



**T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**REÇİNE TRANSFER KALIPLAMA YÖNTEMİ
İLE PARÇA ÜRETİMİNDE STANDART
ÜRETİM SÜRELERİNİN TAHMİN EDİLMESİ**

Recep DOĞRU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Mart-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Recep DOĞRU tarafından hazırlanan “Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi ile Parça Üretiminde Standart Üretim Sürelerinin Tahmin Edilmesi” adlı tez çalışması 07/03/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Nafiz YAŞAR

.....

Danışman

Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ

.....

Üye

Doç. Dr. Rüstem BİNALİ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr.
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Recep DOĞRU

07.03.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

REÇİNE TRANSFER KALIPLAMA YÖNTEMİ İLE PARÇA ÜRETİMİNDE STANDART ÜRETİM SÜRELERİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Recep DOĞRU

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ

2025, 94 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ

Doç. Dr. Nafiz YAŞAR

Doç. Dr. Rüstem BİNALİ

Kapasite ve verimlilik analizlerinin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi ve kabul edilen standartlardan meydana gelen sapmaların tespit edilebilmesi için öncelikle üretim süreçlerine ilişkin standart yöntemlerin ve üretim sürelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Reçine Transfer Kalıplama (Resin Transfer Molding, RTM) yöntemiyle üretim yapan bir üretim istasyonunu ele alarak, üretim sürelerinin tahmin edilebilmesine yönelik matematiksel bir model geliştirilmiştir. Sunulan yöntem, üretim istasyonunun seçimine yönelik kriterleri ve mevcut sürecin analizlerini içermekte olup, modelleme sürecine dair detayları kapsamlı bir şekilde açıklamaktadır. Üretim süresini tahmin etmeye yönelik oluşturulan model, zaman etüdü yöntemi temel alınarak geliştirilmiş ve veri toplama aşamasında video kayıt tekniklerinden faydalanılmıştır. Toplanan görüntüler, video analiz yazılımları aracılığıyla detaylı şekilde incelenmiş ve üretim süreçlerini oluşturan standart faaliyetlerin süreleri belirlenmiştir. RTM tezgahlarında üretilen parçalar için tahmin edilen üretim süreleri, gözlemsel verilerden elde edilen standart süreler ile parça boyutlarının üretim süresi üzerindeki etkilerini değerlendiren istatistiksel yöntemler kullanılarak modellenmiştir. Modelin oluşturulmasının ardından, tahmin edilen üretim sürelerinin doğruluğu test edilerek güvenilirliği değerlendirilmiştir. Bu doğrulama sürecinde, farklı parçaların gerçekleşen üretim süreleri ile model tarafından tahmin edilen üretim süreleri karşılaştırılmış ve tahmin hataları hesaplanarak kontrol grafikleri yardımıyla analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, geliştirilen modelin yüksek doğruluk ve güvenilirlik sunduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Metot Etüdü, Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi, Regresyon Analizi, Tahmin Modeli, Zaman Etüdü

ABSTRACT

MS THESIS

ESTIMATE STANDARD PRODUCTION TIMES IN PART PRODUCTION USING THE RESIN TRANSFER MOLDING METHOD

Recep DOĞRU

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ

2025, 94 Pages

Jury

Advisor Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ

Assoc. Prof. Dr. Nafiz YAŞAR

Assoc. Prof. Dr. Rüstem BİNALİ

For capacity and efficiency analyses to be conducted accurately and to identify deviations from accepted standards, it is essential to first determine the standard methods and production times related to manufacturing processes correctly. In this study, a manufacturing station utilizing the Resin Transfer Molding (RTM) method was examined, and a mathematical model was developed to estimate production times. The proposed method includes criteria for selecting the production station and analyses of the existing process, providing a comprehensive explanation of the modeling procedure. The model developed for estimating production time is based on the time study method, and video recording techniques were utilized during the data collection phase. The recorded footage was analyzed in detail using video analysis software, and the durations of standard activities constituting the production processes were determined. The estimated production times for parts manufactured in RTM machines were modeled using statistical methods that assess the effects of part dimensions on production time, along with standard times obtained from observational data. After constructing the model, the accuracy of the estimated production times was tested and its reliability was evaluated. During this validation process, the actual production times of different parts were compared with the production times predicted by the model, and estimation errors were calculated and analyzed using control charts. The findings obtained demonstrate that the developed model offers high accuracy and reliability.

Keywords: Forecast Model, Method Study, Regression Analysis, Resin Transfer Molding Method, Time Study

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, üretim süreçlerinde standart üretim sürelerinin belirlenmesi ve tahmin edilmesine yönelik bir matematiksel model geliştirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma sürecinde edinilen bilgi ve tecrübelerin, hem akademik hem de endüstriyel uygulamalarda faydalı olacağına inancım tamdır.

Bu süreçte, bana değerli bilgi ve yönlendirmeleriyle rehberlik eden danışmanım Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ' ye en içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamın her aşamasında desteklerini esirgemeyen kıymetli hocalarıma akademik katkıları için minnettarım. Tez sürecimde bana her zaman anlayış gösteren, sabır ve desteğini esirgemeyen sevgili eşime sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca, bilgi ve deneyimlerini paylaşarak bana destek veren değerli meslektaşlarıma da teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın üretim süreçlerinde zaman yönetimi, verimlilik ve standartlaştırma konularına katkı sağlaması amacıyla faydalanılan çeşitli akademik ve dijital kaynaklardan elde edilen bilgiler ışığında araştırmacılar ve sektör profesyonelleri için faydalı olmasını temenni ediyorum.

