

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POLİPROPİLEN TALK/KOLEMANİT HİBRİT KOMPOZİT
MALZEMELERİN ÇEKME ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL
TASARIM YÖNTEMİ İLE ENİYİLENMESİ/YAPAY SİNİR AĞI İLE
KESTİRİMİ**

EMEL ŞAHİN

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POLİPROPİLEN TALK/KOLEMANİT HİBRİT KOMPOZİT
MALZEMELERİN ÇEKME ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL
TASARIM YÖNTEMİ İLE ENİYİLENMESİ/YAPAY SINIR AĞI İLE
KESTİRİMİ

EMEL ŞAHİN

Dr. Öğr. Üyesi Şenol ŞAHİN
Danışman, Kocaeli Üniv.

Dr. Öğr. Üyesi Yıldız ŞAHİN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Dr. Öğr. Üyesi Osman İYİBİLGİN
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.

Tezin Savunulduğu Tarih: 04.07.2018



ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Hayatın bir çok alanında karşımıza çıkan plastik malzemelerin, özelliklerini iyileştirme, maliyetini azaltma ve ekolojiye olumsuz etkilerini önlemeye yönelik çok sayıda bilimsel çalışma yapılmaktadır. Bu araştırmalar, plastiklerin ve katkı malzemelerinin birlikte kullanımının sağladığı kazanımları üreticilere sunarak mineral takviyeli plastik malzeme üretiminin ilerlemesine yol açmaktadır.

Bu çalışmada, düşük yoğunluğu, hafifliği ve buna karşın yüksek mekanik özellikleri nedeniyle ev eşyalarından laboratuvar malzemelerine, bilgisayar teknolojilerinden otomotiv sektörüne kadar oldukça geniş kullanım alanına sahip olan polipropilen ele alınmıştır. Kalsiyum karbonat, mika, talk, kalsiyum silikat, kolemanit vb. katkı polipropilen kompozitlerin mekanik, ısıl ve fiziksel özelliklerini belirleyen bir çok araştırma ile karşılaştırılmasına rağmen talk ve kolemanit takviyesinin birlikte uygulandığı hibrit polipropilenin mekanik özelliklerini inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, talk ve kolemanit hibrit katkı polipropilen kompozitlerin mekanik özelliklerinin en iyilenmesini hedefleyen bu tez çalışması yapılmıştır. Araştırma kapsamında yapılan deneylerin hızlı ve etkin olmasını sağlamak ve verilerin optimizasyonunu için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Yapay sinir ağları teknolojilerinden yararlanarak, ileride yapılacak deneysel çalışmalar için öngörü oluşturacağı değerlendirilen bir model geliştirilmiştir. Çekme deneyi verileri ile eğitilen modelin, optimum koşullar için çekme özelliklerinin değerlerini tahminleme yapabildiği görülmüştür.

“Polipropilen Talk/Kolemanit Hibrit Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Deneysel Tasarım Yöntemi ile Eniyilenmesi / Yapay Sinir Ağı ile Kestirimi” başlıklı 2017/056 numaralı Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmaya, deneysel çalışmalara imkan sunmasından dolayı Kocaeli Üniversitesi İ.D.E.A.L. İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarı'na ve hibrit kompozit harmanların hazırlanmasında yardımcı olan EMAŞ Plastik Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye ve de çok amaçlı deney parçalarının enjeksiyon kalıplama yöntemiyle elde edilmesindeki katkılarından dolayı AKSU Tost Makinaları San. Tic. Ltd Şti.'ne teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca sevgisi, şefkati ve koşulsuz desteği ile hep yanımda olan anneme, babama ve kardeşime çok teşekkür ederim. Bilgisi ve tecrübesi ile bana ışık tutan, yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini ve yardımını esirgemeyen değerli öğretmenim Sayın Yrd.Doç.Dr. Şenol ŞAHİN'e sonsuz minnet ve şükranlarımı sunar, teşekkür ederim. Destek ve yardımları için Sayın Prof.Dr. Melih İNAL'a ve Yrd.Doç.Dr. Yıldız ŞAHİN'e çok teşekkür ederim.

Deneylerin yapılmasındaki yardımlarından ötürü Mak.Müh. Ayşegül BODUR'a, Mak.Müh. Başak YÜKSEK'e, Mak.Müh. Eliz OĞUZ'a, Mak.Müh. Bedirhan ÇUBUK'a, Mak.Müh.Talha Tunahan KESEMENLİ'ye teşekkür ederim

Haziran – 2018

Emel ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLOLAR DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
GİRİŞ.....	1
1. GENEL BİLGİLER.....	6
1.1. Plastik Malzemeler.....	6
1.1.1. Isıl özellikleri.....	8
1.1.2. Çekme özellikleri.....	9
1.1.3. Plastiklerin sınıflandırılması.....	11
1.1.4. Plastiklerin üretim yöntemleri.....	13
1.2. Polipropilen.....	19
1.2.1. Polipropilen Türleri.....	19
1.2.2. Polipropilenin Kullanım Alanları.....	22
1.3. Katkı ve Dolgu Malzemeleri.....	23
1.3.1. Katkı maddeleri.....	24
1.3.2. Dolgu maddeleri.....	26
1.3.4. Kolemanit.....	32
1.4. Deney Tasarımı.....	34
1.4.1. Taguchi deney tasarım yöntemi.....	35
1.4.2. Taguchi'nin kayıp fonksiyonu.....	36
1.4.3. Sinyal/Gürültü (S/G) oranı.....	37
1.4.4. Ortogonal dizin.....	38
1.4.5. Taguchi yönteminin uygulama adımları.....	39
1.5. Yapay Sinir Ağları.....	43
1.5.1. Yapay sinir hücresi.....	45
1.5.2. Öğrenme yöntemleri.....	51
1.5.3. Yapay sinir ağlarının mimari yapısı.....	52
1.5.4. Yapay sinir ağlarının uygulama alanları.....	54
1.5.5. Yapay sinir ağlarının özellikleri.....	56
1.6. Literatür Araştırması.....	57
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	66
2.1. Kullanılan malzemeler.....	66
2.1.1. Polipropilen.....	66
2.1.2. Talk.....	67
2.1.3. Kolemanit.....	67
2.2.2. Faktörlerin ve faktör seviyelerinin belirlenmesi.....	69
2.2.3. Ortogonal dizin ve faktörlerin ortogonal dizine atanması.....	70
2.2.4. Çok yanıtli kalite değişkenlerinin eşzamanli en iyilenmesi.....	71
2.3. Kompozit Hammaddelerin Üretimi.....	71
2.4. Deney Numunelerinin Üretimi.....	72
2.5. Deney Programı.....	73
2.5.1. Çekme deneyi.....	73

2.5.2.Diferansiyel taramalı kalorimetre deney	74
2.5.3.Erime akış hızı deneyi	74
2.6. Yapay Sinir Ağları ile Modelleme	75
2.6.1.Veri seti	75
2.6.2.Yapay sinir ağının oluşturulması	75
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	78
3.1. Çekme Deneyi Sonuçları	78
3.1.1.Elastisite (Young's) modülü	79
3.1.2.Akma gerilmesi	82
3.1.3.Akma uzaması	84
3.1.4.Kopma gerilmesi	87
3.1.5.Kopma uzaması	89
3.2. Taguchi Yöntemiyle Deney Sonuçlarının Analizi	92
3.2.1.DPPH kompozit malzemenin çekme deneyi sonuçlarının analizi	92
3.2.2.OPPH kompozit malzemenin çekme deneyi sonuçlarının analizi	101
3.2.3.YPPH kompozit malzemenin çekme deneyi sonuçlarının analizi	107
3.2.4.Tüm PPH kompozit malzeme numunelerinin birlikte analizi	114
3.2.5.MRSN analiz sonuçları	123
3.3. Erime Akış Hızı	133
3.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre	138
3.5. YSA ile Modelleme Sonuçları	138
3.5.1.Yapay sinir ağlarının eğitilmesi	138
3.5.2.Yapay sinir ağı model sonuçlarının analizi	140
3.5.3.YSA tahminleme sonuçları	151
3.6. Kontrol Deneyleri	153
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	155
4.1. Talk ve Kolemanit Katkısının Çekme Özelliklerine Etkisi	155
4.2. Taguchi Yöntemiyle Çekme Özellikleri Üzerinde Faktörlerin Etkilerinin Belirlenmesi	156
4.3. Talk ve Kolemanit Katkısının PPH'nin Isıl ve Termomekanik Özelliklere Etkisi	157
4.4. Yapay Sinir Ağları ile Tahminleme	157
4.5. İleride Yapılacak Çalışmalar	158
KAYNAKLAR	159
EKLER	165
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	218
ÖZGEÇMİŞ	219

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1.	Plastiklerin gerilme- uzama eğrilerinin incelenmesi	10
Şekil 1. 2.	Termoplastiklerin polimer zincir yapısı	12
Şekil 1. 3.	Termosetlerin polimer zincir yapısı	12
Şekil 1. 4.	Enjeksiyon proses şeması	15
Şekil 1. 5.	Ekstrüzyon şeması.....	17
Şekil 1. 6.	Polipropilenin	19
Şekil 1. 7.	Ataktik polipropilenin	20
Şekil 1. 8.	Sindiyotaktik polipropilenin	20
Şekil 1. 9.	İzotaktik polipropilenin molekül.....	20
Şekil 1. 10.	Talkın kimyasal yapısı	29
Şekil 1. 11.	Talk Cevheri.....	30
Şekil 1. 12.	Kolemanitin kimyasal yapısı	33
Şekil 1. 13.	Kolemanit minerali	33
Şekil 1. 14.	Üretim Kalite Çemberi	35
Şekil 1. 15.	Taguchi'nin kayıp fonksiyonu	37
Şekil 1. 16.	Biyolojik sinir hücresi.....	46
Şekil 1. 17.	Yapay Sinir Hücresinin Yapısı	47
Şekil 1. 18.	Yapay Sinir Ağı Katmanları	48
Şekil 1. 19.	Tek Katmanlı Ağ Modeli (TKA).....	49
Şekil 1. 20.	Çok Katmanlı Ağ Yapısı (ÇKA)	50
Şekil 1. 21.	Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı yapısı	53
Şekil 1. 22.	Hopfield ağı	54
Şekil 2. 1.	Elekaltı 45 µm öğütülmüş kolemanit mineralinin tane boyu analizi	68
Şekil 2. 2.	PPH Çekme Deney Numunesi	73
Şekil 2. 3.	Akışkanlık seviyesine göre geliştirilen çok katmanlı yapay sinir ağı	76
Şekil 2. 4.	Tümü akışkanlık seviyeleri için geliştirilen çok katmanlı yapay sinir ağı	77
Şekil 3. 1.	Akışkanlık seviyelerine göre (a) düşük (b) orta (c) yüksek PPH numunelerinin elastisite (Young's) modülü.....	79
Şekil 3. 2.	Katkı oranlarına göre elastisite (Young's) modülü	81
Şekil 3. 3.	Akışkanlık seviyelerine göre (a) düşük (b) orta (c) yüksek PPH numunelerinin akma gerilmesi	82
Şekil 3. 4.	Katkı oranlarına göre akma gerilmesi değişimi.....	84
Şekil 3. 5.	Akışkanlık seviyelerine göre (a) düşük (b) orta (c) yüksek PPH numunelerinin akma uzaması	85
Şekil 3. 6.	Katkı oranlarına göre akma uzaması değişimi.....	86
Şekil 3. 7.	Akışkanlık seviyelerine göre (a) düşük (b) orta (c) yüksek PPH numunelerinin kopma gerilmesi	87

Şekil 3. 8.	Katkı oranlarına göre kopma gerilmesi değişimi	89
Şekil 3. 9.	Akışkanlık seviyelerine göre (a) düşük (b) orta (c) yüksek PPH numunelerinin kopma uzaması	90
Şekil 3. 10.	Katkı oranlarına göre kopma gerilmesi değişimi	91
Şekil 3. 11.	DPPH (a) elastisite (Young's) modülü, (b) akma gerilmesi, (c) akma uzaması, (d) kopma gerilmesi, (e) kopma uzaması S/G oranı etki grafikleri.....	94
Şekil 3. 12.	DPPH'nin elastisite(Young's) modülünde deney faktörlerinin etkileşimi	97
Şekil 3. 13.	DPPH'nin akma gerilmesinde deney faktörlerinin etkileşimi	98
Şekil 3. 14.	DPPH'nin akma uzamasında deney faktörlerinin etkileşimi	98
Şekil 3. 15.	DPPH'nin kopma gerilmesinde deney faktörlerinin etkileşimi	99
Şekil 3. 16.	DPPH'nin kopma uzamasında deney faktörlerinin etkileşimi	100
Şekil 3. 17.	OPPH (a) elastisite (Young's) modülü, (b) akma gerilmesi, (c) akma uzaması, (d) kopma gerilmesi, (e) kopma uzaması S/G oranı etki grafikleri.....	103
Şekil 3. 18.	OPPH'nin elastisite (Young's) modülünde deney faktörlerinin etkileşimi.....	104
Şekil 3. 19.	OPPH'nin akma gerilmesinde deney faktörlerinin etkileşimi	105
Şekil 3. 20.	OPPH'nin akma uzamasında deney faktörlerinin etkileşimi.....	105
Şekil 3. 21.	OPPH'nin kopma gerilmesinde deney faktörlerinin etkileşimi	106
Şekil 3. 22.	OPPH'nin kopma uzamasında deney faktörlerinin etkileşimi	106
Şekil 3. 23.	YPPH (a) elastisite (Young's) modülü, (b) akma gerilmesi, (c) akma uzaması, (d) kopma gerilmesi, (e) kopma uzaması S/G oranı etki grafikleri.....	109
Şekil 3. 24.	YPPH'nin elastisite (Young's) modülünde deney faktörlerinin etkileşimi	111
Şekil 3. 25.	YPPH'nin akma gerilmesinde deney faktörlerinin etkileşimi.....	112
Şekil 3. 26.	YPPH'nin akma uzamasında deney faktörlerinin etkileşimi	112
Şekil 3. 27.	YPPH'nin kopma gerilmesinde deney faktörlerinin etkileşimi.....	113
Şekil 3. 28.	YPPH'nin kopma uzamasında deney faktörlerinin etkileşimi	113
Şekil 3. 29.	Tüm PPH'lerin (a) elastisite (Young's) modülü, (b) akma gerilmesi, (c) akma uzaması, (d) kopma gerilmesi, (e) kopma uzaması S/G oranı etki grafikleri	116
Şekil 3. 30.	PPH elastisite (Young's) modülünde faktörlerin etkileşimi	118
Şekil 3. 31.	PPH akma gerilmesinde faktörlerin etkileşimi.....	119
Şekil 3. 32.	PPH akma uzamasında faktörlerin etkileşimi	120
Şekil 3. 33.	PPH kopma gerilmesinde faktörlerin etkileşimi.....	120
Şekil 3. 34.	PPH kopma uzamasında faktörlerin etkileşimi.....	121
Şekil 3. 35.	(a) DPPH, (b) OPPH ve (c) YPPH numuneleri için faktörlerin MRSN üzerindeki etkileri.....	125
Şekil 3. 36.	Tüm PPH'ler için Faktörlerin MRSN Üzerindeki Etkileri	127
Şekil 3. 37.	(a) DPPH, (b) OPPH, (c) YPPH Elastisite (Young's) Modülü ve Akma Gerilmesi MRSN Etki Grafiği	129
Şekil 3. 38.	Tüm PPH'lerin Elastisite (Young's) Modülü ve Akma Gerilmesi MRSN Etki Grafiği.....	132
Şekil 3. 39.	Talk/kolemanit hibrit katkılı DPPH'in (a) MFR ve (b) MVR değerlerinin başlangıç malzemesine göre yüzde değişim grafiği.....	135
Şekil 3. 40.	Talk/kolemanit hibrit katkılı OPPH'in (a) MFR ve (b) MVR değerlerinin başlangıç malzemesine göre yüzde değişim grafiği.....	136

Şekil 3. 41.	Talk/kolemanit hibrit katkılı YPPH'in (a) MFR ve (b) MVR değerlerinin başlangıç malzemesine göre yüzde değişim grafiği.....	137
Şekil 3. 42.	Talk ve kolemanit hibrit katkılı YPPH kompozitlerin kristalleşme derecesi değişimi.....	138
Şekil 3. 43.	DPPH elastisite (Young's) modülü yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	140
Şekil 3. 44.	OPPH elastisite (Young's) modülü yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	141
Şekil 3. 45.	YPPH elastisite (Young's) modülü yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	142
Şekil 3. 46.	Tüm akışkanlık seviyeleri için geliştirilen elastisite (Young's) modülü yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	142
Şekil 3. 47.	DPPH akma gerilmesi yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	143
Şekil 3. 48.	OPPH akma gerilmesi yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	144
Şekil 3. 49.	YPPH akma gerilmesi yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	144
Şekil 3. 50.	Tüm akışkanlık seviyeleri için geliştirilen akma gerilmesi yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	145
Şekil 3. 51.	DPPH akma uzaması yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	145
Şekil 3. 52.	OPPH akma uzaması yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	146
Şekil 3. 53.	YPPH akma uzaması yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	146
Şekil 3. 54.	Tüm akışkanlık seviyeleri için geliştirilen akma uzaması yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	147
Şekil 3. 55.	DPPH kopma gerilmesi yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	147
Şekil 3. 56.	OPPH kopma gerilmesi yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	148
Şekil 3. 57.	YPPH kopma gerilmesi yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	148
Şekil 3. 58.	Tüm akışkanlık seviyeleri için geliştirilen kopma gerilmesi yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	149
Şekil 3. 59.	DPPH kopma uzaması yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	149
Şekil 3. 60.	OPPH kopma uzaması yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	150
Şekil 3. 61.	YPPH kopma uzaması yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	150
Şekil 3. 62.	Tüm akışkanlık seviyeleri için geliştirilen kopma uzaması yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği.....	151

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. 1.	Endüstride başlıca kullanılan termoplastikler ve termosetler	13
Tablo 1. 2.	Türkiye’de bilinen talk yatakları ve rezerv durumları	32
Tablo 1. 3.	Taguchi ortogonal dizin tablosu.....	39
Tablo 1. 4.	Tek Yönlü Varyans Analizi	42
Tablo 1. 5.	Aktivasyon Fonksiyonları	48
Tablo 1. 6.	Ağların başarılı oldukları alanlar	56
Tablo 2. 1.	Polipropilen hammaddelerin üretici bilgileri	67
Tablo 2. 2.	Talk mineralinin fiziksel özellikleri.....	67
Tablo 2. 3.	Öğütölmüş kolemanit mineralinin fiziksel ve kimyasal özellikleri	68
Tablo 2. 4.	Deney Faktörleri ve Seviyeleri.....	69
Tablo 2. 5.	L ₉ Deney Deseni	70
Tablo 2. 6.	Faktör seviyelerinin atandığı deney deseni	70
Tablo 2. 7.	Deney desenine göre üretilen deney numuneleri	72
Tablo 3. 1.	DPPH S/G oranları yanıt tablosu.....	93
Tablo 3. 2.	DPPH elastisite (Young’s) modülü ANOVA tablosu.....	95
Tablo 3. 3.	DPPH numunelerinin ANOVA p değerleri.....	96
Tablo 3. 4.	DPPH’in En İyi Faktör Seviyeleri ve Tahminleme Sonuçları	100
Tablo 3. 5.	OPPH S/G oranları yanıt tablosu	101
Tablo 3. 6.	OPPH numunelerinin ANOVA p değerleri	104
Tablo 3. 7.	OPPH’in En İyi Faktör Seviyeleri ve Tahminleme Sonuçları	107
Tablo 3. 8.	YPPH S/G oranları yanıt tablosu.....	108
Tablo 3. 9.	YPPH numunelerinin ANOVA p değerleri.....	110
Tablo 3. 10.	YPPH’in En İyi Faktör Seviyeleri ve Tahminleme Sonuçları	114
Tablo 3. 11.	Tüm PPH kompozit numunelerin S/G oranları yanıt tablosu.....	115
Tablo 3. 12.	Tüm PPH numunelerinin ANOVA p değerleri	118
Tablo 3. 13.	Tüm PPH’lerin En İyi Faktör Seviyeleri ve Tahminleme Sonuçları.....	121
Tablo 3. 14.	Faktör Seviyelerinin MRSN Oranındaki Etkileri	124
Tablo 3. 15.	MRSN En İyi Faktör Kombinasyonları	126
Tablo 3. 16.	Tüm PPH’lerin Faktör Seviyelerinin MRSN Oranındaki Etkileri.....	127
Tablo 3. 17.	Tüm PPH’ler için MRSN En İyi Faktör Kombinasyonları	128
Tablo 3. 18.	Akışkanlık düzeylerine göre elastisite (Young’s) modülü ve akma gerilmesi MRSN oranlarında faktörlerin etkileri.....	128
Tablo 3. 19.	Tüm PPH’lerin elastisite (Young’s) modülü ve akma gerilmesi MRSN oranlarında faktörlerin etkileri.....	131
Tablo 3. 20.	Akışkanlıklarına Göre Kalite Değişkenlerinin İkili MRSN Analizi Sonucu En İyi Faktör Kombinasyonları	132
Tablo 3. 21.	Tüm PPH’ler için Kalite Değişkenlerinin İkili MRSN Analizi Sonucu En İyi Faktör Kombinasyonları	133

Tablo 3. 22.	Erime akış hızı deney numuneleri	134
Tablo 3. 23.	Akışkanlıklarına göre YSA modelleri eğitim verileri	139
Tablo 3. 24.	Akışkanlıklarına göre YSA modelleri eğitim verileri	140
Tablo 3. 25.	Akışkanlıklarına göre en iyi faktör kombinasyonlarının YSA tahminleme sonuçları	152
Tablo 3. 26.	Tüm PPH'lerin en iyi faktör kombinasyonları için YSA tahminleme sonuçları	153
Tablo 3. 27.	YSA ve Taguchi tahminlemelerinin değerlendirilmesi	154



SİMGELER VE KISALTMALAR

T _g	: Camısı Geçiş Sıcaklığı, °C
T _m	: Kristalin Erime Sıcaklığı, °C
σ	: Gerilme, N/mm ²
δ	: Uzama, mm
Φ	: Eşik Değeri
E	: Elastisite (Young's) Modülü, N/mm ²
θ	: Poisson Oranı, mm
K _{ic}	: Kritik Gerilme Şiddeti Faktörü
G _{ic}	: Kritik Enerji Boşalma Oranı

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ABS	: Akirionitril Butadien-Stiren Terpolimeri
ABS	: Akirionitril Bütadien Stiren
ANFIS	: Adaptive Neuro-Fuzzy İference System (Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi)
ANOVA	: Analysis Of Variance (Varyans Analizi)
ART	: Adaptive Resonance Theory (Uyarlamalı Rezonans Teorisi)
BAM	: Bidirectional Associative Memory (Çift Yönlü Birleştirici Bellek)
BAP	: Bilimsel Araştırma Projesi
ÇKA	: Çok Katmanlı Ağ
DF	: Degrees Of Freedom (Serbestlik Derecesi)
DNA	: Deoxyribonucleic Acid (Deoksiribonükleik Asit)
DPPH	: Düşük Akışkanlığa Sahip Polipropilen Homopolimer
DSC	: Differential Scanning Calorimeter (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre)
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
EAI	: Erime Akış İndeksi
ECG	: Electrocardiography (Elektrokardiyografi)
EEG	: Electroencephalography (Elektroensefalografi)
ISO	: International Organization For Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
LQV	: Linear Vector Quantization (Doğrusal Vektör Niceleme)
MAPP	: Maleik Anhidrit Yapıdaki Polipropilen
MFR	: Melt Flow Rate (Erime Akış Hızı)
MFR	: Melt Flow Rate (Erime Akış Hızı)
MR	: Magnetic Resonance (Manyetik Rezonans)
MRSN	: Multi Response Signal Noise Rate (Çok Yanıtlı Sinyal Gürültü Oranı)

MS	: Mean Squares (Ortalama Kareler)
MSE	: Mean Square Error (Ortalama Karesel Hata)
MST	: Mean Square Total (Toplam Karesel Hata)
MVR	: Melt Volume Rate (Erime Akış Oranı)
NET	: Network (Ağ)
OPPH	: Orta Akışkanlığa Sahip Polipropilen Homopolimer
PE	: Polietilen
PNN	: Probabilistic Neural Network (Olasılıksal Sinir Ağı)
PP	: Polipropilen
PPH	: Polipropilen Homopolimer
PS	: Polistiren
PVC	: Polyvinyl Chloride (Polivinil Klorür)
RNA	: Ribonucleic Acid (Ribo Nükleik Asit)
S/G	: Sinyal Gürültü
SRM	: Self Organizing Map (Özörgütlemeli Harita)
SS	: Sum Of Squares (Kareler Toplamı)
TKA	: Tek Katmanlı Ağ
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UV	: Ultraviyole
XOR	: Exclusive Or (Özel Veya)
YKPP	: Yüksek Kristallikteki Polipropilen
YPPH	: Yüksek Akışkanlığa Sahip Polipropilen Homopolimer
YSA	: Yapay Sinir Ağları

POLİPROPİLEN TALK/KOLEMANİT HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN ÇEKME ÖZELLİKLERİNİN DENEY TASARIM YÖNTEMİ İLE ENİYİLENMESİ/ YAPAY SİNİR AĞI İLE KESTİRİMİ

ÖZET

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe tampon hammaddesi olarak kullanılan polipropilenin özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla; talk ve kolemanit hibrit katkı polipropilen homopolimer (PPH) kompozitlerin çekme özellikleri Taguchi yöntemiyle en iyilenmiş ve bu özellikleri tahminleme olanağı sağlayan bir yapay sinir ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir.

Düşük, orta ve yüksek akışkanlık özelliklerine sahip üç farklı PPH malzeme grubu için ağırlıkça yüzde talk/kolemanit hibrit oranı ve meme sıcaklığı, enjeksiyon hızı, kalıp sıcaklığı üretim parametreleri ile Taguchi yöntemi kullanılarak çekme deneyi, erime akış hızı (MFR: melt flow rate) deneyi ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC: differential scanning calorimeter) deneyleri yapılmıştır. Çekme deneyi sonuçları sinyal/gürültü (S/G) oranı ve varyans analizi (ANOVA : analysis of variance) ile analiz edilmiş ve en iyi çekme özellikleri veren deney parametreleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, çok yanıtlı kalite değişkenlerinin en iyilenmesi yöntemi ile çekme özelliklerinin eşzamanlı optimizasyonu için gerekli katkı oranları ve üretim parametreleri belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında, yapay sinir ağları teknolojisi kullanılarak çekme özelliklerinin tahminlemesini yapabilen model geliştirilmiştir. Çekme deneyi parametreleri girdi verilerini, deney ile ölçülen elastisite (Young's) modülü, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzaması özelliklerinin her biri farklı bir model için çıktı verilerini oluşturmuştur. İleri beslemeli, çok katmanlı yapıda geliştirilen YSA modelleri, danışmanlı öğrenme ile eğitilmiştir. YSA modelinin öğrenme seviyesi, ağın çıktıları ve hedeflenen çıktılar karşılaştırılarak ortalama karesel hata yöntemi ile ölçülmüştür. Kontrol deneyleri ile modellerin duyarlılıkları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kolemanit, Polipropilen, Taguchi, Talk, Yapay Sinir Ağları.

TENSILE PROPERTIES OF POLYPROPYLENE TALC/COLEMANITE HYBRID COMPOSITE MATERIALS OPTIMIZATION BY EXPERIMENTAL DESIGN METHOD/ESTIMATION WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

ABSTRACT

In this study, in order to improve the properties of polypropylene used as bumper raw material in the automotive sector; tensile properties of talc and colemanite hybrid reinforced polypropylene homopolymer (PPH) composites optimized by Taguchi method and artificial neural network (ANN) model developed which allows estimation of these properties.

For three different PPH material groups with low, medium and high flow properties, tensile test, differential scanning calorimeter (DSC) and melt flow rate (MFR) experiments were carried out using the Taguchi method with talc / colemanite hybrid the percent ratio by weight and nozzle temperature, rate of injection, mold temperature of the production parameters. Tensile test results were analyzed by signal / noise (S / G) ratio and analysis of variance (ANOVA) and the experimental parameters giving the best tensile properties were determined. In the study, contribution rates and production parameters required for simultaneous optimization of tensile properties were determined by optimization method of multi-response quality variables.

In the scope of the study, a model was developed to estimate the tensile properties using artificial neural networks technology. Parameters of tensile test were input data, each of Young's modulus, stress at yield, strain at yield, stress at break and strain at break properties measured by the test was output data for a different model. ANN models developed in a feed forward, multi layer structure were trained with consultant learning. The learning level of the ANN model was measured by the mean square error method, comparing network outputs and target outputs. Sensitivities of models were determined by control experiments.

Keywords: Colemanite, Polypropylene, Taguchi, Talc, Artificial Neural Network.

GİRİŞ

Bu çalışma "Polipropilen Talk/Kolemanit Hibrit Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Deneysel Tasarım Yöntemi ile Eniyilenmesi / Yapay Sinir Ağı ile Kestirimi" başlıklı 2017/056 numaralı Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) kapsamında hazırlanmıştır. Proje ile çekme ve fiziksel özelliklerinin elverişli olması nedeniyle otomotiv sektöründe tampon hammaddesi olarak kullanılan polipropilen (PP) plastiklerde, katkı malzemeleri ve üretim koşulları birlikte değerlendirilerek istenen optimum çekme özelliklerin elde edilmesi hedeflenmiştir.

Hayatın her alanında karşımıza çıkan ve her geçen gün tüm sektörlerde kullanımı artan plastik malzemeler, üstün özellikleri nedeniyle dünyada olduğu gibi Türkiye'de de diğer alternatif ürünlerin yerini almaktadır. Ülkemizde, en hızlı büyüyen sektörlerden biri olan Türkiye Plastik Sektörü dünyada 6., Avrupada ise 2. sırada yer almaktadır. 2013 yılında 8,3 milyon ton ve 35,2 milyar dolar olan plastik mamul üretimi son 5 yılda artarak 2017 yılında 9,6 milyon ton ve 36,8 milyar dolara ulaşmıştır. 2017 yılında plastik mamul üretimi içinde, 3,8 milyon ton ile plastik ambalaj malzemelerinin başı çektiği, plastik, plastik inşaat malzemeleri üretiminin ise 2 milyon 117 bin ton ile 2. sırada olduğu görülmektedir. Tekstil ve otomotiv sektörlerinin plastik mamul üretiminde, 385 bin ton ile diğer sektörlerle göre geride kaldığı görülmektedir. [1]

Otomotiv sektörü, plastik üretiminde ön sıralarda yer almasa da toplam plastik tüketimi içindeki payı, teknolojik gelişmelerin yanı sıra taşıt araçları üretimine de paralel olarak artmaktadır. Araç üretimine göre değişmekle birlikte, Türkiye otomotiv sektörünün plastik tüketimi, 2015 yılından sonra toplam plastik mamul tüketiminin % 6'sını geçmiş ve 2017 yılında % 6,8'e çıkmıştır. [2]

Taşıt araçlarından beklenen, yüksek performans, güvenlik, konfor, yakıt tasarrufu, düşük fiyatların yanı sıra çevrenin daha iyi korunması gibi özellikleri optimum düzeyde karşılayabilen tek malzeme plastik olarak kabul edilmektedir.

Plastik malzemelerin, beklentileri karşılayan özellikleri nedeniyle otomotiv sektöründe kullanımı arttıkça plastik parça üretiminde kullanılan hammaddelerin çeşitleri de artmaktadır. PAGEV'in 2018'de yayınladığı Türkiye Otomotiv Plastikleri

Sektör İzleme Raporu'na göre taşıt araçlarının plastik parçalarının üretiminde kullanılan başlıca plastik hammaddeleri içinde en yaygın kullanılanın PP olduğu görülmekte ve 2017 yılında, Türkiye otomotiv sektörünün plastik hammadde tüketiminde 112 bin ton ile PP ilk sırada yer almaktadır. [2]

Yüksek erime sıcaklığı, düşük yoğunluğu ve çok iyi mekanik özelliklere sahip olması PP'nin otomotiv sektöründe önemli bir yer tutmasının başlıca nedenleri arasında olmakla birlikte darbe dayanımının yüksek olması, otomotiv sektöründe özellikle tampon malzemesi olarak tercih edilmesine neden olmaktadır.[3,4]

Bu çalışma, otomotiv sektöründe tampon hammaddesi olarak tercih edilen PP'nin, mamul fiyatını düşürmek, üretim maliyetini azaltmak ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma, otomotiv sektöründe tampon hammaddesi olarak tercih edilen PP'nin, mamul fiyatını düşürmek, üretim maliyetini azaltmak ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Kullanım ve üretim şartlarına bağlı olarak plastiklerin iyileştirilmesi amacıyla katkı malzemelerinin kullanılması, yaygın bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Plastik malzemelerin özelliklerinin bir bölümü her ne kadar moleküler yapıyla ilgili olsa da genelde mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin geliştirilmesinde moleküler yapının değiştirilmesi yeterli olmadığı için katkı ve dolgu maddeleri ilave edilmesi yoluna gidildiği görülmektedir. [5]

PP'nin özelliklerini iyileştirmek amacıyla; kalsiyum karbonat, mika, talk, kalsiyum silikat, kolemanit vb. katkıların farklı oranlarda ve farklı mikro yapılarda kullanılması durumunda, mekanik, ısı ve fiziksel özelliklerde meydana gelen değişimleri inceleyen bir çok çalışma bulunmaktadır. [6-9] Katkı ve dolgu maddesi kullanılan çalışmalarda sıkça rastlanan talk mineralinin, PP'nin elastisite (Young's) modülü, sertlik, eğme ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerini iyileştirirken, ağırlıkça talk ilavesi arttıkça darbe dayanımı ve erime akış indeksi gibi bazı özelliklerini olumsuz etkilediği yapılan araştırmalarda ortaya konmuştur.[10-12] Bor türevi olan ve Türkiye'de önemli yatakları bulunması nedeniyle ülkemizde temini kolay olan kolemanit mineralinin PP'ye ilavesine ilişkin yapılan çalışmalar, çekme ve kopma dayanımını düşürdüğü beraberinde ise erime akış indeksini artırdığı göstermektedir.[13,14]

Talk ve kolemanit minerallerinin tekil olarak ya da diğer mineraller ile polipropilene ilave edilmesinin ısı, mekanik ve fiziksel özelliklere etkisine dair bir çok çalışma yapılmıştır. Ancak polipropilenin özellikleri üzerinde farklı etkileri sahip bu iki mineralin bir arada ve hibrit yapıda ilavesinin sonuçlarını inceleyen bir araştırma bulunmamaktadır. Bu nedenle, talk ve kolemanit katkılı polipropilen hibrit kompozit malzemelerin mekanik özellikleri deneysel olarak araştırılarak en iyilenmesi hedefleyen bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında, farklı akışkanlık seviyesine sahip polipropilen homopolimer (PPH) malzemeler kullanılmıştır. Erime akış hızı değerleri referans alınarak akışkanlık seviyesi belirlenen, düşük akışkanlığa sahip polipropilen homopolimer (DPPH), orta akışkanlığa sahip polipropilen homopolimer (OPPH) ve yüksek akışkanlığa sahip polipropilen homopolimer (YPPH) olmak üzere üç farklı malzeme grubu ile çalışılmıştır.

Katkı malzemeleri ve üretim koşulları birlikte değerlendirilerek, talk (TC) ve kolemanit (KOL) katkılı polipropilen hibrit kompozitlerin çekme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla tek eksenli çekme deneyi, hammaddenin sıcaklık karşısındaki davranışını belirlemek amacıyla erime akış hızı (MFR: melt flow rate) deneyi ve ısı geçişleri ile ortaya çıkan enerji salınımını tespit etmek amacıyla diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC: differential scanning calorimeter) deneyleri yapılmıştır. Deneylerin hızlı, etkin ve düşük maliyet ile gerçekleştirilebilmesi için, ortogonal dizin içerisinde, proses parametrelerinin belirlenen seviyelerini optimum düzeyde eşleştirerek, daha az sayıda gözlem ile kısa zamanda efektif sonuçların elde edilmesini sağlayan ve Genichi Taguchi tarafından geliştirilen Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada, düşük, orta ve yüksek akışkanlık özelliklerine sahip üç farklı PPH malzeme grubu için ağırlıkça toplamda %15 olacak şekilde % 10 talk + % 5 kolemanit, % 7.5 talk + % 7.5 kolemanit, % 5 talk + % 10 kolemanit oranları, meme sıcaklığı (180, 220, 260 °C), enjeksiyon hızı (5, 15, 25 mm/s) ve kalıp sıcaklığı (10, 30, 50 °C) üretim parametreleri deney faktörlerini oluşturmuştur. Her faktör için 3 seviye belirlenerek L₉ ortogonal dizini ile 9 kombinasyonlu ve her kombinasyon için 5 tekrarlı gözlem içeren deney deseni oluşturulmuştur. Deney deseni esas alınarak, talk ve kolemanit mineralleri ağırlıkça toplamda %15 olacak şekilde PPH'ye ilave edilip ekstrüzyon yöntemi ile harmanlandıktan sonra elde edilen hammadde, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle işlenerek deney numuneleri üretilmiştir.

Deney numunelerine üretiminden hemen çekme deneyi uygulanmış, deney çalışması ile ölçülen elastisite (Young's) modülü (N/mm^2), akma gerilmesi (N/mm^2), akma uzaması (%), kopma gerilmesi (N/mm^2) ve kopma uzaması (%) değerleri karşılaştırılarak PPH'nin çekme özellikleri incelenmiştir.

Çekme deneyi sonuçları önce sinyal gürültü (S/G) oranı ile analiz edilerek en iyi çekme özelliklerini veren deney parametreleri belirlenmiştir. Ardından varyans analizi (ANOVA : analysis of variance) ile parametreler arasında etkileşim ve parametrelerin etkinlikleri irdelenmiştir. Çalışma kapsamında, çok yanıtli kalite değişkenlerinin en iyilenmesi yöntemi uygulanarak çekme deneyi ile ölçülen karakteristik özelliklerinin eşzamanlı optimizasyonu için gerekli katkı oranları ve üretim parametreleri belirlenmiştir.

Bu çalışmanın kapsamında, deneylerden elde edilen veriler ile malzemenin çekme özelliklerinin tahminlemesini yapabilen bir modelin, yapay sinir ağları (YSA) teknolojisi kullanılarak geliştirilmesi yer almaktadır. Yapay sinir ağları, çağımızın en önemli teknolojik gelişmelerinden biri olan yapay zekanın bir parçasıdır. Biyolojik sinir hücresi örnek alınarak geliştirilen yapay hücrelerin bir araya gelmesi ile oluşan bir ağ yapısıdır. Sınıflandırma, genelleme ve tahminleme vb. işlevleri başarı ile gerçekleştiren yapay sinir ağları, bu çalışmada tahminleme yapmak amacıyla kullanılmıştır. Akışkanlık özelliklerine göre PPH tipleri, ağırlıkça yüzde talk ve kolemanit oranları, meme sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı parametreleri modelin girdi verilerini, bu parametrelere göre düzenlenmiş çekme deneyleri ile ölçülen elastisite (Young's) modülü, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzaması her biri farklı bir model için ele alınarak çıktı verilerini oluşturmuştur. İleri beslemeli, çok katmanlı yapıda geliştirilen yapay sinir ağları modeli, danışmanlı öğrenme ile eğitilmiştir. Verilerin 4/5'i ağı eğitmek, 1/5'i ise ağı test etmek için kullanılmıştır. Geliştirilen yapay sinir ağı modelinin öğrenme seviyesi, ağı çıktıları ve hedeflenen çıktılar karşılaştırılması ile elde edilen ortalama karesel hata yöntemi ile ölçülmüştür.

Taguchi yöntemi kullanılarak belirlenen optimum parametreler ile üretilmiş olan deney numunelerine kontrol deneyleri uygulanmış, deney sonuçları ile yapay sinir ağı modellerinin ve Taguchi analiz yönteminin tahminleme sonuçları karşılaştırılmıştır. Kontrol deneyleri ile yapay sinir ağı modellerinin tahminleme hassasiyeti belirlenmiştir.

Sonuç olarak, bu tez çalışması, otomotiv sektöründe tampon hammadresi olarak tercih edilen PPH'nin özelliklerinin geliştirilmesi doğrultusunda, Polipropilen Talk/Kolemanit Hibrit Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Deneysel Tasarım Yöntemi ile Eniyilenmesi / Yapay Sinir Ağı ile Kestirimi” başlıklı 2017/056 numaralı Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) kapsamında, talk ve kolemanit hibrit katkı PPH kompozit malzemelerin çekme özelliklerinin Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılarak en iyilenmesi ve bu özellikleri tahminleme imkanı sağlayan yapay sinir ağı modelinin geliştirilmesi amacıyla yapılmıştır.



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Plastik Malzemeler

Plastik malzemeler, organik malzeme grubunda yer alan polimerlerdir. Polimerler doğal ve yapay olarak iki gruba ayrılır. Selüloz, nişasta ve doğal kauçuk doğal polimerlerdir. Ayrıca farklı yapılardaki değişik ünitelerin bir araya gelmesi ile oluşan proteinler, nükleik asitler (DNA,RNA) ve enzimler 'Biopolimer' olarak bilinen doğal polimerlerdir. Endüstride genel olarak poliester, poliamid, polivinilklorür vb. yapay polimerler kullanılır.

İşleme zorluğu ve bazı özelliklerinin yetersiz olmasından dolayı doğal polimerlerin yerini önce yarı sentetik sonra sentetik polimerler almıştır. İlk keşfedilen polimer, pamuk selülozundan elde edilen, yarı sentetik selüloittir ve 1868 yılında J.Hyatt tarafından bulunmuştur. Bakalitin 1909 yılında sanayi çapında üretilmesiyle modern plastik endüstrisi başlamıştır. 1. Dünya Savaşı sırasında Alman kimyacılar dimetil butadien'den elde edilen suni kauçuğu keşfetmişlerdir. 1924'den sonra, H.Staudinger, plastiklerin zincir şeklinde makro moleküllerden oluştuğu ve bu moleküllerin birbirine kovalent bağlı küçük ünitelerden meydana geldiğini ortaya çıkarmıştır. Bu buluşa dayanarak polimer sanayisi hızla gelişme göstermiştir.

1931'e gelindiğinde sentetik bir kauçuk olan neopren (dupren) kauçuğu ve takip eden yıllarda stiren-butadien komopolimeri (SBR sentetik kauçuğu) üretilmiştir. 1947'de epoksi reçineleri, 1948'de akrilonitril butadien-stiren terpolimeri (ABS), 1954'de polikarbonat ve 1958'de poliasetal üretilmeye başlamıştır.

Son yıllarda daha yüksek mekanik ve teknik özelliklere sahip olan, polimid, poliarilsülfon, poliarilamid, polifenilsülfid vb. Plastikler üretilmiştir. Günümüzde, kimyasal olarak farklı 40 polimer, yüzlerce bileşik ve binlerce ürün bulunmaktadır.

Cam, grafit ve karbon elyafları gibi katkı maddeleri ile kuvvetlendirilmesi plastiklerin gelişiminde önemli bir aşama sağlamıştır. Katkı maddesi ile güçlendirilmiş plastiklerin mekanik özellikleri metallerin seviyesine ulaşarak bir çok alanda plastik malzemelerin metal malzemelere rakip olmasına neden olmuştur.

Plastikler, kolay işlenebilir, korozyona dayanıklı, ısı ve elektrik yalıtkanlığı iyi ve yüzey kalitesi yüksek malzemeler olmaları nedeniyle makina, uçak, elektrik, elektronik vb. endüstrinin neredeyse tüm alanlarında, ucuz ve dayanıklı olması nedeniyle de tekstil, mobilya, inşaat, kırtasiye gibi çeşitli alanlarda önemli ölçüde kullanılmaktadır. Ayrıca plastikten yapılan yapay doku ve organlar günümüzde tıp alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.[15]

Plastiklerin en önemli özelliği, 1-2 gr/cm³ arasında özgül ağırlığa sahip olmaları nedeniyle hafif olmalarıdır. Sadece karbon ve hidrojenden meydana gelen plastikler, en düşük özgül ağırlığa sahip plastiklerdir. Yapısında oksijen ve halojen bulunan plastiklerin özgül ağırlığı, diğerlerine göre yüksektir. [16]

Plastikler genellikle renksizdir ve renk vericiler ile renklendirilmektedirler. Işığı geçirme veya yansıtma özellikleri, ışığın dalga boyundan bağımsızdır. Polimetil metakrilat gibi bazı plastikler camdan daha yüksek ışık geçirgenliğine sahip olması nedeniyle kırılma tehlikesi olan uygulamalarda cam yerine kullanılmaktadır. Yüzeyleri yumuşaktır ve çizilmeye karşı dirençleri düşüktür. Plastiklerin, camların çoğuna yakın olan kırılma indisi 1,35-1,70 arasındadır. Düşük çizilme direncine sahip olan plastikler optik cihazlarda mercek olarak kullanılmaktadır. [15,16]

Metallere göre ısı ajanlara karşı daha dayanıklıdır. Termosetler, termoplastiklere kıyasla kimyasal çevreye karşı daha az duyarlıdır. Reaktif maddenin cinsi ve konsantrasyonu, polimerik yapı, sıcaklık, uygulanan gerilme, yüzey pürüzlülüğü ve morfolojisi plastiklerin kimyasal dayanımını etkileyen başlıca faktörlerdir.[15]

Erimiş malzemenin viskozitesi olarak ifade edilen eriyik indeksi plastiklerde polimerin ortalama molekül ağırlığına bağlıdır. Uzun moleküllerin akış hızını azaltması nedeniyle ortalama molekül ağırlığı arttıkça eriyik indeksi azalır. Malzemenin yoğunluğunun ve eriyik indeksinin yüksek olması, söz konusu malzemenin dayanımında yüksek olduğunun bir göstergesidir.[16]

Plastikler alevlere karşı çok hassastır bu nedenle alev veya aşırı ısıya maruz kaldıkları takdirde kullanılmaz hale gelirler. Bununla beraber alev uzaklaştırıldıktan sonra bir çok plastik yanmaya devam etmez. Yanmanın başladığı sıcaklık kadar yanmanın kendiliğinden yayılma hızında göz önünde bulundurulmalıdır. [15,16]

Radyasyon, aşınma, yağmur ve dolu erozyonu ve hava kirliliğinin etkisiyle plastik malzemeler bozulmaktadır. Akrilik ve polivinil klorür (PVC: polyvinyl chloride) bu tip

etkilere karşı dayanımı yüksek plastik malzemeler olmasına karşın polistiren ve selüloz asetatın dayanımı çok düşüktür. Su absorpsiyonu ve en önemlisi ultraviyole (UV) ışınları plastik malzemenin gevrekleşmesi neden olmaktadır. UV ışınlarına dayanımı en yüksek plastik malzeme akriliklerdir. Ayrıca karbon siyahı gibi katkı maddeleri ile plastiklerin UV ışınlarına dayanımını artırmaktadır. Ayrıca hava ve iklim koşullarına bağlı bozulmaları azaltmak için antioksidan ve stabilizatör gibi katkı maddeleri kullanılmaktadır.

Plastikler suda çözünmez ancak su absorbe edebilmektedir. Su absorpsiyonu, mekanik dayanımı, elektriksel özellikleri olumsuz etkiler ve üretimi güçleştirerek hatalı ürün oluşmasına neden olabilmektedir. Su absorpsiyonu daldırma tipine, parçanın büyüklüğüne ve şekline bağlı olduğu için malzemenin çalışma şartlarının iyi değerlendirilmesi gerekmektedir.

Plastiğin çözülmesi için çözücünüm plastiğin moleküller arası kuvveti yenerek molekülleri ayırması gerekmektedir. Bu işlem plastik malzemeye ve kullanılan çözücüye bağlı olarak kolay ya da zor olabilmektedir. Termoplastikler doğrusal bir molekül yapısına sahip oldukları için çözücüler ile çözünür. Ancak çapraz bağlı molekül yapısına sahip olan termosetlerde çözünmez, çözücüler plastiğin bünyesine girerek şişmeye neden olur.[16]

Polimer zincirlerinin sert ve bükülmez olması, yüksek kristalinite ve yönlendirme olayları nedeniyle elektronlar serbest hareket edemez, bu nedenle elektrik iletkenlikleri düşüktür. Elektrik dirençleri 10^7 - 10^{18} ohm.m arasında değişir ve zamana bağlı artan sıcaklık ve nem miktarı ile azalır. Yüzey işleme veya iletken dolgu maddesi ile elektrik direncinin düşürülmesi sağlanabilir.[15]

1.1.1. Isıl özellikleri

Camsı geçiş sıcaklığı, T_g , ve kristal erime sıcaklığı, T_m , plastiklerin kullanılabilirlik sınırlarını belirlemektedir. Kısmen kristal bir polimerin katı bir madde olarak kullanılabilmesi için çalışma sıcaklığı hem T_g , hem de T_m 'in altında olmalıdır. Öte yandan bir polimer lastik olarak kullanılacaksa daima T_g 'nin üzerindeki ve T_m 'in altındaki bir sıcaklıkta bulunmalıdır. Bir polimer, T_m 'de katı halden halden sıvı hale, T_g 'de ise katı halden elastik konuma dönüşür. Isıl geçişleri saptamak amacıyla kullanılan ısıl yöntemler giderek daha çok kullanılmaktadır.Yaygın olarak kullanılan yöntemler; diferansiyel termal analiz (DTA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) dir. [17]

Isı iletim katsayısının düşük olması nedeniyle plastikler, ısı yalıtım alanında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ancak büyük sıcaklık farklılıklarının oluşabileceği göz önüne alınarak ısı yalıtım üniteleri tasarlanırken plastiğin ayrışmasına yol açacak yüksek sıcaklıklara maruz kalmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir.

Isı iletiminin düşük olması nedeniyle, sürtünme veya tekrarlı gerilmelerin oluşturduğu sıcaklık artışı malzemede birikmektedir ve ısıl yorulma oluşmasına sebep olmaktadır. Isıl yorulmayı azaltmak için alüminyum, bakır vb. metal tozları, karbon elyafı, cam elyafı gibi elyaflar katkı maddesi olarak plastiklere eklenir. Böylece ısı iletkenlikleri en az 10 kat artırılabilir. Isıl iletkenlikleri, molekül ağırlığı ile birlikte kristalinite derecesi ve yönelme gibi yapısal etkenlere bağlıdır. Başka bir deyişle kristalinite derecesi ve yönelme arttığında ısıl iletkenlikleri de artmaktadır.[15,16]

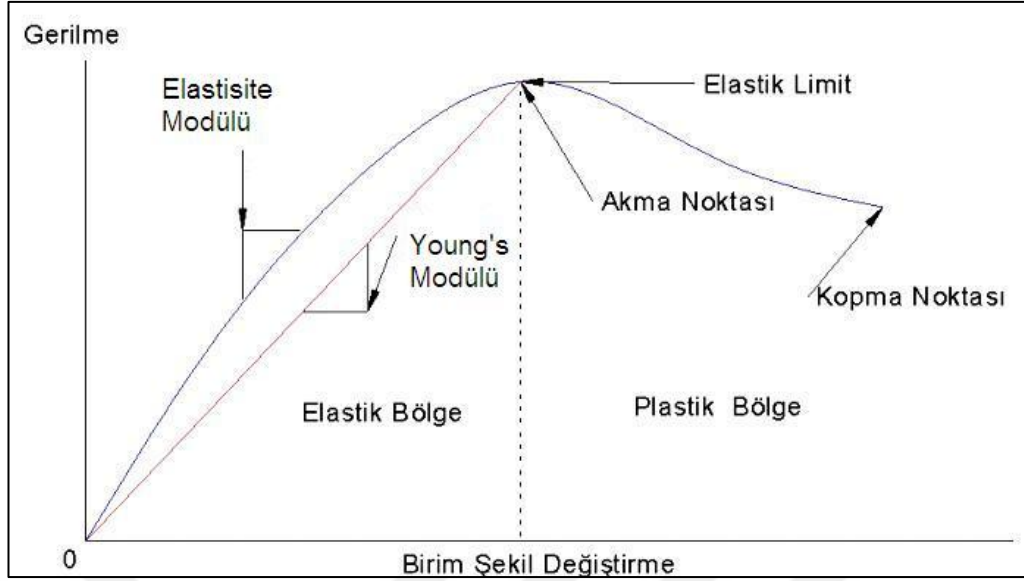
Isıl genleşme katsayısı $2-20 \times 10^{-5} \text{ cm/cm}^{\circ}\text{C}$ değerleri arasında değişmektedir. Isıl genleşme katsayısının büyük olması, özellikle kalıplama yöntemiyle üretimde çekme (büzme) oluşması nedeniyle olumsuz sonuçlar meydana getirmektedir. Polimerin kristalleşme derecesine ve çapraz bağ yoğunluğuna bağlı olarak ısıl genleşme katsayısının azaldığı görülmektedir. Elyaf ilavesi ile ısıl genleşme katsayısının neden olduğu problemler giderilmeye çalışılmaktadır.[16]

Termoplastikler yük uygulanmadığı takdirde $65-260^{\circ} \text{C}$ aralığındaki sıcaklıklarda bozulurlar. Termosetler ise daha serttir ve ısıya daha dayanıklıdır. $150-260^{\circ} \text{C}$ kadar dayanabilirler ancak daha yüksek sıcaklıklarda kömürleşirler. Asbest ve cam dolgu katkısı ile plastiklerin ısıya karşı dayanımı artırılabilir.[15]

Plastiğin bozulmaya başladığı sıcaklık olan ısıl bozulma sıcaklığı ve belirli bir yük taşıyan yassı uçlu bir iğnenin, sabit hızla ısıtılan bir plastiğe nüfus ettiği sıcaklığa göre tespit edilen yumuşama sıcaklığı göz önünde tutulması gereken ısıl özelliklerdir.[16]

1.1.2. Çekme özellikleri

Çekme deneyi yapılarak plastiklerin davranışlarının incelendiği gerilme-uzama eğrisi Şekil 1.1' de verilmiştir.



Şekil 1. 1. Plastiklerin gerilme- uzama eğrilerinin incelenmesi[18]

Akma Gerilmesi: Gerilme/ Birim şekil değiştirme eğrisi üzerinde, burulma oranının arttığı fakat gerilmenin artmadığı noktadır. Her plastik bu özelliği taşımamaktadır.

Elastik Şekil Değişirme Sınırı: Malzeme üzerine uygulanan kuvvet kaldırıldığında, malzemenin tamamen orijinal durumuna gelebildiği maksimum noktadır ve bu nokta geçildiğinde, malzemede kalıcı şekil değişimleri meydana gelir. Şekil 1.1'de gösterildiği gibi, elastik şekil değiştirme sınırı ve akma gerilmesi her zaman üst üste bulunmayabilir.

Elastisite Modülü: Gerilme/Birim şekil değiştirme diyagramındaki çizginin eğimine elastisite modülü denir. Gerilme/Birim şekil değiştirme çizgisindeki değişimin lineer olmaması nedeniyle elastisite modülünü bulmak imkansızdır. Bu sebeple daha güvenilir olduğu değerlendirildiği için young's modülünün kullanıldığı görülmektedir.

Young's Modülü: Gerilme/ Birim şekil değiştirme diyagramının orijininin (0,0), değerleri bilinen bir noktayla birleştirilmesiyle oluşan çizginin eğimidir. Şekil 1.1'de akma sınırı ile orijinin birleştirilmesiyle oluşan çizginin eğimi young's modülünü göstermektedir.

Kopma Noktası: Malzemenin plastik şekil değiştirmenin de son aşamasına geldiği ve koptuğu noktadır. [18]

Gerilme uygulandığı takdirde, plastik malzemelerde biçim değiştirme meydana gelmektedir. Yüksek çapraz bağlantılı plastikler ve cam geçiş noktalarının altında

bulunan termoplastiklerde esnek biçim değiştirme görülmektedir. Molekülleri sınırlayan kuvvetlerin olmadığı, amorf bölgelerde moleküller hareket halindedir ve bu harekete malzemenin viskozitesine bağlı olan viskoelastik biçim değiştirme denir.

Doğrusal polimer zincirlerinde, zincirin şekli sürekli değişir ve uzamaya çalışan her moleküle karşı bzlmeye çalışan bir molekl mevcuttur. Dolayısıyla zincirlerin ortalama uzunlukları sabittir. Malzemeye gerilme uygulandığında, moleküller gerilme yönünde uzamaya başlar, gerilme kaldırıldığında, şekil değişimi ortalamaya doğru bir büzülme şeklinde olur ve malzeme eski haline döner. Bu şekildeki biçim değişimi elastik bir biçim değiştirmedir.[16]

1.1.3. Plastiklerin sınıflandırılması

Polimerler kimyasal bileşimlerine göre organik ve inorganik, yapılarına göre homopolimer, kopolimer ve monomer, fiziksel özelliklerine göre amorf, kristalin ve kısmi kristalin, kullanım alanlarına göre plastik, fiber, kaplama ve yapıştırıcı, işleme yöntemine göre termoplastik ve termoset olarak sınıflandırılmaktadır.[15]

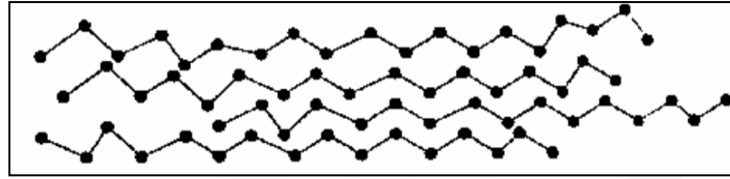
Plastiklerin başlıca sınıflandırma şekli, işleme esasına göre olan termosetler ve termoplastiklerdir.

1.1.3.1. Termoplastikler

şekillendirme esnasında ısıtılan ve soğuduktan sonra şeklini koruyan plastiklerdir. Defalarca ısıtılarak yeni şekiller verilebilen malzemelerdir. Isı ve basıncın etkisi ile yumuşayan ve akıcı hale gelen termoplastikler, soğutulduklarında da katı hale geçmektedir. Soğutulmuş halde iken tekrar akıcı hale geçebilmektedir ve tüm bu şekillendirme işlemleri esnasında kimyasal yapısında değişiklik meydana gelmemektedir.Doğrusal molekl yapısına sahip olmaları nedeniyle ısıtıldıklarında kalıcı bir değişikliğe uğramazlar ve akıcı bir kıvam alırlar, soğutulduklarında ise içinde buldukları kabın şeklini alan malzemelerdir. Uygun zcler ile çözünerek kalıplanabilmektedirler. [16,17]

Termoplastiklerde, makromoleküller arasında kimyasal bağ bulunmaması termoplastiklerin tekrar tekrar işlenebilmesine imkn sağlamaktadır. Termoplastikleri makromoleküllerin dizilişine göre ikiye ayırmak mümkündür. Eğer makromoleküllerin dizilişi rastgele gerçekleşmiş ise malzeme "amorf" olarak adlandırılır. Amorf malzemelere katkı malzemeleri katılmadığı sürece şeffaf bir görünüme sahiptirler. Makromoleküllerin dizilişleri bir düzen içeriyorsa bu termoplastikler"yarı kristal"

olarak adlandırılır. Makromoleküllerin karmaşık bir yapıda olması plastik malzemelerin % 100 oranında kristalli bir yapıya sahip olmasını engellemektedir. Bu nedenle plastik malzemelerde kristalli bölgeler arasında amorf bölgelerde yer almaktadır. Kristalleşmiş bölgelerin tüm alana oranı “kristallik derecesi” olarak adlandırılır ve daha basit zincir yapısına sahip olan plastik malzemelerin kristallik derecesi daha yüksektir. Şekil 1.2’de termoplastiklerin polimer zincir yapıları görülmektedir.

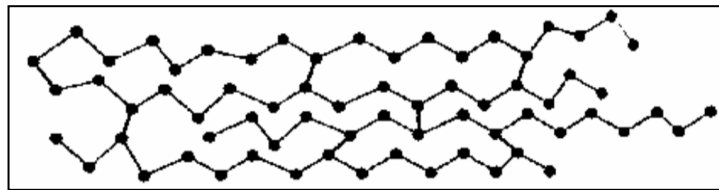


Şekil 1. 2. Termoplastiklerin polimer zincir yapısı [9]

1.1.3.2. Termosetler

Kimyasal tepkime ile istenen şekli aldıktan sonra tekrar ısıtılarak yumuşatılamayan ve tekrar şekillendirilemeyen plastiklerdir. Çok yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında bozulurlar. Kısmen polimerleşme halinde iken kalıplanan termosetler kalıplama esnasında polimerleşme reaksiyonunun ilerlemesi ile çapraz bağlanmaya geçer ve akma özelliklerini kaybederler. Çözücüler ile çözünmezler ve polimerizasyon işlemleri reaktörlerde başlayıp kalıplama ile son bulur. [4,16]

Termosetlerde, polimer zincirleri arasında kuvvetli bağlar oluşması nedeniyle üç boyutlu ağ yapısı meydana gelir. Termosetlerin, termoplastiklere göre daha dayanımlı ve rijit olmasının nedeni Şekil 1.3’ de görülen bu bağ yapısıdır. Termosetler, iki aşamalı bir polimerizasyon ile elde edilir. İlk aşamada termoseti oluşturacak monomerler bir araya getirilir, üretim aşaması olan ikinci aşama ise kalıplama ile gerçekleştirilir. Yüksek basınç ve sıcaklıkta monomerler reaksiyona girer ve polimer zincirleri oluşur, basınç ve sıcaklık etkisi ile polimer zincirleri arasında yan bağlar ve kalıplanmış bir termoseti oluşturan polimer zincirleri arasında ağ yapısında bağlar meydana gelir.



Şekil 1. 3. Termosetlerin polimer zincir yapısı [9]

Tablo 1.1’de endüstride kullanılan başlıca plastikler yer almaktadır. En yaygın kullanılan plastikler polietilen, polipropilen ve polivinil klorür gibi termoplastiklerdir.

Tablo 1. 1. Endüstride başlıca kullanılan termoplastikler ve termosetler [16]

Termoplastikler	Termosetler
Asetallar	Alkitler
Akrilikler	Alil
Floroplastikler	Kazein
Poliamidler	Aminoplastlar
Polietilen	Fenolikler
Polipropilen	Epoksiler
Polistiren	Dialilftalat
Polikarbonat	Poliester
Polifenilen eter	Melamin
Polifenilen sülfid	Poliüretan
Polimidler	
Polivinil Klorür	
Selülozikler	

1.1.4. Plastiklerin üretim yöntemleri

Plastiklerin üretimi iki aşamada gerçekleştirilir. Öncelikle kimyasal bir proses olan polimerizasyon ile reçine elde edilir, ardından reçineye mekanik bir proses ile istenen şekil verilerek üretim işlemi tamamlanır.

Söz konusu mekanik proses direkt /talaşsız şekil verme, talaşlı şekil verme ve bağlama olmak üzere üç yöntem bulunmaktadır.

Direkt veya talaşsız şekil verme yönteminde; reçine halindeki plastik malzeme önce yumuşatılır ya da sıvılaştırılır, ardından basınç uygulanarak üretilmek istenen parçanın şeklini içinde bulunduran kalıba itilir ve parça şeklini alır. Bu yöntemle nihai parça veya daha sonra başka bir yöntemle işlenecek yarı mamül üretilebilir. Talaşlı şekil verme yöntemi ile yarı mamul talaş kaldırılarak istenen parça şekline getirilir. Bağlama yönteminde de yine yarı mamul halindeki plastik malzemeye kaynak, yapıştırma vb. uygulanarak istenen parça elde edilir. Günümüzde plastik parçaların %90 ı talaşsız imalat yöntemi ile üretilmektedir.[15]

Plastiklerin şekillendirilme tekniği, plastiğin termoplastik ve termoset olmasına, termoplastik ise yumuşama sıcaklığına, malzemenin atmosferik kararlılığına, bitmiş

ürünün geometrisi ve boyutuna göre belirlenmektedir. Şekillendirme işlemi genellikle yüksek sıcaklık ve basınç uygulanarak gerçekleştirilir.[5]

Özgül ısıları 0,8 -0,16 kj/kg.K arasında olan plastiklerin özgül ısıları metallere göre daha yüksektir. Bu nedenle ısınmaları ve soğumaları zorlaşmaktadır. Bu durum plastiklerin şekillendirilmesi esnasında gerekli ısıtma işleminin maliyetini artırmaktadır.[16]

Üretim yöntemi belirlenirken plastiğin sıcaklığa bağlı fiziksel durumuda dikkate alınır. Plastikler cam, lastik ve viskoz sıvı halinde bulunabilirler. Bunun nedeni; camlaşma geçiş sıcaklığına sahip olmalarıdır.

Amorf plastikler, viskoz sıvı haline geçiş sıcaklığında viskoz sıvı haline geçmektedir. Kısmi kristalin plastikler ise T_m erime sıcaklığının altında katı, üstünde viskoz sıvı halde bulunurlar. Kristalin yapıları T_m erime sıcaklığında bozular. Kısmi kristalin plastikler T_g camsı geçiş sıcaklığının altında gevrek sert (cam gibi) üstünde tok ve sert davranış gösterirler. Ergime sıcaklığına yaklaştıkça malzeme yumuşar. T_m erime sıcaklığına ulaşıldığında lastik ve sonra viskoz sıvı haline geçerler. Çözülme sıcaklığında molekül zincirleri arasındaki bağlar kopar ve malzemenin yapısı bozular. Bu özelliklere göre;

- Plastiğin viskoz halinde direkt mamul imalatı
- Lastik halinde yarı mamul imalatı
- Cam (sert,katı) halinde talaş kaldırma yöntemiyle imalat kullanılır.[15]

Amorf termoplastikler camsı geçiş sıcaklıklarının üzerinde, yarı kristalin termoplastikler ergime sıcaklıklarının üzerinde şekillendirilirler. İstenen şeklin elde edilmesi için parça soğuk hale geçtiğinde de basınç uygulamaya devam edilir. Termoplastikler geri dönüşümlü malzemeler olduğu için hurda termoplastikler tekrar şekillendirilerek ekonomik fayda sağlanabilmektedir.

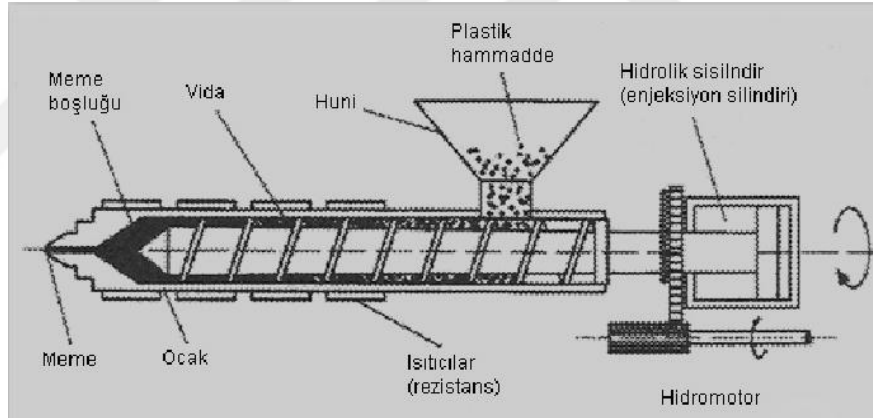
Termosetler, düşük molekül ağırlığındaki sıvı halde lineer polimerin hazırlanması ve kalıplama ile istenen şekilde sert ve rijit ürün elde edilmesi olmak üzere iki aşamada şekillendirilmektedir. Kalıplama, genellikle kütleme denilen ısıtma ve katalizör ilavesi ile basınç altında gerçekleştirilir. Kütleme esnasında moleküller arasında çapraz bağ veya ağ yapısı oluşarak kimyasal ve yapısal değişimler meydana gelir. Şekillendirme sonrası boyutsal olarak kararlı oldukları için termosetler soğutma yapılmadan kalıptan çıkarılabilmektedir. Kimyasal olarak kararlı ve yüksek

sıcaklıklarda kullanılabilen termosetlere erimedikleri için geri dönüşüm uygulanamaz.[5]

Plastiklerin şekillendirilmesinde kullanılan başlıca yöntemler, enjeksiyon, ekstrüzyon, basınçlı kalıplama, transfer kalıplama, ısıl biçimlendirme, üflemleri kalıplama ve döküm olarak sıralanabilir.

1.1.4.1. Enjeksiyon kalıplama

Termoplastikleri şekillendirmede kullanılan yöntemlerden biri olan enjeksiyon kalıplama, Şekil 1.4'de görüldüğü gibi, yükleyicideki plastik tanelerin enjeksiyon silindrine beslenmesi ve silindir içinde yer alan bir piston veya gitgel burgulu bir mekanizma ile eritilip kalıba boşatılması şekillendirme gerçekleştiren bir sistemdir. Özel ısıtma ve soğutma ceketleri ilave edilerek plastik reçinenin işlem sırasında olgunlaşması sağlanarak bazı termosetler de enjeksiyon kalıplama yöntemi ile şekillendirilebilmektedir.[4]



Şekil 1. 4. Enjeksiyon proses şeması [19]

Seri imalat için en uygun yöntem olan enjeksiyon yöntemiyle parçalar dört aşamada üretilmektedir.

- Toz veya granül haldeki plastik reçine sıvı hale geçene kadar ısıtılır.
- Sıvı haldeki plastik reçineye basınç uygulanarak meme denilen geçiş kısmından kalıbın içine iletilir. Kalıbın içinde yer alan yolluklar sayesinde malzemenin akışı kontrol edilir.
- Katılaşmaya kadar kalıp içindeki malzeme basınç altında tutulur.
- Kalıp açılarak pim biçimdeki iticiler ile parça kalıptan çıkarılır.

Şekil 1.4' de görüldüğü gibi enjeksiyon makinesi enjeksiyon ünitesi ve kalıp bağlama ünitesi olmak üzere iki kısımdan oluşur. Enjeksiyon ünitesi reçinenin yüklendiği huni ve bir silindirden oluşmaktadır. Silindirin içinde, plastik reçineyi ileri doğru hareket ettiren bir sonsuz vida ya da piston, silindirin dış yüzeyinde ise reçinenin ısıtılarak erimesini sağlayan ısıtıcılar yer almaktadır. Silindirin ön kısmında, genellikle ayrı bir parça olarak bulunan ve meme adı verilen bir geçit kanalı oluşturacak şekilde daralan bir bölüm bulunmaktadır.

Kalıp bağlama ünitesi, kalıbın bağlanması, açılması ve kapanması için kullanılır. Biri sabit, biri hareketli iki plaka bulunmaktadır ve kalıbın yarısı sabit diğer yarısı hareketli plakaya bağlıdır. Kalıbın açılıp kapatılması hareketli plakanın hareketi ile gerçekleşir. Sabit plakanın dış yüzeyinde memenin yerleştirildiği bir yuva mevcuttur ve kalıp boşluğu ile parça arasında, memenin iç kısmındaki kanal ile aynı ekseninde birbirini izleyen, yolluk adı verilen bir kanal yer almaktadır. Böylece erimiş reçine memeden yolluğa buradan da parça boşluğuna geçer.

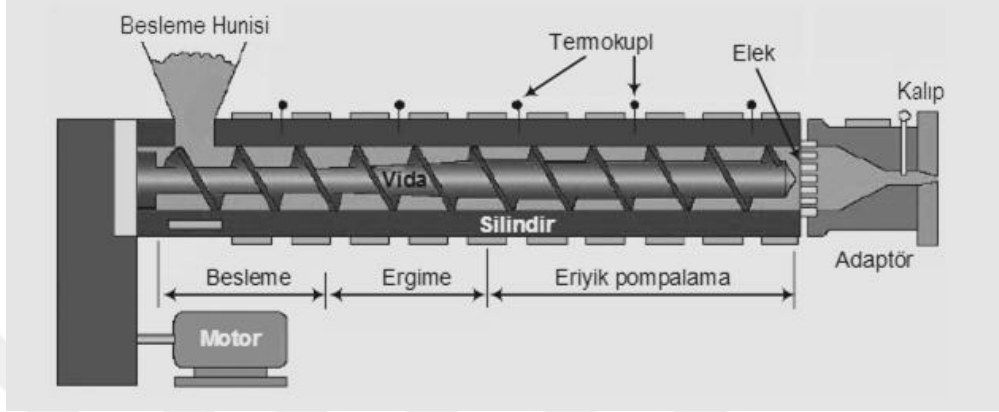
Toz veya granül halindeki reçine huniden silindire iletilir, ısıtılarak eriyen malzeme , sonsuz vida ya da piston aracılığıyla silindirin ön kısmına doğru aktarılır. Silindirin ön kısmında biriken erimiş reçine , sonsuz vida veya piston hareketi aracılığıyla yüksek basınca maruz kalarak meme kanalından yolluğa ve kalıp boşluğuna geçer. İstenen parçanın şeklini alana kadar basınç uygulamaya devam edilir. Soğuduktan sonra hareketli plaka ileri doğru hareket eder ve kalıp açılır, iticilerin aracılığıyla parça kalıptan çıkarılır. Sonsuz vidalı silindir ünitesi ile homojen bir ısıtma sağlandığı için genelde bu sistem tercih edilmektedir.

Enjeksiyon kalıplama yönteminde gerekli olan ısı elektrik enerjisi ile sağlanmaktadır. Plastiklerin ısı iletim katsayılarınının düşüktür, bu nedenle reçinenin daha hızlı ve kolay ısıtılmasını sağlayan geniş temas yüzeyini sağlayan sonsuz vidalı enjeksiyon sistemleri tercih edilmektedir.[15]

Hızlı ve kaliteli parça üretilebilmesi, düşük işçilik maliyeti gerektirmesi ve karmaşık şekiller üretilmesine olanak sağlaması, enjeksiyon kalıplama yönteminin olumlu özellikleridir. Bununla beraber makinenin maliyetinin yüksek olması ve kaliteli ürün için hassas denetim gerektirmesi olumsuz özellikleridir. [4]

1.1.4.2. Ekstrüzyon

Termoplastikler için kullanılan şekillendirme yöntemlerinden biri de ekstrüzyondur. Borular, çubuklar, filmler, çubuklar ve hurda termoplastiklerin geri kazanımında kullanılan bir şekillendirme yöntemidir.[4]



Şekil 1. 5. Ekstrüzyon şeması [20]

Şekil 1.5'de şeması yer alan ekstrüzyon prosesinde işlem adımları aşağıdaki gibidir:

- Toz veya granül halindeki reçine besleme hunisinden ısıtma silindrine gönderilir.
- Silindirin içinde bulunan sonsuz vida yardımıyla reçine ileri itilir. Reçine silindirin içinde ilerlerken silindir cidarlarından aldığı ısı ve kaymanın meydana getirdiği iç sürtünmeden dolayı yumuşar ve erir.
- Silindirin ucuna ulaşan reçine toplanma bölgesinde belirli bir miktar depolanır ve buradan makinanın ucunda yer alan, ürünün kesit şekline sahip kalıba basılır. Reçine kalıba girmeden önce basınçları eşleştiren bir elekten geçirilir.
- Kalıba basılarak geçmeye zorlanan malzeme kalıptan çıktığında ürünün şeklini almış olur.
- Kalıptan çıkan ürün soğumaya bırakılır ve konveyör ya da süreklilik esasına göre çalışan bir sistem ile uzaklaştırılır.

Ekstrüzyon prosesi polietilen (PE) , PVC, akrilonitril bütadien stiren (ABS), selülozikler ve polistiren (PS) gibi termoplastiklere uygulanır. Yalnızca ısıtma ve reçinenin iç sürtünmesiyle eritildiği sisteme kuru ekstrüzyon, yüksek sıcaklıklarda alevlenme ve yanma tehlikesi gösteren selüloz nitrat gibi reçinelerin yumuşatılması/erimesi için bir çözeltilinin kullanıldığı sisteme ıslak ekstrüzyon denir.[15]

1.1.4.3. Üflemleri kalıplama

Termoplastikler için kullanılan üflemleri kalıplama yönteminde, ısıtılmış bir plastik parça kalıbın çeneleri arasına yerleştiriler ve kalıp kapatılarak parçanın ucu koparılır, ardından basınçlı hava üflenerek kalıp duvarlarına doğru şişirilir.

