wald Test			
Source	DF	Chi-Square	P-Value
Regression	2	15,38	0,000
atk_ip1_buk_mik	1	8,75	0,003
OG2	1	9,78	0,002

4.12.1.2 Pamuklu Kumaşlarda Atkî Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Yapay Zekâ Modelleri

Pamuklu kumaşlarda atkî dikiş kayma mukavemeti için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznitelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.129’da verildiği gibidir.

Çizelge 4.129. Pamuklu kumaşlarda atkî dikiş kayma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
12P0	40,53	46,18	44,64
12P0-1	46,44	23,92	22,28
12P1	42,95	44,26	43,47
12P1-1	48,45	24,26	23,05
12P2	45,08	45,97	44,62
12P2-1	48,26	23,97	23,05
12P3	39,62	45,17	44,64
12P3-1	48,08	25,45	23,05
12P4	29,39	46,30	45,37
12P4-1	35,20	24,62	21,80
12P5	33,40	45,55	45,41
12P5-1	47,22	25,57	22,56
12P6	35,72	46,15	44,11
12P6-1	47,10	25,43	22,56
12P7	36,74	46,85	45,41
12P7-1	47,60	26,52	22,56
12P8	54,72	50,79	45,93
12P8-1	54,73*	43,64	49,47*
12P9	44,46	50,08	45,93
12P9-1	54,73*	43,64	49,47*
12P10	43,88	52,70*	45,93
12P10-1	54,73*	43,64	49,47*
12P11	47,52	51,35	45,93
12P11-1	54,73*	43,64	49,47*
12P12	12,19	47,21	43,37
12P12-1	39,17	28,88	24,17
12P13	27,61	45,89	45,33
12P13-1	38,04	20,71	20,77
12P14	29,98	46,10	43,09
12P14-1	19,39	30,51	21,24
12P15	25,94	61,53	48,57
12P15-1	28,03	43,16	43,16

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 12P8-1 modelidir. 12P8-1 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.76’da görüldüğü gibidir. Burada, giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; atkî ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met) ve kumaş yapı faktörlerinde K (cov_fak), çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan atkî yönünde dikiş kayma mukavemeti (dik_acm_atk) seçilmiştir. Gizli

katman1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıktı nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (2+1) / 2 = 1$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.76. 12P8-1 atkı dikiş kayma mukavemeti tahmini için yapay sinir hücresi

Mars tekniğinde 12P8-1 indirgenmiş modelde girdi değişkeni (açıklayıcı değişken & bağımsız değişken) olarak; atkı ipliği üretim metodu (atk_ipi_ure_met) ve kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak) alınmıştır.

Yapay sinir ağları için 12P8-1, rastgele orman algoritmaları için 12P10 ve Mars tekniği için 12P8-1 özet tablosu Çizelge 4.130’da verildiği gibidir.

Çizelge 4.130. Pamuklu kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemeti için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,5473	0,527	0,4947
Ortalama mutlak hata (MAE)	0,084	0,074	0,1067
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	0,2193	0,2139	0,2131
Relatif mutlak hata (RAE)	%69,8211	% 61,4648	%88,6274
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%89,1141	% 86,9166	%86,5827
Toplam örnek sayısı (TNI)	141	141	141

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,5473 R değeri ile yapay sinir ağları olduğu görülmektedir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE)’ ye bakıldığında en düşük değer rastgele orman algoritmalarında ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında ise en düşük değer anlamlı bir fark olamamsına rağmen Mars tekniğinde çıkmıştır.

4.12.2 Karışım Kumaşlarda Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti Tahmin Modellerinin Kurulması

Karışım kumaşların atkı dikiş kayma mukavemetini tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak atkı dikiş kayma mukavemeti (dik_acm_coz), bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.77’den faydalanılmıştır.

MODEL 12-K																		
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti (Dikiş Açıldı veya Dikiş Açılmadı)																		
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																	
	Kumaş İplik Özellikleri				Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri													
					Sıklıklar		Kıvrım	Ağırlık	Örgü Faktörleri				Kumaş Yapı Faktörleri					
	Çözümlü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Ortalama Elyaf Mukavemet Katsayısı	Atkı ipliği Büküm Miktarı (tur/m)	Çözümlü Sıklık (tel /cm)	Atkı Sıklık (atki /cm)	Atkı Kıvrım (%)	Ham Kumaş Birim Alan Ağırlık (gr/m-kare)	F2	KL2	CFF	FYF	K2	K	T2	TS	OG2	OG
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
1	x	x	x	x	x	x	x	x		x								
2	x	x	x	x	x	x	x	x			x							
3	x	x	x	x	x	x	x	x				x						
4	x		x	x	x		x	x	x					x				
5	x		x	x	x		x	x		x				x				
6	x		x	x	x		x	x			x			x				
7	x		x	x	x		x	x				x		x				
8			x	x			x	x	x	x					x			
9			x	x			x	x			x				x			
10			x	x			x	x				x			x			
11			x	x			x	x					x		x			
12	x		x	x	x		x	x								x		
13			x	x			x	x									x	
14	x		x	x	x		x	x									x	
15			x	x			x	x										x

Şekil 4.77. Karışım kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

4.12.2.1 Karışım Kumaşlarda Atkı Dikiş Açma Mukavemeti İçin Lojistik Regresyon Modelleri

Karışım kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.77’de verildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde çözgü sıklığı (coz_sik), çözgü kıvrımı (coz_kiv), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi), örgü faktörlerinden F1, KL1, CFF, FYF ve kumaş yapı faktörlerinden K1 (cov_fak_1) yaygın olarak kullanılmıştır. Tahmin gücü en yüksek olan 1. Modelde çözgü sıklığı (coz_sik), çözgü kıvrımı (coz_kiv), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi), örgü faktörlerinden etkili olmuştur. Atkı sıklığı (atk_sik) performansı

daha düşük modellerde zaman zaman modellere dâhil olmuştur. Çözümlü dikiş kayma mukavemetine etkisi olacağı düşünülen çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat), çözgü ipliği büküm metodu (coz_ipi_buk_mik) ve kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak), T1, TS, OG1 ve OG'n in modellere hiçbir katkısı olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelerle dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.131'de görüldüğü üzere regresyon 11K0-1, 12K4-1, 12K8-1 modelleri olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.131. Karışım kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemeti regresyon modelleri için $\%R^2$ belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
12K0	1,91	12K8	23,79
12K0-1	16,33*	12K8-1	16,33*
12K1	0,00	12K9	5,83
12K1-1	14,34	12K9-1	14,34
12K2	0,00	12K10	0,00
12K2-1	10,46	12K10-1	10,46
12K3	0,00	12K11	0,00
12K3-1	10,46	12K11-1	10,46
12K4	22,04	12K12	0,00
12K4-1	16,33*	12K12-1	1,11
12K5	0,00	12K13	0,00
12K5-1	14,34	12K13-1	1,11
12K6	0,00	12K14	0,00
12K6-1	10,46	12K14-1	11,05
12K7	0,00	12K15	0,00
12K7-1	10,46	12K15-1	5,80

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 12K8 modeli için Çizelge 4.132'deki özet tabloda atkı dikiş kayma mukavemeti için regresyon denklemi incelendiğinde; atkı ipliğinde büküm miktarının artışı birim iplik yüzeyini daha tüysüz, kaygan ve pürüzsüz yapacağı için ipliklerin birbiri üzerinden daha rahat kayar bu da dikiş kayma mukavemetinin düşmesine neden olur, regresyon denklemi bu negatif ilişkiyi doğrulamamaktadır. Kumaşta kullanılan iplik numaraları ve sıklıklar arttıkça kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak) artar, bu durumda kumaşın dikiş kayma mukavemeti de artar. Regresyon denklemi de bu pozitif ilişkiyi doğrulamaktadır. Kumaşlarda çözgü sıklığının artması, çözgü ipliğinin kalınlaşması veya örgüde bağlantı sayısının artması atkı ipliğinde kıvrımı arttırır. Atkı kıvrımı için her üç durumda da kumaşın dikiş kayması zorlaşır. Dolayısıyla kıvrım arttığında kumaşta dikiş kayma

mukavemeti artar. Burada kumaş kıvrımı ile atkı dikiş kayma mukavemeti arasında olması gereken pozitif ilişki regresyon denkleminde negatif çıkmıştır. Örgü faktörü F2, örgüdeki geçiş miktarı azaldıkça artar yani F2 azaldığında örgüde bağlantı sayısı artar, buna bağlı olarak atkı dikiş kayma direnci de artar. F2 ile atkı dikiş kayma mukavemeti arasındaki bu negatif ilişkiyi regresyon denklemi doğrulamamaktadır. Kumaş birim alan ağırlığının artması da kumaşta dikiş kayma mukavemetini arttıran faktörlerdendir, burada regresyon denklemi de bunu doğrulamaktadır. Kumaşın kompozisyonuna göre hesaplanan ortalama elyaf mukavemet katsayısı doğrudan elyaf, iplik ve kumaş mukavemetini pozitif yönde etkiler fakat ortalama elyaf mukavemet katsayısı kompozisyonda poliester elyaf oranının artması ile artar fakat bu durumda kumaşta viskon oranı azalır dolayısıyla kumaşın kayganlığı da azalır, buna bağlı olarak kumaşın dikiş kayma mukavemeti artar. Regresyon denklemi ortalama elyaf mukavemet katsayısı ile kumaş atkı dikiş kayma mukavemeti arasındaki olması gereken bu pozitif ilişkiyi yansıtmaktadır.

12K8 modeli için yapılan lojistik regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

Z- değişken anlamlılık testi

$\Rightarrow$	$P_{deg} < 0,05$	
F2		$\rightarrow$ anlamlı
ham_kum_bir_ala_agi, atk_kiv, atk_ipl_buk_mik, cov_fak, ort_eky_muk_kat		$\rightarrow$ anlamsız

$\Rightarrow$	VIF < 10	
tüm değişkenlerde		$\rightarrow$ otokorelasyon yok

Odds oranı Odds Ratio >1

F2	$\rightarrow$ en yüksek etki
atk_kiv	$\rightarrow$ en düşük etki

Uyum iyiliği testi

$\Rightarrow$	Deviance P >0,05	$\rightarrow$ veri uyumu yeterli
$\Rightarrow$	Pearson P >0,05	$\rightarrow$ veri uyumu yeterli
$\Rightarrow$	Hosmer-Lemeshow P >0,05	$\rightarrow$ veri uyumu yeterli

Wald- model anlamlılık testi

$\Rightarrow$	Regresyon P < 0,05	$\rightarrow$ regresyon modeli anlamlı
---------------	--------------------	--

Çizelge 4.132. Minitab atkı dikiş kayma mukavemeti 12K8 regresyon modeli özet tablosu

Response Information

Variable	Value	Count
dik_acm_atk	1,000	13 (Event)
	0,000	219
	Total	232

Regression Equation

$$P(1,000) = \exp(Y') / (1 + \exp(Y'))$$
$$Y' = -12,50 + 0,00332 \text{ ham_kum_bir_ala_agi} - 0,0273 \text{ atk_kiv} + 0,00222 \text{ atk_ipl_buk_mik} + 1,586 \text{ F2} + 0,029 \text{ cov_fak} + 0,107 \text{ ort_ely_muk_kat}$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	Z-Value	P-Value	VIF
Constant	-12,50	9,19	-1,36	0,174	
ham_kum_bir_ala_agi	0,00332	0,00991	0,34	0,737	4,15
atk_kiv	-0,0273	0,0368	-0,74	0,458	1,47
atk_ip1_buk_mik	0,00222	0,00528	0,42	0,674	1,27
F2	1,586	0,436	3,63	0,000	1,21
cov_fak	0,029	0,292	0,10	0,922	3,62
ort_ely_muk_kat	0,107	0,214	0,50	0,617	1,23

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
ham_kum_bir_ala_agi	1,0033	(0,9840; 1,0230)
atk_kiv	0,9731	(0,9054; 1,0458)
atk_ip1_buk_mik	1,0022	(0,9919; 1,0126)
F2	4,8841	(2,0763; 11,4890)
cov_fak	1,0290	(0,5804; 1,8246)
ort_ely_muk_kat	1,1131	(0,7314; 1,6942)

Model Summary

Deviance	Deviance				10-fold	10-fold Area	
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC	AICc	BIC	Deviance	Under ROC	
					ROC Curve	R-Sq	Curve
21,94%	15,95%	92,21	92,71	116,33	0,7756	5,66%	0,6575

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	225	78,21	1,000
Pearson	225	242,05	0,207
Hosmer-Lemeshow	8	10,42	0,237

Analysis of Variance

Wald Test			
Source	DF	Chi-Square	P-Value
Regression	6	15,83	0,015
ham_kum_bir_ala_agi	1	0,11	0,737
atk_kiv	1	0,55	0,458
atk_ip1_buk_mik	1	0,18	0,674
F2	1	13,21	0,000
cov_fak	1	0,01	0,922
ort_ely_muk_kat	1	0,25	0,617

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 12K8-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.133. Minitab atkı dikiş kayma mukavemeti 12K8-1 regresyon modeli özet tablosu

Response Information

Variable	Value	Count
dik acm atk	1,000	13 (Event)
	0,000	219
Total		232

Regression Equation

$$P(1,000) = \exp(Y')/(1 + \exp(Y'))$$
$$Y' = -5,974 + 1,512 F2$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	Z-Value	P-Value	VIF
Constant	-5,974	0,915	-6,53	0,000	
F2	1,512	0,375	4,03	0,000	1,00

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
F2	4,5356	(2,1735; 9,4646)

Model Summary

Deviance R-Sq	Deviance R-Sq(adj)	AIC	AICc	BIC	Area Under ROC Curve	10-fold Deviance R-Sq	10-fold Area Under ROC Curve
20,28%	19,28%	83,87	83,92	90,76	0,7761	16,33%	0,6855

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	230	79,87	1,000
Pearson	230	201,77	0,910
Hosmer-Lemeshow	8	14,95	0,060

Analysis of Variance

Wald Test			
Source	DF	Chi-Square	P-Value
Regression	1	16,23	0,000
F2	1	16,23	0,000

Çizelge 4.133'te regresyon denkleminde görüldüğü gibi atkı dikiş kayma mukavemetine örgü faktörlerinden F2 etki etmiştir.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %16,33 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %40,41 ile düşük bir değer olup bu modelin atkı dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesinde kullanımı uygun değildir.

4.12.2.2 Karışım Kumaşlarda Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Yapay Zekâ Modelleri

Karışım kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemeti için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznetelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.134'te verildiği gibidir.

Çizelge 4.134. Karışım kumaşlarda atkî dikiş kayma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
12K0	29,37	36,00	34,10
12K0-1	33,36*	33,75	38,32*
12K1	18,32	32,92	30,28
12K1-1	3,98	37,56	33,46
12K2	18,56	31,00	19,71
12K2-1	3,10	32,25	19,46
12K3	15,32	32,99	22,67
12K3-1	3,10	29,90	23,43
12K4	25,04	41,49*	32,12
12K4-1	33,36*	33,75	38,32*
12K5	27,67	39,19	22,90
12K5-1	3,98	37,56	33,46
12K6	8,51	35,27	18,99
12K6-1	3,10	32,25	19,46
12K7	24,71	37,39	23,10
12K7-1	3,10	29,90	23,43
12K8	32,53	27,27	33,51
12K8-1	33,36*	33,75	38,32*
12K9	20,89	24,25	29,02
12K9-1	3,98	37,56	33,46
12K10	2,20	22,95	20,93
12K10-1	3,10	32,25	19,46
12K11	7,00	22,60	24,72
12K11-1	3,10	29,90	23,43
12K12	-0,97	24,66	11,34
12K12-1	-2,84	21,31	13,06
12K13	-15,68	9,43	-4,51
12K13-1	-7,60	-0,11	-8,92
12K14	23,10	25,42	4,95
12K14-1	-3,20	11,63	4,46
12K15	-1,63	14,33	-6,82
12K15-1	0,03	4,05	-0,32

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 12K0-1 modelidir.

12K0-1 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.78’de görüldüğü gibidir. Burada, giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; burada örgü faktörlerinden F2 ve ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat) çıkış katmanı olarak tahmin parametresi olan atkî yönünde dikiş kayma mukavemeti (dik_acm_atk) seçilmiştir. Gizli

katman sayısı 1 ve bu katmandaki nöron sayısı; $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıktı nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (2+1) / 2 = 1$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.78. 12K0-1 atk dikiş kayma mukavemeti tahmini için yapay sinir hücresi

Mars tekniğinde 12K0-1 indirgenmiş modelde girdi değişkeni (açıklayıcı değişken & bağımsız değişken) olarak; örgü faktörlerinden F2 ve ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat) alınmıştır.