Recep DOĞRU
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problem Tanımı.....	2
1.2. Motivasyon	3
1.3. Tezin Organizasyonu.....	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. TEORİK ESASLAR.....	7
3.1. Kompozit Malzeme Üretim Teknikleri.....	7
3.1.1. Kompozit üretim yöntemlerinin sınıflandırılması	7
3.1.2. RTM ile diğer kompozit üretim yöntemlerinin karşılaştırılması	9
3.2. RTM Yöntemi	10
3.2.1. RTM yönteminin tarihçesi ve gelişimi.....	10
3.2.2. RTM yönteminin temel prensipleri.....	11
3.2.3. RTM yönteminin endüstrideki kullanım alanları	13
3.3. İş Etüdü Yöntemleri ile Standart Üretim Sürelerinin Belirlenmesi.....	14
3.3.1. Metot etüdü.....	15
3.3.2. Zaman etüdü	16
3.4. Üretim Sürelerinin Tahmin Edilmesinde Kullanılan İstatistiksel ve Analitik Yöntemler	24
3.4.1. Veri ön işleme ve tanımlayıcı istatistiklerin analizi.....	24
3.4.2. Regresyon analizlerinin uygulanması	26
3.4.3. Hipotez testlerinin uygulanması	28
3.4.4. Kontrol grafiklerinin kullanılması	32
3.5. Üretim Sürelerinin Tahmin Edilmesinde Veri Madenciliği Makine Öğrenmesi Algoritmaları.....	35
3.5.1. Makine öğrenmesi algoritmalarının kullanımı	35
3.5.2. Tahminleme sürecinde RapidMiner kullanımı	37
4. MATERYAL ve METOT.....	39
4.1. Standart Üretim Sürelerinin Tahmin Edilme Prosedürü.....	39
4.1.1. Çalışmanın yapılacağı üretim istasyonunun belirlenmesi	39
4.1.2. Belirlenen üretim istasyonunun mevcut durum analizi.....	40

4.1.3. Üretim istasyonundaki standart üretim aktivitelerinin tanımlanması	41
4.1.4. Üretim istasyonunda gözlem yapılması	41
4.1.5. Video kayıtlarının analiz edilip aktivite sürelerinin belirlenmesi.....	42
4.1.6. Standart süre hesaplama modelinin istatistiksel olarak tanımlanması	42
4.1.7. Standart üretim süresi model parametrelerinin tahmin edilmesi	43
4.1.8. Standart üretim süresinin hesaplanması	44
4.1.9. Model doğrulaması kapsamında Shewhart kontrol grafikleri kullanımı.....	45
5. BULGULAR ve DEĞERLENDİRMELER.....	47
5.1. Çalışmanın Yapılacağı Üretim İstasyonunun Belirlenmesi	47
5.2. Belirlenen Üretim İstasyonunun Mevcut Durum Analizi	47
5.3. Üretim İstasyonundaki Standart Üretim Aktivitelerinin Tanımlanması.....	48
5.4. Üretim İstasyonunda Gözlem Yapılması	50
5.5. Video Kayıtların Analiz Edilip Aktivite Sürelerinin Belirlenmesi	51
5.6. Standart Süre Hesaplama Modelinin İstatistiksel Olarak Tanımlanması	51
5.7. Standart Üretim Süresi Model Parametrelerinin Tahmin Edilmesi	53
5.7.1. Minitab ve RapidMiner kullanılarak reçine emdirme süresi tahmininin karşılaştırmalı analizi.....	64
5.8. Üretime Ait Standart Sürenin Hesaplanması	72
5.9. Model Doğrulaması Kapsamında Shewhart Kontrol Grafiği Kullanımı	73
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	78
EKLER	82
ÖZGEÇMİŞ.....	94

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa No
Şekil 3.1.	Reçine transfer kalıplama üretim prosesi	12
Şekil 3.2.	Üretim süreçlerinde iş etüdü teknikleri	15
Şekil 3.3.	X ve Y değişkenleri örnek saçılım grafiği	27
Şekil 3.4.	X ve Y değişkenleri arasındaki örnek doğrusal ilişki	27
Şekil 3.5.	Kontrol grafiği örneği	33
Şekil 5.1.	Tool ısıtma süresi ve hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları a) Model özeti b) Uydurulmuş çizgi fonksiyonu	55
Şekil 5.2.	Reçine emdirme süresi ve hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları a) Model özeti b) Uydurulmuş çizgi fonksiyonu	56
Şekil 5.3.	Reçine doldurma süresi ve hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları a) Model özeti b) Uydurulmuş çizgi fonksiyonu	57
Şekil 5.4.	Reçine hazırlık süresi ve hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları a) Model özeti b) Uydurulmuş çizgi fonksiyonu	58
Şekil 5.5.	Tool soğutma süresi ve hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları a) Model özeti b) Uydurulmuş çizgi fonksiyonu	59
Şekil 5.6.	Reçine emdirme süresi ve hacim arasındaki ilişki (İstatistiksel dağılım analizi)	60
Şekil 5.7.	Tool ısıtma süresi ve hacim arasındaki ilişki (İstatistiksel dağılım analizi)	61
Şekil 5.8.	Tool soğutma süresi ve hacim arasındaki ilişki (İstatistiksel dağılım analizi)	61
Şekil 5.9.	Reçine doldurma süresi ve hacim arasındaki ilişki (İstatistiksel dağılım analizi)	62
Şekil 5.10.	Reçine emdirme süresi ile hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları	66
Şekil 5.11.	RapidMiner ile reçine emdirme süresi tahmin modeli iş akışı	68
Şekil 5.12.	RapidMiner ile test edilen veriler	70

Şekil 5.13.	Reçine emdirme süresi tahmin denkleminin artık kontrol grafiği analizi	71
Şekil 5.14.	Tahmin-gerçekleşme süresi Shewhart kontrol grafiği doğrulaması	73



TABLO LİSTESİ

Tablo No		Sayfa No
Tablo 5.1.	Tool grupları	63
Tablo 5.2	Tool grubu bazında aktivitelere ait saniye cinsinden ortalama birim süreler	63



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	: Kesim noktası
b	: Eğim
μ_w	: Ortalama Değer
σ_w	: Standart Sapma
L	: Merkez Çizgisine Olan Uzaklık
c	: Eşik Değeri
$\hat{y}_i(k)$	: k Parçasının Üretimine Ait Standart Üretim Süresinin Tahmini
$\hat{t}_i$	: Parça Üretimi İçin Yapılan Toplam Yan Faaliyet Süresi Tahmini
$\hat{\kappa}_i(k)$	: Parça Üretiminde Bağımlı Olan Faaliyetlerin Toplam Ana Faaliyet Süresi
x_i	: Üretimi Yapılacak Toplam Parça Adedi
t_i	: Üretim Anındaki Çalışma Temposu
z_j	: Üretim İstasyonu İçin Belirlenen Ek Paylara Ait Katsayı
$\hat{\alpha}_p$	: Yan Faaliyet Süresi
$\hat{s}_l(k)$	: Ana Faaliyet Süresi
m	: Yan Faaliyet Aktivite Adeti
n	: Ana Faaliyet Aktivite Adeti
e	: Artık
$\bar{X}$	: X 'in Aritmetik Ortalaması
$\bar{Y}$	: Y 'nin Aritmetik Ortalaması