1.1.4.4. Isıl biçimleme

Isıtılmış plastik levhaya basınçla bir kalıbın biçiminin verilmesi esasına dayanır. Levha bir kalıp çiftinin arasına sıkıştırılarak ya da vakum uygulanarak levha açık kalıba basılarak ya da ısıtılmış plastik hava basıncıyla açık kalıba basılarak şekillendirme gerçekleştirilmektedir.[4]

1.1.4.5. Basınçlı kalıplama

Bu yöntemde, iki parçalı bir kalıp kullanılır ve kalıp parçalarının ikisinde ısıtılır ancak sadece biri hareketlidir. Plastik kalıba boşaltıldıktan sonra kalıp kapatılır ve ısı ve basınç uygulanarak viskoz haline getirilir. Böylece plastik malzeme akarak kalıbın şeklini alır. Kalıplama öncesi plastik hammaddeler soğuk halde karıştırılarak önşekil denen disk şekli verilir. Ön şeklin ön ısıtması, kalıplama süresi ve basıncı düşürülerek kalıp ömrünü uzatmak ve nihai ürünün düzgün olmasını sağlamak mümkün olmaktadır. Pres kalıplama yöntemi hem termoplastikler hem de termosetler için kullanılabilir. [5]

Kalıp maliyetinin düşük olması, malzemenin çabuk akmasının kalıbın aşınmasını ve yıpranmasını azaltması, büyük parçaların kolaylıkla üretilebilmesi basınçlı kalıplama yönteminin avantajlarıdır. Karmaşık parça üretiminin zor olması ve kalıplanan parçalarda çapak oluşması yöntemin dezavantajlarıdır.[4]

1.1.4.6. Transfer kalıplama

Fenolikler, üreler, melaminler ve alkid reçineleri gibi termosetlerin şekillendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. [4] Karmaşık geometrik şekiller için tercih edilen bu yöntem, basınçlı kalıplama yönteminin bir türüdür. Katı bileşenler önce sıcak transfer kalıbında eritilir, kalıp boşluğuna iletilerek kalıp yüzeyinin tamamında basıncın homojen dağılımı sağlanarak şekillendirme gerçekleştirilir.[5] Parçada bitirme işlemi az olduğu için çapak oluşmamaktadır. Yolluk sistemi kullanılarak bir çok parça bir kerede şekillendirilebilmekte ve karmaşık parçalar için kullanılabilir. [4]

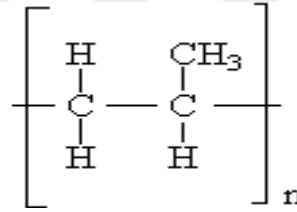
1.1.4.7. Döküm

Erimiş plastik malzemenin kalıba dökülerek katılaşması ile şekillendirilmesidir. Termoplastiklerde katılaşma, eriyik halindeki malzemenin soğuması ile, termosetlerde sertleşme yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen polimerizasyon ya da kürleşme ile gerçekleşmektedir. [5]

1.2. Polipropilen

En yaygın kullanılan polimerler arasında yer alan polipropilenin (PP), ilk kez Mart 1954'de, Giulio Natta tarafından kristalin izotatik polimer olarak geliştirilmiştir.[21]

Polipropilen, monomer propilenin polimerizasyonu ile elde edilen ve sadece karbon ve hidrojen atomları içeren bir termoplastik polimerdir.[22] Şekil 1.6 'da polipropilenin molekül yapısı görülmektedir. Polipropilen monomeri, üzerinde bir adet metil (CH₃) grubu bulunduran etilen polimeri olarak tanımlanabilir.



Şekil 1. 6. Polipropilenin molekül yapısı

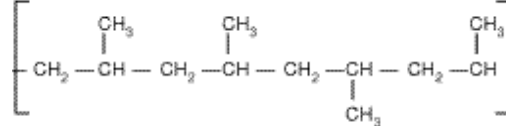
Polipropilen, propilen (C₃H₆) monomerlerinin, katılma polimerizasyonu birleşip, uzun doğrusal zincirler oluşturması ile meydana gelmektedir. Poliolefin grubunda yer alan polipropilen, propilen gazının özel katalizörler ile polimerizasyonu yoluyla elde edilmektedir. Doğalgaz yada hafif petrol türevlerinden, 800⁰C üzerindeki sıcaklıklarda yüksek saflıktaki propilen gazı elde edilir. Özel katalizörler yardımı ve ağır yüksek basınç reaktörlerin ile propilen gazının polimerizasyonu, Ziegler-Natta yöntemiyle gerçekleştirilir. [10,17]

1.2.1. Polipropilen Türleri

Polipropilen, yapısındaki atomların dizilişlerine göre ataktik, izotaktik ve sindiotaktik, monomerlerinin diziliş çeşitlerine göre de homopolimer ve kopolimer olarak gruplandırılmaktadır [23]

1.2.1.1. Ataktik polipropilen

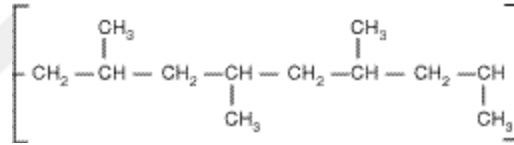
Polimer zincirinin üzerindeki metil (CH₃) grubu belirli bir düzen içinde yer almaz. Ataktik polipropilenler, yapışkan gibi kullanışlı olmayan, 74 °C'de yumuşayan malzemelerdir. (Şekil 1.7)



Şekil 1. 7. Ataktik polipropilenin molekül yapısı

1.2.1.2. Sindiyotaktik polipropilen

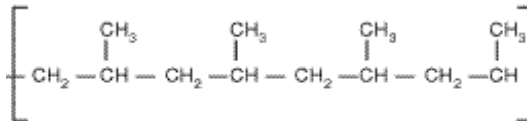
Metil (CH₃) grubu, zincirin her iki tarafında da düzenli olarak yer almaktadır. Simetrisi yüksek seviyede olduğundan sindiyotaktik yapılar kolayca kristallenebilirler. Ataktik polipropilene göre daha kullanışlıdır ve 175°C civarında erirler. (Şekil 1.8)



Şekil 1. 8. Sindiyotaktik polipropilenin molekül yapısı

1.2.1.3. İzotaktik polipropilen

Metil (CH₃) grubu, her iki karbondan bir, aynı yönde eklenmiştir. Kristallenmeye oldukça elverişli olan izotaktik polipropilenler, birbirleri üzerinde sıkı bir şekilde dizilebilirler. (Şekil 1.9)



Şekil 1. 9. İzotaktik polipropilenin molekül yapısı

Polipropilenin enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon için ticari olarak kullanılan şekli ağırlıklı olarak (%94-97) izotaktik şeklindedir.[17]

Monomerlerin dizilişine göre polipropilenler, homopolimer ve kopolimer olmak üzere iki grupta sınıflandırılırlar.

1.2.1.4. Polipropilen homopolimer

Homopolimerlerde zincir boyunca aynı birim tekrar eder. Homopolimer polipropilenin (PP-H) kopolimere nazaran yüksek camsı geçiş sıcaklığına (T_g) sahiptir ve düşük sıcaklıklarda yeterli olmayan özellikler (düşük darbe dayanımı gibi) sergilerler. Katalizör sistemi ve polimerizasyon reaksiyon koşullarına göre, dizilim şekli değiştirilerek random veya blok kopolimer yapmak mümkün olmaktadır. Kristalleşme ölçüsü, sıvı fazdan katı faza geçerken polimer zincirlerinin birbirine geçiş şekline yada ısıtılıp yumuşamış malzemenin daha ileri bir işlem (fiber çekme gibi) sırasında ne kadar gergin olduğuna bağlıdır.

1.2.1.5. Polipropilen random kopolimer

Kopolimerler birden fazla değişik tür monomerden elde edilmektedir. Monomerlerin reaksiyona girme özellikleri, katalizör yapısı, polimerizasyon yöntemi ve reaksiyon parametrelerine bağlı olarak kopolimerler random (rastgele), alternatif (ardarda), blok ve graft (aşı) olmak üzere kendi içerisinde gruplara ayrılırlar.

PP'lerin düşük sıcaklıklarda darbe dayanımı düşüktür ve farklı polimerler ile harmanlanarak tokluğu artırılabilir. Kopolimerde zincir zincire bağlantı elde edilmesi nedeniyle; PP kopolimerlerinin özellikleri, fiziksel olarak karıştırılmış PP-PE karışımından çok daha iyidir.

PP'nin random kopolimer zincirleri, propilen birimleri arasına gelişigüzel dağılmış az sayıda (~%1,5-6) etilen veya yüksek olefin birimleri (bütilen, heksan, vb.) içermektedir. Etilen, kristalleşmeyi azaltarak ve darbe dayanımını artırmakta, yumuşak bir yapı, geniş aralıkta ısı tutabilme, buruşmaya karşı direnç ve yüksek berraklık özelliği kazandırmaktadır. [23]

1.2.1.6. Polipropilen blok kopolimer

PP'in üretim proseslerinden bir tanesi olan Novolen gaz fazı prosesi üretiminde katalizör sistemi ve polimerizasyon reaksiyon şartlarına göre dizilim şeklinin değiştirilerek random veya blok kopolimer üretmek mümkün olabilmektedir.[3]

1.2.2. Polipropilenin Kullanım Alanları

Plastik üründe tokluk, esneklik, hafiflik ve ısı direnci gibi ihtiyaçlar söz konusu ise çoğunlukla polipropilen tercih edilmektedir. Düşük yoğunluklu bir malzeme (0,9 gr/cm³) olması hafif ağırlıklı ürünlerin üretiminde tercih edilmesinin en önemli nedenidir.

Tüm termoplastiklerin içinde organik kimyasallara karşı en yüksek kimyasal dirence sahip malzemedir. Oda sıcaklığında çözülmez ancak 350 °C'de yanma ve tutuşma özelliği gösterir. UV ışınlarına maruz kalan uygulamalarda kullanıldığında, UV dengeleyici katkıları ile desteklenmesi gerekmektedir.[22] Yarı saydam ve süt beyaz renginde olan polipropilenin, boyanma kabiliyeti yüksek, kimyasal ve elektriksel özellikleri iyi ancak dayanımı çok yüksek olmayan bir termoplastiktir. Cam lifi takviyesi ile dayanımı artırılabilir.[16]

Düşük yoğunluk, yüksek erime sıcaklığı, uzun süreli dayanım ve gerilme, çatlama, kimyasal korozyon direnci gereksinimi olan uygulamalarda kullanıldığı görülmektedir. Diğer reçinelerden daha yüksek performansa sahip olması ya da daha ekonomik olması nedeniyle de tercih edildiği görülmektedir.[22]

Polipropilen yüksek bükülebilirlik özelliğinden dolayı menteşe yerine kullanılmaktadır. İki parçalı ve menteşe ile birleştirilmiş bir çok ürün tek parça olarak polipropilenden üretilmektedir. Polipropilen, şişirme metodu ile kutu üretiminde kullanılmaktadır. Yönlendirilmemiş film, levha ve boru malzeme olarak da kullanılmaktadır.

Polipropilenin en önemli dezavantajı düşük sıcaklıklarda özelliklerinin zayıf olmasıdır. Molekül ağırlığı çok yüksek değilse 0 °C'nin altında bile gevrek durumdadır. Poliizobütilen veya bütül tipi sentetik lastiklerle harmanlanarak bu özelliği iyileştirilebilmektedir.

Polipropilen ürünü malzemeler yaklaşık olarak 120 C'de beş yıl, 110 C'de on yıl ömre sahiptir. [16]

Phillip Townsend İş Ortaklarına göre, PP'nin dünya genelinde tüketiminin %30'unu fiberler oluşturmaktadır. Fiberler endüstri, tekstil, tıp alanlarında yaygın olarak kullanıldığı gibi hafifliği, rijitliği, yüksek dayanımı ve nem emme özelliği nedeniyle denizcilik uygulamalarında da kullanılmaktadır.

Hafif olması ve düşük maliyetinden dolayı enjeksiyon kalıplama uygulamalarının çoğunda reçine olarak tercih edilmektedir. PP, enjeksiyon kalıplama üretimi olan bulaşık makinesi, çamaşır makinesi vb. ev aletleri, açık alan mobilyaları, bagaj taşıyıcı vb genel maksatlı aletler, medikal aletler, rijit ve esnek paketleme aparatları gibi tüketim ürünlerinde geniş kapsamda kullanılmaktadır.

Korozyon direnci, kimyasal filtreleme, fiziksel hasarların çoğuna karşı dayanımı, çevresel faydaları ve tutkallamadan ziyade ergime ısı ile birleşme yeteneği nedeniyle; yüksek saflık, rijitlik ve dayanım gereken borulama sistemlerinde de kullanılmaktadır.[22]

PP, fenolik reçine, polistiren ve selüloz asetat butirik gibi diğer plastikler ile kıyaslandığında daha iyi mekanik özellikler gösterdiği için otomotiv sanayinde, akü kabında lastik yerine, tampon ve çamurluk malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yüksek ısı çarpılma sıcaklığının istendiği otomobil fan ve ısıtıcı kanallarında polipropilen plastikler tercih edilmektedir. [4,22]

İki eksenli PP, yağ ve nem geçirme direnci, yüksek sıcaklıkta bile yüksek çekme dayanımı, çok düşük sıcaklıkta esneklik, büzülme, sertlik ve sızdırmazlık özelliklerinin tümüne tek başına sahip olması nedeniyle film olarak kullanılmaktadır.

Polipropilen, atık haline geldikten sonra çevreyi kirletmeyen, bununla beraber bozulma süresi uzun olan bir malzemedir. Polipropilen atıkları sınırlamanın en iyi yolu, kamu sağlığı ve çevreyi koruma açısından geri dönüşüm yapılmasıdır. Ancak, teknik ve hijyenik nedenlerden ilaç kullanımına ait paketlemelerde geridönüşümlü polipropilen malzeme kullanılmamaktadır.[22]

En yaygın kullanılan şekillendirme yöntemi enjeksiyon kalıplamadır. Polipropilen için nihai ürün uygulamalarının büyük çoğunluğu, uygun ölçüde moleküler özellikler ve üretim sırasında eklenen katkı maddeleri ile mümkün olmaktadır.[21]

1.3. Katkı ve Dolgu Malzemeleri

Polimerlerin kendilerine has karakteristik özelliklerinin bir bölümü moleküler yapıyla ilgilidir ve moleküler yapının değiştirilmesi ile bu özelliklerde değiştirilebilmektedir. Ancak genelde mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi için moleküler yapının değiştirilmesi yeterli olmamaktadır. Takviye malzemeleri ilave edilerek polimerlerin özellikleri geliştirilebilmektedir.[5] Plastiklere, başta

oksitlenmeyi önlemek, ısıl kararlılık sağlamak, plastikliğini artırmak ve elektriksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla katkı maddeleri eklenmektedir.[16]

Plastik malzemelerin özelliklerini iyileştirmek amacıyla; başka polimer reçineler, cam ya da karbon elyafı, dolgu maddeleri, yumuşatıcı stabilizatörler, yağlayıcı, renk verici, aleve karşı koruyucu ve çapraz bağ oluşturan maddeler kullanılır.

İki veya daha fazla polimerin karıştırılması işlemine harmanlama denir. Harmanlamanın amacı; darbe dayanımını, eğilme sıcaklığını ve aleve karşı dayanıklılığı iyileştirmektir. Tümöyle mekanik bir işlem olan harmanlama, harmanlanan polimerlerin kimyasal bağlarına bağlı değildir. Bu nedenle kopolimer ve terpolimerler harmanlanan polimerler değildir. Harmanlanan ana polimerin fiziksel, mekanik veya maliyet özelliklerinden birinde iyileşme beklenir. Harmanlanan polimerin miktarı en az %25 olmalıdır.

Harmanlama işlemi fiziksel harmanlama, interpolimerizasyon ve grafit (aşılama) polimerizasyonu olmak üzere üç şekilde yapılabilir.

Takviye malzemeleri, elyaf (fiber) ve dolgu (filler) olarak ikiye ayrılabilir. Her ikisinde plastiklerin darbe, çekme, ısı dayanımını iyileştirmek, boyut kararlılığını sağlamak vb. özelliklerini daha iyi bir noktaya getirmek için kullanılır ancak dolgu takviyeleri genellikle maliyetleri düşük, elyaf takviyeleri ise maliyeti yüksek maddelerdir.[15]

1.3.1. Katkı maddeleri

Katkı malzemelerinin çoğunun elyafı bir yapıya sahip olması mekanik dayanıklılığı artırmalarına neden olmaktadır. Katkılı bir kompozitin zorlanması durumunda basınç matris tarafından elyafa iletilir ve bütün elyaf boyunca ilerler. Elyafın matris içinde homojen dağılımı takviyenin her yönde aynı şekilde olmasını sağlar ve mekanik özellikleri iyileştirir.

Katkı maddelerinin çoğunluğu hidrofil, polar ve suya duyarlıdır. Ancak plastikler ile bağdaşması için hidrofop özellik gerekmektedir. Hidrofi ve hidrofop merkezlere sahip bağlayıcılar kullanılarak elyaf ile matris reçinenin bağdaşması sağlanmaktadır.

Düşük çaplı, diğer bir deyişle ince elyaf daha büyük yüzeye sahip olması nedeniyle elyaf-matris bağlantısının gücünün artmasını sağlar. Böylece mekanik dayanım artmaktadır.

Hibrid uygulamalarla farklı takviye malzemelerinin birlikte kullanılması her bir takviyenin üstün özelliğinin birleşmesini sağlamaktadır. Böylece çok daha iyi mekanik özelliklere sahip kompozit malzemeler elde edilebilmektedir.

Katkı malzeme türleri, cam elyaf, poliester elyaf, polietilen elyaf, hibrid elyaf, aramid, karbon-grafit ve cam boncuk olarak sıralanır. [10]

Antioksidan Katkılar: Oksidasyona karşı duyarlı bir yapıya sahip olan polimerler, polimerizasyon sırasında veya kullanım sırasında, ısı, UV ışınları vb. dış etkenlerden dolayı meydana gelen oksidasyon plastiğın rengini değiştirir, dayanıklılığını azaltır ve kırılganlığını artırır. Oksidasyonu önlemek veya yavaşlatmak için antioksidantlar kullanılır.

Antistatik Katkılar: Düşük elektrik iletkenliğine sahip olmaları nedeniyle plastikler, işleme ya da kullanım esnasında yüklendikleri statik elektriği hapsederler. Yanma, patlama ve elektriksel şok yaratabilecek olan bu elektrostatik yük, antistatik katkılar aracılığıyla sürtünme azaltılarak önlenir ya da iletken bir kanal oluşturularak atmosfere iletilmesi sağlanır.[16]

Yumuşaticılar (Plastikleştiriciler): Polimer malzemelerin esneklik, süneklilik, tokluk, sertlik ve rijitlik gibi özellikleri yumuşaticılar kullanılarak iyileştirilebilmektedir. Genelde sıvı halde olan yumuşaticıların buharlaşma basıncı ve moleköl ağırlılığı düşüktür. Polivinil klorür ve bazı asetat kopolimerler sıklıkla kullanılan yumuşaticılardır. Polimerlerin camsı geçiş sıcaklığını düşürerek ince film, boru, yağmurluk ve perde gibi sünek ve esnek olması istenen ürünlerde kullanılmaktadırlar.

Dengeleyiciler (Stabilizatörler): Atmosfer şartlarında mekanik bütünlüğünü kaybeden polimerlerin bu özelliğini iyileştirmek için dengeleyici katkı maddeleri kullanılmaktadır.

UV ışınları moleköl zincirindeki kovalent bağların kopmasına ya da çapraz bağlanmasına neden olabilmektedir. İnce bir tabaka halinde UV emici malzeme ile kaplanarak ya da UV ile reaksiyona girip polimerin daha fazla zarar görmesini engelleyen malzemeler ilave edilerek polimerlerin UV kararlılığı artırılabilir.

Oksijen ile polimer moleküllerinin kimyasal etkileşimi sonucu oluşan oksidasyon problemini gidermek için polimere ilave edilen dengeleyici katkı maddeleri oksijeni tüketerek oksidasyonu engellemektedir.[5]

Kaydırıcılar: Polimerin işlenmesi esnasında eriyin metal yüzeylerden ayrılmasını ve yüzey boyunca hareketini kolaylaştıran dış kaydırıcılar ve kalıplanma esnasında çökmeyi azaltan, erimiş malzemenin türbulansını düşüren ve çatlama, kırılma problemlerini önleyen, polimer molekülleri arasında yer alan iç kaydırıcılar olmak üzere iki tip kaydırıcı katkı maddesi vardır.

Kalıp Salıcı Katkılar: Vakslar, silikonlar ve metalik stearatlar gibi kalıp salıcı maddeler, polimerin kalıba yapışmasını ve kalıptan kolayca ayrılmasını sağlayan malzemelerdir.

Biyolojik Koruyucu Katkılar: Polimerler katkı maddelerinin ilavesi veya işlenme sırasında yapıya karışan maddeler nedeniyle, renk kaybı veya renklenme, fiziksel, kimyasal ve elektriksel özelliklerde değişmelere yol açan biyolojik bozunmalara maruz kalabilmektedir. Kalay, arsenik, bakır, antimonun, organik kükürt bileşikleri kuarternler amonyum tuzları biyolojik koruyucu katkı maddeleri olarak kullanılmaktadır.

Renklendiriciler: Polimer içinde tam olarak çözünen boyalar ve polimer içinde ayrı bir faz olarak kalan pigmentler olmak üzere iki tür renklendirici katkı maddesi kullanılmaktadır.

Alev Geciktiriciler: Büyük oranda florür ve/veya klorür içeren polivinil klorür ve politetrafloretilen dışındaki polimerler alevlenme özelliği taşımaktadırlar. Gaz fazı boyunca yanma olayıyla etkileşime girerek daha az ısı oluşturan bir reaksiyon meydana getirip sıcaklığı düşüren ve yanmayı yavaşlatan alev geciktirici katkı maddeleri polimerlerin alevlenme direncini artırmaktadır.[16]

1.3.2. Dolgu maddeleri

Polimerlerin çekme ve basma dayanımı, aşınma direnci, tokluk ve ısı kararlılık gibi özelliklerini iyileştirmek için kullanılan dolgu malzemeleri, odun unu, silika unu, kum, cam, kil, talk, kireç ve bazı sentetik polimerlerdir. Parçacık halinde olan dolgu malzemelerinin parçacık boyutları 10 nm'den makroskobik boyutlara ulaşabilmektedir. Genellikle ucuz malzemeler olması nedeniyle maliyeti düşürmek için pahalı polimerlerde kullanılmaktadırlar. Dolgu içeren polimerler kompozit malzeme olarak sınıflandırılmaktadır.[5]

Dolgu maddeleri, katı olarak ilave edilen ve matris reçine ile bağdaşmayan organik veya inorganik malzemelerdir.

Dolgu maddeleri özgül ağırlık, elastite modülü, eğme dayanımı, basma dayanımı, sertlik, ısı dayanıklılığı gibi mekanik ve ısı özellikleri olumlu etkilemektedir. Dolgu maddelerinden mika, kil, ve CaCO₃ gibi mineraller ısı iletkenliğini artırırken soğutma sırasında şekil değiştirmeleri azaltır ve kalıplama süresini düşürür. Antistatik, yanmazlık, yumuşaklık ve kayganlık gibi özellikler kazandıran dolgu maddeleri bulunmaktadır. Dolgu maddeleri genellikle başta çekme dayanımı olmak üzere mekanik özellikleri düşürür ve dolgu miktarının artırılması ile bu düşüş hızlanır. Dolgu maddelerinin neden olduğu çekme dayanımı ve darbe dayanımının kötüleşmesi gibi olumsuz etkiler özel katkı maddeleri ile düzeltilmektedir. [10,15]

Dolgu maddelerinin çoğu ekzotermik tepe noktasını alçaltarak gerilimleri azaltır ve böylece ürünün çekmesi, yüzey dalgalanmaları ve yüzey çatlakları önlenmiş olur. Bu sayede parlak ve düzgün yüzeyli ürün elde edilir.

Dolgu maddesi seçiminde, malzemenin tanecik boyutu, dağılım şekli, dispersiyon, kimyasal yapı, yüzey yapısı ve büyüklüğü, yüzeyin katalist etkisi, aşındırma riski, yoğunluğu, yüzey sertliği, transport şekli, sağlık açısından etkisi ve maliyet gibi özellikler göz önünde bulundurulur. [10]

Dolgu maddeleri konusunda, polimer matrisine bağlanma, uygulamaların çoğunda önemlidir. Bu genellikle, ya bağlayıcının malzemeye dahil olması ya dolgu maddesinin yüzey işlemi tarafından artırılması veya polimere katılmasıdır. Dolgu maddesi ve reçine matrisi arasında eşitlik olduğu zaman, reçine ve dolgu maddesi gerilme altında beraber hareket ederler.[24]

Dolgu maddeleri plastiklerin yoğunluğunu artırır, çekmesini azaltır. Elastite modülü, basma, darbe, eğme değerlerini artırır. Yüzey sertliğini ve kalitesini iyileştirir. Mekanik özelliklerini kötüleşmesine rağmen mekanik değerlerin ısıdan etkilenmesini azaltır. Toplamda ısı dayanımını yükseltir ve daha sert bir ürün elde edilmesini sağlar. Sürünme problemlerini ortadan kaldırır ve yük altında kendini bırakma eğilimini azaltır. Plastiğin kullanılmasını kolaylaştırdığı gibi maliyeti düşürür.[10]

Genellikle çekme kuvvetini artırır ve kırılma anındaki uzamayı azaltır. Çok düşük oranda dolgu maddesi yüklenmesi, kötü yayılma, polimer matrisi ile zayıf bağlanma ve polimer matriste faz değişikliği durumunda, bu kural bozulur. Genel bir kural olarak lifli dolgu maddeleri %50, pullular %30 ve küresel olanlar %15 gerilme kuvveti azalmasına neden olur.

Darbe kuvveti çeşitli dolgu maddesinin şekli ve büyüklüğü, polimer tipi, sıcaklık, dolgu maddesi yüklenmesi, en/boy oranı, yüzey enerjisi, katkıları, pigmentler gibi faktörlere bağlıdır. Darbe özellikleri, darbe kuvvetini artırıcı maddeler veya kauçuk ile güçlendirilmiş polimer matris ilavesiyle düzeltilebilir[17]

Dolgu plastikler ile katkılı plastikler arasındaki en önemli fark çekme dayanımının takviyeli plastiklerde artması, elastite modülünün ve sertliğin dolgu plastiklerde fazla olmasıdır. Isı dayanımı, kürecik şeklindeki dolgularla elyaf takviyelere nazaran daha düşük olmaktadır. Yassı tanecikli talk ve mika ile ısı dayanımı artırılabilir.

Dolgu malzemeleri plastiklerin mekanik özelliklerini olumsuz etkilerken takviye malzemeleri, dolgu maddelerinin kazanımlarının yanı sıra mekanik özelliklerde de iyileşme sağlar. Ancak takviye malzemeleri anizotrop tur yani tek yönlü üstünlük sağlar. Takviyeli plastiklerde iki faz bulunmaktadır. Sürekli olmayan dolgu fazın çekme dayanımı ve elastite modülü daha yüksek olmalıdır. Sürekli polimer matris fazın ise kırılma dayanımı dolgu fazdan daha yüksek olmalıdır.

Plastiklerde dolgu maddesi olarak %50 oranında kalsit tercih edilmektedir. Kalsitin yanı sıra plaka yapısındaki talk ve glimer, tokluk ve yüzey düzgünlüğü avantajı sağladığı için sıklıkla tercih edilmektedir. Petrol kaynaklı plastiklerin, petrol fiyatlarının artışı nedeniyle dolgu maddeleri kullanılarak azaltılmaktadır.

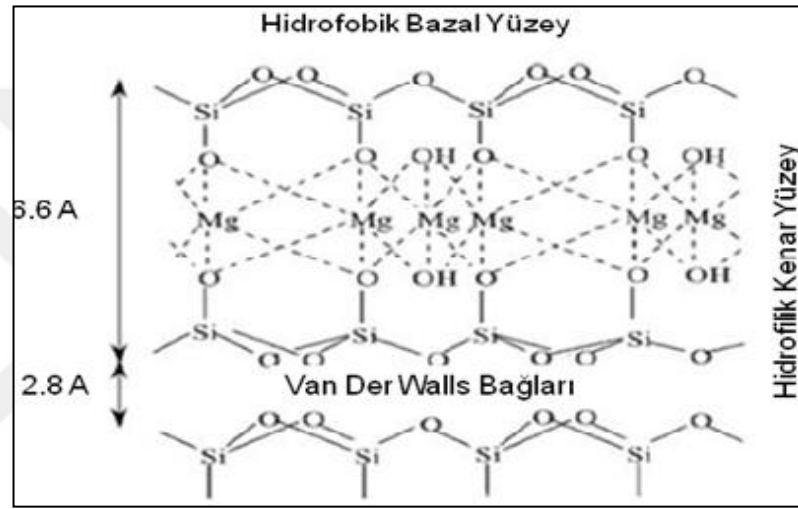
Dolgu madde türleri, kalsiyum karbonat, dolomit, baryum sülfat, amiyant, talk, kaolen, mika, feldspat, kvarzkumu-kvarztozu, wollastonit, elektrokorund, sentetik silikalar, metaller ve metaloksitler, alüminyumtrihidrat ve karbon olarak sıralanır. [10]

1.3.3. Talk

Talk minerali bir hidro-magnezyum silikat olup bileşimi $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 'dur. Teorik olarak %63,5 SiO_2 , %31,7 MgO ve %4,8 H_2O içerir. Bu bileşimde kısıtlı olarak izomorf maddeler bulunabilir. Bunlar, çok az miktarlarda alüminyum, demir, mangan ve titanyumdur ve bunların bileşimine bağlı olarak da talk; beyaz, yeşil, gri renklerde bulunabilir ancak ezildiğinde çok parlak beyaz renkteki bir toza dönüşür. Talkın yoğunluğu 2,6–2,8 gr/cm³ arasındadır.[25]

Talk, üç tabakadan oluşan T-O-T (Tetrahedral-Oktahedral-Tetrahedral) yapısında bir kil minerali olup, $\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)_2(\text{OH})_2$ teorik formülü ile ifade edilen bileşime sahiptir ve sulu magnezyum silikat olarak da adlandırılır. (Şekil 1.10) Altta ve üstte silika

(SiO₂) tetrahedral tabakaları ve bunların arasında ise brunit (brucite: Mg(OH)₂) tabakası yer almaktadır. Tabaka içerisinde kuvvetli iyonik bağlar olmasına rağmen, bu üç tabakadan oluşan birim yapılar birbirlerine zayıf van der Waals (vdw) bağları ile bağlıdır. Bu zayıf bağlar, dilinimli bir özellik ve kayganımsı bir doku hissi kazandırır. Talkın tabaka yüzeyleri hidrofobik (-Si-O-Si-) (su sevmez) ve tabaka kenarları (-MgOH ve -SiOH grupları) ise hidrofilik (su sever) karakterdedir. Ancak talkın toplam yüzey alanının büyük bir kısmını (en az %75'ini) tabaka yüzeyleri oluşturduğundan, talkın da doğal halde hidrofobik karakterde olduğu ifade edilmektedir. Tabaka boyu yaklaşık 6,60-2,8 Å dur.



Şekil 1. 10. Talkın kimyasal yapısı [26]

Şekil 1.11'de talk cevherinin görünümü yer almaktadır. Beyaz, yeşilimsi şeffaf renklere, kaygan, masif görümlü ve yumuşak bir malzeme olan talkın Sertliği Mohs cetveline göre 1-1,5 arasında değişmektedir. Yoğunluğu 2,6-2,8 gr/cm³ arasındadır. Kristal şekli monoklinikdir. Talkın ısı ve elektrik iletkenliği zayıftır fakat ateşe dayanıklıdır. Yüksek sıcaklıklarda ısıtıldığında sertleşmekte ve katılaşmakta, asitlerle bozulmamaktadır.[27] Ateşe dayanıklı, kokusuz ve ince kesitte renksiz olan talkın ergime derecesi 1500°C'dir. Metamorfizma koşullarının yükselmesi ile talk, manyezit, kummingtonit veya olivine dönüşebilir. Atmosferik koşullar altında oldukça duraylıdır. Ancak bozunmanın ileri evrelerinde manyezit ve kalsedona dönüşebilir. [25]



Şekil 1. 11. Talk Cevheri

Talkın içindeki kükürt, sülfat mineralleri, Fe ve Mn oksitler talkın kalitesini düşürür. Bunlar fazla miktarlarda bulunursa talkın zenginleştirilmesi sırasında yan ürün olarak değerlendirilebilir .[26]

Talk, opaklık ve gözeneklilik iyileştirmesi ile birlikte pürüzsüzlük sağlar, kağıt üretiminde kağıdın sarılığını ortadan kaldırır ve dolgu ve kaplama minerallerinin de en az aşındırıcı özelliğe sahip malzemedir. Özellikle polipropilen (PP) oto parçalarında dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Selüloz imalinde, ziftin giderilmesi için talk kullanımı giderek artmaktadır. [28]

Talkın kimyasal yapısının yanı sıra dolgu oranı, öğütme şekli ve derecesi önemlidir. Talk sertlik, eğme ve çekme dayanımını artırır ve yüzey iyileşmesi sağlar. Ancak darbe dayanımı ve erime indeksini düşürür. Bununla beraber saf talk pahalı bir malzemedir.

Termoplastikler arasında en çok polipropilenlerde takviye malzemesi olarak, termosetler arasında en çok doymamış poliester ve epoxid reçinelerde özel dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır.[10]

Ticari olarak kullanılan talk genellikle teorik saflıkta değildir. Bu tür ürünler, saf talk minerali olduğu gibi talk ve talkın birlikte oluşumu olan dolomit, kalsit, kuvars, diyopsit, serpantin, magnetit, pirit, tremolit-aktinolit ve mika gibi minerallerin değişik oranlarda karışımı halinde olabilmektedir. Talk; seramikte, boya yapımında, çatı kaplamasında, haşarat ilacı üretiminde, kauçuk ve kâğıt sanayinde, kozmetik ve farmakoloji'de, asfalt dolgu maddesi yapımında, hayvan yemi ve gübre üretiminde kullanılmaktadır. Kullanım amacına göre, yumuşaklığı, yağ absorpsiyonu, nem

oranı, erime noktası, özgül ağırlığı, ısı ve elektrik iletkenliği ve kimyasal analiz önemlidir. [27]

Talk çeşitleri aşağıdaki gibidir:

Sabuntaşı (Soapstone): Mineral talk içeren masif formdur. En az %50 mineral talk içerir, elektriğe ve asitlere karşı dirençli, ısıya karşı dayanıklıdır.

Steatit: Yüksek saflıkta masif talklardır. En yoğun kullanım alanı elektrik izolatörleri yapımıdır. Ancak steatit %1,5 dan az CaO ve Fe₂O₃ ve %4'ten az Al₂O₃ ihtiva etmektedir.

Profillit: Fiziksel özellikleriyle talka çok benzer ancak kimyasal bileşiminde Mg yerine Al içeren bir sulu alüminyum silikattır.

Lava: Blok talkları veya blok talklardan elde edilen son ürünlerdir.

Asbestin: Levha, ince tabaka veya mikaya benzer bir mineraldir.

Rensseleaerit: Bileşimi talka çok benzer ise de yağlı ve yumuşak özelliği olmayan bir mineraldir.

Wonderstone: Güney Afrika Cumhuriyeti'nde bulunan bir masif profillit olup, rutil ve karbonlu bileşikler içeren kriptokristalen profillittir.

Fransız tebeşiri: Talkın masif çeşidi olup, boya ve kurşun kalem yapımında kullanılır. [28]

Dünyada ve yurdumuzda talk üretimi hem açık hem de kapalı işletmeler şeklinde yürütülmektedir. Geleneksel patlatma metotları kullanılarak yapılan kazı işlemleri ile çıkarılan hammadde, kaba bir ayırma işleminden sonra stoklanarak, parça cevher olarak satılır veya parça cevheri işlenerek ileri talk ürünler elde edilir. Köpük flotasyonu, sedimentasyon, hidrosiklondan geçirme, hava ve yağ manyetik ayırma, santrifüj boylaması, sprej kurutma ve yağ öğütme teknikleri başlıca işleme yöntemleridir. Kozmetik sanayinde kullanılan talklar, öğütmeden sonra kumaştan elenerek boyutlandırılmaktadırlar. Talklar genellikle kuru öğütme metodu ile ayıklanır. Ancak kuru ve yağ ayıklamanın beraber yapıldığı uygulamalar da vardır. [25]

Dünyada talk rezervleri Avusturya, Avustralya, Çin, Brezilya, Hindistan, Finlandiya, İtalya, Kuzey Kore, Japonya, Rusya ve ABD'de bulunmaktadır. Yaklaşık olarak dünyada toplam talk üretimi 7,5 milyon tondur. [29]

Tablo 1. 2. Türkiye'de bilinen talk yatakları ve rezerv durumları

Rezerv Sahaları	Görünür Rezerv (Ton)	Muhtemel Rezerv (Ton)	Mümkün Rezerv (Ton)	Toplam Rezerv (Ton)
Aydın/Bozdoğan	50.000	200.000	250.000	500.000
Eskişehir/Mihalıçık	-	-	400.000	400.000
Sivas/Zara,Örencik	44.296	150.310	-	194.606
Balıkesir/Kepsut, Örenli	-	-	20.250	20.250
Balıkesir/Erdek, Kızaklıköyü	5.000	15.000	-	20.000
Eskişehir/Biçer	-	10.000	-	10.000
Sakarya/Sapanca, Nailiye	6.200	-	-	6.200
Balıkesir/Erdek, Yanüçiftliği	800	5.000	-	5.800
Balıkesir/Erdek, Rahmimerası	-	1.000	-	1.000
Bolu/Mudurnu, Dereköy, Gözlübaşı	250	250	-	500
Toplam	106.546	381.560	670.250	1.158.356

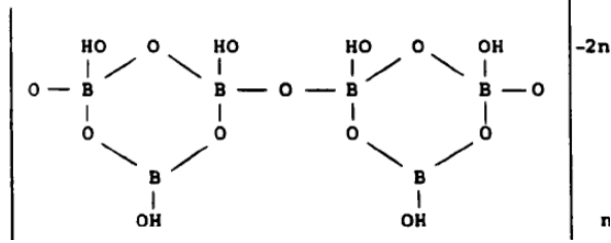
Türkiye'de en büyük talk rezervleri Aydın'ın Bozdoğan ilçesi ile Eskişehir'in Mihalıçık ilçesinde bulunmaktadır. Sivas'ın Zara ve Örencik ilçelerindeki rezerv fazla olmamakla beraber, çok kalitelidir Kütahya ve Bilecik arasında, Domaniç dolaylarında bazı talk zuhurları belirlenmişse de, cevherler çok demirlidir. Ancak yer yer iyi vasıflılara rastlandığı için, Bilecik'te ve Kütahya'da üretim yapılmaktadır. Türkiye'de bilinen talk yatakları ve rezerv durumları Tablo 1.2'de verilmiştir.[26]

1.3.4. Kolemanit

Kolemanit adını, 1893 yılında,Kaliforniya boraks endüstrisinin kurucu ve kolemanitin ilk kez bulunduğu madenin sahibi, William Tell Coleman'dan almıştır. [30]

Kimyasal bileşimi $Ca_4B_6O_{11} \cdot 1.5H_2O$ olan kolemanitin kristal yapısı monoklinik, özgül ağırlığı $2,42 \text{ gr/cm}^3$, sertliği 4,5 Mohs dır ve yapısında % 50,83 B_2O_3 bulunmaktadır. (Şekil 1.12) Suda çözünmesi çok yavaş olmasına rağmen HCl' de hızlı çözünmektedir. [31] Kolemanitin molekür yapısı, çoğunlukla eşboyutlu ve kısa

prizmatik kristalli, masif, kompakt ve taneseldir. İçinde büyük boşluklar bulunduran kolemanit minerali, bu boşluklarda 5 ile 6 cm uzunluğunda monoklinik kristalleri şeklinde yer alır. Kil tabakaları arasında yumru ve patates şeklinde olan kolemanit kristal formu,ileri düzeyde dilinimine sahiptir ve diğer boratlara göre daha serttir.[32]



Şekil 1. 12. Kolemanitin kimyasal yapısı[33]

B₂O₃ değeri, dekrepatasyon (sıcakta parçalama) ve flotasyon gibi, işlemin ölçeğine ve cevherin çeşidine göre farklılık gösteren tekniklerle zenginleştirilebilmektedir. Böylece B₂O₃ oranı %60'a kadar artırılabilir. Dekrepatasyon işleminde, kolemanitin yüksek sıcaklıkta (350-500 °C) parçalanarak dağılma özelliğinden yararlanılmaktadır. Isıtılan cevhere, eleme işlemi uygulanarak zenginleştirilmiş cevher elde edilmektedir. Flotasyon işlemi ise; mineralin yüzeyine, minerali hidrofobik yapan bileşiklerin absorbe edilmesi sağlanarak, ardından üflenen hava yardımıyla hava-su ara yüzeyinde meydana gelen köpük fazında mineralin toplanması şeklinde uygulanır.[34]



Şekil 1. 13. Kolemanit minerali[30]

Şekil 1.13'de görüldüğü gibi camsı bir parlaklığa sahip olan bu mineral renksiz, beyaz, şeffaf-yarı şeffaf formlarda bulunur. Türkiye'de Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarında bulunan kolemanit Kütahya-Emet sahasında ana cevher olmakla birlikte bazı ocaklarda az miktarda üleksit, sölestin ($SrSO_4$), realgar (As_2S_2), orpiment (As_2S_3) ve kalsit ($CaCO_3$) ile birlikte bulunmaktadır Safsızlığı ve bağlı suyunun giderimi için ısıtma işlemi uygulanması ile kolemanit amorf B_2O_3 kaynağı olarak kullanılabilir. [32]

Dünyada, California'da Death Valley, Iryoeo 'da, Türkiyede, Balıkesir, Kütahya, Eskişehir ve Bursa illerinde önemli kolemanit yatakları bulunmaktadır. Türkiyede, neojen yaşlı kalker, marn, kil ve tuf tabakaları içerisinde, 2-3 m kalınlığında damarlar halinde, killerle karışık olarak bulunmaktadır.[35]

Kolemanit, cam elyafı, bor alaşımları, metalurjik cüruf yapıcı, nükleer atık depolama, alev geciktirici gibi alanlarına kullanılır. [33] Genelde borik asit üretiminde, cam yünü, cam ve seramik sanayilerinde ve çelik endüstrisinde de eritici olarak kullanılır. [34]

1.4. Deney Tasarımı

Bir sistem ya da prosesin, belirli bir özelliğini veya bir parçasına ait detayları incelemek amacıyla yapılan faaliyetler deney olarak tanımlanmaktadır. [36] Deney Tasarımı ise; bir sistemin değişkenleri üzerinde hedeflenen değişikliklerin uygulanması ve uygulama sonucunda elde edilen farklılıkların yorumlanmasıdır. [37]

Deney tasarımı, İngiliz İstatistikçi Ronald Fisher tarafından, 1920'lerde, tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuştur. Ronald Fisher deney tasarımının yanı sıra deney verilerinin analizinde kullanılan varyans analizi (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir. Yöntem, Amerika'da tarım alanından sonra kimya ve ilaç, 1970'lerden itibaren üretim sektöründe yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. 1980'lerde Japon Profesör Genichi Taguchi önderliğinde, deney tasarımında büyük gelişmeler meydana gelmiştir. Yaptığı yenilikler ile yöntemin üretim sektöründe de yaygın kullanılmasını sağlamıştır. [38]

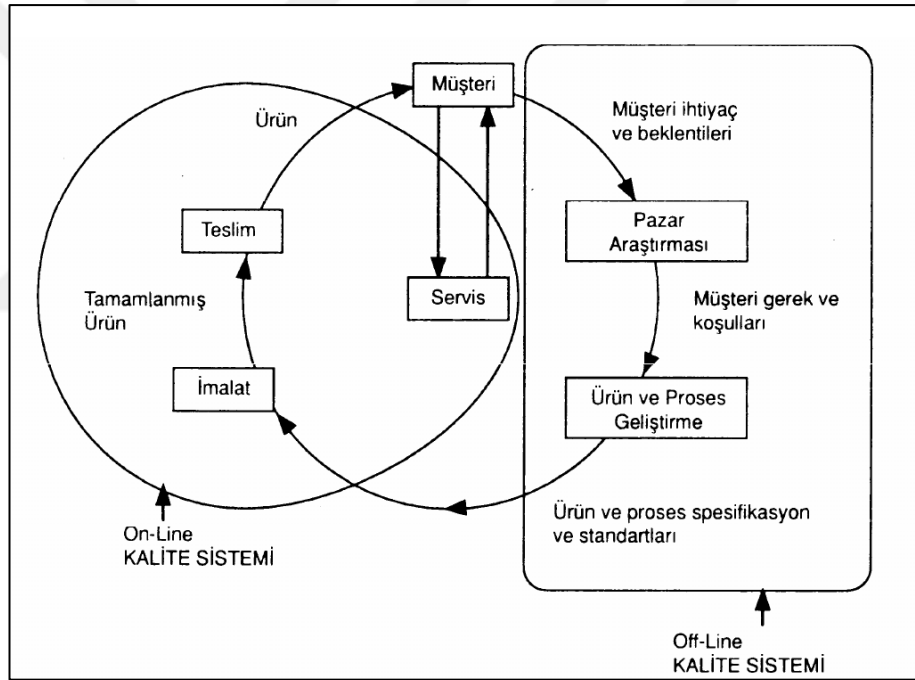
Taguchi Yöntemi, bir ürün yada proses geliştirmek veya iyileştirmek için kullanılan önemli araçlardan biri olan deney tasarımı, hedeflenen değer için gerekli faktör seviyelerini, en uygun faktör kombinasyonlarını ve en etkin faktörü tespit etmek amacı ile geliştirilmiştir.

Kalite mühendisliği açısından, prosesin değişkenlerini azaltarak kararlılığı artırması ve kaliteyi yükseltmesi büyük kazanım sağlamaktadır. [36]

Genichi Taguchi tarafından geliştirilen yöntem, 1950'li yıllarda, Japonya' nın telefon sistemi üzerinde uygulanmış ve son derece başarılı olmuştur 1980'lerin ilk yıllarında Taguchi'nin verdiği seminerlerden sonra deney tasarım yöntemleri Amerika'da yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. [39]

1.4.1. Taguchi deney tasarım yöntemi

Taguchi yöntemi, üretim-kalite çemberi çerçevesinde yer alan ve kaliteyi sağlamak için uygulanan faaliyetleri Şekil 1.14' de görüldüğü gibi Çevrim Dışı (Off-Line) ve Çevrim İçi (On-Line) kontrol olmak üzere ikiye ayırmaktadır.



Şekil 1. 14. Üretim Kalite Çemberi [38]

Çevrim Dışı Kontrol: Ürüne direk müdahaleler yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarını içerir ve müşteri beklentilerinin doğru olarak tanımlanması, bu beklentilerle uyum sağlayacak, tutarlı ve ekonomik olarak üretilebilecek bir ürünün tasarımı ile üretim için yeterli spesifikasyonların, standartların, yöntem ve ekipmanların geliştirilmesinden meydana gelen süreç tasarımı olmak üzere ikiye ayrılır.

Çevrim İçi Kalite Kontrol: İstatistiksel süreç denetimi ve çeşitli kontroller çevrim-içi kalite denetimi faaliyetlerindedir. Tasarım ve üretim aşamasında tasarlanan yöntemlerin uygulanmasını denetleyen kontrollerdir.[37]

Taguchi yöntemi, ürün ve proses dizaynı ve gelişiminin, çevre koşullarına ve bileşenlerin farklılıklarına karşı kararlı olması, hedef değer etrafında ki değişkenlerin minimize edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. [40] Taguchi'nin kalite yaklaşımına göre, Üretim Kalite çemberinde deney tasarımı çevrim dışı kalite kontrol içinde yer almaktadır. [38]

Ürün ya da prosesin, kontrol edilemesi zor faktörlerden kısmen etkilenmediği ve sürekli hedefe yönelik olarak uygulandığı robust tasarım, Taguchi yaklaşımının ana ögesidir. Robust, sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olmak üzere üç aşamadan meydana gelmektedir.

1. Sistem Tasarımında, mühendisler ana konfigürasyonu bilim ve mühendislik prensipleri kullanılarak belirlemektedir.
2. Parametre Tasarımında, belirlenen sistem parametrelerine özgü değerler tespit edilir.
3. Tolerans Tasarımında, parametreler için en iyi tolerans değerleri belirlenir. [40]

Sistem ve parametre tasarımı aşamalarında amaç, ürün ve prosesdeki hedef değerden farklılıklara neden olan, kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin optimum değerlerinin tespit edilmesini sağlayarak kaliteyi artırmaktır. Bir çoğu birbiriyle etkileşim halinde olan çok sayıda kontrol edilebilen veya edilemeyen faktörlerin optimum değerlerini belirlemek için en etkin yöntem deney tasarımıdır. [38]

1.4.2. Taguchi'nin kayıp fonksiyonu

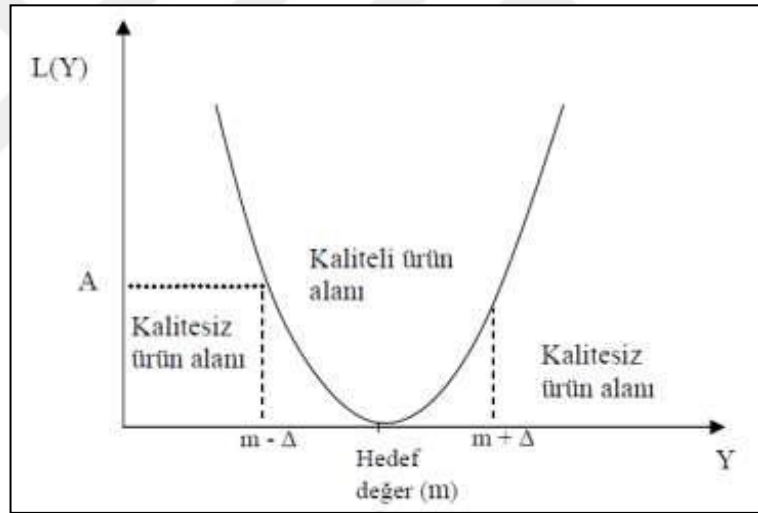
Değişkenliği azaltmak, Taguchi felsefesinin anahtar bileşenidir. Genellikle her ürün yada prosesin performans karakteristiği, bir hedef değer veya nominal değere sahiptir. Taguchi modelinin çıkışı kayıp fonksiyonu ile bu hedef değerden meydana gelmektedir. Kayıptan kastedilen, müşterinin nominaldan farklı kalite karakteristiklerine sahip ürünü kullandığında, toplumun mauz kaldığı maliyettir.

Taguchi tarafından uygulamaya konan kayıp fonksiyonu, geleneksel düşünceden farklı bir kavramdır. [40]

Bir ürünün sahip olması gereken nominal ya da hedef ölçülerden sapma miktarı, bütün toplumun uğrayacağı maddi zarar ile ilişkilendirilerek elde edilen kayıp fonksiyonu Denklem 1.1'deki gibi ifade edilir.

$$L(Y) = k \cdot (y-T)^2 \quad (1.1)$$

Burada, y performans karakteristiğinin (bir ürün veya prosesin kalitesini belirleyen özellikler) ölçülen gerçek değeri, T nominal ya da hedef değer, k ise sapmayı parasal bir birime dönüştüren katsayıdır. Gerçek ölçü değeri ile hedef değer arasındaki fark yani değişkenlik topluma karesel şekilde artan bir zarar olarak dönmektedir. Şekil 1.15' de Taguchi'nin kayıp fonksiyonunun grafiksel görünümü verilmiştir.



Şekil 1. 15. Taguchi'nin kayıp fonksiyonu [36]

1.4.3. Sinyal/Gürültü (S/G) oranı

Kontrol edilebilen faktörlerin farklı seviyelerinin karşılaştırılıp en uygun faktör ve seviye kombinasyonunun seçilmesini sağlayan değerlendirme yöntemine performans istatistiği denir. Taguchi yönteminde, performans istatistiği olarak, verilerin anlaşılabilirliğini sağlamak ve kolay hesaplamak için ortalama yerine sinyal/gürültü (S/G) oranı kullanılır. Ortalamanın standart sapmaya oranı olarak kabul edilen S/G oranının kullanılması, ortalama veya standart sapmanın tek tek kullanılmasına göre daha dengeli ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Ortalama ve ortalamanın etrafındaki değişkenlik kontrol

edilebilmektedir. Ortalama olmadan varyans bir anlam taşımayacağından S/G oranı hesaplanırken dikkat edilmesi gereken nokta, ortalama ve varyansın aynı anda kontrol edilmesidir. [36]

S/G oranı, kontrol edilemeyen etkileri (gürültü) minimize ederek ürün veya proseste kararsızlığı azaltan kontrol parametrelerini belirlemek için kullanılır. Sinyal, kontrol edilebilir ve ölçülmek istenen gerçek değeri, gürültü ise kontrol edilemez ve ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını temsil eder. Uygulamadaki problemler, ulaşılması hedeflenen kalite değerinin türüne göre üç önemli kategoriye ayrılmıştır: [41]

En Küçük En İyi: Kalite değişkeninin hedef değerinin küçük olmasının istendiği problemlerdir ve Denklem (1.2) deki gibi ifade edilir.

$$S/G = -10 \cdot \log \left[\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (1.2)$$

En Büyük En İyi: Kalite değişkeninin hedef değerinin büyük olmasının istendiği problemlerdir ve Denklem (1.3) deki gibi ifade edilir.

$$S/G = -10 \cdot \log \left[\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (1.3)$$

Hedef Değer İyi: Kalite değişkeninin değerinin önceden belirlenmiş hedefe değere yakın olması istenen problemlerdir ve Denklem (1.4) deki gibi ifade edilir. [38]

$$S/G = 10 \cdot \log \left[\frac{y^2}{s^2} \right] \quad (1.4)$$

1.4.4. Ortogonal dizin

Ortogonal dizin, ilk kez 1897'de Fransız matematikçi Jacques Hadamard tarafından bulunmuştur. Birçok faktörün en az sayıda deneme ile değerlendirilmesini sağlayan ortogonal dizin, faktörlerin seviyelerini eş zamanlı olarak değiştirerek deney sayısını azaltma olanağı sunmaktadır. [42]

Deneysel çalışmalarda, çok sayıda faktör ve seviye bulunması zaman ve maliyet kaybına neden olmaktadır. Taguchi yöntemi, deneylerin tam faktöriyel yapıda tüm kombinasyonlarının denenmesi yerine, ortogonal dizinleri kullanarak kesirli faktöriyel yapıda kombinasyonlar ile hem zaman ve maliyetten kazanç sağlamakta, hem de en iyi performans karakteristiği değerini veren faktör seviyelerini tespit etmektedir.

La(b_c) şeklinde gösterilen ortogonal dizinler, latin kare tasarımından türetildiği için L, latin kare tasarımını temsil etmektedir. “a” deneylerin sayısını, “b” faktörlerin seviye sayısını, “c” ise faktör sayısını ifade etmektedir. [36]

Örneğin; faktör sayısı c= 7, faktörlerin seviye sayısı b=2 olan bir deneyde tam faktöriyel tasarım ile $2^7 = 128$ adet deneme gerçekleştirilir. Taguchi yönteminde ise kesirli faktöriyel tasarım ile eşzamanlı olarak, bir kaç faktörün kademeleri değiştirilerek deneme sayısı azaltılır ve 8 deneme ile deney gerçekleştirilir. [42] Tablo 1.3 Taguchi'nin belirlediği ortogonal dizinler yer almaktadır.

Tablo 1. 3.Taguchi ortogonal dizin tablosu [43]

Parametre Sayısı	Seviye Sayısı						
	2	3	4	5			
P = 2, S = 2	L4	P = 2, S = 3	L9	P = 2, S = 4	L'16	P = 2, S = 5	L25
P = 3, S = 2		P = 3, S = 3		P = 3, S = 4		P = 3, S = 5	
P = 4, S = 2	L8	P = 4, S = 3	L18	P = 4, S = 4	L'32	P = 4, S = 5	L50
P = 5, S = 2		P = 5, S = 3		P = 5, S = 4		P = 5, S = 5	
P = 6, S = 2		P = 6, S = 3		P = 6, S = 4		P = 6, S = 5	
P = 7, S = 2	L11	P = 7, S = 3	L27	P = 7, S = 4	L'32	P = 7, S = 5	L50
P = 8, S = 2		P = 8, S = 3		P = 8, S = 4		P = 8, S = 5	
P = 9, S = 2	L16	P = 9, S = 3	L36	P = 9, S = 4	L'32	P = 9, S = 5	L50
P = 10, S = 2		P = 10, S = 3		P = 10, S = 4		P = 10, S = 5	
P = 11, S = 2	L16	P = 11, S = 3	L36	L'32	L'32	P = 11, S = 5	L50
P = 12, S = 2		P = 12, S = 3				P = 12, S = 4	
P = 13, S = 2	L16	P = 13, S = 3	L36	L'32	L'32	L'32	L50
P = 14, S = 2		P = 14, S = 3					
P = 15, S = 2	L16	P = 15, S = 3	L36	L'32	L'32	L'32	L50
P = 16, S = 2		P = 16, S = 3					
P = 17, S = 2	L16	P = 17, S = 3	L36	L'32	L'32	L'32	L50
P = 18, S = 2		P = 18, S = 3					
P = 19, S = 2	L16	P = 19, S = 3	L36	L'32	L'32	L'32	L50
P = 20, S = 2		P = 20, S = 3					
P = 21, S = 2	L16	P = 21, S = 3	L36	L'32	L'32	L'32	L50
P = 22, S = 2		P = 22, S = 3					
P = 23, S = 2	L16	P = 23, S = 3	L36	L'32	L'32	L'32	L50
P = 24, S = 2		P = 24, S = 3					
P = 25, S = 2	L16	P = 25, S = 3	L36	L'32	L'32	L'32	L50
P = 26, S = 2		P = 26, S = 3					
P = 27, S = 2	L16	P = 27, S = 3	L36	L'32	L'32	L'32	L50
P = 28, S = 2		P = 28, S = 3					
P = 29, S = 2	L16	P = 29, S = 3	L36	L'32	L'32	L'32	L50
P = 30, S = 2		P = 30, S = 3					
P = 31, S = 2	L32	P = 31, S = 3	L36	L'32	L'32	L'32	L50

1.4.5. Taguchi yönteminin uygulama adımları

Taguchi yönteminin uygulama adımları sırasıyla incelendiğinde, ürün yada prosesi başarılı bir şekilde haya geçirmek mümkün olmaktadır. Taguchi yönteminin adımları aşağıdaki gibidir.

- Problemin tespit edilmesi
- Kalite değişkeninin belirlenmesi
- Performans karakteristigini etkileyen faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesi
- Faktörlerin kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler olarak ayrılması
- Faktörler arasındaki etkileşimlerin belirlenmesi
- Uygun ortogonal dizinin seçilmesi ve faktörlerin bu dizinlere atanması
- Deneylerin yapılması ve sonuçların kaydedilmesi
- Verilerin analizi
- Doğrulama deneyinin yapılması

Problemin tespiti ve ifade edilmesi:

Problemler, genellikle ideal durum ile gerçek durum arasındaki farktan dolayı ortaya çıkmaktadır. Ürünün uygun olmaması, hurdalar, makine arızaları vb. , müşteri ya da operatör şikayeti olarak karşımıza çıkarlar. Problemin tespitinde, Kalite Fonksiyon Göçerimi (QFD), Pareto analizi, beyin fırtınası vb. yöntemlere başvurulabilir. öncelikli başvurulacak yöntemlerdir.

Kalite değişkeninin belirlenmesi:

Kalite değişkeni seçilirken prosesin niteliği dikkate alınmalıdır. Birden fazla kalite değişkeni seçilmesi durumunda analiz ayrı ayrı yapılmalı, sonuçlar gerekirse daha sonra bir ağırlık çarpanı kullanarak birleştirilmelidir.

Faktör ve Seviyelerin Belirlenmesi:

Kalite değişkenini etkileyen, Kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin tespit edilmesi önemli bir adım olmakla beraber Beyin Fırtınası, Sebep-Sonuç, Balık Kılçığı diyagramları ve akış şemaları kullanılan başlıca yöntemlerdir. Faktörler sıcaklık, basınç, zaman, hız, akım gibi sayısal büyüklükler olabildiği gibi malzemenin cinsi, bir durumun varlığı veya yokluğu gibi soyut ifadelerde olabilir.

Faktör düzeylerinin tespiti:

Faktörlerin düzey sayısının fazla olması deneyin maliyetini artıracığı için seçim yapılırken mümkün olduğu kadar az seviye seçilmelidir. Faktörlerin düzey sayısı 2 ila 5 arasında olabilmektedir. Faktör seviyeleri serbestlik dereceleriyle ilişkilidir ve deneyin büyüklüğünü tespit etmek açısından önemlidir. Bir faktörün serbestlik derecesi, o faktörün seviyesinin bir eksigidir. [36]

Faktörler arasındaki etkileşimin belirlenmesi:

Serbestlik derecesi, faktörlerin bireysel etkilerinin yanı sıra faktörler arası oluşan etkileşimleri de belirlenir.

İki faktörün etkileşimli olması, bir faktörün (örneğin A), kalite değişkenine olan etkisi, diğer faktörün (örneğin B) hangi değerde bulunduğuna bağlıdır. Bu durum AXB olarak gösterilir ve etkileşimli faktörlerin bulunduğu durumlarda, etkileşimlerde faktör gibi kabul edilerek ortogonal diziyeye atanmaktadır.[44]

Ortogonal dizinin seçimi:

Ortogonal dizinin seçimi, her bir faktörün serbestlik derecelerinin toplamı ile bulunur. Her bir faktörün serbestlik derecesi ise, seviye sayısının bir eksigidir. Ortogonal dizinlerin kolonlarına yerleştirilecek olan etkileşim faktörlerinin seviye sayıları ise temel faktörlerin serbestlik sayılarının çarpımına eşittir. Faktör grubunun serbestlik derecesi belirlendikten sonra, serbestlik sayısının uygun düştüğü deneme sayısına sahip olan tasarım seçilir. Serbestlik sayısı en fazla, seçilecek olan ortogonal dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir. Ortogonal dizinlerin gösterildiği $L_a(bc)$ standart ifadesinde a deney tasarımında kullanılacak deney sayısını ifade ettiğinden faktör grubunun serbestlik derecesi ve a arasındaki ilişki Denklem (1.5) de verildiği gibi olacaktır

$$\text{Faktör grubunun serbestlik derecesi} \leq a - 1 \quad (1.5)$$

Eğer farklı seviyelerde faktörler varsa, göre ortogonal dizinin baskın düzeye göre düzenlenmesi gerekmektedir. Ortogonal dizin belirlendikten sonra faktör ve seviyeleri dizine atanır.

Deneylerin yapılması:

Deneylerin tekrarlı yapılması durumunda, ölçülen kalite değişkeni sürekli bir veri ise (sıcaklık, basınç, hız gibi) güvenilirliğini artıracaktır. Bununla beraber kalite değişkeni süreksiz bir veri (açık-kapalı, var-yok, 1-0 gibi) ise, en ufak bir hata sonuçları büyük ölçüde etkileyeceği için deneyler mutlaka tekrarlı yapılmalıdır. Deneyler, makinelerin ve ölçüm cihazlarının hatalarını en aza indirmek ve önceden saptanamayan hata kaynaklarının etkilerini azaltmak için ortogonal dizinin öngördüğü sıra ile değil de rastgele yapılmalıdır. [36]

Verilerin analizi:

Deney analizinde, gözlem, sıralama, sütun etkileri, grafiksel yöntemler ve varyans analizi (ANOVA) yöntemi kullanılabilir. Taguchi, ANOVA ve S/G gürültü yöntemini önermektedir.

Varyans Analizi:

Varyans analizinde varyansları karşılaştırmak için kullanılan F testi kullanılır. İlk adımda H_0 ve H_1 hipotezleri tanımlanır. İkinci adımda testin tahmini güven aralığı, önemlilik düzeyi α yüzdesi belirlenir.

H_0 : Ortalamalar arasında fark yoktur (faktörlerin etkisi yoktur).

H_1 : En az iki ortalama arasında anlamlı bir farklılık vardır (faktörlerin etkisi vardır).

Tek yönlü varyans analizinde uygulama ve hataların kareleri toplamı hesaplanır ve ardından varyansları bulunur. F değeri de bulunan varyanslar aracılığıyla hesaplanır. Hesaplanan bu değerler ile Tablo 1.4' de tek yönlü varyans analizi tablosu oluşturulur.

Tablo 1. 4. Tek Yönlü Varyans Analizi

Kaynak	SS	f	MS (S^2)	F hesaplanan
Uygulama (T)	SS_T	k-1	MST	MST/MSE
Hata	SS_E	N-k	MSE	
Toplam	SS_{TOT}	N-1		

Varyans analizinde kullanılan formüller aşağıdaki denklemlerde verilmiştir. Uygulama kareler toplamı ve varyansı,

$$SS_T = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{X}_i - \bar{X}_{GM})^2 \quad (1.6)$$

$$df_T = k - 1 \quad (1.7)$$

$$S_T^2 = \frac{SS_T}{df_T} \quad (1.8)$$

Hata kareler toplamı ve varyansı,

$$SS_E = \sum_{j=1}^{n_1} (X_{1j} - \bar{X}_1)^2 + \sum_{j=1}^{n_2} (X_{2j} - \bar{X}_2)^2 + \dots + \sum_{j=1}^{n_k} (X_{kj} - \bar{X}_k)^2 \quad (1.9)$$

$$df_E = N - k \quad (1.10)$$

$$S_E^2 = \frac{SS_E}{df_E} \quad (1.11)$$

$$S_{TOT} = SS_T + SS_E \quad (1.12)$$

$$df_{TOT} = N - 1 \quad (1.13)$$

\bar{X}_{GM} : Büyük ortalama

\bar{X}_i : Grup ortalaması

df_T : Grupların serbestlik derecesi

df_E : Grupların serbestlik derecesi

S_T^2 : Grupların varyansı (MST)

S_E^2 : Hataların varyansı (MSE)

N : Toplam grup büyüklüğü

n_i : Grup büyüklüğü

X_{kj} : k. Gruptaki j. Gözlem

SS_{TOT} : Karelerin toplamı

SS_T : Gruplar arası kareler toplamı

SS_E : Grup içi (hata) kareler toplamı [39]

Deney doğrulaması:

Deney tasarımı sonunda, optimum kalite değişkeni ve minimum değişkenliği oluşturan faktörlerin ve düzeylerinin kombinasyonu tespit edilir. Tespit edilen bu kombinasyonun en az bir kez denenmesi ve beklenen sonuçları vermesi gerekir. Doğrulama deneyinin, beklenen sonuçları vermesi ile Taguchi yöntemiyle deney tasarımı başarılı bir şekilde sonuçlanmış olur.[36]

1.5. Yapay Sinir Ağları

Günümüzde bilgisayarlar yaşamımızın önemli bir parçası olmuştur. Başlangıçta sadece elektronik veri transferi ve karmaşık hesapları gerçekleştirmek üzere geliştirilen bilgisayarlar, teknolojinin ilerlemesine paralel olarak, verileri filtreliyerek özetliyebilme ve mevcut bilgileri yorumlayabilme özelliklerini kazanmıştır. Bugün bilgisayarlar, olaylar hakkında karar verebilmekte ve aralarındaki ilişkileri öğrenebilmektedir. Matematiksel olarak formülasyonu yapılamayan ve çözülmesi

İmkansız problemleri sezgisel yöntemler ile çözebilmektedir. Tüm bu yeteneklerin gelişmesini sağlayan çalışmalar 'yapay zeka' başlığı altında toplanmaktadır.

Yapay zeka çalışmalarının getirdiği yetenekler, yeni teknolojilerin doğmasına neden olmuştur. Günümüzde 60'dan fazla yapay zeka teknolojisi olduğu kabul edilmektedir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Uzman sistemler: Problemleri uzmanların çözdüğü gibi çözebilen bilgisayar programlarının geliştirildiği sistemlerdir.

Genetik Algoritmalar: Problemin çözülmesinde sonucu üretecek özelliklerin kalıtım yolu ile başlangıç çözümlerinden elde edilen yeni çözümlere onlardan da daha sonraki çözümlere iletiildiği teknolojidir.

Bulanık Önermeler Mantığı: Kesin olarak bilinmeyen olaylar hakkında karar vermek amacıyla geliştirilmiş bir yapay zeka teknolojisidir.

Zeki Etmenler: Birden fazla yapay zeka tekniğini kullanabilen, öğrenmek ve gerçek zamanlı çalışma yeteneğine sahip, hem donanım hemde yazılım olarak geliştirilebilen ve bağımsız karar verebilen bilgisayar sistemleridir.

Makina Öğrenmesi: Örnekler kullanılarak olayların girdi ve çıktıları arasındaki ilişkilerin öğrenilmesini sağlayan teknolojidir. Yapay sinir ağları (YSA) makina öğrenmesi kapsamında geliştirilmiştir.[45]

İnsan beyninin, geleneksel dijital bilgisayarlardan farklı işlediğinin farkedilmesi bilim insanlarını, yapay sinir ağlarının geliştirilmesine yönlendirmiştir. İnsan beyni oldukça karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel bir bilgisayardır. Kendi yapısal bileşenlerini yönetme yeteneğine sahip ve dijital bilgisayarlardan daha hızlı ölçüm yapan sinir hücrelerine sahiptir.[46]

YSA, insan beyninin, öğrenme yolu ile yeni bilgi türetme, oluşturma ve keşfedebilme gibi yeteneklerini herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirebilen bilgisayar sistemleridir. [45]İnsan beyninden esinlenerek geliştirilen YSA, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip elemanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işlem yapılarıdır. Başka bir deyişle YSA biyolojik sinir ağlarını taklit eden bilgisayar programlarıdır.[47]

1943 yılında, McCulloch ve Pitts, ilk yapay sinir ağı yapay sinir hücresinin yapısını oluşturmuşlardır. 1949 yılında, Donald Hebb, yapay hücrelerden oluşan bir yapay sinir ağının değerlerini değiştiren, 'Hebbian Öğrenme Kuralı' denilen kuralı geliştirmiştir. 1958 yılında Rosenblatt, algılayıcıyı tasarlayıp geliştirmesi YSA'ya olan ilgilinin artmasına neden olmuştur. 1956 ve 1960 yılları arasında, Stanford Üniversitesinden Widrow ve Hoff tarafından, ADALINE (Adaptive Linear Element) modeli geliştirilmiştir. Bir analog elektronik alet olan ADALINE modelinde En Küçük Ortalama Kareler (LMS – Least Mean Squares) öğrenme kuralı kullanılmıştır.

1969 yılında, Minsky ve Papert bir kitap yazmış ve XOR probleminin çözülmemesini örnek vererek, YSA'nın doğrusal olmayan problemleri çözemediğini ifade etmişlerdir. Minsky ve Papert'in tezinin neden olduğu duraklama döneminde dahi bazı araştırmacılar yapı tanımlama gibi problemlerin çözümüne yönelik çalışmalarını sürdürmüşlerdir. Werbos tarafından, 1974 yılında geri-besleme öğrenme metodunu geliştirmiştir ve hala yaygın olarak kullanılan bir yapay sinir modelidir. Fukushima tarafından, görsel şekil ve örüntü tanıma amaçlı geliştirilen, Neocognitron modeli 1975 yılında yayınlanmıştır. 1982 yılında, Hopfield tarafından, 'Hopfield Ağları', 1984 yılında, Hinton ve arkadaşları tarafından Boltzman makinesi geliştirilmiştir. 1985 yılında, Rummelhart ve arkadaşları tarafından çok katmanlı algılayıcıların geliştirilmesi ile beraber XOR probleminin de çözülmesi YSA'ya olan ilgilinin tekrar canlanmasını neden olmuştur. Günümüze kadar yapılan çalışmaların sayısı giderek artmış ve YSA teorik çalışmalar olmaktan çıkıp günlük hayatta kullanılan sistemleri oluşturmaya başlamıştır. [45,48]

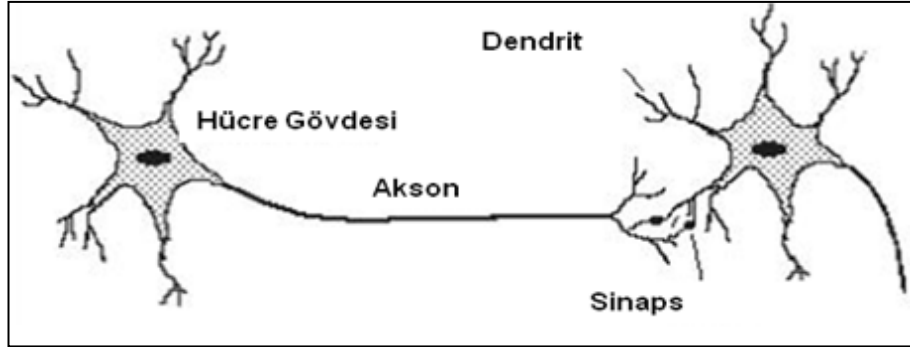
1.5.1. Yapay sinir hücresi

Biyolojik Sinir Hücreleri:

Biyolojik sinir hücresinin yapısı, Şekil 1.16' da görüldüğü gibi dört ana kısımdan oluşmaktadır.

Dentrit: Liflere benzer bir yapıya sahip olan dentrit, diğer hücrelerden gelen sinyalleri çekirdeğe iletir.

Soma: Dendritler yoluyla iletilen tüm sinyallerin toplandığı merkezdir. Biyolojik olarak hücre çekirdeği (nükleus) olarak da bilinen yapıdır. Çekirdek gelen toplam sinyali diğer sinir hücrelerine göndermek üzere, bilgiyi aksona iletir.



Şekil 1. 16. Biyolojik sinir hücresi [49]

Akson: Tek bir life benzeyen akson,diğer hücrelerle birleşme esnasında dağınık dallara ayrılan ve hücre çekirdeğinden aldığı sinyalleri diğer hücelere taşıyan bağlantı elemanıdır.

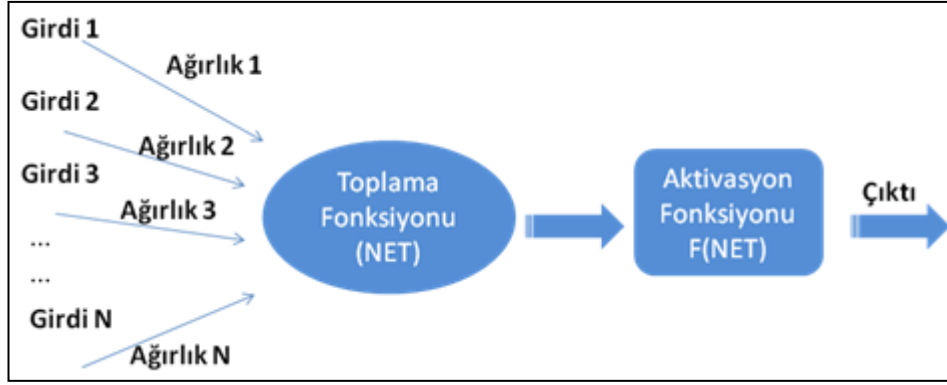
Sinaps: Aksondan alınan sinyalleri diğer hücrenin dentritine ileten kısımdır. Akson ve dentrit arasındaki bağlantı noktalarının, elektrofizyolojik olarak elektrik sinyalleri şeklinde birleştiği tespit edilmiştir. Bir akson birden fazla dentrite sinyal iletebilmektedir.

Hücreler, hücrenin içinde ve dışında dağılmış bulunan, sodyum, potasyum, kalsiyum ve klor gibi iyonlar vasıtasıyla ,elektrik sinyalini hücre duvarındaki voltajı değiştirerek üretirler. Bazı iyonlar elektrik ve magnetik kutuplaşmaya sebep olurken bazıları kutuplaşmadan kurtulup hücre zarını açarak iyonların hücreye geçmesini sağlar. Sinyallerin bir hücreden diğerine geçişini sağlayan da bu kutuplaşmanın azalmasıdır. [50,51]

Yapay Sinir Hücresi:

Yapay sinir ağları, sinir hücrelerinin bu özelliklerden yararlanarak geliştirilmiştir. Şekil 1.17' de görüldüğü gibi yapay sinir ağlarında yer alan yapay sinir hücrelerinin beş temel elemanı bulunmaktadır.

Girdiler: Dış dünyadan ya da başka hücrelerden gelen bilgilerdir ve ağın öğrenmesi gereken örnekler tarafından belirlenmektedir.



Şekil 1. 17. Yapay Sinir Hücresinin Yapısı

Ağırlıklar: Yapay hücreye gelen bilginin önemi ve hücre üzerindeki etkisini gösteren elemandır. Değişken ya da sabit değerler olabilen ağırlıklar, artı veya eksi ise etkisinin pozitif veya negatif olduğunu, sıfır ise etkisinin olmadığını gösterir.