Yapay sinir ağları için 12K0-1, rastgele orman algoritmaları için 12K4 ve Mars tekniği için 12K0-1 özet tablosu Çizelge 4.135’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.135. Karışım kumaşlarda atk dikiş kayma mukavemeti için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,3336	0,4149	0,3832
Ortalama mutlak hata (MAE)	0,073	0,0923	0,0906
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	0,2208	0,2094	0,2148
Relatif mutlak hata (RAE)	%68,5764	% 86,7169	%85,0485
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%952465	% 90,3344	%92,6524
Toplam örnek sayısı (TNI)	232	232	232

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,4149 R değeri ile rastgele orman algoritmaları olduğunu söyleyebiliriz. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE)’ ye bakıldığında en düşük değer yapay sinir ağlarında ve kök

ortalama kare hatası (RMSE)' ye bakıldığında ise en düşük değer rastgele orman algoritmalarında çıkmıştır.

4.12.3 Tüm Veri Setinde Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti Tahmin Modellerinin

Kurulması

İki farklı işletmeden alınan pamuklu ve poliester viskon kumaşların veri seti ortak açıklayıcı değişkenler kullanılarak birleştirilmiş ve işletmelere özgü faktörler ihmal edilerek ortak bir model oluşturulmuştur.

MODEL 12PK																		
Tahmin Parametresi (Bağımlı Değişken): Atkı Dikiş Açma Mukavemeti (kgf)																		
Model No	Açıklayıcı (Bağımsız) Değişkenler																	
	Kumaş İplik Özellikleri					Kumaş Konstrüksiyon Özellikleri												
	Çözümlü İplik Numarası (Tex)	Atkı İplik Numarası (Tex)	Ortalama Elyaf Mukavemet Katsayısı	Atkı İpliği Üretim Metodu	Atkı İpliği Büküm Miktarı (tur/m)	Sıklıklar		Kıvrım	Ağırlık	Örgü Faktörleri				Kumaş Yapı Faktörleri				
						Çözümlü Sıklık (tel /cm)	Atkı Sıklık (atki /cm)			Ham Kumaş Birim Alan Ağırlık (g/m-kare)	F2	KL2	CFF	FYF	K2	K	T2	TS
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x							
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x						
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x					
3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x				
4	x		x	x	x	x		x	x	x	x				x			
5	x		x	x	x	x		x	x	x		x			x			
6	x		x	x	x	x		x	x	x			x		x			
7	x		x	x	x	x		x	x	x				x	x			
8			x	x	x			x	x	x	x					x		
9			x	x	x			x	x	x		x				x		
10			x	x	x			x	x	x			x			x		
11			x	x	x			x	x	x				x		x		
12	x		x	x	x	x		x	x	x							x	
13			x	x	x			x	x	x							x	
14	x		x	x	x	x		x	x	x								x
15			x	x	x			x	x	x								x

Şekil 4.79. Tüm kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı modeller ve açıklayıcı değişkenler (Sarı vurgu rengi; regresyon modellerinde en anlamlı alt kümelerde kullanılan açıklayıcı değişkenleri, yeşil vurgu rengi ise en yüksek tahmin gücüne sahip modeli ifade etmektedir)

Tüm kumaşların atkı dikiş kayma mukavemetini tahmin etmek için model oluştururken dört modelde de bağımlı değişken (çıktı değişkeni) olarak atkı dikiş kayma mukavemeti (dik_acm_coz), bağımsız değişken (açıklayıcı değişken & girdi değişkeni) olarak Şekil 4.79'dan faydalanılmıştır.

4.12.3.1 Tüm Kumaşlarda Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Lojistik Regresyon Modelleri

Pamuklu ve karışım kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesine dayalı toplam 16 farklı model oluşturulmuştur. Regresyon modellerinde en iyi alt küme için kullanılan açıklayıcı değişkenler Şekil 4.79’da verildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi anlamlı çıkan tüm alt küme modellerde atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik), örgü faktörlerinden F2, KL2, CFF ve FYF ile kumaş yapı faktörlerinden K (cov_fak), TS, OG2 ve OG yaygın olarak kullanılmıştır. Tahmin gücü en yüksek olan 0. ve 4. Modellerde atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik), çözgü sıklığı (coz_sik) ve örgü faktörlerinden F2 etkili olmuştur. Atkı ipliği üretim metodu (atk_ipl_ure_met), çözgü sıklığı (coz_sik), atkı kıvrımı (atk_kiv) ve ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_al_ağı) performansı daha düşük modellerde zaman zaman modellere dâhil olmuştur. Çözgü dikiş kayma mukavemetine etkisi olacağı düşünülen çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat), atkı sıklığı (atk_sik), kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2) ve T2’nin modellere hiçbir katkısı olmamıştır.

Tüm regresyon modelleri için ham ve en iyi alt kümelerle dair R^2 belirlilik katsayısı ile modelleri karşılaştırdığımızda en iyi modelin Çizelge 4.136’da görüldüğü üzere regresyon 12PK0-1 ve 12PK4-1 modelleri olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.136. Tüm kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemeti regresyon modelleri için $\%R^2$ belirlilik katsayıları

Model No	k- fold R^2	Model No	k-fold R^2
12PK0	8,81	12PK8	14,69
12PK0-1	18,78*	12PK8-1	18,58
12PK1	0,37	12PK9	6,52
12PK1-1	10,78	12PK9-1	11,77
12PK2	0,00	12PK10	6,07
12PK2-1	10,59	12PK10-1	11,57
12PK3	0,00	12PK11	6,07
12PK3-1	10,59	12PK11-1	11,57
12PK4	12,76	12PK12	0,00
12PK4-1	18,78*	12PK12-1	5,40
12PK5	5,01	12PK13	5,92
12PK5-1	10,78	12PK13-1	7,14
12PK6	4,49	12PK14	10,27
12PK6-1	10,59	12PK14-1	14,34
12PK7	4,49	12PK15	9,23
12PK7-1	10,59	12PK15-1	13,30

Regresyonda en yüksek R^2 değerini veren 12PK4 modeli için Çizelge 4.137'deki özet tabloda atkı dikiş kayma mukavemeti için regresyon denklemi incelendiğinde; çözgü iplik numarası arttığında yani çözgü ipliği kalınlaştığında atkı kıvrımı artar ve atkı ipliğinin hareket edeceği alan sınırlandırılmış olur. Bu durumda atkı yönünde kumaş zor kayar, burada olması beklenen pozitif ilişki regresyon denkleminde doğrulanmıştır. Aynı durum çözgü sıklığının artışı ile atkı dikiş kayma mukavemetinin artması arasındaki ilişkide de görülmektedir. Çözgü sıklığı ile atkı yönünde dikiş kayma mukavemeti arasındaki bu pozitif ilişki regresyon denkleminde de görülmektedir. Atkı ipliğinde büküm miktarının artışı birim iplik yüzeyini daha tüysüz, kaygan ve pürüzsüz yapacağı için ipliklerin birbiri üzerinden daha rahat kayar bu da dikiş kayma mukavemetinin düşmesine neden olur, regresyon denklemi bu negatif ilişkiyi doğrulamaktadır. Atkı ipliği üretim metodu ile oluşan ipliğin paketlenme yoğunluğu ile bağlantılı olarak pozitif ilişki beklenirken regresyon denklemi bunu doğrulamamaktadır. Kumaş birim alan ağırlığının artması da kumaşta dikiş kayma mukavemetini arttıran faktörlerdendir, burada regresyon denklemi de bunu doğrulamamaktadır. Kumaşlarda çözgü sıklığının artması, çözgü ipliğinin kalınlaşması veya örgüde bağlantı sayısının artması atkı ipliğinde kıvrımı artırır. Atkı kıvrımı için her üç durumda da kumaşın dikiş kayması zorlaşır. Dolayısıyla kıvrım arttığında kumaşta dikiş kayma mukavemeti artar. Burada kumaş kıvrımı ile atkı dikiş kayma mukavemeti arasında olması gereken pozitif ilişki regresyon denkleminde de doğrulanmaktadır. Kumaşta kullanılan iplik numaraları ve sıklıklar arttıkça kumaş yapı faktörlerinden K2 (cov_fak_2) artar, bu durumda kumaşın dikiş kayma mukavemeti de artar. Regresyon denklemi de bu pozitif ilişkiyi doğrulamaktadır. Örgü faktörü F2, örgüdeki geçiş miktarı azaldıkça artar yani F2 azaldığında örgüde bağlantı sayısı artar, buna bağlı olarak atkı dikiş kayma direnci de artar. F2 ile atkı dikiş kayma mukavemeti arasındaki bu negatif ilişkiyi regresyon denklemi doğrulamaktadır. Kumaş lif içeriğine göre hesaplanan ortalama elyaf mukavemet katsayısı doğrudan elyaf, iplik ve kumaş mukavemetini pozitif yönde etkiler. Ancak kopma kuvvetindeki artışın ipliklerin birbiri üzerinde kayma davranışına doğrudan etkilemesi beklenmediği için burada dolaylı bir ilişki söz konusu olacaktır. Lif kompozisyonundaki değişimin, ortalama mukavemete etkisinden çok, ipliğin kayganlığını etkilediği ölçüde dikiş kayma direncini etkilemesi söz konusu olacaktır. Regresyon denklemi ortalama elyaf mukavemet katsayısı ile kumaş atkı dikiş kayma mukavemeti arasında pozitif bir ilişki kendini göstermiştir.

Çizelge 4.137. Minitab atk1 dikiş kayma mukavemeti 12PK4 regresyon modeli özet tablosu

Response Information

Variable	Value	Count
dik_acm_atk	0,000	351 (Event)
	1,000	22
Total		373

Regression Equation

$P(0,000) = \exp(Y)/(1 + \exp(Y))$

$Y' = 7,27 + 0,0661 \text{ coz_tex} - 0,00941 \text{ atk_ipl_buk_mik} + 0,1130 \text{ coz_sik} - 0,334 \text{ atk_ipl_ure_met}$
 $- 0,0181 \text{ ham_kum_bir_ala_agi} + 0,0316 \text{ atk_kiv} + 0,193 \text{ cov_fak_2} - 1,555 \text{ F2}$
 $+ 0,048 \text{ ort_ely_muk_kat}$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	Z-Value	P-Value	VIF
Constant	7,27	5,45	1,34	0,182	
coz_tex	0,0661	0,0679	0,97	0,330	11,06
atk_ip1_buk_mik	-0,00941	0,00318	-2,96	0,003	8,44
coz_sik	0,1130	0,0476	2,37	0,018	6,92
atk_ip1_ure_met	-0,334	0,541	-0,62	0,537	7,28
ham_kum_bir_ala_agi	-0,0181	0,0101	-1,79	0,073	8,48
atk_kiv	0,0316	0,0367	0,86	0,389	2,66
cov_fak_2	0,193	0,134	1,44	0,150	3,03
F2	-1,555	0,366	-4,25	0,000	1,57
ort_ely_muk_kat	0,048	0,136	0,35	0,723	7,93

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
coz_tex	1,0684	(0,9353; 1,2204)
atk_ip1_buk_mik	0,9906	(0,9845; 0,9968)
coz_sik	1,1196	(1,0199; 1,2291)
atk_ip1_ure_met	0,7161	(0,2478; 2,0692)
ham_kum_bir_ala_agi	0,9820	(0,9628; 1,0017)
atk_kiv	1,0321	(0,9605; 1,1091)
cov_fak_2	1,2123	(0,9326; 1,5758)
F2	0,2112	(0,1031; 0,4326)
ort_ely_muk_kat	1,0495	(0,8035; 1,3706)

Model Summary

Deviance	Deviance				Area Under	10-fold	10-fold Area
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC	AICc	BIC	ROC Curve	Deviance	Under ROC
						R-Sq	Curve
24,57%	19,19%	146,14	146,74	185,35	0,8087	12,76%	0,7244

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	363	126,14	1,000
Pearson	363	490,82	0,000
Hosmer-Lemeshow	8	14,67	0,066

Analysis of Variance

Wald Test			
Source	DF	Chi-Square	P-Value
Regression	9	32,85	0,000
coz_tex	1	0,95	0,330
atk_ip1_buk_mik	1	8,76	0,003
coz_sik	1	5,63	0,018
atk_ip1_ure met	1	0,38	0,537
ham_kum_bir_ala_agi	1	3,22	0,073
atk_kiv	1	0,74	0,389
cov_fak_2	1	2,07	0,150
F2	1	18,06	0,000
ort_ely_muk_kat	1	0,13	0,723

12PK4 modeli için yapılan lojistik regresyon analizi çıktıları aşağıda değerlendirilmiştir:

Z- değişken anlamlılık testi

$\Rightarrow P_{\text{değ}} < 0,05$
atk_ipl_buk_mik, coz_sik, F2 $\rightarrow$ anlamlı
coz_tex, atk_ipl_ure_met, ham_kum_bir_ala_agi, atk_kiv, cov_fak_2, ort_ely_muk_kat $\rightarrow$ anlamsız

$\Rightarrow VIF < 10$
coz_tex $\rightarrow$ otokorelasyon var

Odds oranı Odds Ratio > 1

cov_fak_2 $\rightarrow$ en yüksek etki
F2 $\rightarrow$ en düşük etki

Uyum iyiliği testi

$\Rightarrow$ Deviance $P > 0,05$ $\rightarrow$ veri uyumu yeterli
 $\Rightarrow$ Pearson $P > 0,05$ $\rightarrow$ veri uyumu yetersiz
 $\Rightarrow$ Hosmer-Lemeshow $P > 0,05$ $\rightarrow$ veri uyumu yeterli

Wald- model anlamlılık testi

$\Rightarrow$ Regresyon $P < 0,05$ $\rightarrow$ regresyon modeli anlamlı

Bu modelde anlamlı olmayan katsayılar olduğundan; stepwise yöntemi ile daha anlamlı altküme oluşturularak elde edilen revize model 12PK4-1 için yeniden regresyon analizi yapılır.

Çizelge 4.138’de regresyon denkleminde görüldüğü gibi atkı dikiş kayma mukavemetine; atkı ipliği büküm miktarı (atk_ipl_buk_mik), çözgü sıklığı (coz_sik) ve örgü faktörlerinden F2 etki etmiştir. Lojistik regresyon modellerinde modelin Odds Ratio değerlerinde görüldüğü gibi istenilen şekilde kumaşın atkı yönünde dikişinin açılmaması olasılığına açıklayıcı değişkenlerden çözgü sıklığı (coz_sik)’ nin en yüksek etkiyi gösterdiği açıktır.

Model özetinde çapraz doğrulama 10-fold R-sq değeri %18,78 çıkmıştır. Buna tekabül eden 10-fold R değeri %43,33 ile düşük bir değer olup bu modelin atkı dikiş kayma mukavemetinin tahmin edilmesinde kullanımı uygun değildir.