Kısaltmalar

ALR	: Ortalama Tespit Uzunluğu
ANOVA	: Varyans Analizi
Bi-GRU	: Kapılı Tekrarlayan Birim (Gated Recurrent Unit)
DOE	: Deney Tasarımı
I-Chart	: Bireysel Değerler Grafiği
LCL	: Alt Kontrol Sınırı
MR-Chart	: Hareket Aralığı Grafiği
PCB	: Baskılı Devre Kartları
PMTS	: Önceden Belirlenmiş Hareket Zamanı Sistemleri

REFA	: Alman Devlet İş Zamanları Belirleme Komisyonu
RTM	: Reçine Transfer Kalıplama (Resin Transfer Molding)
SOS	: Simbiyotik Organizma Arama (Symbiotic Organism Search)
SVM	: Destek Vektör Makineleri
TOOL	: Kalıp
UCL	: Üst Kontrol Sınırı
VARI	: Vakum Destekli Reçine İnfüzyon



1. GİRİŞ

Üretimin türü ne olursa olsun, sürecin etkin şekilde izlenebilmesi için tüm işlemlerin belirli bir düzen içinde uygulanması gerekmektedir. İşletmelerde, çalışanların sahip olması gereken beceriler ile bu becerilere uygun olarak işin hangi yöntemlerle gerçekleştirileceği, standart üretim talimatları ile sistematik bir çerçevede belirlenmektedir. Üretim süreci, belirli bir üretim istasyonundan başlayarak tüm üretim hattı boyunca tanımlanmakta ve analiz edilerek nihai ürünün müşteriye ulaşmasını sağlayan değer akış haritası oluşturulmaktadır. Bu haritalama süreci, üretim hattındaki darboğazların ve sürece katkı sağlamayan faaliyetlerin belirlenmesine olanak tanırken, aynı zamanda geliştirilmesi gereken alanların tespit edilmesini sağlamaktadır. Günümüz rekabet koşullarında işletmelerin sürdürülebilir başarısı, mevcut durumlarını nesnel bir bakış açısıyla analiz edebilmelerine bağlıdır. Bu bağlamda, üretim süreçlerinden elde edilen verilerin uygun metotlarla toplanması ve değerlendirilmesi, işletmenin performansını iyileştirmeye yönelik stratejik kararların alınmasını mümkün kılmaktadır.

Üretim süreçlerinin etkinliği değerlendirildiğinde, farklı açılardan ele alınması gereken çeşitli unsurlar bulunmaktadır. Üretim alanlarının maksimum düzeyde kullanılması, kaynak israfının önüne geçilmesi, üretilen ürünün ilk aşamada istenilen kalite standartlarını karşılaması ve bu süreçte iş gücünün en verimli şekilde kullanılması, bu unsurlar arasında yer almaktadır. Bu faktörlerden biri olan üretim süresinin öngörülen standartlar dâhilinde gerçekleştirilmesi, üretim süreçlerinin temel yapı taşlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, öncelikli olarak üretilen parçaların standart üretim sürelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Standart üretim süresi hesaplanmadan bir üretim istasyonunun verimlilik analizini yapmak, mevcut üretim kapasitesini doğru şekilde belirlemek, darboğazları tespit etmek ve nihayetinde tüm üretim istasyonlarının birleşimiyle oluşan üretim hattını etkin bir şekilde yönetmek mümkün olmayacaktır.

Sanayi üretiminde süreçlerin standartlaştırılması ve üretim sürelerinin belirlenmesi, özellikle seri üretimin yaygınlaşmasıyla birlikte giderek daha fazla önem kazanmıştır. Bu çerçevede, farklı yöntemler geliştirilmiş ve uygulanmış olup, her yöntemin kendine özgü avantajları ve sınırlılıkları bulunmaktadır. İşletmelerin, üretim süreçlerinde hangi *zaman belirleme yöntemlerini* kullanacaklarını titizlikle seçmeleri ve tercih ettikleri yöntemlerin uzun vadeli uygulanabilirliğini garanti altına almaları büyük önem taşımaktadır. Bu araştırmada, üretim süreçlerinde zaman öngörüsüne yönelik çeşitli yaklaşımlar ayrıntılı olarak değerlendirilmiş ve RTM üretim istasyonuna özel tahmin

modelleri tasarlanmıştır. Geliştirilen modellerin doğruluk seviyeleri karşılaştırılarak en güvenilir sonuçları sunan model tespit edilmiş, ayrıca bu modelin verimliliğinin izlenmesi ve sürekli iyileştirme ilkeleri çerçevesinde optimize edilmesini sağlayacak kapsamlı bir strateji ortaya konmuştur.

1.1. Problem Tanımı

Günümüz üretim süreçlerinde standart üretim sürelerinin belirlenmesi, üretim planlaması ve verimliliğin hesaplanması açısından kritik bir öneme sahip olmaktadır. Üretim süreçlerinin giderek daha karmaşık hale gelmesi, özelleştirilmiş üretim modellerinin yaygınlaşması ve veri eksikliklerinin varlığı, tahmin edilen sürelerin güvenilirliğini azaltarak planlama süreçlerinin doğruluğunu olumsuz etkilemektedir. Özellikle ürün çeşitliliğinin yüksek olduğu ve yaşam döngülerinin kısa olduğu üretim ortamlarında, tahmin edilen üretim süreleri ile gerçekleşen üretim süreleri arasında farklılıklar oluşmakta, bu durum üretim planlarının güvenilirliğini ciddi şekilde zayıflatmaktadır.