Toplama Fonksiyonu: Hücreye gelen net girdileri hesaplayan fonksiyondur. Yapay sinir ağlarında toplama fonksiyonu olarak değişik fonksiyonlar kullanılmaktadır ancak en yaygın olanı ağırlıklı toplamı bulmaktır. Her gelen girdi değerinin, kendi ağırlığı ile çarpılarak net girdinin bulunduğu bağıntı Denklem (1.14) 'de görüldüğü gibidir.

$$NET = \sum_{i=1}^n G_i \cdot A_i \quad (1.14)$$

Bazı durumlarda girdilerin değerleri bazı durumlarda ise girdilerin sayısı önemli olabilmektedir. Uygun fonksiyonu gösteren bir formül bulunmaması nedeniyle deneme yanılma yolu ile fonksiyon seçilmektedir.

Aktivasyon Fonksiyonu: Hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdi için üreteceği çıktıyı belirleyen fonksiyondur. Çıktıyı hesaplamak için değişik formüller için aktivasyon formülleri bulunmaktadır. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi uygun fonksiyonu belirleyen bir formül bulunmamaktadır. Çok katmanlı modelde genel olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır. Aktivasyon fonksiyona ait formül Denklem (1.15) 'de görüldüğü gibidir. [45]

$$F(NET) = \frac{1}{1 + e^{-NET}} \quad (1.15)$$

Diğer aktivasyon fonksiyonu örnekleri Tablo 1.5'de yer almaktadır.

Tablo 1. 5. Aktivasyon Fonksiyonları [49]

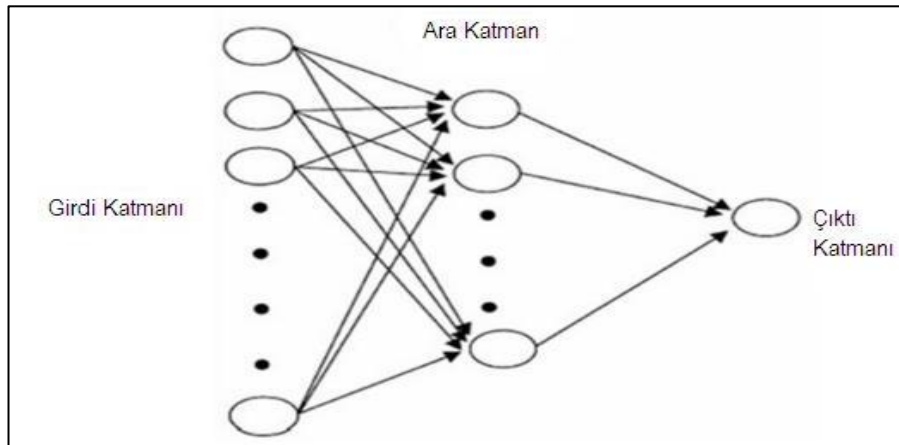
Toplam $Net = \sum_{i=1}^N X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve bulunan değerler birbirleriyle toplanarak Net girdi hesaplanır.
Çarpım $Net = \prod_{i=1}^N X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve daha sonra bulunan değerler birbirleriyle çarpılarak Net Girdi Hesaplanır.
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.

Hem toplama fonksiyonunda hemde aktivasyon fonksiyonunda ağırlık elemanlarının hepsinin aynı fonksiyonu kullanması gerekmemektedir.

Hücrenin Çıktısı: Aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen çıktı değeri başka bir hücreye ya da dış dünyaya gönderilir. Hücre kendisine ait çıktıyı kendisine girdi olarak gönderebilmektedir. [45]

Yapay Sinir Ağı:

Yapay sinir ağları, genellikle üç katman halinde ve her katman birbirine paralel olarak bir araya gelmiş olan yapay sinir hücrelerinden oluşmaktadır ve Şekil 1.18' de YSA katmanları görülmektedir.



Şekil 1. 18. Yapay Sinir Ağı Katmanları [52]

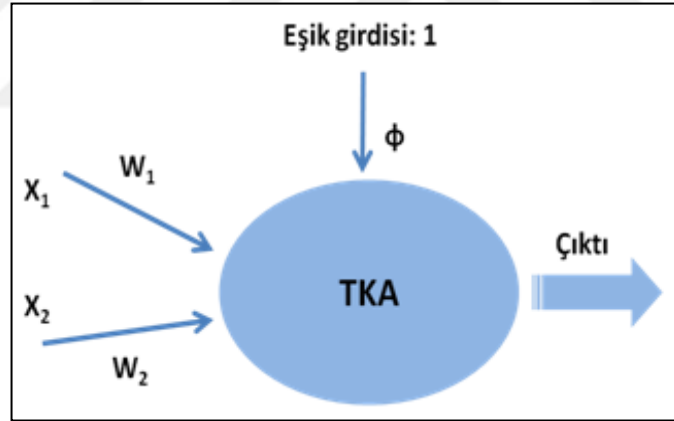
Girdi Katmanı: Dış dünyadan gelen bilgileri alarak ara katmanlara ileten birimdir.

Ara Katmanlar: Girdi katmanında gelen bilgileri işleyerek çıktı katmanına ileten katman/katmanlardır.

Çıktı Katmanı: Ara katmandan gelen bilgileri işleyerek çıktıyı üretir ve dış dünyaya gönderir.

Yapay sinir ağlarında birimler arasındaki bağlantıların ağırlık değerlerini öğrenme sırasında belirlenmektedir. [45]

Yapay sinir ağına bilgilerin sunulduğu girdi katmanı ve çıkışların elde edildiği çıktı katmanından oluşan ve sadece lineer problemlerin çözümü gerçekleştirilebilen tek katmanlı sinir ağlarının yanı sıra girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanından oluşan çok katmanlı sinir ağları olmak üzere iki farklı ağ yapısı bulunmaktadır. Tek katmanlı YSA'larda Şekil 1.19' da görüldüğü gibi, girdiler ile çıktılar arasındaki her bir bağlantının bir ağırlığı bulunmaktadır. Ayrıca proses elemanlarının değerlerinin ve buna bağlı olarak ağın çıktılarının sıfır olmasını engelleyen ve değeri daima 1 olan bir eşik değeri (Φ) vardır.



Şekil 1. 19. Tek Katmanlı Ağ Modeli (TKA)

Çıktı değerleri, ağırlıklandırılmış girdi değerleri ile eşik değerinin toplanıp bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesi sonucunda bulunur. Bu durum aşağıdaki gibi formülize edilebilir.

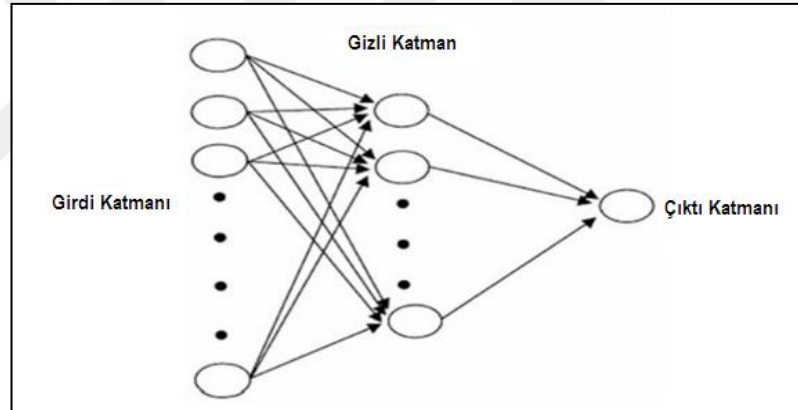
$$\zeta = f[\sum_{i=1}^m w_i x_i + \phi] \quad (1.16)$$

Tek katmanlı ağlarda çıktı fonksiyonu doğrusaldır yani ağa sunulan örnekler iki sınıfa ayrılmaktadır. Bu durumda ağın çıktı değeri 1 veya -1 (0 veya 1' de kullanılabilir) olmaktadır.

$$f(g)=\begin{cases} 1, & \text{\&Eğ}er \text{ } \zeta > 0 \\ -1, & \text{\&aksi takdirde} \end{cases} \quad (1.17)$$

Denklem (1.17) ya göre toplam girdi pozitif ise sunulan örnek 1, negatif ise -1 sınıfına aittir. [45,51]

Çok katmanlı YSA'lar, giriş değerlerinin sunulduğu girdi katmanı, girdi katmanından gelen bilgilerin aktivasyon fonksiyonuyla işlenerek çıktı katmanına iletiildiği gizli katman ve çıkış değerlerinin elde edildiği çıktı katmanı olmak üzere üç tür katmandan oluşur. Girdi katmanında, giriş sayısı kadar işlem elemanı bulunur ve bu katmandaki işlem elemanları veriyi gizli katmandaki işlem elemanlarına aktarırlar. Girdi katmanında genellikle bilgi işleme söz konusu olmaz. Çıktı katmanındaki işlem elemanı sayısı problemin çıkış sayısı kadardır. Genellikle, bir katmandaki her işlem elemanı, aynı toplama ve aktivasyon fonksiyonu ile aynı öğrenme kuralına sahiptir. [51]



Şekil 1. 20. Çok Katmanlı Ağ Yapısı (ÇKA) [52]

Şekil 1.20'de görülen çok katmanlı ağlar danışmanlı öğrenme yöntemine göre çalışır. Ağ eğitilirken girdi değerleri ve beklenen çıktı değerleri verilir, ağ her girdi için çıktı değeri üretir. En küçük kareler yöntemine dayalı Delta Öğrenme kuralının genelleştirilmiş hali kullanılır. Genelleştirilmiş Delta Kuralı olarak adlandırılan bu öğrenme kuralı, ağın çıktısının hesaplandığı İleri Doğru Hesaplama ve ağırlıkların değiştirildiği Geriye Doğru Hesaplama olmak üzere iki safhadan oluşmaktadır. Çıktıların hesaplandığı ilk safhadan sonra beklenen çıktılar ile gerçekleşen çıktılar arasındaki fark belirlenen hata aralığında değil ise hata ağın ağırlık değerlerine dağıtılarak hatanın azaltıldığı ikinci safha gerçekleştirilir. [45]

1.5.2. Öğrenme yöntemleri

Geliştirilecek sistem ve öğrenme algoritmasına göre değişen öğrenme stratejileri bulunmaktadır. Genel olarak üç öğrenme yöntemi kullanılmaktadır. [45]

Danışmanlı Öğrenme:

Gerçek çıkış değeri ile istenen çıkış değeri karşılaştırılarak öğrenmenin gerçekleştirildiği yöntemdir. Ağırlıkların önemli rol oynadığı bu yöntemde, gerçek çıktı değeri ile istenen değer arasındaki hata belirlenen düzeye gelene kadar ağırlıklarda ayarlama yapılır. Bernard Widrow ve Ted Hoff tarafından 1960 yılında geliştirilen delta öğrenme kuralı, Geoffrey Hinton ve James McClelland tarafından geliştirilen geri beslemeli ağ, danışmanlı öğrenmeye örnek olarak verilebilir.

Danışmansız Öğrenme:

Danışmansız öğrenmede, gerçek çıkış bilgileri olmadan, giriş değerlerine göre örnekleme yapılır ve ağırlıklar giriş bilgilerine göre değerlerini ayarlarlar. Hebbian öğrenme, Grossberg öğrenme uyarlamalı rezonans teorisi (ART: adaptive resonance theory), Kohenen'in özörgütlemeli harita (SRM self organizing map) ağı danışmansız öğrenmeye örnek olarak verilebilir.

Destekleyici Öğrenme:

İstenilen çıkış değeri sisteme gösterilmeden, girdi değerlerine karşılık çıktı değerlerini kendisinin ürettiği ve giriş ile bulunan çıktı arasında performans değerlendirmesi yapan bir kriter belirlenerek üretilen çıktının doğruluğunun değerlendirildiği yöntemdir. Optimizasyon problemlerinde kullanılan Boltzman kuralı ve genetik algoritmalar bu öğrenme yöntemine örnek gösterilebilir. [53]

Yapay sinir ağlarında öğrenme belirli kurallara göre gerçekleştirilir. Kurallar çevrim içi ve çevrim dışı olarak ikiye ayrılmaktadır.

Gerçek zamanlı çalışan, fonksiyonlarını yerine getirirken öğrenmenin devam ettiği kurallar çevrim içidir. Eğitildikten sonra kullanılan ve kullanım sırasında öğrenimin devam etmediği kurallar çevrim dışı kurallardır. Başlıca öğrenme kuralları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Hebb Kuralı: En eski öğrenme kuralıdır ve diğer kuralların temelini oluşturmaktadır. Bu kurala göre, bir hücre aktif ise bağlandığı diğer hücreyi de aktif yapmaya çalışmaktadır.

Hobfield Kuralı: Hobfield kuralına göre, girdiler ve beklenen çıktıların ikisinde aktif veya pasif ise öğrenme katsayısı kadar ağırlıkların kuvvetlendirilmesi veya zayıflatılması gerekir. Öğrenme katsayısı 0-1 arasında sabit ve pozitif bir sayıdır.

Delta Kuralı: Bu kurala göre gerçek çıktılar ile istenen çıktılar arasındaki farklılık ağırlıkların sürekli olarak değiştirilmesi ile azaltılmaktadır. Hedef, gerçek çıktı ile istenen çıktı arasındaki hatanın karelerinin ortalamalarını minimize etmektedir.

Kohonen Kuralı: Kohonen kuralında ise ağırlıkların birimleri ağırlıklarını değiştirmek için birbirleriyle yarışır. En büyük çıktıyı üreten birim kazanan birimdir ve bağlantı ağırlıkları değiştirilmektedir. Hem kazanan birimin hemde komşularının ağırlıklarının değiştirilmesine izin verilmektedir. [45]

1.5.3. Yapay sinir ağlarının mimari yapısı

Yapay sinir ağının işlem birimleri ve bağlantılarının değişik şekillerde yapılandırılabilir. Bağlantıların yönlerine göre veya ağ içindeki birimlerin akış yönlerine göre, ileri beslemeli (feedforward) ve geri beslemeli (feedback veya recurrent) olmak üzere iki temel ağ mimarisi vardır.

İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları:

Girişe gelen bilginin çıkışa kadar tek yönlü bağlantılar ile iletildiği bu yapıda, bilgi aynı katman içindeki diğer işlem birimlerine iletilmemektedir. Danışmanlı öğrenme yönteminin kullanıldığı çok katmanlı ağlar ve destekleyici öğrenme yönteminin kullanıldığı, sınıflandırma problemlerinin çözümünü sağlayan doğrusal vektör parçalama (LVQ: linear vector quantization) ağları bu yapıya örnek verilebilir.

İleri beslemeli ağ yapısında girişlere gelen bilgi x_i , gizli katman işlem birimi sayısı j , ağırlıklar ise sinir içinde oluşacak olan bilgi w_{ij} Denklem (1.18) deki gibi gösterilmektedir.

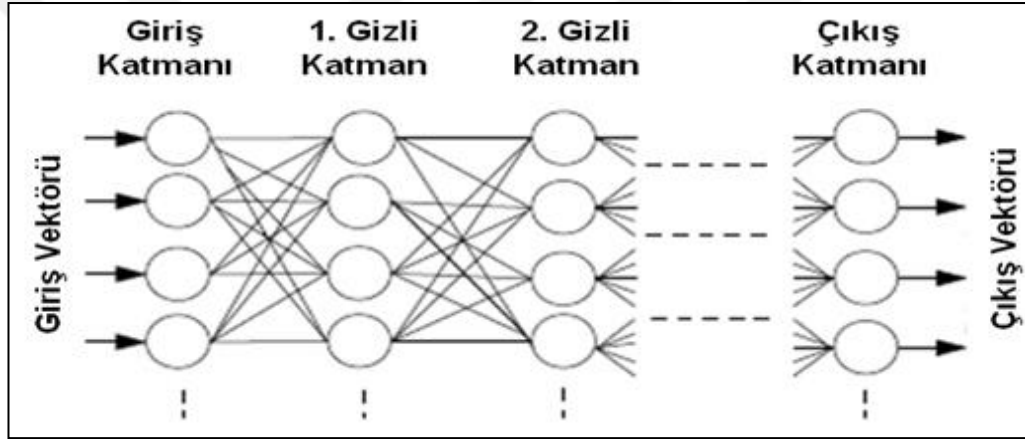
$$S_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot x_j + \theta_j \quad (1.18)$$

Oluşan bu bilgi aktivasyon fonksiyonunda kullanılarak işlem biriminin çıktısı alınır. İleri beslemeli ağlarda, doğrusal olmadığı için ve türevinin basit bir şekilde alınmasından

dolayı sigmoid fonksiyonu en yaygın kullanılan fonksiyondur . Sigmoid fonksiyonu Denklem (1.19) deki gibi tanımlanır.

$$f(S_i) = \frac{1}{1 + e^{-\beta(S_i)}} \quad (1.19)$$

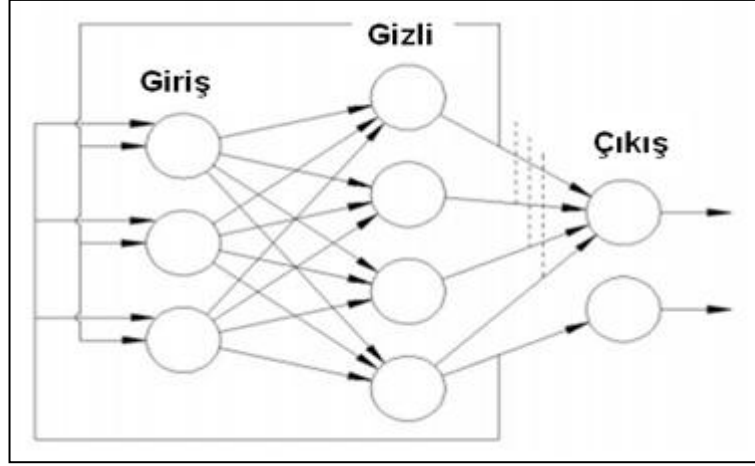
Aktivasyon fonksiyondan elde edilen çıkış değeri, diğer işlem birimlerine giriş olarak iletilmektedir. Her bir işlem birimi kendinden sonra gelen katmandaki işlem birimlerine bağlıdır ve iletim ileri ve tek yönde gerçekleştirilmektedir. Genellikle bir ya da iki gizli katman kullanılarak yeterli derecede doğruluğa sahip çıktı değerleri elde edilebilmektedir. Çıktı katmanında doğrusal diğer katmanlarda ise doğrusal olmayan fonksiyonlar kullanılarak istenen performans sağlanabilmektedir. Şekil 1.21' de çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı yapısı görülmektedir. [53]



Şekil 1.21. Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı yapısı [54]

Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları:

Ağın işlem elemanlarının çıktı değerlerinin yine ağa geri gönderilerek girdi değeri olarak kullanıldığı ağlara geri beslemeli yapay sinir ağları denilmektedir. Elman ve Hopfield ağları geri beslemeli yapay sinir ağlarına örnek verilebilir[45] Genellikle danışmansız öğrenme yönteminin kullanıldığı bu yapıda, işlem birimlerindeki bilgiler hem ileri hem de geri aktarılmaktadır. Şekil 1.22' de bu mimaride en yaygın kullanılan Hopfield ağının şematik gösterimi yer almaktadır. [53]



Şekil 1. 22. Hopfield ağı [53]

1.5.4. Yapay sinir ağlarının uygulama alanları

Yapay sinir ağlarının, bir çok alanda, binlerce uygulamada kullanıldığı görülmektedir. Geçmişte veriler, laboratuvar ortamında, benzetim yoluyla elde edilirken, günümüzde yapay sinir ağları ile günlük hayatımızın bir parçası haline gelmiştir. Yapay sinir ağları genel olarak, aşağıdaki fonksiyonları gerçekleştirmek için uygulanmaktadır[45]

Tahminleme, uygulanan giriş değerlerinden çıkış değerlerinin tahminlendiği fonksiyondur. Hava durumu tahmini ve kanser riskini belirleme örnek olarak verilebilir.

Sınıflandırma, giriş değerleri kullanılarak sınıflandırmanın yapıldığı bu fonksiyona, arıza sınıflandırma, karakter tanıma ve hastalık teşhis etme örnek olarak verilebilir.

Veri ilişkilendirme, sınıflandırmaya benzer bir fonksiyondur ve ilave olarak hatalı verileri tanımlamaktadır. Taranan bir dökümandaki karakterleri algılama örnek verilebilir.

Veri filtreleme, giriş değerleri içerisindeki uygun olmayan verilerin ayıklanmasını sağlar. Telefon sinyali içerisinde gürültüyü ayıklama örnek olarak verilebilir.[47]

Tanıma ve eşleştirme, farklı şekil ve örüntüleri tanınması, eksik, belirsiz ve karışık verilerin işlenmesi, eşleştirilmesi ve tanınmasını sağlayan fonksiyondur. Kalite kontrol şemaları üzerindeki şekilleri tanıma örnek olarak verilebilir.

Teşhis, sistemin olumsuzluklarını belirleyen, problemleri tanımlayan fonksiyondur. Makina arızalarının, süreç hatalarının tanımlanması örnek olarak verilebilir.

Yorumlama, örneklerden elde edilen verilerin eğitilmesi sonucunda oluşturulan bilgilerin yeni durum veya olayların yorumlanması işlemleridir. İstatistik dağılımlarının belirlenmesi örnek olarak verilebilir. [45]

Yapay sinir ağlarının başlıca uygulama alanları ve uygulama örnekleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Uzay sanayinde; uçuş simülasyonları, otomatik pilot uygulamaları, bileşenlerin hata denetimleri,
- Otomotiv sektöründe ; otomatik yol bulma / gösterme, rehber, garanti aktivite analizi, yol koşullarına göre sürüş analizi, elektrikli sürücü sistemlerin kontrolü, [48]
- Finansal alanda; ekonomik tahminler, borsa endekslerinin tahminlenmesi, banka kredilerinin değerlendirilmesi, döviz kurlarının tahminlenmesi,
- Askeri alanda; hedef tanıma ve takip, sensörlerin performans analizi,askeri uçakların uçuş yörüngelerinin belirlenmesi,
- Endüstriyel alanda;üretim ve ürün tasarımında optimizasyon, proses ve makine bakımlarında hataların teşhisi, işlerin makinelere atanması ve çizelgeleme, müşteri memnuniyeti ve pazar verilerinin analizi, [45]
- Sağlık sektöründe; kanserli hücreleri analizi, göğüs kanseri erken teşhis ve tedavisi, EEG, ECG, MR gibi tıbbi sinyallerin analizi, kalite artırımı, ilaç etkileri analizi, kan analizi sınıflandırma, kalp krizi erken teşhis ve tedavisi, protez tasarımı, transplantasyon zamanlarının optimizasyonu ve hastanelerde giderlerin optimizasyonu, hastalık teşhisi ve her hastanın özelliklerine göre tedavi seçimi uygulamalarında,
- Dil bilgisi alanında; sözcük tanıma, yazı ve konuşma çevrimi, dil tercüme,
- Güvenlik alanında; parmak izi tanıma, retina tarama, yüz eşleştirme, ses kontrollü cihazlar ya da yazılım geliştirilmesi vb.dir.[48]

Uygulamalarda, hangi problem için hangi ağın kullanılacağıın belirlenmesi de önemlidir. Tablo 1.6 'da bazı alanlarda hangi ağların başarılı olarak uygulandığı görülmektedir. Her ağın iyi olduğu alanı belirlemek uygulamalarda başarılı sonuçlara ulaşmayı sağlayacaktır.

Tablo 1. 6. Ağların başarılı oldukları alanlar [45]

Kullanım Amacı	Ağ Türü	Ağın Kullanımı
Tahmin	<ul style="list-style-type: none">• ÇKA	Ağın girdilerinde bir çıktı değerinin tahmin edilmesi
Sınıflandırma	<ul style="list-style-type: none">• LQV (Linear Vector Quantization)• ART• Counterpropagation• Olasılık Sinir Ağları (PNN: Probabilistic neural network)	Girdilerin hangi sınıfa ait olduklarının belirlenmesi
Veri İlişkilendirme	<ul style="list-style-type: none">• Hopfield• Boltzmann Machine• Bidirectional associative Memory (BAM)	Girdilerin içindeki hatalı bilgilerin bulunması ve eksik bilgilerin tamamlanması

1.5.5. Yapay sinir ağlarının özellikleri

Çeşitli problemlerin çözümünde, endüstriden sağlık sektörüne kadar birçok alanda kullanılan yapay sinir ağlarının sağladıkları avantajların yanı sıra uygulama esnasında güçlüklerle de karşılaşmaktadır.

Günümüzde birçok alanda kullanılmasına neden olan başlıca özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Doğrusal olmama: Yapay sinir ağlarının ana unsuru olan sinir hücreleri başka bir deyişle işlem elemanı doğrusal değildir. Bu nedenle doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde önemli bir yer tutmaktadır. [51]

Öğrenme: Öğrenme yeteneği sayesinde yapay sinir ağları girdi ve çıktı verileri ile eğitilebilmekte ve bir çok algoritma tarafından çözülemeyen problemleri çözebilmektedir.

Genelleme: Eğitildikten sonra öğrendiği bilgiler dışında bir problem yönetildiğinde çözüm üretebilmesi genelleme yeteneğinin bir parçasıdır. [55]

Uyarlanabilirlik: Belirli bir problemi çözmek için eğitilmiş olan yapay sinir ağı, problemdeki değişimlere göre tekrar eğitilebilir ve değişimler sürekli ise eşzamanlı olarak eğitime devam edilebilir. [51]

Maliyet: YSA, sadece örneklerin belirlenmesi ve basit bir program problemi çözmek için yeterlidir, pratiktir ve maliyeti düşüktür.

Hız: Örneklerin belirlenmesi, ağın oluşturulması, öğrenme, kullanıma alma ve ağın çalışması diğer sistemlere göre oldukça hızlıdır.

Avantajlarının yanında YSA uygulamalarında bazı güçlükler de karşılaşılmaktadır. Bunların bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- YSA model seçiminde, ağın yapısını belirlemede belirli kurallar yoktur, kullanıcının tecrübesine bağlı olarak belirlenmektedir. Örneklerin tasarlanması için belirli bir kural bulunmamaktadır. Bir problemin farklı şekillerde gösterilebilmesi ve her gösteriminde performansının farklı olması nedeniyle örneklerin tasarlanması kullanıcının tecrübesine bağlı olmaktadır.
- Ağın davranışının açıklanmasının mümkün olmaması, özellikle insan hayatının söz konusu olduğu problemlerin çözümünde sonuçların neden verilemediğinin açıklanamaması kullanım alanlarının sınırlandırılmasına neden olmaktadır.
- Problemlerin çözümünde optimum sonuçları garanti etmemektedir, en iyi sonuçlardan birini verebilmektedir. Ayrıca örneklerin bulunmasının güç olduğu durumlarda, problemi doğru temsil eden örneklere erişilememesi nedeniyle sağlıklı sonuçlar elde edilememektedir. [45]

1.6. Literatür Araştırması

Polipropilen malzemelerin farklı takviye malzemeleri ile özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik çok sayıda teorik ve deneysel çalışma bulunmaktadır.

Ahşap tozu takviyeli plastik esaslı kompozitlerin reolojik ve mekanik özelliklerinin incelendiği çalışmada, eriyik akış indeksi (EAI), çekme gerilmesi, uzama ve darbe direnci açısından gözlemler yapılmış ve ayrıca tüketilmekte olan plastik hammaddeye etkisi ve sağlayacağı tasarrufu da araştırılmıştır. Saf polipropilen (PP) ve %5, %10 ve %15 oranlarında ahşap tozu karışımları ekstrüzyon makinesi yardımı ile granüle dönüştürülmüştür. Elde edilen karışım malzemeleri saf PP ile karşılaştırmak üzere 4 farklı basınç ve 4 farklı sıcaklık değerleri kullanılarak tayin edilen EAI değerleri, çekme dayanımı ve izod darbe direnci bakımından kıyaslanmıştır. Ahşap tozu takviyeli PP malzemesinin sıcaklığa bağlı olarak EAI ve basınç değerleri incelendiğinde sıcaklık ve basınç değerlerinin artışına bağlı olarak

EAI'nin arttığı tespit edilmiştir. Farklı oranlarda ahşap tozu takviye edilmiş PP malzemeleri kendi aralarında incelendiğinde, saf PP ve ahşap tozu takviye oranı %5, %10 ve %15 olan karışımların sırayla takviye oranının artmasına bağlı olarak EAI, çekme gerilmesi ve izod darbe direnci değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. [9]

Polipropilen malzemelere takviye malzemelerinin etkisini araştıran başka bir çalışmada, öncelikle çeşitli oranlarda polipropilen, kalsit, kısa cam elyaf ve düzenleyici katkı içeren 6 farklı kompozit malzeme ikiz vidalı ekstrüderde karıştırılmıştır. Deney numunelerinde random kopolimer polipropilen, 5,5 µm ortalama partikül büyüklüğüne sahip kalsit, 13 µm nominal çapa ve 6 mm uzunluğa sahip kırılmış cam elyaf ve düzenleyici katkı maddeleri kullanılmıştır. Ektrüzyon prosesi, eş yönlü iç içe geçmiş ikiz vidalı ekstrüder ile gerçekleştirilmiştir ve elde edilen kompozitler enjeksiyon kalıplama ile basılmıştır. Fiziksel özelliklerin incelenmesi sonucunda, kalsit ve cam elyafın yoğunlukları PP'den fazla olduğu için kalsit ve cam elyaf ilavesinin kompozitin yoğunluğunu ve kalsit ve cam elyafı eklenmesi kompozitin erime sıcaklığını bir miktar arttırdığı görülmüştür. Fakat kalsit ve cam elyafı oranlarındaki artış erime sıcaklığını etkilememiştir. Kalsit miktarındaki artış kompozitin sertlik değerini arttırmış fakat cam elyafı miktarındaki artış kompozitin sertliğine etki etmediği gözlemlenmiştir. Mekanik özellikleri incelendiğinde, artan cam elyafı ve kalsit miktarı ile sönümlenme modülü, kayıp modülü ve camsı geçiş sıcaklıkları Tg değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Kalsit ve kısa cam elyafı PP'den daha rijit olduğu için artan cam elyafı ve kalsit dolgusunun elastisite modülü değerlerini arttırdığı gözlenmiştir. Kısa elyaf enjeksiyon esnasında enjeksiyon doğrultusunda yönelmeye çalışmaktadır. Çekme doğrultusundaki bu yönelme elastisite modülü ve akma gerilmesi değerlerini önemli şekilde etkilemekte ve arttırmaktadır. Poisson oranı ve yüzde uzama değerleri artan cam elyafı ve kalsit miktarı ile azalmıştır. Bunun en önemli sebebi PP'nin matris içerisinde azalması ve kalsit ile matris arasında oluşan mikro boşluklarda gerilme yığılması oluşması ve kısa cam elyafın çatlak başlamasına çok yatkın olmasıdır. Kalsit ilavesi çekme elastisite modülünde olduğu gibi malzemeye rijitlik kazandırmış ve eğilme elastisite modülünü arttırmıştır. Yönelmeye çalışan kısa cam elyaf eğilme hareketinde çekmeye maruz kalmaktadır ve bu durumda malzemenin eğilme elastisite modülünü önemli şekilde arttırmaktadır. Artan cam elyaf ve kalsit miktarı ile eğilme elastisite modülü ve eğilme gerilmesi of değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Deney sonucunda artan kalsit ve cam elyafı oranlarının kompozitin darbe mukavemetini azalttığı gözlemlenmiştir. Çünkü kompozit içerisinde azalan PP

miktarı darbe mukavemetini düşürmüştür. Ayrıca kalsit ile matris arasında oluşan mikro boşluklar ve cam elyaf kompoziti gevrek hale getirmiştir. Yapısal inceleme sonucunda, kalsit, cam elyafı ve polipropilen arasındaki etkileşim gözlemlenmiştir. Düzenleyici katkı ilavesinin kalsitin kötü yapışma özelliklerini iyileştirdiği ve ayrıca kısa cam elyaf ile matris arasındaki yapışkan bağı arttırarak mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği gözlemlenmiştir. [56]

Talk mineralinin en yaygın kullanıldığı polimer polipropilendir ve tekli veya hibrit PP kompozit malzemeler üzerinde yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Aşağıda bu konuda yapılan araştırmalardan bazıları yer almaktadır.

Talk içeriği ağırlıkça ,%0, %10 ve %20 olan polipropilen/talk kompozitlerin, tekrarlı ekstrüzyon sırasında reolojik, ısıl, kimyasal ve mekanik özelliklerinin incelendiği çalışmada, ekstrude edilen malzeme mekanik öğütme işlemine tabi tutulduktan sonra tekrar ekstrude edilmiş ve enjeksiyon ile kalıplanmıştır. Harmanların yeniden işlenmesinin, önemli bir oksitlenme olmaksızın termo-mekanik bozulmaya yol açtığı gözlemlenmiştir. Yeniden ekstrüzyonu işleminin uygulanması ile talk partiküllerinin boyutunun önemli ölçüde azaldığı, görünüm boyutunun ise arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun, talk içeriği ile yoğunluğun artmasına bağlı olarak sertlik artışına neden olduğu ve PP'nin termo-mekanik bozunması nedeniyle rijitliğin azalmasının üstesinden geldiği görülmüştür. Katkısız PP ilk kez yeniden ekstrüze edildiğinde akma gerilmesi artarken daha sonraki ekstrüzyon işlemlerinde azaldığı görülmüştür. Ağırlıkça %20 oranında talk içeren PP'nin akma gerilmesi sabit ancak %10 talk içeren PP'de ise akma gerilmesinin arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, talkın yeniden ekstrüzyon sırasında PP/talk kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. [11]

Başka bir çalışmada, düşük yoğunluklu ve yüksek kristalite polipropilenin, çekme gerilmesi esnasında, yüzey deformasyonu ve ilerlemesinin mikromekanizmasına, talk ve volastonit yani kalsiyum silikat cevheri ($CaSiO_3$)nin etkisi incelenmiştir. Mineral katkılı polipropilen gerilme modülünde artış sergilerken, akma gerilmesi etkisiz kalmıştır. Mineral katkılarının, kristallik yüzdesinin tutarlı artışı ile çekirdek oluşumu oranını artırdığı gözlemlenmiştir. Talk veya kalsiyum silikat katkısı ile, katkısız pp'deki bant ya da ince çaltak deformasyonundan, mineral katkılı düşük kristalize pp kompozitlerinkama veya sırt yırtılmasına pp'nin başlıca deformasyon mikromekanizması değişmektedir. Bununla beraber, yüksek kristalize pp kompozitlerde kama bulunmamaktadır.Çatlama, yırtılma ve gevrek biçimdeki

deformasyon katkısız PP için çatlak şeklinde olurken, katkılı pp'nin nihai çatlağı, gevrek ve lifli biçimden oluşan karışık bir şekilde oluşur.[57]

Bir diğer çalışmada, kimyasal köpürme ajanı ve talk dolgusunun, saf pp ve ağırlıkça %20 talk dolgulu pp kompozitlerin mikrohüresel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kimyasal köpürme ajanı, ağırlıkça %1 ve %2 oranında saf pp ve pp/talk kompozit malzemeye eklenmiştir. Köpük malzemeleri enjeksiyon kalıplama cihazı kullanılarak, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, erime sıcaklığı ve paketleme basıncı parametre seti ile üretilmiştir. Her parametre seti için, hücre sayısı, hücre boyutu, hücreler arası mesafe, yüzey katmanı kalınlığı, hücre yoğunluğu ve köpük ürünlerinin mekanik özellikleri kayıt altına alınmıştır. Sonuçlar, mikrohüresel talk dolgulu pp kompozit köpüklerin, hücre boyutu, darbe dayanımı ve kırılma uzama değerlerinin saf mikrohüresel pp köpükden daha düşük, hücre sayısı, hücre yoğunluğu, yüzey katmanı kalınlığı, gerilme dayanımı ve gerilme modülü değerlerinin daha yüksek olduğunu göstermiştir.[58]

Kimyasal olarak birleşmiş polipropilen kompozitlerin, salınımlı kesme de reolojik özelliklerine, yapısına ve mekanik performansına, talk ve mika takviyesinin etkisinin incelendiği çalışmada, polimer matrisi ile mineral partiküllerinin birleşmesi için bağlanma düzenleyicisi olarak maleik anhidrit yapıdaki polipropilen (MAPP) kullanılmıştır. Numuneler, Boy/Çap:40 ve 25 mm oranındaki çift vidalı ekstruder ile üretilmiştir. Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiş, ağırlıkça %20 oranına kadar talk dolgulu PP numuneleri üzerinde gerilme deneyleri yapılmıştır. PP-mika kompozitlerin gerilme dayanımının, mikanın tüm yüzdeleri için hafif azaldığı görülmüştür. MAPP kullanımı ile kimyasal birleşmenin etkisinden dolayı PP-mika kompozitin artan gerileme dayanımı,PP-talk kompozitten daha belirgindir. Saf PP ve kompozitlerin karmaşık viskozite kavis, düşük frekansı ısı bölgede %30 ağırlık oranına göre bir newton düzlüğü (η_0) göstermiştir.Dolgu oranının ağırlıkça %40 ve 50 oranında artışı, çok düşük kesme oranında karmaşık viskoziteyi kesin bir şekilde artırmıştır ve eriyiz içinde dolgu partüküllerinin şekline bağlı olabilecek bir akma davranışı sergilemiştir. Optimum birleşme ajanı kullanıldığında, MAPP içeriğine karşın minimum çapraz frekans eğrisi göstermiştir. Optimum birleşme ajanı miktarı PP-talk kompozitler için yaklaşık %1,5 ve PP-mika kompozitler için %3'dür. Güç yasasının üst bölgesinde viskozite davranışının analizinde, PP reçinenin kesme incilmesi üzerinde mikanın etkisinin talkdan daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. [6]

Yapılan bir araştırmada, plastik deformasyon boyunca mikroyapının evrimine ve gerilme yükleme oranına, saf yüksek izotaktik polipropilen ve talk ve volastonit yani kalsiyum silikat cevheri (CaSiO₃) takviyeli yüksek izotaktik polipropilenin tepkisi tanımlanmıştır. Takviyeli ve takviyesiz PP malzemeleri gerilme yükleme oranına önemli hassasiyet sergiler ve gerinim oranı hassasiyet indeksi parametresindeki değişim, çatlağın oluşumu ve plastik deformasyonun mikromekanizması da değişim anlamına gelir. Talk ve kalsiyum silikatın birlikte takviyeli olduğu PP'de plastik deformasyon , gevrek kırılma, liflenme, kama, sırt-yırılma tarafından karakterize edilirken, saf yüksek izotaktik PP ise çatlak-yırılma ve gevrek kırılma tarafından karakterize edilir. Gevrek kırılma pp matrisinden mineral partiküllerinin ayrılması ile ilgilidir.  malzemenin tümünün akma gerilmesi, benzer yükleme oranı ve benzer aktivasyon hacmine bağımlılık sergilemektedir.[7]

Talk mineralinin PP zerindeki etkisini farklı bir boyutta irdeleneyen bir çalışmada, mikroboyutlu ve nano boyutlu talk dolgusunun, katkılı pp kompozit matrislerin mekanik ve fizikokimyasal özelliklerine etkisi incelenmiştir. Mekanik zellikleri, mikrolekte sertlik testi ile ölçülmüştür. Diferansiyel termal analiz ve termogravimetrik analiz tarafından, 40 ila 600 ° C arasında test edilen ısıl kararlılık ölçülmüştür. Dolgu içeriğinin artışı, kırılma tokluğunda eşzamanlı bir azalma ile kompozit malzemenin mekanik dayanımının artmasına neden olmuştur. Gerilme dayanımında gözlemlenen artış, %15den %25'e (kırılmada 22 Mpa olarak bulunan maksimum gerilme dayanımı) kadar değişmektedir. Mekanik dayanımdaki artış, ortalama darbe dayanımındaki %23'lk azalmanın yansıması olan yüksek gevrekliğe eşzamanlı olarak neden olmuştur. Talk-PP kompozitin dolgu derecesindeki artış ile ısıl oksidatif kararlılık artmıştır, en yüksek değer ağırlıkça %20 dolgu içeren numunede görülmüştür.[59]

Talk dolgulu PP kompozitlerin elektriksel, elastik ve ısıl özelliklerinin dahil olduğu fiziksel karakterizasyonu çalışıldığı bir araştırmada, sıcaklığa bağlı olarak bulunan geri sıçrama testleri boyunca kompozitlerin Young's Modülü llmştr. Hem sıcaklık ve hemde talk içeriğinin artışı ile darbe deneyleri ile direnç ölçülmüştür. Gözlemlenen direnç değerleri , malzemenin elektrik iletkenliğinin düşük olduğunu göstermiştir. Elektrik iletim prosesi için aktivasyon enerjisi belirlenmiştir. [60]

Tek ve hibrit polipropilen kompozitlerin özelliklerinin incelendiği bir çalışmada ise, talk, silika ve (CaCO₃) olmak üzere üç farklı mineral dolgunun eklenmesinin neden

olduğu etkiler araştırılmıştır. Hibrit sistemlerde, ağırlıkça %40 oranında dolgulu silika-talk ve kalsiyum karbonat-talk 'un etkileri belirlenmiştir. Sonuçlar, her iki hibritin PP'nin dayanımı üzerinde önemli bir etkisi olmadığını ancak silika-talk'ın kalsiyum karbonat-talk göre daha yüksek modüle sahip olduğunu göstermiştir. Isıl özelliklerde ise, her iki hibritinde, PP'nin kristalizasyon sıcaklığını artıran bir çekirdeklenme yeteneğine ve daha iyi ısıl kararlılığa sahip olduğu görülmüştür.[61]

İki yüksek kristallikteki polipropilen (YKPP) kompozit sistem olan YKPP-talk ve YKPP- kalsiyum karbonat (CaCO_3) 'ın mekanik özellikleri ve sertleşme mekanizmasının incelendiği başka bir çalışmada, PP-talk'ın çekme modülünde önemli ölçüde ilerleme görülürken, PP- CaCO_3 da makul seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Kalsiyum karbonat partiküllerinin YKPP'ye girişi β faz kristallerinin ölçülebilir bir miktarının çekirdeklenmesine yardımcı olmuştur ve YKPP kristalizasyonunun yavaşlaması sebebiyle kristalizasyon sıcaklığında önemli bir düşme ile sonuçlanmıştır. Ayrıca, sıcaklık aralığı çalışması boyunca, YKPP- CaCO_3 nanokompozitler YKPP-talk 'den daha belirgin sönümlenme özellikleri göstermiştir. Çatlama mekanizması detaylı incelendiğinde, iyi dağılmış ve yüksek oryantasyonlu talk partiküllerinin YKPP'nin gevrekleşmesine neden öne sürülmüştür. Sadece numunelerin uçlarına doğru çatlak uzadığında, çatlak sapması/dallanması ve mikroçatlak mekanizması başlatılacaktır. YKPP- CaCO_3 da, eğer test hızı yarı statik ise, CaCO_3 nanopartikülleri, büyük yüzey çatlama ve kayma akmasını tetiklemeye yardım eder. Sonuçlar, YKPP'nin içinde CaCO_3 nanopartiküllerinin özümsemesinin, gelişmiş modül ve sertlik üretebileceğini ortaya koymuştur. [62]

PP kompozitlerin ele alındığı bir çalışmada, plaka şeklinde talk ve küresel şekillerdeki CaCO_3 ve cam küre inorganik dolgu maddelerinin polipropilenin fiziksel, ısıl, morfolojik ve mekanik özelliklerine etkilerini incelemektir. Dolgu maddeleri polipropilen ile ekstruderde ağırlık olarak %10, 20, 30 ve 40 oranında karıştırılmışlardır. Hazırlanan karışımlar enjeksiyon kalıplama yöntemiyle standart numuneler halinde basılmış ve testler gerçekleştirilmiştir. Talk dolgusu polipropilenin mekanik özelliklerini diğer dolgu maddelerine göre arttırmasından dolayı güçlendirici dolgu maddesi olarak düşünülebilir. Ancak, birleşme çizgisi varlığında plaka şeklindeki talkın yönlenmesinden dolayı, akma dayanımı ve yüzde uzama değerlerinde önemli düşüşler gözlenmiştir. Küresel şekildeki CaCO_3 ve cam küre dolgularının ise tüm dolgu oranlarında birleşme çizgisi içeren numunelerde plaka şeklindeki talka göre çok daha iyi akma dayanımı ve yüzde uzama değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, dolgu maddelerinin ikili karışımlarından oluşan hibrit

bileşikleri de polipropilene eklenip, testler uygulanmıştır. Hibrit bileşikler için dolgu oranı ağırlıkça %40 olarak belirlenmiştir. %10-30, %20-20 ve %30-10 olacak şekilde karışımlar hazırlanmış ve testler gerçekleştirilmiştir. İki farklı dolgu maddesinin avantajlarının birleşmesi ile sinerjik bir etki oluşmuş ve oluşan bu sinerjik etki ile özellikle birleşme çizgisi olması durumunda polimerin mekanik özelliklerinde iyileşmeler meydana gelmiştir. Testler sonucunda, talk içeren hibrit karışımların daha iyi değerlere sahip olduğu bulunmuştur. Talk/CaCO₃ hibrit dolgusunun birleşme çizgisi varlığında bile polipropilen matrisi güçlendirici özelliği olduğu tespit edilmiştir. [17]

Polipropilen blok kopolimer (PP-B) borunun kısa süreli iç basınç performans özelliklerine talk mineral dolgu maddesinin etkisi çalışılmıştır. Çift vidalı ekstrüzyon makinesinde hacimce %10, %15, %17,5 ve %20 oranlarında talk mineral dolgu maddesi granül haldeki PP-B boru hammaddesine toz halinde ilave edilerek granül halde mineral dolgulu poliolefin karışımlar elde edilmiştir. Elde edilen hammadde enjeksiyon makinesinde daha önceden özel olarak hazırlanmış enjeksiyon kalıbına basılarak çok amaçlı deney numuneleri elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, Elastisite (Young's) Modülü özelliklerine artan dolgu miktarına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Çekmedeki akma mukavemetinin ve çekmedeki % akma uzamasının talk mineralinin artan dolgu miktarına bağlı olarak düştüğü görülmüştür. Artan talk mineral dolgu içeriğine bağlı olarak malzemenin gevrekleşmesi, malzeme içerisindeki dolgu dağılımının homojen olmaması, topaklaşmaların artması, hammadde ile dolgu etkileşiminin az olması gibi sebeplerden Charpy darbe dayanımında % 80'lere varan bir azalma meydana gelmiştir. Yoğunluk, erime akış hızı özelliklerinin artan dolgu miktarı ile arttığı gözlemlenmiştir. Sertlik özelliklerinde, artan dolgu miktarına bağlı olarak ve tane boyutları küçükdükçe daha yüksek olmak kaydıyla artma tespit edilmiştir. [3]

Bor ürünü olan ve Türkiye'de temininin kolaylıkla gerçekleştirildiği değerlendirilen kolemanit mineralinin PP polimerler üzerindeki etkisi inceleyen araştırmalardan bazıları aşağıda yer almaktadır.

Kolemanit içeren PP homopolimer ve random kopolimerlerin incelendiği çalışmada, elekaltı tane boyu 45 µm olan kolemanit ile kalsiyum karbonat (CaCO₃) mikropartikülden farklı miktarlarda takviyeli polipropilen homopolimer malzeme ve elekaltı tane boyu 38 µm ve 45 µm olan kolemanit ile talk mikropartikülden farklı miktarlarda takviyeli polipropilen random kopolimer malzeme kullanılmıştır. Çift vidalı

birbirine paralel dönen ekstrüderde, farklı yüzde ağırlık oranlarında ilave yapılarak elde edilmiş olan dolgulu ve dolgusuz granüller, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle eğme numunesi basılmıştır. Üç nokta eğme deneyleri yapılmış ve KIC (kritik gerilme şiddeti faktörü) ile GIC (kritik enerji boşalma oranı) değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar kolemanit bor maddesinin, kalsiyum karbonatın ve talkın değişen ağırlık oranları için malzemenin kırılma özelliklerini etkilediğini göstermiştir. Kolemanit dolgulu PP'nin kırılma şiddeti faktörünün katkısı PP'ye göre arttığı, ancak kolemanit dolgulu PP'ye talk ilave edilmesi sonucu artan talk dolgusu ile kırılma şiddeti faktörünün azaldığı gözlemlenmiştir. Talk miktarı artıkça, %10 kolemanit dolgulu polipropilen random kopolimer malzemenin gerilme şiddeti faktörü azalırken, naturel malzemeye göre hibrit dolgulandırma polipropilen random kopolimer malzemenin gerilme şiddetinde artışa sebep olduğu görülmüştür. [23]

Gerçekleştirilen bir diğer çalışmada; toz haldeki Polipropilen (PP) malzemeye %5, %7,5, %11,25, %16,875 ve %25,3125 oranlarında çinko borat ve kolemanit ilave edilerek çinko borat ve kolemanit katkılı PP granülleri ,oksitlenmeyi önlemek amacıyla %0,2 oranında antioksidan katılarak üretilmiştir. Farklı oranlarda çinko borat ve kolemanit katkılı PP'nin mekanik, ısı ve oksijen değişimlerini tespit edebilmek için deney numuneleri üretilmiştir. Deneyler sonucunda, çinko borat katkılı PP malzemesinin artan takviye oranına göre viskozitesinde artış olduğu ancak, artan sıcaklık ve basınç ile viskozite değerinde azalma olduğu görülmektedir. Bununla beraber çinko borat katkılı ve kolemanit katkı oranı arttıkça erime akış indeksi (EAI) değerinde azalma olduğu ancak basınç ve sıcaklık artışına bağlı olarak EAI değerinin arttığı da görülmektedir. Farklı oranlarda çinko borat katkılı ve kolemanit PP'nin katkı oranı arttıkça kayma hızının azaldığı, ancak artan basınç ve sıcaklık ile birlikte arttığı, kayma hızı artışına bağlı olarak viskozitenin parabolik olarak azaldığı, EAI'nin sabit basınç ve sıcaklıkta kayma hızına bağlı olarak arttığı akma noktası artan katkı oranına bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Çinko borat ve kolemanit katkılı PP'nin çekme dayanımı, kopma dayanımı, akma dayanımı ve % uzamasının artan katkı oranına göre azaldığı tespit edilmiştir. Akma noktasının ise artan katkı oranına bağlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir.[14]

Bor cevherinin bir ürünü olan kolemanitin polipropilen malzemelerde dolgu maddesi olarak kullanımının kompozit malzemenin ısı özelliklerine etkisinin incelendiği çalışmada, polipropilen homopolimer ve polipropilen kopolimer, farklı oranlarda 75 mikron tane boyutlu kolemanit ve polipropilen ile en yaygın kullanılan mikronize dolgu maddesi kalsiyum karbonat ve talk ile harmanlanarak kompozit malzemeler

elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, polipropilen homopolimer malzemede, kolemanit oranı ve tane büyüklüğünün erime ve yumuşama sıcaklığını etkilemediği, polipropilen kopolimer malzemede ise erime sıcaklığını etkilemezken yumuşama sıcaklığında çok az düşüş olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca polipropilen kopolimerin polipropilen homopolimere göre daha iyi bir matris – katkı maddesi arayüzü bağına sahip olduğu gözlemlenmiştir. [37]

Başka bir araştırmada ise, ağırlıkça %5, 7,5, 11,25, 16,875 ve 25,312 pudra formunda kolemanit katkılı PP incelenmiştir. Oksidasyonu önlemek için, %0,2 oranında antioksidan (Songnox 1010), colemanit dolgulu PP karışımına eklenmiştir. Sonuçta oluşan kompozit malzemelerin reolojik özellikleri, erime akış indek test cihazı kullanılarak, dört ayrı basınç değeri (298,2, 524, 689,5 ve 987,4 kPa) ve dört ayrı sıcaklık değeri (190°C , 200°C , 210°C ve 220°C) alınarak belirlenmiştir. Kolemanit takviyeli PP'nin, viskozitesi, kayma oranı, kayma gerilmesi ve güç yasası indeks değeri ölçüldü. Kolemanit içeriğinin artırılması sonucu viskozite değerlerinin yaklaşık olarak %60 arttığı, kayma oranının %62 azaldığı belirlendi. Artan sıcaklık ve basınç değerleri ile viskozite değerlerinin azaldığı, kayma oranının arttığı bulundu. Ayrıca, güç yasası indeksi için 0,561 ve 0,687 arasında değişen, kullanılan kolemanit içeriğine dayanılarak, 0.608 'lik bir ortalama değer bulunmuştur. [13]

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Kullanılan malzemeler

Bu çalışmada, düşük, orta ve yüksek akışkanlıkta polipropilen homopolimer hammaddeleri granül olarak Turkplene ve Petkim firmalarından temin edilerek kullanılmıştır. Granül halindeki polipropilen hammaddesine, talk ve kolemanit maddeleri, ikisi birlikte ağırlıkça toplamda %15 oranında olacak şekilde ilave edilmiştir. Talk mineral maddesi IMI Fabi S.p.A firmasından, ortalama 3,5 µm tane boyutunda ve mikronize pudra halinde, kolemanit mineral maddesi ise ETİ Maden İşletmeleri Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğünden, elekaltı 45 µm tane boyutunda ve öğütülmüş halde temin edilmiştir.

2.1.1. Polipropilen

Erime akış hızı referans alınarak, düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç farklı düzeyde akışkanlığa sahip polipropilen homopolimer hammaddesi kullanılmıştır. Turkmenplene firmasından TPP D 30 S ticari ismi ile düşük akışkanlığa sahip polipropilen homopolimer (DPPH), PETKIM firmasından PETOPLen MH 418 ticari ismi ile orta akışkanlığa sahip polipropilen homopolimer (OPPH) ve PETOPLen MH 102 ticari ismi yüksek akışkanlığa sahip polipropilen homopolimer (YPPH) temin edilmiştir. Polipropilen hammaddelerin üretici firmalardan temin edilen mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 2.1'de yer almaktadır.

Tablo 2. 1. Polipropilen hammaddelerin üretici bilgileri [63,64]

Özellik	TPP D 30 S		PETOPL EN MH 418		PETOPL EN EH 102	
	Test Standardı	Değer	Test Standardı	Değer	Test Standardı	Değer
Erime Akış Hızı (MFR) (2160 g, 230 °C)	MA17066/ISO 1133	2,7-3,7 g/10d	ASTM D- 1238	4,0-6,0 g/ 10d	ASTM D- 1238	9,0-13,0 g/10d
Yoğunluk	ISO 1183	900 Kg/m ³	ASTM D1505	0,905 g/cm ³	ASTM D1505	0,905 g/cm ³
Akma Gerilmesi	ISO 527 1/2	30 Mpa	ASTM D638	34 Mpa	ASTM D638	35 Mpa
Deformasyon Sıcaklığı	MA17323	110 °C	ASTM D648	113 °C	ASTM D648	114 °C
İzod Çentikli Darbe Dayanımı (23 °C)	ISO 180/1A	3,5 KJ/m ²	ASTM D256	21,6 j/m	ASTM D256	19,6 j/m
Eğilme Modülü (23 °C)	ISO 178	1300 Mpa	TS EN ISO 178	1450 Mpa	TS EN ISO 178	1450 Mpa

2.1.2. Talk

Mikronize pudra halinde, 3,5 µm ortalama tane boyutunda talk minerali IMI Fabi S.p.A firmasından temin edilmiştir. Talk ve Klorit oranı %90, Magnezit ve Dolomit oranı %10 olan, Talc CM2 üretici kodlu talk mineralinin fiziksel özellikleri Tablo 2.2 de gösterilmiştir.

Tablo 2. 2. Talk mineralinin fiziksel özellikleri

Özellik	Test Metodu	Birim	Talc CM2
Ortalama Partikül Çapı	D50 %	mikro metre	3,5
Top Cut	D98	mikro metre	13
Yoğunluk	DIN 53193	g/cm ³	2,8
Dökme Yoğunluğu	M.I. 93003	g/cm ³	0,29
Sıkıştırılmış Yoğunluk	M.I. 93003	g/cm ³	0,48
Özgül Yüzey	DIN 66131/2	m ² /g	6
Sertlik	Mohs scale	Talc	1
		Magnesite/Dolomite	3
Yağ emme oranı	M.I. 93008	g/100g	41
Nem miktarı (105 °C'de)	M.I. 93005	%	0,2

2.1.3. Kolemanit

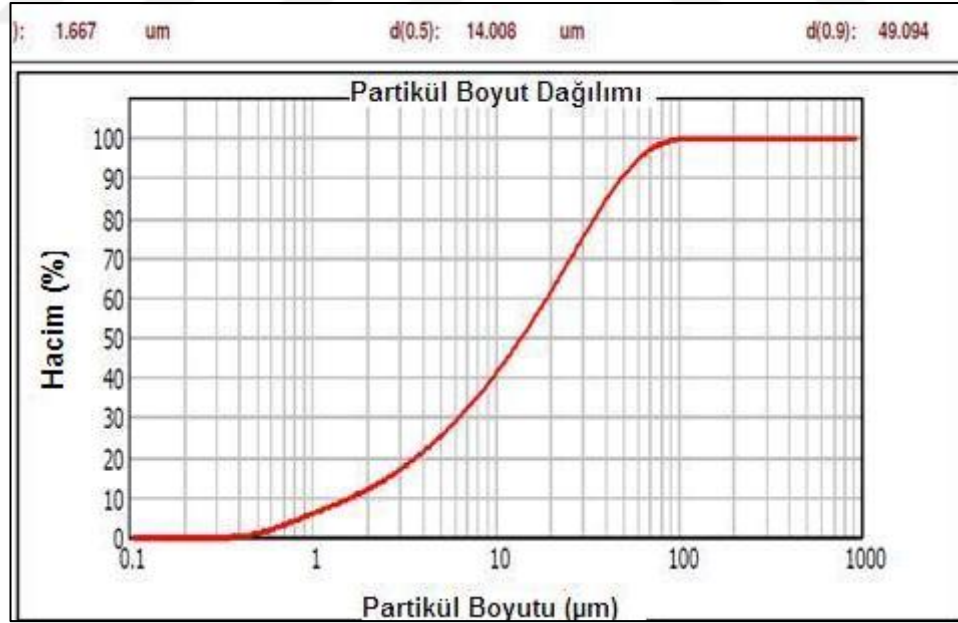
Öğütülmüş halde , elekaltı 45 µm boyutunda kolemanit minerali ETİ Maden İşletmeleri Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü firmasından temin edilmiştir. Çalışmada

kullanılan kolemanit mineralinin üretici firmadan alınan fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2.3' da yer almaktadır.

Tablo 2. 3. Öğütülmüş kolemanit mineralinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (ETİ Maden İşletmeleri Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü)

Kimyasal Özellikleri		Fiziksel Özellikler	
B ₂ O ₃	40%	Ortalama Partikül Çapı (D50 %)	14,008 µm
CaO	27%	Top Cut (D90 %)	49,094 µm
SiO ₂	6.50%	Yoğunluk	2,42 g/cm ³
Al ₂ O ₃	0.40%	Dökme Yoğunluğu	0,8 – 1 g/cm ³
MgO	3%		
SiO	1.50%		
Na ₂ O	0.35%		
Fe ₂ O ₂	0.08%		
SO ₄	0.60%		
As	35 ppm		

Elek altı 45 µm tane boyutunda kolemanit mineralinin tane boyu analizi Şekil 2.1' de yer almaktadır.



Şekil 2. 1. Elekaltı 45 µm öğütülmüş kolemanit mineralinin tane boyu analizi

2.2. Deney Tasarımı

2.2.1. Deneyin amacı ve kapsamı

Bu çalışmada yapılan gözlemler ile homopolimer polipropilen termoplastiklerin çekme özelliklerine, talk ve kolemanit katkı maddelerinin yanı sıra üretim parametrelerinin etkisinin incelenmesi ve parametrelerin optimum değerlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Taguchi deney tasarım yöntemiyle oluşturulan deney desenine uygun numunelere sırasıyla çekme deneyi, MFR ve DSC deneyleri uygulanmıştır. Polipropilenin akışkanlık özelliğine bağlı olarak ürünün yapısında oluşacak farklılıklar göz önüne alınmış ve üç farklı polipropilen için ayrı deney deseni oluşturulmuş, deney sonuçları irdelenirken hem her bir polipropilen ürün için ayrı ayrı hemde akışkanlık özelliğini de içerecek şekilde üç ürün birlikte değerlendirilmiştir.

2.2.2. Faktörlerin ve faktör seviyelerinin belirlenmesi

Takviye malzemeleri ve katkı oranlarının etkilerinin yanı sıra uygulanan üretim prosesine göre meydana gelebilecek farklılıkları göz ardı etmek mümkün değildir. Üretim yöntemi, kullanılan cihaz ve özellikleri, sıcaklık, basınç ve hız gibi üretim parametrelerinin ürünün özelliklerine etkisi yapılan çalışmada göz önüne alınarak, ürünün özelliklerini önemli ölçüde etkileyeceği ön görülen parametreler belirlenmiştir. Akışkanlık özellikleri düşük, orta ve yüksek seviyede olmak üzere, üç farklı PPH hammaddesi kullanılmıştır. Akışkanlık seviyeleri farklı her bir PPH hammaddesine toplamda %15 geçmeyecek şekilde talk ve kolemanit ilave edilmiştir.

Bu kapsamda; deney faktörleri, ağırlıkça toplamda %15'i (10+5, 7,5+7,5, 5+10) aşmayacak şekilde talk ve kolemanit katkı oranları, meme sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), kalıp sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) ve enjeksiyon hızı (mm/s) parametreleri alınmıştır. Her bir deney faktörü için faktör seviyesi olarak 3 değer belirlenmiştir. Tablo 2.4' de deney faktörleri ve seviyeleri yer almaktadır.

Tablo 2. 4. Deney Faktörleri ve Seviyeleri

Faktör	Seviye1	Seviye2	Seviye3
A: Talk Oranı % + Kolemanit Oranı %	10+5	7,5+7,5	5+10
B: Meme Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	180	220	260
C: Enjeksiyon Hızı (mm/s)	5	15	25
D: Kalıp Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	10	30	50

2.2.3. Ortogonal dizin ve faktörlerin ortogonal dizine atanması

Deney kapsamında, oluşturulan deney deseni Minitab 17 programı yardımıyla belirlenmiştir. Akışkanlık özelliklerine göre seçilen üç farklı polipropilenin Deney faktör sayısı 4, faktörlerin seviye sayısı 3 olarak alındığında $3^4= 81$ adet kombinasyonlu deney çalışması yapılması yerine ortogonal dizin oluşturularak L_9 kesirli deney için 5 gözlem tekrar edilmiştir. L_9 deney deseni Tablo 2.5' de olduğu gibidir.

Tablo 2. 5. L_9 Deney Deseni

Deney No	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Tablo 2.6'da ortogonal dizine faktör seviyeleri atanarak deney çalışmasının çerçevesi oluşturulmuştur.

Tablo 2. 6. Faktör seviyelerinin atandığı deney deseni

Dene y No	Talk Oranı %+ Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
1	10+5	180	5	10
2	10+5	220	15	30
3	10+5	260	25	50
4	7,5+7,5	180	15	50
5	7,5+7,5	220	25	10
6	7,5+7,5	260	5	30
7	5+10	180	25	30
8	5+10	220	5	50
9	5+10	260	15	10

2.2.4. Çok yanıtli kalite değişkenlerinin eşzamanlı en iyilenmesi

Bu çalışmada; elastisite (Young's) modülü, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzaması kalite değişkenlerinin taguchi yöntemiyle eşzamanlı en iyilenmesi yapılmıştır.

Birden çok kalite değişkeninin olduğu deney tasarımlarında; her değişken için kayıp fonksiyonları farklı olmakta ve bu nedenle her bir değişken için kayıp doğrudan karşılaştırılmamakta ve toplanamamaktadır. Her bir değişkenin ölçü biriminin farklı olması kaybında farklı olmasına sebep olmaktadır. Bunların yanı sıra her değişkenin öneminin farklılık göstermesi nedeniyle çok yanıtli sinyal-gürültü (MRSN) oranını belirlemek amacıyla; Taguchi'nin S/G hesaplama algoritması kullanılarak bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemin adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kalite Kayıplarının Hesaplanması
- Çok Yanıtli S/G (MRSN) Oranının Belirlenmesi
- En İyi Faktör Seviyelerinin Belirlenmesi
- Doğrulama Deneyinin Yapılması

Çok yanıtli S/G (MRSN) oranının belirlenmesi için aşağıdaki adımların uygulanması gerekmektedir.

Her bir yanıt değişkeninin kalite kaybı normalleştirilir. Normalleştirme işlemine aiformül Denklem (2.1) verilmiştir.

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i^*}, \quad L_i^* = \max \{L_{i1}, L_{i2}, L_{i3}, \dots, L_{ij}\} \text{ dir.} \quad (2.1)$$

Normalleştirilen toplam kalite kaybı Denklem (2.2) deki gibi hesaplanır.

$$TNQL_j = \sum_{i=1}^m w_i C_{ij} \quad w_i = i. \text{ Normalleştirilen yanıtın ağırlığı (i=1,2,3,\dots,m)} \quad (2.2)$$

Her deneme için MRSN oranı Denklem (2.3) de verilen formül ile belirlenir. [65]

$$MRSN_j = -10 \log_{10}(TNQL_j) \quad (2.3)$$

2.3. Kompozit Hammaddelerin Üretimi

Hammadde üretimi, farklı akışkanlık seviyesine sahip üç farklı polipropilen ile talk ve kolemanit malzemelerinin, deney deseninde belirlenen oranlarda ekstrüzyonu

Bursa'da konuşlu EMAŞ Plastik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketine gerçekleştirilmiştir. Talk ve kolemanit hibrit katkılı PPH hammaddelerinin üretiminde, vida uzunluğu (L/D) 45, burğu boyu (L) 1125 mm olan çift vidalı ekstrüzyon makinası (Coperion Werner ve Pleiderer ZSK 25 P8.2 E WLE) kullanılmıştır. 900 rpm (1/min) devir sayısı, 30 kg/h üretim kapasitesi, 160°C-230°C arasındaki zone sıcaklıklarındaki sabit ekstrüzyon parametrelerinde üretilen granül haldeki kompozit hammaddelerin soğutulması 28°C±2°C deki su banyosunda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen granül kompozit hammaddeler 50°C'de 4 saat kurutulmuştur.

2.4. Deney Numunelerinin Üretimi

Deney numunelerinin üretimi, İstanbul'da konuşlu AKSU TOST Makinaları Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi firmasında gerçekleştirilmiştir. Numuneler, hazırlanan deney deseni esas alınarak, Türk Standartları Enstitüsü'nün TS 1149 EN ISO 294 standardına göre enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiştir. Meme sıcaklığı 180°C, 220°C, 260°C, enjeksiyon hızı 5 mm/s, 15 mm/s, 25 mm/s ve 10°C, 30°C, 50°C kalıp sıcaklığı koşullarında 35 mm vida çaplı enjeksiyon makinası (ENGEL victory 330/50 tech) ile deney numuneleri basılmıştır.

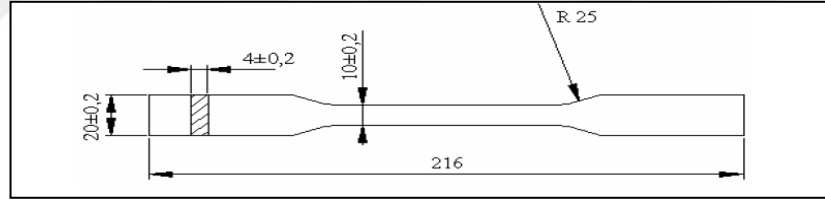
Tablo 2. 7. Deney desenine göre üretilen deney numuneleri

Numune No	Akışkanlık Seviyesi	Talk Oranı %+ Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
D1	Düşük	10+5	180	5	10
D2	Düşük	10+5	220	15	30
D3	Düşük	10+5	260	25	50
D4	Düşük	7,5+7,5	180	15	50
D5	Düşük	7,5+7,5	220	25	10
D6	Düşük	7,5+7,5	260	5	30
D7	Düşük	5+10	180	25	30
D8	Düşük	5+10	220	5	50
D9	Düşük	5+10	260	15	10
O1	Orta	10+5	180	5	10
O2	Orta	10+5	220	15	30
O3	Orta	10+5	260	25	50
O4	Orta	7,5+7,5	180	15	50
O5	Orta	7,5+7,5	220	25	10
O6	Orta	7,5+7,5	260	5	30
O7	Orta	5+10	180	25	30
O8	Orta	5+10	220	5	50
O9	Orta	5+10	260	15	10
Y1	Yüksek	10+5	180	5	10

Tablo 2. 7. (Devam) Deney desenine göre üretilen deney numuneleri

Numune No	Akışkanlık Seviyesi	Talk Oranı % + Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
Y2	Yüksek	10+5	220	15	30
Y3	Yüksek	10+5	260	25	50
Y4	Yüksek	7,5+7,5	180	15	50
Y5	Yüksek	7,5+7,5	220	25	10
Y6	Yüksek	7,5+7,5	260	5	30
Y7	Yüksek	5+10	180	25	30
Y8	Yüksek	5+10	220	5	50
Y9	Yüksek	5+10	260	15	10

Deney deseni esas alınarak, talk ve kolemanit mineralleri ağırlıkça toplamda %15 olacak şekilde polipropilen homopolimere ilave edilmiş ve ekstrüzyon yöntemi ile harmanlanmıştır. Elde edilen hammadde, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle işlenerek TS EN ISO 3167 standardına göre 220 mm x 10 mm x 4 mm ölçülerindeki tip 1A çok amaçlı deney parçaları üretilmiştir. (Şekil 2.2)



Şekil 2. 2. PPH Çekme Deney Numunesi

2.5. Deney Programı

Polipropilen akışkanlık seviyesine göre üç gruba ayrılarak, her bir grup için ağırlıkça talk ve kolemanit yüzde oranı, meme sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı üretim parametrelerinin üç seviyesi için L₉ deney desenine uygun üretilen deney numunelerine sırasıyla çekme, diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve erime akış hızı (MFR) deneyleri uygulanmıştır.

2.5.1. Çekme deneyi

Üretim sonrası çekme deneyleri, TS EN ISO 527-1 dikkate alınarak, üzerinde Clip-on static extensometer (INSTRON 2630-111) bulunan ve Bluehill-2 (2.6 sürüm)

yazılımı kurulu olan 5 kN kapasiteli INSTRON 4411 H 4240 çekme cihazında gerçekleştirilmiştir.

ISO 3167 standardına göre 220 mm x 10 mm x 4 mm ölçülerindeki tip 1A çekme numunesi, çekme cihazına, enjeksiyon girişi çekme cihazının sabit çenesine gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Çekme testlerinde, Young's Modülü için 1 mm/dak ve diğer özellikler için ise 50 mm/dak çekme hızları kullanılmıştır.

2.5.2. Diferansiyel taramalı kalorimetre deney

Kompozit malzemenin fiziksel özelliklerinde sıcaklık değişimleri ile meydana gelen değişimleri tespit etmek amacıyla, Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Deneyi, Kocaeli Üniversitesi Teknopark A.Ş. de yer alan İ.D.E.A.L İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. TA Instruments DSC Q 200 deney cihazı kullanılarak yapılan deneylerde, sıcaklık artışı uygulanarak deney numunesi ve referans numune arasındaki ısı akış değişiklikleri gözlemlenmiştir. Söz konusu ısı akışı değişiklikleri, sıcaklık ve zaman esas alınarak kayıt altına alınmıştır. Böylece numunenin kristalleşme derecesi, kristalleşme sıcaklığı, kristalin erime sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığı gibi ısıl özelliklerine ait bilgiler elde edilmiştir. Isı artışı ile numunenin eriyip kristalleştiği 1. Çekim, ısı düşüşü ile katılaştığı soğutma ve tekrar ısı artışı ile rekristalize olduğu 2. Çekim olmak üzere üç aşamalı ısı geçişi uygulanmıştır. 1. çekim ve soğutma sonrası numune üretim koşullarının etkilerinden arınmış bir mikroyapıya ulaşmıştır. Böylece 2. Çekim ile üretim koşullarının etkisinden bağımsız olarak kompozit içindeki PPH hammaddesinin kristalleşme derecesi tespit edilmiştir.

2.5.3. Erime akış hızı deneyi

Kompozit malzemenin akışkanlık özelliklerinin, üretim sürecine etkilerini tespit etmek amacıyla, Erime Akış Hızı (MFR) deneyleri, Kocaeli Üniversitesi Mekanik Anabilim Dalı Plastik Boru Test Laboratuvarında, Zwick / Roel B4106E erime akış hızı deney cihazı ile gerçekleştirilmiştir. 20 mm ön ısıtma, 116 mm hurda mesafesinden sonra 240 saniye bekleme süresinde, 180 °C ve 220 °C sıcaklıklarında 2,16 kg, 3,8 kg ve 5 kg yüklerde, 230 °C sıcaklığında ise sadece 2,16 kg yük altında numuneler alınarak erime akış hızı (MFR:melt flow rate) ve erime akış oranı (MVR:melt volume rate) değerleri tespit edilmiştir.

2.6. Yapay Sinir Ağları ile Modelleme

Bu çalışmada, elastisite (Young's) modülü, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzaması özelliklerini, çekme deneyi verileri kullanılarak, tahminleme yapan yapay sinir ağı modelleri geliştirilmiştir.

Yapay sinir ağı modelinin oluşturulmasında ve eğitilmesinde MATLAB programı kullanılmıştır.

Elastisite (Young's) modülü, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzaması özelliklerinin her biri için ayrı model geliştirilmiştir. Modellerin girdi katmanları, çekme deneyi faktörleri, çıktı katmanları ise elastisite (Young's) modülü, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzaması değerlerini verecek şekilde tasarlanmıştır.

2.6.1. Veri seti

Taguchi yöntemi ile düzenlenen L_9 ortogonal dizinine göre yapılmış çekme deneyleri veri seti olarak alınmıştır. Deneyler 5 tekrarlı yapıldığı için her bir akışkanlık seviyesi için 5x45'lik veri elde edilmiştir.

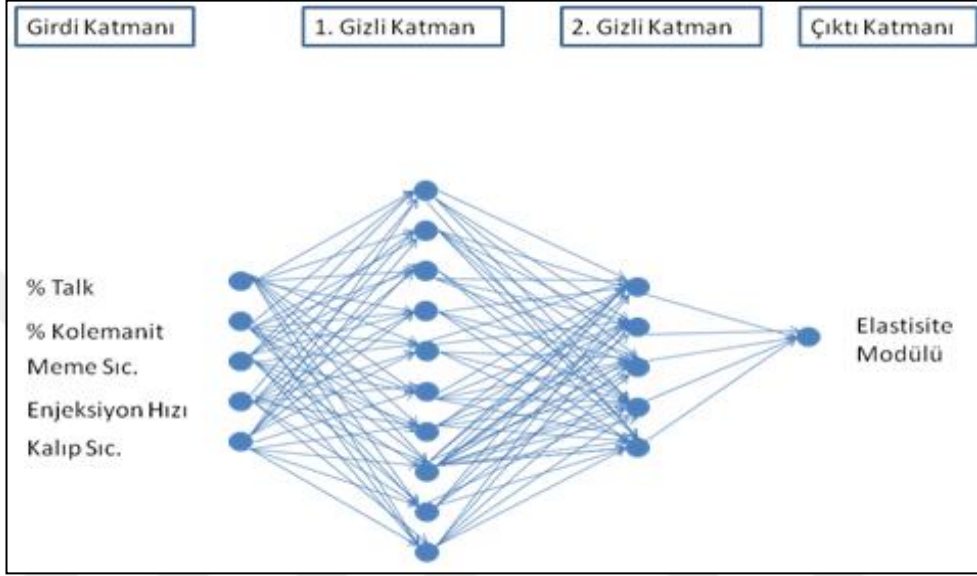
İlk olarak her bir akışkanlık seviyesine ait deney verilerinden oluşan 3 ayrı veri seti ile akışkanlık seviyesinin girdi olarak yer almadığı YSA modeli oluşturulmuştur. Veri sayısının artmasının ağın daha iyi eğitilmesini sağlayacağı değerlendirilerek düşük, orta ve yüksek akışkanlıklı PPH'lerin deney verilerinin bir araya getirildiği 6x135'lik veri seti ile eğitilen başka bir YSA modeli geliştirilmiştir. YSA modelleme çalışmasında kullanılan çekme deneyine ait verilerde ağırlıkça yüzde talk ve kolemanit oranları ayrı sütunlara dağıtmıştır ve akışkanlık düzeyleri nümerik olarak Düşük=1, Orta=2 ve Yüksek=3 şeklinde alınmıştır.

Eğitim esnasında modelin ezberleme yapmasının engellemek amacıyla, veri setindeki değerler rastgele sıralandıktan sonra kullanılmıştır. Yapay sinir ağının eğitilmesinde elimizdeki verilerin 4/5 'i, ağın testinde ise 1/5 'i kullanılmıştır.