Çizelge 4.138. Minitab atkı dikiş kayma mukavemeti 12PK4-1 regresyon modeli özet tablosu

Response Information

Variable	Value	Count
dik_acm_atk	0,000	351 (Event)
	1,000	22
Total		373

Regression Equation

$P(0,000) = \exp(Y')/(1 + \exp(Y'))$
 $Y' = 9,32 - 0,00868 \text{ atk_ipl_buk_mik} + 0,0815 \text{ coz_sik} - 1,447 \text{ F2}$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	Z-Value	P-Value	VIF
Constant	9,32	1,31	7,10	0,000	
atk_ipl_buk_mik	-0,00868	0,00188	-4,63	0,000	3,13
coz_sik	0,0815	0,0284	2,87	0,004	2,92
F2	-1,447	0,316	-4,57	0,000	1,27

Odds Ratios for Continuous Predictors

	Odds Ratio	95% CI
atk_ipl_buk_mik	0,9914	(0,9877; 0,9950)
coz_sik	1,0849	(1,0261; 1,1471)
F2	0,2353	(0,1265; 0,4375)

Model Summary

Deviance	Deviance				Area Under	10-fold	10-fold Area
R-Sq	R-Sq(adj)	AIC	AICc	BIC	ROC Curve	Deviance	Under ROC
						R-Sq	Curve
22,32%	20,53%	137,90	138,01	153,58	0,7762	18,78%	0,7641

Goodness-of-Fit Tests

Test	DF	Chi-Square	P-Value
Deviance	369	129,90	1,000
Pearson	369	440,70	0,006
Hosmer-Lemeshow	8	12,98	0,113

Analysis of Variance

		Wald Test	
Source	DF	Chi-Square	P-Value
Regression	3	31,66	0,000
atk_ipl_buk_mik	1	21,44	0,000
coz_sik	1	8,22	0,004
F2	1	20,91	0,000

4.12.3.2 Tüm Kumaşlarda Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti İçin Yapay Zekâ Modelleri

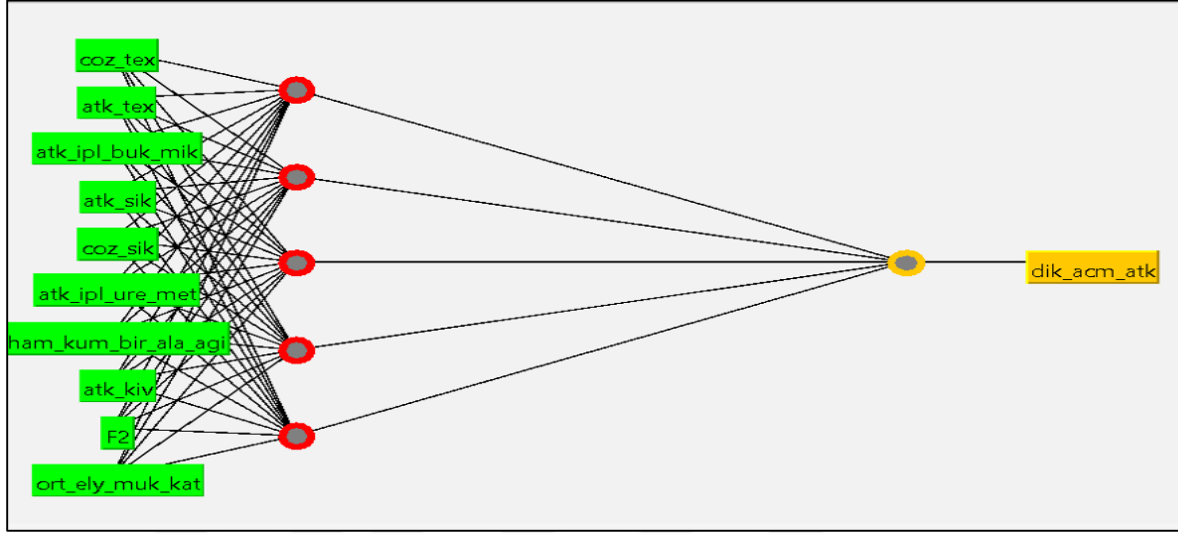
Tüm kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemeti için yapay zekâ ana modelleri ile indirgenmiş öznitelikler ile en iyi altküme modellerinin R değerine göre tahmin sonuçları Çizelge 4.139'da verildiği gibidir.

Çizelge 4.139. Tüm kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemeti tahmininde yapay zekâ modelleri için %R korelasyon katsayısı

Model No	k- fold R Değerleri		
	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Alg.	Mars Tekniği
12PK0	37,70*	36,34	44,11
12PK0-1	17,83	25,88	35,48
12PK1	30,97	38,47	38,46
12PK1-1	7,18	22,31	23,76
12PK2	19,26	35,30	37,57
12PK2-1	7,71	25,47	24,02
12PK3	24,92	34,98	39,05
12PK3-1	5,76	25,17	24,21
12PK4	34,15	38,16	43,62
12PK4-1	18,03	30,69	33,95
12PK5	28,43	37,79	40,41
12PK5-1	7,23	23,59	20,69
12PK6	23,04	37,75	41,35
12PK6-1	7,69	25,49	21,11
12PK7	26,11	35,76	40,52
12PK7-1	5,69	25,65	22,52
12PK8	34,45	36,33	45,74*
12PK8-1	23,19	26,74	34,27
12PK9	30,34	39,01*	42,36
12PK9-1	20,88	29,54	20,43
12PK10	27,77	33,66	40,25
12PK10-1	19,16	30,27	20,99
12PK11	26,13	34,01	39,64
12PK11-1	20,28	31,11	22,52
12PK12	10,89	31,58	33,03
12PK12-1	5,61	21,59	17,51
12PK13	21,96	28,82	31,95
12PK13-1	9,63	8,71	27,02
12PK14	27,87	30,78	34,15
12PK14-1	11,47	12,04	27,57
12PK15	13,07	31,75	35,21
12PK15-1	8,31	15,25	15,25

Yapay sinir ağlarında diğerlerine göre korelasyon katsayısı daha yüksek çıkan model 12PK0 modelidir. 12PK0 modelinde kullanılan yapay sinir ağı temel hücre yapısı Şekil 4.80’de görüldüğü gibidir. Burada, giriş katmanı olarak açıklayıcı değişkenler; çözgü iplik numarası (coz_tex), atkı iplik numarası (atk_tex), atkı ipliği büküm miktarı (atk_ip_l_buk), atkı sıklığı (atk_sik), çözgü sıklığı (coz_sik), atkı ipliği üretim metodu (atk_ip_l_ure_met), ham kumaş birim alan ağırlığı (ham_kum_bir_ala_agi), atkı kıvrımı (atk_kiv), örgü faktörlerinden F2 ve ortalama elyaf mukavemet katsayısı (ort_ely_muk_kat) çıkış katmanı olarak tahmin

parametresi olan atkı yönünde dikiş kayma mukavemet (dik_açm_atk) seçilmiştir. Gizli katman sayısı 1 ve gizli katman nöron sayısı $a = (\text{girdi nöron sayısı} + \text{çıktı nöron sayısı}) / 2$ formülünden; $a = (10+1) / 2 = 5$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.80. 12PK0 atkı dikiş kayma mukavemeti tahmini için yapay sinir hücresi

Yapay sinir ağları için 12PK0, rastgele orman algoritmaları için 12PK9 ve Mars tekniği için 12PK8 özet tablosu Çizelge 4.140’da verildiği gibidir.

Çizelge 4.140. Tüm kumaşlarda atkı dikiş kayma mukavemeti için yapay zekâ modelleri özet tablosu

Analiz Sonuçları	Yapay Sinir Ağı	Rastgele Orman Algoritması	Mars Tekniği
Korelasyon Katsayısı (R)	0,377	0,3901	0,4574
Ortalama mutlak hata (MAE)	0,1407	0,0879	0,0871
Kök ortalama kare hatası (RMSE)	0,2718	0,2213	0,2102
Relatif mutlak hata (RAE)	%126,5195	% 79,074	%78,36
Kök relatif kare hatası (RRSE)	%115,1673	% 93,7787	%89,0789
Toplam örnek sayısı (TNI)	373	373	373

Özet tablodan da anlaşıldığı gibi pamuklu kumaşlarda çözgü kopma kuvveti için yapay zekâ modelleri içerisinde tahmin gücü en iyi modelin 0,4574 R değeri ile Mars tekniği olduğu görülmektedir. Model performansları açısından diğer parametrelerden, ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hatası (RMSE)’ ye bakıldığında en düşük değer Mars tekniğinde çıkmıştır.

5. TAHMİN MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE DOĞRULANMASI

5.1 Modellerin Karşılaştırılması

Pamuklu ve karışım kumaşların yapısal ve mekanik performanslarının tahmin edilmesi için oluşturulan regresyon, yapay sinir ağı, rastgele orman algoritması ve Mars tekniği ile oluşturulan modeller önceki bölümde kendi aralarında % R korelasyon katsayılarına göre karşılaştırılmış ve en anlamlı modeller ortaya çıkmıştır. Bu bölümde ise her tahmin parametresi için tüm modellerin performansı birbiriyle karşılaştırılmıştır.

5.1.1 Pamuklu Kumaşlarda Tahmin Modellerinin Karşılaştırılması

Pamuklu kumaşlar için aşağıda verilen çizelgelerde % çözgü kıvrımı, % atkı kıvrımı, ham kumaş eni, mamül kumaş eni, ham kumaş birim alan ağırlığı, mamül kumaş birim alan ağırlığı, çözgü kopma kuvveti, atkı kopma kuvveti, çözgü yırtılma mukavemeti, atkı yırtılma mukavemeti, çözgü dikiş kayma direnci ve atkı dikiş kayma direnci tahmin parametreleri için regresyon, yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve mars tekniği ile yapılan modeller karşılaştırılmış ve her parametre için en anlamlı model ve modele etki eden açıklayıcı değişkenler ortaya konulmuştur.

Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi, pamuklu kumaşlarda çözgü kıvrımının tahmin edilmesi için kullanılan dört yöntemden en yüksek R korelasyon değerini veren modelin regresyon modelleri olduğu açıktır. Modeller arasında çok yüksek bir fark çıkmamıştır. Regresyon 1P15-1 modelinde R değeri 52,09 değeri ortalama bir sonuç olup, tahmin problemlerinde kullanımı anlamlı değildir. Atkı kıvrımında da en yüksek korelasyon R değerini regresyon modelleri vermiştir. Regresyon modeli, Rastgele Orman Modelleri ve Mars modellerinde sonuçlar birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Regresyon 2P8-1 modelinde R değeri 78,29 değeri iyi bir sonuç olup, tahmin problemlerinde kontrollü olarak kullanımı uygundur.

Pamuklu kumaşlarda ham kumaş eninin tahmininde kullanılan dört yöntemde sonuçlar birbirine oldukça yakın çıkmış ancak en yüksek R korelasyon değerini veren Mars modeli olmuştur. En yüksek sonucu veren Mars 3P0 modelinde R değeri 89,06 değeri iyi bir sonuç olup, tahmin problemlerinde kullanımı oldukça anlamlıdır. Mamül kumaş eninde ise en yüksek R korelasyon değeri yine Mars modeli ile elde edilmiş, fakat tüm modellerin sonuçları da birbirine oldukça yakın çıkmıştır. En yüksek sonucu veren Mars 4P6 modelinde R değeri 90,59 değeri iyi bir sonuç olup, tahmin problemlerinde kullanımı oldukça anlamlıdır.

Çizelge 5.1. Pamuklu kumaşlarda yapısal parametrelerin karşılaştırılması

Model Numarası	Regresyon Modelleri	Yapay Sinir Ağı Modelleri (YSA)	Rastgele Orman Algoritmaları (RF)	Mars Modelleri
% Çözümlü Kıvrımı Tahmini (10-fold %R)				
1P5	44,39	41,21	38,25	49,6*
1P14	42,00	28,35	44,96*	38,67
1P15-1	52,09*	48,48*	37,14	-
% Atkı Kıvrımı Tahmini (10-fold %R)				
2P8	77,33	63,95*	75,38*	76,72
2P8-1	78,29*	52,22	66,93	68,37
2P14	75,45	61,11	71,64	78,28*
Ham Kumaş Eni Tahmini (10-fold %R)				
3P0	84,64	83,52*	83,13	89,06*
3P8-1	88,47*	64,33	69,40	75,82
3P14	86,22	79,22	85,13*	87,80
Mamul Kumaş Eni Tahmini (10-fold %R)				
4P6	87,21	82,27	82,61	90,59*
4P8-1	90,14*	72,93	77,17	81,41
4P9	89,58	87,42*	85,86	89,20
4P10	89,53	87,31	85,96*	89,22
Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı Tahmini (10-fold %R)				
5P2	94,92	98,47	95,82*	98,23*
5P3	84,92	98,68*	95,67	98,23*
5P4-1	95,92*	93,85	94,66	95,65
5P5-1	95,92*	93,89	94,58	95,71
5P6-1	95,92*	93,63	94,97	95,65
5P7-1	95,92*	93,62	94,77	95,65
Mamul Kumaş Birim Alan Ağırlığı Tahmini (10-fold %R)				
6P0	94,49	98,43*	96,59	98,07
6P1	94,67	98,18	96,63*	98,11
6P3	94,73	98,22	96,56	98,14*
6P4-1	96,05*	93,98	95,62	96,00
6P5-1	96,05*	93,97	95,60	95,96
6P6-1	96,05*	94,06	95,82	95,95
6P7-1	96,05*	93,92	95,64	95,98

Ham ve mamul kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesi için kullanılan tüm modeller arasındaki sonuçlar da birbirine yakın çıkmıştır. Her iki değişken için de en yüksek R korelasyon değerini yapay sinir ağı modelleri vermiştir. YSA modeli ham kumaşlarda 5P3 modelinde 98,68 R değeri, mamul kumaşlarda 6P0 modelinde 98,43 R değerine ulaşmıştır. Birim alan ağırlığı tahmini hem ham hem de mamul kumaş için başarılı ve tutarlı bir sonuç olup, tahmin problemlerinde kullanımı güvenli ve uygun olacaktır.

Çizelge 5.2. Pamuklu kumaşlarda performans parametrelerinin karşılaştırılması

Model Numarası	Regresyon Modelleri	Yapay Sinir Ağı Modelleri (YSA)	Rastgele Orman Algoritmaları (RF)	Mars Modelleri
Çözümlü Kopma kuvveti Tahmini (10-fold %R)				
7P0-1	73,37*	44,12	51,91	60,52
7P1-1	73,37*	46,61	51,95	61,13
7P2	73,60	61,05	69,98	72,86*
7P3	73,60	63,52*	70,23	72,27
7P3-1	73,37*	46,24	53,81	63,30
7P5	71,87	61,05	72,30*	72,40
Atkı Kopma kuvveti Tahmini (10-fold %R)				
8P4-1	82,13*	77,36*	80,87*	80,78*
8P5-1	82,13*	77,36*	80,87*	80,78*
8P6-1	82,13*	77,36*	80,87*	80,78*
8P7-1	82,13*	77,36*	80,87*	80,78*
Çözümlü Yırtılma Mukavemeti Tahmini (10-fold %R)				
9P1-1	63,75*	32,79	47,55	53,99
9P3	62,00	52,44*	50,94	56,34
9P6	45,81	27,04	51,79*	57,76
9P15	48,69	31,71	47,02	60,57*
Atkı Yırtılma Mukavemeti Tahmini (10-fold %R)				
10P2-1	76,58*	57,20	80,37	72,52
10P3-1	76,58*	57,20	80,36	72,40
10P4	71,16	67,76*	79,87	71,05
10P7	71,44	65,61	81,64*	71,77
10P13	72,03	57,35	75,41	75,50*
Çözümlü Dikiş Kayma Direnci Tahmini (10-fold %R)				
11P7	25,37	21,91*	34,44*	25,26
11P14	36,38	12,71	30,00	38,55*
11P14-1	38,47*	23,22	31,06	30,41
Atkı Dikiş Kayma Direnci Tahmini (10-fold %R)				
12P8-1	57,85	54,73*	43,64	49,47*
12P9-1	57,85	54,73*	43,64	49,47*
12P10	40,12	43,88	52,70*	45,93
12P10-1	57,85	54,73*	43,64	49,47*
12P11-1	57,85	54,73*	43,64	49,47*
12P14-1	58,73*	19,39	30,51	21,24

Pamuklu kumaşların performans verileri tahmin karşılaştırması Çizelge 5.2’de verilmiştir. Pamuklu kumaşların çözgü kopma kuvvetinin tahmin edilmesinde kullanılan dört yöntemden, en yüksek R korelasyon değerini veren model regresyon modeli olmuştur. Regresyon, rastgele orman ve mars modellerinde sonuçlar birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Regresyon 7P0-1, 7P1-1, 7P2-1 ve 7P3-1 modellerinde R değeri 73,37 değeri iyi bir sonuç olup, tahmin problemlerinde kontrollü olarak kullanılmaları uygundur. Atkı kopma kuvveti

tahminlemesinde de regresyon modelleri, dört yöntem arasında en yüksek R korelasyon değerini veren model olmuştur. En iyi tahmin sonucu 8P4-1 regresyon modelinde 82,13 R değeri olup tutarlı ve tasarım tahminlerinde güvenli kullanılmaya uygun bulunmuştur.

Çözü yırılma mukavemetini tahmin modelleri içinde, en yüksek R korelasyon değeri regresyon modelleriyle elde edilmiştir. En yüksek R değeri, 9P1-1 Regresyon modelinde 63,75 olarak bulunmuş olup tasarım tahminlerinde kontrollü kullanıma uygundur. Atkı yırılma mukavemetinde ise en yüksek R korelasyon değerine rastgele orman modelleri ile erişilmiştir. Rastgele orman 10P7 modelinde elde edilen R değeri 81,64 değeri tutarlı bir sonuç olup modelin tasarım tahminlerinde kullanılması uygundur.