Üretim süreçlerinin dinamik yapısı, iş gücü deneyimindeki farklılıklar, üretim programlarının karmaşıklığı, ekipman performansındaki dalgalanmalar ve çalışanların beceri düzeylerindeki değişkenlikleri, standart üretim sürelerinin belirlenmesini daha da zorlaştırmaktadır. Bunun yanı sıra, üretim sürecinde meydana gelen beklenmedik değişiklikler, tahmin edilen süreler ile gerçek süreler arasında anlamlı sapmaların oluşmasına neden olmakta ve planlanan üretim hedeflerinin sapmasına yol açmaktadır. Bu tür belirsizlikler, kaynakların etkin kullanımını engellemekte, makinelerin optimal şekilde çalışmasını zorlaştırmakta ve üretim süreçlerinde maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır.

Özellikle havacılık sanayisinde, çeşitli hava araçlarına yönelik bileşenlerin üretimi gerçekleştirilmekte, üretim istasyonlarının yüksek düzeyde değişkenlik içeren üretim süreçlerine sahip olduğu gözlemlenmektedir. Bu çalışma kapsamında konu edilen üretim istasyonunda uçak, helikopter ve insansız hava araçları gibi farklı platformlara yönelik bileşen üretimi gerçekleştirilmektedir. Parçaların boyut ve geometrik özellikleri açısından üretim çeşitliliğinin artmasından kaynaklı standart üretim sürelerinin belirlenmesini daha da zorlaştırmaktadır. İlgili üretim istasyonu, çalışılan projeler bakımından sürekli olarak yeni parça ihtiyaçlarının olduğu ve binlerce farklı parçaya ait üretimin yapıldığı bir istasyon olmasından dolayı, geniş bir ürün yelpazesine sahip olan

bu tarz üretim istasyonları için minimum maliyetle ve yüksek doğruluk oranıyla standart üretim sürelerini tahmin edebilecek ve sürdürülebilir bir tahmin modeli geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

1.2. Motivasyon

Belirtilen problem çerçevesinde, üretim yapılacak istasyonda çalışılan parçaların öngörülen üretim sürelerinin hesaplanması ve bu sürelerle ait devamlılığın sağlanması karmaşık bir süreçtir. Üretimde parça çeşitliliğinin yüksek olması ve her yeni parça için gözlem sürecinin tekrar edilme zorunluluğu, her bir parçaya yönelik bireysel gözlem yapılmasını pratik açıdan mümkün kılmamaktadır. Bu durum, alternatif yöntemlerin kullanılarak standart üretim sürelerinin tahmin edilmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda standart üretim sürelerinin tahmini kapsamında yüksek doğruluk sağlayacak tahmin modeli geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Öncelikli olarak yapılacak çalışmada, üretim süresinin tahmin edilmesine yönelik olarak geleneksel yöntemler ele alınacak ve istatistiksel analiz teknikleri kullanılarak alternatif bir yaklaşım oluşturulacaktır. Üretim sürelerinin düşük maliyetle ve yüksek doğrulukla hesaplanabilmesi için ilgili istasyonda üretilen parçaların standart üretim süresine ait hesaplamalar iki farklı uygulama ile test edilecek, gerçekleştirilen istatistiksel değerlendirmeler sonucunda en verimli yöntem belirlenip elde edilen bulgular sunulacaktır.

Üretim sürelerinin hassas bir şekilde belirlenmesi, üretim istasyonlarının kapasite yönetimini optimize etmeye, operasyonel hedeflerin daha sağlıklı belirlenmesine, üretim süreçlerinin etkin planlanmasına ve verimlilik analizlerinin kapsamlı şekilde yürütülmesine olanak tanıyacaktır. Böylece, süreç içindeki gereksiz zaman kayıplarının tespit edileceği, iyileştirme gerektiren alanların görünür hale getirileceği ve hedeflerin daha doğru verilebilmesine olanak sağlayacak standart üretim süresi tahmin modeli oluşturulacaktır.

Bunun yanı sıra, üretim süresi tahmin süreçlerinde istatistiksel analiz tekniklerinin kullanılması sayesinde sadece çalışması yapılan üretim alanı değil farklı üretim faaliyetleri geliştirilen üretim alanlarında da uygulanabilecek güvenilir bir tahmin modeli geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

1.3. Tezin Organizasyonu

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, standart üretim süresi tahminine yönelik literatürde gerçekleştirilen araştırmalar incelenerek ilgili akademik çalışmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, RTM üretim yönteminin içeriği ve standart üretim sürelerinin tahmini konusuna dair temel bilgiler sunulmuş, çalışmanın dayandığı süreçler teorik esaslar ile detaylandırılmıştır. Dördüncü bölümde, parça üretimi bağlamında standart üretim süresi tahmini için önerilen prosedüre ait yöntem tanıtılarak kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Beşinci bölümde, RTM üretim istasyonunda uygulanan standart üretim süresi tahmin prosedürüne yönelik gerçekleştirilen deneysel yöntemlerin bulunduğu çalışmalar ve elde edilen analizlere ait sonuçlara yer verilmiştir. Son bölümde ise yapılan analizler ve ulaşılan bulgular değerlendirilerek genel bir yorumlama yapılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

RTM yöntemi, karmaşık geometriye sahip kompozit parçaların üretiminde etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Parça üretiminde standart üretim sürelerinin tahmini, zaman yönetimi, maliyet analizi ve iş akışlarının optimizasyonu için kritik bir rol oynar. Aşağıda, bu konuda yapılan çalışmalar detaylı olarak incelenmektedir.

Blundell ve Bond (2000), üretim fonksiyonlarının tahmininde kullanılan GMM (Genel Momentler Yöntemi) tabanlı modellerin etkinliğini incelemiştir. Çalışma, süreçlerde verimliliği artırmak amacıyla GMM modellerinin panel veri üzerindeki performansını değerlendirmiştir. Özellikle üretim süreçlerindeki zaman tahmininde, başlangıç koşullarını modelleyen ek parametrelerin doğruluğu artırdığı gözlemlenmiştir.