2.6.2. Yapay sinir ağının oluşturulması

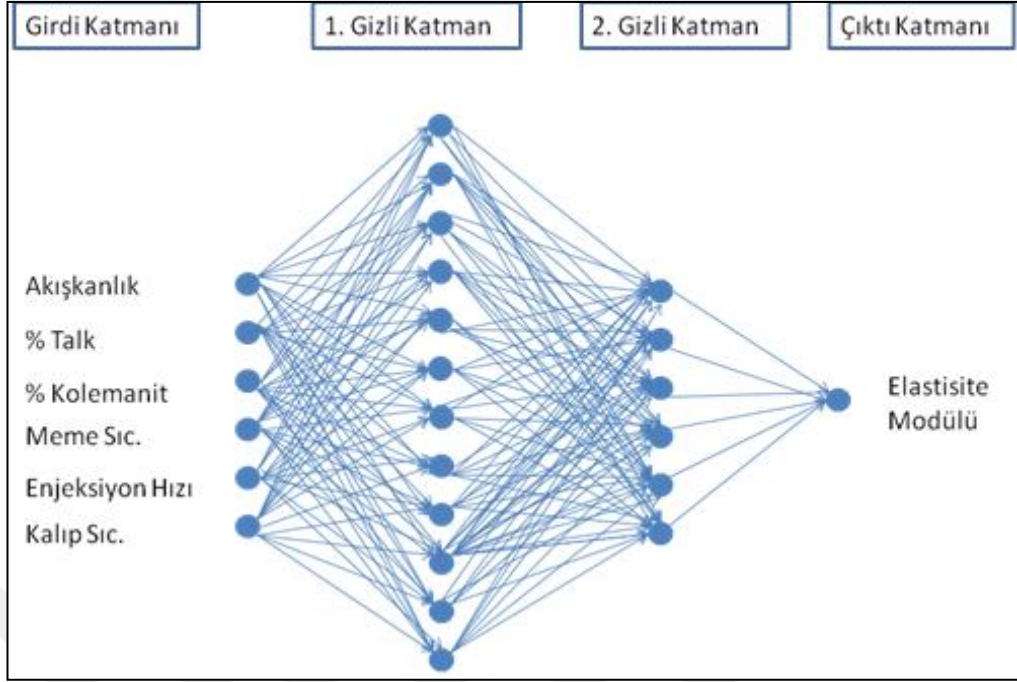
Bu çalışmada, eğitilecek örneklerin girdi ve çıktıları arasında doğrusal bir ilişki bulunmaması nedeniyle çok katmanlı yapay sinir ağı yapısı kullanılmıştır. Çok katmanlı yapay sinir ağı modeli oluşturulurken gizli katman sayısı ve bu katmanların

nöron sayısının az olmasının öğrenme düzeyinin düşüklüğüne, çok olmasının ise öğrenmeyi zorlaştırmasına neden olacağı göz önüne alınmıştır. Her bir akışkanlık seviyesinin verilerinin ayrı kullanıldığı YSA modelinin eğitiminde en iyi sonucu veren, 5 nörondan oluşan girdi katmanı, 10 nörondan oluşan 1.gizli katmanı, 5 nörondan oluşan 2.gizli katmanı ve 1 nörondan oluşan çıktı katmanından oluşan ağ yapısı Şekil 2.3' de görüldüğü gibidir.



Şekil 2. 3 Akışkanlık seviyesine göre geliştirilen çok katmanlı yapay sinir ağı

Tüm akışkanlık seviyelerine ait veriler ile oluşturulan modelin eğitiminde en iyi sonucu veren çok katmanlı yapay sinir ağının yapısı Şekil 2.4' de verilmiştir. Bu yapı, 6 nörondan oluşan girdi katmanı, 12 nörondan oluşan 1.gizli katmanı, 6 nörondan oluşan 2.gizli katmanı ve 1 nörondan oluşan çıktı katmanından meydana gelmektedir.



Şekil 2. 4. Tümü akışkanlık seviyeleri için geliştirilen çok katmanlı yapay sinir ağı

Elde edilen çıktı verisi ile istenen çıktı verisinin kıyaslanması esasına dayalı danışmanlı öğrenme yönteminin uygulandığı bu modelde, çıktı verilerinin tek yönlü iletildiği ileri beslemeli ağ yapısı tercih edilmiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak, çok katmanlı yapay sinir ağı modellerinde yaygın kullanılan sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır.

Yapay sinir ağının eğitiminde, ağırlıklar başlangıçta rastgele belirlenmiş, çıktıların istenen çıktılarla karşılaştırılması sonucu elde edilen hatalar minimize edilene kadar ağırlıklar sürekli değiştirilmiştir. Minimum hatayı bularak modelin performansını ölçmeyi sağlayan ortalama karesel hata (MSE: mean square error) formülü Denklem (2.4)' de verilmiştir. [66]

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - y_i)^2 \quad (2.4)$$

e : İstenen (hedeflenen) çıktı değeri ile ysa modelinin çıktı değeri arasındaki fark

t : İstenen (hedeflenen) çıktı değeri

y : YSA çıktı değeri

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında, talk ve kolemanit hibrit katkılı PPH'nin, çekme deneyleri ile tespit edilen karakteristik özellikleri, DSC ve MFR deneyleri ile elde edilen ısı ve termomekanik özellikleri ile birlikte değerlendirilmiştir.

DSC deneyleri ile kristalin erime sıcaklığı, talk ve kolemanit hibrit katkılı PPH kompozitin ve talk ve kolemanit hibrit katkılı kompozit içindeki PPH'nin kristalleşme dereceleri belirlenmiştir. Natürel PPH, ekstrüze edilmiş PPH ve katkılı PPH numunelerine uygulanan MFR deneyi ile erime akış hızı, erime akış oranı ve erime akış indeksi değerleri tespit edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Analiz çalışmaları içerisinde, Taguchi yöntemi ile çekme deneyi kalite değişkenlerinin birlikte eş zamanlı en iyilenmesinin gerçekleştirildiği "Çok Yanıtlı Kalite Değişkenlerinin En İyilenmesi"nin sonuçları da yer almaktadır. En büyük en iyi algoritmasına göre tüm çekme deneyi kalite değişkenleri eş zamanlı S/G oranı analizine tabi tutularak optimum faktörler belirlenmiştir.

Çekme deneyleri ile elde edilen veriler ile yapay sinir ağı teknolojisi kullanılarak çekme özelliklerin tahminlemesini yapan bir model geliştirilmiştir. Çok katmanlı, ileri beslemeli yapıdaki modelin girdi verileri deney faktörlerinden, çıktı verileri ise deneyin kalite değişkenlerinden meydana gelmektedir.

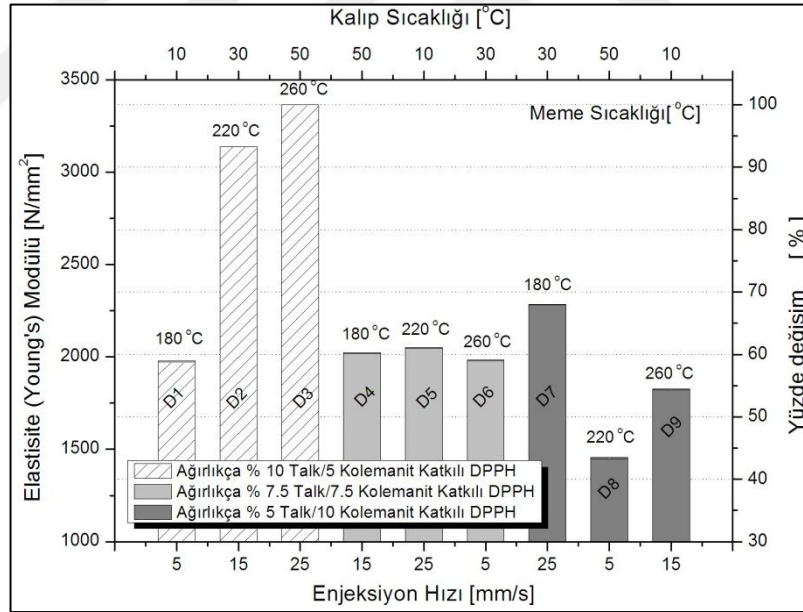
3.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Üretimden hemen sonra yapılan çekme deney esnasında gerçekleştirilen 5 gözlemin sonucunda ölçülen kopma gerilmesi (N/mm^2), kopma uzaması (%), akma gerilmesi (N/mm^2), akma uzaması (%) ve elastisite modülü (N/mm^2) değerleri EK-A' da yer almaktadır. Farklı akışkanlığa sahip polipropilen homopolimer deney numunelerine üretimden hemen sonra uygulanan çekme deneyleri ile tespit edilen karakteristik özelliklerin ağırlıkça yüzde talk ve kolemanit oranı ve üretim parametrelerine göre gösterdiği değişimler incelenmiştir.

3.1.1. Elastisite (Young's) modülü

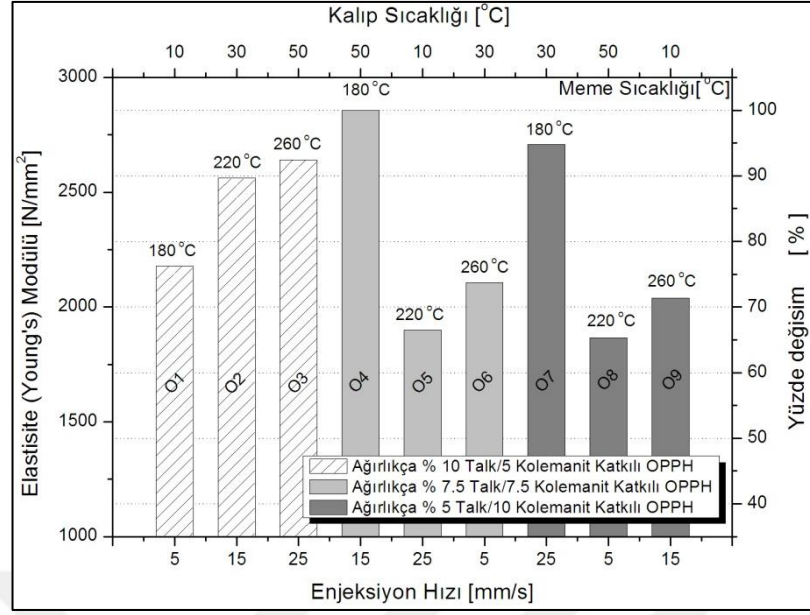
Akışkanlıklarına göre numunelerin elastisite (Young's) modülü değerlerinin grafiksel görünümü Şekil 3.1' de verilmiştir. Şekil 3.1 (a)' da DPPH deney numuneleri arasında en iyi elastisite (Young's) modülü D3 numunesinde, başka bir deyişle ağırlıkça %10 talk, %5 kolemanit içeren, 260 °C meme sıcaklığı, 25 mm/s enjeksiyon hızı ve 50 °C kalıp sıcaklığı parametreleri ile üretilen deney parçası ile elde edilmektedir.

Düşük akışkanlığa sahip PPH numunelerinde, ağırlıkça % talk oranının artmasına bağlı olarak erime akış indeksinin de düşerek akışkanlık özelliğinin azalması, en yüksek üretim parametreleri olan 260 °C meme sıcaklığı, 25 mm/s enjeksiyon hızı ve 50 °C kalıp sıcaklığının akışkanlığı artırması ile dengelenmekte ve en iyi elastisite (Young's) modülü elde edilmektedir. DPPH numuneleri arasında en düşük elastisite (Young's) modülü değerini veren D8 numunesi ile D3 numunesi arasında yüzde değişimin 56,75 olduğu tespit edilmiştir.

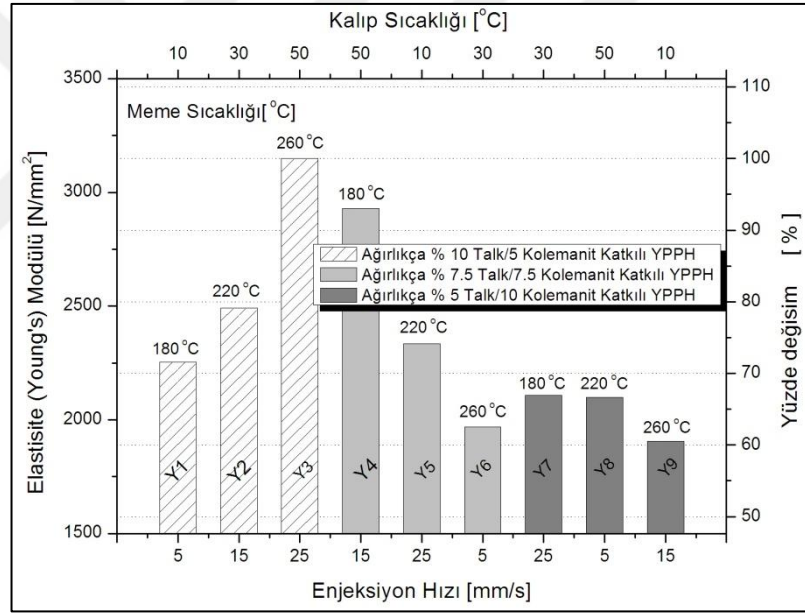


(a)

Şekil 3. 1. Akışkanlık seviyelerine göre (a) düşük (b) orta (c) yüksek PPH numunelerinin elastisite (Young's) modülü



(b)



(c)

Şekil 3.1. (Devam) Akışkanlık seviyelerine göre (a) düşük (b) orta (c) yüksek PPH numunelerinin elastisite (Young's) modülü

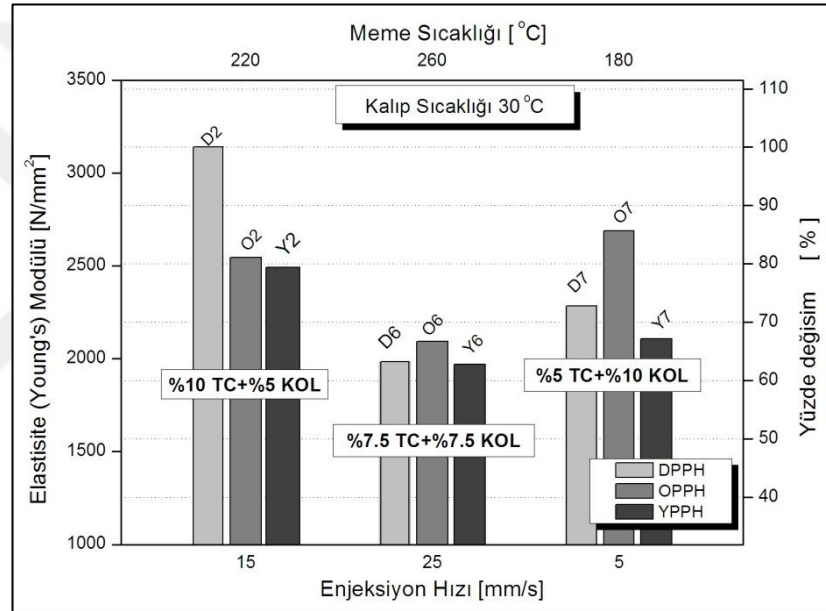
Orta akışkanlığa sahip PPH numuneleri arasında ise O4 numunesi yani ağırlıkça %7,5 talk, %7,5 kolemanit içeren, 180 °C meme sıcaklığı, 15 mm/s enjeksiyon hızı ve 50 °C kalıp sıcaklığı parametreleri ile üretilen deney parçası ile en iyi elastisite (Young's) modülünün elde edildiği Şekil 3.1 (b)' de görülmektedir.

Orta seviyede akışkanlığa sahip olan PPH numunelerinde, aynı oranda ilave edilen minerallerden, talk erime akış indeksini düşürürken kolemanit artırmakta böylece

orta seviyedeki üretim parametreleri ile en iyi elastisite (Young's) modülü elde edilmektedir.

YPPH numuneleri arasında, ağırlıkça %10 talk, %5 kolemanit içeren, 260 °C meme sıcaklığı, 25 mm/s enjeksiyon hızı ve 50 °C kalıp sıcaklığı parametreleri ile üretilen Y3 ile en iyi elastisite (Young's) modülünün elde edildiği Şekil 3.1 (c) da görülmektedir.

Ağırlıkça % 10 talk oranının akışkanlığa olumsuz etkisi, PPH'nin yüksek akışkanlığa sahip olması ve akışkanlığı artıran üretim parametreleri ile dengelenmekte ve en iyi elastisite (Young's) modülü elde edilmektedir.

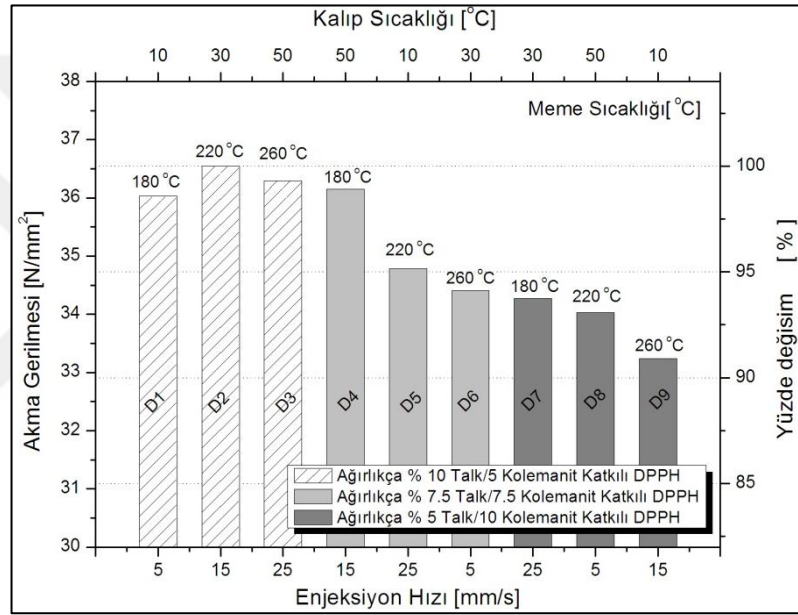


Şekil 3. 2. Katkı oranlarına göre elastisite (Young's) modülü değişimi

Tüm akışkanlık seviyeleri için aynı üretim parametreleri ile üretilmiş farklı katkı oranlarına sahip numunelerin elastisite (Young's) modülünün karşılaştırıldığı Şekil 3.2'de, ağırlıkça talk oranının %10 kolemanit oranının %5 olduğu numunelerde elastisite (Young's) modülünün yüksek olduğu, düşük akışkanlığa sahip numune ile orta ve yüksek akışkanlığa sahip numuneler arasında ise ortalama %20 değişim olduğu görülmektedir. Katkı oranlarının ağırlıkça %7,5 talk ve %7,5 kolemanit olduğu numunelerde elastisite (Young's) modülünün yaklaşık %40'lara kadar düştüğü görülmektedir. %5 talk, %10 kolemanit katkı numunelerde ise elastisite (Young's) modülündeki düşüşün yaklaşık %5 ile %35 arasında değiştiği görülmektedir.

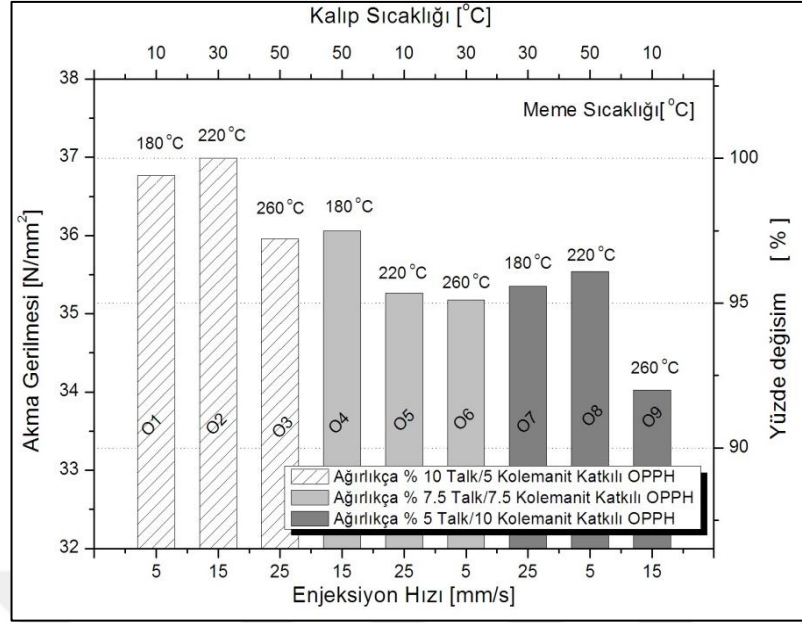
3.1.2. Akma gerilmesi

Akışkanlık seviyelerine göre akma gerilmesi – yüzde değişim grafikleri Şekil 3.3'de verilmiştir. DPPH ve OPPH deney numuneleri arasında ağırlıkça %10 talk ve %5 kolemanit oranına sahip, 220 °C meme sıcaklığı, 15 mm/s enjeksiyon hızı ve 30 °C kalıp sıcaklığında üretilmiş D2 ve O2 kodlu numunelerde en iyi akma gerilmesi elde edilmiştir. Bununla birlikte DPPH ve OPPH numuneleri arasında en düşük akma gerilemesine sahip D9 ve O9 numuneleri ile en yüksek akma gerilmesine sahip D2 ve O2 numuneleri arasında %10'dan az değişim olduğu Şekil 3.3 (a) ve Şekil 3.3 (b) grafiklerinde görülebilmektedir.

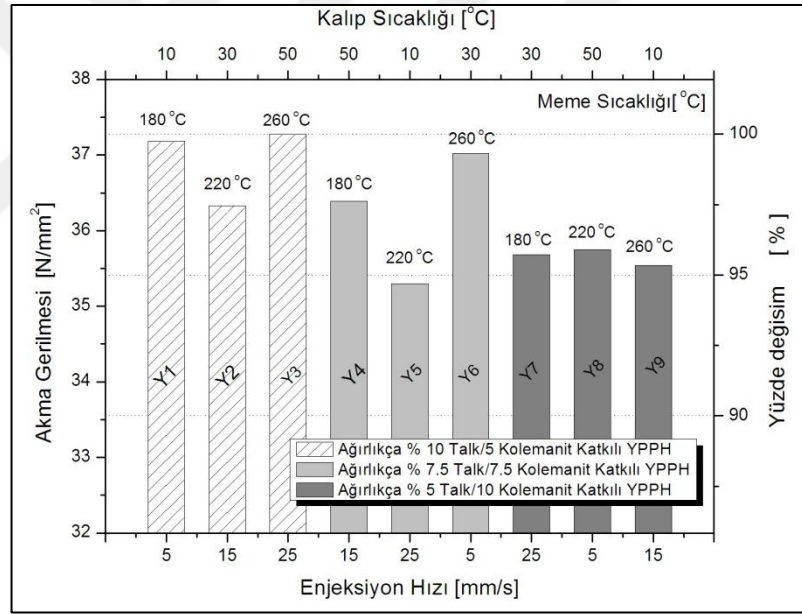


(a)

Şekil 3. 3. Akışkanlık seviyelerine göre (a) düşük (b) orta (c) yüksek PPH numunelerinin akma gerilmesi



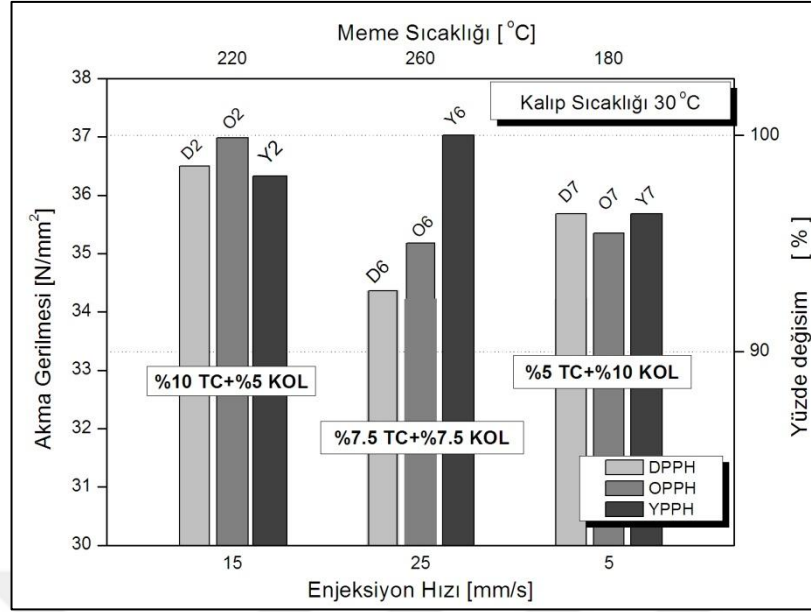
(b)



(c)

Şekil 3.3. (Devam) Akışkanlık seviyelerine göre (a) düşük (b) orta (c) yüksek PPH numunelerinin akma gerilmesi

YPPH deney numunelerinde ise ağırlıkça %10 talk ve %5 kolemanit oranı, 260 °C meme sıcaklığı, 25 mm/s enjeksiyon hızı ve 50 °C kalıp sıcaklığı parametreleri ile üretilen Y3 numunesi en iyi akma gerilmesini vermektedir. En düşük akma gerilmesine sahip YPPH numunesi olan Y5 ile en yüksek akma gerilmesi değerini veren Y3 numunesi arasında yüzde değişimin yaklaşık %5 olduğu Şekil 3.3 (c)' de görülmektedir.



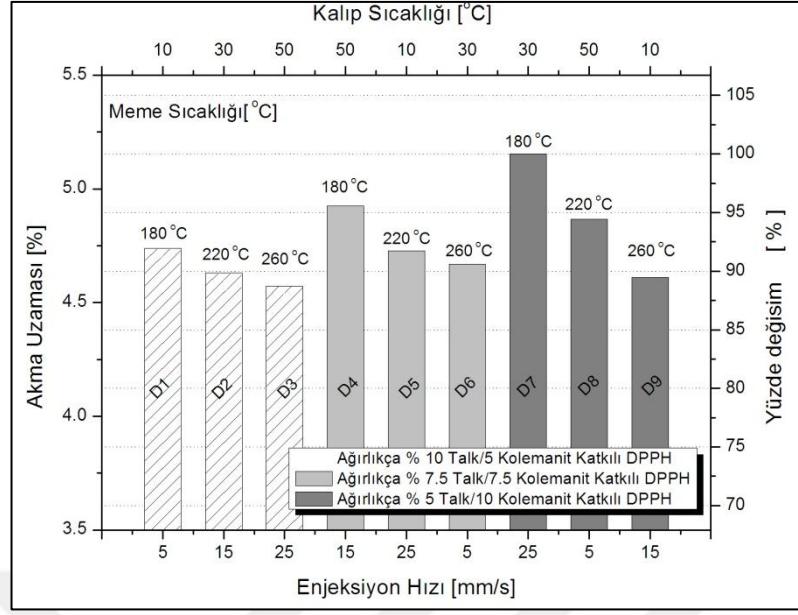
Şekil 3. 4. Katkı oranlarına göre akma gerilmesi değişimi

Aynı üretim parametreleri ile üretilmiş ancak farklı katkı oranlarına sahip PPH numunelerinin karşılaştırıldığı Şekil 3.4'deki grafik, DPPH ve OPPH'lerde en iyi akma gerilmesi değerlerinin %10 talk ve %5 kolemanit oranına sahip numunelerde, YPPH'lerde ise %7,5 talk ve %7,5 kolemanit oranına sahip Y6 numunesinde elde edildiğini göstermektedir. Tüm numuneler arasında yüzde değişimin %7,6'yı geçmediği görülmektedir.

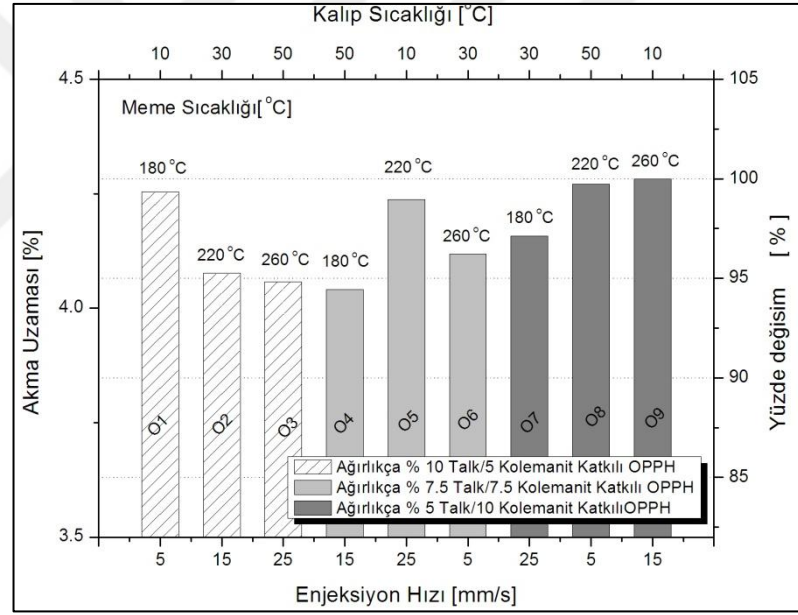
3.1.3. Akma uzaması

Düşük akışkanlığa sahip PPH numuneleri arasında en iyi akma uzamasının, parametreleri ağırlıkça %5 talk ve %10 kolemanit, 180 °C meme sıcaklığı, 25 mm/s enjeksiyon hızı ve 30 °C kalıp sıcaklığı olan D7 ile elde edildiği, numuneler arasında yüzde değişimin % 11,26 ile % 4,42 arasında olduğu Şekil 3.5 (a) da görülmektedir.

OPPH ve YPPH numunelerinin akma uzamasının grafiksel görünümünün yer aldığı Şekil 3.5 (b) ve (c)' de ağırlıkça %5 talk ve %10 kolemanit, 260 °C meme sıcaklığı, 15 mm/s enjeksiyon hızı ve 10 °C kalıp sıcaklığı olan O9 ve Y9'un en büyük akma uzamasını verdiği görülmektedir. Akma uzaması değerleri arasında yüzde değişimin OPPH'lerde %5,57'yi geçmediği, YPPH'ler de ise en fazla % 12,06 olduğu görülmektedir.

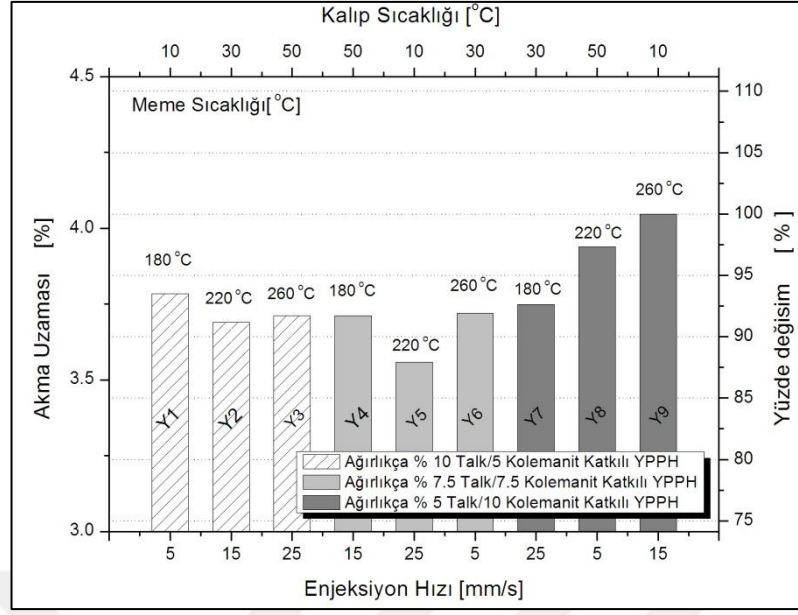


(a)



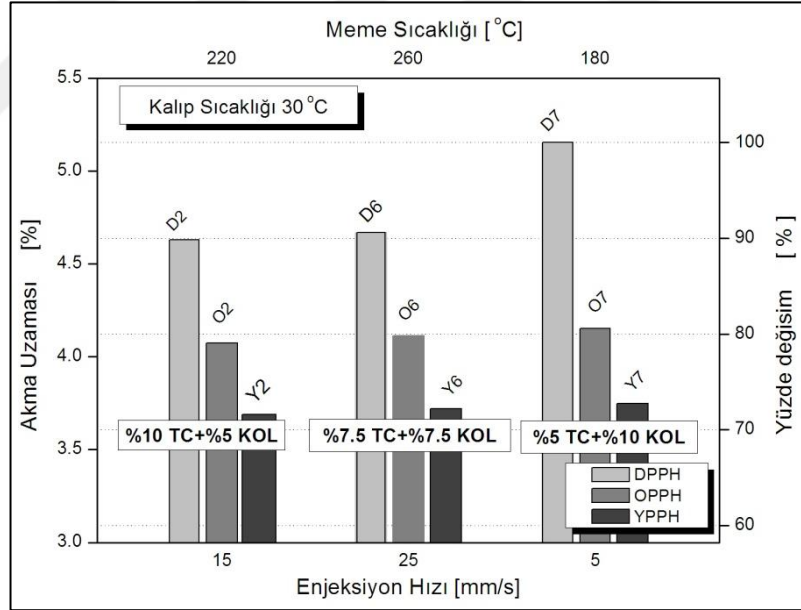
(b)

Şekil 3. 5. Akışkanlık seviyelerine göre (a) düşük (b) orta (c) yüksek PPH numunelerinin akma uzaması



(c)

Şekil 3.5. (Devam) Akışkanlık seviyelerine göre (a) düşük (b) orta (c) yüksek PPH numunelerinin akma uzaması



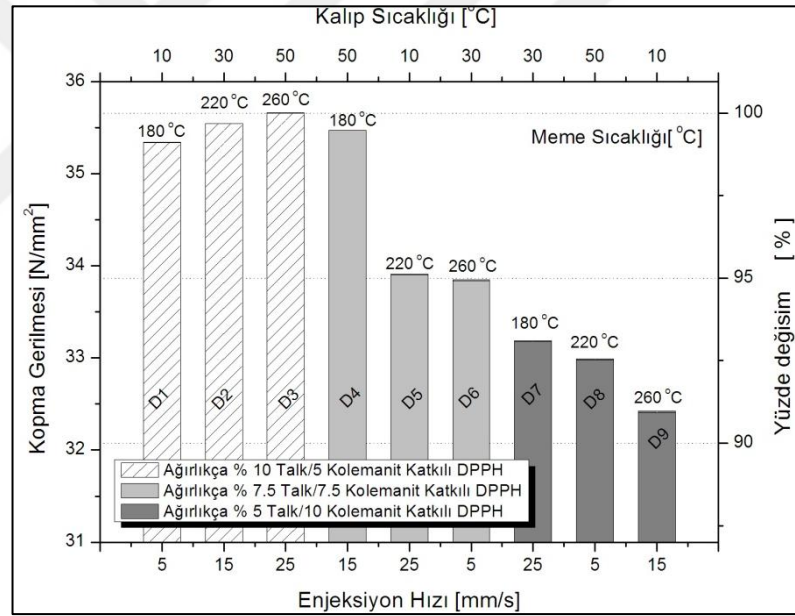
Şekil 3. 6. Katkı oranlarına göre akma uzaması değişimi

Aynı üretim parametreleri ile üretilmiş ve farklı katkı oranlarına sahip PPH numunelerinin karşılaştırıldığı Şekil 3.6'da, en iyi akma uzaması değerinin %5 talk ve % 10 kolemanit katkılı düşük akışkanlıklı D7 numunesinde elde edildiği görülmektedir. Katkı oranlarına göre en yüksek akma uzaması DPPH numunelerinde, en düşük akma uzaması ise YPPH numunelerinde ölçülmüştür. %5 talk ve % 10 kolemanit katkılı, 180°C meme sıcaklığı, 5 mm/s enjeksiyon hızı ve

30°C kalıp sıcaklığı ile üretilen PPH'ler arasında akma uzaması yüzde değişiminin yaklaşık %27'e kadar ulaştığı görülmektedir.

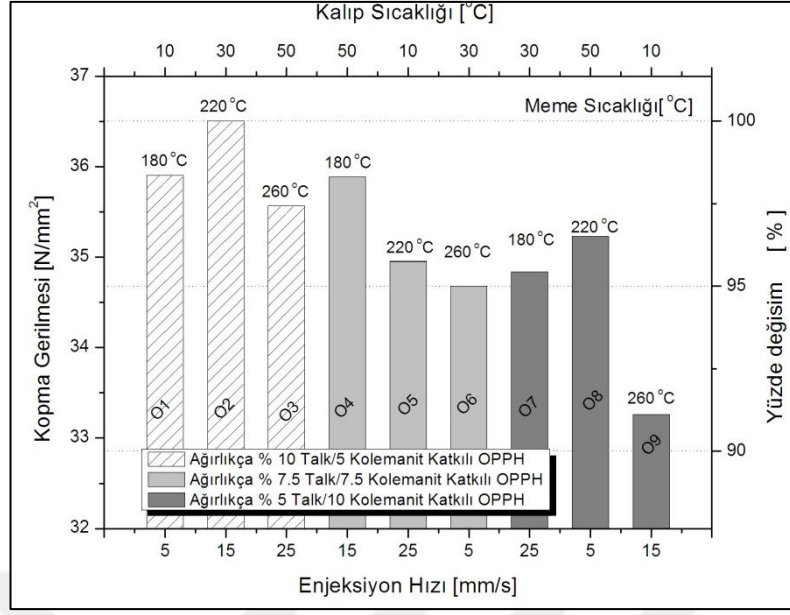
3.1.4. Kopma gerilmesi

Akışkanlık seviyelerine göre kopma gerilmesi – yüzde değişimi gösteren grafikler Şekil 3.7'de verilmiştir. DPPH numuneleri arasında en yüksek kopma gerilmesi değerinin D3 numunesine ait olduğu ve numuneler arasında kopma gerilmesi yüzde değişiminin en fazla % 9,08 olduğu Şekil 3.7 (a) görülmektedir. OPPH numunelerinde ise en yüksek kopma gerilmesi değerinin O2'de olduğu ve kopma gerilmesi yüzde değişiminin %8,89'u geçmediği Şekil 3.7 (b) de gösterilmiştir. YPPH numunelerde ise en iyi kopma gerilmesi değerini veren numunenin Y3 olduğu ve kopma gerilmesi yüzde değişiminin maksimum %5 civarlarında olduğu Şekil 3.7 (c) de görülebilmektedir.

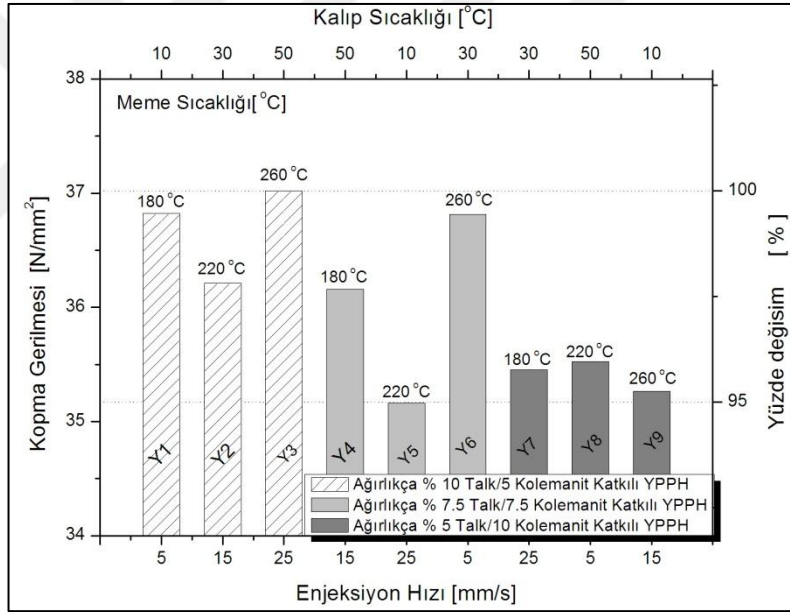


(a)

Şekil 3. 7. Akışkanlık seviyelerine göre (a) düşük (b) orta (c) yüksek PPH numunelerinin kopma gerilmesi



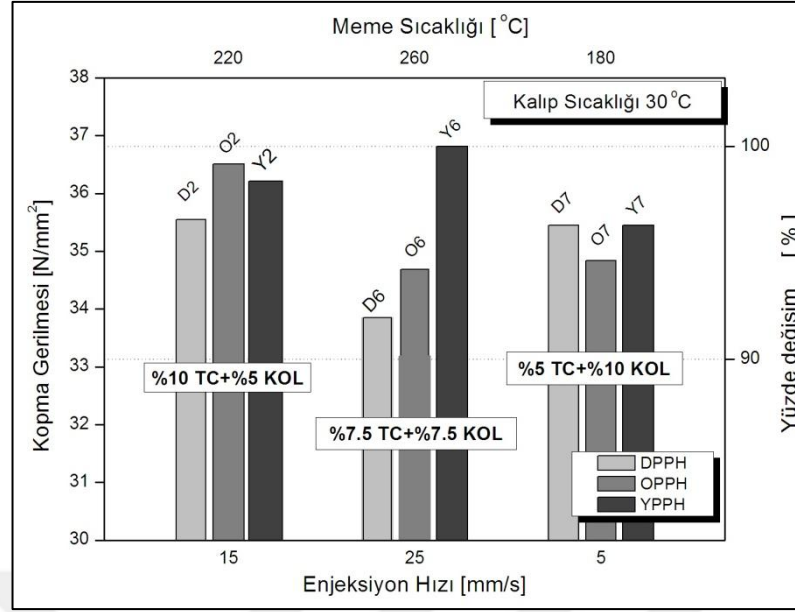
(b)



(c)

Şekil 3.7. (Devam) Akışkanlık seviyelerine göre (a) düşük (b) orta (c) yüksek PPH numunelerinin kopma gerilmesi

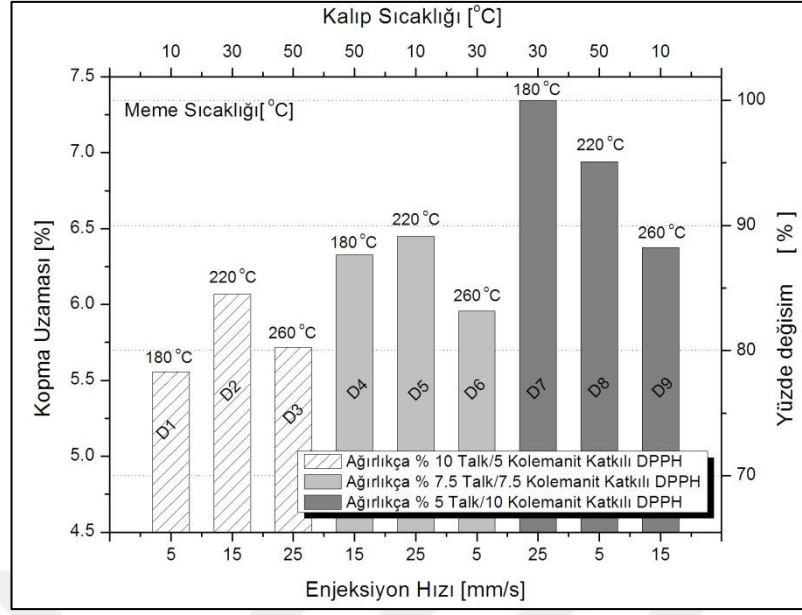
Şekil 3.8'de aynı üretim parametreleri ile üretilmiş ve farklı katkı oranlarına sahip PPH numunelerinin kopma gerilmesi karşılaştırılmıştır. En yüksek kopma gerilmesi değerinin %7,5 talk ve %7,5 kolemanit katkılı, 260°C meme sıcaklığı, 25 mm/s enjeksiyon hızı ve 30°C kalıp sıcaklığı koşullarında üretilmiş YPPH numunesi olan Y6'da olduğu ve numuneler arasında kopma gerilmesi yüzde değişiminin %10'un altında olduğu görülmektedir.



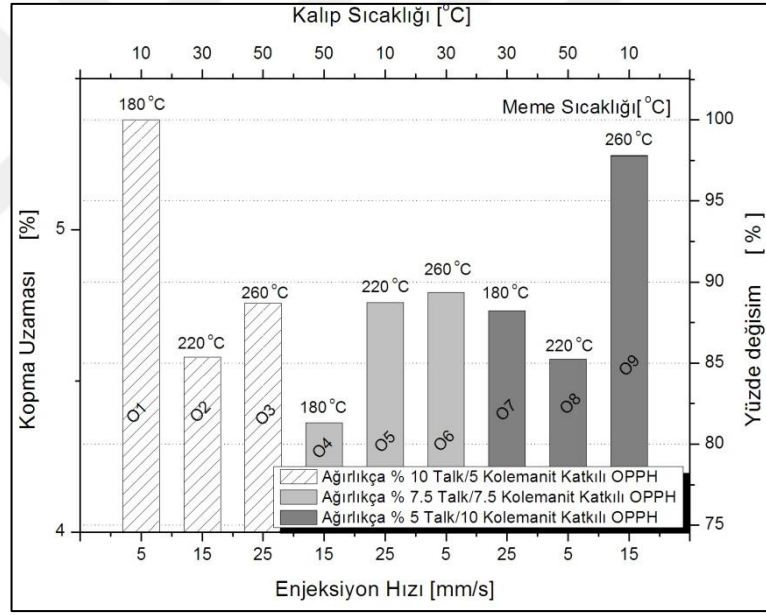
Şekil 3. 8. Katkı oranlarına göre kopma gerilmesi değişimi

3.1.5. Kopma uzaması

Kopma uzaması ve yüzde değişim grafikleri Şekil 3.9'da verilmiştir. DPPH numuneleri arasında en iyi kopma uzaması değerinin %5 talk ve %10 kolemanit, 180 °C meme sıcaklığı, 25 mm/s enjeksiyon hızı ve 30 °C kalıp sıcaklığı olan D7 numunesinde olduğu ve DPPH'ler arasında kopma uzaması yüzde değişiminin yaklaşık %5 ila %22 arasında değiştiği Şekil 3.9 (a)'da görülmektedir. OPPH numuneleri arasında ağırlıkça %5 talk ve %10 kolemanit, 260 °C meme sıcaklığı, 15 mm/s enjeksiyon hızı ve 10 °C kalıp sıcaklığı olan O1'de en yüksek kopma uzaması değeri elde edilmiştir ve OPPH numuneleri arasında kopma uzamasının en fazla %18,67 değiştiği Şekil 3.9 (b) görülebilmektedir. YPPH numunelerinde ise en iyi kopma uzaması, ağırlıkça %5 talk ve %10 kolemanit, 260 °C meme sıcaklığı, 15 mm/s enjeksiyon hızı ve 10 °C kalıp sıcaklığı olan Y9 numunesinde ölçülmüştür. YPPH numunelerinin kopma uzaması değerlerinin % 2,05 ila %15,15 arasında değişim gösterdiği Şekil 3.9 (c) de görülebilmektedir.

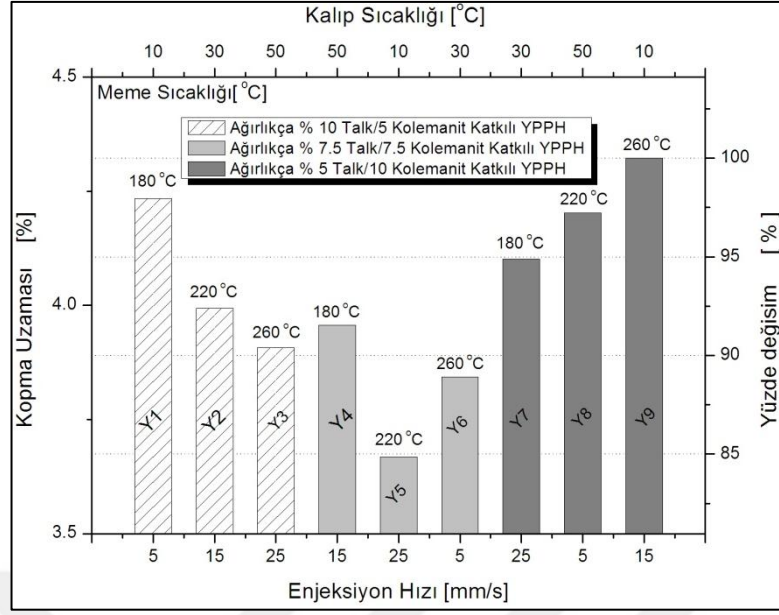


(a)



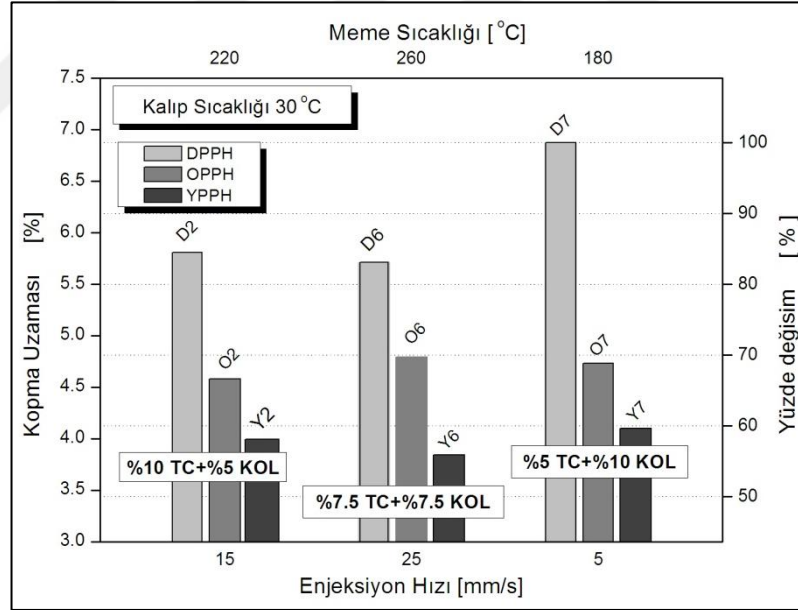
(b)

Şekil 3. 9. Akışkanlık seviyelerine göre (a) düşük (b) orta (c) yüksek PPH numunelerinin kopma uzaması



(c)

Şekil 3.9. (Devam) Akışkanlık seviyelerine göre (a) düşük (b) orta (c) yüksek PPH numunelerinin kopma uzaması



Şekil 3.10. Katkı oranlarına göre kopma gerilmesi değişimi

Aynı üretim parametreleri ile üretilmiş ve farklı katkı oranlarına sahip PPH numunelerinin kopma uzaması değerlerinin kıyaslandığı Şekil 3.10'da, en iyi kopma uzaması değerinin %5 talk ve %10 kolemanit katkı DPPH'nin 180°C meme sıcaklığı, 5 mm/s enjeksiyon hızı ve 30°C kalıp sıcaklığı koşullarında üretilmesi ile elde edilen D7 numunesine ait olduğu görülmektedir. Katkı oranlarına göre en yüksek kopma uzaması DPPH numunelerinde görülürken en düşük kopma uzaması

ise YPPH numunelerinde görülmektedir. %5 talk ve % 10 kolemanit katkılı, 180°C meme sıcaklığı, 5 mm/s enjeksiyon hızı ve 30°C kalıp sıcaklığı ile üretilen PPH'ler arasında kopma uzaması yüzde değişiminin yaklaşık %40'a kadar ulaştığı Şekil 3.10'da görülebilmektedir.

3.2. Taguchi Yöntemiyle Deney Sonuçlarının Analizi

Bu çalışma kapsamında, üretimden hemen sonra gerçekleştirilen çekme deneyi sonuçları, Taguchi yönteminin istatistiksel analizi S/G oranı ile analiz edilerek her bir kalite değişkeni için optimum deney faktörleri ve faktörlerin kalite değişkenleri üzerindeki etki düzeyi tespit edilmiştir. ANOVA ile faktörlerin kalite değişkeni üzerindeki etkisi ve faktörler arasındaki etkileşim incelenmiştir. Elastisite (Young's) modülü, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzaması kalite değişkenlerinin en büyük en iyi analizi ile elde edilen S/G oranları EK-B' de verilmiştir.

3.2.1. DPPH kompozit malzemenin çekme deneyi sonuçlarının analizi

Deney faktörleri ve faktör seviyelerinin etkinliklerinin analiz edilebildiği S/G tabloları her faktörün, her seviyesine ait ortalama S/G oranlarından oluşmaktadır. Tablo 3.1' de DPPH için çekme deneyine göre kalite değişkenlerinin S/G oranları için yanıt tablosu verilmiştir.

Faktör seviyelerinin S/G oranlarından en büyük ile en küçük arasındaki fark Delta değerini vermektedir ve delta değerinin büyüklüğüne göre faktörlerine etki sırası belirlenmektedir. Tablo 3.1' de elastisite (Young's) modülü üzerinde en etkili faktörün ağırlıkça yüzde talk ve kolemanit oranı olduğu görülmektedir. Onu sırasıyla enjeksiyon hızı, kalıp sıcaklığı ve meme sıcaklığı izlemektedir.

DPPH'nin akma gerilmesinde en etkili faktörün ağırlıkça yüzde talk ve kolemanit oranı olduğu, onu sırasıyla meme sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon hızının izlediği görülmektedir.

DPPH kompozit numunelerin akma uzaması S/G oran tablosuna göre en etkili faktörün meme sıcaklığı olduğu, ağırlıkça yüzde talk ve kolemanit oranı, kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon hızının sırayla onu izlediği görülmektedir

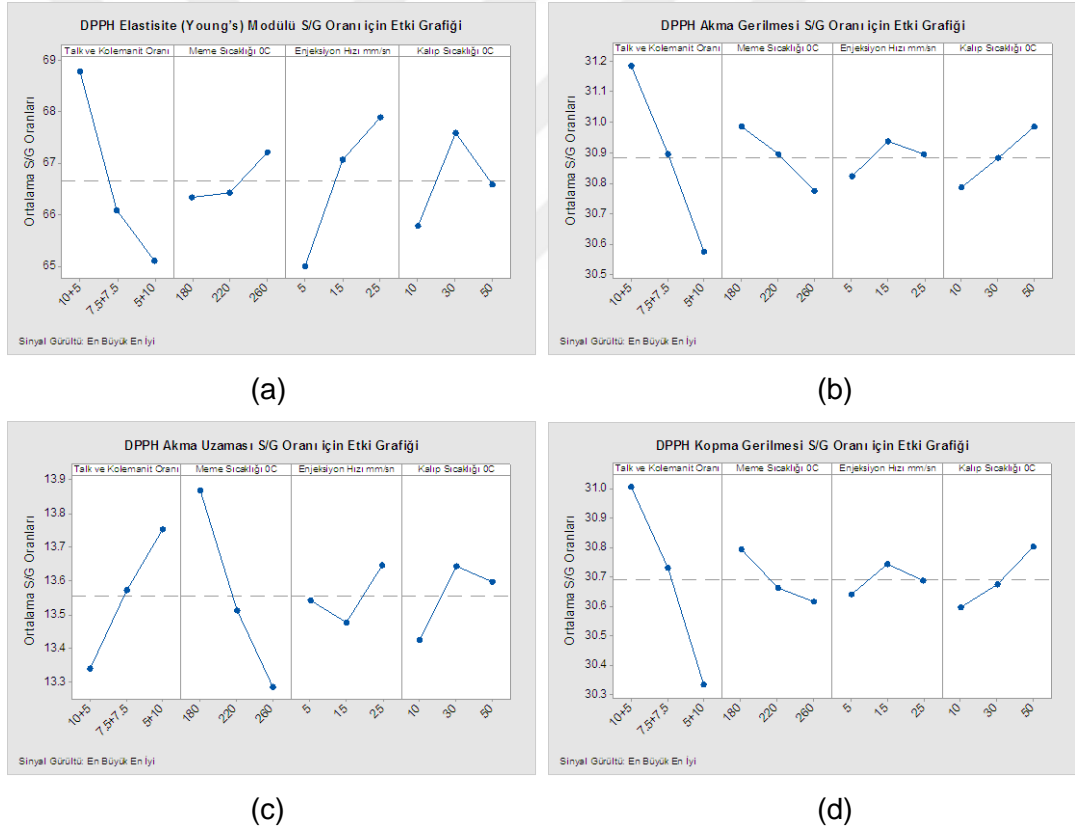
Tablo 3 . 1. DPPH S/G oranları yanıt tablosu

Kalite Değişkeni	Sinyal/Gürültü Oranları Yanıt Tablosu				
	Seviye	Faktörler			
Elastisite (Young's) Modülü		Talk Oranı %+	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
	1	68,79	66,33	64,98	65,77
	2	66,08	66,42	67,07	67,6
	3	65,09	67,21	67,91	66,59
	Delta	3,7	0,88	2,93	1,83
	Sıra	1	4	2	3
Akma Gerilmesi		Talk Oranı %+	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
	1	31,18	30,99	30,82	30,78
	2	30,89	30,89	30,94	30,88
	3	30,57	30,77	30,9	30,99
	Delta	0,61	0,21	0,12	0,2
	Sıra	1	2	4	3
Akma Uzaması		Talk Oranı %+	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
	1	13,34	13,87	13,54	13,42
	2	13,57	13,51	13,48	13,64
	3	13,75	13,29	13,64	13,6
	Delta	0,41	0,58	0,17	0,22
	Sıra	2	1	4	3
Kopma Gerilmesi		Talk Oranı %+	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
	1	31,01	30,79	30,64	30,6
	2	30,73	30,66	30,74	30,67
	3	30,33	30,62	30,69	30,8
	Delta	0,67	0,18	0,1	0,21
	Sıra	1	3	4	2
Kopma Uzaması		Talk Oranı %+	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
	1	14,9	15,6	15,34	15,33
	2	15,45	15,76	15,47	15,7
	3	16,21	15,19	15,74	15,53
	Delta	1,31	0,57	0,4	0,37
	Sıra	1	2	3	4

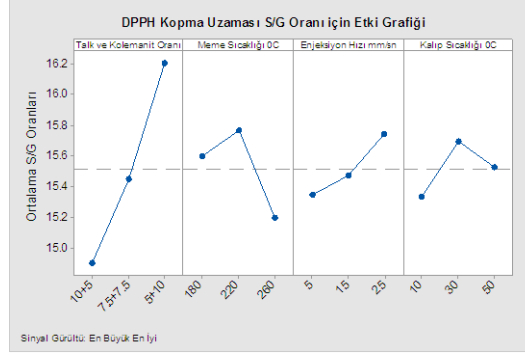
DPPH kompozit malzemenin kopma gerilmesinde en etkili faktörün ağırlıkça yüzde talk ve kolemanit oranı olduğu görülmektedir. Kalıp sıcaklığı, meme sıcaklığı ve enjeksiyon hızı sırayla onu izlemektedir.

DPPH için kopma uzaması S/G oranlarının yer aldığı Tablo 3.1’de en etkili faktörün ağırlıkça yüzde talk ve kolemanit oranı, sonra sırayla meme sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığının geldiği görülmektedir.

Şekil 3.11’ de kalite değişkenlerine faktörlerin ve faktör seviyelerinin etkilerinin grafiksel görünümü yer almaktadır. Tablo 3.1’de en büyük Delta değerine sahip yani seviyeler arasında en büyük farklılığın görüldüğü ağırlıkça yüzde talk ve kolemanit oranı faktörünün, seviyelerine göre S/G ölçümlerinin, diğer faktörlerle kıyaslandığında büyük olduğu Şekil 3.11’ de grafiksel olarak görülebilmektedir.



Şekil 3. 11. DPPH (a) elastisite (Young's) modülü, (b) akma gerilmesi, (c) akma uzaması, (d) kopma gerilmesi, (e) kopma uzaması S/G oranı etki grafikleri



(e)

Şekil 3.11. (Devam) DPPH (a) elastisite (Young's) modülü, (b) akma gerilmesi, (c) akma uzaması, (d) kopma gerilmesi, (e) kopma uzaması S/G oranı etki grafikleri

Faktörlerin deney sonuçlarına etkileri ve faktörler arasındaki etkileşimi incelemek amacıyla; Minitab 17 yazılımı kullanılarak S/G oranlarının yanı sıra varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır.

PPH kompozit numuneleri çekme deneyi verilerinin varyans analizinde;

H_0 : Faktörlerin kalite değişkenine etkisi yoktur.

H_1 : Faktörlerin kalite değişkenine etkisi vardır.

Olarak tanımlanmıştır. Testin tahmini güven aralığı, önemlilik düzeyi $\alpha=0,05$ yüzdesi alınmıştır. Kalite değişkenlerinin her birine ait varyans analizi (ANOVA) tabloları oluşturulmuş, p-değerinin 0,05'den küçük olması referans alınarak deney faktörlerinin kalite değişkenleri üzerindeki etkisi tespit edilmiştir.

Tablo 3 . 2. DPPH elastisite (Young's) modülü ANOVA tablosu

Elastisite (Young's) Modülü ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	8110369	4055185	189,18	0,0000
Meme Sıcaklığı 0C	2	670313	335157	15,64	0,0000
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	4549939	2274970	106,13	0,0000
Kalıp Sıcaklığı 0C	2	2053431	1026716	47,9	0,0000
Hata	36	771687	21436		
Toplam	44	16155740			

Tablo 3.2’de DPPH numunelerinin elastisite (Young’s) modülü ANOVA tablosu yer almaktadır.Çekme deneyi kalite değişkenlerine ait ANOVA tabloları EK-C’ de verilmiştir.

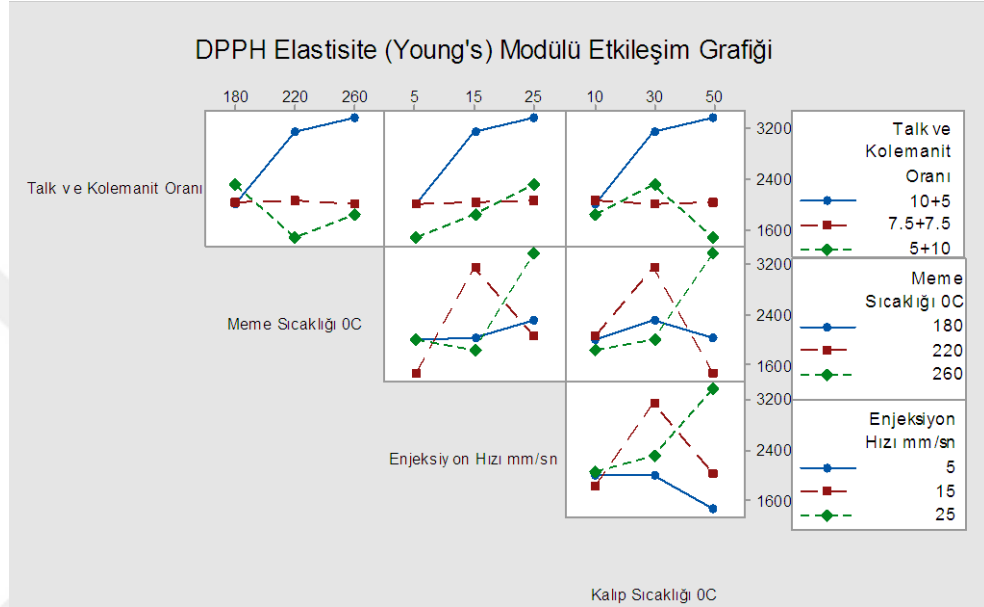
DPPH kompozit numunelerin elastisite (Young’s) modülü, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzaması için ANOVA ile tespit edilen p değerleri Tablo 3.3’ de yer almaktadır.

Tablo 3 . 3. DPPH numunelerinin ANOVA p değerleri

Faktörler	P-Değeri				
	Elastisite (Young’s) Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması
Ağırlıkça Talk ve Kolemanit Oranı %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Meme Sıcaklığı °C	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0030
Enjeksiyon Hızı mm/s	0,0000	0,0000	0,0040	0,0010	0,0370
Kalıp Sıcaklığı °C	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0600

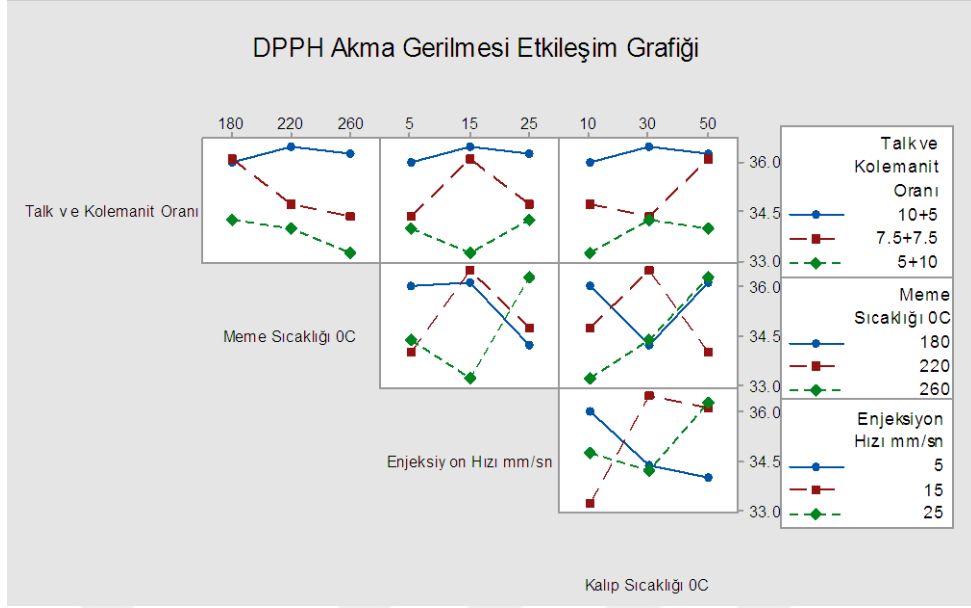
H_0 hipotezi için $\alpha=0,05$ önemlilik düzeyinde $p < \alpha$ olduğunda reddedilir. Bu durumda, elastisite (Young’s) modülünde, ağırlıkça talk ve kolemanit oranı, meme sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı faktörleri için $p < 0,05$ olduğu için H_0 hipotezi reddedilir. Diğer bir ifade ile tüm faktörlerinin elastisite (Young’s) modülüne etkisi vardır. DPPH numunelerinin akma gerilmesine ait varyans analizi sonuçlarına göre tüm faktörler için $p < 0,05$ olması nedeniyle H_0 hipotezi reddedilir ve faktörlerinin hepsinin akma gerilmesine etkisi vardır. DPPH’nin akma uzamasında tüm faktörlerin p değeri 0,05’den küçük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir. Bu sonuç deney faktörlerinin tamamının akma uzaması üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir. DPPH kopma gerilmesine ait varyans analizi varyans analizi sonuçlarına göre tüm faktörlerde $p < 0,05$ H_0 hipotezi reddedilmekte, tüm faktörlerin kopma gerilmesi üzerinde etkisinin olduğu görülmektedir. DPPH kopma uzamasına ait varyans analizine göre kalıp sıcaklığı faktörünün p değeri 0,05’den büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez, bu nedenle kalıp sıcaklığının kopma uzaması kalite değişkeni üzerinde etkisi yoktur. Diğer faktörlerin p değeri 0,05’den küçük olduğu H_0 hipotezi reddedilir, bu faktörler kopma uzaması üzerinde etkilidir.

Şekil 3.12 de DPPH'nin elastisite (Young's) modülünde deney faktörleri arasındaki etkileşimler görülmektedir. Etkileşim grafiklerinde paralellikler, bir faktörün seviyesinin değişmesinin diğer faktörün etki derecesini değiştirmediyini diğer bir ifadeyle, faktörler arasında etkileşim olmadığı anlamına gelmektedir. Grafiklerde kesişen doğrular ise bir faktör seviyesindeki değişimin diğer faktörün etki derecesini değiştirdiği yani faktörler arasında etkileşim olduğunu göstermektedir. [67]

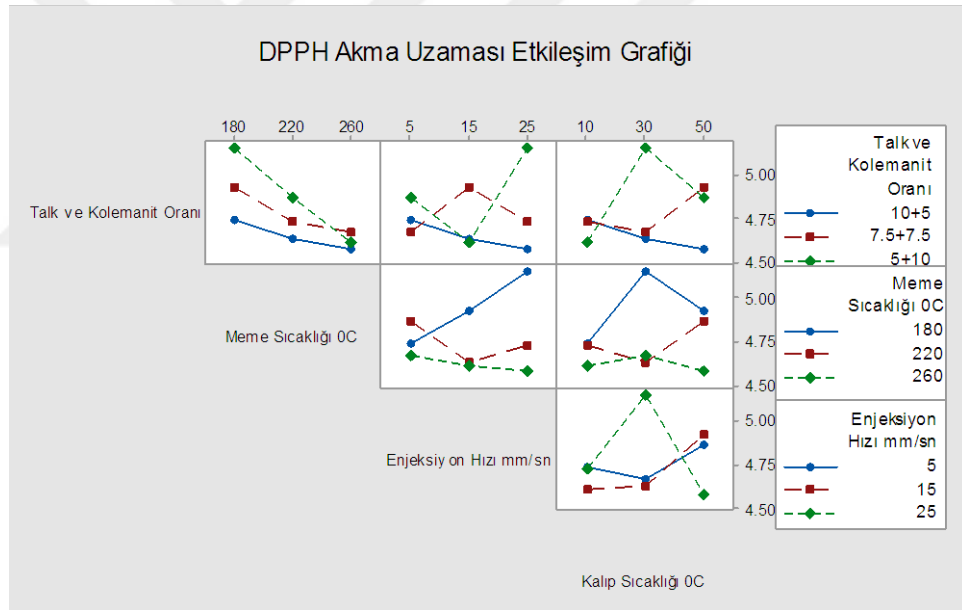


Şekil 3. 12. DPPH'nin elastisite (Young's) modülünde deney faktörlerinin etkileşimi

Elastisite (Young's) modülünde, talk ve kolemanit oranının diğer faktörler ile 7,5+7,5, ve 5+10 seviyesinin kuvvetli, 10+5 seviyesinin ise zayıf etkileşimi olduğu, enjeksiyon hızının kalıp sıcaklığı ile 10°C seviyesinde zayıf, 30°C ve 50°C seviyede kuvvetli etkileşimi olduğu ve diğer faktörlerin tüm seviyeleri için etkileşimlerin kuvvetli olduğunu Şekil 3.2'de görülmektedir. DPPH'nin akma gerilmesi için talk ve kolemanit oranının diğer faktörler ile 7,5+7,5 ve 5+10 seviyesinin kuvvetli, 10+5 seviyesinin ise zayıf etkileşimi olduğu, diğer faktörlerin tüm seviyeleri için etkileşimlerin kuvvetli olduğunu Şekil 3.13'de görülmektedir.



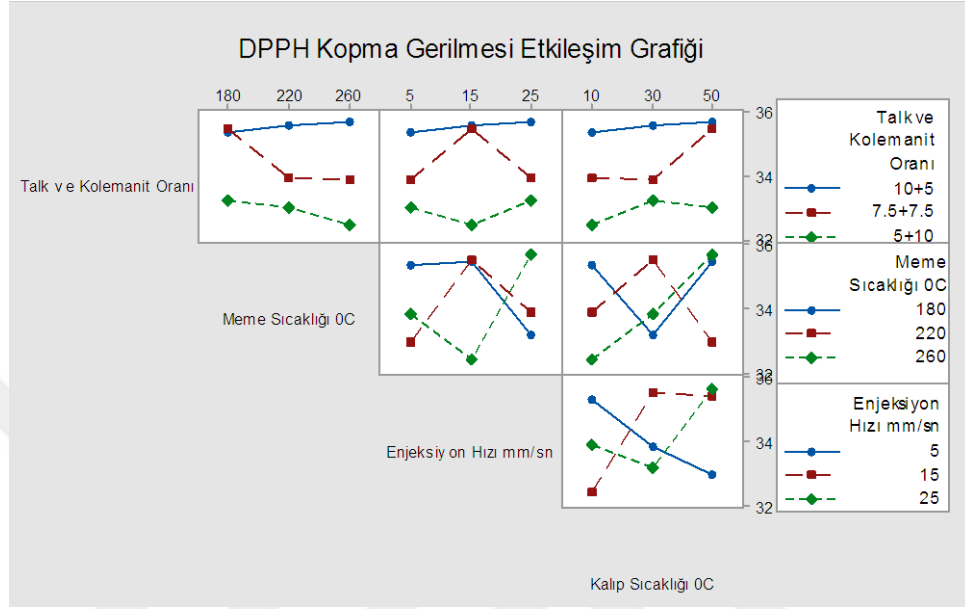
Şekil 3. 13. DPPH'nin akma gerilmesinde deney faktörlerinin etkileşimi



Şekil 3. 14. DPPH'nin akma uzamasında deney faktörlerinin etkileşimi

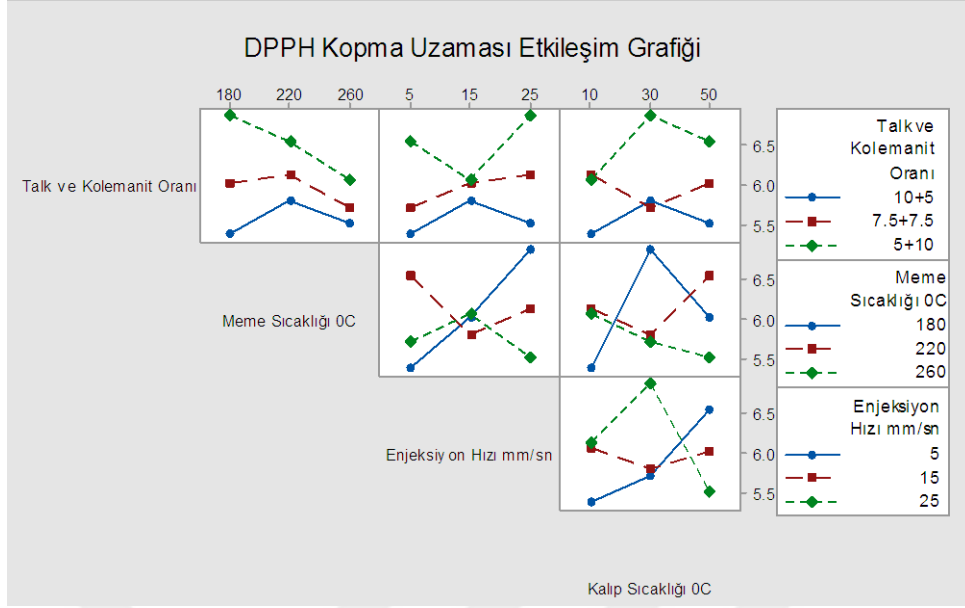
DPPH kompozit malzemenin akma uzaması kalite değişkenininin deney faktörleri arasındaki etkileşim incelendiğinde talk ve kolemanit oranının meme sıcaklığı ile etkileşimi 10+5 ve 7,5+7,5 seviyesinde zayıf, 5+10 seviyesinde ise kuvvetlidir, aynı zamanda diğer faktörler ile tüm seviyeleri için kuvvetli bir etkileşime sahiptir. Meme sıcaklığının enjeksiyon hızıyla olan etkileşiminin 180°C seviyede zayıf, 220°C ve 260°C seviyede orta, kalıp sıcaklığı ile olan etkileşiminin ise 180°C seviyede zayıf, 220°C ve 260°C seviyede kuvvetli olduğu görülmektedir. Enjeksiyon hızı ile kalıp sıcaklığının ise her seviyede kuvvetli etkileşimi bulunmaktadır. (Şekil 3.14)

DPPH kopma gerilmesi deney faktörlerinin arasında ise talk ve kolemanit oranının 5+10 seviyesinin diğer faktörler ile etkileşiminin zayıf, 10+5 ve 7,5+7,5 seviyesinin ise orta etkileşimi vardır. Diğer faktörlerin arasında tüm seviyeler için etkileşimin kuvvetli olduğu Şekil 3.15'de görülmektedir.



Şekil 3. 15. DPPH'nin kopma gerilmesinde deney faktörlerinin etkileşimi

DPPH kopma uzamasında ağırlıkça yüzde talk ve kolemanit oranının tüm seviyeleri için meme sıcaklığı ile arasındaki etkileşiminin zayıf, enjeksiyon hızı ile 10+5 seviyesinin zayıf, 7,5+7,5 ve 5+10 seviyesinin orta, kalıp sıcaklığı ile 5+10 seviyesinin zayıf, 10+5 ve 7,5+7,5 seviyesinin kuvvetli etkileşimi olduğu Şekil 3.16'da görülmektedir. Diğer faktörler arasında ise tüm seviyeler için kuvvetli etkileşim bulunmaktadır.