Çözü dikiş kayma direncini tahmin modelleri içinde en yüksek R korelasyon değerini mars modelleri vermiştir. Modeller arasında çok yüksek bir fark oluşmamış, ancak tüm modellerin sonuçları itibariyle tahmin problemlerinde kullanılmayacak ölçüde yetersiz olduğu görülmüştür. Erişilebilen en yüksek R değerleri, mars 11P14 modelinde 38,55 ve regresyon 11P14-1 modelinde 38,47 olmuştur. Atkı dikiş kayma direncinde ise en yüksek R korelasyon değerini regresyon modellerinin verdiği açıkça görülmektedir. Modeller arasında çok yüksek bir fark oluşmamış ve tüm modeller sonuçlarına bakıldığında tasarım tahminlerinde kullanılmaya yeterli bulunmamıştır. Regresyon 12P14-1 modelinde R değeri 58,73 ile diğer modellerden biraz daha yüksek çıkmıştır.

Pamuklu kumaş tahmin modellerinde kullanılan eşitliklerde yer alan bağımsız değişken sayısı 1-3 arasında değişmekte olup, tüm parametere modelleri için ortalama değeri 2,08 olmuştur. Bu modellerde en çok yer alan bağımsız değişken Atkı üretim metodu olmuştur. Çözü sıklığı, Atkı numarası, Atkı büküm değeri, çözü kıvrımı ve mamul kumaş ağırlığı da üçer kez anlamlı değişkenler olarak model eşitliklerinde yer almıştır.

5.1.2 Karışım Kumaşlarda Tahmin Modellerinin Karşılaştırılması

Karışım kumaşların yapısal ve performans parametrelerini tahminleme için geliştirilen regresyon, yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve mars tekniği modelleri ile elde edilen sonuçlar aşağıdaki tablolarda karşılaştırılmış ve her parametre için en anlamlı model ve modele etkiyen açıklayıcı değişkenler ortaya konulmuştur.

Çizelge 5.3'te görüldüğü üzere, karışım kumaşlarda çözü kıvrımının tahmin edilmesi için kullanılan dört yöntemden; en yüksek R korelasyon değerini rastgele orman modellerinin

verdiği açıktır. Rastgele orman 1K0-1,1K1-1, 1K2-1 ve 1K3-1 modellerinde erişilen R değeri 87,63 olup, tasarım tahminlerinde kullanımı anlamlı ve güvenli olacaktır. Atkı kıvrımında da en yüksek R korelasyon değerini veren rastgele orman modelleri olmuştur. Rastgele orman 2K0 modelinde erişilen R değeri 76,90 olmuş ve tasarım tahminlerinde güvenli kullanım için yeterli düzeyde bulunmuştur.

Çizelge 5.3. Karışım kumaşlarda yapısal parametrelerin karşılaştırılması

Model Numarası	Regresyon Modelleri	Yapay Sinir Ağı Modelleri (YSA)	Rastgele Orman Algoritmaları (RF)	Mars Modelleri
% Çözümlü Kıvrımı Tahmini (10-fold %R)				
1K0-1	81,31*	77,09	87,63*	82,07
1K1-1	81,31*	77,09	87,63*	82,07
1K2-1	81,31*	77,09	87,63*	82,07
1K3-1	81,31*	77,09	87,63*	82,07
1K4-1	81,31*	77,96	86,55	82,07
1K5-1	81,31*	77,96	86,55	82,07
1K6	79,66	70,80	86,37	82,23*
1K6-1	81,31*	77,96	86,55	82,07
1K7-1	81,31*	77,96	86,55	82,07
1K12	81,03	79,74*	85,55	82,07
1K12-1	81,31*	79,48	84,94	82,07
1K14-1	81,31*	79,73	84,97	31,97
% Atkı Kıvrımı Tahmini (10-fold %R)				
2K0	68,05	59,65	76,90*	62,88
2K1-1	68,55	58,33	75,85	66,09*
2K4	68,56	62,57*	75,54	65,61
2K4-1	69,42*	57,72	76,13	64,53
Ham Kumaş Eni Tahmini (10-fold %R)				
3K0-1	57,13*	20,48	47,98	33,94
3K2	54,16	33,23	67,72*	49,73
3K4-1	57,13*	20,48	47,98	33,94
3K5	55,15	51,25	61,47	53,19*
3K9	51,83	48,56*	60,83	44,28
Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı Tahmini (10-fold %R)				
5K1	0,00	91,73	93,81	94,57*
5K3	0,00	92,77	94,28*	94,25
5K3-1	94,51	93,08*	92,87	93,99
5K5-1	94,81*	90,19	92,92	92,78

Karışım kumaşlarda ham kumaş eninin tahmin edilmesi için kullanılan modellerden en yüksek R korelasyon değerini rastgele orman modelleri vermiştir. Rastgele orman 3K2 modelinde R değeri 67,72 değeri ile ortalama bir sonuç olup, tahmin problemlerinde ancak kontrollü kullanıma uygundur.

Ham kumaş birim alan ağırlığı tahmin modelleri içinde, en yüksek R korelasyon değerini regresyon modelleri vermiştir. Tüm modeller yüksek tahmin başarısı göstermişler ve aralarında da anlamlı bir fark ortaya çıkmamıştır. Regresyon 5K5-1 modelinde R değeri 94,81 değeri çok iyi bir sonuç olup, tahmin problemlerinde güvenli olarak kullanılabilir.

Çizelge 5.4. Karışım kumaşlarda performans parametrelerinin karşılaştırılması

Model Numarası	Regresyon Modelleri	Yapay Sinir Ağı Modelleri (YSA)	Rastgele Orman Algoritmaları (RF)	Mars Modelleri
Çözümlü Kopma kuvveti Tahmini (10-fold %R)				
7K1-1	68,22	60,79*	48,85	46,65
7K4-1	72,34*	50,86	52,36	35,93
7K5	61,90	43,25	57,22*	26,52
7K5-1	72,34*	45,64	52,01	37,49
7K6-1	72,34*	45,89	50,66	37,49
7K7-1	72,34*	45,52	48,07	37,49
7K9	65,02	43,97	55,67	64,32*
Atkı Kopma kuvveti Tahmini (10-fold %R)				
8K0	17,77	38,19*	22,98	20,90
8K4	42,19	19,83	21,52	47,03*
8K4-1	52,85*	12,47	9,34	38,41
8K5-1	52,85*	20,88	9,47	34,49
8K6-1	52,85*	18,91	12,84	31,84
8K7-1	52,85*	18,54	12,64	35,30
8K15	50,28	13,07	33,26*	36,77
Çözümlü Dikiş Kayma Direnci Tahmini (10-fold %R)				
11K1-1	44,02*	17,98	23,98	23,98
11K2	27,83	23,83	33,06*	34,1
11K3	27,83	25,49	30,51	38,58*
11K6	35,38	27,17*	28,71	32,70
Atkı Dikiş Kayma Direnci Tahmini (10-fold %R)				
12K0-1	40,41*	33,36*	33,75	38,32*
12K4	22,04	25,04	41,49*	32,12
12K4-1	40,41*	33,36*	33,75	38,32*
12K8-1	40,41*	33,36*	33,75	38,32*

Çözümlü kopma kuvvetinin tahmin edilmesi için kullanılan dört yöntem arasında, Çizelge 5.4'te görüldüğü gibi, en yüksek R korelasyon değerini veren regresyon modelleri olmuştur. Regresyon 7K4-1, 7K5-1, 7K6-1 ve 7K7-1 modellerinde R değeri 72,34 değeri ile yeterli ve anlamlı bir sonuç olup, tasarım tahminlerinde kullanımı uygundur. Atkı kopma kuvvetinde de benzer şekilde, en yüksek R korelasyon değerini regresyon modelleri vermiştir. Regresyon 8K4-1, 8K5-1, 8K6-1 ve 8K7-1 modellerinde R, 52,85 değeri ile ortalama bir sonuç olup,

tasarım tahmin problemlerinde kullanımı uygun değildir. Diğer üç modelin değerleri görece daha düşük olup tahmin için kullanımları da uygun bulunmamıştır.

Karışım kumaşlarda çözgü dikiş kayma direncini en iyi tahmin eden modeller, regresyon modelleri olmuştur. Modellerin tümü ortalama 50 değerinin altında sonuçlar vermiş ve tahmin problemlerinde kullanımları uygun bulunmamıştır. Burada regresyon 11K1-1 modeli, 44,02 R değeri ile diğer modellere göre en yüksek sonucu vermiştir. Atkı dikiş kayma direncinde ise, en yüksek R korelasyon değerini rastgele orman modelleri vermiştir. Çözgü kaymasına benzer şekilde modellerin tümü ortalamanın altında sonuç vermiş ve tahmin problemlerinde kullanılmaya uygun ve yeterli bulunmamıştır. Burada rastgele orman 12K4 modelinde R değeri 41,49 ile diğer modellerden biraz daha iyi çıkmıştır.

Karışım kumaş tahmin modellerinde kullanılan eşitliklerde yer alan bağımsız değişken sayısı 2-4 arasında değişmekte olup, tüm parametere modelleri için ortalama değeri 2,57 olmuştur. Bu modellerde en çok yer alan bağımsız değişken atkı elastan numarası olmuştur. Çözgü elastan numarası, çözgü sıklığı ve çözgü kıvrımı da ikişer kez anlamlı değişkenler olarak model eşitliklerinde yer almıştır.

5.1.3 Tüm Kumaşlarda Tahmin Modellerinin Karşılaştırılması

Farklı içerikte ve farklı işletmelerde üretilmiş iki ayrı kumaş verisinin birleşiminden oluşan tüm kumaşlar veri seti için, yapısal ve performans parametreleri için regresyon, yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve mars tekniği ile yapılan modellerin sonuçları karşılaştırılmalı olarak aşağıdaki tablolarda verilmiş ve en anlamlı modeller işaret edilmiştir.

Çizelge 5.5'te görüldüğü gibi, tüm kumaşlarda çözgü kıvrımının tahmin edilmesi için kullanılan dört yöntem arasında rastgele orman modelleri en en yüksek R korelasyon değerini vermiştir. Uygulanan modeller arasında yüksek bir fark çıkmamıştır. Rastgele orman 1PK6 modelinde elde edilen 85,96 R değeri baz alındığında, modelin tasarım tahminlerinde kullanımı anlamlı olacaktır. Atkı kıvrımında da benzer şekilde en yüksek R korelasyon değerine rastgele orman modelleri ile ulaşılmıştır. Geliştirilen dört model bazında uygulanan dört tahmin tekniğinin R değerleri arasında çok yüksek bir fark çıkmamış, tüm modellerin R değeri 82,90-90,23 aralığında gerçekleşmiş ve atkı kıvrımı tahminlerinde kullanılması uygun ve anlamlı bulunmuştur. Rastgele orman 2PK8 modeli, 90,23 ile en yüksek R değerini vermiştir.

Tüm kumaşlar için ham kumaş eni tahmin modelleri arasında en yüksek R korelasyon değerini rastgele orman modelleri vermiştir. Uygulanan yöntemlerden, özellikle yapay zekâ modelleri arasında çok yüksek bir fark çıkmamış, regresyon modelleri görece daha düşük tahmin değerleri vermiştir. Dört tahmin tekniği de bu parametre için kontrollü tahmin üretme kapasitesini göstermiş ancak rastgele orman 3PK8 modeli, 71,74 ile en yüksek R değerini vermiştir.

Ham kumaş birim alan ağırlığının tahmin edilmesinde ise yapay sinir ağı modelleri en yüksek R korelasyon değerini veren modeller olmuştur. Bu bağımlı değişken için geliştirilen dört baz modelde tüm tahmin teknikleri için yakın ve yüksek R değerleri elde edilmiştir. Tüm modellerin R değeri 83,03-95,87 aralığında gerçekleşmiş ve hepsinin tasarım tahminlerinde kullanılması güvenli ve anlamlı bulunmuştur. Yapay sinir ağı 5PK2 modeli 95,87 ile en yüksek R korelasyon değerini vermiştir. Ham kumaş birim alan ağırlığı ya da gramaj en yüksek oranda tahmin edilen değişkenlerden birisi olmuştur.

Çizelge 5.5. Tüm kumaşlarda yapısal parametrelerin karşılaştırılması

Model Numarası	Regresyon Modelleri	Yapay Sinir Ağı Modelleri (YSA)	Rastgele Orman Algoritmaları (RF)	Mars Modelleri
% Çözümlü Kıvrımı Tahmini (10-fold %R)				
1PK0-1	80,39*	72,40	85,81	79,54
1PK1-1	80,39*	72,40	85,81	79,54
1PK2-1	80,39*	72,40	85,81	79,54
1PK3	80,29	79,95	85,89	81,36*
1PK3-1	80,39*	72,40	85,81	79,54
1PK4-1	80,39*	72,40	85,81	79,54
1PK5-1	80,39*	72,40	85,81	79,54
1PK6	77,16	79,79	85,96*	77,73
1PK6-1	80,39*	72,40	85,81	79,54
1PK7	77,16	80,52*	85,85	77,89
1PK7-1	80,39*	72,40	85,81	79,54
% Atkı Kıvrımı Tahmini (10-fold %R)				
2PK0-1	84,30*	82,90	88,23	84,20
2PK5-1	83,92	85,42*	88,36	84,78
2PK8	84,20	83,11	90,23*	85,57
2PK14	83,11	84,76	87,96	86,10*
Ham Kumaş Eni Tahmini (10-fold %R)				
3PK4	58,16	65,04*	70,24	63,29
3PK5	57,29	64,77	68,68	68,68*
3PK8	59,38	61,35	71,74*	60,11
3PK8-1	59,27*	16,46	50,26	44,29

Çizelge 5.5. Tüm kumaşlarda yapısal parametrelerin karşılaştırılması (Devam)

Model Numarası	Regresyon Modelleri	Yapay Sinir Ağı Modelleri (YSA)	Rastgele Orman Algoritmaları (RF)	Mars Modelleri
Ham Kumaş Birim Alan Ağırlığı Tahmini (10-fold %R)				
5PK1	90,87	95,78	94,91*	95,61*
5PK2	90,89	95,87*	94,69	95,51
5PK2-1	90,96*	82,76	88,17	86,48
5PK3-1	90,96*	83,03	88,08	86,05

Tüm kumaşların performans değişkenlerinin tahmin katsayıları Çizelge 5.6'da verilmiştir. Çözümlü kopma kuvvetinin tahmin edilmesi için kullanılan dört yöntemden en yüksek R korelasyon değerini regresyon modellerinin verdiği görülmekle birlikte, diğerlerinin de buna yakın değerlere ulaştığı açıktır. Gerek baz modeller gerekse de uygulanan teknikler arasında yüksek bir farklılık çıkmamıştır. Tüm model uygulamalarının, çözgü kopma kuvveti tahmini için güvenli ya da kontrollü olarak tasarım tahminlerinde kullanılabileceği gözlenmiştir. Regresyon 7PK5-1 modelinde, 87,36 R değeriyle en yüksek korelasyon değeri elde edilmiştir. Atkı kopma kuvveti tahmin modellerinde de çok benzer bir durum gözlenmiştir. En yüksek R korelasyon değerini regresyon modelleri vermiş ve tüm modellerin sonuçları arasında çok yüksek bir farklılık çıkmamıştır. Regresyon 8PK4-1 modelinde R değeri 86,44 ile en yüksek değer olmuştur.

Çizelge 5.6. Tüm kumaşlarda performans parametrelerinin karşılaştırılması

Model Numarası	Regresyon Modelleri	Yapay Sinir Ağı Modelleri (YSA)	Rastgele Orman Algoritmaları (RF)	Mars Modelleri
Çözümlü Kopma Kuvveti Tahmini (10-fold %R)				
7PK4	86,98	71,32	84,04	85,28*
7PK5-1	87,36*	69,42	76,01	79,71
7PK6	87,28	71,90	83,64	85,28*
7PK7	87,28	72,0	83,12	85,28*
7PK10	86,59	77,81	84,37*	84,63
7PK11	86,59	78,03*	83,86	84,55
Atkı Kopma Kuvveti Tahmini (10-fold %R)				
8PK3-1	85,65	73,70	83,29*	78,41
8PK4-1	86,44*	79,32	80,79	83,14
8PK5	86,37	75,99	82,28	85,35*
8PK11-1	84,35	73,70	83,29*	78,41
8PK14-1	84,45	81,25*	81,72	81,45
Çözümlü Dikiş Kayma Direnci Tahmini (10-fold %R)				
11PK1-1	42,61*	12,85	32,32	25,91
11PK3	28,14	26,05*	40,43	39,46

Çizelge 5.6. Tüm kumaşlarda performans parametrelerinin karşılaştırılması (Devam)

Model Numarası	Regresyon Modelleri	Yapay Sinir Ağı Modelleri (YSA)	Rastgele Orman Algoritmaları (RF)	Mars Modelleri
11PK5	40,22	23,65	47,07*	40,15
11PK6	31,55	23,00	45,89	41,97*
Atkı Dikiş Kayma Direnci Tahmini (10-fold %R)				
12PK0	29,68	37,70*	36,34	44,11
12PK0-1	43,33*	17,83	25,88	35,48
12PK4-1	43,33*	18,03	30,69	33,95
12PK8	38,31	34,45	36,33	45,74*
12PK8-1	42,98	23,19	26,74	34,27
12PK9	25,53	30,34	39,01*	42,36

Tüm kumaşlarda çözgü dikiş kayma direncini en iyi tahmin eden model rastgele orman modelleri olmuştur. Genel olarak tüm modeller ortalamanın altında sonuçlar vermiş ve hiçbir tasarım tahmin problemlerinde kullanılmaya uygun bulunamamıştır. Burada rastgele orman 11PK5 modelinde R değeri 47,07 ile diğer modellerden biraz daha iyi çıkmıştır. Atkı dikiş kayma direncinin tahmin modelleri arasında en yüksek R korelasyon değerini ise mars modelleri vermiştir. Mars 12PK8 modeli 45,74 ile en yüksek R katsayısı olurken bu değer oldukça altında kalmışlardır. Atkı dikiş kayma direnci tahmin modellerinin hiçbirisi tasarım tahminlerinde kullanım için uygun bulunmamıştır. Modellerin tümü ortalamanın 46'nın çok altında sonuç vermiş olup bu modellerin tahmin problemlerinde kullanılmaları uygun değildir.