Choi ve Ip (1999), robotik montaj süreçlerinin manuel montaj süreçlerine göre nasıl optimize edilebileceğini araştırmıştır. Robotik döngü sürelerini tahmin etmek için manuel montaj verilerinden faydalanmıştır. Bu yöntem, robotik süreçlerin standart sürelerini optimize ederken hata oranlarını azaltmıştır.

Veldsman ve Basson (1999), kalıpların üretim sürelerinin belirlenmesi üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Çalışma, kalıp tasarımında maliyet ve üretim süresi parametrelerinin nasıl optimize edilebileceğini göstermiştir. Üretim süreçlerinin maliyet etkinliğini artırmak için kalıp tasarımı ile ilgili kritik kararlar incelenmiştir. Bu model, tasarım sürecinin üretim süresi tahmini üzerindeki etkisini optimize etmiştir.

Schmachtenberg ve ark. (2005), ultrasonik sensörleri kullanarak üretim sırasında oluşabilecek hataların minimuma indirilebileceğini göstermiştir. Sensörler, üretim süresinin yanı sıra reçine akışındaki dalgalanmaların gerçek zamanlı olarak izlenmesine olanak sağlamıştır. Bu, üretim sürecindeki belirsizliklerin azalmasına ve standart üretim sürelerinin daha doğru bir şekilde tahmin edilmesine katkı sağlamıştır. Araştırmacılar, ultrasonik teknolojinin süreç kontrolü ve optimizasyonunda yeni standartlar getirdiğini ifade etmiştir.

Herrmann ve Fastert (2008), Airbus üretim hatları için otomasyon süreçlerini incelemiştir. Çalışma, otomasyon sistemlerinin üretim süreçlerindeki süreleri optimize ettiğini ve süreçteki insan müdahalesini azalttığını göstermiştir. Simülasyon teknikleri, otomasyon süreçlerinin doğruluğunu artırarak üretim sürelerini tahmin etmede güçlü bir araç olarak kullanılmıştır.

Eraslan (2009), standart sürelerin tahmini için yapay sinir ağı (ANN) tabanlı bir model geliştirmiştir. Bu yaklaşım, özellikle üretim sürecinde veri eksikliği olan işletmeler için büyük avantaj sağlamıştır. ANN algoritmaları, standart sürelerin yüksek doğrulukla tahmin edilmesine olanak tanımış ve bu süreçlerin genel verimliliğini artırmıştır. Çalışma, üretim süreçlerinde yapay zeka tabanlı yaklaşımların önemini vurgulamaktadır.

Atalaya ve Eraslan (2015), üretim süreçlerinde standart sürelerin tahmini için hibrit bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritma, bulanık doğrusal regresyon ve ikinci dereceden programlama yöntemlerini birleştirerek daha hassas tahminler sunmuştur. Araştırma, döküm sektöründe geniş çapta uygulanmış ve standart süre tahmininde yüksek doğruluk oranı elde edilmiştir. Özellikle karmaşık üretim süreçlerinde bu tür hibrit yaklaşımların, süre tahmin modellerinin performansını önemli ölçüde artırdığı belirtilmiştir.

Ringsquandl ve ark. (2015), üretim süreçlerinde bağlamsal veri analizine dayalı bir tahmin modeli geliştirmiştir. Çalışma, ürün türü, malzeme kalitesi ve çevresel faktörler gibi değişkenleri dikkate alarak tahmin doğruluğunu artırmayı hedeflemiştir. Bu yöntem, süreçteki darboğazları belirleme yeteneği de sunmuştur. Araştırma, bağlamsal verilerin üretim süreleri üzerindeki etkisini anlamada önemli bir kaynak sunmaktadır.

Żywicki ve Osinski (2019), kişiselleştirilmiş ürünlerin üretim sürelerini tahmin etmek için bilgi tabanlı tahmin ve öngörü analitiği yöntemlerini karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlar, bilgi tabanlı tahmin yöntemlerinin diğer yöntemlere göre daha yüksek bir doğruluk sağladığını göstermiştir. Bu yöntem, özellikle üretim süreçlerinde yüksek hassasiyetli tahminler için güçlü bir araç olarak sunulmuştur.

Urban ve ark. (2024), küçük ve orta ölçekli işletmelerde üretim sürelerinin tahmini için makine öğrenmesi modelleri geliştirmiştir. Çalışma, sınırlı veri setleriyle çalışan işletmelerde üretim sürelerinin tahmini için kategorik modelleme ve veri madenciliği tekniklerini birleştirmiştir. Üretim süreçlerinde bu yöntemlerin uygulanması, üretim döngü sürelerini optimize etmek ve hata oranlarını azaltmak için önemli sonuçlar sunmuştur.

3. TEORİK ESASLAR

3.1. Kompozit Malzeme Üretim Teknikleri

Kompozit malzeme üretim teknikleri günümüzde havacılık, otomotiv ve inşaat gibi sektörlerde hafiflik ve dayanıklılık gereksinimlerini karşılamak amacıyla giderek daha yaygın hale gelmiştir. Bu malzemelerin üretimi sırasında kullanılan yöntemler, teknik ve ekonomik açıdan önemli farklılıklar gösterirken, aynı zamanda üretim süreçlerinin verimliliğini artırmayı hedeflemektedir. Özellikle filament sarımı, RTM ve otomatik fiber yerleştirme gibi geleneksel yöntemler, düşük maliyetle yüksek performanslı ürünler üretmek için sıklıkla tercih edilmektedir.

Kompozit malzeme üretim teknikleri, hem geleneksel hem de modern yöntemlerin entegrasyonu sayesinde geniş bir uygulama alanına sahip olmuştur. Bu süreçte, yeni nesil teknolojilerin kullanımı, yalnızca üretim süreçlerinin verimliliğini artırmakla kalmamakta, aynı zamanda çevre dostu ve ekonomik çözümler sunmaktadır. Bu nedenle kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan tekniklerin sürekli olarak geliştirilmesi, gelecekteki endüstriyel gereksinimlere yanıt verebilmek açısından kritik bir öneme sahiptir.