Şekil 3. 16. DPPH'nin kopma uzamasında deney faktörlerinin etkileşimi

Tablo 3. 4. DPPH'in En İyi Faktör Seviyeleri ve Tahminleme Sonuçları

Kalite Değişkeni	En İyi Faktör Kombinasyonu				Tahmini Kalite Değişkeni Değeri
	Ağırlıkça Talk + Kolemanit Oranı (%)	Meme Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Hızı (mm/s)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	
Elastisite (Young's) Modülü (N/mm ²)	10+5	260	25	30	3552,60
Akma Gerilmesi (N/mm ²)	10+5	180	15	50	37,28
Akma Uzaması (%)	5+10	180	25	30	5,15
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	10+5	180	15	50	36,58
Kopma Uzaması (%)	5+10	220	25	30	6,93

En büyük en iyi algoritmasına göre hesaplanan S/G oranları, DPPH'nin , elastisite (Young's) modülü, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzamasının en iyi değerini elde etmek için gerekli deney faktörlerinin kombinasyonu Tablo 3.4' de verilmiştir. Taguchi yönteminin tahminleme özelliğinden yararlanılarak en iyi faktör kombinasyonları için tahmini kalite değişkeni değerleri Minitab programı vasıtasıyla hesaplanmıştır.

3.2.2. OPPH kompozit malzemenin çekme deneyi sonuçlarının analizi

Üretimden hemen sonra orta akışkanlığa sahip PPH kompozit malzeme numunelerine yapılan çekme deneyi ile elastisite (Young's) modülü (N/mm^2), akma gerilmesi (N/mm^2), akma uzaması (%), kopma gerilmesi (N/mm^2) ve kopma uzaması (%) değerleri ölçülmüş, Taguchi yöntemiyle S/G analizi Minitab yazılımı kullanılarak yapılmıştır. OPPH kompozit numunelerin en büyük en iyi algoritmasına göre hesaplanan S/G oranları EK-B' de verilmiştir.

Tablo 3 . 5. OPPH S/G oranları yanıt tablosu

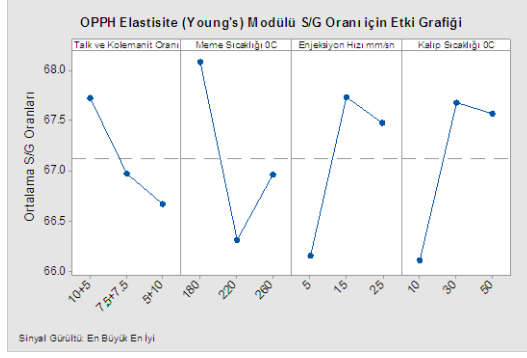
Kalite Değişkeni	Sinyal/Gürültü Oranları için Yanıt Tablosu				
	Seviye	Faktörler			
		Talk Oranı %+ Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
Elastisite (Young's) Modülü	1	67,72	68,07	66,15	66,11
	2	66,97	66,31	67,73	67,68
	3	66,66	66,96	67,47	67,56
	Delta	1,05	1,77	1,58	1,57
	Sıra	4	1	2	3
			Talk Oranı %+ Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s
Akma Gerilmesi	1	31,26	31,14	31,08	30,96
	2	31,00	31,11	31,05	31,08
	3	30,87	30,89	31,01	31,09
	Delta	0,39	0,25	0,07	0,13
	Sıra	1	2	4	3
			Talk Oranı %+ Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s
Akma Uzaması	1	12,30	12,34	12,48	12,57
	2	12,31	12,44	12,31	12,27
	3	12,52	12,35	12,34	12,29
	Delta	0,22	0,10	0,17	0,29
	Sıra	2	4	3	1

Tablo 3. 5. (Devam) OPPH S/G oranları yanıt tablosu

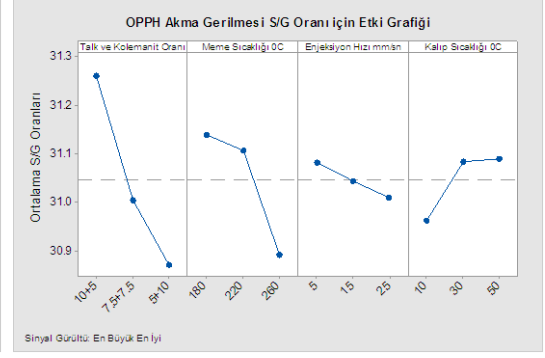
Kalite Değişkeni	Sinyal/Gürültü Oranları için Yanıt Tablosu				
	Seviye	Faktörler			
Kopma Gerilmesi		Talk Oranı % Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
	1	31,12	31,01	30,95	30,80
	2	30,92	31,02	30,93	30,96
	3	30,74	30,75	30,91	31,02
	Delta	0,38	0,26	0,04	0,22
	Sıra	1	2	4	3
Kopma Uzaması		Talk Oranı % Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
	1	13,77	13,61	13,79	14,16
	2	13,30	13,31	13,45	13,43
	3	13,68	13,83	13,51	13,16
	Delta	0,47	0,52	0,34	1,00
	Sıra	3	2	4	1

OPPH kompozit numunelerin elastisite (Young's) modülün, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzamasında deney faktörlerinin etkileri Tablo 3.5' de, bu etkilerin grafiksel görünümü Şekil 3.17' de verilmiştir.

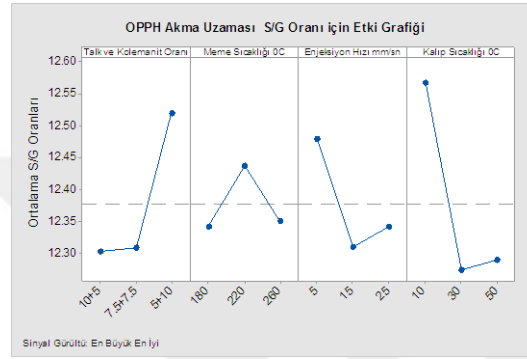
OPPH için elastisite (Young's) modülü S/G oranı tablosuna göre en etkili faktörün meme sıcaklığı, sonra sırayla enjeksiyon hızı, kalıp sıcaklığı ve talk ve kolemanit oranının geldiği görülmektedir. OPPH kompozit numunelerin akma gerilmesinde en etkili deney faktörünün talk ve kolemanit oranı olduğu görülmektedir. Etki sıralamasında meme sıcaklığı 2., enjeksiyon hızı 3. ve kalıp sıcaklığı 4. dır. OPPH'in numunelerin akma uzaması özelliklerinin Taguchi'nin S/G oranı ile analizi sonuçlarına göre akma uzaması üzerinde en büyük etkiye sahip olan faktörün kalıp sıcaklığı olduğu, onu sırasıyla talk ve kolemanit oranı, enjeksiyon hızı ve meme sıcaklığının izlediği görülmektedir. Kopma gerilmesi S/G oranı tablosuna göre kopma gerilmesi özelliği üzerinde en büyük etkiye sahip deney faktörü talk ve kolemanit oranı, onu sırasıyla meme sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon hızı izlemektedir. Kopma uzaması S/G oranlarının etkileşimi tablosuna göre, kopma uzamasında en etkili faktör kalıp sıcaklığı, sonrasında sırayla meme sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve talk ve kolemanit oranıdır.



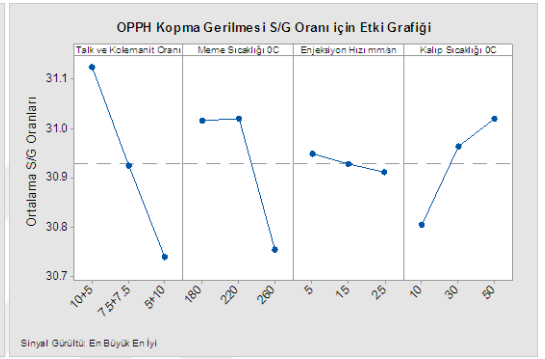
(a)



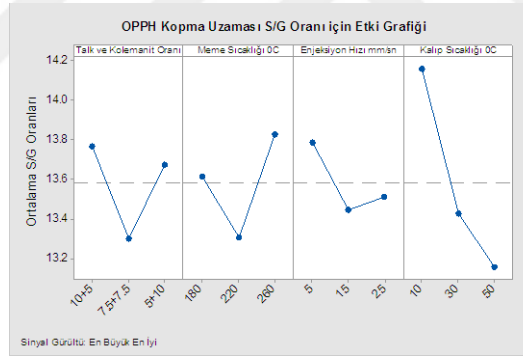
(b)



(c)



(d)



(e)

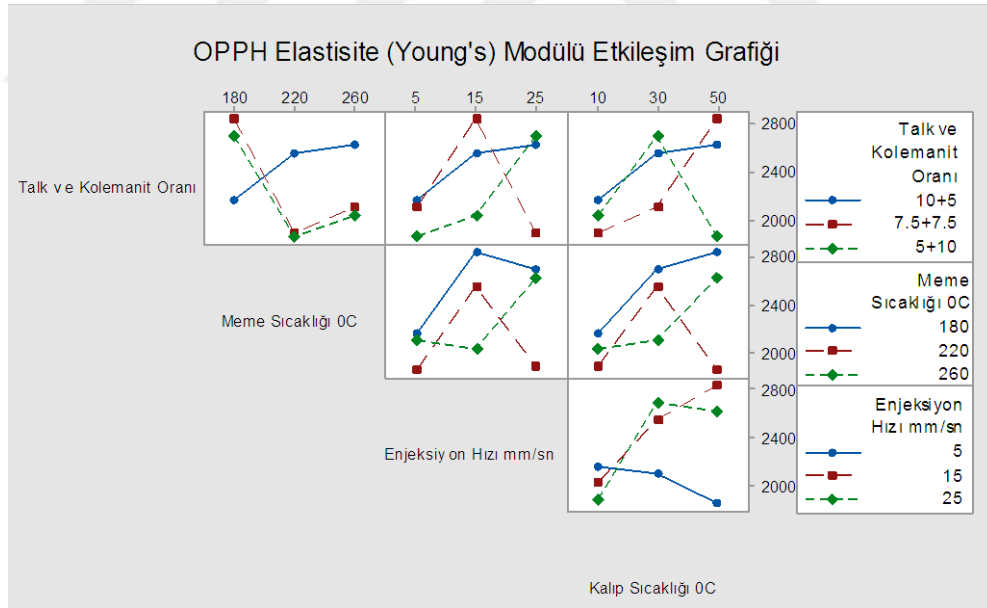
Şekil 3. 17. OPPH (a) elastisite (Young's) modülü, (b) akma gerilmesi, (c) akma uzaması, (d) kopma gerilmesi, (e) kopma uzaması S/G oranı etki grafikleri

OPPH kompozit numunelerin kalite değişkenlerine ait varyans analizi tabloları EK-C' de verilmiştir. P değerlerinin yer aldığı Tablo 3.6' ya göre tüm faktörlerde $p < 0,05$ olması nedeniyle H_0 hipotezi reddedilir ve tüm faktörlerin elastisite (Young's) modülü ve akma gerilmesi üzerinde etkisi mevcuttur. OPPH kompozit malzeme numunelerinin akma uzaması değerleri için varyans analizinin sonuçlarına göre meme sıcaklığı dışındaki faktörlerin p değeri 0,05'den küçük olduğu için akma uzamasında etkileri bulunmaktadır. Kopma gerilmesi ve kopma uzamasında tüm faktörler için $p < 0,05$ olması nedeniyle H_0 hipotezi reddedilir, tüm faktörlerin kopma gerilmesi üzerinde etkisi vardır.

Tablo 3 . 6. OPPH numunelerinin ANOVA p değerleri

Faktörler	P-Değeri				
	Elastisite (Young's) Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması
Ağırlıkça Talk ve Kolemanit Oranı %	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000	0,0020
Meme Sıcaklığı °C	0,0000	0,0000	0,2660	0,0000	0,0010
Enjeksiyon Hızı mm/s	0,0000	0,0000	0,0260	0,0220	0,0370
Kalıp Sıcaklığı °C	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

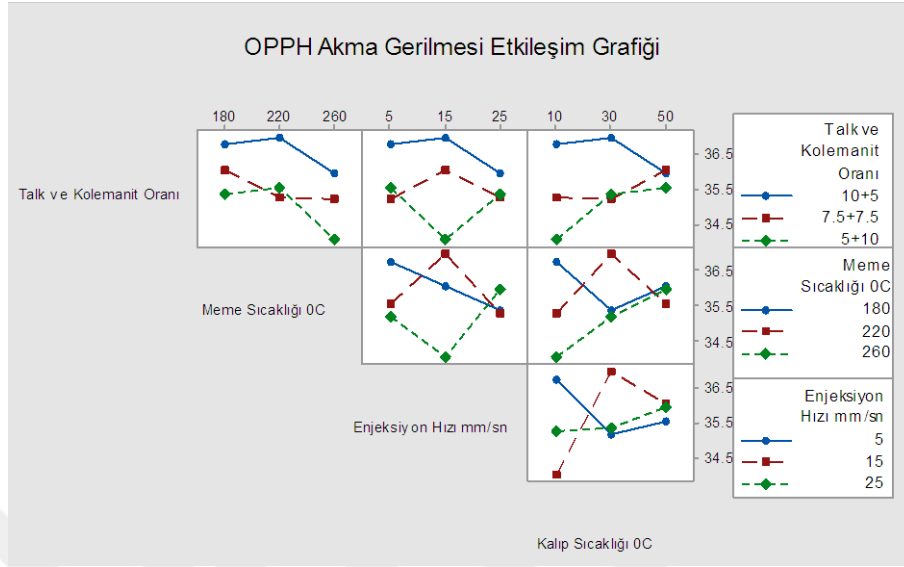
OPPH'in elastisite (Young's) modülünde deney faktörleri arasındaki etkileşim grafiği Şekil 3.18' de verilmiştir. Bu grafiğe göre talk ve kolemanit oranı ile meme sıcaklığı arasında 1. seviyede kuvvetli, 2. ve 3. seviyede zayıf, diğer faktörler ile arasında ise kuvvetli etkileşim bulunmaktadır. Meme sıcaklığının enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı ile olan etkileşimleri ile 1. seviyede zayıf, 2. ve 3. seviyede kuvvetlidir. Enjeksiyon hızı ile kalıp sıcaklığı arasında tüm seviyelerde kuvvetli bir etkileşim bulunmaktadır.



Şekil 3. 18. OPPH'nin elastisite (Young's) modülünde deney faktörlerinin etkileşimi

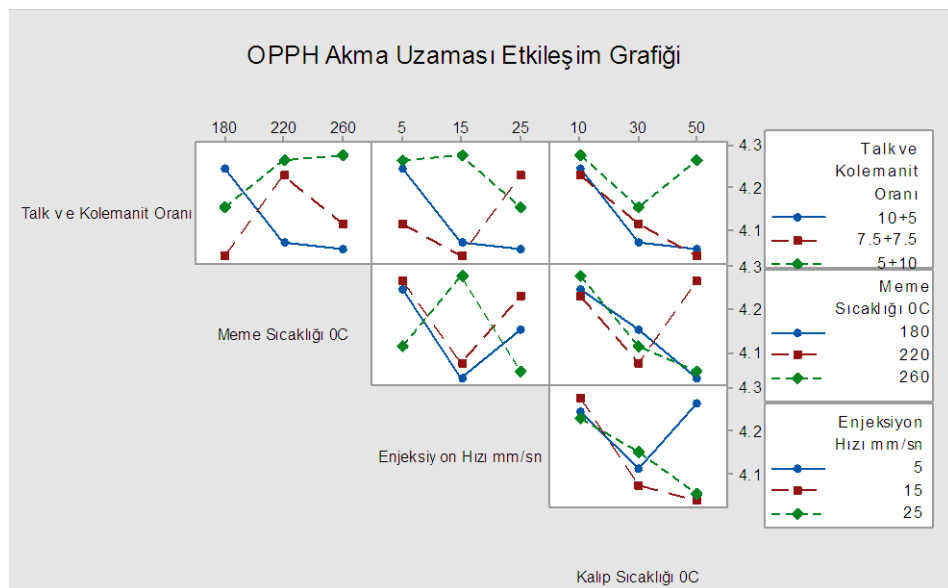
Akma gerilmesinde talk ve kolemanit oranının diğer faktörler ile arasında 10+5 seviyede zayıf, 7,5+7,5 ve 5+10 seviyelerinde kuvvetli etkileşimi olduğu Şekil 3.19'da görülmektedir. Meme sıcaklığının kalıp sıcaklığı ile olan etkileşimi 180°C seviyesinde zayıf ancak 220°C ve 260°C seviyelerinde kuvvetlidir. Enjeksiyon

hızının meme sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı ile olan etkileşimi ise tüm seviyelerde kuvvetlidir.



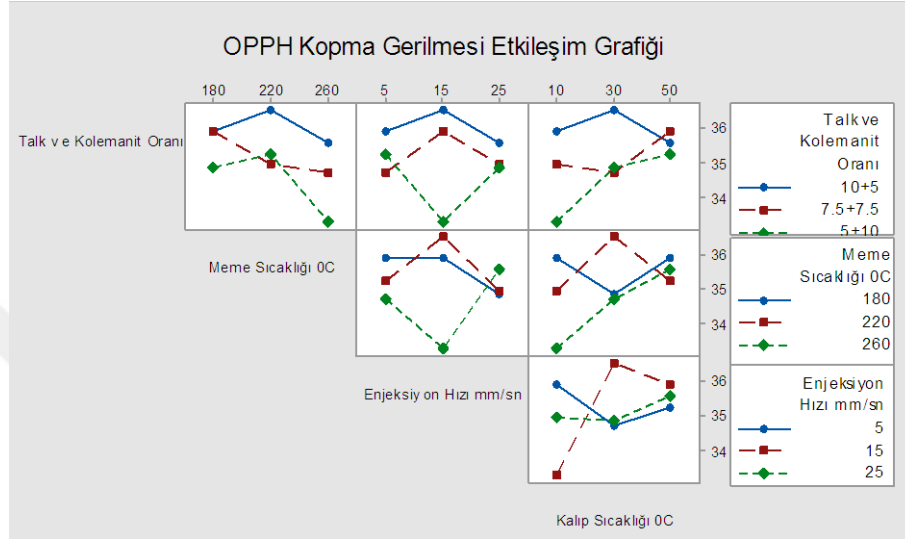
Şekil 3. 19. OPPH'nin akma gerilmesinde deney faktörlerinin etkileşimi

OPPH akma uzamasında deney faktörlerinin etkileşim grafiklerine göre, talk ve kolemanit oranının meme sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı ile etkileşiminin 5+10 seviyesinde zayıf, 10+5 ve 7,5+7,5 seviyelerinde kuvvetli, enjeksiyon hızı ile etkileşiminin 5+10 seviyede orta, 10+5 ve 7,5+7,5 seviyelerinde kuvvetli olduğu Şekil 3.20'de görülmektedir. Meme sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı arasında ise tüm seviyelerde kuvvetli etkileşim bulunmaktadır.



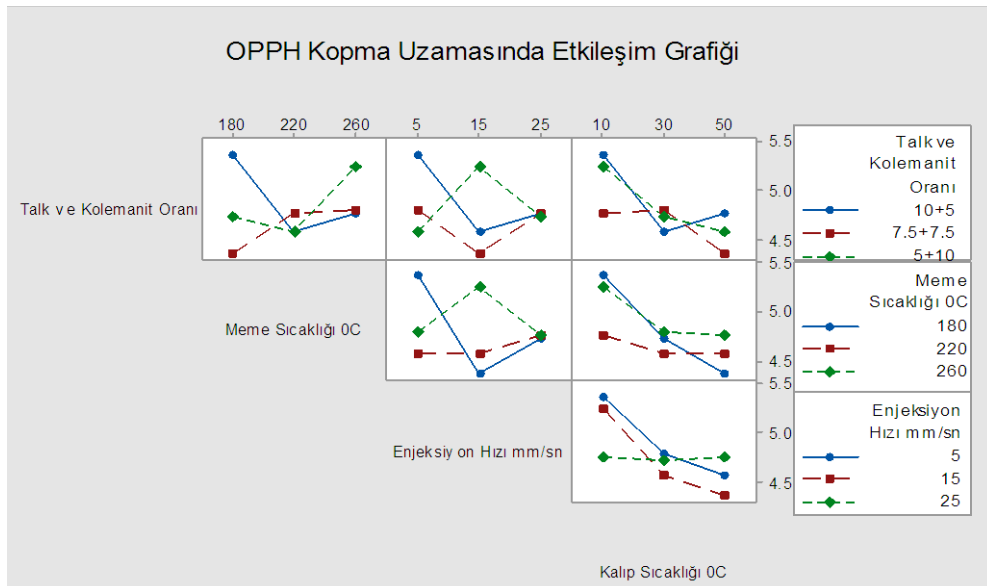
Şekil 3. 20. OPPH'nin akma uzamasında deney faktörlerinin etkileşimi

OPPH kopma gerilmesinde, talk ve kolemanit oranının diğer faktörler ile 10+5 seviyesinde zayıf, 7,5+7,5 ve 5+10 seviyelerinde kuvvetli etkileşimi bulunmaktadır. Meme sıcaklığının enjeksiyon hızı ile her seviyede kuvvetli, kalıp sıcaklığı ile ise 260°C seviyesinde zayıf, 180°C ve 220°C seviyelerinde kuvvetli etkileşimi vardır. Enjeksiyon hızı ile kalıp sıcaklığı arasında tüm seviyelerde kuvvetli etkileşim mevcuttur. (Şekil 3.21)



Şekil 3. 21. OPPH'nin kopma gerilmesinde deney faktörlerinin etkileşimi

OPPH'in kopma uzamasında deney meme sıcaklığının 260°C seviyesinde kalıp sıcaklığı ile etkileşiminin zayıf olması dışında tüm faktörlerin arasındaki etkileşim kuvvetlidir.



Şekil 3. 22. OPPH'nin kopma uzamasında deney faktörlerinin etkileşimi

Tablo 3 . 7. OPPH'in En İyi Faktör Seviyeleri ve Tahminleme Sonuçları

Kalite Değişkeni	En İyi Faktör Kombinasyonu				Tahmini Kalite Değişkeni Değeri
	Ağırlıkça Talk + Kolemanit Oranı (%)	Meme Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Hızı (mm/s)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	
Elastisite (Young's) Modülü (N/mm ²)	10+5	180	15	30	3011,75
Akma Gerilmesi (N/mm ²)	10+5	180	5	50	37,27
Akma Uzaması (%)	5+10	220	5	10	4,40
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	10+5	220	5	50	36,78
Kopma Uzaması (%)	10+5	260	5	10	5,48

OPPH'nin , elastisite (Young's) modülü, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzamasının en iyi değerini elde etmek için gerekli deney faktörlerinin kombinasyonu ve tahmini kalite değişkeni değerleri Tablo 3.7' de verilmiştir.

3.2.3. YPPH kompozit malzemenin çekme deneyi sonuçlarının analizi

Yüksek akışkanlığa sahip PPH kompozit malzeme numunelerine üretimden hemen sonra uygulanan çekme deneyi ile elde edilen, elastisite (Young's) modülü (N/mm²), akma gerilmesi (N/mm²), akma uzaması (%), kopma gerilmesi (N/mm²) ve kopma uzaması (%) değerlerinin en büyük en iyi algoritmasına göre hesaplanan S/G oranları EK-B' de verilmiştir.

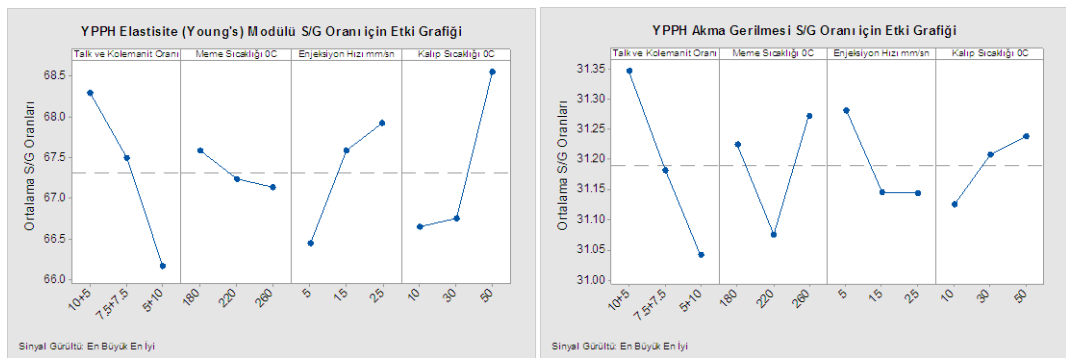
Tablo 3 . 8. YPPH S/G oranları yanıt tablosu

Kalite Değişkeni	Sinyal/Gürültü Oranları için Yanıt Tablosu				
	Seviye	Faktörler			
		Talk Oranı %+ Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
Elastisite (Young's) Modülü	1	68,30	67,59	66,45	66,65
	2	67,50	67,23	67,59	66,76
	3	66,16	67,14	67,92	68,55
	Delta	2,14	0,45	1,47	1,90
	Sıra	1	4	3	2
Akma Gerilmesi		Talk Oranı %+ Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
	1	31,35	31,23	31,28	31,13
	2	31,18	31,08	31,15	31,21
	3	31,04	31,27	31,14	31,24
	Delta	0,30	0,20	0,14	0,11
	Sıra	1	2	3	4
Akma Uzaması		Talk Oranı %+ Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
	1	11,42	11,47	11,62	11,57
	2	11,27	11,42	11,62	11,40
	3	11,84	11,64	11,29	11,56
	Delta	0,57	0,22	0,33	0,16
	Sıra	1	3	2	4
Kopma Gerilmesi		Talk Oranı %+ Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
	1	31,29	31,16	31,22	31,06
	2	31,13	31,04	31,10	31,16
	3	30,98	31,21	31,09	31,18
	Delta	0,31	0,18	0,12	0,12
	Sıra	1	2	3	4

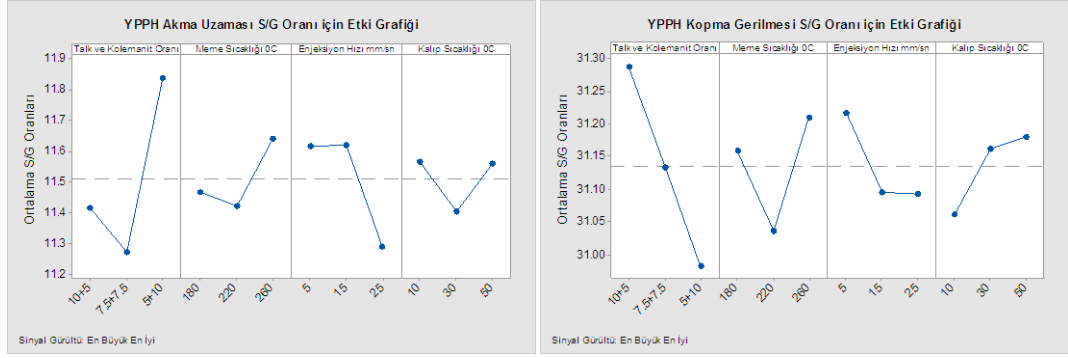
Tablo 3.8. (Devam) YPPH S/G oranları yanıt tablosu

Kalite Değişkeni	Sinyal/Gürültü Oranları için Yanıt Tablosu				
	Seviye	Faktörler			
Kopma Uzaması		Talk Oranı % + Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
	1	12,10	12,21	12,21	12,15
	2	11,63	11,92	12,22	11,96
	3	12,45	12,05	11,76	12,06
	Delta	0,83	0,29	0,46	0,19
	Sıra	1	3	2	4

YPPH numunelerin kalite değişkenleri üzerinde deney faktörlerinin etkilerini gösteren Tablo 3.8 ve Şekil 3.23' ye göre, elastisite (young's) modülü kalite değişkeni üzerinde en etkili deney faktörü talk ve kolemanit oranı, onu sırayla kalıp sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve meme sıcaklığı izlemektedir. YPPH numunelerin akma gerilmesinde en etkili faktör talk ve kolemanit oranıdır, onu sırayla meme sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı izlemektedir. YPPH'nin akma uzamasında en etkili faktör talk ve kolemanit oranı, arkasından enjeksiyon hızı, meme sıcaklığı ve kalıp sıcaklığıdır. YPPH kopma gerilmesi S/G oranlarına göre , kopma gerilmesi üzerinde en etkili faktör talk ve kolemanit oranıdır, arkasından sırayla meme sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı gelmektedir. YPPH' nin kopma uzamasında ise en etkili faktörün talk ve kolemanit oranı, onu sırayla enjeksiyon hızı, meme sıcaklığı ve kalıp sıcaklığının görülmektedir.

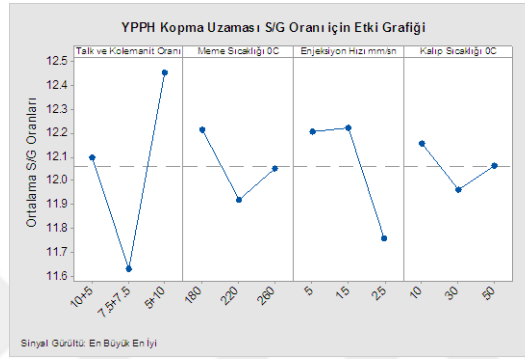


Şekil 3. 23. YPPH (a) elastisite (Young's) modülü, (b) akma gerilmesi, (c) akma uzaması, (d) kopma gerilmesi, (e) kopma uzaması S/G oranı etki grafikleri



(c)

(d)



(e)

Şekil 3.23. (Devam) YPPH (a) elastisite (Young's) modülü, (b) akma gerilmesi, (c) akma uzaması, (d) kopma gerilmesi, (e) kopma uzaması S/G oranı etki grafikleri

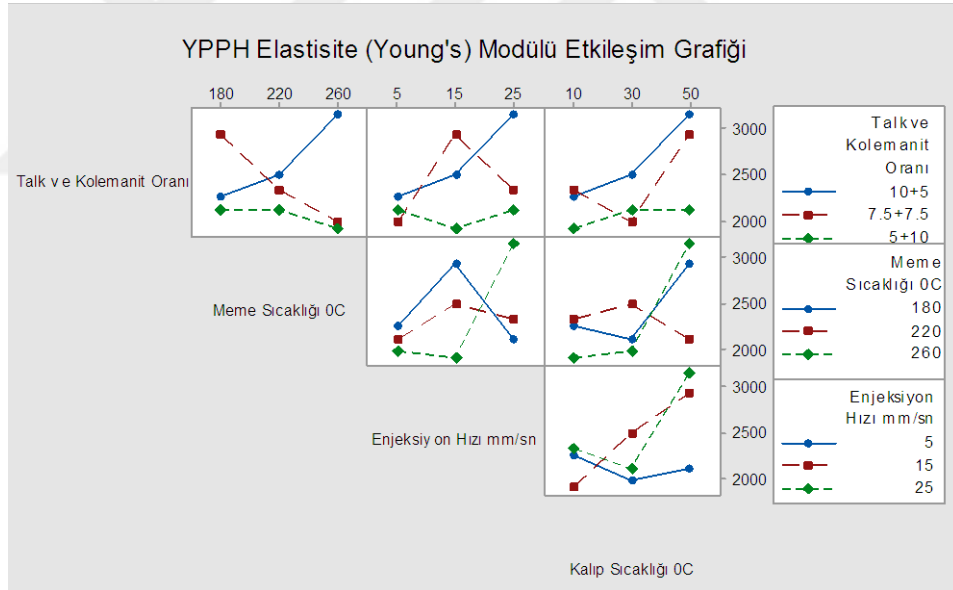
YPPH'in elastisite (Young's) modülü için varyans analizinin sonuçlarını gösteren ANOVA tabloları EK-C' de verilmiştir. YPPH kompozit numunelerin ANOVA analizi sonuçlarına göre kalite değişkenlerinde deney faktörlerinin p değerlerinin yer aldığı Tablo 3.9' da tüm faktörlerin p değeri 0,05'den küçük olduğu için elastisite (Young's) modülü, akma gerilmesi ve kopma gerilmesi üzerinde etkisi olduğu görülmektedir.

Tablo 3 . 9. YPPH numunelerinin ANOVA p değerleri

Faktörler	P-Değeri				
	Elastisite (Young's) Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması
Ağırlıkça Talk ve Kolemanit Oranı %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Meme Sıcaklığı 0C	0,0140	0,0000	0,0260	0,0000	0,1610
Enjeksiyon Hızı mm/s	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0120
Kalıp Sıcaklığı 0C	0,0000	0,0000	0,0790	0,0000	0,4330

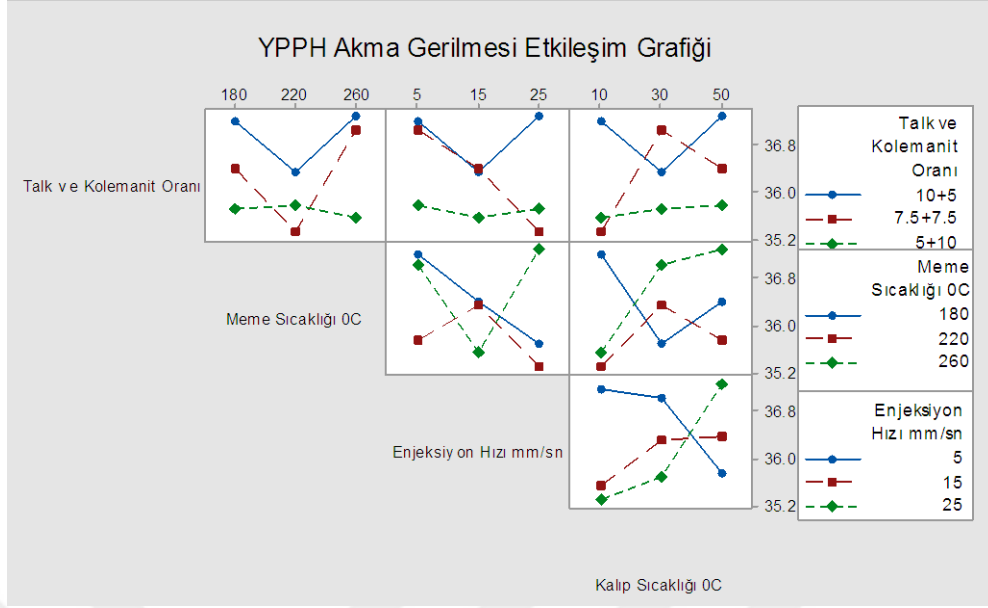
YPPH deney numunelerinin akma uzaması değerlerinin varyans analizi tablosuna göre, kalıp sıcaklığı dışında tüm faktörlerde $p < 0,05$ olması nedeniyle kalıp sıcaklığı için H_0 hipotezi kabul edilir, diğer faktörler için ise reddedilir. Başka bir ifade ile kalıp sıcaklığının YPPH'nin akma uzamasında etkisi yoktur, diğer faktörlerin ise etkisi vardır. YPPH kopma uzaması değerlerinin varyans analizi sonuçlarını meme sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı için $p > 0,05$ olması nedeniyle bu faktörlerin kopma uzaması üzerinde etkisi olduğunu talk ve kolemanit oranı ile enjeksiyon hızı için ise $p < 0,05$ olması nedeniyle bu faktörlerin kopma uzaması üzerinde etkisi olmadığını göstermektedir.

Şekil 3.24' de elastisite (Young's) modülünde deney faktörlerinin arasındaki etkileşim görülmektedir. Talk ve kolemanit oranının, meme sıcaklığı ve enjeksiyon hızı ile 5+10 seviyesinde zayıf diğer seviyelerde kuvvetli, kalıp sıcaklığı ile her seviyede kuvvetli bir etkileşimi olduğu görülmektedir. Diğer faktörler arasında ise kuvvetli etkileşim bulunmaktadır.

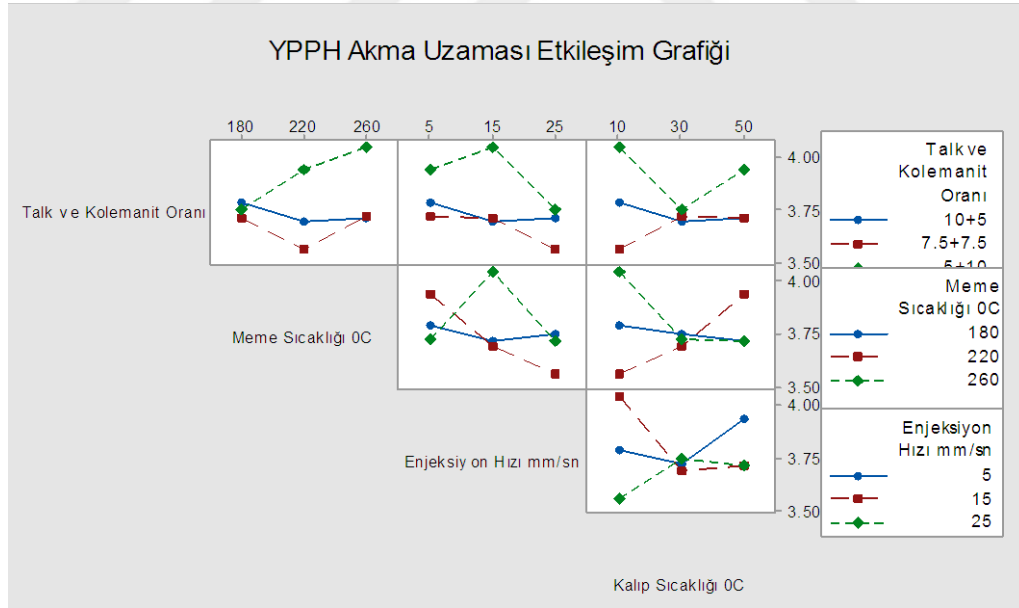


Şekil 3. 24. YPPH'nin elastisite (Young's) modülünde deney faktörlerinin etkileşimi

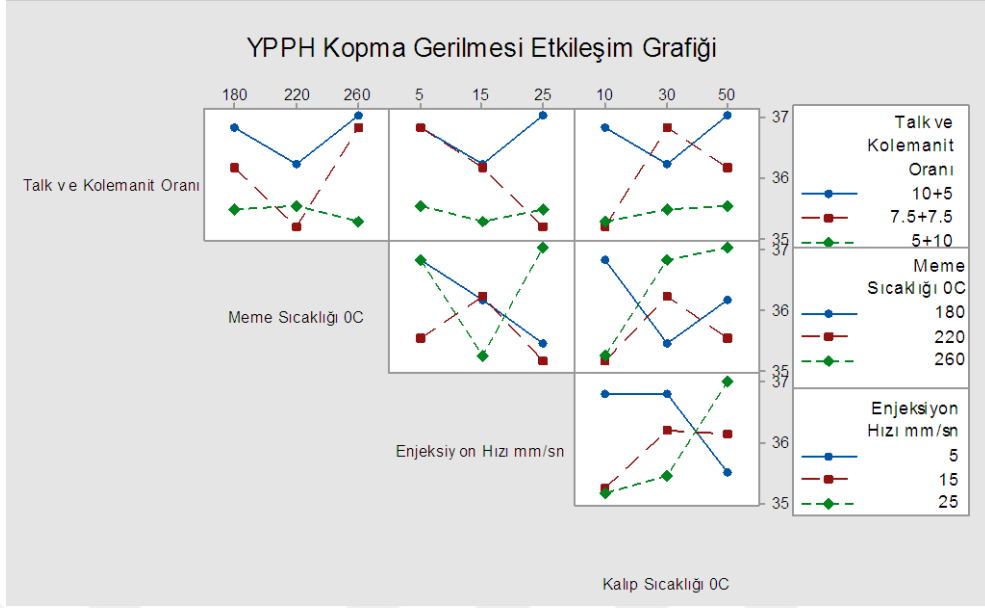
YPPH'nin akma gerilmesinin deney faktörleri arasındaki etkileşimi incelendiğinde, talk ve kolemanit oranının, meme sıcaklığı ve enjeksiyon hızı ile etkileşiminin 10+5 seviyesinde zayıf, diğer seviyelerde kuvvetli, kalıp sıcaklığı ile etkileşiminin 5+10 seviyesinde zayıf diğer seviyelerde kuvvetli olduğu Şekil 3.25'de görülmektedir.



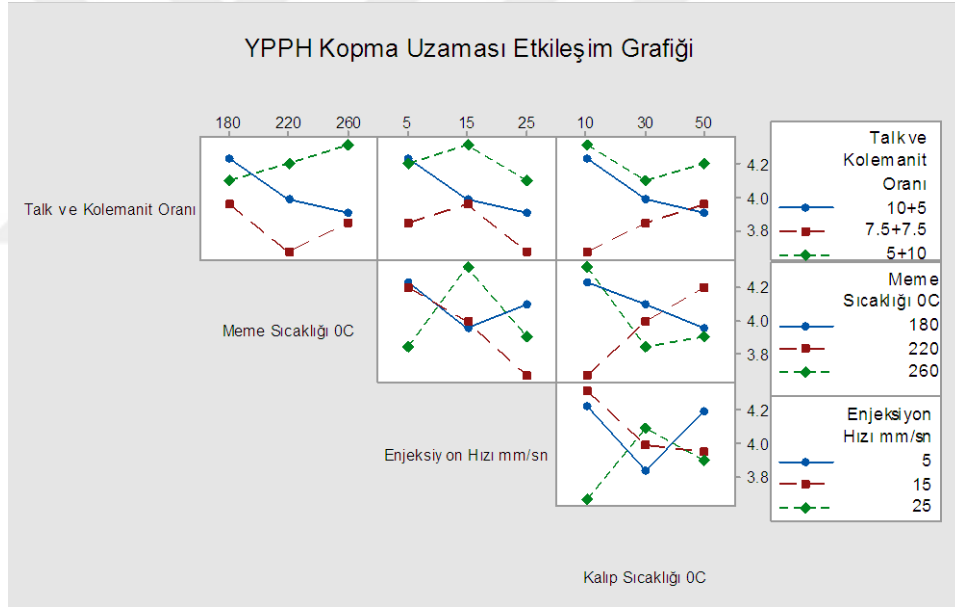
YPPH'in akma uzaması için talk ve kolemanit oranının 5+10 seviyesinin diğer faktörler ile etkileşiminin zayıf olması dışında tüm faktörler arasında kuvvetli etkileşim bulunduğu Şekil 3.26'da görülmektedir.



YPPH'in kopma gerilmesi faktörlerinin etkileşim grafiğine göre talk ve kolemanit oranının meme sıcaklığı ile etkileşiminin 10+5 seviyesinde zayıf, 7,5+7,5 ve 5+10 seviyelerinde kuvvetli, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı ile etkileşiminin 5+10 seviyesinde zayıf, 10+5 ve 7,5+7,5 seviyelerinde kuvvetli, diğer faktörlerin etkileşimlerinin kuvvetli olduğu Şekil 3.27'de görülmektedir.



Şekil 3. 27. YPPH'nin kopma gerilmesinde deney faktörlerinin etkileşimi



Şekil 3. 28. YPPH'nin kopma uzamasında deney faktörlerinin etkileşimi

YPPH kopma uzamasında talk ve kolemanit oranının, meme sıcaklığı ile etkileşimi 7,5+7,5 seviyesinde zayıf, 10+5 ve 5+10 seviyelerinde kuvvetli, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı ile etkileşimi tüm seviyelerinde zayıftır. Diğer faktörler arasındaki etkileşim her seviyede kuvvetlidir. (Şekil 3.28)

YPPH kompozit numunelerinin , elastisite (Young's) modülü, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzamasının en iyi değerini elde etmek için gerekli deney faktörlerinin kombinasyonu ve tahmini kalite değişkeni değerleri Tablo 3.10' da verilmiştir.

Tablo 3 . 10. YPPH'in En İyi Faktör Seviyeleri ve Tahminleme Sonuçları

Kalite Değişkeni	En İyi Faktör Kombinasyonu				Tahmini Kalite Değişkeni Değeri
	Ağırlıkça Talk + Kolemanit Oranı (%)	Meme Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Hızı (mm/s)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	
Elastisite (Young's) Modülü (N/mm ²)	10+5	180	25	50	3237,53
Akma Gerilmesi (N/mm ²)	10+5	260	5	50	37,84
Akma Uzaması (%)	5+10	260	15	10	4,05
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	10+5	260	5	50	37,53
Kopma Uzaması (%)	5+10	180	15	10	4,40

3.2.4. Tüm PPH kompozit malzeme numunelerinin birlikte analizi

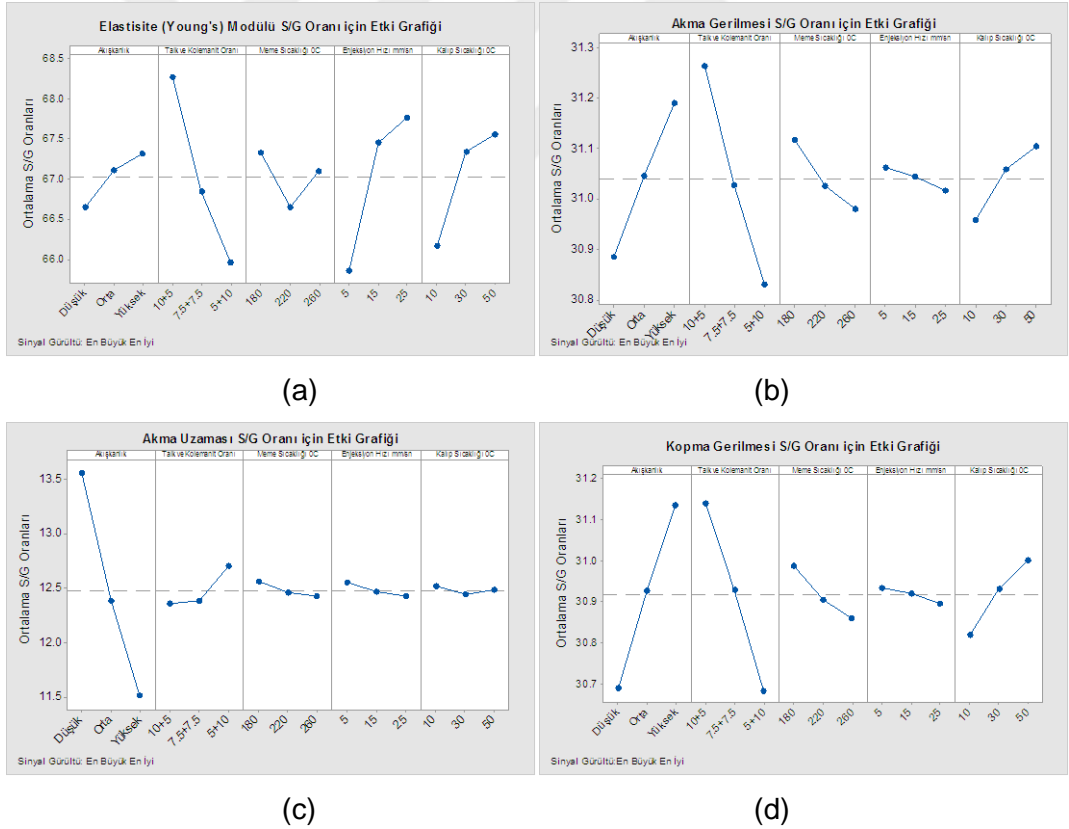
Bu çalışmada, üretimden hemen sonra gerçekleştirilen ve akışkanlık düzeylerine göre ayrı olarak uygulanan çekme deneyi sonuçları analiz edildikten sonra tüm akışkanlık düzeylerine ait sonuçlar birleştirilerek S/G oranı ve ANOVA analizlerine tabi tutulmuştur. Akışkanlık seviyesinin üç seviyesi, Düşük=1, Orta=2, Yüksek=3 olacak şekilde nümerik hale getirilerek deney desenine bir faktör olarak eklenmiştir. Ayrı akışkanlık düzeylerine ait L₉ ortogonal dizinine göre oluşturulmuş deney desenleri birleştirilip akışkanlık seviyeside bir faktör olarak eklendiğinde 27 kombinasyonlu bir deney deseni elde edilmiştir. Bu deney deseni ile çekme deneyi kalite değişkenlerine ait 5 gözlemin sonuçlarına Taguchi yönteminin S/G oranı analizi uygulanmıştır. Tüm PPH numunelerinin birlikte analiz edilmesi sonucu elde edilen S/G oranları EK-B' de verilmiştir.

PPH kompozit numunelerin birlikte analize tabi tutulması ile kalite değişkenleri üzerinde deney faktörlerinin etkileri Tablo 3.11 ve Şekil 3.29' da görüldüğü gibi tespit edilmiştir.

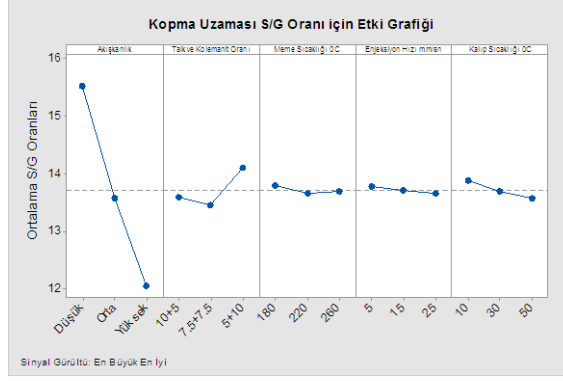
Tablo 3 . 11. Tüm PPH kompozit numunelerin S/G oranları yanıt tablosu

Kalite Değişkeni	Sinyal/Gürültü Oranları için Yanıt Tablosu					
	Seviye		Faktörler			
Elastisite (Young's) Modülü		Akışkanlık seviyesi	Talk Oranı %+ Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
	1	66,65	68,27	67,33	65,86	66,18
	2	67,12	66,85	66,65	67,46	67,34
	3	67,32	65,97	67,10	67,77	67,57
	Delta	0,67	2,30	0,68	1,91	1,39
	Sıra	5	1	4	2	3
Akma Gerilmesi		Akışkanlık seviyesi	Talk Oranı %+ Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
	1	30,88	31,26	31,12	31,06	30,96
	2	31,05	31,03	31,03	31,04	31,06
	3	31,19	30,83	30,98	31,02	31,10
	Delta	0,31	0,43	0,14	0,04	0,15
	Sıra	2	1	4	5	3
Akma Uzaması		Akışkanlık seviyesi	Talk Oranı %+ Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
	1	13,56	12,35	12,56	12,55	12,52
	2	12,38	12,38	12,46	12,47	12,44
	3	11,51	12,70	12,43	12,43	12,48
	Delta	2,05	0,35	0,13	0,12	0,08
	Sıra	1	2	3	4	5
Kopma Gerilmesi		Akışkanlık seviyesi	Talk Oranı %+ Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
	1	30,69	31,14	30,99	30,94	30,82
	2	30,93	30,93	30,91	30,92	30,93
	3	31,14	30,69	30,86	30,90	31,00
	Delta	0,44	0,45	0,13	0,04	0,18
	Sıra	2	1	4	5	3
Kopma Uzaması		Akışkanlık seviyesi	Talk Oranı %+ Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C
	1	15,52	13,59	13,81	13,78	13,88
	2	13,58	13,46	13,66	13,71	13,70
	3	12,06	14,11	13,69	13,67	13,58
	Delta	3,46	0,65	0,14	0,11	0,30
	Sıra	1	2	4	5	3

Düşük, orta ve yüksek akışkanlık seviyesindeki PPH numunelerin birlikte analizi ile elde edilen elastisite (Young's) modülü S/G oranlarına göre, en etkili faktör talk ve kolemanit oranıdır, sonra sırayla enjeksiyon hızı, kalıp sıcaklığı, meme sıcaklığı ve son olarak akışkanlık seviyesi etkilidir. PPH kompozit numunelerin akma gerilmesinde en etkili faktör talk ve kolemanit oranıdır, onu akışkanlık seviyesi, kalıp sıcaklığı, meme sıcaklığı ve enjeksiyon hızı izlemektedir. Akma uzaması kalite değişkeni üzerinde en etkili faktör akışkanlık seviyesidir ve onu sırayla talk ve kolemanit oranı, meme sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı izlemektedir. PPH kompozit numunelerinin kopma gerilmelerine ait S/G oranlarına göre kopma gerilmesi üzerinde en etkili faktörün talk ve kolemanit oranı olduğu görülmektedir. Talk ve kolemanit oranını sırasıyla akışkanlık seviyesi, kalıp sıcaklığı, meme sıcaklığı ve enjeksiyon hızı izlemektedir. Kopma uzamasında en etkili faktör akışkanlık seviyesidir, onu sırayla talk ve kolemanit oranı, kalıp sıcaklığı, meme sıcaklığı ve enjeksiyon hızı izlemektedir.



Şekil 3. 29. Tüm PPH'lerin (a) elastisite (Young's) modülü, (b) akma gerilmesi, (c) akma uzaması, (d) kopma gerilmesi, (e) kopma uzaması S/G oranı etki grafikleri



(e)

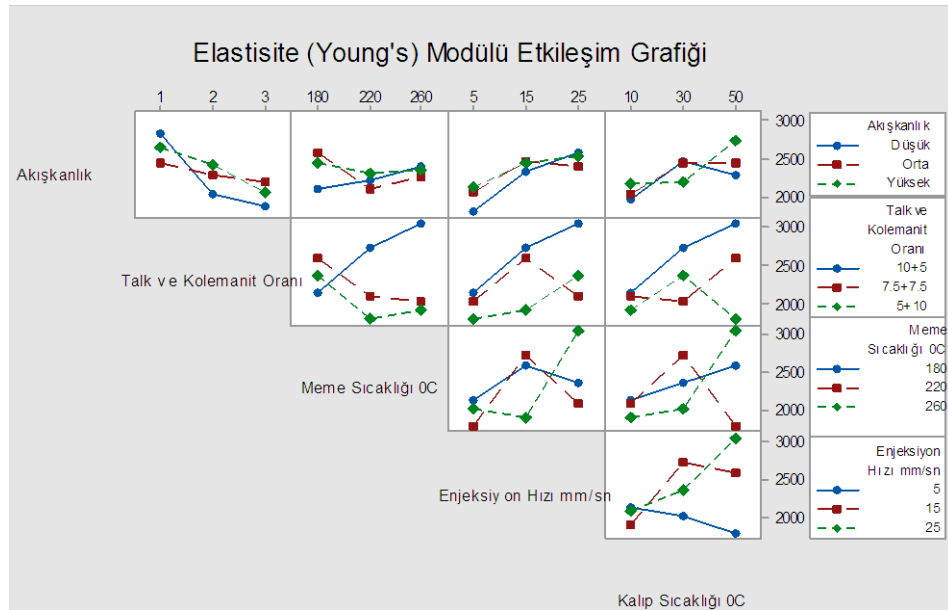
Şekil 3.29. (Devam) Tüm PPH'lerin (a) elastisite (Young's) modülü, (b) akma gerilmesi, (c) akma uzaması, (d) kopma gerilmesi, (e) kopma uzaması S/G oranı etki grafikleri

Tüm PPH kompozit numunelerinin varyans analizi sonuçları EK-C' de verilmiştir. Varyans analizi sonucu tüm kalite değişkenlerinin p değerlerinin yer aldığı Tablo 3.12' de $p > 0,05$ olması nedeniyle akışkanlık seviyesi ve meme sıcaklığı faktörlerinin elastisite (Young's) modülü üzerinde etkisi olmadığı diğer faktörlerin ise elastisite (Young's) modülü üzerinde etkisi olduğu görülmektedir. Üç farklı düzeydeki PPH numunelerinin birlikte incelenmesinin sonucunda elde edilen akma gerilmesi varyans analizi tablosunda p değerinin 0,05'den küçük olup olmamasına göre, akışkanlık seviyesi ve talk ve kolemanit oranı için H_0 hipotezi reddedilirken, diğer faktörler için reddedilemez. Başka bir deyişle akışkanlık seviyesi, talk ve kolemanit oranının akma gerilmesi kalite değişkeni üzerinde etkisi vardır ancak diğer faktörlerin yoktur. Akma uzaması varyans analizine göre, p değeri 0,05'den küçük olan akışkanlık seviyesi ve talk ve kolemanit oranı için H_0 hipotezi reddedilirken diğer faktörlerin p değeri 0,05'den büyük olduğu H_0 hipotezi reddedilemez. PPH akma uzamasında akışkanlık seviyesi ve talk ve kolemanit oranının etkisinin olduğu diğer faktörlerin ise etkisinin olmadığı görülmektedir. PPH numunelerinin kopma gerilmesi varyans analizinde kopma gerilmesi üzerinde etkisi olan deney faktörleri akışkanlık seviyesi ve talk ve kolemanit oranıdır. Diğer faktörler için ise H_0 hipotezi reddedilir ve kopma gerilmesi üzerinde etkisi bulunmamaktadır. PPH kompozit numunelerinde sadece akışkanlık seviyesinin $p < 0,05$ olması nedeniyle kopma uzaması üzerinde tek etkili faktörün akışkanlık seviyesi olduğu görülmektedir.

Tablo 3 . 12.Tüm PPH numunelerinin ANOVA p değerleri

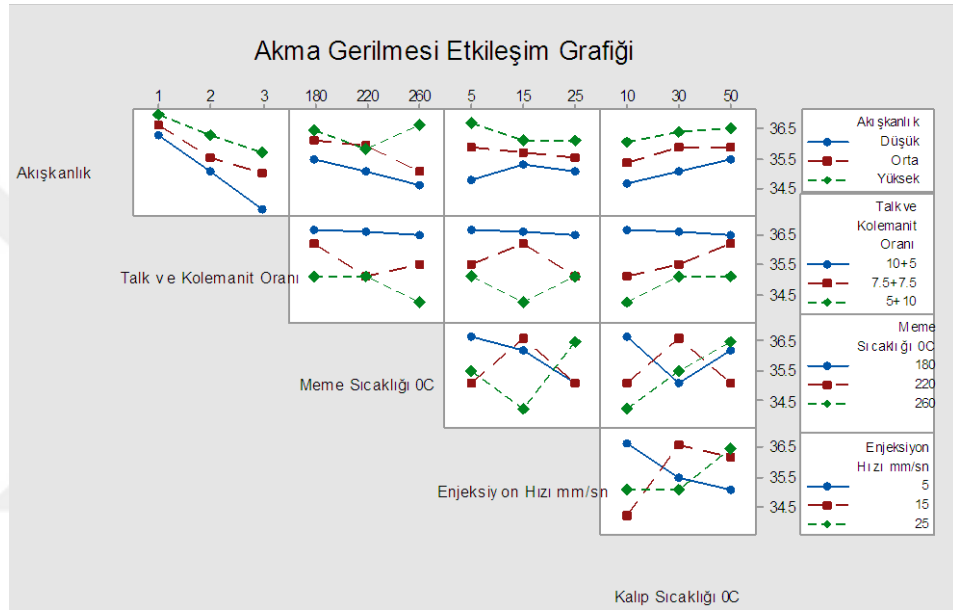
Faktörler	P-Değeri				
	Elastisite (Young's) Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması
Akışkanlık seviyesi	0,6950	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000
Ağırlıkça Talk ve Kolemanit Oranı %	0,0030	0,0000	0,0360	0,0000	0,0720
Meme Sıcaklığı °C	0,5450	0,1320	0,4700	0,1970	0,8200
Enjeksiyon Hızı mm/s	0,0060	0,7660	0,7440	0,8390	0,9810
Kalıp Sıcaklığı °C	0,0240	0,0990	0,9020	0,0500	0,6850

Şekil 3.30' da PPH numunelerinin elastisite (Young's) modülünde faktörler arasındaki etkileşimin grafiksel görünümü verilmiştir. Akışkanlık seviyesinin tüm faktörler ile arasında kuvvetli bir etkileşim bulunmaktadır. Talk ve kolemanit oranının enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı ile 10+5 seviyesinde zayıf, 7,5+7,5 ve 5+10 seviyelerinde kuvvetli, meme sıcaklığı ile tüm seviyelerde kuvvetli etkileşimi bulunmaktadır. Meme sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı arasında her seviyede kuvvetli etkileşim olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 30. PPH elastisite (Young's) modülünde faktörlerin etkileşimi

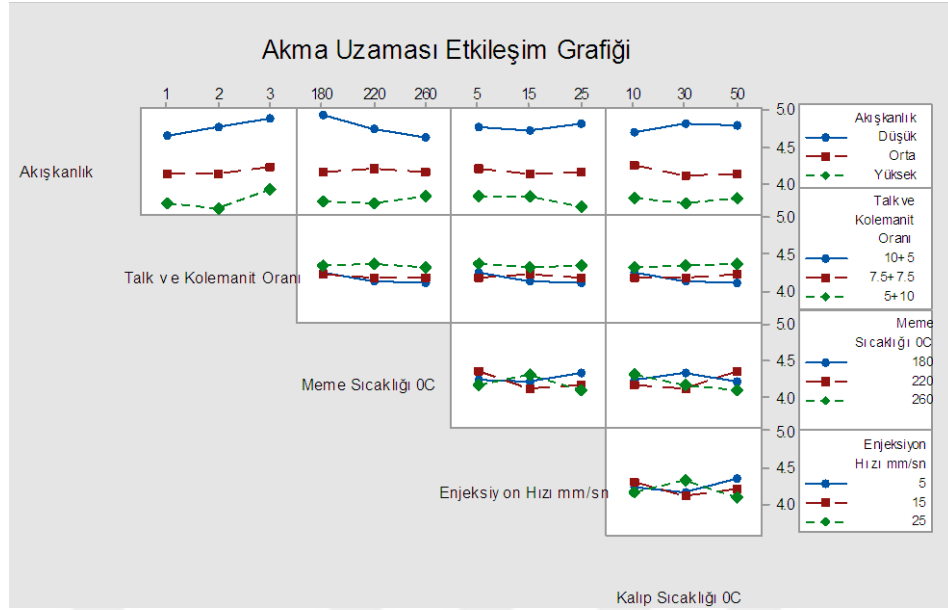
PPH kompozit numunelerin akma gerilmesi kalite değişkeninde akışkanlık seviyesinin diğer tüm faktör ile etkileşiminin zayıftır. Talk ve kolemanit oranının ise meme sıcaklığı ile olan etkileşimi 10+5 seviyesinde zayıfken, 7,5+7,5 ve 5+10 seviyelerinde oldukça kuvvetlidir. Talk ve kolemanit oranının enjeksiyon hızı ile arasındaki etkileşim 10+5 seviyesinde zayıf, 7,5+7,5 ve 5+10 seviyelerinde ortadır, kalıp sıcaklığı ile arasındaki etkileşim ise her seviyede zayıftır. Meme sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı faktörleri arasında ise her seviyede etkileşim kuvvetli olduğu görülmektedir. (Şekil 3.31)



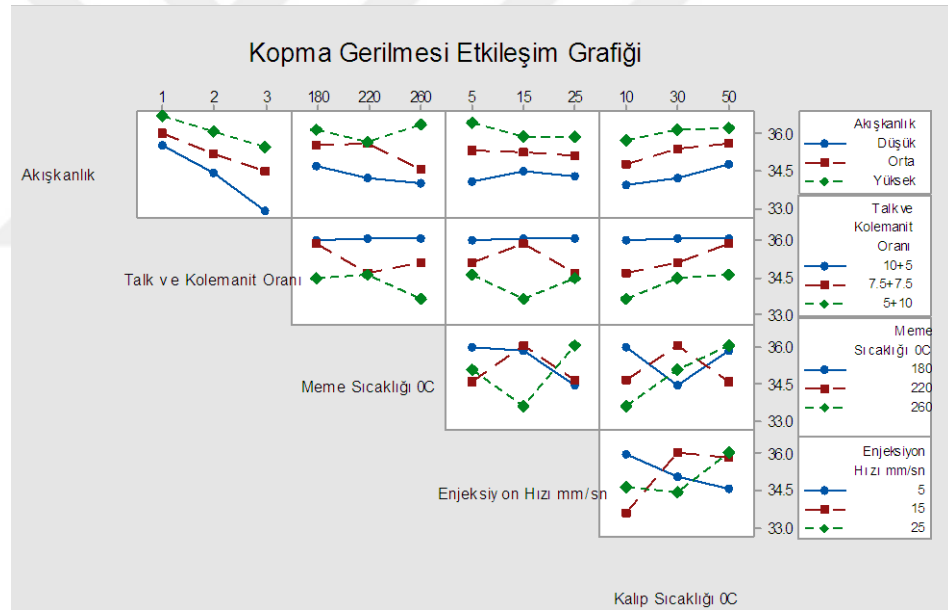
Şekil 3. 31. PPH akma gerilmesinde faktörlerin etkileşimi

PPH kompozit numunelerinin akma uzaması özellikleri için akışkanlık seviyesinin diğer faktörler ile arasında zayıf, talk ve kolemanit oranının diğer faktörler ile arasında 5+10 seviyesinin zayıf, diğer seviyelerinin orta etkileşimi bulunduğunu gösteren grafik Şekil 3.32'deki yer almaktadır.

Kopma gerilmesi özelliğinde akışkanlık seviyesi diğer faktörler ile arasında zayıf etkileşim bulunmaktadır. Talk ve kolemanit oranının meme sıcaklığı ile arasında 10+5 seviyesinde zayıf, 7,5+7,5 ve 5+10 seviyelerinde kuvvetli, diğer faktörler ile arasında zayıf etkileşim görülmektedir. Meme sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı arasında ise kuvvetli etkileşim bulunmaktadır. (Şekil 3.33)

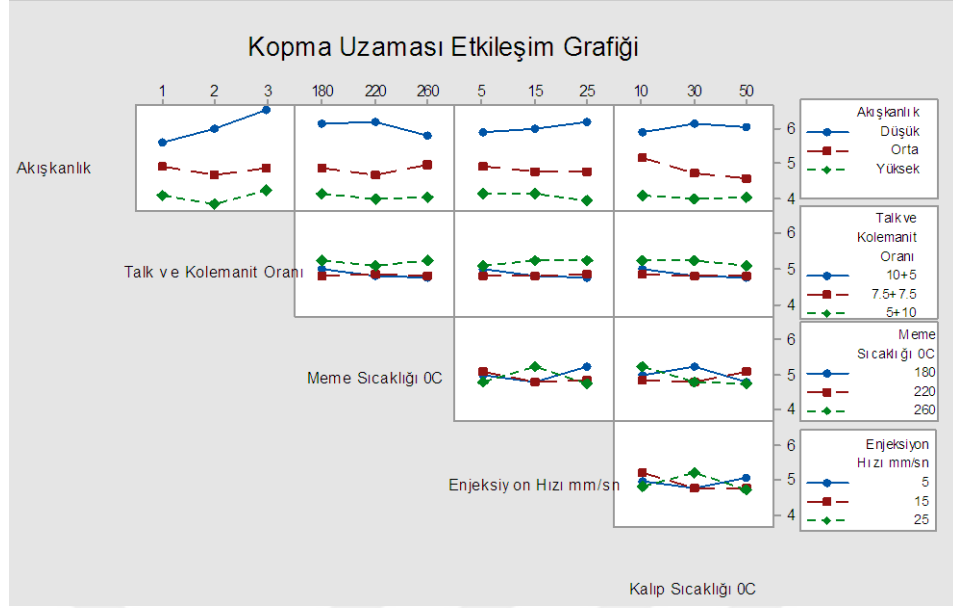


Şekil 3. 32. PPH akma uzamasında faktörlerin etkileşimi



Şekil 3. 33. PPH kopma gerilmesinde faktörlerin etkileşimi

Kopma uzamasında akışkanlık seviyesinin diğer faktörler ile etkileşimi zayıftır. Talk ve kolemanit oranının ise diğer faktörler ile etkileşimi 5+10 seviyesinde zayıf, 7,5+7,5 ve 10+5 seviyelerinde kuvvetlidir. Diğer faktörler arasında ise etkileşim her seviyede kuvvetlidir. (Şekil 3.34)



Şekil 3. 34. PPH kopma uzamasında faktörlerin etkileşimi

Tüm akışkanlık düzeylerinin birlikte analiz edilmesi sonucu en iyi kalite değişkenleri için optimum faktör kombinasyonları ve bu kombinasyonların Minitab programı ile hesaplanan tahmini kalite değişkeni değerleri Tablo 3. 13' de verilmiştir.

Tablo 3 . 13. Tüm PPH' lerin En İyi Faktör Seviyeleri ve Tahminleme Sonuçları

Kalite Değişkeni	En İyi Faktör Kombinasyonu					Tahmini Kalite Değişkeni Değeri
	Akışkanlık seviyesi	Ağırlıkça Talk + Kolemanit Oranı (%)	Meme Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Hızı (mm/s)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	
Elastisite (Young's) Modülü (N/mm²)	Yüksek	10+5	180	25	50	3142,69
Akma Gerilmesi (N/mm²)	Yüksek	10+5	180	5	50	37,85
Akma Uzaması (%)	Düşük	5+10	180	5	10	4,96
Kopma Gerilmesi (N/mm²)	Düşük	5+10	180	5	10	6,40
Kopma Uzaması (%)	Yüksek	7,5+7,5	220	25	50	3,79

Akışkanlık seviyelerine göre ayrı yapılan S/G analizlerinde, DPPH ve YPPH numunelerinin elastisite (Young's) modülünde en etkili faktörün talk ve kolemanit

oranı iken OPPH numunelerinde meme sıcaklığı olduğu, talk ve kolemanit oranının en az etkiye sahip faktör olduğu görülmüştür. Akışkanlık seviyeside bir faktör olarak alınarak tüm akışkanlık seviyelerinin birlikte S/G analizine tabi tutulması sonucunda ise elastisite (Young's) modülünde en etkili faktörün talk ve kolemanit oranı olduğu, akışkanlık özelliğinin en az etkiye sahip faktör olduğu tespit edilmiştir.

Kopma ve akma gerilmesi özellikleri üzerinde en etkili faktörün, akışkanlık seviyelerine göre yapılan S/G analizlerinde, DPPH, OPPH ve YPPH numunelerinin tamamında talk ve kolemanit oranı olduğu görülmüştür. Akışkanlık seviyesi ile birlikte yapılan S/G analizi sonuçları da akma ve kopma gerilmesinde en etkili faktörün talk ve kolemanit oranı olduğu onu akışkanlık seviyesinin takip ettiğini göstermiştir.

Akışkanlık seviyelerine göre yapılan S/G analizlerinde, DPPH numunelerinde akma uzamasında en etkili faktörün meme sıcaklığı onun arkasından talk ve kolemanit oranının geldiği, kopma uzamasında ise en etkili faktörün talk ve kolemanit oranı olduğu görülmüştür. OPPH numunelerinde ise akma ve kopma uzamalarında en etkili faktörün kalıp sıcaklığı iken, YPPH numunelerinde talk ve kolemanit oranı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Akışkanlık özelliğinin bir parametre olarak S/G dahil edilmesi ile elde edilen sonuçlarda akışkanlığın kopma ve akma uzamalarında en etkili faktör olduğu, talk ve kolemanit katkı oranı faktörünün etki sıralamasında onu takip ettiği görülmektedir.

Akışkanlık seviyelerine göre yapılan ANOVA sonuçlarında, DPPH, OPPH ve YPPH numunelerinin elastisite (Young's) modülünde tüm faktörlerin etkisi olduğu görülürken, tüm akışkanlık seviyelerine sahip numunelerin birlikte varyans analizi sonucunda ise akışkanlık seviyesi ve meme sıcaklığının elastisite (Young's) modülü üzerinde etkisi olmadığı görülmüştür.

Akışkanlık seviyelerine göre ANOVA analizi ile DPPH, OPPH ve YPPH numunelerinin tümünde kopma ve akma gerilmelerinde faktörlerin hepsinin etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak tüm akışkanlık seviyelerinin birlikte varyans analizi ile meme sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı yani üretim parametrelerinin kopma ve akma gerilmeleri üzerinde etkisi olmadığı görülmüştür.

Akışkanlık seviyelerine göre yapılan varyans analizlerinde, DPPH numunelerinin kopma uzamasında kalıp sıcaklığının, YPPH numunelerinin kopma uzamasında meme sıcaklığı ve kalıp sıcaklığının etkisi olmadığı, OPPH numunelerinin kopma

uzamasında ise tüm faktörlerin etkisi olduğu görülmüştür. Tüm akışkanlık seviyelerinin birlikte ANOVA analizi ise kopma uzamasında meme sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı faktörlerinin etkisi olmadığını göstermiştir.

Akışkanlık seviyelerine göre yapılan varyans analizi, DPPH numunelerinin akma uzamasında tüm faktörlerin etkili olduğunu, OPPH numunelerinin akma uzamasında meme sıcaklığı hariç tüm faktörlerin etkili olduğunu ve YPPH numunelerinin akma uzamasında ise kalıp sıcaklığı dışındaki faktörlerin etkili olduğunu göstermiştir. Tüm akışkanlık seviyelerinin birlikte analizinde ise akma uzamasında ile meme sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığı parametrelerinin etkisi olmadığı, akışkanlık seviyesi ve talk/kolemanit oranının etkili olduğu görülmüştür.

3.2.5. MRSN analiz sonuçları

Bu çalışmada; Taguchi yönteminin S/G oranı analizi kullanılarak geliştirilen kalite değişkenlerinin eşzamanlı en iyilenmesi çekme özelliklerine uygulanmıştır.

Elastisite (Young's) modülü, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi, kopma uzamasına ait kalite kayıpları (L_{ij}) en büyük en iyi algoritmasına göre hesaplanmıştır. Denklem (2.1) kullanılarak normalleştirilen kayıplar (C_{ij}) hesaplanmıştır. Denklem (2.2) ve Denklem (2.3) kullanılarak toplam kalite kayıpları ($TNQL_j$) ve çok yanıtlı S/G ($MRSN_j$) oranları hesaplanmıştır. Akışkanlık düzeylerine göre ayrı MRSN analizi uygulanması ile elde edilen sonuçlar EK-D' de verilmiştir.

Toplam kalite kaybı ($TNQL_j$) hesaplanırken ağırlıklar malzemenin kullanım alanının gereksinimleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Tampon malzemesi olarak otomotiv sektöründe kullanılacak olan malzemeden öncelikle yüksek mukavemet ardından kolay şekil verme özellikleri beklenmesi nedeniyle; ağırlıklar toplamda 1'i olacak şekilde elastisite (Young's) modülü için $w_1 = 0,4$, akma gerilmesi için $w_2=0,2$, akma uzaması için $w_2=0,1$, kopma gerilmesi için $w_2=0,2$ ve kopma uzaması için $w_3=0,1$ olarak uygulanmıştır.

Faktörlerin ve seviyelerinin çok yanıtlı S/G ($MRSN_j$) oranının etkisi tespit edilerek en iyi deney kombinasyonunu belirlemek mümkün olmaktadır. Bu amaçla, faktörlerin tüm seviyeleri için çok yanıtlı S/G ($MRSN_j$) oranı hesaplanmaktadır. [65]

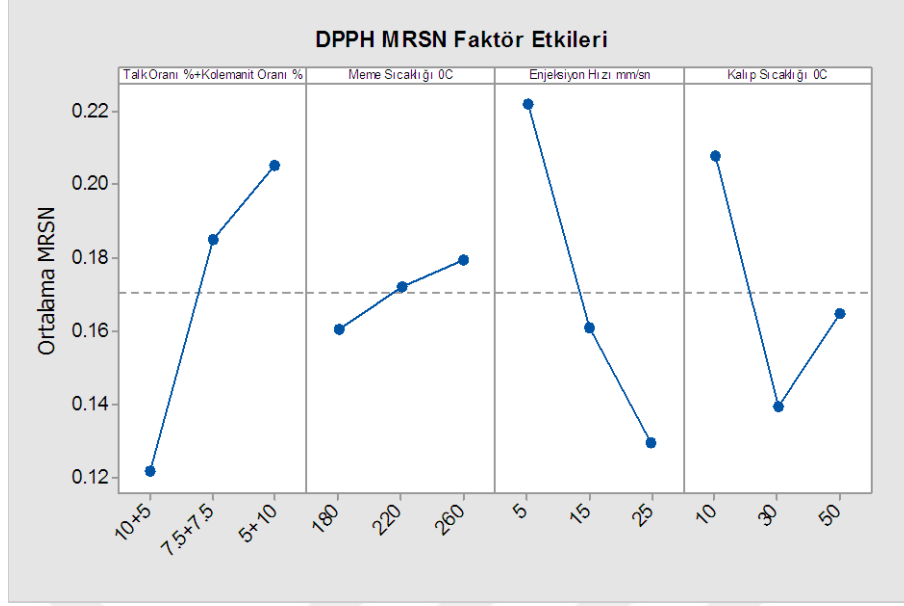
Tablo 3.14' de faktörlerin seviyelerinin etkileri çok yanıtlı S/G ($MRSN_j$) oranı ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Malzemenin kullanım alanına göre hem yüksek dayanım hem kolay şekil değiştirme özelliklerine gereksinim duyulması nedeniyle,

en iyi deney faktör seviyelerinin kombinasyonu için çok yanıtlı S/G (MRSN_i) oranının en büyük değeri alınmıştır.