Tüm kumaş tahmin modellerinde kullanılan eşitliklerde yer alan bağımsız değişken sayısı 1-5 arasında değişmekte olup, tüm modelleri için ortalama değeri 3,37 olmuştur. Bu modellerde en çok yer alan bağımsız değişkenler üçer kezle çözgü kıvrımı, Atkı sıklığı ve Atkı ipliği üretim metodu olmuştur.

5.2 Modellerinin Doğrulaması

Üç farklı kumaş grubu için oluşturulan tüm modeller içinde %R korelasyon katsayısı en yüksek çıkan modeller seçilerek doğrulaması yapılmıştır. Doğrulama için kullanılan veriler, aynı örnekleme aittir ancak bu veri kümesi model eğitim aşamasında hiç kullanılmamıştır. Kumaşların yapısal ve performans özelliklerinin tahmin edilmesine dair regresyon modellerinin eğitim ve test verileriyle elde edilen %R değerleri Çizelge 5.7'te verilmiştir.

Çizelge 5.7. Diğerlerinden daha anlamlı çıkan regresyon modellerinde eğitim verileri ve test verilerinde; model (eğitim) değerleri ile test değer arasında korelasyon testi %R korelasyon katsayıları

Regresyon Modelleri						
Model	Pamuklu Kumaşlar		Karışım Kumaşlar		Tüm Kumaşlar	
	Eğitim %R	Test %R	Eğitim %R	Test %R	Eğitim %R	Test %R
Çözü Kırımı	53,40	88,10	81,80	97,30	81,30	86,90
Atkı Kırımı	79,90	74,00	70,70	83,10	84,50	92,90
Ham Kumaş Eni	89,40	94,10	59,80	58,00	60,60	84,40
Mamul Kumaş Eni	90,90	94,40	-	-	-	-
Ham Birim Ağırlık	96,10	95,80	95,30	81,90	91,40	97,10
Mamul Birim Ağırlık	96,20	95,40	-	-	-	-
Çözü Kopma kuvveti	75,40	61,60	81,00	54,30	89,00	76,60
Atkı Kopma kuvveti	83,70	41,10	60,70	54,70	87,60	82,50
Çözü Yırtılma Mukavemeti	66,10	27,30	-	-	-	-
Atkı Yırtılma Mukavemeti	78,60	43,10	-	-	-	-
Çözü Dikiş Kayma Mukavemeti	-	-	-	-	-	-
Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti	-	-	-	-	-	-

Regresyon modelleri için Çizelge 5.7 incelendiğinde pamuklu kumaşların yapısal parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılan ve en iyi sonucu veren modellerin test verileri ile doğrulaması yapıldığında; model değeri ile test değerleri korelasyon katsayısı arasındaki farkların oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Test verileriyle çok daha iyi bir tahmin değerine ulaşılması normalde beklenen bir durum olmamakla birlikte, bunun eğitim ve test verileri kümelerinin farklı karakteristik göstermelerinden kaynaklanıyor olabilir. Pamuklu kumaşlarda toplam on bağımlı değişken tahmininin yedisinde orijinal eşitliği tanımlayan eğitim verileri daha iyi sonuç vermiştir. Bu oran karışım kumaşlarda 4 / 6, tüm kumaşlarda 2 / 6 olarak gerçekleşmiştir. Bu durumun, pamuklu kumaş verilerinin karışım kumaş verilerine göre daha dar bir aralıkta olup daha düşük varyasyon göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapısal parametrelerden çözgü ve atkı kırırımları tahminlemesinde daha belirgin farklar olmuştur. Performans parametrelerinin tümünde test verileri, eğitim verilerinin başarı düzeyinin oldukça altında bir tahmin düzeyinde kalmışlardır. Karışım kumaşların yapısal parametrelerinde sadece çözgü kırırımında model değeri ile test değeri arasında korelasyon yüksek çıkmıştır. Pamuklu kumaşlar ile karışım kumaş verilerinin beraber kullanıldığı tüm kumaşlarda ise yine pamuklu kumaşlar gibi gerçek değer ile model değer arasındaki korelasyonun oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Sadece pamuklu ve karışım kumaşların beraber kullanıldığı tüm veriler için çözgü ve atkı kopma kuvveti ortalamanın üzerinde değer

vermiştir. Yırtılma mukavemeti modeli sadece pamuklu kumaşlara uygulanmıştır. Dikiş açma direnci tahmininde lojistik regresyon modeli kullanıldığından korelasyon testi yapılmamıştır.

Çizelge 5.8. Diğerlerinden daha anlamlı çıkan yapay sinir ağı modellerinde eğitim verileri ve test verilerinde; gerçek değerler ile model değer arasında korelasyon testi %R korelasyon katsayıları

Yapay Sinir Ağı Modelleri						
Model	Pamuklu Kumaşlar		Karışım Kumaşlar		Tüm Kumaşlar	
	Eğitim %R	Test %R	Eğitim %R	Test %R	Eğitim %R	Test %R
Çözümlü Kıvrımı	48,48	83,59	79,74	91,13	80,52	95,95
Atkı Kıvrımı	63,95	69,40	62,57	90,14	85,42	90,64
Ham Kumaş Eni	83,52	92,25	48,56	45,65	65,04	84,69
Mamul Kumaş Eni	87,42	91,49	-	-	-	-
Ham Birim Ağırlık	98,68	97,41	93,08	94,74	95,87	98,45
Mamul Birim Ağırlık	98,43	98,77	-	-	-	-
Çözümlü Kopma kuvveti	63,52	61,22	60,79	91,63	78,03	67,35
Atkı Kopma kuvveti	77,36	34,20	38,19	00,00	81,25	80,15
Çözümlü Yırtılma Mukavemeti	52,44	41,61	-	-	-	-
Atkı Yırtılma Mukavemeti	67,76	29,09	-	-	-	-
Çözümlü Dikiş Kayma Mukavemeti	21,91	20,70	27,17	00,00	26,05	00,00
Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti	54,73	00,00	33,36	34,51	37,70	00,00

Kumaşların yapısal ve performans özelliklerinin tahmin edilmesine dair yapay sinir ağı modellerinin eğitim verisi ve test verisi ile çıkan sonuçları Çizelge 5.8’de verilmiştir. Yapay sinir ağı modelleri için Çizelge 5.8 incelendiğinde pamuklu kumaşların yapısal parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılan en iyi model test verileri ile doğrulandığında; örneklerin yaklaşık yarısında orijinal model, diğer yarısında da doğrulama test verileri daha yüksek tahmin değerine ulaşmışlardır. Eğitim verileriyle gerçekleştirilen model sonuçlarının test verileriyle kıyaslanmasında, pamuklu kumaşlarda 7 / 12, karışım kumaşlarda 3 / 8 ve tüm kumaşlarda 4 / 8 gibi bir oran gözlenmektedir. Yani pamuklu kumaşlarda orijinal modeller daha iyi bir tahmin oranı yakalamışlardır. Aynı durum performans parametrelerinde de gözlenmiş, test verilerine oranla esas modeller daha iyi sonuçlar vermiştir. Diğer taraftan yapısal parametrelerde ise, test modeli verilerinin daha başarılı olduğu dikkat çekmektedir. Özellikle çözgü kıvrımı %R değerleri arasında çok belirgin farklar oluşmuştur. Karışım kumaşların yapısal parametrelerinde çözgü ve atkı kıvrımı ile ham kumaş birim alan ağırlığında esas model ile test modeli değerleri arasında korelasyon yüksek çıkmıştır, ham kumaş eni hem eğitim hem de test modelinde düşük korelasyon göstermiştir. Tüm kumaşların dahil olduğu kümenin hem yapısal hem de performans değişkenleri için esas ve test modelleri korelasyon değerleri arasındaki farkların

oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Sadece karışım kumaşların çözgü kopma kuvveti ortalamanın üzerinde korelasyon göstermiştir. Yırtılma mukavemeti modelleri sadece pamuklu kumaşlarda yapıldığından karışım ve tüm kumaş gruplarına uygulanmamıştır.

Çizelge 5.9. Diğerlerinden daha anlamlı çıkan rastgele orman algoritmalarında eğitim verileri ve test verilerinde; gerçek değerler ile model değer arasında korelasyon testi %R korelasyon katsayıları

Rastgele Orman Algoritmaları						
Model	Pamuklu Kumaşlar		Karışım Kumaşlar		Tüm Kumaşlar	
	Eğitim %R	Test %R	Eğitim %R	Test %R	Eğitim %R	Test %R
Çözgü Kıvrımı	44,96	78,22	87,63	96,42	85,96	95,35
Atkı Kıvrımı	75,38	45,18	76,90	87,09	90,23	95,13
Ham Kumaş Eni	85,13	92,76	67,72	21,52	71,74	85,43
Mamul Kumaş Eni	85,96	88,99	-	-	-	-
Ham Birim Ağırlık	95,82	97,92	94,28	75,14	94,91	96,83
Mamul Birim Ağırlık	96,63	99,20	-	-	-	-
Çözgü Kopma kuvveti	72,30	65,76	57,22	61,55	84,37	85,77
Atkı Kopma kuvveti	80,87	04,90	33,26	42,88	83,29	69,85
Çözgü Yırtılma Mukavemeti	51,79	44,57	-	-	-	-
Atkı Yırtılma Mukavemeti	81,64	39,70	-	-	-	-
Çözgü Dikiş Kayma Mukavemeti	34,44	52,53	33,06	00,00	47,07	27,43
Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti	52,70	00,00	41,49	00,00	39,01	13,91

Kumaşların yapısal ve performans özelliklerinin tahmin edilmesine dair rastgele orman algoritmalarının eğitim verisi ve test verisi ile çıkan sonuçları Çizelge 5.9’da verildiği gibidir. Rastgele orman algoritmaları için Çizelge 5.9 incelendiğinde pamuklu kumaşların yapısal parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılan en iyi model, test verileri ile doğrulandığında; gerçek değer ile model değer arasındaki korelasyonun atkı kıvrımı dışında oldukça yüksek olduğu görülmektedir. YSA sonuçlarında olduğu gibi burada da örneklerin yaklaşık yarısında esas model, diğer yarısında da test modeli verileri daha yüksek tahmin değerine ulaşmışlardır. Esas model verileriyle elde edilen sonuçların test modeli verileriyle kıyaslanmasında, pamuklu kumaşlarda 6 / 12, karışım kumaşlarda 4 / 8 ve tüm kumaşlarda 3/ 8 gibi bir oran gözlenmektedir. Karışım kumaşların yapısal parametrelerinde çözgü ve atkı kıvrımı ile ham kumaş birim alan ağırlığında gerçek değer ile model değer arasında korelasyon yüksek çıkmıştır, ham kumaş eni hem eğitim hem de test verilerinde düşük korelasyon göstermiştir. Pamuklu kumaşlar ile karışım kumaş verilerinin beraber kullanıldığı tüm kumaşlarda ise tüm yapısal performanslar için gerçek değer ile model değer arasındaki korelasyonun oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Performans özelliklerinin tahmin edilmesinde kullanılan en iyi

model test verileri ile doğrulandığında; gerçek değer ile model değer arasındaki korelasyonun düşük olduğu görülmektedir. Sadece pamuklu kumaşlar ile karışım kumaş verilerinin beraber kullanıldığı tüm kumaşlarda çözgü kopma kuvveti yüksek korelasyon göstermiştir. Yırtılma mukavemeti modelleri sadece pamuklu kumaşlarda yapıldığından karışım ve tüm kumaş modellerinin testleri de yapılmamıştır.

Çizelge 5.10. Diğerlerinden daha anlamlı çıkan Mars modellerinde eğitim verileri ve test verilerinde; gerçek değerler ile model değer arasında korelasyon testi %R korelasyon katsayıları

Mars Modelleri						
Model	Pamuklu Kumaşlar		Karışım Kumaşlar		Tüm Kumaşlar	
	Eğitim %R	Test %R	Eğitim %R	Test %R	Eğitim %R	Test %R
Çözgü Kıvrımı	49,60	93,82	82,23	96,93	81,36	84,18
Atkı Kıvrımı	78,28	65,32	66,09	90,37	86,10	88,41
Ham Kumaş Eni	89,06	89,09	53,19	35,57	63,90	82,05
Mamul Kumaş Eni	90,59	92,18	-	-	-	-
Ham Birim Ağırlık	98,23	97,93	94,57	71,96	95,61	97,88
Mamul Birim Ağırlık	98,14	97,42	-	-	-	-
Çözgü Kopma kuvveti	72,86	56,96	64,32	59,86	85,28	80,21
Atkı Kopma kuvveti	80,78	07,00	47,03	72,15	85,35	76,54
Çözgü Yırtılma Mukavemeti	60,57	36,65	-	-	-	-
Atkı Yırtılma Mukavemeti	75,50	30,12	-	-	-	-
Çözgü Dikiş Kayma Mukavemeti	38,55	00,00	38,58	00,00	41,97	03,55
Atkı Dikiş Kayma Mukavemeti	49,47	00,00	38,32	24,02	45,74	00,00

Kumaşların yapısal ve performans özelliklerinin tahmin edilmesine dair Mars modellerinin eğitim verisi ve test verisi ile çıkan sonuçları Çizelge 5.10'da verilmiştir. Mars modelleri için Çizelge 5.10 incelendiğinde pamuklu kumaşların yapısal parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılan en iyi model, test verileri ile doğrulandığında; esas model ile test modeli korelasyonları arasındaki farkın, atkı kıvrımı dışında oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Mars tekniğinde, genel olarak esas model verileriyle elde edilen sonuçların, test modeli verilerine göre daha yüksek tahmin değerine ulaştıkları belirgin olarak gözlenmektedir. Esas model verileriyle elde edilen sonuçların test modeli verileriyle kıyaslanmasında, pamuklu kumaşlarda 9 / 11, karışım kumaşlarda 5 / 8 ve tüm kumaşlarda 4/ 8 gibi bir oran gözlenmektedir. Veri seti varayasyonundaki artışın, modelin tahmin gücünü önemli ölçüde etkilemiş olduğu görülmektedir. Karışım kumaşların yapısal parametrelerinde çözgü ve atkı kıvrımında esas model ile test modeli korelasyon değerleri farkı yüksek çıkmıştır, ham birim alan ağırlığı ortalamanın üzerinde bir değer verirken ham kumaş eni hem eğitim hem de test modellerinde düşük korelasyon göstermiştir. Pamuklu kumaşlar ile karışım kumaş verilerinin

beraber kullanıldığı tüm kumaşlarda ise tüm yapısal performanslar için esas model ile test modeli değerleri arasındaki farkın belirgin olduğu görülmektedir. Performans özelliklerinin tahmin edilmesinde kullanılan esas modelin, test verileriyle doğrulanmasında; gerçek değer ile test değeri arasındaki korelasyonun düşük olduğu görülmektedir. Yırtılma mukavemeti modelleri sadece pamuklu kumaşlarda yapıldığından karışım ve tüm kumaş modellerinin testleri de yapılmamıştır.