3.1.1. Kompozit üretim yöntemlerinin sınıflandırılması

Kompozit üretim yöntemlerinin sınıflandırılması, malzemelerin matris tipi, üretim süreci ve uygulama alanına göre belirli kategorilere ayrılmaktadır. Bu yöntemlerin sınıflandırılması, hem üretim verimliliğini artırmak hem de farklı sektörlerin ihtiyaçlarına uygun çözümler sunmak amacıyla kritik bir öneme sahiptir. Metal matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılan yöntemler arasında sıvı fazlı teknikler, katı fazlı teknikler ve gaz fazlı teknikler yer almakta olup, bu yöntemler üretim sırasında kullanılan matris malzemesinin sıcaklığına göre sınıflandırılmaktadır. Örneğin, sıvı fazda basınçlı infiltrasyon ve sıvı döküm gibi yöntemler öne çıkarken, katı fazda toz metalurjisi ve mekanik alaşımlama yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır.

Termoplastik matrisli kompozitler için el yatırması, filament sarımı, vakum infüzyon ve sıkıştırma kalıplama gibi yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknikler, özellikle hafiflik ve mekanik dayanıklılık gereksinimlerinin karşılanmasında kritik bir rol oynamakta ve otomotiv ile havacılık gibi sektörlerde yoğun olarak tercih

edilmektedir. Bunun yanı sıra, katkı maddesi üretim yöntemleri (additive manufacturing), fiber takviyeli kompozitlerin karmaşık geometrilerde ve minimum malzeme kaybıyla üretilmesine olanak tanımaktadır. Bu yöntemler, 3D baskı teknolojisiyle birleştirilerek tasarım esnekliğini artırmakta ve özellikle özel üretim gereksinimlerine yönelik çözümler sunmaktadır (Parandoush & Lin, 2017).

Otomatik fiber yerleştirme ve otomatik bant döşeme gibi yüksek otomasyonlu üretim teknikleri, büyük ölçekli kompozit yapıların hızlı ve maliyet etkin bir şekilde üretilmesini sağlamaktadır. Özellikle havacılık sektöründe, bu yöntemlerin uygulanmasıyla daha hafif ve dayanıklı yapıların üretimi mümkün hale gelmektedir. Bununla birlikte, kompozit malzemelerin sınıflandırılması sırasında matris malzemesi türü de önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Termoplastik matrisli kompozitler geri dönüşüm kolaylığı sunarken, termoset matrisler yüksek sıcaklık dayanımı ile dikkat çekmektedir.

Doğal liflerle üretilen biyokompozitler ise çevre dostu bir alternatif olarak inşaat ve otomotiv sektörlerinde kullanım alanı bulmaktadır. Bu malzemeler, düşük maliyet ve toksisite avantajları sunarak çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir (Kesarwani ve ark., 2015). Ayrıca, manyetik yönlendirmeli kalıplama gibi yeni nesil teknolojiler, biyolojik olarak ilham alınmış heterojen kompozitlerin karmaşık mikro yapılarla üretilmesine olanak tanımaktadır. Bu yöntem, malzeme özelliklerinin yerel olarak optimize edilmesini sağlayarak, daha dayanıklı ve hafif yapıların üretilmesine imkan tanımaktadır (Le Ferrand ve ark., 2015).

RTM gibi yöntemler ise, düşük enerji tüketimi ve yüksek üretim hızı gibi avantajlarıyla dikkat çekmekte ve özellikle mühendislik uygulamalarında tercih edilmektedir. Bu yöntemde, sıvı reçinenin liflerle birleşerek yüksek mukavemetli ürünler oluşturması sağlanmaktadır (Jiang ve ark., 2001). Ayrıca, metal matrisli kompozitlerin üretiminde sıvı metal alaşımlarının seramik yapılarla birleştirilmesi gibi yöntemler de elektronik ve havacılık sektörlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kompozit üretim yöntemlerinin sınıflandırılması ve geliştirilmesi, hem geleneksel hem de modern tekniklerin bir arada kullanıldığı kapsamlı bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu süreçte, yeni teknolojilerin entegrasyonu, üretim verimliliğini artırırken, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir.

3.1.2. RTM ile diğer kompozit üretim yöntemlerinin karşılaştırılması

RTM yöntemi, kompozit malzeme üretiminde özellikle karmaşık şekillere sahip ve yüksek mukavemet gerektiren parçaların üretiminde tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemin sunduğu düşük maliyetli ve otomasyona uygun üretim avantajları, otomotiv ve havacılık sektörlerinde geniş bir uygulama alanı bulmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, RTM'nin reçine akışı sırasında karşılaşılan zorluklar ve yüksek başlangıç maliyetleri, yöntemin kullanımını bazı uygulamalarda sınırlandırmaktadır.

RTM, hand lay-up yöntemiyle karşılaştırıldığında daha iyi yüzey kalitesi ve malzeme israfını azaltma gibi avantajlar sunsa da, hand lay-up yöntemi daha düşük başlangıç maliyetleri nedeniyle küçük ölçekli projelerde hala kullanılmaktadır. Bununla birlikte, hand lay-up yönteminin yavaş üretim süresi ve düşük tekrarlanabilirlik gibi dezavantajları, RTM'nin daha karmaşık ve yüksek hassasiyet gerektiren projelerde tercih edilmesine neden olmaktadır (Cairns & Shramstad, 2000).

Vakum destekli reçine infüzyon (VARI) yöntemi ile karşılaştırıldığında RTM, daha iyi yüzey kalitesi, sıcaklık dayanımı ve karmaşık geometrilerin üretiminde üstünlük sağlamaktadır. Ancak VARI yöntemi, düşük maliyet ve işlem kolaylığı açısından avantajlıdır (Agwa ve ark., 2022). Bu iki yöntemin özelliklerinin birleştirilmesiyle, hem RTM'nin mekanik performansı hem de VARI'nin maliyet etkinliği sağlanabilir.

Pultrüzyon yöntemi, sürekli ve uzun profil üretiminde düşük maliyet avantajı sağlarken, RTM daha karmaşık geometriler ve çok yönlü tasarım gereksinimleri için tercih edilmektedir. Pultrüzyonun sınırlı geometrik esnekliği, RTM'nin daha çeşitli uygulama alanlarında kullanılmasına olanak tanımaktadır.