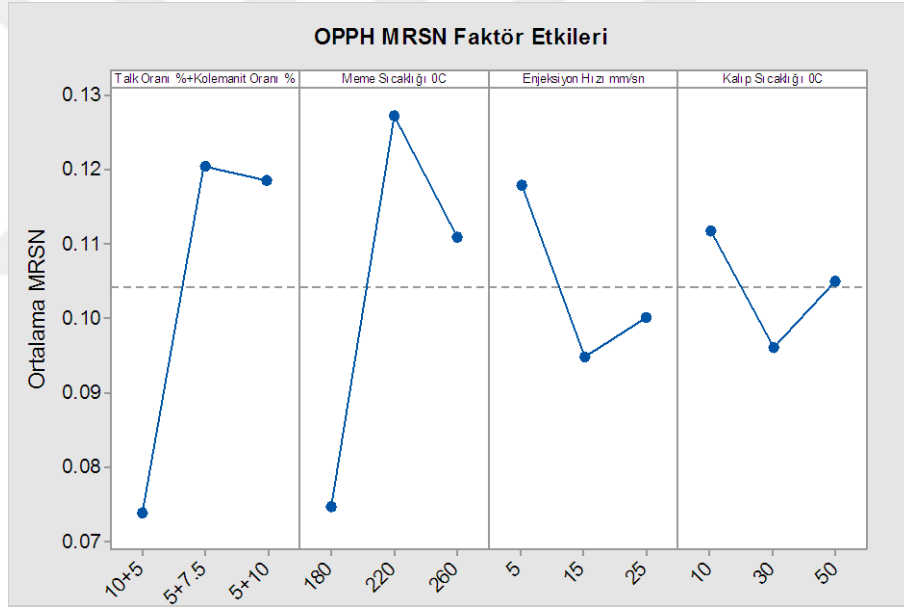
Tablo 3 . 14. Faktör Seviyelerinin MRSN Oranındaki Etkileri

Akışkanlık seviyesi	Faktörler		Talk + Kolemanit Oranı %	Meme Sıc, °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıc, °C
Düşük	Seviye	1	0,1216	0,1605	0,2218	0,2078
		2	0,1849	0,1720	0,1606	0,1393
		3	0,2052	0,1792	0,1293	0,1646
	Delta		0,0836	0,0187	0,0925	0,0685
	Sıra		2	4	1	3
Orta	Seviye	1	0,0739	0,0747	0,1178	0,1118
		2	0,1204	0,1271	0,0948	0,0960
		3	0,1184	0,1109	0,1000	0,1049
	Delta		0,0464	0,0524	0,0230	0,0158
	Sıra		2	1	3	4
Yüksek	Seviye	1	0,0929	0,1123	0,1329	0,1403
		2	0,1444	0,1411	0,1103	0,1450
		3	0,1366	0,1204	0,1307	0,0886
	Delta		0,0515	0,0288	0,0226	0,0564
	Sıra		2	3	4	1

Tablo 3.14' de yer alan ve Şekil 3.35' de grafiksel olarak gösterilen, MRSN üzerinde faktörlerin etkileri incelendiğinde, DPPH için enjeksiyon hızı, OPPH için meme sıcaklığı ve YPPH için ise kalıp sıcaklığının en etkili faktör olduğu görülmektedir. Üç grup numune içinde 2. etkili faktör ise talk ve kolemanit oranıdır.

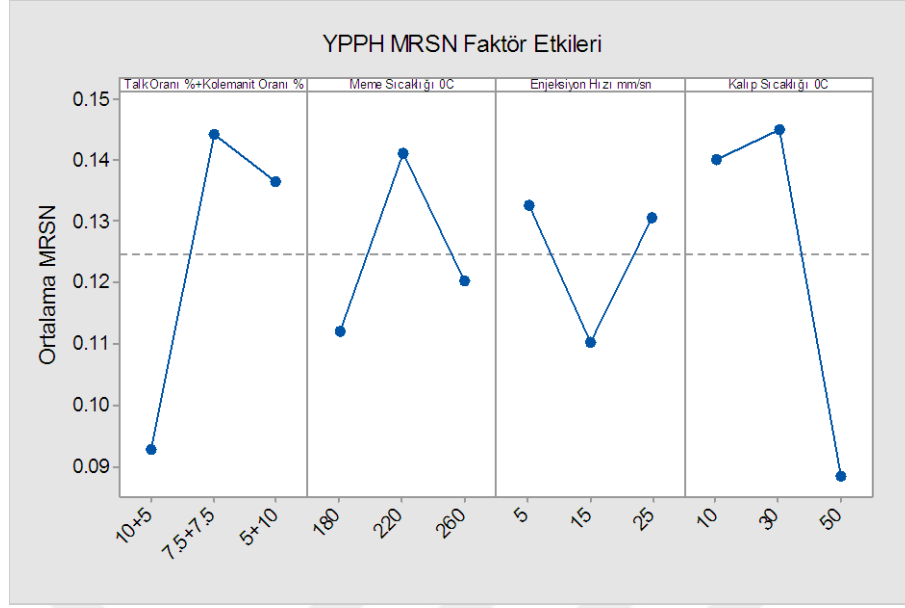


(a)



(b)

Şekil 3. 35. (a) DPPH, (b) OPPH ve (c) YPPH numuneleri için faktörlerin MRSN üzerindeki etkileri



(c)

Şekil 3.35. (Devam) (a) DPPH, (b) OPPH ve (c) YPPH numuneleri için faktörlerin MRSN üzerindeki etkileri

Faktör seviyelerinin MRSN üzerindeki etkisi doğrultusunda belirlenen tüm kalite değişkenlerinin eş zamanlı en iyilenmesini sağlayan optimum faktör kombinasyonu Tablo 3.15' de verilmiştir.

Tablo 3 . 15. MRSN En İyi Faktör Kombinasyonları

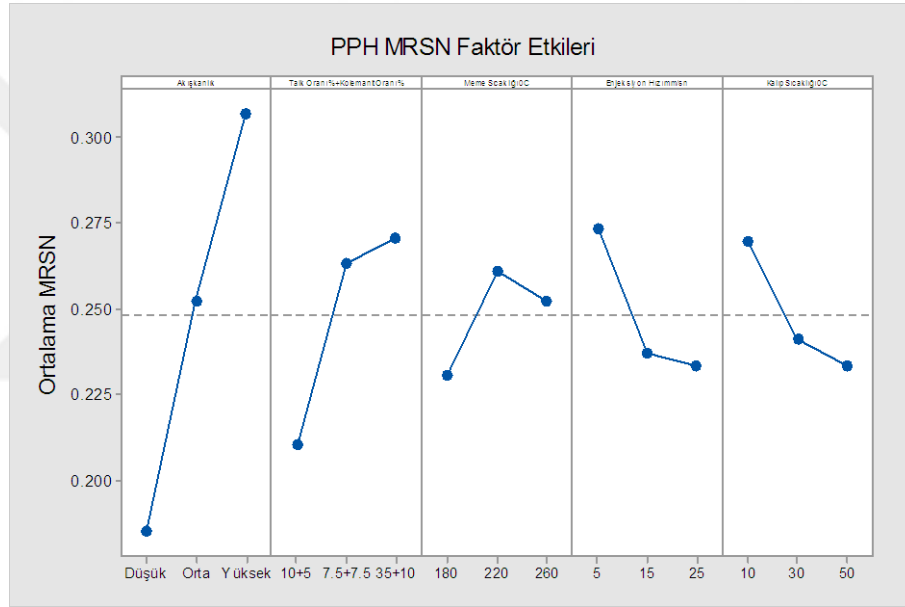
MRSN En İyi Faktör Kombinasyonu					
Kalite Değişkenleri	Akışkanlık	Talk + Kolemanit Oranı %	Meme Sıc. °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıc. °C
Elastisite Modülü	Düşük	5+10	260	5	10
Akma Gerilmesi		7,5+7,5	220	5	10
Akma Kopması		7,5+7,5	220	5	30
Kopma Gerilmesi	Orta	7,5+7,5	220	5	10
Kopma Uzaması		7,5+7,5	220	5	30
	Yüksek	7,5+7,5	220	5	30

Akışkanlık düzeylerine göre ayrı ayrı MRSN analizinin yanı sıra tüm PPH'lerin çekme deneyine ait çok yanıtli kalite değişkenlerinin eş zamanlı S/G oranı analizi yapılmıştır. EK-D' de tüm PPH'lerin kalite değişkenleri için çok yanıtli S/G oranları verilmiştir.

Tablo 3 . 16. Tüm PPH'lerin Faktör Seviyelerinin MRSN Oranındaki Etkileri

Faktörler	Akışkanlık seviyesi	Talk + Kolemanit Oranı %	Meme Sıc, °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıc, °C	
Seviye	1	0,1849	0,2103	0,2306	0,2732	0,2695
	2	0,2519	0,2629	0,2608	0,2369	0,2409
	3	0,3067	0,2703	0,2520	0,2334	0,2331
Maks-Min	0,1217	0,0599	0,0302	0,0399	0,0363	
Sıra	1	2	5	3	4	

Çok yanıtli S/G oranlarına göre faktörlerin kalite değişkenleri üzerindeki etkileri Tablo 3.16' da verilmiştir.



Şekil 3. 36. Tüm PPH'ler için Faktörlerin MRSN Üzerindeki Etkileri

Söz konusu etkilerin grafiksel görünümü ise Şekil 3.36' de yer almaktadır. Tüm PPH'lerin MRSN analizinde en etkili faktörün akışkanlık seviyesi olduğu ve onu talk ve kolemanit oranının izlediği görülmektedir.

Tablo 3.17' da tüm PPH'lerin MRSN analizi sonucu en iyi kalite değişkenlerini elde etmek için gereken optimum faktör kombinasyonu verilmiştir.

Tablo 3 . 17. Tüm PPH'ler için MRSN En İyi Faktör Kombinasyonları

MRSN En İyi Faktör Kombinasyonu					
Kalite Değişkenleri	Akışkanlık	Talk + Kolemanit Oranı %	Meme Sic. °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sic. °C
Elastisite Modülü Akma Gerilmesi Akma Kopması Kopma Gerilmesi Kopma Uzaması	Yüksek	5+10	220	5	10

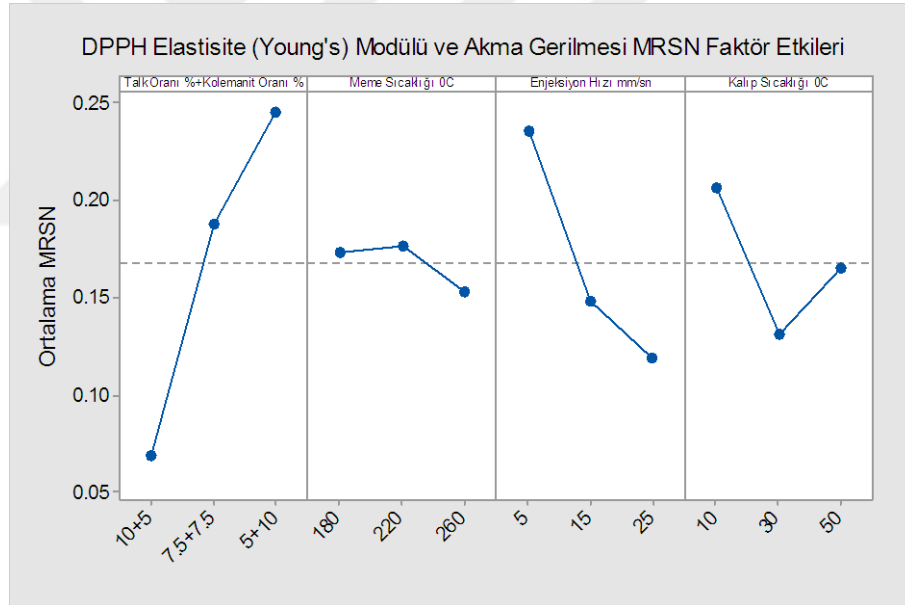
Akışkanlık düzeylerine göre ve tüm deney numunelerin birlikte ele alınarak, elastisite (Young's) modülü - akma gerilmesi, elastisite (Young's) modülü - kopma gerilmesi, akma gerilmesi – kopma gerilmesi, akma uzaması – kopma uzaması olarak ikili şekilde kalite değişkenlerinin MRSN analizi yapılmıştır. EK-D' da verilen söz konusu MRSN analizi sonuçlarına göre kalite değişkenlerinde MRSN etkileri belirlenmiştir.

Tablo 3 . 18. Akışkanlık düzeylerine göre elastisite (Young's) modülü ve akma gerilmesi MRSN oranlarında faktörlerin etkileri

Elastisite (Young's) Modülü ve Akma Gerilmesi MRSN Oranlarında Faktörlerin Etkileri						
Akışkanlık Düzeyi	Faktörler		Talk + Kolemanit Oranı %	Meme Sic, °C	Enjeksiyon Hızı mm/sn	Kalıp Sic, °C
Düşük	Seviye	1	0,0690	0,1731	0,2354	0,2064
		2	0,1882	0,1768	0,1485	0,1312
		3	0,2456	0,1530	0,1189	0,1652
	Delta		0,1766	0,0237	0,1165	0,0753
	Sıra		1	4	2	3
Orta	Seviye	1	0,0539	0,0472	0,1245	0,1329
		2	0,0976	0,1172	0,0660	0,0655
		3	0,1168	0,1040	0,0779	0,0699
	Delta		0,0629	0,0700	0,0586	0,0674
	Sıra		3	1	4	2
Yüksek	Seviye	1	0,0669	0,1007	0,1410	0,1422
		2	0,1067	0,1226	0,1053	0,1334
		3	0,1656	0,1159	0,0929	0,0636
	Delta		0,0988	0,0219	0,0481	0,0786
	Sıra		1	4	3	2

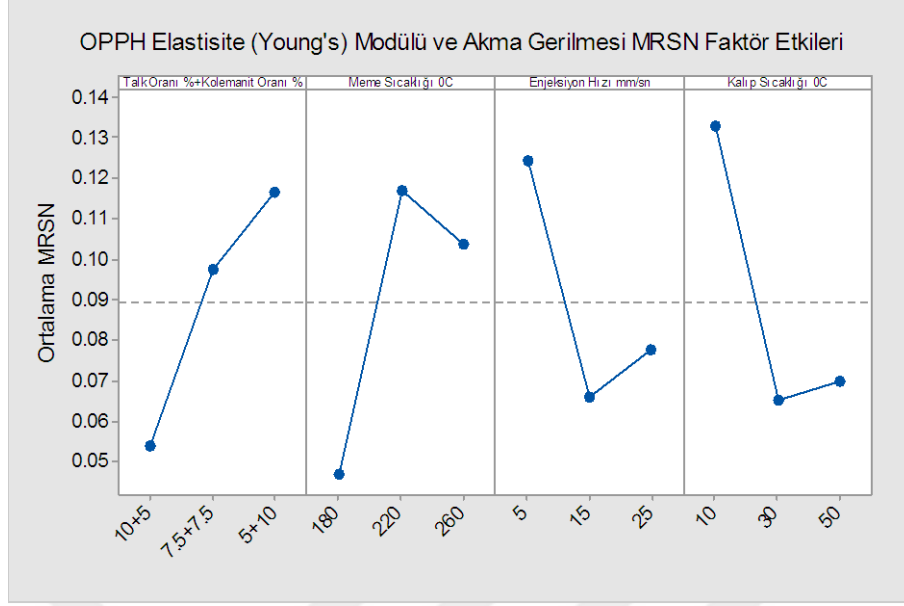
Tablo 3.18’de akışkanlık düzeylerine göre elastisite (Young’s) modülü ve akma gerilmesi MRSN oranlarında faktörlerin etkileri verilmiştir. Şekil 3.37’de ise akışkanlık düzeylerine göre elastisite (Young’s) modülü ve akma gerilmesi MRSN oranlarında faktörlerin etkilerinin grafiksel görünümü yer almaktadır.

Kalite değişkenlerinin ikili alındığı MRSN analizlerinde $TNQL_j$ hesaplanırken ağırlıklar malzemenin kullanım alanının gereksinimleri göz önüne alınarak elastisite (Young’s) modülü – akma gerilmesi toplam kalite kaybında ağırlıklar elastisite modülü için 0,6, akma gerilmesi için 0,4, elastisite (Young’s) modülü - kopma gerilmesi toplam kalite kaybında ağırlıklar elastisite modülü için 0,6, akma gerilmesi için 0,4 alınmıştır. Akma gerilmesi – kopma gerilmesi toplam kalite kaybı hesaplanırken ağırlıklar akma gerilmesi için 0,4, kopma gerilmesi için 0,6, akma uzaması – kopma uzaması toplam kalite kaybı hesaplanırken ağırlıklar akma uzaması için 0,4, kopma uzaması için 0,6 olarak alınmıştır.

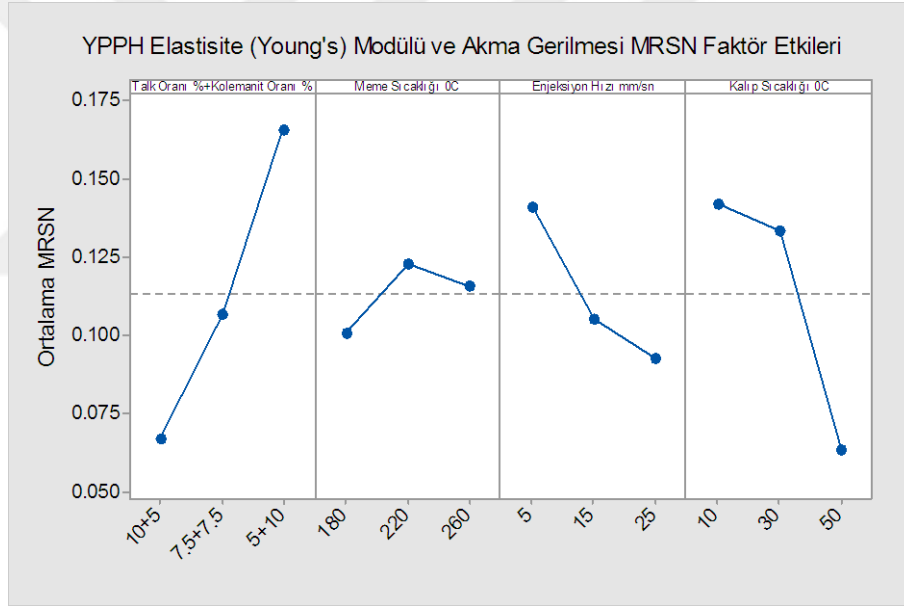


(a)

Şekil 3. 37. (a) DPPH, (b) OPPH, (c) YPPH Elastisite (Young’s) Modülü ve Akma Gerilmesi MRSN Etki Grafiği



(b)



(c)

Şekil 3.37. (Devam) (a) DPPH, (b) OPPH, (c) YPPH Elastisite (Young's) Modülü ve Akma Gerilmesi MRSN Etki Grafiği

Elastisite (Young's) modülü ve akma gerilmesi MRSN analizinde, DPPH numunleri için en etkili faktörün talk ve kolemanit oranı olduğu, onu enjeksiyon hızı, kalıp sıcaklığı ve meme sıcaklığının takip ettiği görülmüştür. OPPH numunlerinde ise en etkili faktörün meme sıcaklığı olduğunu ardından kalıp sıcaklığı, talk ve kolemanit oranı ve enjeksiyon hızı gelmektedir. YPPH numunlerinde ise elastisite (Young's) modülü ve akma gerilmesinin birlikte analizinde en etkili faktörün talk ve kolemanit oranı olduğu, onu sırasıyla kalıp sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve meme sıcaklığının

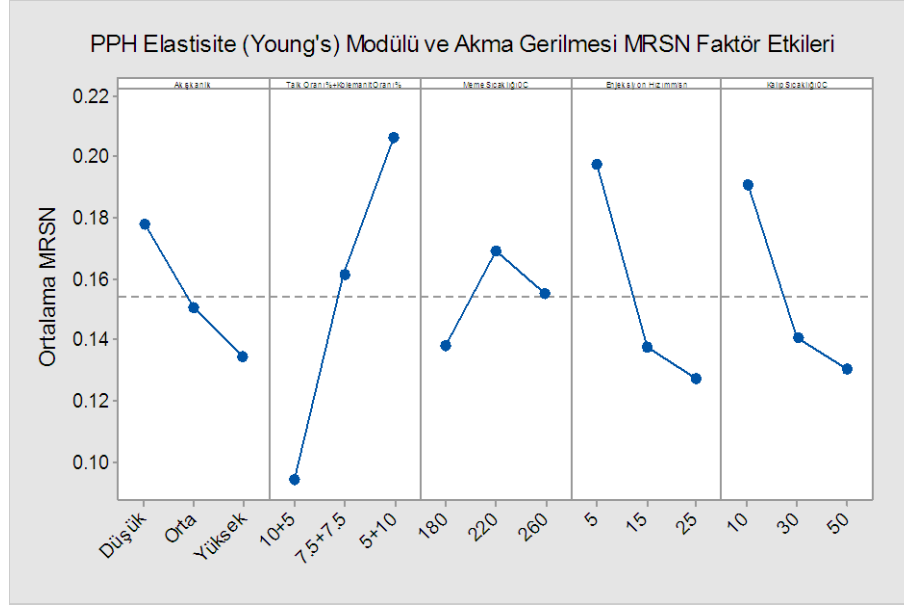
izlediği görülmüştür. Elastisite (Young's) modülünün tekil S/G analizinde DPPH ve YPPH numunlerinde en etkili faktör talk ve kolemanit oranı, OPPH numunlerinde ise meme sıcaklığı olduğu görülmüştü. Akma gerilmesinin tekil S/G analizinde DPPH, OPPH ve YPPH numunelerinin tamamında en etkili faktörün talk ve kolemanit oranı olduğu tespit edilmişti. Elastisite (Young's) modülü ve akma gerilmesinin ikili MRSN analizinde de tekil analizlerdeki en etkili faktörlerin ilk sıralarda yer aldığı görülmektedir.

Tüm akışkanlık seviyelerinin birlikte elastisite (Young's) modülü ve akma gerilmesi MRSN analizi ile elde edilen faktörlerin etki sıralamaları Tablo 3.19'da, etkilerin grafiksel görünümü ise Şekil 3.38'de yer almaktadır.

Tablo 3 . 19. Tüm PPH'lerin elastisite (Young's) modülü ve akma gerilmesi MRSN oranlarında faktörlerin etkileri

PPH'lerin Elastisite (Young's) Modülü ve Akma Gerilmesi MRSN Oranlarında Faktörlerin Etkileri						
Faktörler	Akışkanlık Düzeyi	Talk + Kolemanit Oranı %	Meme Sıc, °C	Enjeksiyon Hızı mm/sn	Kalıp Sıc, °C	
Seviye	1	0,1779	0,0942	0,1380	0,1976	0,1913
	2	0,1504	0,1617	0,1695	0,1376	0,1409
	3	0,1344	0,2068	0,1552	0,1275	0,1304
Maks-Min	0,0435	0,1126	0,0315	0,0701	0,0609	
Sıra	4	1	5	2	3	

Tüm akışkanlık seviyelerinin birlikte elastisite (Young's) modülü ve akma gerilmesi MRSN analizi ile en etkili faktör , tekil analizlerde de olduğu gibi talk ve kolemanit oranı olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3. 38. Tüm PPH'lerin Elastisite (Young's) Modülü ve Akma Gerilmesi MRSN Etki Grafiği

Elastisite (Young's) modülü - kopma gerilmesi, akma gerilmesi – kopma gerilmesi, akma uzaması – kopma uzaması ikili kalite değişkenlerinin MRSN analizi sonucu elde edilen MRSN etki tabloları ve grafikleri EK-E'de yer almaktadır.

Tablo 3 . 20. Akışkanlıklarına Göre Kalite Değişkenlerinin İkili MRSN Analizi Sonucu En İyi Faktör Kombinasyonları

MRSN En İyi Faktör Kombinasyonu					
Kalite Değişkenleri	Akışkanlık	Talk + Kolemanit Oranı %	Meme Sıc, °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıc, °C
Elastisite Modülü Akma Gerilmesi	Düşük	5+10	220	5	10
	Orta	5+10	220	5	10
	Yüksek	5+10	220	5	10
Elastisite Modülü Kopma Gerilmesi	Düşük	5+10	220	5	10
	Orta	5+10	220	5	10
	Yüksek	5+10	220	5	10
Akma Gerilmesi Kopma Gerilmesi	Düşük	5+10	260	5	10
	Orta	5+10	260	25	10
	Yüksek	5+10	220	25	10

Tablo 3.20. (Devam) Akışkanlıklarına Göre Kalite Değişkenlerinin İkili MRSN Analizi Sonucu En İyi Faktör Kombinasyonları

MRSN En İyi Faktör Kombinasyonu					
Kalite Değişkenleri	Akışkanlık	Talk + Kolemanit Oranı %	Meme Sıc. °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıc. °C
Akma Uzaması Kopma Uzaması	Düşük	10+5	260	5	10
	Orta	7,5+7,5	220	15	50
	Yüksek	7,5+7,5	220	25	30

Kalite değişkenlerinin ikili alındığı en büyük en iyi MRSN analizlerine göre optimum faktör kombinasyonları belirlenmiştir. Tablo 3.20' de akışkanlıklarına göre yapılan MRSN analizi sonucu tespit edilen optimum faktör kombinasyonları, Tablo 3.21' da tüm PPH'lerin birlikte ele alındığı MRSN analizlerine göre optimum faktör kombinasyonları verilmiştir.

Tablo 3 . 21 Tüm PPH'ler için Kalite Değişkenlerinin İkili MRSN Analizi Sonucu En İyi Faktör Kombinasyonları

MRSN En İyi Faktör Kombinasyonu					
Kalite Değişkenleri	Akışkanlık	Talk + Kolemanit Oranı %	Meme Sıc. °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıc. °C
Elastisite Modülü Akma Gerilmesi	Düşük	5+10	220	5	10
Elastisite Modülü Kopma Gerilmesi	Düşük	5+10	220	5	10
Akma Gerilmesi Kopma Gerilmesi	Düşük	5+10	260	25	10
Akma Uzaması Kopma Uzaması	Yüksek	7,5+7,5	220	25	50

3.3. Erime Akış Hızı

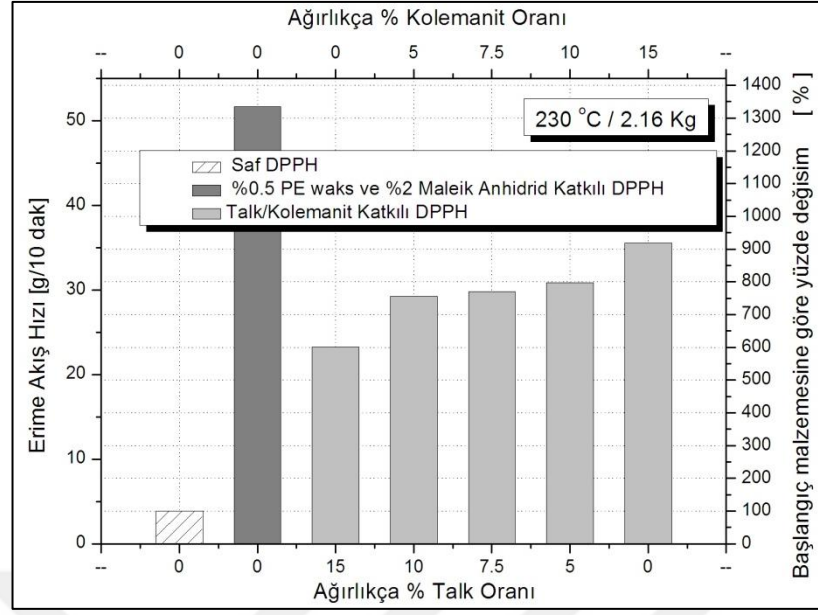
Bu çalışmada, üç farklı akışkanlık seviyesinde PPH malzeme kullanılarak natürel PPH, ağırlıkça %0,5 PE waks ve %2 maleik anhidrid katkılı PPH, ağırlıkça %0.5 PE waks ve %2 maleik anhidrid yanı sıra ağırlıkça toplamda %15 talk ve/veya kolemanit katkılı PPH granül olarak kullanılmıştır ve numunelerinin özellikleri Tablo 3.22' de yer almaktadır.

Tablo 3 . 22. Erime akış hızı deney numuneleri

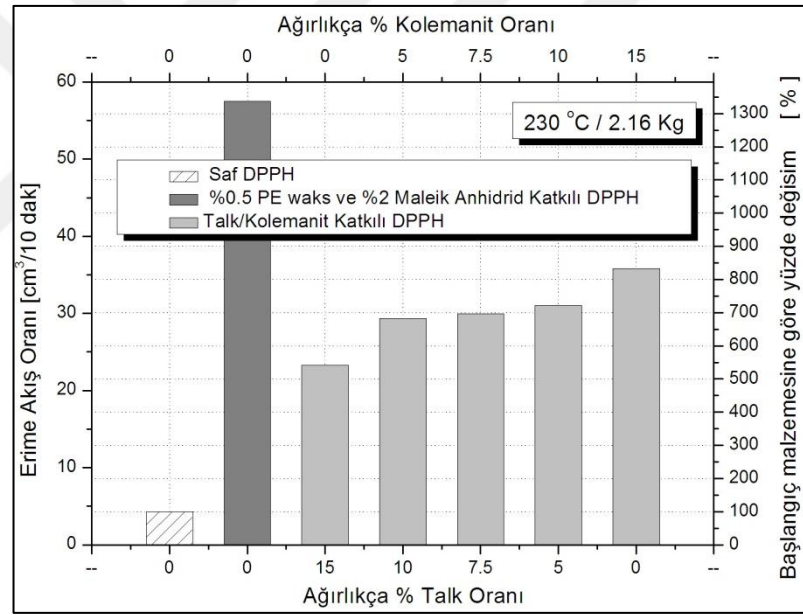
Numune Adı	PPH Hammadde % Ağırlık	Talk Minerali % Ağırlık	Kolemanit Minerali % Ağırlık	PE Waxs % Ağırlık	Maleik anhidrid % Ağırlık
DPPHN	100	-	-	-	-
DPPHİ	100	-	-	0,5	2
D15T0K	85	15	-	0,5	2
D10T5K	85	10	5	0,5	2
D75T75K	85	7,5	7,5	0,5	2
D5T10K	85	5	10	0,5	2
D0T15K	85	-	15	0,5	2
OPPHN	100	-	-	-	-
OPPHİ	100	-	-	0,5	2
O15T0K	85	15	-	0,5	2
O10T5K	85	10	5	0,5	2
O75T75K	85	7,5	7,5	0,5	2
O5T10K	85	5	10	0,5	2
O0T15K	85	-	15	0,5	2
YPPHN	100	-	-	-	-
YPPHİ	100	-	-	0,5	2
Y15T0K	85	15	-	0,5	2
Y10T5K	85	10	5	0,5	2
Y75T75K	85	7,5	7,5	0,5	2
Y5T10K	85	5	10	0,5	2
Y0T15K	85	-	15	0,5	2

180 °C ve 220 °C sıcaklıklarında 2,16 kg, 3,8 kg ve 5 kg yüklerde, 230 °C sıcaklığında ise sadece 2,16 kg yük altında yapılan ölçümlerle elde edilen MFR, MVR ve MFI değerleri EK-F'de verilmiştir.

Şekil 3.39'da yer alan talk/kolemanit hibrit katkılı DPPH'in MFR ve MVR değerlerinin saf DPPH'ye göre yüzde değişim grafiği, ağırlıkça %0.5 PE waks ve %2 maleik anhidrid katkısının MFR ve MVR değerlerinin yaklaşık %1235 artırdığını, PE waks ve maleik anhidrid katkısına ilave olarak %15 talk katkısının MFR değerini yaklaşık %730 , MVR değerini % yaklaşık 800'a düşürdüğünü ancak saf DPPH'ye göre MFR'nin %500 , MVR'nin % 440 civarlarında hala daha fazla olduğunu göstermektedir. %0.5 PE waks, %2 maleik anhidrid, %10 talk ve %5 kolemanit katkılı DPPH'nin saf DPPH'ye göre MFR'nin %650 , MVR'nin %580 daha fazla olduğu görülmektedir.



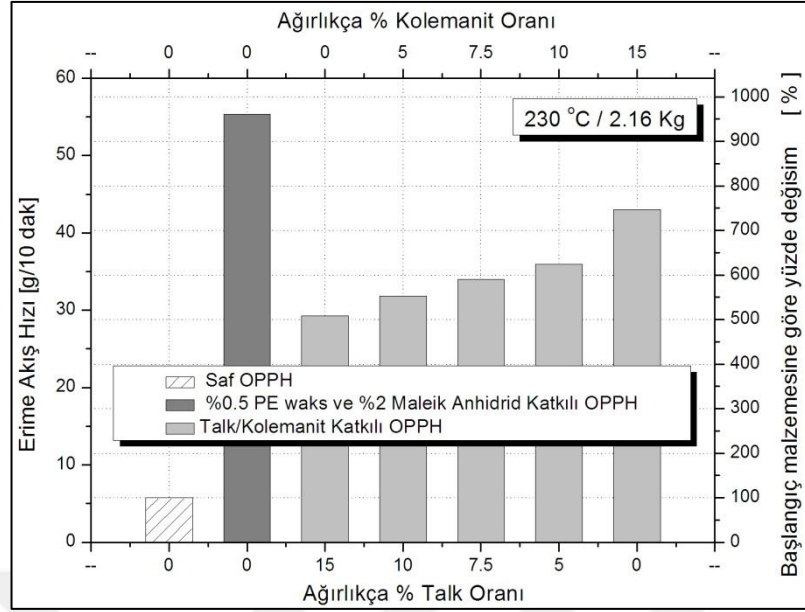
(a)



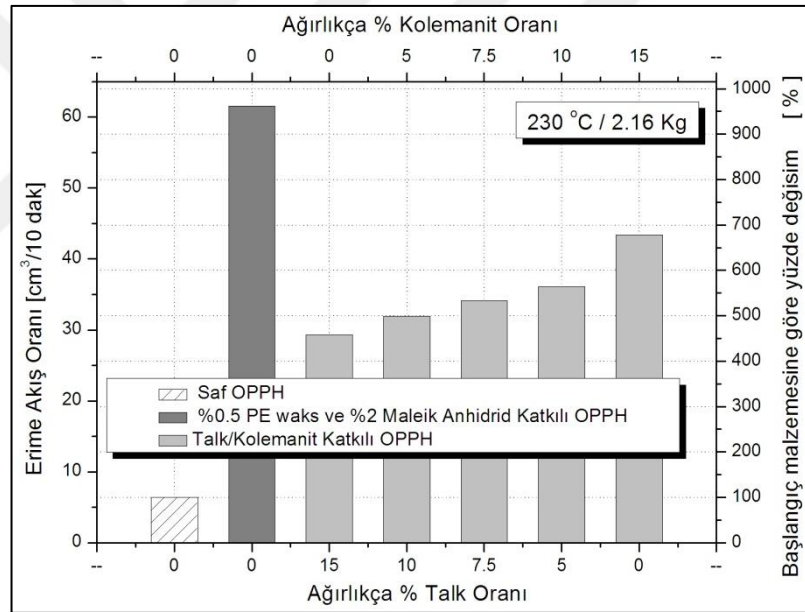
(b)

Şekil 3. 39. Talk/kollanite hibrit katkılı DPPH'in (a) MFR ve (b) MVR değerlerinin başlangıç malzemesine göre yüzde değişim grafiği

Yüzde 7,5 talk / 7,5 kollanite ve 5 talk/10 kollanite katkılarının ise DPPH'nin MFR artışını yaklaşık % 700'e, MVR'nin artışını ise %620'ye çıkardığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte sadece %15 kollanite katkısı ile söz konusu artış MFR'de % 817'ye , MVR'de %730'a çıkmaktadır



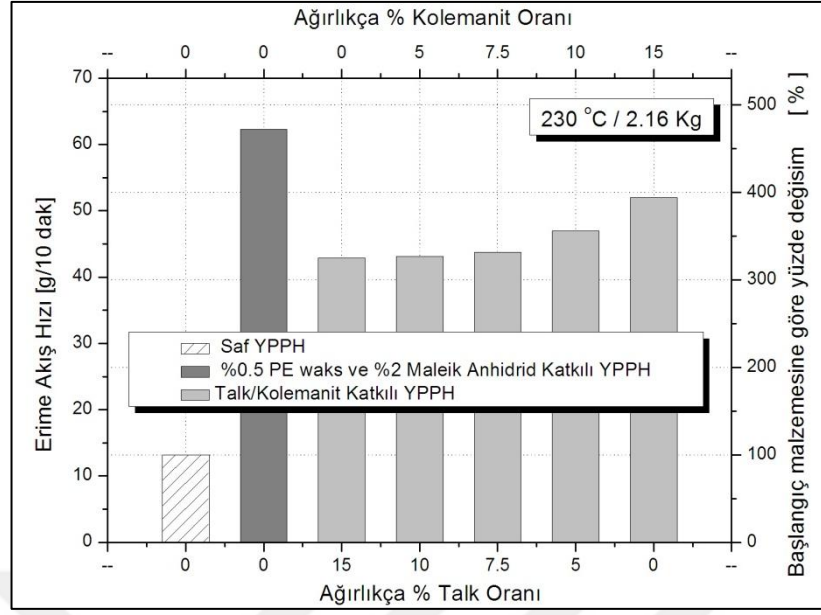
(a)



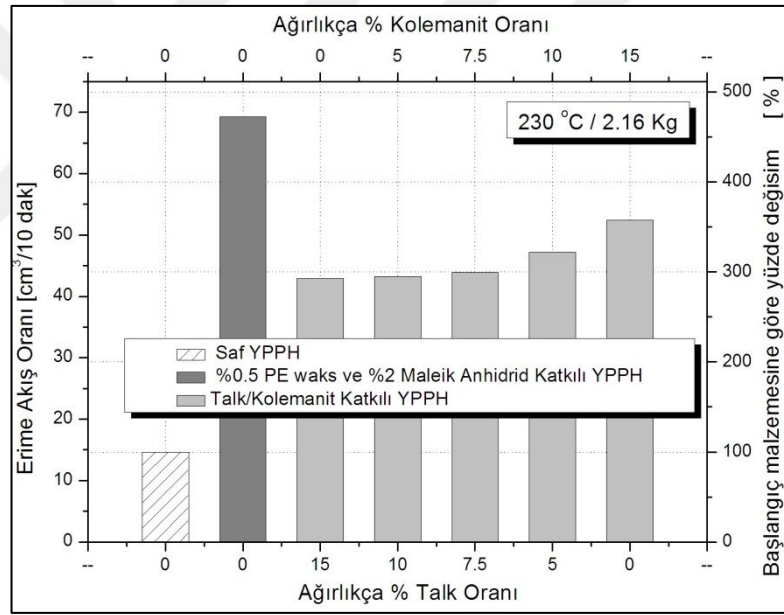
(b)

Şekil 3. 40. Talk/kolemanit hibrit katkıli OPPH'in (a) MFR ve (b) MVR değerlerinin başlangıç malzemesine göre yüzde değişim grafiği

OPPH'in talk/kolemanit katkısı ile akışkanlık özelliklerinde meydana gelen değişim Şekil 3.40'da görüldüğü gibidir. PE waks ve maleik anhidrid katkısı ile çok hızlı (yaklaşık % 850) artış gösteren MFR ve MVR değerleri, talk/kolemanit katkısı ile düşüş göstermekle birlikte kolemanit ilavesinin artması ile saf OPPH'ye göre MFR'nin %650, MVR'nin ise %580 arttığı görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3. 41. Talk/kolemanit hibrit katkılı YPPH'in (a) MFR ve (b) MVR değerlerinin başlangıç malzemesine göre yüzde değişim grafiği

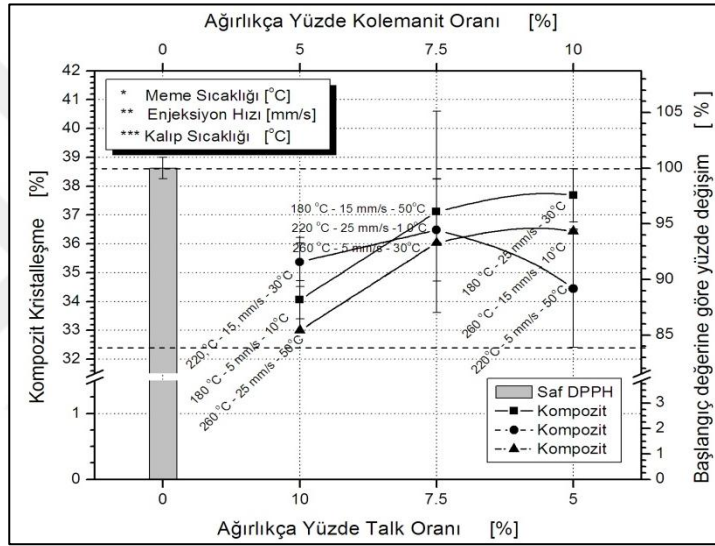
YPPH'in talk/kolemanit katkısı ile MFR ve MVR değerlerinin yaklaşık %200 ila 300 arasında arttığı Şekil 3.41'de görülebilmektedir.

PE ve maleik anhidridin akışkanlık özelliklerini büyük ölçüde artırdığını başka bir deyişle ekstrüzyonun malzemenin akışkanlığını artırmadaki etkisi görülmektedir. Erimme akış hızı deneyleri ile talk ve kolemanitin birlikte kullanıldığı hibrit PPH'lerde kolemanit oranı arttıkça akışkanlığın arttığı gözlemlenmiştir. Üretim parametreleri göz

önüne alındığında, kolemanitin erime akış hızında neden olduğu artış malzemenin daha düşük sıcaklıklarda işlem görmesini sağlayacaktır. Böylece hem enerji tasarrufu sağlamak hem de üretim maliyetini düşürmek mümkün olabilecektir.

3.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre

Çekme deneyi parçaları üzerinden alınan numunelere diferansiyel taramalı kalorimetre deneyi uygulanmıştır. Şekil 3.42’de DSC deneyleri ile elde edilen veriler çerçevesinde; talk ve kolemanit hibrit katkılı DPPH numuneleri ile saf DPPH’nin kristalleşme derecesi kıyaslandığında, katkılı DPPH’lerin kristalleşme derecesinin saf DPPH’ye göre en fazla yaklaşık %15 oranında değişim gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3. 42. Talk ve kolemanit hibrit katkılı YPPH kompozitlerin kristalleşme derecesi değişimi

3.5. YSA ile Modelleme Sonuçları

3.5.1. Yapay sinir ağlarının eğitilmesi

Elastisite (Young’s) modülü, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzaması özelliklerinin her biri için ayrı geliştirilen yapay sinir ağlarının eğitilmesi sonucu, en iyi performansın elde edildiği modellere ilişkin değerler Tablo 3.23 ve Tablo 3.24’ de verilmiştir.

Elastisite modülü için kullanılan verilerde, elastisite modülü 1000’ e bölünüp ölçeklendime yapılarak yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Yapılan denemelerde yapay sinir ağının eğitim sırasında ezberlemeye yöneldiği gözlemlendiği için akma

gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzaması verilerinde ölçeklendirme yapılmamıştır.

Tüm kalite değişkenleri için yüzde ortalama karesel hataların kabul edilebilir değerlerde olduğu ve dolayısıyla YSA modellerinin eğitiminin başarılı olduğu görülmektedir.

Modeller geliştirilirken, gizli katman sayısı ve katmanların nöron sayıları, aktivasyon fonksiyonları ve iterasyon değerleri en iyi performans, başka bir deyişle en küçük ortalama karesel hata elde edilene kadar değiştirilmiştir.

Yapay sinir ağı modellerinin performansı değerlendirilirken en küçük ortalama karesel hatanın yanı sıra ağın regresyon başarısı da göz önünde bulundurulmuştur.

Tablo 3 . 23. Akışkanlıklarına göre YSA modelleri eğitim verileri

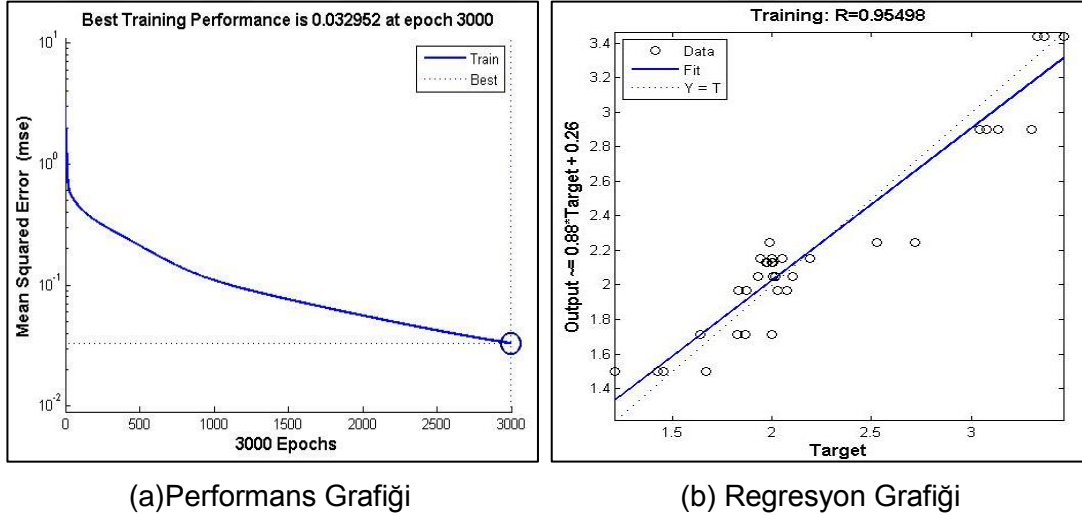
Akışkanlık Seviyesine Göre Geliştirilen YSA Modelinin Eğitim Verileri								
Yapay Sinir Ağı Modeli	Akışkanlık seviyesi	1,Gizli Katman		2,Gizli Katman		İterasyon Sayısı	Eğitim Hata (MSE) %	Test Hata (MSE) %
		Aktivasyon Fonksiyonu	Nöron Sayısı	Aktivasyon Fonksiyonu	Nöron Sayısı			
Elastisite Modülü	Düşük	logsig	10	logsig	5	3000	0,0915	0,1883
	Orta						0,1968	1,3176
	Yüksek						0,1544	0,7332
Akma Gerilmesi	Düşük	logsig	10	logsig	5	3000	0,0955	0,5679
	Orta						0,0961	0,4729
	Yüksek						0,1244	0,7097
Akma Uzaması	Düşük	tansig	10	tansig	5	3000	0,0313	0,0668
	Orta						0,0214	0,0947
	Yüksek						0,0260	0,1289
Kopma Gerilmesi	Düşük	logsig	10	logsig	5	3000	0,1888	0,9088
	Orta						0,0815	0,1058
	Yüksek						0,1866	0,2721
Kopma Uzaması	Düşük	tansig	10	tansig	5	3000	0,2485	0,3281
	Orta						0,1151	0,3671
	Yüksek						0,0863	0,7275

Tablo 3 . 24. Akışkanlıklarına göre YSA modelleri eğitim verileri

Tüm Akışkanlık Seviyeleri İçin Geliştirilen YSA Modelinin Eğitim Verileri							
Yapay Sinir Ağı Modeli	1,Gizli Katman		2,Gizli Katman		İterasyon Sayısı	Eğitim Hata (MSE)	Test Hata (MSE)
	Aktivasyon Fonksiyonu	Nöron Sayısı	Aktivasyon Fonksiyonu	Nöron Sayısı			
Elastisite Modülü	logsig	12	logsig	6	3000	0,0819	0,3895
Akma Gerilmesi	logsig	12	logsig	6	3000	0,0815	0,2918
Akma Uzaması	tansig	12	tansig	6	3000	0,0068	0,0208
Kopma Gerilmesi	logsig	12	logsig	6	3000	0,1214	0,2495
Kopma Uzaması	tansig	12	tansig	6	3000	0,0471	0,1547

3.5.2. Yapay sinir ağı model sonuçlarının analizi

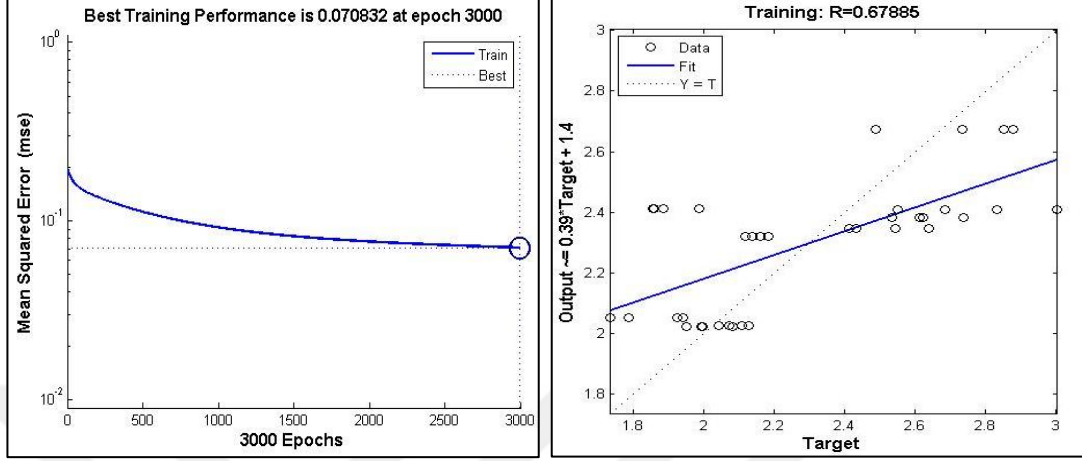
MATLAB programı kullanılarak geliştirilen modeller, yine bu program aracılığıyla üretilen performans grafikleri ve regrasyon grafikleri birlikte incelenerek sonuçlar analiz edilmiştir.



Şekil 3. 43. DPPH elastisite (Young's) modülü yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği

Şekil 3.43' de düşük akışkanlığa sahip PPH elastisite (Young's) modülü yapay sinir ağı modelinin performans ve regresyon grafiği görülmektedir. Eğitim devam ettikçe hatanın sürekli azaldığı ve böylece bu süreçte ağın başarılı bir şekilde öğrendiğini performans grafiği üzerinden görmek mümkün olmaktadır. Yapay sinir ağının çıktılarını ile hedeflenen çıktılarının kesişimlerini gösteren regresyon grafiğinde ise

çıktıların hedef çıktılar ile kesiştiği yani ağı tahminlemede başarılı olduğu görülmektedir. Kesişim noktalarının dağınıklığı elastisite (Young's) modülü değerlerinin arasındaki farkın fazla olmasından kaynaklanmaktadır.



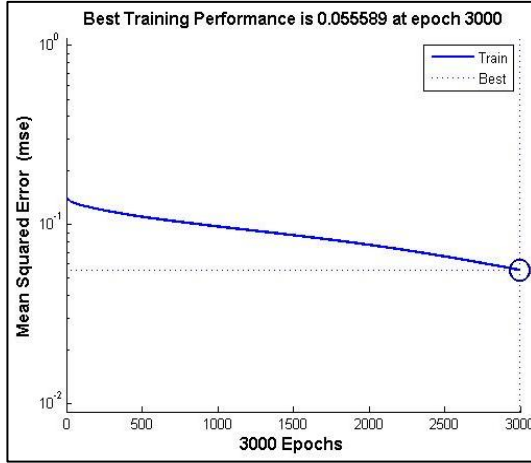
(a) Performans Grafiği

(b) Regresyon Grafiği

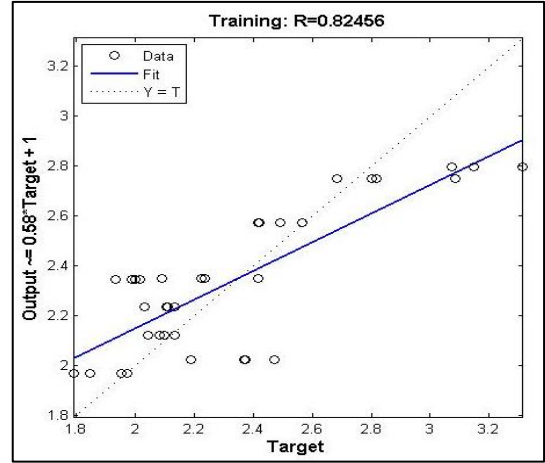
Şekil 3. 44. OPPH elastisite (Young's) modülü yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği

OPPH'lerin elastisite (Young's) modülü yapay sinir ağı modeli performans ve regresyon grafikleri Şekil 3.44' de verilmiştir. Eğitimin başlangıcından itibaren ortalama karesel hata değerlerinin giderek düştüğü ve öğrenmenin başarılı olduğu ancak regresyon grafiğinde, ağı çıktılarını ile hedeflenen çıktılarının kesişiminin bölgelerinin az ve dağınık bir yayılım gösterdiği görülmektedir.

Şekil 3.45' de YPPH elastisite modülü yapay sinir ağı performans grafiği ortalama karesel hata değerinin düşüşünün eğitim sürecinde durağan olduğunu, regresyon grafiği ise yoğun bir kesişim olmadığını göstermektedir. Her ne kadar kabul edilebilir ortalama karesel hata elde edilmiş olsa regresyonun çok başarılı olmadığı görülmektedir.



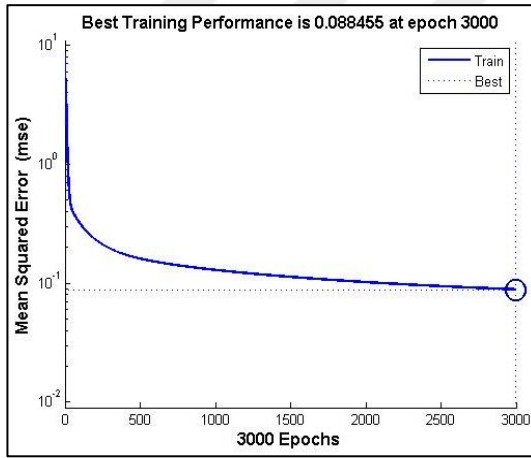
(a)Performans Grafiği



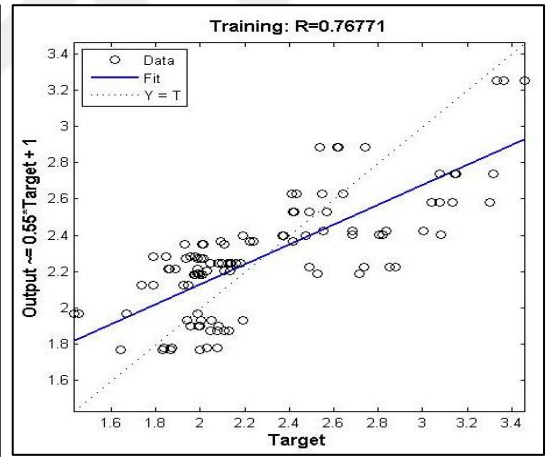
(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 45. YPPH elastisite (Young's) modülü yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği

Akışkanlık seviyelerine göre elastisite (Young's) modülü YSA modelleri arasında en en düşük MSE, en iyi performans ve regresyon sonuçları DPPH'nin YSA modeli ile elde edilmiştir.



(a)Performans Grafiği

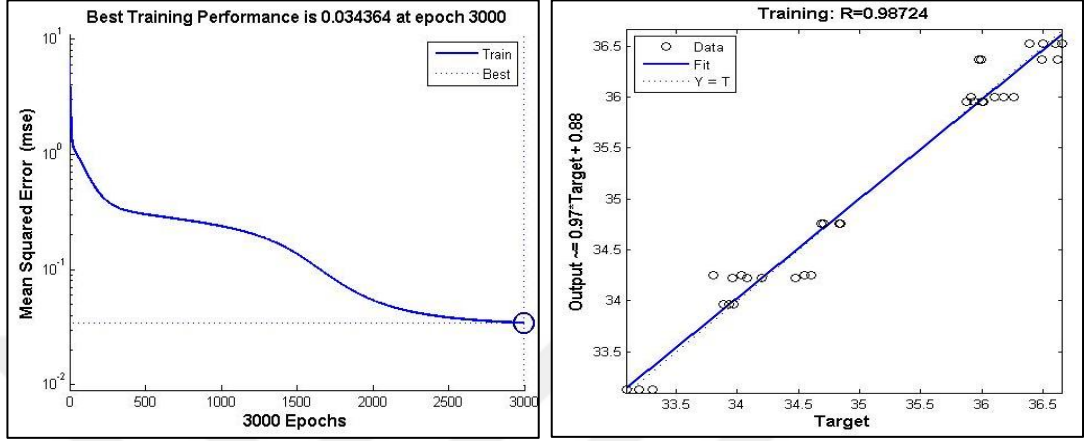


(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 46. Tüm akışkanlık seviyeleri için geliştirilen elastisite (Young's) modülü yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği

Tüm akışkanlık seviyelerini içeren veri seti ile eğitilen elastisite (Young's) modülü YSA modelinin performans ve regresyon grafikleri Şekil 3.46' da yer almaktadır. Ortalama karesel hatanın eğitimin başlangıcında hızla düştüğü ve 1400 epoch'dan sonra fazla değişmediği görülmektedir. Regresyon grafiğinde, kesişim noktalarının fazla ancak veriler arasındaki farklılıktan dolayı dağınık olduğu görülmektedir. Her ne kadar en düşük ortalama karesel hata elde edilmiş olsa da performans ve regresyon sonuçları modelin eğitiminin çok başarılı olmadığını göstermektedir.

Tüm akışkanlık seviyeleri ile geliştirilen modelinin sonuçlarının, akışkanlık seviyelerine göre elastisite (Young's) modülü YSA modellerinin eğitim sonuçlarından daha iyi oluşu veri sayısının artmasının modelin daha iyi eğitilmesini sağladığı göstermektedir.



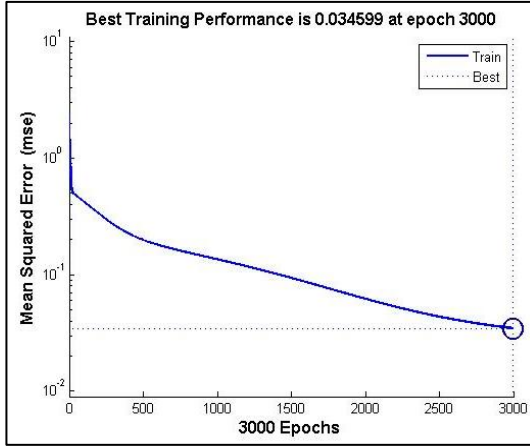
(a) Performans Grafiği

(b) Regresyon Grafiği

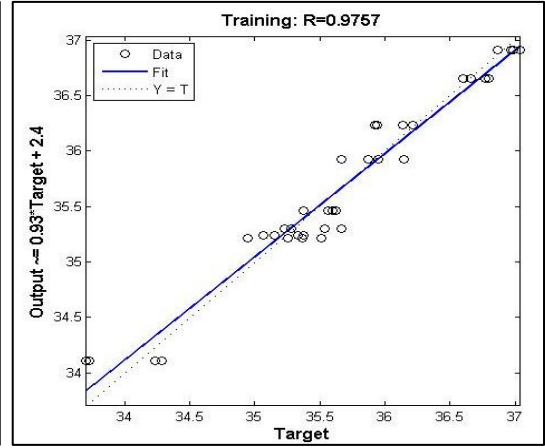
Şekil 3. 47. DPPH akma gerilmesi yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği

DPPH akma gerilmesi YSA modelinin grafiklerinin yer aldığı Şekil 3.47, MSE'nin eğitim sürecinde dalgalanma göstererek en düşük değere ulaştığını ve hedef ile çıktı değerlerinin kesişimin çok iyi olduğunu göstermekte ve modelin öğrenmede başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

Şekil 3.48 ve Şekil 3.49' daki grafikler orta ve yüksek akışkanlıklı PPH'lerin YSA modellerinde hem eğitim performansının hemde regresyonun çok iyi olduğunu dolayısıyla akma gerilmesi için geliştirilen YSA modelin başarılı olduğunu göstermektedir.

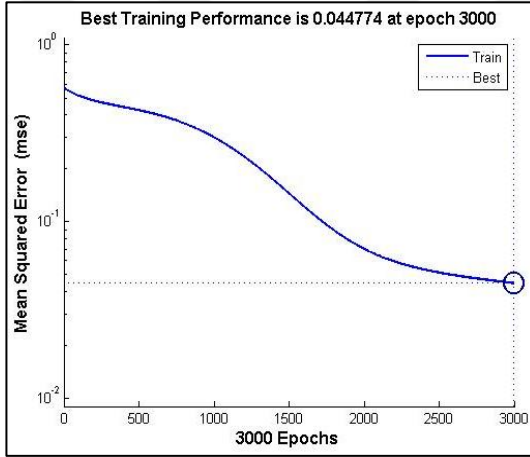


(a) Performans Grafiği

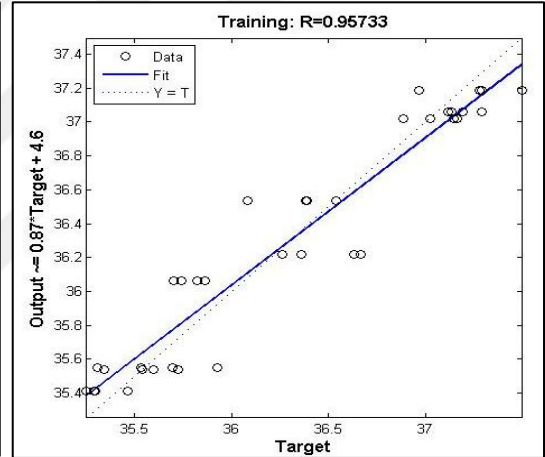


(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 48. OPPH akma gerilmesi yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği



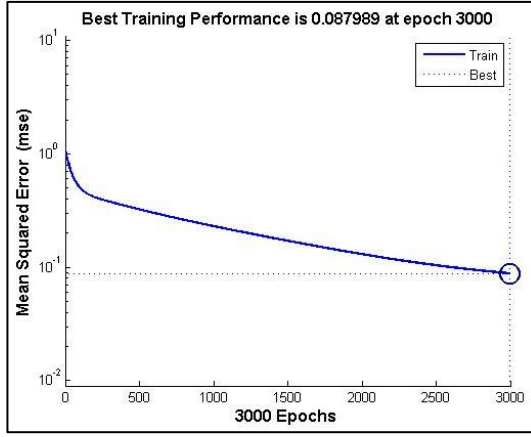
(a) Performans Grafiği



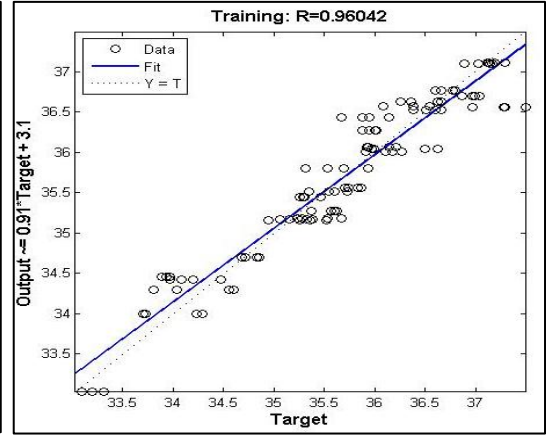
(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 49. YPPH akma gerilmesi yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği

Şekil 3.50' de tüm akışkanlık seviyelerini içeren YSA modelinin grafikleri en küçük MSE değerini vermesinin yanı sıra modelin öğrenmede de başarılı olduğunu göstermektedir. Veri sayısının diğer akma gerilmesi modellerinden fazla olmasına bağlı olarak daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

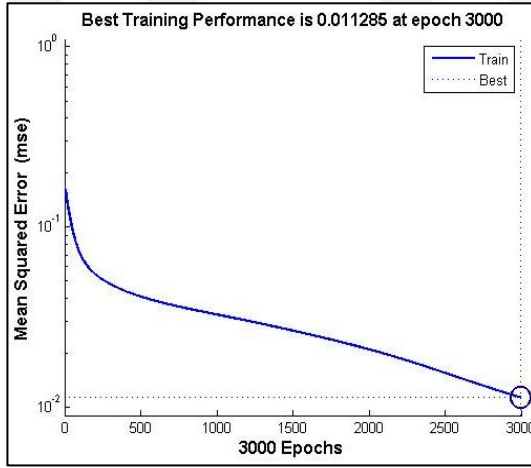


(a) Performans Grafiği

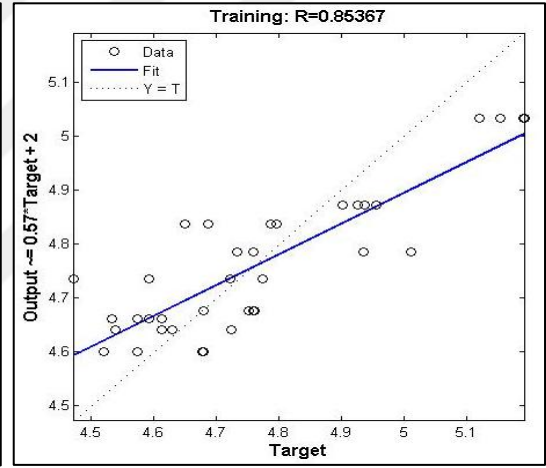


(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 50. Tüm akışkanlık seviyeleri için geliştirilen akma gerilmesi yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği



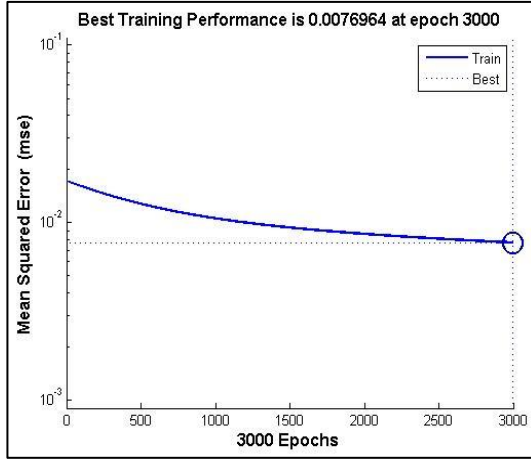
(a) Performans Grafiği



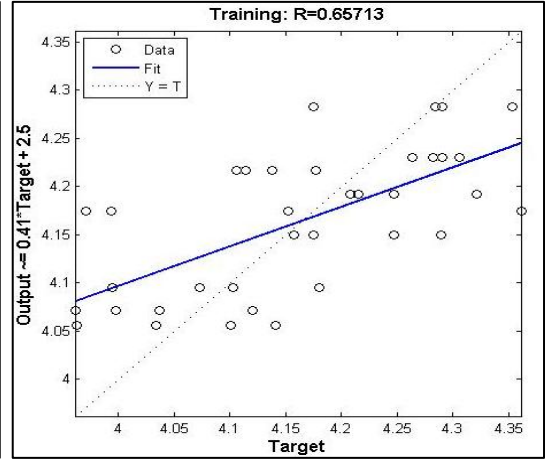
(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 51. DPPH akma uzaması yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği

Şekil 3.51, Şekil 3.52 ve Şekil 3.53 akışkanlık seviyelerine göre akma uzaması YSA modelinin eğitim performans ve regresyon grafikleri yer almaktadır. Grafiklerde modelin öğrenme performansının iyi olmasına rağmen regresyonda istenen sonuçların elde edilemediği gözlemlenmektedir. YSA'ların oldukça küçük % MSE ile öğrenmenin başarılı olduğu görülsede tahminlemede beklenen sonuçlar elde edilmesinin güç olduğu görülmektedir.

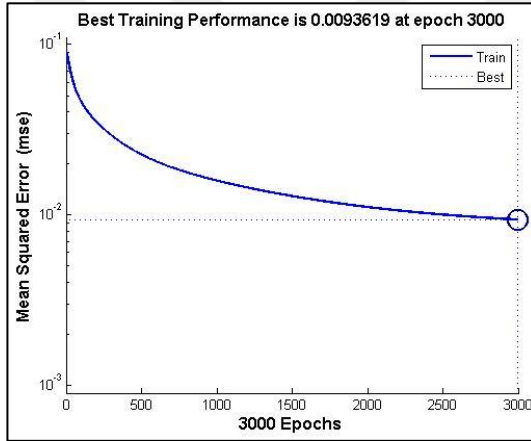


(a) Performans Grafiği

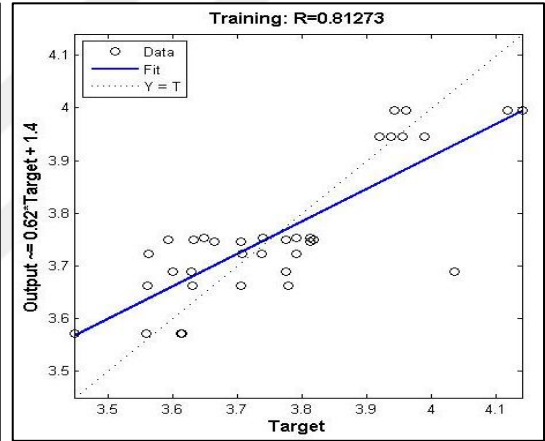


(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 52. OPPH akma uzaması yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği



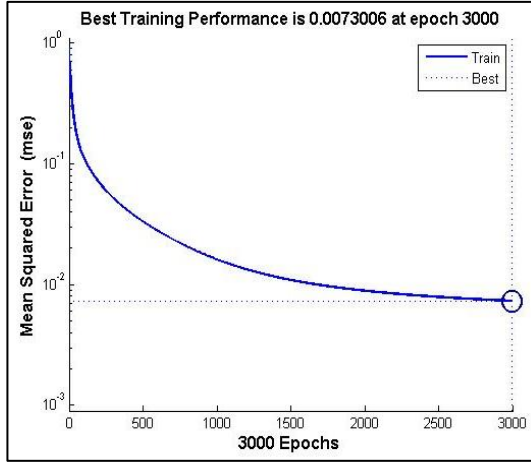
(a) Performans Grafiği



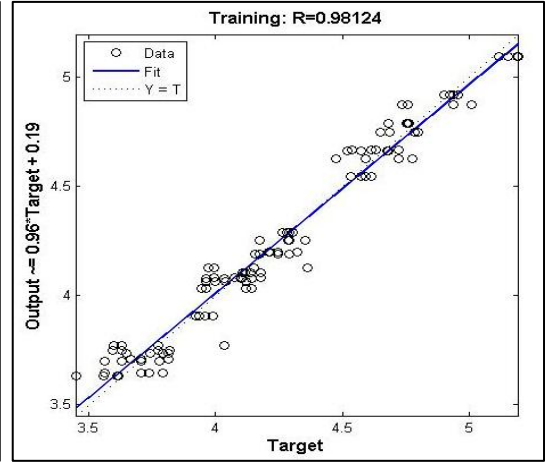
(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 53. YPPH akma uzaması yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği

Tüm akışkanlık seviyelerini kapsayan akma uzaması YSA modelinin ise öğrenme performansının ve regresyon sonuçlarının oldukça iyi olduğu Şekil 3.54' de görülmektedir.



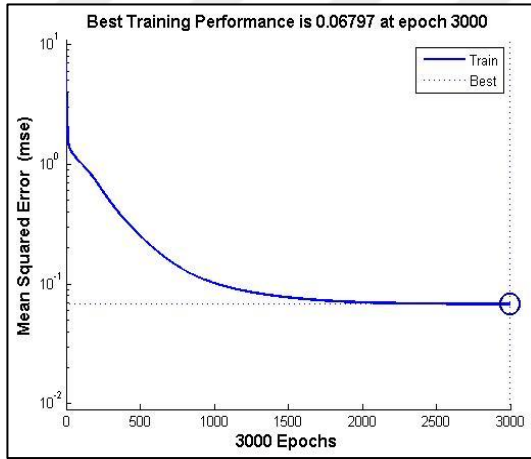
(a)Performans Grafiği



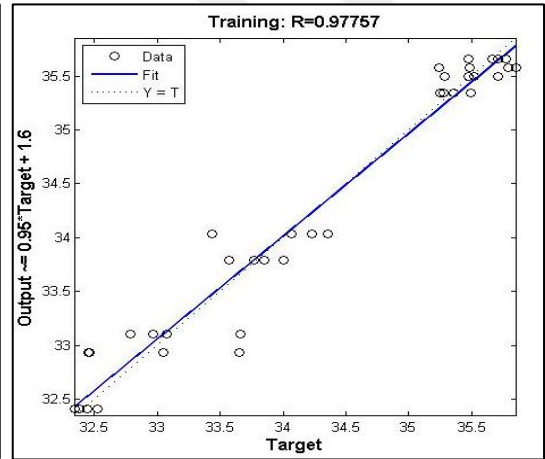
(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 54. Tüm akışkanlık seviyeleri için geliştirilen akma uzaması yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği

Kopma gerilmesi YSA modelinde, DPPH için MSE'nin eğitimin başlangıcında hızla düştüğü, 2000 epoch'dan sonra ise değişmediği ve eğitimin tamamlandığı Şekil 3.55 deki performans grafiğinde görülmektedir. Aynı zamanda Şekil 3.55'deki regresyon grafiği, hedef ve çıktı değerlerinin kesişiminin çokluğu modelin eğitiminin başarılı olduğunu göstermektedir.



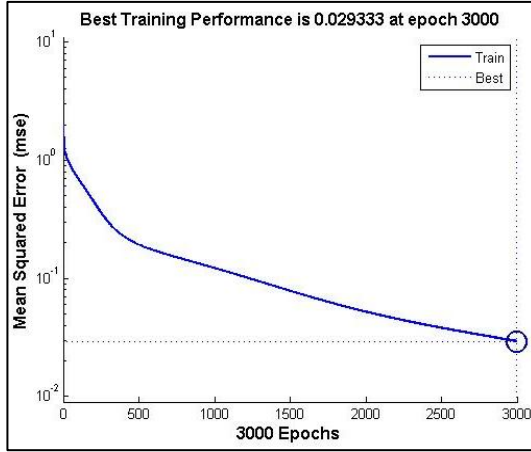
(a)Performans Grafiği



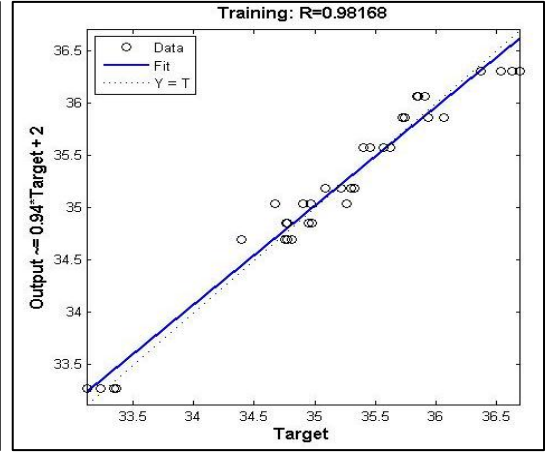
(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 55. DPPH kopma gerilmesi yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği

Şekil 3.56 ve Şekil 3.57' de OPPH ve YPPH kopma gerilmesi YSA modelinin giderek azalan MSE değeri ile eğitim performansının iyi olduğu ve OPPH kopma gerilmesi regresyon sonuçlarının oldukça iyi olduğu görülmektedir.

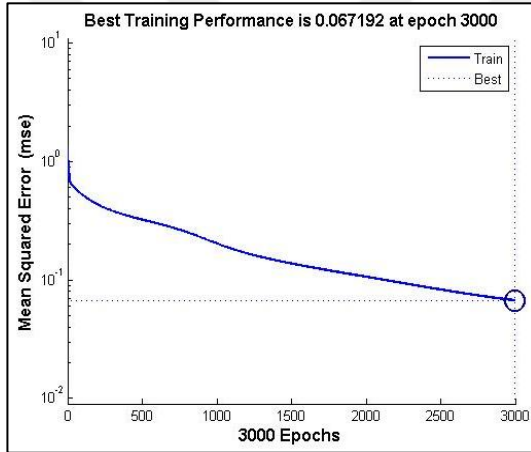


(a) Performans Grafiği

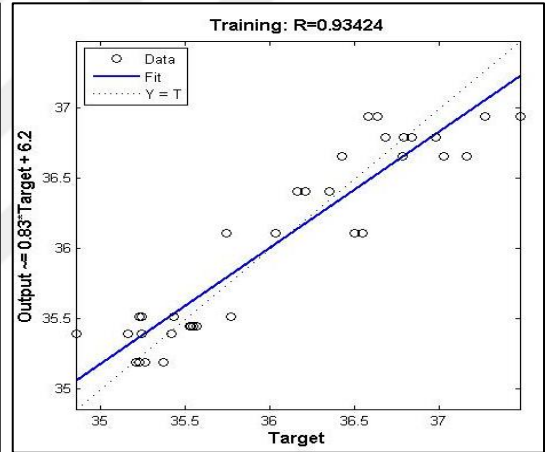


(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 56. OPPH kopma gerilmesi yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği



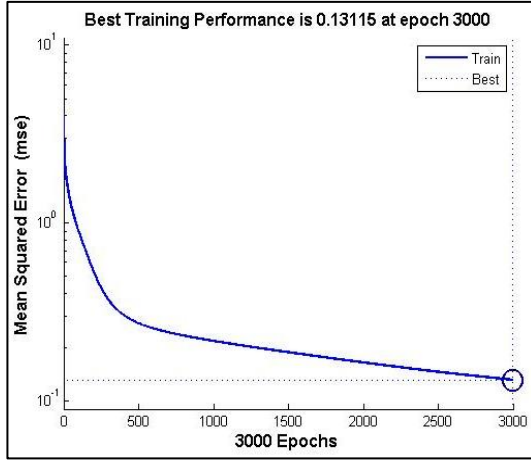
(a) Performans Grafiği



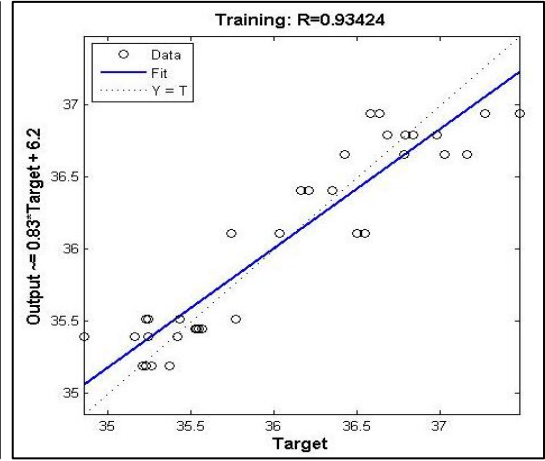
(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 57. YPPH kopma gerilmesi yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği

Kopma gerilmesi için tüm akışkanlık seviyelerini içeren YSA modelinde eğitimin başlangıcında hızlı düşüş gösteren MSE'nin 2000 epoch'dan sonra daha yavaş düştüğü, hedef ve çıktı değerlerinin kesişimlerinin daha küçük kopma gerilmesi değerlerinde daha fazla olduğu Şekil 3.58'de görülmektedir.