5.3 Tasarım Uygulama Çalışması

Tez çalışmasının temel hedefi, temel kumaş parameterelerini üretim öncesinde kabul edilebilir tolerans sınırları içinde tahmin edebilecek bir sistem geliştirmek olduğu için, kurulan modeller üzerinde bu kapsamda birkaç tasarım çalışması da yapılmıştır. Modellerin pratikte kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla 4 farklı kumaş tasarımı yapılmıştır. Bu uygulama, için seçilen kumaş tipleri ve üretim parametreleri de başka bir firmanın veritabanından alınmış endüstriyel verilerdir. Yani tasarım uygulamasında, modelin çıktılarının gerçek kumaş verileriyle kıyaslanabilmesi amaçlanmıştır. Tasarımı yapılan kumaşlar için başlangıçta seçilen temel değişkenler ile onlara bağlı olarak elde edilen tahmini değerler Çizelge 5.13'te verilmiştir. Tahmin gücü en yüksek olan modeller baz alınarak kumaş tasarlanmış ve tahmin gücü yüksek olan modellerle denenmiştir. Burada ilk adımda kumaş konstrüksiyonu dikkate alınarak çözgü ve atkı yönünde kıvrımlar bulunmuş, daha sonra bu değerler ikinci adımda ham en ve ham gramajın tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Son olarak tüm elde edilen veriler üçüncü adımda atkı ve çözgü yönünde kopma kuvvetinin tahmin edilmesi için regresyon modellerinde kullanılmıştır.

Şekil 5.1 incelendiğinde modellerin çoğunun anlamlı sonuçlar ürettiği anlaşılmaktadır. Farklı iplik kalınlıkları, sıklıklar ve örgü yapısının tahmin edilen değerler üzerinde etkili olduğu yani beklenen farklılıkları kısmen yansıtabildiği gözlenmiştir. Geliştirilen modeller, iplik numarasında ya da sıklıktaki artışın kumaş gramajına ya da kumaş kopma kuvvetine olan etkisini yansıtabilecek duyarlılığa sahip görünmektedirler. Burada tüm kumaş verilerinin beraber kullanıldığı modeller geliştirilerek tasarım aşamasında kumaşların yapısal ve performans özelliklerinin tahmininde kullanılabilir olacağı açıkça görülmektedir. Modeller üzerinde yapılacak olası iyileştirmeler ile daha başarılı sonuçlar alınması olasıdır.

Tasarım Örneği 1							
Seçilen Tasarım Verileri		1. Aşama Tahmin Değerleri		2. Aşama Tahmin Değerleri		Kopma Muk. Tahmini	
Çözü Ne X Atkı Ne	40/1 Penye x 40/ 1 Penye	Çözü Kıvrımı	12,63%	Ham En	157,6 cm	Çözü	24,89 kg-kuv
Ç.Sıklık X Atkı Sık.	45 x 40 ip/cm	Atkı Kıvrımı	1,70%	Ham Gramaj	143 g/m-kare	Atkı	34,5 kg-kuv
Kompozisyon	%100 pamuk	*** Rastgele orman algoritmaları ile hesaplanan atkı kıvrımı reel değerden sapmıştır.					
Örgü	Bezayağı	*** Rastgele orman algoritmaları ile hesaplanan ham en reel değerden sapmıştır.					
Tarak Eni [cm]	157						
Tasarım Örneği 2							
Seçilen Tasarım Verileri		1. Aşama Tahmin Değerleri		2. Aşama Tahmin Değerleri		Kopma Muk. Tahmini	
Çözü Ne X Atkı Ne	40/1 Penye x 40/ 1 Penye	Çözü Kıvrımı	8,00%	Ham En	156,8 cm	Çözü	26,91 kg-kuv
Ç.Sıklık X Atkı Sık.	49 x 30 ip/cm	Atkı Kıvrımı	2,63%	Ham Gramaj	142 g/m-kare	Atkı	21,48 kg-kuv
Kompozisyon	%100 pamuk	*** Rastgele orman algoritmaları ile hesaplanan ham en reel değerden sapmıştır.					
Örgü	5'li Saten	*** Rastgele orman algoritmaları ile hesaplanan ham gramaj reel değerden sapmıştır.					
Tarak Eni [cm]	155						
Tasarım Örneği 3							
Seçilen Tasarım Verileri		1. Aşama Tahmin Değerleri		2. Aşama Tahmin Değerleri		Kopma Muk. Tahmini	
Çözü Ne X Atkı Ne	28/2 Ring x 16/1 Ring	Çözü Kıvrımı	7,64%	Ham En	166 cm	Çözü	141,28 kg-kuv
Ç.Sıklık X Atkı Sık.	34 x 23	Atkı Kıvrımı	2,16%	Ham Gramaj	247 g/m-kare	Atkı	79,93 kg-kuv
Kompozisyon	%65 pes-%35 vis	*** Tasarım bekleneni karşılamıştır.					
Örgü	D 2/2						
Tarak Eni [cm]	172						
Tasarım Örneği 4							
Seçilen Tasarım Verileri		1. Aşama Tahmin Değerleri		2. Aşama Tahmin Değerleri		Kopma Muk. Tahmini	
Çözü Ne X Atkı Ne	36/2 Ring x 24/2 Ring	Çözü Kıvrımı	8,23%	Ham En	156 cm	Çözü	158,34 kg-kuv
Ç.Sıklık X Atkı Sık.	40 x 23	Atkı Kıvrımı	4,49%	Ham Gramaj	270 g/m-kare	Atkı	110,39 kg-kuv
Kompozisyon	%65 pes-%35 cot (penye)	*** Tasarım bekleneni karşılamıştır.					
Örgü	5'li Saten						
Tarak Eni [cm]	160						

Şekil 5.1 Farklı konstrüksiyonlarda kumaş tasarım örnekleri

Modellerden çıkan sonuçlar ile tasarlanması planlanan gerçek kumaş değerleri Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Tasarım model ve gerçek değerleri

Performans	Tasarım 1		Tasarım 2		Tasarım 3		Tasarım 4	
	Model	Gerçek	Model	Gerçek	Model	Gerçek	Model	Gerçek
% Çözü Kıvrımı	13,0	16,0	8,0	7,0	8,0	12,0	8,0	13,0
%Atkı Kıvrımı	1,7	4,6	2,63	3,3	2,16	3,3	4,49	1,49
Ham Kumaş Eni	157,6	150	156,8	150,0	166,0	166,0	156,0	157,0
Ham Kumaş Ağırlığı	138,0	143,0	127,0	142,0	247,0	255,0	270,0	264,0
Çözü Kopma Mukavemeti	24,89	-	26,91	-	141,28	-	158,34	-
Atkı Kopma Mukavemeti	34,5	-	21,48	-	79,93	-	110,39	-

Çizelge 5.11'de modellerden çıkan sonuçlar değerlendirildiğinde sonuçların % atkı kıvrımı dışında çeşitli performanslar için umut verici olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında iki farklı tekstil dokuma işletmesinden alınan %100 pamuklu kumaşlar ile farklı karışım oranlarında poliester/viskon ve poliester/viskon/elastan içeren kumaşların yapısal parametreleri: çözgü kıvrımı, atkı kıvrımı, ham kumaş eni, mamül kumaş eni, ham kumaş birim alan ağırlığı, mamül kumaş birim alan ağırlığı ile performans parametreleri: çözgü ve atkı kopma kuvveti, çözgü ve atkı yırtılma mukavemeti, çözgü dikiş kayma mukavemeti ve atkı dikiş kayma mukavemeti regresyon modelleri, yapay sinir ağı modelleri, rastgele orman algoritmaları ve mars modelleri ile tahmin edilmeye çalışılmıştır.

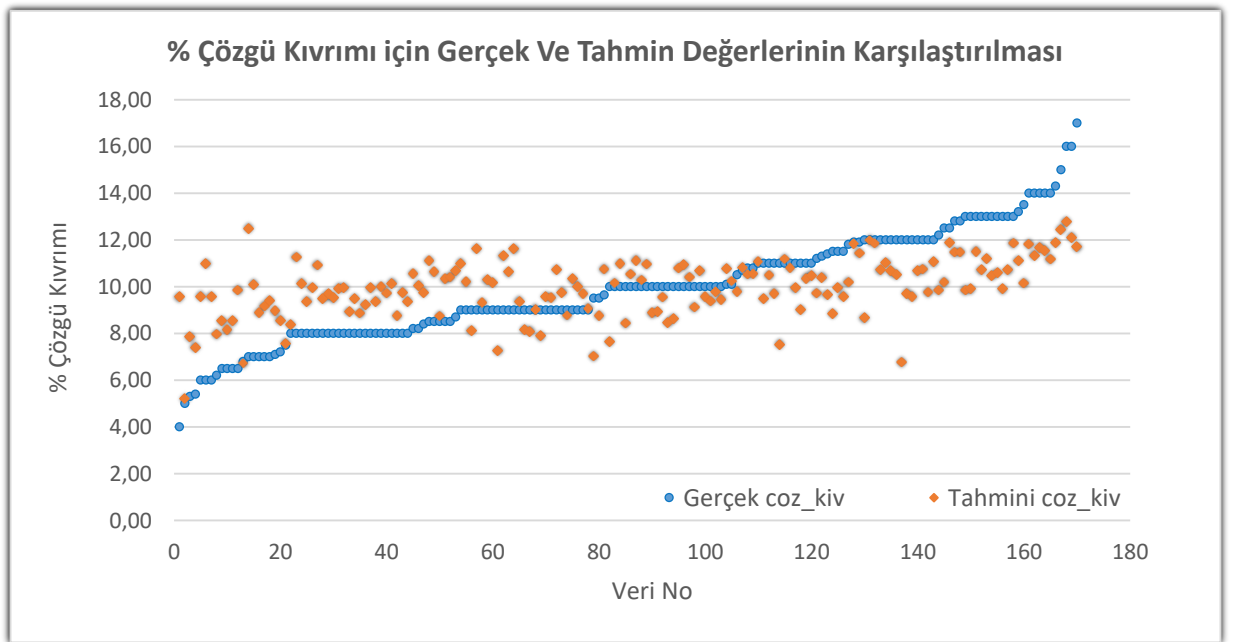
İlk olarak kumaşların yapısal özelliklerinin tahmin edilmesi için 170 pamuklu kumaş verisi kullanılarak regresyon, yapay sinir ağı, rastgele orman ve Mars modelleri, oluşturulmuştur. Performans özelliklerinin tahmin modellerinin eğitimi için ise 140' ın üzerinde kumaş verisi kullanılmıştır. Tahmin edilecek her parametre için farklı açıklayıcı değişkenler kullanılarak 96 farklı ham model ve en iyi açıklayıcı değişkeni bulan 96 alt küme için R^2_{kfold} belirlilik katsayısından faydalanarak model uyumunu ortaya çıkarmak adına % R_{kfold} korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Pamuklu kumaşlarda tahmin edilmek istenen her parametre için 192 model üzerinden en yüksek korelasyonu veren model örnek model olarak seçilmiştir. Örnek model üzerinden tüm eğitim verilerinin gerçek değerleri ile model değerleri arasında korelasyon testi yapılarak model uyumu ortaya konmuştur. Model uyumu için daha önce hiç modele girmemiş olan 11 veri kullanılarak gerek regresyon modelleri için gerekse yapay sinir ağı, rastgele orman ve Mars teknikleri ile gerçek değer ve tahmin edilen değer arasında korelasyona bakılmıştır. Atkı ve çözgü yönünde dikiş kayma mukavemetinde lojistik regresyon modeli kullanıldığı için burada gerçek değer ile model değer arasında korelasyona bakılmamıştır.

Karışım kumaşların yapısal özellikleri ve performans parametrelerinin tahmin edilmesi için 230' un üzerinde bir kumaş veri seti ile çalışılmıştır. Veriler ham kumaş ile sınırlı olduğu için mamül en ve birim alan ağırlığı tahmin modelleri oluşturulmamıştır. Performans özellikleri için ise atkı ve çözgü yönünde kopma kuvveti ve çözgü ve atkı yönünde dikiş kayma mukavemeti tahminine dayalı modeller oluşturulmuş, yırtılma mukavemetleri yüksek olup yırtılamadıkları için yırtılma mukavemeti modelleri de oluşturulmamıştır. Tahmin edilecek her parametre için farklı açıklayıcı değişkenler kullanılarak 96 farklı ham model ve en iyi açıklayıcı değişkeni bulan 96 alt küme için R^2_{kfold} belirlilik katsayısından faydalanarak model uyumunu ortaya çıkarmak adına % R_{kfold} korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Karışım kumaşlarda tahmin

edilmek istenen her parametre için 192 model üzerinden en yüksek korelasyonu veren model örnek model olarak seçilmiştir. Örnek model üzerinden tüm eğitim verilerinin gerçek değerleri ile tahmin değerleri arasında korelasyon testi yapılarak model uyumu ortaya konmuştur. Model uyumu için daha önce hiç modele girmemiş olan 7 veri kullanılarak gerek regresyon modelleri için gerekse yapay sinir ağı, rastgele orman ve mars teknikleri ile gerçek değer ve model değer arasında korelasyona bakılmıştır.

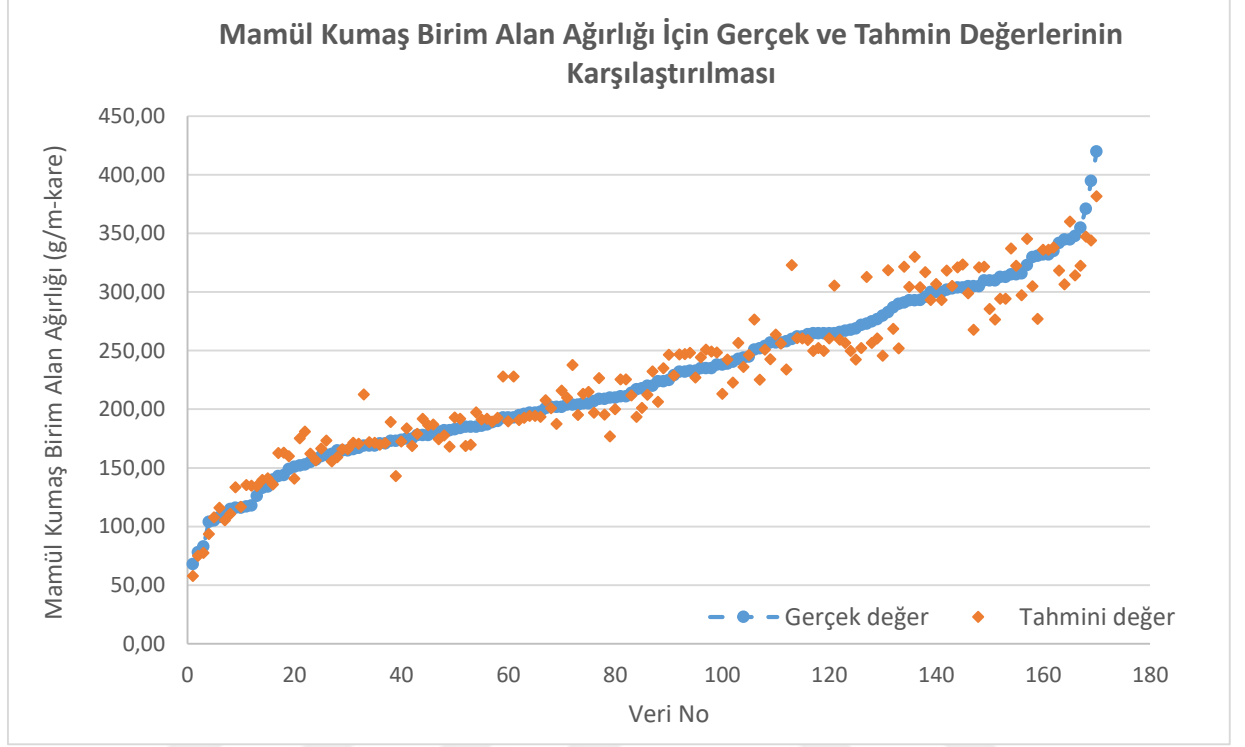
Pamuklu ve karışım modeller için ortak açıklayıcı değişkenler kullanılarak pamuklu modellere karışım kumaş verileri, karışım modellere ise pamuklu kumaş verileri dâhil edilerek farklı işletme verilerinin regresyon modellerinde anlamlılığı test edilmiştir. Buna göre sadece ham kumaş birim alan ağırlığı için pamuklu kumaş regresyon modelinde karışım kumaş verileri ve aynı zamanda karışım kumaş regresyon modellerinde pamuklu kumaş verileri işletmelerde kullanılabilir düzeyde yüksek sonuç vermiştir.

Tüm çoklu doğrusal regresyon modellerinin sonuçları incelendiğinde en iyi model performansı pamuklu kumaşlarda 0,962 korelasyon katsayısı ile mamül kumaş birim alan ağırlığının ve en kötü performansın ise 0,534 korelasyon katsayısı ile yine pamuklu kumaşlarda %çözgü kıvrımı modelinde olduğu görülmektedir. Bu modeller için test verilerinde kullanılan gerçek değerler ile modellerden tahminlenen değerleri karşılaştıran grafikler Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 de verilmiştir.