RTM'nin havacılık ve otomotiv sektörlerinde yaygın kullanımının diğer nedeni, yüksek tekrarlanabilirlik ve karmaşık 3D şekillerin üretiminde sunduğu avantajlardır. Yine de yüksek kalıp ve reçine maliyetleri, yöntemin bazı uygulamalarda dezavantajlı olmasına neden olabilir (Brocks ve ark., 2013).

Ayrıca RTM'nin dezavantajlarından biri, üretim sırasında boşluk oluşumudur. Bu sorun, enjeksiyon parametrelerinin optimize edilmesiyle azaltılabilir. Boşluk oluşumunun kontrol edilmesi, ürün kalitesini artırırken üretim süresini kısaltmaktadır. Ultrasonik sensörler ve simülasyon araçlarının entegrasyonu, RTM süreçlerinde bu tür sorunların çözümünde önemli bir rol oynamaktadır.

Genel olarak RTM yöntemi, sunduğu avantajlar ve dezavantajlarıyla, kompozit üretiminde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Yöntemin seçimi, projenin

gereksinimlerine, bütçesine ve beklenen sonuçlarına bağlı olarak yapılmalı ve her bir yöntemin avantajları süreç planlamasında dikkate alınmalıdır. Bu tür bir değerlendirme, üretim süreçlerinin daha verimli ve maliyet etkin olmasını sağlayabilir.

3.2. RTM Yöntemi

3.2.1. RTM yönteminin tarihçesi ve gelişimi

RTM kompozit malzeme üretiminde kullanılan en etkili yöntemlerden biri olarak, ilk kez 1950'lerde geliştirilmiştir. Bu dönem, özellikle havacılık sektöründe hafif ve dayanıklı malzeme ihtiyacının artmasıyla şekillenmiştir. İlk RTM uygulamaları, havacılıkta kullanılan temel bileşenlerin üretimi için tasarlanmış ve düşük maliyetli bir alternatif olarak sunulmuştur (Potter, 1999).

Başlangıçta manuel olarak uygulanan bu yöntem, 1980'lerde kapalı kalıp sistemlerinin gelişmesiyle daha yaygın hale gelmiştir. Özellikle otomasyon teknolojilerinin eklenmesiyle RTM, hem üretim hızını artırmış hem de kalite standartlarını yükseltmiştir. Bu süreçte, enjeksiyon sistemlerinin kontrol edilebilirliği önemli bir adım olmuş ve malzeme homojenliğini sağlamak amacıyla ultrasonik sensörlerin dahil edilmesiyle büyük bir evrim geçirmiştir.

RTM'nin kullanım alanları 1990'lardan itibaren genişlemiş, otomotiv ve rüzgar enerjisi sektörleri gibi daha geniş çaplı uygulamalara yayılmıştır. Bu dönemde, simülasyon teknolojileri, RTM yönteminin daha hassas bir şekilde kontrol edilmesine olanak sağlamış ve özellikle reçine akış hızının optimize edilmesi mümkün olmuştur (Ruiz ve ark., 2010). Bu teknolojik ilerlemeler, üretim sürecinin hızlandırılmasına ve maliyetlerin azaltılmasına katkı sağlamıştır.

Gelişimin bir diğer önemli yönü, RTM'nin karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) üretiminde kullanılmaya başlanmasıdır. Bu gelişme, havacılık ve otomotiv gibi yüksek performans gerektiren sektörlerde RTM'nin önemini artırmıştır. UV ışığı ile hızlandırılmış kürleme gibi yenilikçi yöntemlerin eklenmesi, üretim hızını ve mekanik özellikleri önemli ölçüde geliştirmiştir (Mizuno ve ark., 2007).

2000'li yıllarda, RTM süreçlerinin otomasyonu ve izlenebilirliği, yöntemin daha geniş çaplı üretimlerde kullanılmasını mümkün kılmıştır. Özellikle, robotik enjeksiyon sistemleri ve veri odaklı kontrol mekanizmaları sayesinde kalite standartları artarken, üretim süreleri önemli ölçüde azalmıştır (Herrmann & Fastert, 2008).

RTM yöntemi, aynı zamanda düşük çevresel etki hedefleyen projelerde önemli bir rol üstlenmiştir. Doğal lifler ve biyopolimerlerin kullanımı, RTM'yi çevre dostu bir üretim yöntemi haline getirmiştir. Bu yaklaşım, yöntemle üretilen ürünlerin hem çevresel sürdürülebilirliğini artırmış hem de ekonomik avantaj sağlamıştır.

RTM'nin bugünkü gelişimi, yöntem üzerindeki akademik çalışmalar ve sanayi uygulamalarıyla paralel ilerlemektedir. Özellikle istatistiksel modelleme ve simülasyon araçları, reçine akışında oluşan değişkenlikleri minimize etmeye yardımcı olarak kaliteyi artırmıştır. Bunun yanı sıra, robotik sistemlerin entegrasyonu ile otomasyonun kapsamı genişlemiştir (Sozer ve ark., 2012). Böylece, RTM'nin gelecekte seri üretim için daha da uygun hale geleceği öngörülmektedir.

RTM yöntemi, yüksek kalite ve düşük maliyet hedefleri doğrultusunda sürekli gelişim göstermekte ve modern mühendislik uygulamalarında kritik bir rol oynamaktadır.

3.2.2. RTM yönteminin temel prensipleri

RTM yöntemi, kompozit malzeme üretiminde kullanılan ve kapalı kalıp sistemi ile düşük viskoziteli reçinenin lif takviyeli preformlara enjekte edilmesini temel alan bir yöntemdir. Bu yöntem, karmaşık şekillere sahip yüksek mukavemetli parçaların üretiminde, özellikle havacılık ve otomotiv gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Ruiz ve ark., 2010). RTM'nin başarısı, reçine akışının doğru şekilde yönlendirilmesi ve liflerin homojen şekilde ıslanması gibi önemli prensiplere dayanır.