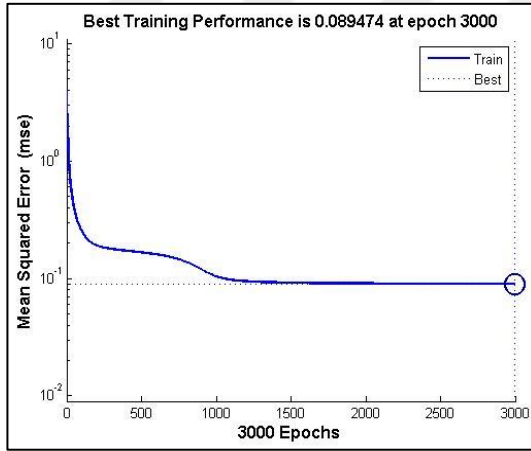
(a)Performans Grafiği



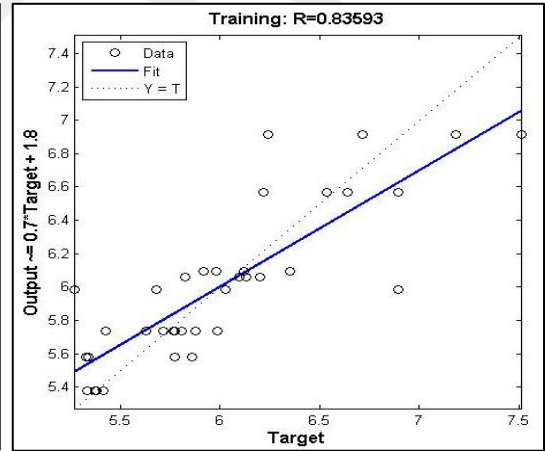
(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 58. Tüm akışkanlık seviyeleri için geliştirilen kopma gerilmesi yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği

Şekil 3.59' da DPPH kopma uzaması YSA modelinin performans ve regresyon grafikleri, MSE'nin 1000 epoch'dan sonra değişmediğini ve hedef ile çıktı değerlerinin kesişimlerinin kopma uzamasının küçük olduğu değerlerde olduğunu, kopma uzaması değeri arttıkça kesişimin azaldığını göstermektedir.



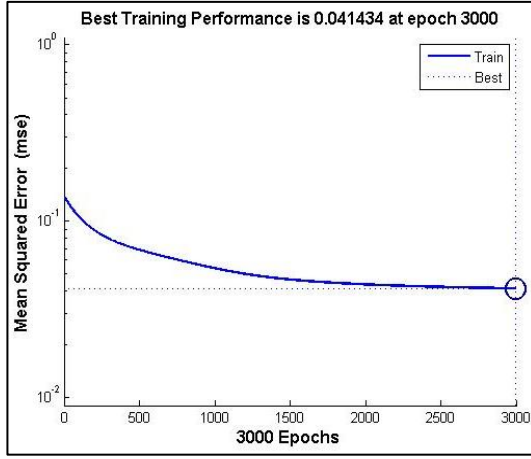
(a)Performans Grafiği



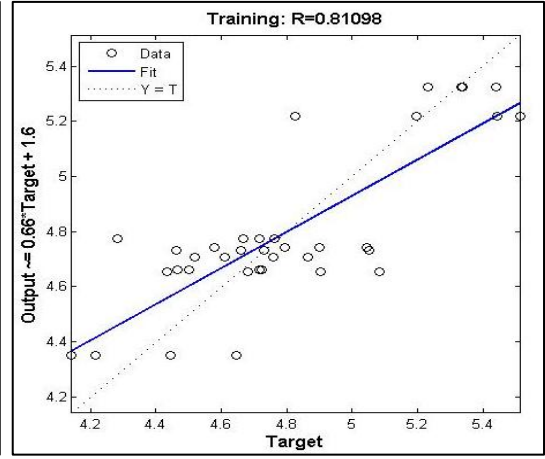
(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 59. DPPH kopma uzaması yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği

OPPH ve YPPH kopma gerilmesi YSA modellerinde, MSE'nin değerinin 1500 epoch'dan sonra oldukça az değiştiği, hedef ve çıktı değerlerinin kesişimlerinin az olduğu Şekil 3.60 ve Şekil 3.61' da verilmiştir.

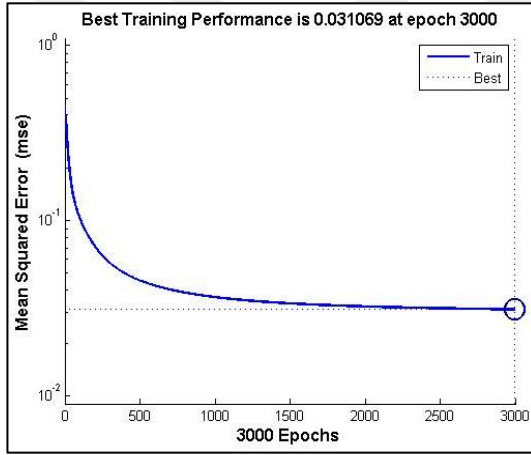


(a) Performans Grafiği

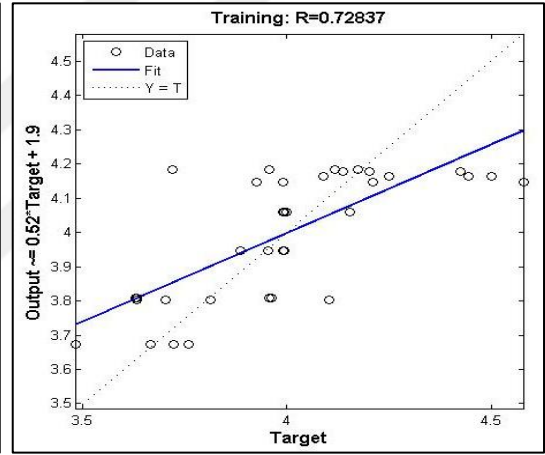


(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 60. OPPH kopma uzaması yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği



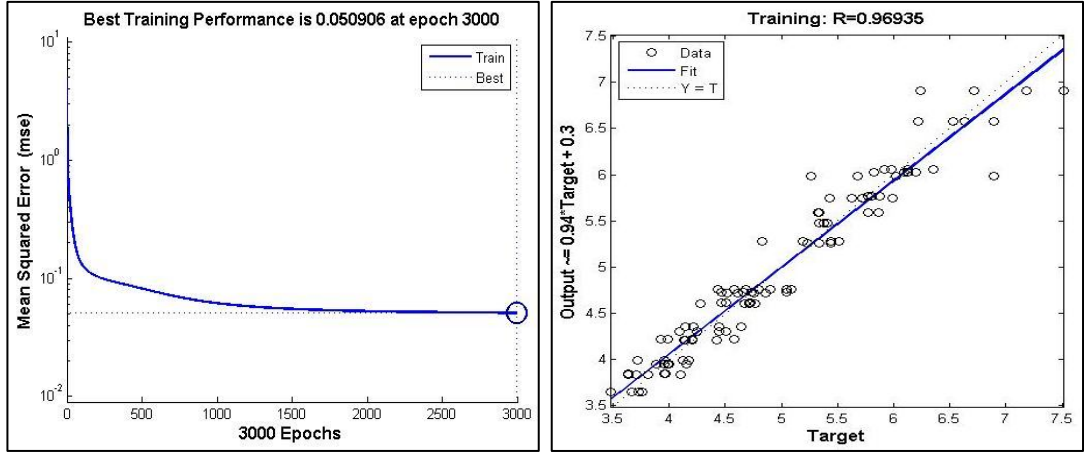
(a) Performans Grafiği



(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 61. YPPH kopma uzaması yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği

Tüm akışkanlık seviyeleri için geliştirilen kopma uzaması YSA modelinin, öğrenmeyi başlangıçta hızla daha sonra daha yavaş bir şekilde ve 2000 epoch'dan sonra ise tamamladığı Şekil 62' de yer alan performans grafiğinde görülmektedir. Hedef ve çıktı değerlerinin kesişim noktalarının yoğun olduğu görülen regresyon grafiği ise modelin tahminlemede akışkanlık seviyelerine göre geliştirilen modellere göre çok daha başarılı olduğunu göstermektedir.



(a) Performans Grafiği

(b) Regresyon Grafiği

Şekil 3. 62. Tüm akışkanlık seviyeleri için geliştirilen kopma uzaması yapay sinir ağı modeli (a) performans grafiği ve (b) regresyon grafiği

Tüm akışkanlık seviyeleri için geliştirilen kopma uzaması YSA modelinin, öğrenmeyi başlangıçta hızla daha sonra daha yavaş bir şekilde ve 2000 epoch'dan sonra ise tamamladığı Şekil 62' de yer alan performans grafiğinde görülmektedir. Hedef ve çıktı değerlerinin kesişim noktalarının yoğun olduğu görülen regresyon grafiği ise modelin tahminlemede akışkanlık seviyelerine göre geliştirilen modellere göre çok daha başarılı olduğunu göstermektedir.

3.5.3. YSA tahminleme sonuçları

Bu çalışma kapsamında, çekme deneyi verilerinin Taguchi yöntemiyle istatistiksel analizi sonucunda, en iyi mekanik özellikleri veren deney faktörlerinin kombinasyonları tespit edilmiştir. YSA ile geliştirilen modele söz konusu deney faktörlerinin kombinasyonları verilerek mekanik özellikleri tahmini değerlerini üretmesi sağlanmıştır. En iyi mekanik özellikleri veren optimum deney faktörlerinin kombinasyonları için, geliştirilen YSA modellerinin tahminleme sonuçları Tablo 3.25 ve Tablo 3.26'de verimiştir.

Tablo 3 . 25. Akışkanlıklarına göre en iyi faktör kombinasyonlarının YSA tahminleme sonuçları

Yanıt Değişkeni	En İyi Faktör Kombinasyonu					YSA Tahmini Yanıt Değişkeni Değeri
	Akışkanlık	Ağırlıkça Talk + Kolemanit Oranı (%)	Meme Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Hızı (mm/s)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	
Elastisite (Young's) Modülü (N/mm ²)	Düşük	10+5	260	25	30	3390,25
Akma Gerilmesi (N/mm ²)		10+5	180	15	50	37,6793
Akma Uzaması (%)		5+10	180	25	30	4,8737
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)		10+5	180	15	50	36,0215
Kopma Uzaması (%)		5+10	220	25	30	7,0017
Elastisite (Young's) Modülü (N/mm ²)	Orta	10+5	180	15	30	2298,34
Akma Gerilmesi (N/mm ²)		10+5	180	5	50	36,8946
Akma Uzaması (%)		5+10	220	5	10	4,3180
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)		10+5	220	5	50	36,3412
Kopma Uzaması (%)		10+5	260	5	10	5,1277
Elastisite (Young's) Modülü (N/mm ²)	Yüksek	10+5	180	25	50	3221,73
Akma Gerilmesi (N/mm ²)		10+5	260	5	50	37,9726
Akma Uzaması (%)		5+10	260	15	10	4,1278
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)		10+5	260	5	50	36,9390
Kopma Uzaması (%)		5+10	180	15	10	4,1522

Tablo 3 . 26. Tüm PPH'lerin en iyi faktör kombinasyonları için YSA tahminleme sonuçları

Yanıt Değişkeni	En İyi Faktör Kombinasyonu					YSA Tahmini Yanıt Değişkeni Değeri
	Akışkanlık	Ağırlıkça Talk + Kolemanit Oranı (%)	Meme Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Hızı (mm/s)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	
Elastisite (Young's) Modülü (N/mm ²)	Yüksek	10+5	180	25	50	2977,72
Akma Gerilmesi (N/mm ²)	Yüksek	10+5	180	5	50	39,7190
Akma Uzaması (%)	Düşük	5+10	180	5	10	4,8696
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	Yüksek	10+5	180	5	50	36,9582
Kopma Uzaması (%)	Düşük	5+10	180	5	10	7,0407

3.6. Kontrol Deneyleri

Talk ve kolemanit hibrit katkılı PPH'lerin çekme özelliklerinin Taguchi yöntemiyle analizi ve YSA ile modellenmesi çalışmaları ile elde edilen tahmini kalite değişkenlerinin sağlanması yapılarak tahminleme başarısının değerlendirilmesi amacıyla kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Taguchi yöntemiyle elde edilen en iyi faktör kombinasyonları kullanılarak kontrol deneyleri için çekme numuneleri üretilmiş ve üretimden hemen sonra söz konusu numunelere çekme deneyleri uygulanmıştır.

Tablo 3.27'de her bir kalite değişkeni için en iyi faktör kombinasyonları arasından seçilen tahminleme sonuçları kontrol deneyleri ile karşılaştırılmıştır. Elastisite (Young's) modülü için Taguchi ve YSA tahminleme verisi ile yaklaşık % 43 oranında daha düşük çıkmıştır. Akma gerilmesinde, Taguchi yöntemiyle gerçekleştirilen tahminleme sonucu %2,4 oranında yakın bir değer verirken, YSA modelinin %1,4 oranında fark ile oldukça iyi bir tahminleme yaptığı görülmektedir. Akma uzaması kalite değişkeni için ise kontrol deneyi sonucu ile YSA modelinin tahminleme sonucu arasında % 2,6 oranında fark olmasına rağmen % 0,8 oranında bir fark ile Taguchi yönteminin tahmini değerinin daha başarılı olduğu görülmektedir. YSA modeli kopma gerilmesinde % 3,3, kopma uzamasında ise %5,5 oranında fark ile tahminleme yapmıştır. Taguchi yönteminin kopma gerilmesi ve kopma uzaması için

tahmini değerleri ile kontrol deneylerinin sonuçları arasında %4,5 ve %6,4 fark bulunmaktadır.

Tablo 3 . 27. YSA ve Taguchi tahminlemelerinin değerlendirilmesi

Kalite Değişkeni	En İyİ Faktör Kombinasyonu					Taguchi Tahmini Kalite Değişkeni Değeri	YSA Tahmini Kalite Değişkeni Değeri	Kontrol Deneyi Sonuçları
	Akışkanlık	Ağırlıkça Talk + Kolemanit Oranı (%)	Meme Sıc. (°C)	Enjeksiyon Hızı (mm/sn)	Kalıp Sıc. (°C)			
Elastisite (Young's) Modülü (N/mm ²)	Yüksek	10+5	180	25	50	3237,53	3221,73	1842,67
Akma Gerilmesi (N/mm ²)	Orta	10+5	180	5	50	37,27	36,8946	36,3779
Akma Uzaması (%)	Orta	5+10	220	5	10	4,40	4,3180	4,4334
Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	Orta	10+5	220	5	50	36,78	36,3412	35,1405
Kopma Uzaması (%)	Düşük	5+10	220	25	30	6,93	7,0017	7,4128

Tablo 3.27'de yer alan en iyi faktör kombinasyonları için akma uzaması dışındaki kalite değişkenleri için YSA modellerinin ürettiği tahmini verilerin Taguchi yönteminin tahminleme değerlerine göre daha iyi olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Talk ve kolemanit hibrit katkılı polipropilen kompozitlerin çekme özelliklerinin en iyilenmesi amacıyla gerçekleştirilen, deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin birlikte değerlendirilmesi ile ulaşılan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.1. Talk ve Kolemanit Katkısının Çekme Özelliklerine Etkisi

En yüksek elastisite (Young's) modülü değerlerine, düşük ve yüksek akışkanlığa sahip PPH'lerde ağırlıkça %10 talk ve %5 kolemanit katkılı, orta akışkanlığa sahip PPH'lerde ise %7,5 talk ve %7,5 kolemanit katkılı numunelerde ulaşılmıştır. Talk oranının kolemanit oranına göre fazla olduğu numunelerin elastisite (Young's) modülü özelliklerinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Tüm numuneler içerisinde en iyi elastisite (Young's) modülü değerlerinin düşük ve yüksek akışkanlık özelliğine sahip PPH'lerde elde edildiği görülmüştür.

Akma gerilmesi özelliğinde en yüksek değerler düşük, orta ve yüksek akışkanlığa sahip PPH'lerin hepsinde ağırlıkça %10 talk ve %5 kolemanit katkılı deney numunelerinde elde edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, talk oranının kolemanit oranına göre fazla olmasının akma gerilmesini artırdığı tespit edilmiştir.

Akma uzamasının düşük, orta ve yüksek akışkanlığa sahip PPH'lerin tümünde ağırlıkça %5 talk ve %10 kolemanit katkılı deney parçalarında en fazla olduğu görülmüştür. Kolemanit oranının talk oranına göre fazla olduğu PPH kompozitlerin akma uzamasının arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, PPH'lerin akışkanlık seviyesi arttıkça akma uzaması değerlerinin azaldığı görülmüştür.

En yüksek kopma gerilmesi değerlerinin düşük, orta ve yüksek akışkanlığa sahip PPH'lerin tamamında ağırlıkça %10 talk ve %5 kolemanit katkılı numunelerde olduğu görülmüş, talk oranının kolemanit oranına göre artışının kopma gerilmesi değerlerini artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca kopma gerilmesi değerlerinin akışkanlık seviyesinin artması ile yükseldiği görülmüştür.

Kopma uzamasında en yüksek değerler düşük ve yüksek akışkanlığa sahip PPH'lerde ağırlıkça %5 talk ve %10 kolemanit katkılı numunelerde, orta akışkanlığa

sahip PPH'lerde ise ağırlıkça %10 talk ve %5 kolemanit katkı numunelerden birinde elde edilmiştir. OPPH'ler arasında her ne kadar en yüksek kopma uzaması değeri ağırlıkça %10 talk ve %5 kolemanit katkı parçada elde edilse de tüm OPPH'ler içinde %5 talk ve %10 kolemanit katkı olanlar en büyük kopma uzaması değerini veren numuneler olmuştur. Bu sonuçlar doğrultusunda, kolemanit oranının talk oranına göre artışının kopma uzamasını artırdığı tespit edilmiştir. Sonuçlar, akışkanlık seviyesinin artmasına bağlı olarak kopma uzamasında azaldığını göstermektedir.

4.2. Taguchi Yöntemiyle Çekme Özellikleri Üzerinde Faktörlerin Etkilerinin Belirlenmesi

Taguchi yöntemiyle tasarlanan çekme deneyi sonuçları, Taguchi yönteminin bir parçası olan S/G oranı ile analiz edilmiştir. Akışkanlık seviyelerine göre ayrılarak yapılan analizler sonucunda, DPPH kompozitlerin elastisite (Young's) modülü, akma gerilmesi, kopma gerilmesi ve kopma uzaması özellikleri üzerinde en büyük etkiye ağırlıkça yüzde talk ve kolemanit oranının, akma uzamasında ise üzerinde ise en büyük etkiye meme sıcaklığının sahip olduğu tespit edilmiştir. OPPH malzemedeki elastisite (Young's) modülünü en çok etkileyen parametrenin meme sıcaklığı, akma ve kopma gerilmesi değerleri üzerinde en etkili faktörün ağırlıkça yüzde talk ve kolemanit oranı , akma uzamasında ve kopma uzamasında ise en etkili parametrenin kalıp sıcaklığı olduğu tespit edilmiştir. YPPH kompozit malzemelerin kompozitlerin elastisite (Young's) modülü, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzaması özelliklerinin tümü üzerinde en büyük etkiye sahip olan parametrenin ağırlıkça yüzde talk ve kolemanit oranı olduğu tespit edilmiştir. Tüm akışkanlık seviyelerine ait çekme deneyi sonuçlarına birlikte S/G oranı analizi uygulanarak elde edilen sonuçlar, PPH kompozitlerin elastisite (Young's) modülü , akma ve kopma gerilmesi özelliği üzerinde en etkili faktörün ağırlıkça yüzde talk ve kolemanit oranı, akma ve kopma uzaması özellikleri üzerinde en etkili faktörün ise akışkanlık seviyesi olduğunu göstermiştir.

Varyan analizi ile elde edilen sonuçlar, faktörlerin çekme deneyi sonuçları üzerindeki etkinliklerine dair S/G oranı analiz sonuçlarını desteklemiştir. Deney faktörleri arasındaki etkileşimler incelendiğinde ise tüm numunelerin elastisite (Young's) modülü, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzaması özelliklerinde deney faktörleri arasında zayıf, orta veya kuvvetli etkileşim olduğu görülmüştür. Ancak tüm PPH'lerin birlikte analizi sonucu elde edilen verilerde, akma

ve kopma uzaması özellikleri için akışkanlık seviyesinin diğer parametreleri ile arasındaki etkileşimin oldukça zayıf olduğu tespit edilmiştir.

Çok yanıtı kalite değişkenlerinin eş zamanlı analizi ile tüm değişkenlerin birlikte ele alınması durumunda çekme özelliklerinin optimizasyonunu sağlayan en iyi faktör kombinasyonları tespit edilmiştir. Tüm kalite değişkenlerinin eş zamanlı MRSN analizinin yanı sıra elastisite (Young's) modülü – akma gerilmesi, elastisite (Young's) modülü – kopma gerilmesi, akma gerilmesi – kopma gerilmesi, akma uzaması – kopma uzaması şeklinde kalite değişkenlerinin ikili MRSN analizi yapılmıştır.

4.3. Talk ve Kolemanit Katkısının PPH'nin Isıl ve Termomekanik Özelliklere Etkisi

Erime akış hızı deneyleri sonucunda, akışkanlık özellikleri üzerinde ekstrüzyon işlemi ile PE waks maleik anhidrid katkısının MFR ve MVR değerlerini oldukça artırdığı, talk ve kolemanit hibrit katkılı PPH'lerde kolemanit oranı arttıkça akışkanlığında arttığı tespit edilmiştir.

DSC deneyleri ile; talk ve kolemanit hibrit katkısının DPPH'nin kristalleşme derecesini en fazla yaklaşık %15 gibi kabul edilebilir bir seviyede düşürdüğü görülmüştür.

4.4. Yapay Sinir Ağları ile Tahminleme

Çekme deneyi ile elde edilen veriler kullanılarak, PPH malzemelerin mekanik özelliklerinin tahminlemesini yapan YSA modeli geliştirilmiştir. Elastisite (Young's) modülü için geliştirilen YSA modelinin eğitimi, DPPH çekme deneyi verileri ile % 0,0915, OPPH çekme deneyi verileri ile % 0,1968, YPPH çekme deneyi verileri ile % 0,1544 ortalama karesel hata ile başarılı olmuştur. Akma gerilmesi için geliştirilen YSA modelinin eğitimi, DPPH çekme deneyi verileri ile % 0,0955, OPPH çekme deneyi verileri ile % 0,0961, YPPH çekme deneyi verileri ile % 0,1244 ortalama karesel hata ile başarılı bir şekilde gerçekleşmiştir. Akma uzamasında ağın eğitimi DPPH verileri için % 0,0313, OPPH verileri için % 0,0214, YPPH verileri için % 0,0260 ortalama karesel hata ile başarılı tamamlanmıştır. Kopma gerilmesi için ağın eğitimi DPPH verileri ile % 0,1888, OPPH verileri ile % 0,0815, YPPH verileri ile % 0,1866 ortalama karesel hata ile makul sonuçlara ulaşılarak modelin başarılı bir şekilde eğitildiği görülmüştür. Kopma uzaması modelinde ağın eğitimi DPPH verileri

ile % 0,2485, OPPH verileri ile % 0,1151, YPPH verileri ile % 0,0863 ortalama karesel hata ile sonuçlanmış ve modelin başarılı olduğu görülmüştür. Tüm akışkanlık seviyelerine ait çekme deneyi verileri birlikte kullanılarak YSA modelinin eğitilmesi ile elastite (Young's) modülünde % 0,0819, akma gerilmesinde % 0,0815, akma uzamasında % 0,0068, kopma gerilmesinde % 0,1214 ve kopma uzamasında % 0,0471 ortalama karesel hataya ulaşılmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda daha fazla veri ile YSA modelinin daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Kontrol deneyleri ile çalışma kapsamında geliştirilen YSA modellerinin tahminleme sonuçları ile Taguchi yönteminin sağladığı tahminleme değerleri karşılaştırılmıştır. Her bir kalite değişkeni için seçilen en iyi faktör kombinasyonları içinde akma uzaması dışındaki değişkenlerde YSA tahminlemesinin daha iyi olduğu görülmüştür.

4.5. İleride Yapılacak Çalışmalar

Bu çalışma kapsamında, talk ve kolemanit hibrit katkılı PPH kompozitlerin çekme özelliklerinin en iyilenmesine yönelik çekme deneyi uygulanmış ve elastisite (Young's) modülü, akma gerilmesi, akma uzaması, kopma gerilmesi ve kopma uzaması değerleri incelenmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda, talk ve kolemanit hibrit katkısının PPH kompozitlerin darbe dayanımı, sertlik ve eğilme özelliklerine etkisinin araştırılması önerilebilir. Ayrıca talk ve kolemanitin ağırlıkça yüzde katkı oranlarında farklı değerler ele alınarak mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.

İleride yapılacak çalışmalarda, talk ve kolemanit hibrit katkılı PPH kompozitlerin mekanik özelliklerinin, başka bir yapay zeka teknolojisi ürünü olan uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS: adaptive neuro-fuzzy inference system) ile modellenmesi önerilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Pagev, Türkiye Plastik Sektörü İzleme Raporu 2017, Pagev , <https://www.pagev.org/turkiye-plastik-sektor-izleme-raporu-2017-5a785e4022b85> (Ziyaret Tarihi:02 Mayıs 2018).
- [2] Pagev, Türkiye Otomotiv Plastikleri Sektör İzleme Raporu 2017, Pagev, <https://www.pagev.org/turkiye-otomotiv-plastikleri-sektor-izleme-raporu-2017-5a8175e85a384> (Ziyaret Tarihi:02 Mayıs 2018).
- [3] Fındık E., Talk Mineral Dolgu Maddesi İle Polipropilen Blok Kopolimer Boruların Kısa Süreli İç Basınç Performans Özelliklerinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009, 259409.
- [4] Smith W., *Malzeme Bilim ve Mühendisliği*, 3.Baskı, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2001.
- [5] Callister W.D., Rethwisch D.G., *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*, 8.Baskı,Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2015.
- [6] Jahani Y., Comparison Of The Effect Of Mica And Talc And Chemical Coupling On The Rheology, Morphology, And Mechanical Properties Of Polypropylene Composites, *Polymers Advanced Technologies*, DOI: 10.1002/pat.1600.
- [7] Hadal R. S., Mısra R.D.K., The Influence Of Loading Rate And Concurrent Microstructural Evolution In Micrometric Talc- And Wollastonite-Reinforced High Isotactic *Polypropylene Composites*, *Materials and Science Engineering*, DOI:10.1016/j.msea.2004.03.035.
- [8] Şahin T., Mechanical and Thermal Properties of Colemanite Filled Polypropylene, *KGK. Kautschuk, Gummi, Kunststoffe*, **64** (9), 16-21, 2011.
- [9] Kaya S., Ahşap Tozu Takviyeli Polipropilen (PP) Esaslı Kompozit Malzemelerin Akış ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi,Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2012, 301810.
- [10] Başbudak M., *Plastik Yardımcı Maddeleri*, 1. Baskı, Maya Basın Yayın Matbaacılık Ltd.Şti., İstanbul, 2008.
- [11] Wang K., Bahlouli N., Addiego F., Ahzi S., Rémond Y., Ruch D., Muller R., Effect Of Talc Content On The Degradation Of Re-Extruded Polypropylene/Talc Composites, *Polymer Degradation and Stability*, DOI:10.1016/j.polyimdegradstab.2013.04.006.
- [12] Weon J.I., Sue H.J., Mechanical Properties Of Talc and CaCO₃ Reinforced High Crystallinity Polypropylene Composites, *Springer Science And Business Media*, DOI: 10. 1007 /s10853-006-7171-x .

- [13] Güldaş A., Güllü A., Çankaya A., Determination of the Rheological Properties of Polypropylene Filled with Colemanite, *Polymers Advanced Technologies*, DOI: 10.1002/pat.4011.
- [14] Çankaya. A., Çinko Borat ve Kolemanit Katkılı Polipropilen Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014, 371588.
- [15] Akkurt S., *Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı*, 1.Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2007.
- [16] Gürü M., Yalçın H., *Malzeme Bilgisi*, 3.Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara, 2012.
- [17] Kansu Y., Camküre, CaCO₃ ve Talk Dolgulu Polipropilen Hibrit Kompozitlerin Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005, 198312.
- [18] Çınar Y., Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Esnek Menteşe, www.turkcadcam.net, <http://www.turkcadcam.net/rapor/pek-esnek-mentese/index.html>, (Ziyaret Tarihi: 30 Temmuz 2018).
- [19] Vizyonvida, Enjeksiyon Kovan Teknolojisi Ayrıntılı Bilgi, Vizyonvida, <http://www.vizyonvida.com/enjeksiyon-kovan.html>, (Ziyaret Tarihi:01 Mayıs 2017).
- [20] Docplayer, Ekstrud Edilmiş Ürünler Levha Termoforming. Ekstruzyon. Tüp. İnjektasyon Kalıplama. Rotsayonal Kalıplama. Yapısal Köpük Kalıplama, Docplayer, <http://docplayer.biz.tr/11924126-Ekstrud-edilmis-urunler-levha-termoforming-ekstruzyon-tup-injektasyon-kalip-lama-rotasyonel-kalip-lama-yapisal-kopuk-kalip-lama.html>, (Ziyaret Tarihi: 01 Mayıs 2017).
- [21] Plasticseurope, Types Of Plastics, Plasticseurope, <http://www.plasticseurope.org/what-is-plastic/types-of-plastics-11148/polyolefins/polypropylene.aspx>, (Ziyaret Tarihi: 20 Nisan 2017).
- [22] Barbosa E.F., Silva L.P., *Polypropylene : Synthesis, Applications, and Environmental Concerns*, 1 rd ed., (E-Book) Nova Science Publishers Inc., New York, 2013.
- [23] Turan U., Kolemanit Katkılı Polipropilen Malzemelerin Kırılma Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2012, 323186.
- [24] Levy S., *Plastics Product Design Engineering Handbook*, 1. rd ed., Litton Educational Publishing, New York, 1977.
- [25] Haner S., Talk ve Wollastonit İlavelerinin Duvar Karosu Bünyesine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2009, 237923.
- [26] Arsoy Z., Talkın Yüzey Özelliklerine Öğütmenin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2014, 360693.

- [27] Çamlıbel O., Orta Yoğunlukta Liflevha (Mdf) Üretiminde İnorganik Dolgu Maddelerinden Kaya Tuzu Kalsit, Boraks Pentahidrat ve Talk Minerallerinin Kullanılabilme Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 2012, 344056.
- [28] Yürüyen S., Talk-Kaolen-Alumina Seramik Sisteminde Kordiyerit Oluşumuna Mekanik Aktivasyonun Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2011, 287262.
- [29] Dudnik V., Talkın Farklı Yağlar İle Flokülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2013, 346459.
- [30] Mindat, Talc, Mindat, <https://www.mindat.org/min-1108.html>, (Ziyaret Tarihi: 03 Mayıs 2017)
- [31] Yıldız A., Kolemanitin Formik Asit Çözeltilerinde Çözünme Kinetiği, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 2010, 285509.
- [32] Moral Ç., Kolemanitten Kalsiyum Fosfat Çimentosu Eldesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 292146.
- [33] Çetin B., Poliinden/Kolemanit Kompozitin Sentezi, Karakterizasyonu ve Elektroeolojik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011, 312709.
- [34] Demirel H.S., Sulu Organik Faz Kullanımı ile Kolemanitten Borik Asit Üretimi Veriminin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2016, 431130.
- [35] Korçak Ö., Kolemanit Atıklarının Çimento Üretiminde Kullanılması Ve Çimentonun Performans Özelliklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014, 395755.
- [36] Şimşek B., Hazır Betonun Optimal Karışım Oranlarının Belirlenmesi İçin Bir Çok Yanıtlı Modelleme ve Eniyileme Uygulaması: Topsis Tabanlı Taguchi Yaklaşımı ile Cevap Yüzey Yöntemi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014, 386353.
- [37] Yücel E., Yüksek Alaşımlı Beyaz Dökme Demirlerin (Ni-Hard) İşlenebilirlik Parametrelerinin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2011, 287399
- [38] Şirvancı M., *Kalite İçin Deney Tasarımı Yaklaşımı "Taguchi Yaklaşımı"*, 1.Baskı, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 1997.
- [39] Keskin F.Ş., Perlit ve Taban Külü Katkılı Harç Özelliklerinin Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2016, 436193.
- [40] Montgomery. D.C., *Design and Analysis of Experiments*, 3 rd ed., John Wiley and Sons Inc., Canada, 1991.

- [41] Sünkür E., Ekstrüzyon İşleminde Proses Parametrelerinin Etkisinin Sonlu Elemanlar İle Analizi Ve Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 2016, 428032.
- [42] Karagöz N., Taguchi Metodunun Hava Aracı Kanat Tasarımı Sürecine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2014, 374310.
- [43] Çeber Y., Hata Türü Ve Etkileri Analizi Yönteminin (FMEA) Üretim Sektöründe Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2010, 261520.
- [44] Şeker M., Fren Balatalarının Üretim Şartları ve İçeriğinin Performansa Etkisinin Taguchi Yöntemiyle Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2013, 334979.
- [45] Öztemel E., *Yapay Sinir Ağları*, 4. Baskı , Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul, 2016.
- [46] Haykin S., *Neural Networks A Comprehensive Foundation*, 2 rd ed., Pearson Education Inc.Prentice Hall, New Jersey, 1999.
- [47] Umucu Y., Kireç Taşı Örneğinin Yapay Sinir Ağları ile Öğütme İşlemlerinin Modellenmesi ve Kinetik Modelle Kıyaslanması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2011, 283782.
- [48] Özgün S., Galetaj Yöntemiyle İşlemede Yüzey Kalitesinin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 2010, 283075.
- [49] Şengöz N., Yapay Sinir Ağları, Derinöğrenme, <http://www.derinogrenme.com/2017/03/04/yapay-sinir-aglari> (Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2017)
- [50] Cinsdikici M., Yapay Sinir Ağları, Ege Üniversitesi Uluslararası Bilgisayar Enstitüsü, <http://ube.ege.edu.tr/~cinsdiki/UBI521/Chapter-1/cinsdikici-neural-net-giris.pdf> (Ziyaret Tarihi: 09 05 2017).
- [51] Burkan S.N., Tornalamada Kesme Parametrelerindeki Değişime Göre Kesme Kuvvetlerinin Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014,374516.
- [52] Uslu M., Yapay Sinir Ağları (YSA) Nedir, <http://kod5.org/yapay-sinir-aglari-ysa-nedir> (Ziyaret Tarihi: 05 Mayıs 2017)
- [53] Türk C., Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Isı Değiştirgeci Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013, 346524.
- [54] Serhatlioğlu S., Hardalaç F., Yapay Zeka Teknikleri ve Radyolojiye Uygulanması, *Fırat Tıp Dergisi*, **14** (1), 1-6, 2009.

- [55] Durak A., Konvektif Bir Kurutma Prosesinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2012, 318020.
- [56] Şentürk O., Kısa Cam Elyaf Ve Kalsit Dolgulu Polipropilen Hibrit Kompozitlerin Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014, 356031.
- [57] Hadal R.S., Dasari A., Rohrmann J., Misra R.D.K., Effect Of Wollastonite And Talc On The Micromechanisms Of Tensile Deformation In Polypropylene Composites, *Materials Science and Engineering A*, DOI:10.1016/j.msea.2004.01.003
- [58] Yetgin S.H., Ünal H., Mimaroglu A., Influence Of Foam Agent Content And Talc Filler On The Microcellular And Mechanical Properties Of Injection Molded Polypropylene And Talc Filled Polypropylene Composite Foams, *Journal of Cellular Plastics*, DOI: 10.1177/0021955X14543313.
- [59] Lapcik L., Jindrova P., Lapcikova B, Tamblyn R., Greenwood R., Rowson N., Effect of the Talc Filler Content on the Mechanical Properties of Polypropylene Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, DOI:10.1002/app.28797.
- [60] Saq'an S., Zihlif A.M., Ragosta G., Thermal, Elastic, and Electrical Properties of Talc-Polypropylene Composite, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, DOI: 10.1177/0892705708090826.
- [61] Sheril R.V., Mariatti M., Single and Hybrid Mineral Fillers (Talc/Silica and Talc/ Calcium Carbonate)-Filled Polypropylene Composites: Effects of Filler Loading and Ratios, *Journal Of Vinyl & Additive Technology*, DOI: 10.1002/vnl.
- [62] Weon J.I., Sue H.J., Mechanical Properties Of Talc and Caco3 Reinforced High Crystallinity Polypropylene Composites, *Springer Science And Business Media*, DOI: 10.1007/s10853-006-7171-x
- [63] Materialdatacenter, The Free Material Data Center Datasheet Of Turkmenplen TPP D30S - PP - Turkmenbashy Complex Of Oil Refineries, Materialdatacenter, <https://www.materialdatacenter.com/ms/en/tradenames/Turkmenplen/Turkmenbashy+complex+of+oil+refineries/Turkmenplen+TPP+D30S/9c86e6c1/6876> (Ziyaret Tarihi: 2 Mart 2018).
- [64] Petkim, Petkim Ürün Kataloğu Termoplastikler, <http://www.petkim.com.tr/Sayfa/1/801/URUN-VE-HIZMETLER-URUN-KATALOGU.aspx>, (Ziyaret tarihi:02 Mart 2018).
- [65] Baynal K., Çok Yanıt Kalite Karakteristiklerinin Eşzamanlı En İyilenmesinde Taguchi Yöntemi ve Otomotiv Endüstrisinde Bir Uygulama, *Makina Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*, **16**, 2-18, 2005.
- [66] Çırak B., Tel Kaplama Prosesinin Yapay Sinir Ağları (YSA) ile Modellenmesi ve Öngörülü Kontrol Modeli (MPC) ile Kontrolü, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2010, 274825.

- [67] Şeker M., Fren Balatalarının Üretim Şartlarını ve İçeriğinin, Performansa Etkisinin Taguchi Yöntemiyle Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2013, 334979.





EKLER

EK-A

Tablo A.1. Çekme Deneyi Elastisite Modülü (N/mm²) Değerleri

Akışkanlık seviyesi	Numune No	Parametreler				Elastisite Modülü N/mm ²					
		Ağırlıkça % Talk ve Kolemanit Oranı	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C	Gözlem 1	Gözlem 2	Gözlem 3	Gözlem 4	Gözlem 5	Ortalama
Düşük	D1	10+5	180	5	10	1932,09	1997,95	2007,02	1977,60	1973,35	1977,60
Düşük	D2	10+5	220	15	30	3132,20	3138,62	3078,12	3303,67	3040,49	3138,62
Düşük	D3	10+5	260	25	50	3332,78	3364,44	3299,13	3365,04	3460,79	3364,44
Düşük	D4	7,5+7,5	180	15	50	2014,77	2005,37	1927,65	2060,58	2106,34	2022,94
Düşük	D5	7,5+7,5	220	25	10	2050,63	1938,86	2001,58	2189,21	2072,89	2050,63
Düşük	D6	7,5+7,5	260	5	30	2109,34	2026,36	2077,31	1873,22	1833,23	1983,89
Düşük	D7	5+10	180	25	30	2715,73	2203,99	2525,79	1985,86	1990,76	2284,42
Düşük	D8	5+10	220	5	50	1429,46	1215,50	1505,98	1669,40	1455,09	1455,09
Düşük	D9	5+10	260	15	10	1638,94	1998,74	1866,98	1807,15	1827,96	1827,96
Orta	O1	10+5	180	5	10	2214,75	2138,05	2160,72	2183,11	2120,62	2163,45
Orta	O2	10+5	220	15	30	2641,05	2684,77	2434,35	2412,81	2545,95	2543,79
Orta	O3	10+5	260	25	50	2613,73	2622,42	2602,02	2739,20	2534,74	2622,42
Orta	O4	7,5+7,5	180	15	50	2832,63	3004,42	2551,25	3112,24	2684,51	2837,01
Orta	O5	7,5+7,5	220	25	10	1857,32	1887,20	1987,28	1859,85	1844,35	1887,20
Orta	O6	7,5+7,5	260	5	30	2105,29	2045,37	2107,70	2128,65	2074,53	2092,31
Orta	O7	5+10	180	25	30	2852,08	2487,14	2735,66	2878,40	2487,66	2688,19
Orta	O8	5+10	220	5	50	1942,68	1925,54	1876,06	1790,06	1734,47	1853,76

Tablo A.1. (Devam) Çekme Deneyi Elastisite Modülü (N/mm²) Değerleri

Akışkanlık seviyesi	Numune No	Parametreler				Elastisite Modülü N/mm ²					
		Ağırlıkça % Talk ve Kolemanit Oranı	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C	Gözlem 1	Gözlem 2	Gözlem 3	Gözlem 4	Gözlem 5	Ortalama
Orta	O9	5+10	260	15	10	1953,16	1994,25	1997,32	2094,25	2083,13	2024,42
Yüksek	Y1	10+5	180	5	10	2299,73	2089,89	2222,81	2417,69	2237,76	2253,58
Yüksek	Y2	10+5	220	15	30	2566,89	2558,14	2419,56	2490,79	2418,58	2490,79
Yüksek	Y3	10+5	260	25	50	3073,83	3145,62	3060,39	3314,38	3148,56	3148,56
Yüksek	Y4	7,5+7,5	180	15	50	2818,22	2801,19	2682,13	3263,48	3083,72	2929,75
Yüksek	Y5	7,5+7,5	220	25	10	2191,00	2375,00	2369,07	2472,32	2265,11	2334,50
Yüksek	Y6	7,5+7,5	260	5	30	1909,21	1932,72	1987,31	2015,32	2001,27	1969,16
Yüksek	Y7	5+10	180	25	30	2030,78	2152,13	2135,45	2109,60	2106,99	2106,99
Yüksek	Y8	5+10	220	5	50	2099,39	2081,93	2138,44	2134,79	2042,41	2099,39
Yüksek	Y9	5+10	260	15	10	1846,71	1790,53	1954,44	1962,76	1973,98	1905,68

Tablo A.2. Çekme Deneyi Akma Gerilmesi (N/mm²) Değerleri

Akışkanlık seviyesi	Numune No	Parametreler				Akma Gerilmesi N/mm ²					
		Ağırlıkça % Talk ve Kolemanit Oranı	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C	Gözlem 1	Gözlem 2	Gözlem 3	Gözlem 4	Gözlem 5	Ortalama
Düşük	D1	10+5	180	5	10	36,0812	35,9440	36,0159	35,9995	35,8790	35,9839
Düşük	D2	10+5	220	15	30	36,6054	36,3452	36,6619	36,3870	36,5035	36,5006
Düşük	D3	10+5	260	25	50	35,9911	36,6245	36,1687	35,9734	36,4960	36,2507
Düşük	D4	7,5+7,5	180	15	50	36,1012	36,2637	36,1790	36,0548	35,9076	36,1012
Düşük	D5	7,5+7,5	220	25	10	34,7108	34,8486	34,6838	34,8328	34,5965	34,7345
Düşük	D6	7,5+7,5	260	5	30	34,7878	34,6035	34,5548	34,0376	33,8058	34,3579
Düşük	D7	5+10	180	25	30	34,4789	34,3717	34,2029	34,0781	33,9633	34,2190
Düşük	D8	5+10	220	5	50	33,9716	33,9323	34,1357	33,8872	33,9313	33,9716
Düşük	D9	5+10	260	15	10	33,0919	33,3084	33,1939	33,2099	33,0925	33,1793
Orta	O1	10+5	180	5	10	37,0196	36,6596	36,6029	36,7691	36,7945	36,7691
Orta	O2	10+5	220	15	30	36,9870	37,0835	36,9680	36,8638	37,0325	36,9870
Orta	O3	10+5	260	25	50	35,8743	35,9443	36,1627	36,1459	35,6691	35,9592
Orta	O4	7,5+7,5	180	15	50	36,1364	35,9227	35,9361	36,0808	36,2117	36,0575
Orta	O5	7,5+7,5	220	25	10	35,2509	35,5144	35,3615	34,9431	35,2674	35,2674
Orta	O6	7,5+7,5	260	5	30	34,9787	35,3285	35,3778	35,1479	35,0617	35,1789
Orta	O7	5+10	180	25	30	35,2281	35,0594	35,6666	35,2769	35,5324	35,3527
Orta	O8	5+10	220	5	50	35,6208	35,5653	35,5388	35,5984	35,3709	35,5388
Orta	O9	5+10	260	15	10	33,7284	34,2335	33,7063	34,1573	34,2889	34,0229
Yüksek	Y1	10+5	180	5	10	37,1823	37,1147	37,2896	37,1341	37,1910	37,1823
Yüksek	Y2	10+5	220	15	30	36,3810	36,2565	36,3869	36,5404	36,0839	36,3297

Tablo A.2. (Devam) Çekme Deneyi Akma Gerilmesi (N/mm²) Değerleri

Akışkanlık seviyesi	Numune No	Parametreler				Akma Gerilmesi N/mm ²					
		Ağırlıkça % Talk ve Kolemanit Oranı	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C	Gözlem 1	Gözlem 2	Gözlem 3	Gözlem 4	Gözlem 5	Ortalama
Yüksek	Y3	10+5	260	25	50	36,9635	37,2783	37,3711	37,2866	37,4922	37,2783
Yüksek	Y4	7,5+7,5	180	15	50	36,2590	36,6631	36,6286	36,0547	36,3576	36,3926
Yüksek	Y5	7,5+7,5	220	25	10	35,2934	35,4676	35,2562	35,2994	35,1804	35,2994
Yüksek	Y6	7,5+7,5	260	5	30	36,9133	36,8851	37,0251	37,1427	37,1594	37,0251
Yüksek	Y7	5+10	180	25	30	35,6951	35,9482	35,3107	35,5346	35,9290	35,6835
Yüksek	Y8	5+10	220	5	50	35,8257	35,7441	35,6187	35,7008	35,8634	35,7506
Yüksek	Y9	5+10	260	15	10	35,7257	35,6008	35,5429	35,5002	35,3449	35,5429

Tablo A.3. Çekme Deneyi Akma Uzaması (%) Değerleri

Akışkanlık seviyesi	Numune No	Parametreler				Akma Uzaması mm					
		Ağırlıkça % Talk ve Kolemanit Oranı	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C	Gözlem 1	Gözlem 2	Gözlem 3	Gözlem 4	Gözlem 5	Ortalama
Düşük	D1	10+5	180	5	10	4,7378	4,7610	4,7580	4,6800	4,7520	4,7378
Düşük	D2	10+5	220	15	30	4,6120	4,6450	4,6298	4,5390	4,7230	4,6298
Düşük	D3	10+5	260	25	50	4,5340	4,6120	4,5540	4,5930	4,5733	4,5733
Düşük	D4	7,5+7,5	180	15	50	4,9258	4,9020	4,9370	4,9090	4,9550	4,9258
Düşük	D5	7,5+7,5	220	25	10	4,6490	4,7960	4,6860	4,7860	4,7160	4,7266
Düşük	D6	7,5+7,5	260	5	30	4,7900	4,7210	4,7740	4,5920	4,4730	4,6700
Düşük	D7	5+10	180	25	30	5,1910	5,1140	5,1535	5,1190	5,1900	5,1535
Düşük	D8	5+10	220	5	50	4,7330	4,7590	4,8990	5,0110	4,9350	4,8674
Düşük	D9	5+10	260	15	10	4,5200	4,6770	4,5740	4,6060	4,6800	4,6114
Orta	O1	10+5	180	5	10	4,2440	4,2470	4,3210	4,2080	4,2150	4,2470
Orta	O2	10+5	220	15	30	4,1800	4,0130	4,0725	4,1030	3,9940	4,0725
Orta	O3	10+5	260	25	50	4,1010	3,9630	4,0320	4,0340	4,1410	4,0542
Orta	O4	7,5+7,5	180	15	50	3,9980	3,9610	4,1200	4,0700	4,0373	4,0373
Orta	O5	7,5+7,5	220	25	10	4,2890	4,1570	4,2470	4,1750	4,2860	4,2308
Orta	O6	7,5+7,5	260	5	30	4,0340	4,1138	4,1380	4,1770	4,1060	4,1138
Orta	O7	5+10	180	25	30	3,9930	4,2840	4,1523	3,9710	4,3610	4,1523
Orta	O8	5+10	220	5	50	4,2900	4,2640	4,1780	4,2820	4,3060	4,2640
Orta	O9	5+10	260	15	10	4,2900	4,2840	4,1750	4,2755	4,3530	4,2755
Yüksek	Y1	10+5	180	5	10	3,8840	3,6000	3,6290	4,0350	3,7750	3,7846
Yüksek	Y2	10+5	220	15	30	3,5630	3,6510	3,7080	3,7920	3,7380	3,6904

Tablo A.3. (Devam) Çekme Deneyi Akma Uzaması (%) Değerleri

Akışkanlık seviyesi	Numune No	Parametreler				Akma Uzaması mm					
		Ağırlıkça % Talk ve Kolemanit Oranı	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C	Gözlem 1	Gözlem 2	Gözlem 3	Gözlem 4	Gözlem 5	Ortalama
Yüksek	Y3	10+5	260	25	50	3,7780	3,6310	3,8840	3,5610	3,7050	3,7118
Yüksek	Y4	7,5+7,5	180	15	50	3,6640	3,8130	3,7050	3,7118	3,6650	3,7118
Yüksek	Y5	7,5+7,5	220	25	10	3,6130	3,6150	3,5588	3,4480	3,5590	3,5588
Yüksek	Y6	7,5+7,5	260	5	30	3,7830	3,8180	3,6320	3,7750	3,5940	3,7204
Yüksek	Y7	5+10	180	25	30	3,7400	3,7480	3,6480	3,8120	3,7920	3,7480
Yüksek	Y8	5+10	220	5	50	3,9900	3,9200	3,8940	3,9560	3,9370	3,9394
Yüksek	Y9	5+10	260	15	10	4,1400	4,1180	3,9610	4,0730	3,9430	4,0470

Tablo A.4. Çekme Deneyi Kopma Gerilmesi (N/mm²) Değerleri

Akışkanlık seviyesi	Numune No	Parametreler				Kopma Gerilmesi N/mm ²					
		Ağırlıkça % Talk ve Kolemanit Oranı	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C	Gözlem 1	Gözlem 2	Gözlem 3	Gözlem 4	Gözlem 5	Ortalama
Düşük	D1	10+5	180	5	10	35,3419	35,4882	35,2772	35,2442	35,3580	35,3419
Düşük	D2	10+5	220	15	30	35,2367	35,3820	35,7862	35,4812	35,8480	35,5468
Düşük	D3	10+5	260	25	50	35,4742	35,7077	35,6894	35,6602	35,7694	35,6602
Düşük	D4	7,5+7,5	180	15	50	35,2863	35,7085	35,4735	35,3843	35,5151	35,4735
Düşük	D5	7,5+7,5	220	25	10	33,4367	34,2261	34,3522	34,0702	33,4567	33,9084
Düşük	D6	7,5+7,5	260	5	30	34,0392	33,7724	34,0059	33,5727	33,8476	33,8476
Düşük	D7	5+10	180	25	30	33,6649	33,4548	33,0749	32,7832	32,9634	33,1882
Düşük	D8	5+10	220	5	50	32,4547	33,6531	33,3406	32,4628	33,0453	32,9913
Düşük	D9	5+10	260	15	10	32,3783	32,4401	32,5221	32,4223	32,3487	32,4223
Orta	O1	10+5	180	5	10	36,0711	35,8543	35,8524	35,9068	35,8495	35,9068
Orta	O2	10+5	220	15	30	36,6998	36,2757	36,3744	36,6346	36,5404	36,5050
Orta	O3	10+5	260	25	50	35,4603	35,6271	35,7831	35,4036	35,5685	35,5685
Orta	O4	7,5+7,5	180	15	50	36,0709	35,7253	35,7391	35,9829	35,9329	35,8902
Orta	O5	7,5+7,5	220	25	10	34,9050	35,2673	34,9671	34,6758	34,9538	34,9538
Orta	O6	7,5+7,5	260	5	30	34,6818	34,7700	34,8146	34,3922	34,7502	34,6818
Orta	O7	5+10	180	25	30	34,9515	34,7353	34,7621	34,7723	34,9807	34,8404
Orta	O8	5+10	220	5	50	35,3234	35,2164	35,2324	35,2996	35,0903	35,2324
Orta	O9	5+10	260	15	10	33,1144	33,3418	33,2297	33,2610	33,3580	33,2610
Yüksek	Y1	10+5	180	5	10	36,8217	36,8357	36,9757	36,7905	36,6850	36,8217
Yüksek	Y2	10+5	220	15	30	36,3480	36,1264	36,1590	36,2121	36,2114	36,2114

Tablo A.4. (Devam) Çekme Deneyi Kopma Gerilmesi (N/mm²) Değerleri

Akışkanlık seviyesi	Numune No	Parametreler				Kopma Gerilmesi N/mm ²					
		Ağırlıkça % Talk ve Kolemanit Oranı	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C	Gözlem 1	Gözlem 2	Gözlem 3	Gözlem 4	Gözlem 5	Ortalama
Yüksek	Y3	10+5	260	25	50	36,6312	36,5800	37,1388	37,2700	37,4757	37,0191
Yüksek	Y4	7,5+7,5	180	15	50	36,0320	36,5485	36,4967	35,9733	35,7442	36,1589
Yüksek	Y5	7,5+7,5	220	25	10	35,2443	35,4190	35,1584	34,8544	35,1160	35,1584
Yüksek	Y6	7,5+7,5	260	5	30	36,6819	36,7857	36,4244	37,0259	37,1594	36,8155
Yüksek	Y7	5+10	180	25	30	35,4336	35,5759	35,2298	35,2441	35,7680	35,4503
Yüksek	Y8	5+10	220	5	50	35,5314	35,5480	35,4548	35,5696	35,5260	35,5260
Yüksek	Y9	5+10	260	15	10	35,2122	35,3680	35,2616	35,2364	35,2298	35,2616

Tablo A.5. Çekme Deneyi Kopma Uzaması (%) Değerleri

Akışkanlık seviyesi	Numune No	Parametreler				Kopma Uzaması mm					
		Ağırlıkça % Talk ve Kolemanit Oranı	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C	Gözlem 1	Gözlem 2	Gözlem 3	Gözlem 4	Gözlem 5	Ortalama
Düşük	D1	10+5	180	5	10	5,4040	5,4130	5,3740	5,3808	5,3320	5,3808
Düşük	D2	10+5	220	15	30	5,8800	5,8040	5,7680	5,8063	5,7730	5,8063
Düşük	D3	10+5	260	25	50	5,3310	5,7720	5,2780	5,8613	5,3380	5,5161
Düşük	D4	7,5+7,5	180	15	50	5,2680	6,0250	6,8935	6,2500	5,6790	6,0231
Düşük	D5	7,5+7,5	220	25	10	6,3520	5,9190	6,1228	5,9820	6,2380	6,1228
Düşük	D6	7,5+7,5	260	5	30	5,8046	5,9888	5,7160	5,4250	5,6320	5,7133
Düşük	D7	5+10	180	25	30	6,7130	6,7080	6,2420	7,5100	7,1830	6,8712
Düşük	D8	5+10	220	5	50	6,2180	6,5338	6,3840	6,8950	6,6380	6,5338
Düşük	D9	5+10	260	15	10	5,8240	6,1990	6,0953	6,0621	6,1300	6,0621
Orta	O1	10+5	180	5	10	5,4760	5,3360	5,3350	5,4400	5,2300	5,3634
Orta	O2	10+5	220	15	30	4,7230	4,4830	4,4650	4,5020	4,7181	4,5782
Orta	O3	10+5	260	25	50	4,6810	4,4340	4,6840	4,9040	5,0830	4,7572
Orta	O4	7,5+7,5	180	15	50	4,1430	4,2148	4,4460	4,3600	4,6459	4,3619
Orta	O5	7,5+7,5	220	25	10	4,7600	4,5190	4,8630	4,6100	5,0460	4,7596
Orta	O6	7,5+7,5	260	5	30	4,6500	4,7930	4,8990	5,0460	4,5770	4,7930
Orta	O7	5+10	180	25	30	4,4640	4,7550	4,7320	4,6590	5,0500	4,7320
Orta	O8	5+10	220	5	50	4,7610	4,2820	4,4317	4,7170	4,6680	4,5719
Orta	O9	5+10	260	15	10	5,1959	5,4440	4,8270	5,2447	5,5120	5,2447
Yüksek	Y1	10+5	180	5	10	4,4640	3,9260	3,9910	4,5784	4,2100	4,2339
Yüksek	Y2	10+5	220	15	30	3,9938	3,8320	3,9980	4,1540	3,9910	3,9938

Tablo A.5. (Devam) Çekme Deneyi Kopma Uzaması (%) Değerleri

Akışkanlık seviyesi	Numune No	Parametreler				Kopma Uzaması mm					
		Ağırlıkça % Talk ve Kolemanit Oranı	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C	Gözlem 1	Gözlem 2	Gözlem 3	Gözlem 4	Gözlem 5	Ortalama
Yüksek	Y3	10+5	260	25	50	4,1040	3,7038	4,2830	3,6337	3,8130	3,9075
Yüksek	Y4	7.5+7.5	180	15	50	3.9900	3.9937	3.8860	3.9562	3.9550	3.9562
Yüksek	Y5	7.5+7.5	220	25	10	3.7580	3.7230	3.6674	3.4843	3.7043	3.6674
Yüksek	Y6	7.5+7.5	260	5	30	4.0360	3.9630	3.6320	3.9560	3.6301	3.8434
Yüksek	Y7	5+10	180	25	30	3.9570	4.5390	3.7200	4.1740	4.1182	4.1016
Yüksek	Y8	5+10	220	5	50	4.4240	4.1380	4.1120	4.1370	4.2028	4.2028
Yüksek	Y9	5+10	260	15	10	4.5020	4.4440	4.2510	4.3270	4.0880	4.3224

EK-B

Tablo B.1. S/G Oranları

Akışkanlık seviyesi	Deney No	Faktörler				S/G Oranları				
		Talk Oranı % + Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması
Düşük	1	10+5	180	5	10	65,9205	31,1221	13,5109	30,9657	14,6165
	2	10+5	220	15	30	69,9244	31,2458	13,3090	31,0154	15,2773
	3	10+5	260	25	50	70,5349	31,1856	13,2040	31,0436	14,8069
	4	7,5+7,5	180	15	50	66,1082	31,1503	13,8493	30,9979	15,4904
	5	7,5+7,5	220	25	10	66,2167	30,8151	13,4891	30,6044	15,7301
	6	7,5+7,5	260	5	30	65,9089	30,7190	13,3775	30,5902	15,1237
	7	5+10	180	25	30	66,9719	30,6849	14,2415	30,4184	16,6881
	8	5+10	220	5	50	63,1189	30,6222	13,7398	30,3653	16,2873
	9	5+10	260	15	10	65,1857	30,4173	13,2743	30,2168	15,6465
Orta	1	10+5	180	5	10	66,6999	31,3095	12,5605	31,1035	14,5854
	2	10+5	220	15	30	68,0861	31,3609	12,1938	31,2468	13,2056
	3	10+5	260	25	50	68,3659	31,1159	12,1551	31,0211	13,5190
	4	7,5+7,5	180	15	50	68,9890	31,1398	12,1193	31,0993	12,7724
	5	7,5+7,5	220	25	10	65,5069	30,9471	12,5262	30,8695	13,5317
	6	7,5+7,5	260	5	30	66,4100	30,9254	12,2831	30,8018	13,5961
	7	5+10	180	25	30	68,5356	30,9680	12,3477	30,8415	13,4804
	8	5+10	220	5	50	65,3364	31,0140	12,5949	30,9388	13,1802
	9	5+10	260	15	10	66,1165	30,6347	12,6174	30,4386	14,3659
Yüksek	1	10+5	180	5	10	67,0281	31,4067	11,5369	31,3220	12,4877
	2	10+5	220	15	30	67,9181	31,2050	11,3355	31,1768	12,0191
	3	10+5	260	25	50	69,9518	31,4288	11,3798	31,3673	11,7875
	4	7,5+7,5	180	15	50	69,2708	31,2197	11,3888	31,1633	11,9442
	5	7,5+7,5	220	25	10	67,3411	30,9552	11,0221	30,9202	11,2778
	6	7,5+7,5	260	5	30	65,8799	31,3698	11,4041	31,3200	11,6666
	7	5+10	180	25	30	66,4680	31,0488	11,4730	30,9920	12,2036
	8	5+10	220	5	50	66,4381	31,0656	11,9077	31,0109	12,4614
	9	5+10	260	15	10	65,5810	31,0149	12,1374	30,9460	12,6993

Tablo B.2. Tüm PPH Numunelerinin Birlikte Analizi ile Elde Edilen S/G Oranları

Faktörler					S/G Oranları				
Akışkanlık seviyesi	Talk Oranı %+ Kolemanit Oranı %	Meme Sıcaklığı °C	Enjeksiyon Hızı mm/s	Kalıp Sıcaklığı °C	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması
Düşük	10+5	180	5	10	65,9205	31,1221	13,5109	30,9657	14,6165
Düşük	10+5	220	15	30	69,9244	31,2458	13,309	31,0154	15,2773
Düşük	10+5	260	25	50	70,5349	31,1856	13,204	31,0436	14,8069
Düşük	7,5+7,5	180	15	50	66,1082	31,1503	13,8493	30,9979	15,4904
Düşük	7,5+7,5	220	25	10	66,2167	30,8151	13,4891	30,6044	15,7301
Düşük	7,5+7,5	260	5	30	65,9089	30,719	13,3775	30,5902	15,1237
Düşük	5+10	180	25	30	66,9719	30,6849	14,2415	30,4184	16,6881
Düşük	5+10	220	5	50	63,1189	30,6222	13,7398	30,3653	16,2873
Düşük	5+10	260	15	10	65,1857	30,4173	13,2743	30,2168	15,6465
Orta	10+5	180	5	10	66,6999	31,3095	12,5605	31,1035	14,5854
Orta	10+5	220	15	30	68,0861	31,3609	12,1938	31,2468	13,2056
Orta	10+5	260	25	50	68,3659	31,1159	12,1551	31,0211	13,519
Orta	7,5+7,5	180	15	50	68,989	31,1398	12,1193	31,0993	12,7724
Orta	7,5+7,5	220	25	10	65,5069	30,9471	12,5262	30,8695	13,5317
Orta	7,5+7,5	260	5	30	66,41	30,9254	12,2831	30,8018	13,5961
Orta	5+10	180	25	30	68,5356	30,968	12,3477	30,8415	13,4804
Orta	5+10	220	5	50	65,3364	31,014	12,5949	30,9388	13,1802
Orta	5+10	260	15	10	66,1165	30,6347	12,6174	30,4386	14,3659
Yüksek	10+5	180	5	10	67,0281	31,4067	11,5369	31,322	12,4877
Yüksek	10+5	220	15	30	67,9181	31,205	11,3355	31,1768	12,0191
Yüksek	10+5	260	25	50	69,9518	31,4288	11,3798	31,3673	11,7875
Yüksek	7,5+7,5	180	15	50	69,2708	31,2197	11,3888	31,1633	11,9442
Yüksek	7,5+7,5	220	25	10	67,3411	30,9552	11,0221	30,9202	11,2778
Yüksek	7,5+7,5	260	5	30	65,8799	31,3698	11,4041	31,32	11,6666
Yüksek	5+10	180	25	30	66,468	31,0488	11,473	30,992	12,2036
Yüksek	5+10	220	5	50	66,4381	31,0656	11,9077	31,0109	12,4614
Yüksek	5+10	260	15	10	65,581	31,0149	12,1374	30,946	12,6993

EK-C

Tablo C.1. DPPH akma gerilmesi ANOVA tablosu

Akma Gerilmesi ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	45,228	22,614	541,62	0,0000
Meme Sıcaklığı °C	2	5,305	2,6523	63,52	0,0000
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	1,823	0,9113	21,82	0,0000
Kalıp Sıcaklığı °C	2	4,905	2,4527	58,74	0,0000
Hata	36	1,503	0,0418		
Toplam	44	58,763			

Tablo C.2. DPPH akma uzaması ANOVA tablosu

Akma Uzaması ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	0,39996	0,19998	36,6	0,0000
Meme Sıcaklığı °C	2	0,78572	0,392861	71,89	0,0000
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	0,06974	0,034869	6,38	0,0040
Kalıp Sıcaklığı °C	2	0,13029	0,065146	11,92	0,0000
Hata	36	0,19672	0,005464		
Toplam	44	1,58243			

Tablo C. 3. DPPH kopma gerilmesi ANOVA tablosu

Kopma Gerilmesi ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	53,106	26,5528	315,7	0,0000
Meme Sıcaklığı °C	2	3,884	1,9421	23,09	0,0000
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	1,33	0,6652	7,91	0,0010
Kalıp Sıcaklığı °C	2	5,123	2,5616	30,46	0,0000
Hata	36	3,028	0,0841		
Toplam	44	66,471			

Tablo C. 4. DPPH kopma uzaması ANOVA tablosu

Kopma Uzaması ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	6,4229	3,21144	33,85	0,0000
Meme Sıcaklığı °C	2	1,3193	0,65967	6,95	0,0030
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	0,6836	0,34181	3,6	0,0370
Kalıp Sıcaklığı °C	2	0,5774	0,2887	3,04	0,0600
Hata	36	3,4157	0,09488		
Toplam	44	12,419			

Tablo C. 5. OPPH elastisite (Young's) modülü ANOVA tablosu

Elastisite (Young's) Modülü ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	504719	252360	17,99	0,0000
Meme Sıcaklığı °C	2	1710523	855261	60,96	0,0000
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	1614569	807284	57,54	0,0000
Kalıp Sıcaklığı °C	2	1718667	859334	61,25	0,0000
Hata	36	505061	14029		
Toplam	44	6053539			

Tablo C.6. OPPH akma gerilmesi ANOVA tablosu

Akma Gerilmesi ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	19,9382	9,9691	286,96	0,0000
Meme Sıcaklığı °C	2	8,9934	4,4967	129,44	0,0000
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	0,6876	0,3438	9,9	0,0000
Kalıp Sıcaklığı °C	2	2,4271	1,2135	34,93	0,0000
Hata	36	1,2507	0,0347		
Toplam	44	33,2969			

Tablo C.7. OPPH akma uzaması ANOVA tablosu

Akma Uzaması ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	0,10961	0,0548	8,35	0,0010
Meme Sıcaklığı °C	2	0,01805	0,009	1,37	0,2660
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	0,0529	0,0265	4,03	0,0260
Kalıp Sıcaklığı °C	2	0,18368	0,0918	13,99	0,0000
Hata	36	0,2364	0,0066		
Toplam	44	0,60064			

Tablo C.8. OPPH kopma gerilmesi ANOVA tablosu

Kopma Gerilmesi ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	18,0113	9,0056	426,19	0,0000
Meme Sıcaklığı °C	2	11,0488	5,5244	261,44	0,0000
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	0,1796	0,0898	4,25	0,0220
Kalıp Sıcaklığı °C	2	5,9306	2,9653	140,33	0,0000
Hata	36	0,7607	0,0211		
Toplam	44	35,9309			

Tablo C.9. OPPH kopma uzaması ANOVA tablosu

Kopma Uzaması ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	0,5776	0,2888	7,13	0,0020
Meme Sıcaklığı °C	2	0,6652	0,3326	8,21	0,0010
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	0,2941	0,1471	3,63	0,0370
Kalıp Sıcaklığı °C	2	2,5444	1,2722	31,4	0,0000
Hata	36	1,4586	0,0405		
Toplam	44	5,54			

Tablo C.10. YPPH elastisite (Young's) modülü ANOVA tablosu

Elastisite (Young's) Modülü ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	2702135	1351068	110,15	0,0000
Meme Sıcaklığı °C	2	119263	59631	4,86	0,0140
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	1491891	745945	60,81	0,0000
Kalıp Sıcaklığı °C	2	3019724	1509862	123,09	0,0000
Hata	36	441573	12266		
Toplam	44	7774585			

Tablo C.11. YPPH akma gerilmesi ANOVA tablosu

Akma Gerilmesi ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	12,149	6,07475	205,11	0,0000
Meme Sıcaklığı °C	2	5,533	2,76669	93,41	0,0000
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	3,191	1,59571	53,88	0,0000
Kalıp Sıcaklığı °C	2	1,737	0,86833	29,32	0,0000
Hata	36	1,066	0,02962		
Toplam	44	23,677			

Tablo C.12. YPPH akma uzaması ANOVA tablosu

Akma Uzaması ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	0,49502	0,24751	25,29	0,0000
Meme Sıcaklığı °C	2	0,0793	0,03965	4,05	0,0260
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	0,20377	0,10189	10,41	0,0000
Kalıp Sıcaklığı °C	2	0,05336	0,02668	2,73	0,0790
Hata	36	0,3523	0,00979		
Toplam	44	1,18375			

Tablo C.13. YPPH kopma gerilmesi ANOVA tablosu

Kopma Gerilmesi ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	12,125	6,06238	113,41	0,0000
Meme Sıcaklığı °C	2	4,245	2,12264	39,71	0,0000
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	2,612	1,30615	24,43	0,0000
Kalıp Sıcaklığı °C	2	2,064	1,03222	19,31	0,0000
Hata	36	1,924	0,05346		
Toplam	44	22,971			

Tablo C.14. YPPH kopma uzaması ANOVA tablosu

Kopma Uzaması ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	1,12963	0,56482	14,25	0,0000
Meme Sıcaklığı °C	2	0,15253	0,07627	1,92	0,1610
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	0,39959	0,19979	5,04	0,0120
Kalıp Sıcaklığı °C	2	0,06787	0,03393	0,86	0,4330
Hata	36	1,42698	0,03964		
Toplam	44	3,17659			

Tablo C.15. Tüm PPH'lerin elastisite (Young's) modülü ANOVA tablosu

Elastisite (Young's) Modülü ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Akışkanlık seviyesi	2	71413	35706	0,3700	0,6950
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	1710292	855146	8,9100	0,0030
Meme Sıcaklığı °C	2	121170	60585	0,6300	0,5450
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	1374323	687162	7,1600	0,0060
Kalıp Sıcaklığı °C	2	911171	455586	4,7500	0,0240
Hata	16	1536152	96010		
Toplam	26	5724522			

Tablo C.16. Tüm PPH'lerin akma gerilmesi ANOVA tablosu

Akma Gerilmesi ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Akışkanlık seviyesi	2	6,9554	3,4777	11,3200	0,0010
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	14,2379	7,11894	23,1700	0,0000
Meme Sıcaklığı °C	2	1,4179	0,70896	2,3100	0,1320
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	0,1664	0,08322	0,2700	0,7660
Kalıp Sıcaklığı °C	2	1,6448	0,8224	2,6800	0,0990
Hata	16	4,9165	0,30728		
Toplam	26	29,3389			

Tablo C.17. Tüm PPH'lerin akma uzaması ANOVA tablosu

Akma Uzaması ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Akışkanlık seviyesi	2	4,55109	2,27554	117,5100	0,0000
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	0,16005	0,08002	4,1300	0,0360
Meme Sıcaklığı °C	2	0,03069	0,01535	0,7900	0,4700
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	0,01169	0,00584	0,3000	0,7440
Kalıp Sıcaklığı °C	2	0,00402	0,00201	0,1000	0,9020
Hata	16	0,30984	0,01936		
Toplam	26	5,06737			

Tablo C.18. Tüm PPH'lerin kopma gerilmesi ANOVA tablosu

Kopma Gerilmesi ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Akışkanlık seviyesi	2	14,3125	7,15626	21,7400	0,0000
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	14,9762	7,48809	22,7400	0,0000
Meme Sıcaklığı °C	2	1,1864	0,59322	1,8000	0,1970
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	0,1172	0,05862	0,1800	0,8390
Kalıp Sıcaklığı °C	2	2,3844	1,1922	3,6200	0,0500
Hata	16	5,2678	0,32924		
Toplam	26	38,2446			

Tablo C.19. Tüm PPH'lerin kopma uzaması ANOVA tablosu

Kopma Uzaması ANOVA Tablosu					
Faktörler	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (MS)	F-Değeri	P-Değeri
Akışkanlık seviyesi	2	17,8895	8,94475	70,7100	0,0000
Talk ve Kolemanit Oranı %	2	0,789	0,39452	3,1200	0,0720
Meme Sıcaklığı °C	2	0,0509	0,02544	0,2000	0,8200
Enjeksiyon Hızı mm/s	2	0,0048	0,00242	0,0200	0,9810
Kalıp Sıcaklığı °C	2	0,098	0,04902	0,3900	0,6850
Hata	16	2,0241	0,1265		
Toplam	26	20,8563			

EK-D

Tablo D.1. Akışkanlık Düzeylerine Göre Tüm Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Akışkanlık seviyesi	Faktörler				Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması	Çok Yanıtlı S/G Oranı
	A	B	C	D	L _{1j}	L _{2j}	L _{3j}	L _{4j}	L _{5j}	C _{1j}	C _{2j}	C _{3j}	C _{4j}	C _{5j}	TNQL _{1j}	TNQL _{2j}	TNQL _{3j}	TNQL _{4j}	TNQL _{5j}	MRSN _j
Düşük	1	1	1	1	65,9205	31,1221	13,5109	30,9657	14,6165	0,9346	0,9960	0,9487	0,9975	0,8759	0,3738	0,1992	0,0949	0,1995	0,0876	0,2000
	1	2	2	2	69,9244	31,2458	13,3090	31,0154	15,2773	0,9913	1,0000	0,9345	0,9991	0,9155	0,3965	0,2000	0,0935	0,1998	0,0915	0,0817
	1	3	3	3	70,5349	31,1856	13,2040	31,0436	14,8069	1,0000	0,9981	0,9272	1,0000	0,8873	0,4000	0,1996	0,0927	0,2000	0,0887	0,0831
	2	1	2	3	66,1082	31,1503	13,8493	30,9979	15,4904	0,9372	0,9969	0,9725	0,9985	0,9282	0,3749	0,1994	0,0972	0,1997	0,0928	0,1590
	2	2	3	1	66,2167	30,8151	13,4891	30,6044	15,7301	0,9388	0,9862	0,9472	0,9859	0,9426	0,3755	0,1972	0,0947	0,1972	0,0943	0,1823
	2	3	1	2	65,9089	30,7190	13,3775	30,5902	15,1237	0,9344	0,9831	0,9393	0,9854	0,9063	0,3738	0,1966	0,0939	0,1971	0,0906	0,2135
	3	1	3	2	66,9719	30,6849	14,2415	30,4184	16,6881	0,9495	0,9820	1,0000	0,9799	1,0000	0,3798	0,1964	0,1000	0,1960	0,1000	0,1225
	3	2	1	3	63,1189	30,6222	13,7398	30,3653	16,2873	0,8949	0,9800	0,9648	0,9782	0,9760	0,3579	0,1960	0,0965	0,1956	0,0976	0,2519
	3	3	2	1	65,1857	30,4173	13,2743	30,2168	15,6465	0,9242	0,9735	0,9321	0,9734	0,9376	0,3697	0,1947	0,0932	0,1947	0,0938	0,2411
Orta	1	1	1	1	66,6999	31,3095	12,5605	31,1035	14,5854	0,9668	0,9984	0,9955	0,9954	1,0000	0,3867	0,1997	0,0995	0,1991	0,1000	0,0655
	1	2	2	2	68,0861	31,3609	12,1938	31,2468	13,2056	0,9869	1,0000	0,9664	1,0000	0,9054	0,3948	0,2000	0,0966	0,2000	0,0905	0,0791
	1	3	3	3	68,3659	31,1159	12,1551	31,0211	13,5190	0,9910	0,9922	0,9634	0,9928	0,9269	0,3964	0,1984	0,0963	0,1986	0,0927	0,0771
	2	1	2	3	68,9890	31,1398	12,1193	31,0993	12,7724	1,0000	0,9929	0,9605	0,9953	0,8757	0,4000	0,1986	0,0961	0,1991	0,0876	0,0821
	2	2	3	1	65,5069	30,9471	12,5262	30,8695	13,5317	0,9495	0,9868	0,9928	0,9879	0,9278	0,3798	0,1974	0,0993	0,1976	0,0928	0,1466
	2	3	1	2	66,4100	30,9254	12,2831	30,8018	13,5961	0,9626	0,9861	0,9735	0,9858	0,9322	0,3850	0,1972	0,0974	0,1972	0,0932	0,1323
	3	1	3	2	68,5356	30,9680	12,3477	30,8415	13,4804	0,9934	0,9875	0,9786	0,9870	0,9242	0,3974	0,1975	0,0979	0,1974	0,0924	0,0764
	3	2	1	3	65,3364	31,0140	12,5949	30,9388	13,1802	0,9471	0,9889	0,9982	0,9901	0,9037	0,3788	0,1978	0,0998	0,1980	0,0904	0,1555
	3	3	2	1	66,1165	30,6347	12,6174	30,4386	14,3659	0,9584	0,9768	1,0000	0,9741	0,9850	0,3833	0,1954	0,1000	0,1948	0,0985	0,1232