Şekil 6.1. % Çözgü kıvrımı için gerçek değerler ile en iyi modelden tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (veriler küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır)

Şekil 6.1’de verilen % çözgü kıvrımı tahmini değerlerinin hata yüzdesi -%43,55 ile %138,5 aralığında değişmekte olup minimum hata yüzdesi -%0,13 ve ortalama mutlak hata yüzdesi %17,59 olarak bulunmuştur.



Şekil 6.2. Mamül kumaş birim alan ağırlığı için gerçek değerler ile en iyi modelden tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (veriler küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır)

Şekil 6.2’de verilen mamül kumaş birim alan ağırlığı tahmini değerlerin hata yüzdesi -%17,34 ile %24,26 aralığında değişmekte olup minimum hata yüzdesi %0,06 ve mutlak ortalama hata yüzdesi %6,20 olarak bulunmuştur.

Son olarak yine regresyon, yapay sinir ağı, rastgele orman algoritmaları ve mars tekniği ile pamuklu ve karışım verileri birleştirilerek kumaşların yapısal parametrelerinin tahmini için 400 üzerinde ve performans özellikleri tahmini için ise 190’ ın üzerinde veri kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Ortak veri setinde, mamül kumaşa yönelik modeller ile atkı ve çözgü yönünde yırtılma mukavemeti tahmin modelleri oluşturulmamıştır. Tahmin edilecek her parametre için ortak açıklayıcı değişkenler kullanılarak 96 farklı ham model ve en iyi açıklayıcı değişkeni bulan 96 alt küme için R^2_{kfold} belirlilik katsayısından faydalanarak model uyumunu ortaya çıkarmak adına % R_{kfold} korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Pamuk ve karışım tüm kumaşlarda tahmin edilmek istenen her parametre için 192 model üzerinden en yüksek korelasyonu veren model örnek model olarak seçilmiştir. Örnek model üzerinden tüm eğitim

verilerinin gerçek değerleri ile model değerleri arasında korelasyon testi yapılarak model uyumu ortaya konmuştur. Model uyumu için daha önce hiç modele girmemiş olan 18 veri kullanılarak gerek regresyon modelleri için gerekse yapay sinir ağı, rastgele orman ve Mars teknikleri ile gerçek değer ve model değer arasında korelasyona bakılmıştır.

Çizelge 6.1’de pamuklu kumaşlar için % R_{kfold} korelasyon katsayıları incelendiğinde; çözgü kıvrımı için regresyon modeli diğer modellere göre yüksek korelasyon değeri vermiş olmakla beraber işletmelerde yeni üretime girecek kumaşlarda modelin kullanımı açısından yeterli düzeyde değildir. Atkı kıvrımına baktığımızda regresyon ve Mars modelleri yaklaşık aynı değeri vermiş olup bu modellerin kullanımı kontrollü olmalıdır. Ham kumaş eni ve mamül kumaş eni için tüm modeller işletmelerde kullanılabilir düzeyde yüksek sonuç vermiştir. Yine pamuklu kumaşlarda ham birim alan ağırlığı ve mamül birim alan ağırlığının tahmin için geliştirilen tüm modeller işletmelerde kullanım için uygun değerler vermiştir. Pamuklu kumaşların performans özelliklerinden çözgü kopma kuvvetinin tahmin edilmesinde yapay sinir ağı modelleri dışında diğer modeller birbirine yakın değerler vermiş olup her üç modelin de kullanımı işletme şartları için yeterli düzeyde değildir. Pamuklu kumaşların atkı kopma kuvveti tahmin modelinde regresyon modeli ile rastgele orman algoritmaları arasında anlamlı bir fark yoktur. Her iki model de işletmede kontrollü kullanılmalıdır. Az sayıda veri ile bu modeller doğrulandığından tatmin edici sonuçlar elde edilememiştir. Çözgü yırtılma mukavemetinde tüm modellerin tahmin gücü yeterli düzeyde çıkmamıştır. Pamuklu kumaşların atkı yırtılma mukavemeti modellerinde en iyi sonucu rastgele orman algoritmaları vermiştir.

Çizelge 6.1. Pamuklu kumaşlar, karışım kumaşlar ve tüm kumaşlar için; regresyon modeli, yapay sinir ağı modeli, rastgele orman algoritmaları ve Mars modellerinden en iyi model için sonuç çıkarımı (kırmızı renkli rakamlar en yüksek değerleri, yeşil fon güvenli kullanım, turuncu fon kontrollü kullanım değerlerini tanımlar)

Model	Pamuklu Kumaşlar				Karışım Kumaşlar				Tüm Kumaşlar			
	% R_{kfold}				% R_{kfold}				% R_{kfold}			
	reg	ysa	ro	mars	reg	ysa	ro	mars	reg	ysa	ro	mars
Çözgü Kıvrımı	52,09	48,48	44,96	49,6	81,31	79,74	87,63	82,23	80,39	80,52	85,96	81,36
Atkı Kıvrımı	78,29	63,95	75,38	78,28	69,42	62,57	76,90	66,09	84,30	85,42	90,13	86,10
Ham Kumaş Eni	88,47	83,52	85,13	89,06	57,13	48,56	67,72	53,19	56,27	65,04	71,74	63,90
Mamül Kumaş Eni	90,14	87,42	85,96	90,59	-	-	-	-	-	-	-	-
Ham Birim Alan	95,92	98,68	95,82	98,23	94,81	93,08	94,28	94,57	90,96	95,87	94,91	95,61

Çizelge 6.1. Pamuklu kumaşlar, karışım kumaşlar ve tüm kumaşlar için; regresyon modeli, yapay sinir ağı modeli, rastgele orman algoritmaları ve Mars modellerinden en iyi model için sonuç çıkarımı (kırmızı renkli rakamlar en yüksek değerleri, yeşil fon güvenli kullanım, turuncu fon kontrollü kullanım değerlerini tanımlar)

Model	Pamuklu Kumaşlar				Karışım Kumaşlar				Tüm Kumaşlar			
	% R _{kfold}				% R _{kfold}				% R _{kfold}			
	reg	ysa	ro	mars	reg	ysa	ro	mars	reg	ysa	ro	mars
Mamül Birim	96,05	98,43	96,63	98,14	-	-	-	-	-	-	-	-
Çözümlü Kopma	73,37	63,52	72,30	72,86	72,34	60,79	57,22	64,32	87,36	78,03	84,37	85,28
Atkı Kopma	82,13	77,36	82,51	80,78	52,85	38,19	33,26	47,03	86,44	81,25	83,29	85,35
Çöz. Yırtılma	63,75	52,44	51,79	60,57	-	-	-	-	-	-	-	-
Atkı Yırtılma	76,58	67,76	81,64	75,50	-	-	-	-	-	-	-	-
Atkı Dikiş	58,73	54,73	52,70	49,47	40,41	33,36	41,49	38,32	43,33	37,70	39,01	45,74
Çözümlü Dikiş	38,47	23,22	34,44	38,55	44,02	27,17	33,06	38,58	42,61	26,05	47,07	41,97

Model işletmede kullanılırken kontrollü kullanılmalıdır. Az sayıda veri ile bu model doğrulandığında yine tatmin edici sonuç elde edilememiştir. Çözümlü ve atkı yönünde dikiş kayma mukavemet verilerinde kumaşların çoğunda dikiş kayması görülmediğinden homojen bir veri kümesi oluşmamış dolayısıyla tahmin sonuçları hiçbir modelde tatmin edici düzeyde çıkmamıştır.

Çizelge 6.1’de karışım kumaşlar için % R_{kfold} korelasyon katsayıları incelendiğinde; çözgü kıvrımı için rastgele orman algoritmaları diğer modellere göre yüksek korelasyon değeri vermiştir ve işletmelerde yeni üretime girecek kumaşlarda modelin kullanımı uygundur. Atkı kıvrımına baktığımızda yine rastgele orman algoritmaları diğer modellere göre daha yüksek % R_{kfold} değeri vermiş olup bu modellerin kullanımı kontrollü olmalıdır. Az sayıda veri ile bu model doğrulandığında yine tatmin edici sonuç elde edilememiştir. Ham kumaş eni için tüm modeller işletmelerde kullanılabilir düzeyde sonuç vermemiştir. Yine karışım kumaşlarda ham birim alan ağırlığının tahmininde tüm modeller işletmelerde kullanım için uygun yüksek değerler vermiştir. Karışım kumaşların performans özelliklerinden çözgü kopma kuvveti ve atkı kopma kuvvetinin tahmin edilmesinde regresyon modelleri diğer modellere göre daha yüksek değer vermiş olmakla beraber bu, işletme şartları için yinede yeterli düzeyde değildir. Çözümlü ve atkı yönünde dikiş kayma mukavemet verilerinde kumaşların çoğunda dikiş kayması

görülmendiğinden homojen bir veri kümesi oluşmamış dolayısıyla tahmine dayalı sonuçlar hiçbir modelde tatmin edici düzeyde çıkmamıştır.

Pamuklu ve karışım kumaş verilerini birleştirdiğimiz tüm kumaşlar için Çizelge 6.1 incelendiğinde çözgü kıvrımı ve atkı kıvrımı için rastgele orman algoritmalarının tahmin gücü oldukça yüksek çıkmış olup dokuma işletmelerinde kullanılmaları uygun bulunmuştur. Ham kumaş eninin tahmin edilmesinde rastgele orman algoritmaları diğer modellere göre daha iyi sonuç vermiş olsada, kullanımı güvenli olmayabilir. Ham birim alan ağırlığı için tüm modeller oldukça yüksek değerler vermiş olup kullanımları uygundur. Performans özelliklerinden çözgü ve atkı kopma mukavemetleri için regresyon modelleri yüksek değerler vermiş olup işletmelerde kullanımı yeterli düzeydedir. Tüm kumaş verisinde de çözgü ve atkı yönünde dikiş kayma mukavemet verilerinde kumaşların çoğunda dikiş kayması görülmendiğinden homojen bir veri kümesi oluşmamış dolayısıyla tahmine dayalı sonuçlar hiçbir modelde tatmin edici düzeyde çıkmamıştır.

Üç farklı kumaş veri kümesini ayrı ayrı ve birlikte kullanarak elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; tüm kumaşlar için oluşturulan modellerin yani tüm verileri birarada kullandığımız modellerin gerek yapısal gerekse performans özelliklerin tahmin edilmesinde daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bir başka deyişle; farklı işletmelerde ve farklı işletme koşullarında dokunan kumaşlar için ortak açıklayıcı değişkenler kullanılması daha yüksek tahmin gücüne sahip modellerin oluşmasını sağlamış görünmektedir. Farklı işletmelerden alınan bu kumaşlar tamamen iplik yapısı, konstrüksiyon ve kompozisyon olarak farklılık göstermiş olsalar bile aynı modelde farklı parametreleri tahmin edilebilmiştir. Ayrıca, daha küçük sayıda veriyle yapılan doğrulama analizlerinde de test modelleri tüm kumaşlarda var olan tahmin değerlerinin bir miktar üstünde sonuç vermişlerdir.

Geliştirilen regresyon modellerde altküme uygulamasıyla anlamsız değişkenlerin çıkarılması sonrasında kalan bağımsız değişken sayılarının tüm modeller için ortalaması alındığında; pamuklu kumaşlarda 2,08, karışım kumaşlarda 2,57 ve tüm kumaşlarda 3,37 olarak bulunmuştur. Bu tesbitten yola çıkarak, bağımlı değişken sayısının yüksek olmasının yarattığı olumsuzluklara karşın, iyi örneklem yapabilecek minimum bir sayının da altında olmaması gerektiği şeklinde bir çıkarım yapılabilir. Yapay zekâ modellerinde ise anlamsız değişkenlerin sayısı minimum düzeyde kalmıştır. Modellerde etkili olan anlamlı değişkenlerin sayısı regresyon modellerine göre çok daha yüksek olmuştur.

Tahmin gücü yüksek çıkan tüm modellerde, anlamlı açıklayıcı değişkenler incelendiğinde en fazla yapısal kumaş parametresi olarak çözgü ve atkı yönünde iplik numaraları, çözgü ve atkı sıklıkları, örgü faktörü olarak F2 ve örtme faktörü olarak K'nın diğer değişkenlere göre oldukça fazla kullanıldığı gözlemlenmiştir. Kumaş yapı faktörlerinden T'nin kullanımı hiçbir modelde anlamlı çıkmamıştır.

Tez çalışmasının, daha büyük örneklem içeren bir veri tabanı ile yapılması planlanmışken, eksik açıklayıcı değişkenlerin olması yani işletmelerden kısıtlı veri sağlanması buna engel olmuştur. Özellikle kumaşların kopma mukavemetleri, yırtılma mukavemetleri ve dikiş kayma mukavemetleri ile ilgili verilerin sınırlı sayıda gelmesi gibi olumsuzluklar veri sayılarını oldukça düşürmüştür. Her iki gruptaki kumaş verilerinin bir arada kullanıldığı modellerde daha yüksek tahmin gücüne ulaşılmış olmasında, veri sayısındaki artışın da önemli bir etken olduğu düşünülmektedir.

Gelecek çalışmalarda, anlamlı ve tahmin gücü yüksek modellerin farklı işletme verileriyle de test edilerek; işletmeler arası ve kumaş tip ve kaliteler arasındaki farkların olası etkilerinin analiz edilmesi hedeflenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abou, G. (2018). Comparison Among Artificial Neural Network, Linear and Logarithmic Regression Models as Predictors of Stretchable Woven Fabric Tightness, International Journal of ChemTech Research. Vol.11(1):41-49.
- Abromavicius, R., Laureckiene, G. and Milasius, R. (2011). Influence of Yarn Texturing Technological Parameters and Fabric Structure on Tensile Properties of the Polypropylene Fabric. Material Science, Vol.17, No.2:174-179
- Adak, F. ve Yurtay, N. (2013). Gini Algoritmasını Kullanarak Karar Ağacı Oluşturmayı Sağlayan Bir Yazılımın Geliştirilmesi, Bilişim Teknolojileri Dergisi. Cilt:6, Sayı:3.
- Akman, M. (2010). “Veri Madenciliğine Genel Bakış ve Random Forest Yönteminin İncelenmesi: Sağlık Alanında Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Biyoistatistik Anabilim Dalı, Ankara.
- Alakuş, K. (2022). Ondokuz Mayıs Üniversitesi Online Ders Notları. 06.11.2022. O Erişim Adresi: <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/kamilal/108861/HPTZ.HF10.pdf>
- Allison, P.(2014). Measures of Fit for Logistic Regression. Sas Global Forum.Paper: 1484
- Alp, D. ve Bakıcı, G. (2017). Effects of Weft Count and Weft Density on Yarn Crimp % of Unbleached and Bleached 3/1(S) Twill Woven Fabrics, Tekstil ve Mühendis. Vol. 24(108): 254-259.
- Anonim A. Stepwise regression method, 20.11.2023, Erişim Adresi: <https://www.advanceinnovationgroup.com/blog/stepwise-regression>
- Anonim B. Çapraz Doğrulama, Vikipedi özgür ansiklopedi, 31.10.2022, [https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87apraz_do%C4%9Frulama_\(istatistik\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87apraz_do%C4%9Frulama_(istatistik))
- Anonim C. Vif İstatistiği Kabul Kriterleri, 31.10.222, Erişim Adresi: <https://gozlem-danismanlik.com/blog/f/multicollinearity-coklu-bagimlilik-ve-vif>
- Anonim I. Duyarlılık Analizi, 31.10.2022, Karadeniz Teknik Üniversitesi Ders Notları, Erişim Adresi: https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani_14912.pdf
- Anonim D. 22.10.2022. Erişim Adresi: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/20/help-and-how-to/statistical-modeling/regression/how-to/fit-binary-logistic-model/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/model-summary-statistics/>
- Anonim E. 04.11.2022. Erişim Adresi: <https://stats.stackexchange.com/questions/136069/can-z-values-be-used-to-determine-relative-importance-of-variables-in-a-logistic>
- Aydın D. (2014). Uygulamalı Regresyon Analizi, Nobel Yayınevi, 560 sf, Ankara
- Aydın M. (2019). Farklı Yapısal Özelliklere Sahip Dokuma Kumaşlarda Kıvrım Oranlarına Etki Eden Faktörlerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

- Başer, G. (1990). Dokuma Kumaşların Yapısal Tasarımı İçin Kumaş Çekmelerinin Tahminlenmesi, *Tekstil ve Makine*. Yıl 4, Sayı 22: 200-210.
- Bayır, F. (2006). “Yapay Sinir Ağları ve Tahmin Modellemesi Üzerine Bir Uygulama”Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Bayram, N. (2016). Veri Analizi: Excel ve SPSS Uygulamalarıyla Birlikte, Ezgi Kitapevi, Bursa.
- Behera, B.K. and Karthikeyan, B. (2006). Artificial Neural Network-embedded Expert System for the Design of Canopy Fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 36, No. 2 :111-123.
- Behera, B.K, Goyal, Y. (2009). Artificial Neural Network System for the Design of Airbag Fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 39, No. 1: 45-55.
- Behera, B.K. and Hari, P.K. (2010). Woven Textile Theory an Aplications. Woodhead Publishing, India, 450 p.
- Beyene, K.A. and Korra A.B. (2022). *Tekstilec*. Vol. 65(1), 14–24, DOI: 10.14502/tekstilec.65.2021027
- Kastacı, B. (2016). “Leno dokuma kumaşların yapısal değişkenleri ile fiziksel özellikleri arasındaki ilişkinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Bhattacharjee, D. and Kothari, V. (2007). A Neural Network System for Prediction of Thermal Resistance of Textile Fabrics . *Textile Research Journal* Vol 77(1): 4–12.
- Bircan, H. (2004). Lojistik Regresyon Analizi: Tıp Verileri Üzerine Bir Uygulama. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. Vol.2: 185-208
- Bozdoğan, F. (2010). Fiziksel Tekstil Muayeneleri, Ege Üniversitesi Yayınları, 169 sf, İzmir.
- Bozoğlu, H. (2022). Ondokuz Mayıs Üniversitesi Regresyon Analizi Online Ders Notları, 28.11.2022, Erişim Adresi: <https://avys.omu.edu.tr/app/public/hbozoglu/>
- Can, Y. ve Kırtay, E. (2007). Pamuklu Bezayağı Kumaşların Yırtılma Mukavemetlerine Etki Eden İplik Özellikleri. Vol.7(2): 65-78
- Çakır, F. (2020). Yapay Sinir Ağları, Nobel Yayıncılık, 107 sf, Ankara.
- Çokluk, Ö. (2010). Lojistik Regresyon Analizi: Kavram ve Uygulama. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri*. Vol 10(3):1357-1407
- Eğrioğlu, E., Yolcu, U. ve Baş, E. (2020). Yapay Sinir Ağları, Nobel Yayıncılık, Ankara
- Elmas, Ç. (2018). Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin Yayınevi, 479sf,Ankara
- Erenler A.1, Oğulata R.T (2013). Prediction of Fabric Stiffness. 13th AUTEX World Textile Conference May 22nd to 24th 2013, Dresden, Germany.

- Erenler, A ve Oğulata, R.T. (2015). Investigation and Prediction of Chosen Comfort Properties on Woven Fabrics for Clothing. *Tekstil ve Konfeksiyon* 25(2):125-134.
- Ersöz, F. ve Ersöz, T. (2019). SPSS ile İstatistiksel Veri Analizi, Seçkin Yayınevi, 334 sf, Ankara.
- Ersöz, F. ve Ersöz, T. (2020). İstatistik 1, Seçkin Yayınevi, 276 sf, Ankara.
- Ertosun, A., Bağ, B., Uzar, G. ve Turanoğlu, M. 07.11.2022, Erişim Adresi: <http://tip.baskent.edu.tr/kw/upload/464/dosyalar/cg/sempozyum/ogrsmpzsnm12/10.2.pdf>
- Eryürük, S. ve Kaloğlu, F. (2015). The Effect of Weave Construction on Tear Strength of Woven Fabrics, *Autex Research Journal*. Vol.15(3): 207-214.
- Fan, Y. and Hunter, L. (1998). A Worsted Fabric Expert System: Part II: An Artificial Neural Network Model for Predicting the Properties of Worsted Fabrics. *Textile Research Journal* 1998 68: 763-7
- Field, A. (2005). *Discovering statistics using SPSS*, Sage Publications. 816 pg, English.
- Gong, H. and Chen, Y. (1999). Predicting the Performance of Fabrics in Garment Manufacturing with Artificial Neural Networks . *Textile Research Journal* 69(7), 477-482
- Göktepe, Ö. (2015). Kumaş Geometrisi Lisansüstü Ders Notları, Tekirdağ.
- Gürcüm, B. ve Yalçın, M. (2016). Geleneksel Tekstil Tasarımı için Algoritması Önerisi, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, (9): 393-395.
- Gurumurthy, B.R. (2007). Prediction of Fabric Compressive Properties Using Artificial Neural Networks. *AUTEX Research Journal*, Vol. 7, No 1: 19-31.
- Hadizadeh, M., Ali, A. A., Jeddi, A. and Tehran, A. (2009). The Prediction of Initial Load-extension Behavior of Woven Fabrics Using Artificial Neural Network. *Textile Research Journal* Vol 79(17): 1599–1609
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B., Anderson, R. E. and Tatham, R. L. (2006). *Multivariate Data Analysis* (6th ed). Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Harrel, F. (2001). *Regression Modeling Strategies*. Springer Publishing, 600 pg, England.
- Hatua, P., Majumdar, A. and Das, A. (2013). Predicting the ultraviolet radiation protection by poliester– cotton blended woven fabrics using nonlinear regression and artificial neural network models. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 2013; 29: 182–189
- Hosmer, D.W., Lemeshow, S. and Sturdivant, R.X. (2013). *Applied Logistic Regression*, John Wiley & Sons, 508 pg, US.
- Hossain, M. (2016). A Review on Different Factors of Woven Fabrics' Strength Prediction, *Science Research*. Vol.4(3):88-97.
- Hu, J. (2004). *Structure and Mechanics of Fabrics*. Woodhead Publishing, 321 pg, England

- Hu, J. (2008). Fabric Testing, Woodhead Publishing, 409 pg, England
- Hui, C.Ç., Lau, T., Ng, S.F. and Chan, K.C. (2004). Neural Network Prediction of Human Psychological Perceptions of Fabrics Hand. Textile Research Journal 74(5): 375-383.
- Jahan, I. (2017). Effect of Fabric Structure on the Mechanical Properties of Woven Fabrics, Advance Research in Textile Engineering. Vol.2(2).
- Kade F. ve Oğulata, T. (2009). Boyalı İpliklerden Üretilen Farklı Konstrüksiyonlardaki Pamuklu Kumaşlarda Kumaş Yırtılma Mukavemetinin Regresyon Analizi. Sayı2:97-101
- Kadi, N. and Karnoub, A. (2015). The Effect of Warp and weft Variables on Fabric's Shrinkage Ratio, Journal of Textile Science & Engineering, Vol.5:2.
- Kara, Ö. (2015). “Lojistik regresyon Analizi ve Kadın İşgücü Üzerine Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa.
- Kargı, V. (2015). Yapay Sinir Ağ Modelleri ve Bir Tekstil Firmasında Uygulama, Ekin Yayınevi, 163 sf, Bursa
- Keith, T.Z. (2015). Multiple Regression and Beyond: An Introduction to Multiple Regression and Structural Equation Modeling, Taylor and Francis, 592 pg, US.
- Köksal, B. (2011). “Regresyon Analizinde ROC Eğrisinin Analizi ile Model Seçimi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Kumpikaitė, E. and Sviderskytė, A. (2006). The Influence of Woven Fabric Structure on the Woven Fabric Strength Materials Science (Medžiagotyra) 12 (2) 2006: pp. 162 – 166
- Kumpikaite, E. (2008). Influence of Fabric Structure on the Character of Fabric Breakage, Fibres & Textiles. Vol.16 (3):44-46
- Lin, J. (2007). Prediction of Yarn Shrinkage Using Neural Nets, Textile Research Journal. Vol.77(5): 336-342
- Malik, A.Z., Malik, M.H., Hussain, T., Arain, F.A. and Phil, M. (2011). Development of Models to Predict Tensile Strength of Cotton Woven Fabrics. Journal of Engineered Fibers and Fabrics. Vol. 6, Issue 4: 46-53.
- Malik, A.Z., Haleem, N., Malik M.H and Tanwari A. (2012). Predicting the Tensile Strength of Polyester/Cotton Blended Woven Fabrics Using Feed Forward Back Propagation Artificial Neural Networks. Fibers and Polymers, Vol.13, No.8: 1094-1100.
- Malik, S., Gereke, T., Farooq, A., Aibibu, D. and Chokri, C. (2017). Prediction of Yarn Crimp in Pes Multifilament Woven Barrier Fabrics Using Artificial Neural Network, The Journal of Textile Institute.
- Mandal, S., Annaheim, S., Greve, J., Camenzind, M. and Rossi, R.M. (2019). Modeling for predicting the thermal protective and thermo-physiological comfort performance of fabrics used in firefighters' clothing. Textile Research Journal 2019, Vol. 89(14) :2836–2849.

- Maqsood, M., Hussain, T., Nawab, Y. and Shaker, K. (2014). Prediction of Warp and Weft Yarn Crimp in Cotton Woven Fabrics, The Journal of Textile Institute.
- Mertler, C.A and Vannatta, R.A. (2005). Advanced and Multivariate Statistical Methods: Practical Application and Interpretation, 391 pg, Pyrczak, Los Angeles.
- Milasius, A. And Milasius, V. (2008). New Representation of the Fabric Weave Factor. Fibres & Textiles in Eastern Europe 2008, Vol. 16, No. 4 (69) pp. 48-51.
- Milasius, R. and Laureckiene, G. (2018). Influence of Weave Parameters on Woven Fabric Tear Strength, Fibres &Textiles. Vol.26,4(130):48-51.
- Milasius, V. (2000). An Integrated Structure Factor for Woven Fabrics. Part 1: Estimation of the Weave, Journal of the Textile Institute, 91(1):268-276
- Ming, J., Jiang, Y. and Zuo, B. (2012). Prediction of Mechanical Properties of Aging B.mori Silk Fabric Based on Grey Neural Network Model. Fibers and Polymers, Vol.13, No.5: 653-657.
- Mishra, S. (2015). Prediction of Yarn Strength Utilization in Cotton Woven Fabrics using Artificial Neural Network. J. Inst. Eng. India Ser. E (July–December 2015) 96(2):151–157.
- Mitra, A., Majumdar, A., Majumdar, K.P. and Bannerjee, D. (2013). Predicting thermal resistance of cotton fabrics by artificial neural network model. Experimental Thermal and Fluid Science 50 (2013):172–177.
- Montgomery, D., Peck, E. and Vining, G. (2012). Introduction to Linear Regression Analysis, Wiley Publishing, 645 pg, US.
- Morino, H. and Matsudaira, M. (2005). Predicting Mechanical Properties and Hand Values From the Parametre of Weave Structures, Textile Research Journal. Vol.73(3): 252-257.
- Nabiyev, V. (2016). Yapay Zekâ. Seçkin Yayınevi, 792 sf, Ankara.
- Narkhede, S. (2018). 07.11.2022, Erişim Adresi:
<https://towardsdatascience.com/understanding-auc-roc-curve-68b2303cc9c5>
- Özdemir, H. and Mert, E. (2012). The Effects of Fabric Structural Parameters On The Tensile, Bursting and Impact Strengths of Cellular Woven Fabrics, The Journal of The Textile Institute. Vol.104(3): 330-338.
- Özdil, N. (2014). Kumaşlarda Fiziksel Kalite Kontrol Yöntemleri, Ege Üniversitesi Yayınları, 120 sf, İzmir.
- Özek, Z. (2018). Tekstilde Tasarım ve Ürün Geliştirme Lisansüstü Ders Notları, Tekirdağ.
- Özek, Z. (2013). Dokumanın Fiziksel Analizi Lisansüstü Ders Notları, Tekirdağ.
- Özkan, G. (2013). Bezayağı Dokuma Kumaşlarda Çözümlü Gerginliği ile Çözümlü ve Atkı Kıvrımı Arasındaki İlişkinin Deneysel Olarak Araştırılması, The Journal of Textiles and Engineers. Sayı 62-63: 22-27.

- Öztemel, E (2012). Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayınları, 232 sf, İstanbul.
- Padaki, N., Alagirusamy, R., Deopura, B. and Fanguero, R. (2010). Studies on Preform Properties of Multilayer Interlocked Woven Structures Using Fabric Geometrical Factors, Journal of Industrial Textiles.
- Pattanayak A. J., Luximon A. and Khandual A. (2010). Prediction of drape profile of cotton woven fabrics using artificial neural network and multiple regression method. Textile Research Journal 81(6): 559–566.
- Pedhazur, E.J. (1997). Multiple Regression in Behavioral Research: Explanation and Prediction, Wadsworth Thomson Learning, 1073 pg, US.
- Sabancı, D. (2019). Rastgele Orman Yaklaşımı Kullanılarak Çok Değişkenli Uyumlu Regresyon Şeritlerinde Model Seçimi, Doktora Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi İstatistik Anabilim Dalı, Samsun.
- Sankaran V. and Subramaniam V. (2012). Effect of Weave Structures on the Low Stress Mechanical Properties of Woven Cotton Fabrics. Fibres & Textiles in Eastern Europe, Vol.20, 5(94): 56-59.
- Saraç, T. (2004). Yapay Sinir Ağları, (Basılmamış Seminer Projesi), Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı, Ankara.
- Saville, B.P.(1999). Physical Testing of Textiles. Woodhead Publishing, 332 pg, England.
- Sevimli, Y. (2009). Çok Değişkenli Uygulanabilir Regresyon Uzunımlarının Bir Split-Mouth Çalışmasında Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Bioistatistik Anabilim Dalı, İstanbul.
- Shamey, R. and Hussain, T. (2003). Artificial Intelligence in the Colour and Textile Industry, Journal of Color, (33): 33-45.
- Shanbeh, M., Johari, M., Zarrebini, M., Barburski, M. and Komisarzczyk, A. (2019). Analysis of Shear Characteristics of Woven Fabrics and Their Interaction with Fabric Integrated Structural Factors, Journal of Engineered Fibers and Fabrics. Vol.14:1-13.
- Suzimilas, M. (2010). Explaining Odds Ratios. J Can Acad Child Adolesc Psychiatry, Vol.19.3:227-229
- Şengöz, N. (2017). Yapay Sinir Ağları. 15,11,2022.
<https://www.derinogrenme.com/2017/03/04/yapay-sinir-aglari/>
- Şenesen. Ü and Şenesen, G. (1992). Ekonometri Kuramı. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları. 688 sf, İstanbul.
- Tabachnick, B. G. and Fidell, L. S. (2013), Using Multivariate Statistics. Sixth Edition. Boston, Pearson Education, Inc.
- Tadesse, M.G., Loghin, E., Pislariu, M., Wang, L., Chen, Y., Nierstrasz, V. and Loghin, C. (2019). Prediction of the tactile comfort of fabrics from functional finishing parameters using

fuzzy logic and artificial neural network models, Textile Research Journal, 2019, Vol. 89(19–20): 4083– 4094.

Terzi, Y. (12.09.2022). Ondokuz Mayıs Üniversitesi Online Ders Notları, Erişim Adresi:

<https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/yukselt/118305/Lojistik%20regresyon%20analizi.pdf>

Thanikai, J.V., Prakash, C., A. and Jebastin, R.A. (2018). Effect of Weave Parameters on the Tear Strength of Woven Fabrics, Journal of Natural Fibers.

Turan, B.O. (2011). 21. Yüzyıl Tasarım Ortamında Süreç, Biçim ve Temsil İlişisi, Megaron Dergisi, (3);162-170.

Turanlı, M. And Güriş, S. (2010). Temel İstatistik, Der Yayınları, 608 sf, İstanbul.

Türker, E. (2017). A Research on Estimation of the Weave Fabric Properties with the Artificial Neural Networks. Tekstil ve Konfeksiyon 27(1): 10-21.

Yang, C., Ngo, T. and Tran, P. (2015). Influences of Weaving Architectures on the Impact Resistance of Multi-layer Fabrics, Materials and Design. Vol.85:282-295

Yakut, E. and Çot, E. (2019). Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Polipropilen BCF İpliklerinin Uzama, Mukavemet ve Kıvrımlılık Değerlerinin Tahminlenmesi, Ekin Yayıncılık, 123 sf, Bursa.

Yılmaz, A. (2019). Yapay Zeka. Kodlab Yayıncılık, 373 sf, İstanbul.

Yılmaz, H. (2014). Random Forest Yönteminde Kayıp Veri Probleminin İncelenmesi ve Sağlık Alanında Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Eskişehir.

Young, D. (2017). Handbook of Regression Methods, CRC Press, 654pg, US.