Tablo D.1. (Devam) Akışkanlık Düzeylerine Göre Tüm Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Akışkanlık seviyesi	Faktörler				Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması	Çok Yanıtlı S/G Oranı
	A	B	C	D	L _{1j}	L _{2j}	L _{3j}	L _{4j}	L _{5j}	C _{1j}	C _{2j}	C _{3j}	C _{4j}	C _{5j}	TNQL _{1j}	TNQL _{2j}	TNQL _{3j}	TNQL _{4j}	TNQL _{5j}	MRSN _j
Yüksek	1	1	1	1	67,0281	31,4067	11,5369	31,3220	12,4877	0,9582	0,9993	0,9505	0,9986	0,9833	0,3833	0,1999	0,0951	0,1997	0,0983	0,1044
	1	2	2	2	67,9181	31,2050	11,3355	31,1768	12,0191	0,9709	0,9929	0,9339	0,9939	0,9464	0,3884	0,1986	0,0934	0,1988	0,0946	0,1154
	1	3	3	3	69,9518	31,4288	11,3798	31,3673	11,7875	1,0000	1,0000	0,9376	1,0000	0,9282	0,4000	0,2000	0,0938	0,2000	0,0928	0,0587
	2	1	2	3	69,2708	31,2197	11,3888	31,1633	11,9442	0,9903	0,9933	0,9383	0,9935	0,9405	0,3961	0,1987	0,0938	0,1987	0,0941	0,0817
	2	2	3	1	67,3411	30,9552	11,0221	30,9202	11,2778	0,9627	0,9849	0,9081	0,9857	0,8881	0,3851	0,1970	0,0908	0,1971	0,0888	0,1826
	2	3	1	2	65,8799	31,3698	11,4041	31,3200	11,6666	0,9418	0,9981	0,9396	0,9985	0,9187	0,3767	0,1996	0,0940	0,1997	0,0919	0,1689
	3	1	3	2	66,4680	31,0488	11,4730	30,9920	12,2036	0,9502	0,9879	0,9453	0,9880	0,9610	0,3801	0,1976	0,0945	0,1976	0,0961	0,1507
	3	2	1	3	66,4381	31,0656	11,9077	31,0109	12,4614	0,9498	0,9884	0,9811	0,9886	0,9813	0,3799	0,1977	0,0981	0,1977	0,0981	0,1253
	3	3	2	1	65,5810	31,0149	12,1374	30,9460	12,6993	0,9375	0,9868	1,0000	0,9866	1,0000	0,3750	0,1974	0,1000	0,1973	0,1000	0,1337

Tablo D.2. Tüm PPH'lerin Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Faktörler					Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması	Çok Yanıtlı S/G Oranı
Akışkanlık seviyesi	A	B	C	D	L _{1j}	L _{2j}	L _{3j}	L _{4j}	L _{5j}	C _{1j}	C _{2j}	C _{3j}	C _{4j}	C _{5j}	TNQL _{1j}	TNQL _{2j}	TNQL _{3j}	TNQL _{4j}	TNQL _{5j}	MRSN _j
1	1	1	1	1	65,9205	31,1221	13,5109	30,9657	14,6165	0,9346	0,9902	0,9487	0,9872	0,8759	0,3738	0,1980	0,0949	0,1974	0,0876	0,2147
1	1	2	2	2	69,9244	31,2458	13,3090	31,0154	15,2773	0,9913	0,9942	0,9345	0,9888	0,9155	0,3965	0,1988	0,0935	0,1978	0,0915	0,0960
1	1	3	3	3	70,5349	31,1856	13,2040	31,0436	14,8069	1,0000	0,9923	0,9272	0,9897	0,8873	0,4000	0,1985	0,0927	0,1979	0,0887	0,0974
1	2	1	2	3	66,1082	31,1503	13,8493	30,9979	15,4904	0,9372	0,9911	0,9725	0,9882	0,9282	0,3749	0,1982	0,0972	0,1976	0,0928	0,1735
1	2	2	3	1	66,2167	30,8151	13,4891	30,6044	15,7301	0,9388	0,9805	0,9472	0,9757	0,9426	0,3755	0,1961	0,0947	0,1951	0,0943	0,1967
1	2	3	1	2	65,9089	30,7190	13,3775	30,5902	15,1237	0,9344	0,9774	0,9393	0,9752	0,9063	0,3738	0,1955	0,0939	0,1950	0,0906	0,2280
1	3	1	3	2	66,9719	30,6849	14,2415	30,4184	16,6881	0,9495	0,9763	1,0000	0,9697	1,0000	0,3798	0,1953	0,1000	0,1939	0,1000	0,1367
1	3	2	1	3	63,1189	30,6222	13,7398	30,3653	16,2873	0,8949	0,9750	0,9648	0,9681	0,9760	0,3579	0,1950	0,0965	0,1936	0,0976	0,2658
1	3	3	2	1	65,1857	30,4173	13,2743	30,2168	15,6465	0,9242	0,9678	0,9321	0,9633	0,9376	0,3697	0,1936	0,0932	0,1927	0,0938	0,2555
2	1	1	1	1	66,6999	31,3095	12,5605	31,1035	14,5854	0,9456	0,9962	0,8820	0,9916	0,8740	0,3783	0,1992	0,0882	0,1983	0,0874	0,2163
2	1	2	2	2	68,0861	31,3609	12,1938	31,2468	13,2056	0,9653	0,9978	0,8562	0,9962	0,7913	0,3861	0,1996	0,0856	0,1992	0,0791	0,2243
2	1	3	3	3	68,3659	31,1159	12,1551	31,0211	13,5190	0,9692	0,9900	0,8535	0,9890	0,8101	0,3877	0,1980	0,0853	0,1978	0,0810	0,2234
2	2	1	2	3	68,9890	31,1398	12,1193	31,0993	12,7724	0,9781	0,9908	0,8510	0,9915	0,7654	0,3912	0,1982	0,0851	0,1983	0,0765	0,2259
2	2	2	3	1	65,5069	30,9471	12,5262	30,8695	13,5317	0,9287	0,9847	0,8796	0,9841	0,8109	0,3715	0,1969	0,0880	0,1968	0,0811	0,2952
2	2	3	1	2	66,4100	30,9254	12,2831	30,8018	13,5961	0,9415	0,9840	0,8625	0,9820	0,8147	0,3766	0,1968	0,0862	0,1964	0,0815	0,2802
2	3	1	3	2	68,5356	30,9680	12,3477	30,8415	13,4804	0,9717	0,9853	0,8670	0,9832	0,8078	0,3887	0,1971	0,0867	0,1966	0,0808	0,2234
2	3	2	1	3	65,3364	31,0140	12,5949	30,9388	13,1802	0,9263	0,9868	0,8844	0,9863	0,7898	0,3705	0,1974	0,0884	0,1973	0,0790	0,3032
2	3	3	2	1	66,1165	30,6347	12,6174	30,4386	14,3659	0,9374	0,9747	0,8860	0,9704	0,8608	0,3749	0,1949	0,0886	0,1941	0,0861	0,2750

Tablo D.2. (Devam) Tüm PPH'lerin Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Faktörler					Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Akma Uzaması	Kopma Gerilmesi	Kopma Uzaması	Çok Yanıtlı S/G Oranı
Akışkanlık seviyesi	A	B	C	D	L _{1j}	L _{2j}	L _{3j}	L _{4j}	L _{5j}	C _{1j}	C _{2j}	C _{3j}	C _{4j}	C _{5j}	TNQL _{1j}	TNQL _{2j}	TNQL _{3j}	TNQL _{4j}	TNQL _{5j}	MRSN _j
3	1	1	1	1	67,0281	31,4067	11,5369	31,3220	12,4877	0,9503	0,9993	0,8101	0,9986	0,7483	0,3801	0,1999	0,0810	0,1997	0,0748	0,2895
3	1	2	2	2	67,9181	31,2050	11,3355	31,1768	12,0191	0,9629	0,9929	0,7959	0,9939	0,7202	0,3852	0,1986	0,0796	0,1988	0,0720	0,2959
3	1	3	3	3	69,9518	31,4288	11,3798	31,3673	11,7875	0,9917	1,0000	0,7991	1,0000	0,7063	0,3967	0,2000	0,0799	0,2000	0,0706	0,2354
3	2	1	2	3	69,2708	31,2197	11,3888	31,1633	11,9442	0,9821	0,9933	0,7997	0,9935	0,7157	0,3928	0,1987	0,0800	0,1987	0,0716	0,2607
3	2	2	3	1	67,3411	30,9552	11,0221	30,9202	11,2778	0,9547	0,9849	0,7739	0,9857	0,6758	0,3819	0,1970	0,0774	0,1971	0,0676	0,3574
3	2	3	1	2	65,8799	31,3698	11,4041	31,3200	11,6666	0,9340	0,9981	0,8008	0,9985	0,6991	0,3736	0,1996	0,0801	0,1997	0,0699	0,3484
3	3	1	3	2	66,4680	31,0488	11,4730	30,9920	12,2036	0,9423	0,9879	0,8056	0,9880	0,7313	0,3769	0,1976	0,0806	0,1976	0,0731	0,3348
3	3	2	1	3	66,4381	31,0656	11,9077	31,0109	12,4614	0,9419	0,9884	0,8361	0,9886	0,7467	0,3768	0,1977	0,0836	0,1977	0,0747	0,3130
3	3	3	2	1	65,5810	31,0149	12,1374	30,9460	12,6993	0,9298	0,9868	0,8523	0,9866	0,7610	0,3719	0,1974	0,0852	0,1973	0,0761	0,3249

Tablo D.3. Akışkanlık Düzeylerine Göre Elastisite (Young's) Modülü ve Akma Gerilmesi Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Akışkanlık seviyesi	Faktörler				Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Çok Yanıtlı S/G Oranı
	A	B	C	D	L_{1j}	L_{2j}	C_{1j}	C_{2j}	$TNQL_{1j}$	$TNQL_{2j}$	$MRSN_j$
Düşük	1	1	1	1	65,9205	31,1221	0,9346	0,9960	0,5607	0,3984	0,1811
	1	2	2	2	69,9244	31,2458	0,9913	1,0000	0,5948	0,4000	0,0226
	1	3	3	3	70,5349	31,1856	1,0000	0,9981	0,6000	0,3992	0,0033
	2	1	2	3	66,1082	31,1503	0,9372	0,9969	0,5623	0,3988	0,1722
	2	2	3	1	66,2167	30,8151	0,9388	0,9862	0,5633	0,3945	0,1875
	2	3	1	2	65,9089	30,7190	0,9344	0,9831	0,5606	0,3933	0,2050
	3	1	3	2	66,9719	30,6849	0,9495	0,9820	0,5697	0,3928	0,1659
	3	2	1	3	63,1189	30,6222	0,8949	0,9800	0,5369	0,3920	0,3202
	3	3	2	1	65,1857	30,4173	0,9242	0,9735	0,5545	0,3894	0,2508
Orta	1	1	1	1	66,6999	31,3095	0,9668	0,9984	0,5801	0,3993	0,0902
	1	2	2	2	68,0861	31,3609	0,9869	1,0000	0,5921	0,4000	0,0342
	1	3	3	3	68,3659	31,1159	0,9910	0,9922	0,5946	0,3969	0,0373
	2	1	2	3	68,9890	31,1398	1,0000	0,9929	0,6000	0,3972	0,0123
	2	2	3	1	65,5069	30,9471	0,9495	0,9868	0,5697	0,3947	0,1573
	2	3	1	2	66,4100	30,9254	0,9626	0,9861	0,5776	0,3944	0,1233
	3	1	3	2	68,5356	30,9680	0,9934	0,9875	0,5961	0,3950	0,0391
	3	2	1	3	65,3364	31,0140	0,9471	0,9889	0,5682	0,3956	0,1601
	3	3	2	1	66,1165	30,6347	0,9584	0,9768	0,5750	0,3907	0,1513

Tablo D.3. (Devam) Akışkanlık Düzeylerine Göre Elastisite (Young's) Modülü ve Akma Gerilmesi Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Akışkanlık seviyesi	Faktörler				Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Çok Yanıtlı S/G Oranı
	A	B	C	D	L_{1j}	L_{2j}	C_{1j}	C_{2j}	$TNQL_{1j}$	$TNQL_{2j}$	$MRSN_j$
Yüksek	1	1	1	1	67,0281	31,4067	0,9582	0,9993	0,5749	0,3997	0,1116
	1	2	2	2	67,9181	31,2050	0,9709	0,9929	0,5826	0,3972	0,0890
	1	3	3	3	69,9518	31,4288	1,0000	1,0000	0,6000	0,4000	0,0000
	2	1	2	3	69,2708	31,2197	0,9903	0,9933	0,5942	0,3973	0,0371
	2	2	3	1	67,3411	30,9552	0,9627	0,9849	0,5776	0,3940	0,1252
	2	3	1	2	65,8799	31,3698	0,9418	0,9981	0,5651	0,3992	0,1578
	3	1	3	2	66,4680	31,0488	0,9502	0,9879	0,5701	0,3952	0,1535
	3	2	1	3	66,4381	31,0656	0,9498	0,9884	0,5699	0,3954	0,1537
	3	3	2	1	65,5810	31,0149	0,9375	0,9868	0,5625	0,3947	0,1898

Tablo D.4. Tüm PPH'lerin Elastisite (Young's) Modülü ve Akma Gerilmesi Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Faktörler					Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Çok Yanıtlı S/G Oranı
Akışkanlık seviyesi	A	B	C	D	L _{1j}	L _{2j}	C _{1j}	C _{2j}	TNQL _{1j}	TNQL _{2j}	MRSN _j
1	1	1	1	1	65,9205	31,1221	0,9346	0,9902	0,5607	0,3961	0,1916
1	1	2	2	2	69,9244	31,2458	0,9913	0,9942	0,5948	0,3977	0,0328
1	1	3	3	3	70,5349	31,1856	1,0000	0,9923	0,6000	0,3969	0,0135
1	2	1	2	3	66,1082	31,1503	0,9372	0,9911	0,5623	0,3965	0,1827
1	2	2	3	1	66,2167	30,8151	0,9388	0,9805	0,5633	0,3922	0,1979
1	2	3	1	2	65,9089	30,7190	0,9344	0,9774	0,5606	0,3910	0,2154
1	3	1	3	2	66,9719	30,6849	0,9495	0,9763	0,5697	0,3905	0,1763
1	3	2	1	3	63,1189	30,6222	0,8949	0,9750	0,5369	0,3900	0,3296
1	3	3	2	1	65,1857	30,4173	0,9242	0,9678	0,5545	0,3871	0,2612
2	1	1	1	1	66,6999	31,3095	0,9456	0,9962	0,5674	0,3985	0,1509
2	1	2	2	2	68,0861	31,3609	0,9653	0,9978	0,5792	0,3991	0,0953
2	1	3	3	3	68,3659	31,1159	0,9692	0,9900	0,5815	0,3960	0,0985
2	2	1	2	3	68,9890	31,1398	0,9781	0,9908	0,5868	0,3963	0,0737
2	2	2	3	1	65,5069	30,9471	0,9287	0,9847	0,5572	0,3939	0,2177
2	2	3	1	2	66,4100	30,9254	0,9415	0,9840	0,5649	0,3936	0,1841
2	3	1	3	2	68,5356	30,9680	0,9717	0,9853	0,5830	0,3941	0,1005
2	3	2	1	3	65,3364	31,0140	0,9263	0,9868	0,5558	0,3947	0,2205
2	3	3	2	1	66,1165	30,6347	0,9374	0,9747	0,5624	0,3899	0,2122

Tablo D.4 .(Devam) Tüm PPH'lerin Elastisite (Young's) Modülü ve Akma Gerilmesi Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Faktörler					Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Elastisite Modülü	Akma Gerilmesi	Çok Yanıtlı S/G Oranı
Akışkanlık seviyesi	A	B	C	D	L _{1j}	L _{2j}	C _{1j}	C _{2j}	TNQL _{1j}	TNQL _{2j}	MRSN _j
3	1	1	1	1	67,0281	31,4067	0,9503	0,9993	0,5702	0,3997	0,1328
3	1	2	2	2	67,9181	31,2050	0,9629	0,9929	0,5777	0,3972	0,1104
3	1	3	3	3	69,9518	31,4288	0,9917	1,0000	0,5950	0,4000	0,0216
3	2	1	2	3	69,2708	31,2197	0,9821	0,9933	0,5892	0,3973	0,0587
3	2	2	3	1	67,3411	30,9552	0,9547	0,9849	0,5728	0,3940	0,1466
3	2	3	1	2	65,8799	31,3698	0,9340	0,9981	0,5604	0,3992	0,1789
3	3	1	3	2	66,4680	31,0488	0,9423	0,9879	0,5654	0,3952	0,1747
3	3	2	1	3	66,4381	31,0656	0,9419	0,9884	0,5652	0,3954	0,1749
3	3	3	2	1	65,5810	31,0149	0,9298	0,9868	0,5579	0,3947	0,2109

Tablo D.5. Akışkanlık Düzeylerine Göre Elastisite (Young's) Modülü ve Kopma Gerilmesi Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Akışkanlık seviyesi	Faktörler				Elastisite Modülü	Kopma Gerilmesi	Elastisite Modülü	Kopma Gerilmesi	Elastisite Modülü	Kopma Gerilmesi	Çok Yanıtlı S/G Oranı
	A	B	C	D							
Düşük	1	1	1	1	65,9205	30,9657	0,9346	0,9975	0,5607	0,3990	0,1784
	1	2	2	2	69,9244	31,0154	0,9913	0,9991	0,5948	0,3996	0,0242
	1	3	3	3	70,5349	31,0436	1,0000	1,0000	0,6000	0,4000	0,0000
	2	1	2	3	66,1082	30,9979	0,9372	0,9985	0,5623	0,3994	0,1694
	2	2	3	1	66,2167	30,6044	0,9388	0,9859	0,5633	0,3943	0,1881
	2	3	1	2	65,9089	30,5902	0,9344	0,9854	0,5606	0,3942	0,2008
	3	1	3	2	66,9719	30,4184	0,9495	0,9799	0,5697	0,3919	0,1699
	3	2	1	3	63,1189	30,3653	0,8949	0,9782	0,5369	0,3913	0,3237
	3	3	2	1	65,1857	30,2168	0,9242	0,9734	0,5545	0,3893	0,2510
Orta	1	1	1	1	66,6999	31,1035	0,9668	0,9954	0,5801	0,3982	0,0955
	1	2	2	2	68,0861	31,2468	0,9869	1,0000	0,5921	0,4000	0,0342
	1	3	3	3	68,3659	31,0211	0,9910	0,9928	0,5946	0,3971	0,0362
	2	1	2	3	68,9890	31,0993	1,0000	0,9953	0,6000	0,3981	0,0082
	2	2	3	1	65,5069	30,8695	0,9495	0,9879	0,5697	0,3952	0,1552
	2	3	1	2	66,4100	30,8018	0,9626	0,9858	0,5776	0,3943	0,1239
	3	1	3	2	68,5356	30,8415	0,9934	0,9870	0,5961	0,3948	0,0398
	3	2	1	3	65,3364	30,9388	0,9471	0,9901	0,5682	0,3961	0,1579
	3	3	2	1	66,1165	30,4386	0,9584	0,9741	0,5750	0,3897	0,1562

Tablo D.5. (Devam) Akışkanlık Düzeylerine Göre Elastisite (Young's) Modülü ve Kopma Gerilmesi Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Akışkanlık seviyesi	Faktörler				Elastisite Modülü	Kopma Gerilmesi	Elastisite Modülü	Kopma Gerilmesi	Elastisite Modülü	Kopma Gerilmesi	Çok Yanıtlı S/G Oranı
	A	B	C	D	L_{1j}	L_{2j}	C_{1j}	C_{2j}	$TNQL_{1j}$	$TNQL_{2j}$	$MRSN_j$
Yüksek	1	1	1	1	67,0281	31,3220	0,9582	0,9986	0,5749	0,3994	0,1129
	1	2	2	2	67,9181	31,1768	0,9709	0,9939	0,5826	0,3976	0,0872
	1	3	3	3	69,9518	31,3673	1,0000	1,0000	0,6000	0,4000	0,0000
	2	1	2	3	69,2708	31,1633	0,9903	0,9935	0,5942	0,3974	0,0368
	2	2	3	1	67,3411	30,9202	0,9627	0,9857	0,5776	0,3943	0,1238
	2	3	1	2	65,8799	31,3200	0,9418	0,9985	0,5651	0,3994	0,1571
	3	1	3	2	66,4680	30,9920	0,9502	0,9880	0,5701	0,3952	0,1532
	3	2	1	3	66,4381	31,0109	0,9498	0,9886	0,5699	0,3955	0,1533
	3	3	2	1	65,5810	30,9460	0,9375	0,9866	0,5625	0,3946	0,1903

Tablo D.6. Tüm PPH'lerin Elastisite (Young's) Modülü ve Kopma Gerilmesi Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Faktörler					Elastisite Modülü	Kopma Gerilmesi	Elastisite Modülü	Kopma Gerilmesi	Elastisite Modülü	Kopma Gerilmesi	Çok Yanıtlı S/G Oranı
Akışkanlık seviyesi	A	B	C	D	L _{1j}	L _{2j}	C _{1j}	C _{2j}	TNQL _{1j}	TNQL _{2j}	MRSN _j
1	1	1	1	1	65,9205	30,9657	0,9346	0,9872	0,5607	0,3949	0,1971
1	1	2	2	2	69,9244	31,0154	0,9913	0,9888	0,5948	0,3955	0,0422
1	1	3	3	3	70,5349	31,0436	1,0000	0,9897	0,6000	0,3959	0,0180
1	2	1	2	3	66,1082	30,9979	0,9372	0,9882	0,5623	0,3953	0,1880
1	2	2	3	1	66,2167	30,6044	0,9388	0,9757	0,5633	0,3903	0,2066
1	2	3	1	2	65,9089	30,5902	0,9344	0,9752	0,5606	0,3901	0,2194
1	3	1	3	2	66,9719	30,4184	0,9495	0,9697	0,5697	0,3879	0,1882
1	3	2	1	3	63,1189	30,3653	0,8949	0,9681	0,5369	0,3872	0,3426
1	3	3	2	1	65,1857	30,2168	0,9242	0,9633	0,5545	0,3853	0,2695
2	1	1	1	1	66,6999	31,1035	0,9456	0,9916	0,5674	0,3966	0,1592
2	1	2	2	2	68,0861	31,2468	0,9653	0,9962	0,5792	0,3985	0,0982
2	1	3	3	3	68,3659	31,0211	0,9692	0,9890	0,5815	0,3956	0,1005
2	2	1	2	3	68,9890	31,0993	0,9781	0,9915	0,5868	0,3966	0,0726
2	2	2	3	1	65,5069	30,8695	0,9287	0,9841	0,5572	0,3937	0,2187
2	2	3	1	2	66,4100	30,8018	0,9415	0,9820	0,5649	0,3928	0,1877
2	3	1	3	2	68,5356	30,8415	0,9717	0,9832	0,5830	0,3933	0,1042

Tablo D.6. (Devam) Tüm PPH'lerin Elastisite (Young's) Modülü ve Kopma Gerilmesi Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Faktörler					Elastisite Modülü	Kopma Gerilmesi	Elastisite Modülü	Kopma Gerilmesi	Elastisite Modülü	Kopma Gerilmesi	Çok Yanıtlı S/G Oranı
Akışkanlık seviyesi	A	B	C	D	L _{1j}	L _{2j}	C _{1j}	C _{2j}	TNQL _{1j}	TNQL _{2j}	MRSN _j
2	3	2	1	3	65,3364	30,9388	0,9263	0,9863	0,5558	0,3945	0,2213
2	3	3	2	1	66,1165	30,4386	0,9374	0,9704	0,5624	0,3882	0,2202
3	1	1	1	1	67,0281	31,3220	0,9503	0,9986	0,5702	0,3994	0,1341
3	1	2	2	2	67,9181	31,1768	0,9629	0,9939	0,5777	0,3976	0,1086
3	1	3	3	3	69,9518	31,3673	0,9917	1,0000	0,5950	0,4000	0,0216
3	2	1	2	3	69,2708	31,1633	0,9821	0,9935	0,5892	0,3974	0,0584
3	2	2	3	1	67,3411	30,9202	0,9547	0,9857	0,5728	0,3943	0,1452
3	2	3	1	2	65,8799	31,3200	0,9340	0,9985	0,5604	0,3994	0,1782
3	3	1	3	2	66,4680	30,9920	0,9423	0,9880	0,5654	0,3952	0,1745
3	3	2	1	3	66,4381	31,0109	0,9419	0,9886	0,5652	0,3955	0,1746
3	3	3	2	1	65,5810	30,9460	0,9298	0,9866	0,5579	0,3946	0,2114

Tablo D.7. Akışkanlık Düzeylerine Göre Akma Gerilmesi ve Kopma Gerilmesi Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Akışkanlık seviyesi	Faktörler				Akma Gerilmesi	Kopma Gerilmesi	Akma Gerilmesi	Kopma Gerilmesi	Akma Gerilmesi	Kopma Gerilmesi	Çok Yanıtlı S/G Oranı
	A	B	C	D	L_{1j}	L_{2j}	C_{1j}	C_{2j}	$TNQL_{1j}$	$TNQL_{2j}$	$MRSN_j$
Düşük	1	1	1	1	31,1221	30,9657	0,9960	0,9975	0,3984	0,5985	0,0134
	1	2	2	2	31,2458	31,0154	1,0000	0,9991	0,4000	0,5995	0,0024
	1	3	3	3	31,1856	31,0436	0,9981	1,0000	0,3992	0,6000	0,0033
	2	1	2	3	31,1503	30,9979	0,9969	0,9985	0,3988	0,5991	0,0092
	2	2	3	1	30,8151	30,6044	0,9862	0,9859	0,3945	0,5915	0,0612
	2	3	1	2	30,7190	30,5902	0,9831	0,9854	0,3933	0,5912	0,0679
	3	1	3	2	30,6849	30,4184	0,9820	0,9799	0,3928	0,5879	0,0845
	3	2	1	3	30,6222	30,3653	0,9800	0,9782	0,3920	0,5869	0,0926
	3	3	2	1	30,4173	30,2168	0,9735	0,9734	0,3894	0,5840	0,1170
Orta	1	1	1	1	31,3095	31,1035	0,9984	0,9954	0,3993	0,5972	0,0148
	1	2	2	2	31,3609	31,2468	1,0000	1,0000	0,4000	0,6000	0,0000
	1	3	3	3	31,1159	31,0211	0,9922	0,9928	0,3969	0,5957	0,0325
	2	1	2	3	31,1398	31,0993	0,9929	0,9953	0,3972	0,5972	0,0246
	2	2	3	1	30,9471	30,8695	0,9868	0,9879	0,3947	0,5928	0,0547
	2	3	1	2	30,9254	30,8018	0,9861	0,9858	0,3944	0,5915	0,0617
	3	1	3	2	30,9680	30,8415	0,9875	0,9870	0,3950	0,5922	0,0559
	3	2	1	3	31,0140	30,9388	0,9889	0,9901	0,3956	0,5941	0,0451
	3	3	2	1	30,6347	30,4386	0,9768	0,9741	0,3907	0,5845	0,1090

Tablo D.7. (Devam) Akışkanlık Düzeylerine Göre Akma Gerilmesi ve Kopma Gerilmesi Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Akışkanlık seviyesi	Faktörler				Akma Gerilmesi	Kopma Gerilmesi	Akma Gerilmesi	Kopma Gerilmesi	Akma Gerilmesi	Kopma Gerilmesi	Çok Yanıtlı S/G Oranı
	A	B	C	D	L_{1j}	L_{2j}	C_{1j}	C_{2j}	$TNQL_{1j}$	$TNQL_{2j}$	$MRSN_j$
Yüksek	1	1	1	1	31,4067	31,3220	0,9993	0,9986	0,3997	0,5991	0,0050
	1	2	2	2	31,2050	31,1768	0,9929	0,9939	0,3972	0,5964	0,0283
	1	3	3	3	31,4288	31,3673	1,0000	1,0000	0,4000	0,6000	0,0000
	2	1	2	3	31,2197	31,1633	0,9933	0,9935	0,3973	0,5961	0,0286
	2	2	3	1	30,9552	30,9202	0,9849	0,9857	0,3940	0,5914	0,0638
	2	3	1	2	31,3698	31,3200	0,9981	0,9985	0,3992	0,5991	0,0072
	3	1	3	2	31,0488	30,9920	0,9879	0,9880	0,3952	0,5928	0,0525
	3	2	1	3	31,0656	31,0109	0,9884	0,9886	0,3954	0,5932	0,0500
	3	3	2	1	31,0149	30,9460	0,9868	0,9866	0,3947	0,5919	0,0583

Tablo D.8. Tüm PPH'lerin Akma Gerilmesi ve Kopma Gerilmesi Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Faktörler					Akma Gerilmesi	Kopma Gerilmesi	Akma Gerilmesi	Kopma Gerilmesi	Akma Gerilmesi	Kopma Gerilmesi	Çok Yanıtlı S/G Oranı
Akışkanlık seviyesi	A	B	C	D	L _{1j}	L _{2j}	C _{1j}	C _{2j}	TNQL _{1j}	TNQL _{2j}	MRSN _j
1	1	1	1	1	31,1221	30,9657	0,9902	0,9872	0,3961	0,5923	0,0506
1	1	2	2	2	31,2458	31,0154	0,9942	0,9888	0,3977	0,5933	0,0395
1	1	3	3	3	31,1856	31,0436	0,9923	0,9897	0,3969	0,5938	0,0405
1	2	1	2	3	31,1503	30,9979	0,9911	0,9882	0,3965	0,5929	0,0463
1	2	2	3	1	30,8151	30,6044	0,9805	0,9757	0,3922	0,5854	0,0984
1	2	3	1	2	30,7190	30,5902	0,9774	0,9752	0,3910	0,5851	0,1051
1	3	1	3	2	30,6849	30,4184	0,9763	0,9697	0,3905	0,5818	0,1216
1	3	2	1	3	30,6222	30,3653	0,9750	0,9681	0,3900	0,5808	0,1285
1	3	3	2	1	30,4173	30,2168	0,9678	0,9633	0,3871	0,5780	0,1542
2	1	1	1	1	31,3095	31,1035	0,9962	0,9916	0,3985	0,5950	0,0286
2	1	2	2	2	31,3609	31,2468	0,9978	0,9962	0,3991	0,5977	0,0138
2	1	3	3	3	31,1159	31,0211	0,9900	0,9890	0,3960	0,5934	0,0463
2	2	1	2	3	31,1398	31,0993	0,9908	0,9915	0,3963	0,5949	0,0384
2	2	2	3	1	30,9471	30,8695	0,9847	0,9841	0,3939	0,5905	0,0685
2	2	3	1	2	30,9254	30,8018	0,9840	0,9820	0,3936	0,5892	0,0755
2	3	1	3	2	30,9680	30,8415	0,9853	0,9832	0,3941	0,5899	0,0697

Tablo D.8. (Devam) Tüm PPH'lerin Akma Gerilmesi ve Kopma Gerilmesi Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Faktörler					Akma Gerilmesi	Kopma Gerilmesi	Akma Gerilmesi	Kopma Gerilmesi	Akma Gerilmesi	Kopma Gerilmesi	Çok Yanıtlı S/G Oranı
Akışkanlık seviyesi	A	B	C	D	L _{1j}	L _{2j}	C _{1j}	C _{2j}	TNQL _{1j}	TNQL _{2j}	MRSN _j
2	3	2	1	3	31,0140	30,9388	0,9868	0,9863	0,3947	0,5918	0,0589
2	3	3	2	1	30,6347	30,4386	0,9747	0,9704	0,3899	0,5822	0,1228
3	1	1	1	1	31,4067	31,3220	0,9993	0,9986	0,3997	0,5991	0,0050
3	1	2	2	2	31,2050	31,1768	0,9929	0,9939	0,3972	0,5964	0,0283
3	1	3	3	3	31,4288	31,3673	1,0000	1,0000	0,4000	0,6000	0,0000
3	2	1	2	3	31,2197	31,1633	0,9933	0,9935	0,3973	0,5961	0,0286
3	2	2	3	1	30,9552	30,9202	0,9849	0,9857	0,3940	0,5914	0,0638
3	2	3	1	2	31,3698	31,3200	0,9981	0,9985	0,3992	0,5991	0,0072
3	3	1	3	2	31,0488	30,9920	0,9879	0,9880	0,3952	0,5928	0,0525
3	3	2	1	3	31,0656	31,0109	0,9884	0,9886	0,3954	0,5932	0,0500
3	3	3	2	1	31,0149	30,9460	0,9868	0,9866	0,3947	0,5919	0,0583

Tablo D.9. Akışkanlık Düzeylerine Göre Akma Uzaması ve Kopma Uzaması Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Akışkanlık seviyesi	Faktörler				Akma Uzaması	Kopma Uzaması	Akma Uzaması	Kopma Uzaması	Akma Uzaması	Kopma Uzaması	Çok Yanıtlı S/G Oranı
	A	B	C	D	L _{1j}	L _{2j}	C _{1j}	C _{2j}	TNQL _{1j}	TNQL _{2j}	MRSN _j
Düşük	1	1	1	1	13,5109	14,6165	0,9487	0,8759	0,3795	0,5255	0,4335
	1	2	2	2	13,3090	15,2773	0,9345	0,9155	0,3738	0,5493	0,3476
	1	3	3	3	13,2040	14,8069	0,9272	0,8873	0,3709	0,5324	0,4420
	2	1	2	3	13,8493	15,4904	0,9725	0,9282	0,3890	0,5569	0,2415
	2	2	3	1	13,4891	15,7301	0,9472	0,9426	0,3789	0,5656	0,2483
	2	3	1	2	13,3775	15,1237	0,9393	0,9063	0,3757	0,5438	0,3645
	3	1	3	2	14,2415	16,6881	1,0000	1,0000	0,4000	0,6000	0,0000
	3	2	1	3	13,7398	16,2873	0,9648	0,9760	0,3859	0,5856	0,1256
	3	3	2	1	13,2743	15,6465	0,9321	0,9376	0,3728	0,5626	0,2901
Orta	1	1	1	1	12,5605	14,5854	0,9955	1,0000	0,3982	0,6000	0,0078
	1	2	2	2	12,1938	13,2056	0,9664	0,9054	0,3866	0,5432	0,3161
	1	3	3	3	12,1551	13,5190	0,9634	0,9269	0,3853	0,5561	0,2619
	2	1	2	3	12,1193	12,7724	0,9605	0,8757	0,3842	0,5254	0,4114
	2	2	3	1	12,5262	13,5317	0,9928	0,9278	0,3971	0,5567	0,2056
	2	3	1	2	12,2831	13,5961	0,9735	0,9322	0,3894	0,5593	0,2287
	3	1	3	2	12,3477	13,4804	0,9786	0,9242	0,3915	0,5545	0,2411
	3	2	1	3	12,5949	13,1802	0,9982	0,9037	0,3993	0,5422	0,2619
	3	3	2	1	12,6174	14,3659	1,0000	0,9850	0,4000	0,5910	0,0394

Tablo D.9. (Devam) Akışkanlık Düzeylerine Göre Akma Uzaması ve Kopma Uzaması Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Akışkanlık seviyesi	Faktörler				Akma Uzaması	Kopma Uzaması	Akma Uzaması	Kopma Uzaması	Akma Uzaması	Kopma Uzaması	Çok Yanıtlı S/G Oranı
	A	B	C	D	L_{1j}	L_{2j}	C_{1j}	C_{2j}	$TNQL_{1j}$	$TNQL_{2j}$	$MRSN_j$
Yüksek	1	1	1	1	11,5369	12,4877	0,9505	0,9833	0,3802	0,5900	0,1313
	1	2	2	2	11,3355	12,0191	0,9339	0,9464	0,3736	0,5679	0,2621
	1	3	3	3	11,3798	11,7875	0,9376	0,9282	0,3750	0,5569	0,3061
	2	1	2	3	11,3888	11,9442	0,9383	0,9405	0,3753	0,5643	0,2703
	2	2	3	1	11,0221	11,2778	0,9081	0,8881	0,3632	0,5328	0,4765
	2	3	1	2	11,4041	11,6666	0,9396	0,9187	0,3758	0,5512	0,3290
	3	1	3	2	11,4730	12,2036	0,9453	0,9610	0,3781	0,5766	0,2014
	3	2	1	3	11,9077	12,4614	0,9811	0,9813	0,3924	0,5888	0,0825
	3	3	2	1	12,1374	12,6993	1,0000	1,0000	0,4000	0,6000	0,0000

Tablo D.10. Tüm PPH'lerin Akma Uzaması ve Kopma Uzaması Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Faktörler					Akma Uzaması	Kopma Uzaması	Akma Uzaması	Kopma Uzaması	Akma Uzaması	Kopma Uzaması	Çok Yanıtlı S/G Oranı
Akışkanlık seviyesi	A	B	C	D	L _{1j}	L _{2j}	C _{1j}	C _{2j}	TNQL _{1j}	TNQL _{2j}	MRSN _j
1	1	1	1	1	13,5109	14,6165	0,9487	0,8759	0,3795	0,5255	0,4335
1	1	2	2	2	13,3090	15,2773	0,9345	0,9155	0,3738	0,5493	0,3476
1	1	3	3	3	13,2040	14,8069	0,9272	0,8873	0,3709	0,5324	0,4420
1	2	1	2	3	13,8493	15,4904	0,9725	0,9282	0,3890	0,5569	0,2415
1	2	2	3	1	13,4891	15,7301	0,9472	0,9426	0,3789	0,5656	0,2483
1	2	3	1	2	13,3775	15,1237	0,9393	0,9063	0,3757	0,5438	0,3645
1	3	1	3	2	14,2415	16,6881	1,0000	1,0000	0,4000	0,6000	0,0000
1	3	2	1	3	13,7398	16,2873	0,9648	0,9760	0,3859	0,5856	0,1256
1	3	3	2	1	13,2743	15,6465	0,9321	0,9376	0,3728	0,5626	0,2901
2	1	1	1	1	12,5605	14,5854	0,8820	0,8740	0,3528	0,5244	0,5691
2	1	2	2	2	12,1938	13,2056	0,8562	0,7913	0,3425	0,4748	0,8763
2	1	3	3	3	12,1551	13,5190	0,8535	0,8101	0,3414	0,4861	0,8225
2	2	1	2	3	12,1193	12,7724	0,8510	0,7654	0,3404	0,4592	0,9712
2	2	2	3	1	12,5262	13,5317	0,8796	0,8109	0,3518	0,4865	0,7658
2	2	3	1	2	12,2831	13,5961	0,8625	0,8147	0,3450	0,4888	0,7893
2	3	1	3	2	12,3477	13,4804	0,8670	0,8078	0,3468	0,4847	0,8015

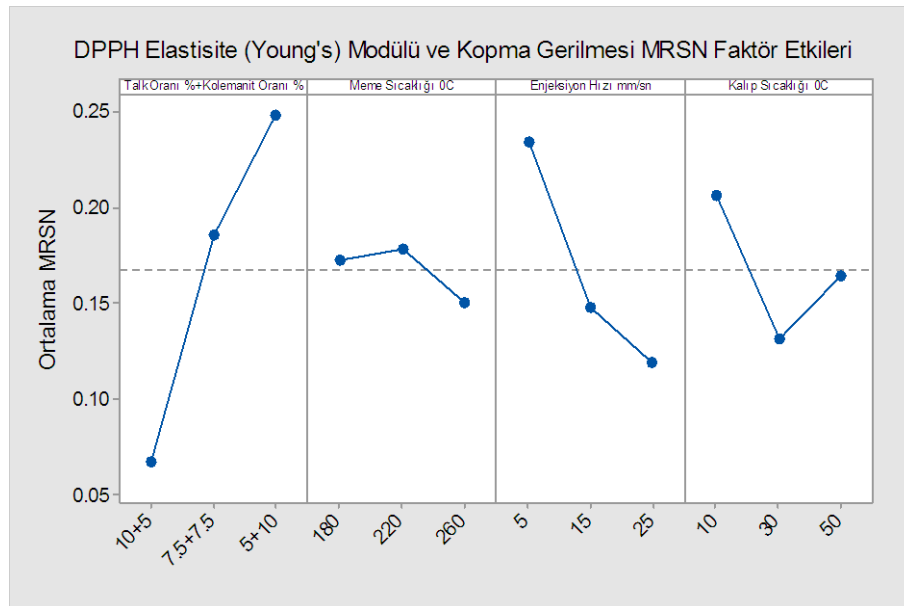
Tablo D.10. (Devam) Tüm PPH'lerin Akma Uzaması ve Kopma Uzaması Kalite Değişkenleri için Çok Yanıtlı S/G Oranları

Faktörler					Akma Uzaması	Kopma Uzaması	Akma Uzaması	Kopma Uzaması	Akma Uzaması	Kopma Uzaması	Çok Yanıtlı S/G Oranı
Akışkanlık seviyesi	A	B	C	D	L _{1j}	L _{2j}	C _{1j}	C _{2j}	TNQL _{1j}	TNQL _{2j}	MRSN _j
2	3	2	1	3	12,5949	13,1802	0,8844	0,7898	0,3538	0,4739	0,8216
2	3	3	2	1	12,6174	14,3659	0,8860	0,8608	0,3544	0,5165	0,6004
3	1	1	1	1	11,5369	12,4877	0,8101	0,7483	0,3240	0,4490	1,1181
3	1	2	2	2	11,3355	12,0191	0,7959	0,7202	0,3184	0,4321	1,2464
3	1	3	3	3	11,3798	11,7875	0,7991	0,7063	0,3196	0,4238	1,2876
3	2	1	2	3	11,3888	11,9442	0,7997	0,7157	0,3199	0,4294	1,2533
3	2	2	3	1	11,0221	11,2778	0,7739	0,6758	0,3096	0,4055	1,4566
3	2	3	1	2	11,4041	11,6666	0,8008	0,6991	0,3203	0,4195	1,3091
3	3	1	3	2	11,4730	12,2036	0,8056	0,7313	0,3222	0,4388	1,1861
3	3	2	1	3	11,9077	12,4614	0,8361	0,7467	0,3345	0,4480	1,0652
3	3	3	2	1	12,1374	12,6993	0,8523	0,7610	0,3409	0,4566	0,9827

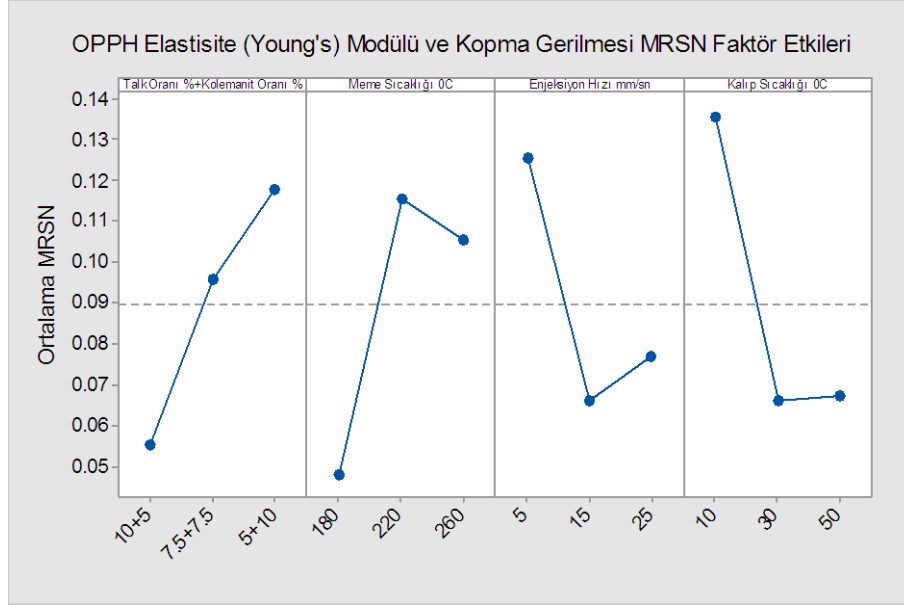
EK-E

Tablo E.1. Akışkanlık Düzeylerine Göre Elastisite (Young's) Modülü ve Kopma Gerilmesi MRSN Oranlarında Faktörlerin Etkileri

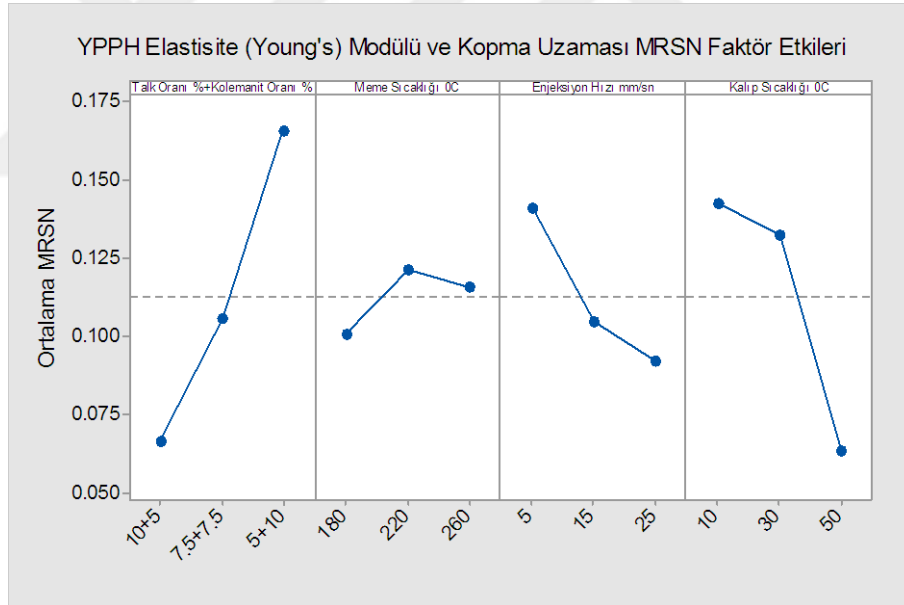
Elastisite (Young's) Modülü ve Kopma Gerilmesi MRSN Oranlarında Faktörlerin Etkileri						
Akışkanlık Düzeyi	Faktörler		Talk + Kolemanit Oranı %	Meme Sic. °C	Enjeksiyon Hızı mm/sn	Kalıp Sic. °C
Düşük	Seviye	1	0,0676	0,1726	0,2343	0.2059
		2	0,1861	0,1787	0,1482	0.1316
		3	0,2482	0,1506	0,1193	0.1644
	Delta		0.1807	0,0281	0,1150	0,0742
	Sıra		1	4	2	3
Orta	Seviye	1	0,0553	0,0478	0,1258	0.1356
		2	0,0958	0,1158	0,0662	0.0660
		3	0,1180	0,1055	0,0771	0.0675
	Delta		0.0627	0,0680	0,0596	0,0696
	Sıra		3	2	4	1
Yüksek	Seviye	1	0,0667	0,1010	0,1411	0.1423
		2	0,1059	0,1214	0,1048	0.1325
		3	0,1656	0,1158	0,0923	0.0634
	Delta		0.0989	0,0204	0,0488	0,0789
	Sıra		1	4	3	2



Şekil E.1. DPPH Elastisite (Young's) Modülü ve Kopma Gerilmesi MRSN Etki Grafiği



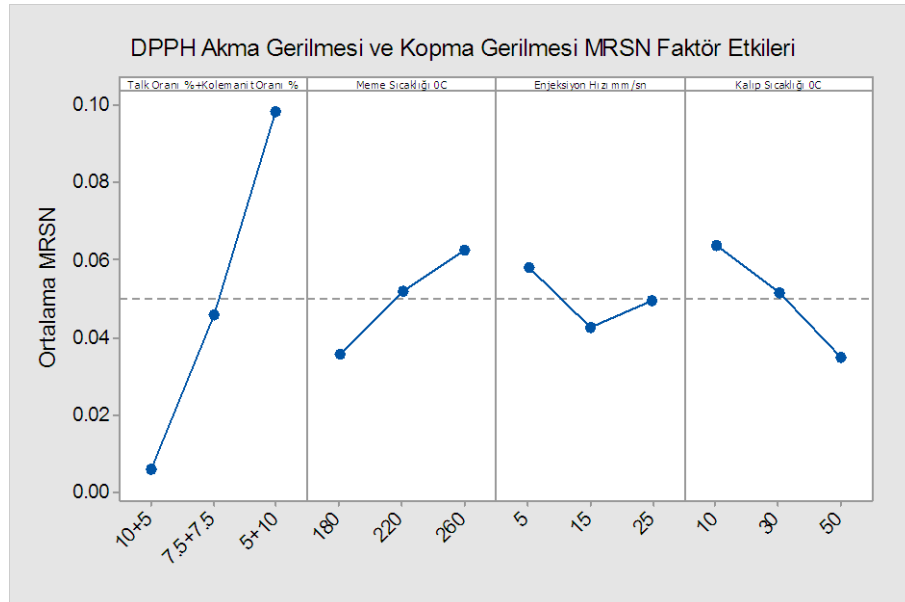
Şekil E.2. OPPH Elastisite (Young's) Modülü ve Kopma Gerilmesi MRSN Etki Grafiği



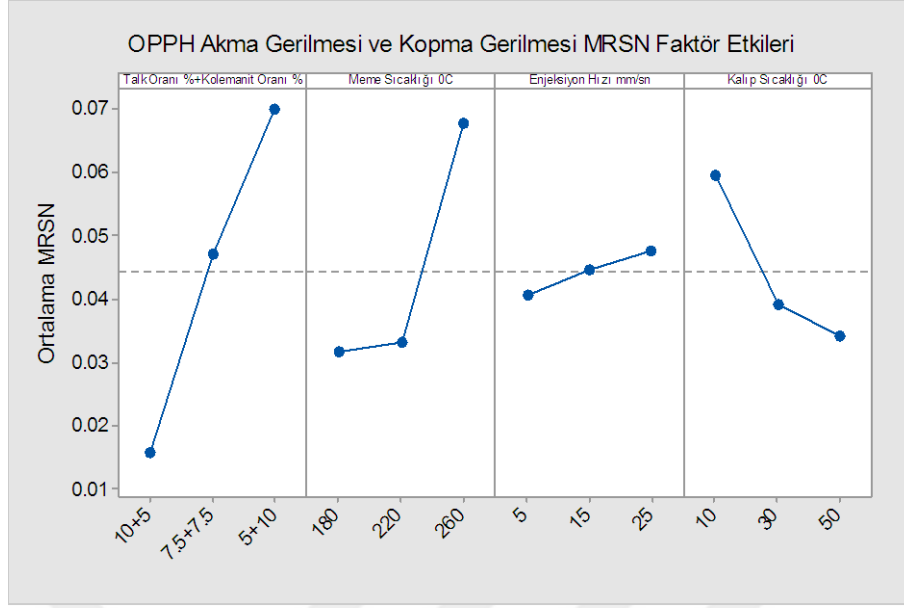
Şekil E.3. YPPH Elastisite (Young's) Modülü ve Kopma Gerilmesi MRSN Etki Grafiği

Tablo E.2. Akışkanlık Düzeylerine Göre Akma Gerilmesi ve Kopma Gerilmesi MRSN Oranlarında Faktörlerin Etkileri

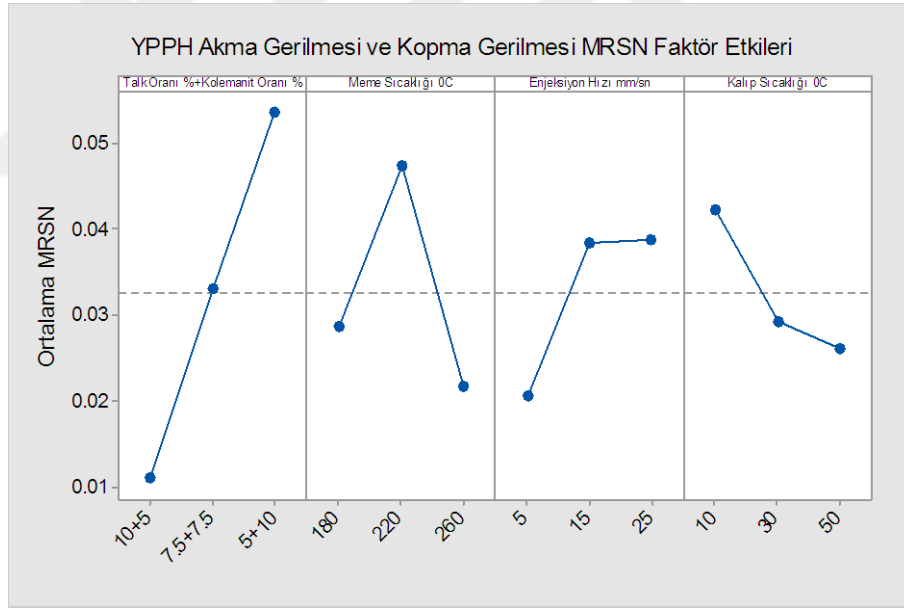
Akma Gerilmesi ve Kopma Gerilmesi MRSN Oranlarında Faktörlerin Etkileri						
Akışkanlık Düzeyi	Faktörler		Talk + Kolemanit Oranı %	Meme Sic. °C	Enjeksiyon Hızı mm/sn	Kalıp Sic. °C
Düşük	Seviye	1	0,0064	0,0357	0,0580	0.0639
		2	0,0461	0,0521	0,0428	0.0516
		3	0,0980	0,0627	0,0497	0.0350
	Delta		0.0916	0,0271	0,0151	0,0289
	Sıra		1	3	4	2
Orta	Seviye	1	0,0158	0,0318	0,0406	0.0595
		2	0,0470	0,0333	0,0445	0.0392
		3	0,0700	0,0677	0,0477	0.0341
	Delta		0.0542	0,0359	0,0072	0,0254
	Sıra		1	2	4	3
Yüksek	Seviye	1	0,0111	0,0287	0,0207	0.0424
		2	0,0332	0,0474	0,0384	0.0293
		3	0,0536	0,0218	0,0388	0.0262
	Delta		0.0425	0,0255	0,0180	0,0162
	Sıra		1	2	3	4



Şekil E.4. DPPH Akma Gerilmesi ve Kopma Gerilmesi MRSN Etki Grafiği



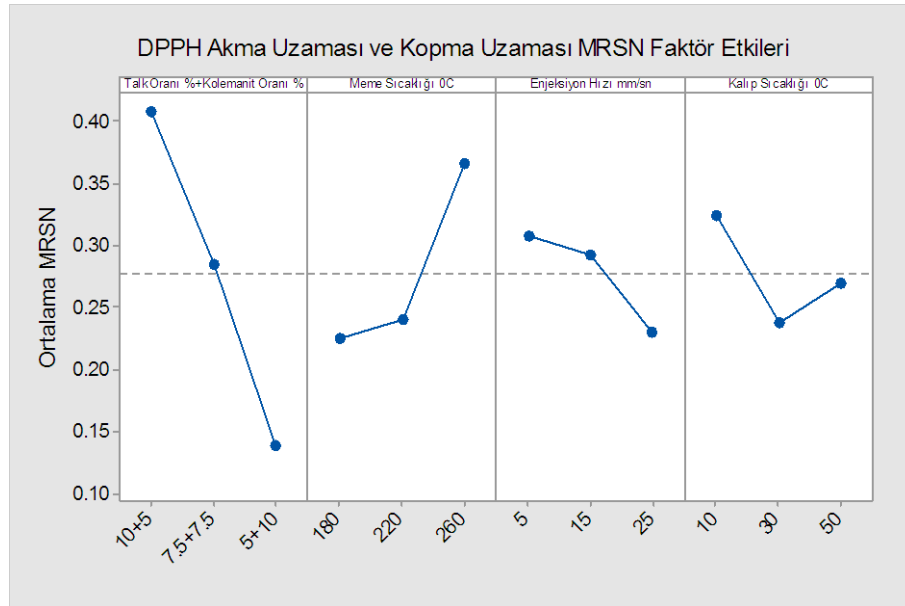
Şekil E.5. OPPH Akma Gerilmesi ve Kopma Gerilmesi MRSN Etki Grafiği



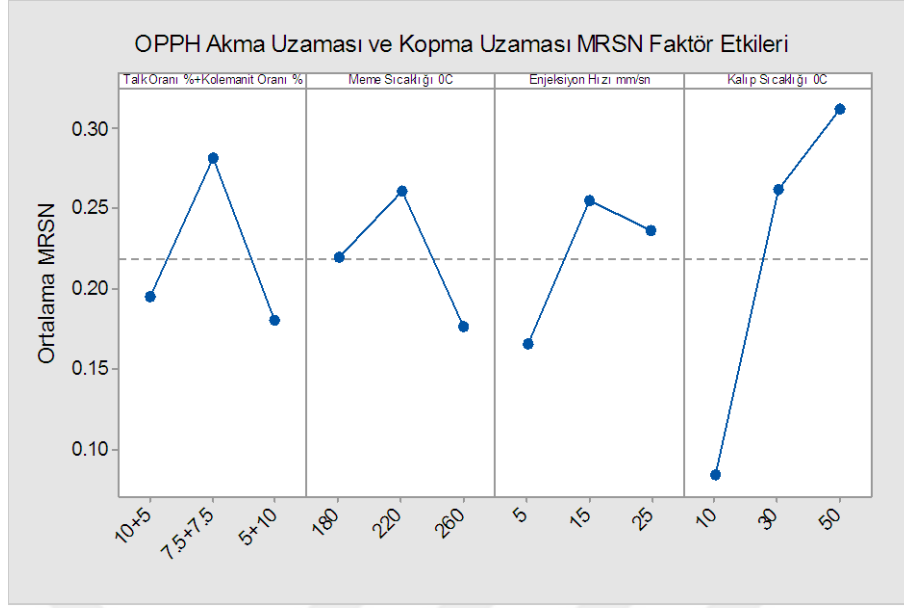
Şekil E.6. YPPH Akma Gerilmesi ve Kopma Gerilmesi MRSN Etki Grafiği

Tablo E.3. Akışkanlık Düzeylerine Göre Akma Uzaması ve Kopma Uzaması MRSN Oranlarında Faktörlerin Etkileri

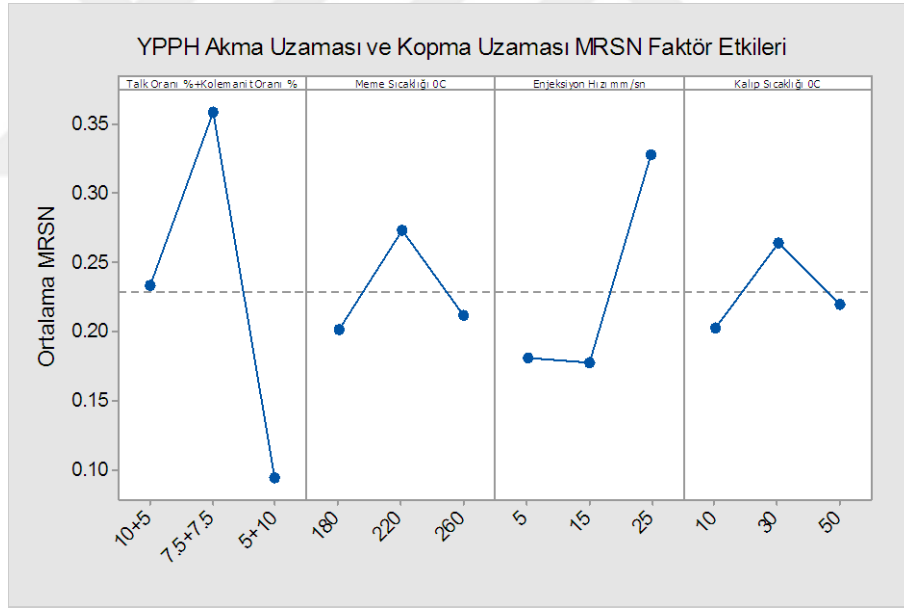
Akma Uzaması ve Kopma Uzaması MRSN Oranlarında Faktörlerin Etkileri						
Akışkanlık Düzeyi	Faktörler		Talk + Kolemanit Oranı %	Meme Sic. °C	Enjeksiyon Hızı mm/sn	Kalıp Sic. °C
Düşük	Seviye	1	0,4077	0,2250	0,3079	0.3240
		2	0,2848	0,2405	0,2930	0.2374
		3	0,1386	0,3656	0,2301	0.2697
	Delta		0.2692	0,1406	0,0778	0,0866
	Sıra		1	2	4	3
Orta	Seviye	1	0,1953	0,2201	0,1661	0.0843
		2	0,2819	0,2612	0,2556	0.2620
		3	0,1808	0,1767	0,2362	0.3117
	Delta		0.1011	0,0845	0,0895	0,2274
	Sıra		2	4	3	1
Yüksek	Seviye	1	0,2332	0,2010	0,1809	0.2026
		2	0,3586	0,2737	0,1775	0.2642
		3	0,0946	0,2117	0,3280	0.2196
	Delta		0.2640	0,0727	0,1505	0,0616
	Sıra		1	3	2	4



Şekil E.7. DPPH Akma Uzaması ve Kopma Uzaması MRSN Etki Grafiği



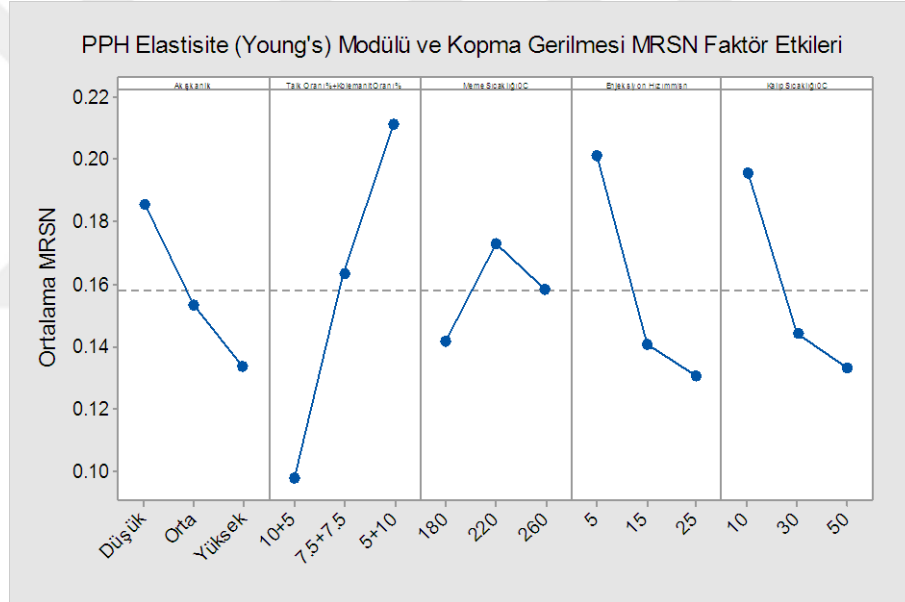
Şekil E.8. OPPH Akma Uzaması ve Kopma Uzaması MRSN Etki Grafiği



Şekil E.9. YPPH Akma Uzaması ve Kopma Uzaması MRSN Etki Grafiği

Tablo E.4. Tüm PPH'lerin Elastisite (Young's) Modülü ve Kopma Gerilmesi MRSN Oranlarında Faktörlerin Etkileri

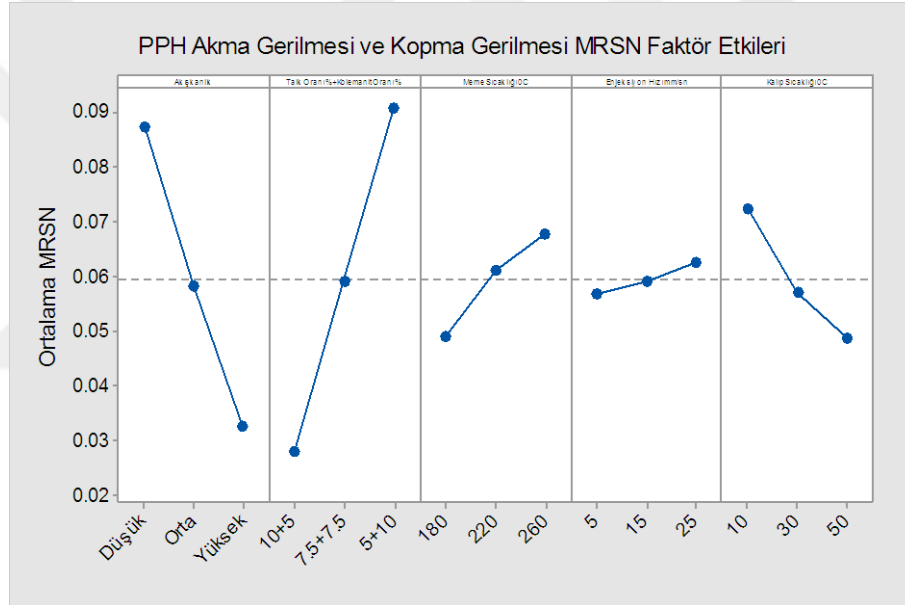
PPH'lerin Elastisite (Young's) Modülü ve Kopma Gerilmesi MRSN Oranlarında Faktörlerin Etkileri						
Faktörler	Akışkanlık Düzeyi	Talk + Kolemanit Oranı %	Meme Sıc, °C	Enjeksiyon Hızı mm/sn	Kalıp Sıc, °C	
Seviye	1	0,1858	0,0977	0,1418	0,2016	0,1958
	2	0,1536	0,1639	0,1731	0,1410	0,1446
	3	0,1341	0,2118	0,1585	0,1308	0,1331
Maks-Min	0,0517	0,1141	0,0313	0,0708	0,0627	
Sıra	4	1	5	2	3	



Şekil E.10. Tüm PPH'lerin Elastisite (Young's) Modülü ve Kopma Gerilmesi MRSN Etki Grafiği

Tablo E.5 . Tüm PPH'lerin Akma Gerilmesi ve Kopma Gerilmesi MRSN Oranlarında Faktörlerin Etkileri

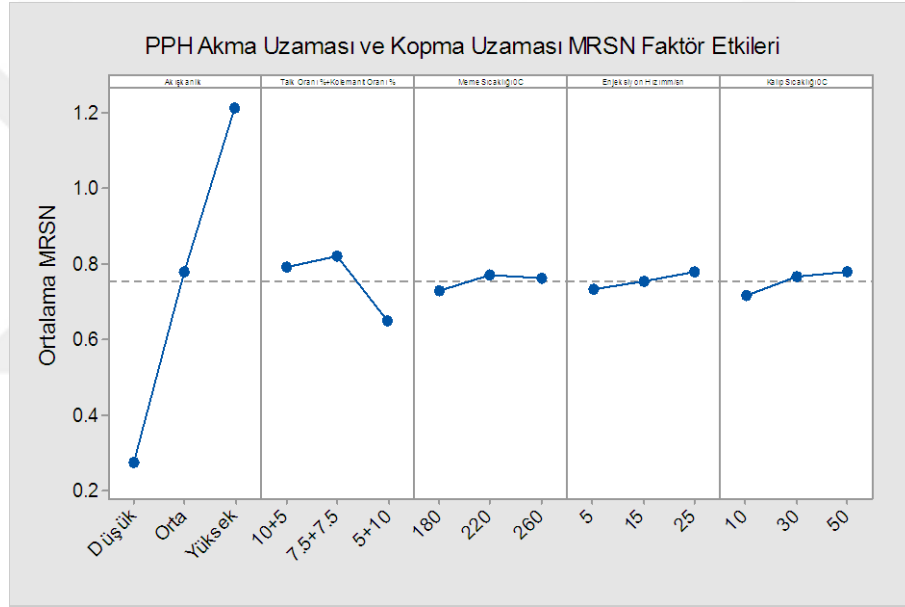
PPH'lerin Akma Gerilmesi ve Kopma Gerilmesi MRSN Oranlarında Faktörlerin Etkileri						
Faktörler	Akışkanlık Düzeyi	Talk + Kolemanit Oranı %	Meme Sıc, °C	Enjeksiyon Hızı mm/sn	Kalıp Sıc, °C	
Seviye	1	0,0872	0,0281	0,0490	0,0566	0,0722
	2	0,0581	0,0591	0,0611	0,0589	0,0570
	3	0,0326	0,0907	0,0678	0,0624	0,0486
Maks-Min	0,0546	0,0627	0,0187	0,0058	0,0236	
Sıra	2	1	4	5	3	



Şekil E.11. Tüm PPH'lerin Akma Gerilmesi ve Kopma Gerilmesi MRSN Etki Grafiği

Tablo E.6. Tüm PPH'lerin Akma Uzaması ve Kopma Uzaması MRSN Oranlarında Faktörlerin Etkileri

PPH'lerin Akma Uzaması ve Kopma Uzaması MRSN Oranlarında Faktörlerin Etkileri						
Faktörler	Akışkanlık Düzeyi	Talk + Kolemanit Oranı %	Meme Sic. °C	Enjeksiyon Hızı mm/sn	Kalıp Sic. °C	
Seviye	1	0,2770	0,7937	0,7305	0,7329	0,7183
	2	0,7797	0,8222	0,7726	0,7566	0,7690
	3	1,2117	0,6526	0,7654	0,7789	0,7812
Maks-Min	0,9347	0,1696	0,0421	0,0461	0,0629	
Sıra	1	2	5	4	3	



Şekil E.12. Tüm PPH'lerin Akma Uzaması ve Kopma Uzaması MRSN Etki Grafiği

EK-F

Tablo F.1. MFR, MVR ve MFI değerleri

Numune	230 °C/2,16 kg			180 °C/2,16 kg			180 °C/3,80 kg			180 °C/5,00 kg			220 0C/2,16 kg			220 0C/3,80 kg			220 0C/5,00 kg		
	MFR	MVR	MFI	MFR	MVR	MFI	MFR	MVR	MFI	MFR	MVR	MFI	MFR	MVR	MFI	MFR	MVR	MFI	MFR	MVR	MFI
DPPHN	3,87	4,30	3,16	1,24	1,38	1,06	0,97	1,08	0,83	5,36	5,96	4,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,37	13,74	10,28
DPPHi	51,68	57,49	42,01	17,32	19,27	14,76	13,93	15,50	11,95	61,64	68,57	53,07	45,29	50,38	77,21	41,33	45,98	29,74	156,37	173,95	107,80
D15T0K	23,28	23,27	19,94	10,63	10,63	9,12	6,39	6,39	5,30	29,95	29,93	25,66	20,50	29,93	16,75	17,47	17,46	14,63	77,37	77,32	64,03
D10T5K	29,26	29,33	21,70	9,49	9,52	8,18	7,41	7,42	6,44	34,88	34,97	30,17	23,25	23,31	19,55	19,38	19,42	16,25	87,45	87,66	73,49
D75T75K	29,83	29,95	24,81	9,82	9,86	8,49	8,10	8,14	7,05	34,53	34,67	29,81	24,37	24,46	36,47	20,62	20,70	19,33	86,89	87,23	73,17
D5T10K	30,85	31,02	25,64	7,77	7,81	6,66	8,28	8,32	6,88	35,27	35,56	30,52	25,39	25,53	21,37	21,06	21,17	17,64	88,34	88,81	74,44
D0T15K	35,52	35,82	29,61	11,77	11,87	10,10	9,23	9,30	8,05	40,39	40,73	35,22	28,66	28,90	23,96	24,77	24,97	20,78	100,95	101,79	84,69
OPPHN	5,76	6,40	4,77	1,83	2,03	1,56	1,48	1,65	1,27	8,56	9,51	7,34	4,84	5,38	3,95	4,07	4,52	3,35	20,21	22,46	16,82
OPPHi	55,34	61,57	53,56	16,91	18,81	14,64	14,73	16,39	10,19	63,98	71,18	80,65	45,98	51,15	23,93	39,72	44,19	31,45	160,55	178,61	143,76
O15T0K	29,30	29,29	24,38	9,12	9,12	7,94	7,77	7,72	6,77	35,46	35,44	30,47	24,31	24,29	20,27	17,56	19,51	16,18	91,90	91,84	77,12
O10T5K	31,86	31,93	26,54	10,02	10,04	8,45	7,96	7,98	6,81	37,05	37,14	31,94	26,58	26,64	22,30	25,38	25,44	17,76	93,54	93,76	78,40
O75T75K	33,98	34,11	28,30	10,44	10,48	8,96	8,52	8,55	7,24	39,04	39,19	33,70	27,73	27,79	23,70	23,01	23,10	19,28	100,93	101,32	84,65
O5T10K	35,93	36,12	29,81	10,95	11,01	9,52	8,94	8,99	7,70	41,24	41,46	50,66	29,30	29,46	24,53	23,57	23,69	21,62	96,14	96,45	79,77
O0T15K	43,02	43,38	35,79	13,60	13,72	11,64	11,63	11,72	10,04	51,49	51,92	44,66	37,13	37,44	31,02	29,51	29,76	24,67	125,89	126,94	104,87
YPPHN	13,19	14,66	10,79	4,30	4,78	3,78	3,54	3,94	3,02	18,15	20,17	15,45	10,99	12,21	9,13	9,33	10,37	7,79	47,15	52,39	39,23
YPPHi	62,29	69,30	49,07	19,22	21,38	16,45	15,50	17,25	12,91	75,99	84,54	65,48	50,85	56,57	45,17	41,45	46,11	32,90	177,06	196,97	129,47
Y15T0K	42,89	42,87	33,73	13,27	13,26	11,32	10,32	10,26	8,67	51,95	51,92	44,63	36,10	36,08	30,09	29,26	29,24	24,22	35,07	35,05	28,62
Y10T5K	43,10	43,21	35,86	14,52	14,56	11,98	11,03	11,05	9,25	53,58	53,71	46,08	35,10	35,18	29,37	32,11	32,19	25,58	134,01	134,33	115,09
Y75T75K	43,76	43,93	36,46	13,68	13,73	11,92	11,08	11,13	9,39	54,91	55,12	46,73	35,43	35,56	29,71	29,17	29,29	24,29	137,34	137,87	49,73
Y5T10K	46,97	47,22	39,09	14,27	14,34	11,98	11,18	11,24	6,94	54,66	54,95	47,38	35,59	35,78	29,74	29,51	29,67	24,71	137,23	137,96	90,02
Y0T15K	52,00	52,43	43,34	16,76	16,90	14,31	13,29	13,40	11,47	58,98	59,48	50,96	45,26	45,64	28,60	36,92	37,23	30,86	150,36	151,62	125,93

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Şahin E.**, Şahin Ş., , Talk Ve Kolemanit Hibrit Katkili Polipropilen Kompozitlerin Çekme Özelliklerinin Taguchi Deney Tasarım Yöntemiyle En İyilenmesi, *1.Uluslararası Hafif Alaşımlar ve Kompozit Malzemeler Sempozyumu*, Karabük, Türkiye, 22-23-24 Mart 2018



ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Elazığ'da doğdu. İlk öğrenimini Samsun ve Bitlis'de, orta ve lise öğrenimini Adana'da tamamladı. 1993 yılında öğrenime başlamış olduğu Kocaeli Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden 1998 yılında Makina Mühendisi olarak mezun oldu. 2014 yılında girmiş olduğu Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde, Makina Mühendisliği Bölümünde öğrencidir.