RTM sürecinin başlangıcında, preform adı verilen lif matrisleri, kalıp içine yerleştirilir ve bu yapıların geçirgenliği (permeability) reçinenin akışını ve kalıbın tamamen doldurulma süresini belirler. Liflerin yoğunluğu ve yerleşim düzeni, akış davranışını doğrudan etkiler. Örneğin, düşük geçirgenlik bölgelerinde reçine akışı yavaşlayabilir, bu da malzeme homojenliğini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, lif düzeninin optimize edilmesi RTM'nin temel bir gerekliliğidir.

Darcy Yasası, RTM sürecindeki reçine akışını anlamak için kullanılan temel bir fiziksel modeldir. Bu yasa, gözenekli ortamda hareket eden bir sıvının akış hızının, uygulanan basınç ve malzeme geçirgenliği ile orantılı olduğunu ifade eder. Bu prensip, kalıp tasarımında ve reçine enjeksiyon basıncının ayarlanmasında kritik bir rol oynar.

Kalıp doldurma süreci sırasında, enjeksiyon basıncı ve sıcaklık gibi parametreler reçinenin akış hızını kontrol eder. Reçinenin düşük viskoziteli olması, liflerin içine daha kolay nüfuz etmesini sağlar. Ancak, çok yüksek sıcaklıklar reçinenin erken sertleşmesine

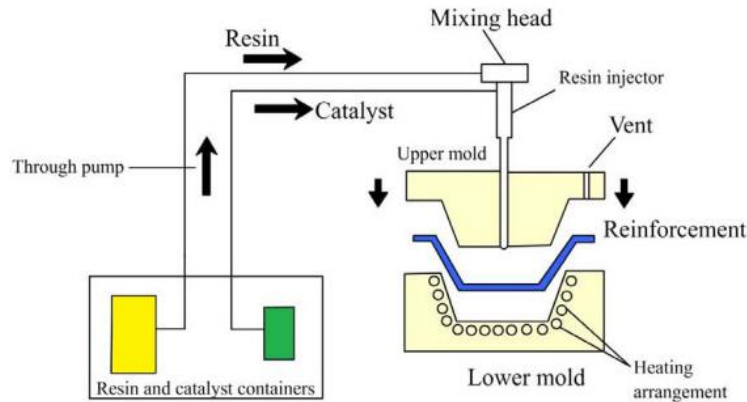
neden olarak kalıp içinde kuru bölgeler (dry spots) oluşmasına yol açabilir (Schmachtenberg ve ark., 2005). Bu nedenle, sıcaklık ve basınç optimizasyonu, RTM sürecinde dengeli bir şekilde sağlanmalıdır.

Reçinenin kürleme (sertleşme) işlemi, RTM'nin bir diğer temel prensibini oluşturur. Reçine, lif matrislerini bağlamak ve malzemenin mekanik özelliklerini artırmak için kimyasal bir reaksiyondan geçer. Kürleme işlemi sırasında oluşan ısı değişimlikler, malzemenin nihai performansını etkiler. Bu süreçte kullanılan termal izleme ve sensör teknolojileri, kürleme işleminin doğru şekilde yönetilmesine yardımcı olur.

RTM sürecinde kalıp tasarımı, hem reçinenin akışını yönlendirmek hem de havalandırma kanallarını optimize etmek açısından kritik öneme sahiptir. Kalıpta kullanılan enjeksiyon ve havalandırma noktalarının doğru şekilde yerleştirilmesi, kalıp doldurma süresini kısaltır ve reçinenin homojen bir şekilde dağılmasını sağlar. Bu adımlar, aynı zamanda üretim maliyetlerini azaltarak verimliliği artırır.

Otomasyon teknolojileri, RTM'nin bir diğer önemli prensibini oluşturmaktadır. Reçinenin akışını izlemek ve süreç boyunca oluşabilecek hataları önlemek için ultrasonik sensörler gibi izleme sistemleri kullanılır (Ruiz ve ark., 2010). Bu sistemler, sürecin gerçek zamanlı olarak kontrol edilmesini sağlayarak hem kaliteyi artırır hem de üretim hızını optimize eder.

Simülasyon araçları, RTM'nin teorik ve pratik uygulamalarını birleştiren kritik bir teknoloji olarak öne çıkar. Bu araçlar, reçine akışını ve kalıp doldurma sürecini önceden tahmin ederek deneme yanılma yöntemlerini minimize eder (Zhao, 2018). Böylece, üretim süreci daha öngörülebilir ve ekonomik hale gelir. RTM üretim prosesi Şekil 3.1'de yer almaktadır.



Şekil 3.1. Reçine transfer kalıplama üretim prosesi

3.2.3. RTM yönteminin endüstrideki kullanım alanları

RTM, kapalı kalıp içinde sıvı reçine enjeksiyonu ile lif takviyeli kompozit malzemelerin üretildiği bir yöntem olarak, endüstride geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu yöntem, özellikle havacılık sektöründe hafif ve dayanıklı yapıların üretiminde kritik bir rol oynar. Örneğin, uçak gövdeleri, kanat panelleri ve iç kabin parçaları gibi bileşenler RTM ile üretilirken, yöntemin sağladığı yüksek mukavemet ve düşük ağırlık avantajı dikkat çeker (Potter, 1999).

Otomotiv sektöründe ise RTM, hem araç ağırlığını azaltma hem de yakıt tüketimini düşürme amacıyla kullanılan önemli bir üretim teknolojisidir. Karbon fiber takviyeli kompozit paneller, çarpışma koruma sistemleri ve şasi bileşenleri gibi parçaların üretiminde yöntem, seri üretim için uygun maliyetli bir çözüm sunar. Aynı zamanda, üretim hızını artıran otomasyon sistemlerinin entegrasyonu, bu yöntemi daha da cazip hale getirmektedir.

RTM'nin enerji sektöründeki kullanımı, özellikle rüzgar türbini kanatlarının üretiminde dikkat çekmektedir. Büyük ve karmaşık yapıların ekonomik bir şekilde üretilmesine olanak tanıyan bu yöntem, malzeme dayanıklılığı ve çevresel sürdürülebilirlik açısından avantajlar sunar.

Savunma sanayinde de RTM, hafif zırh panelleri, gövde koruma sistemleri ve askeri araçlar gibi uygulamalarda kullanılır. Bu sektörde, yöntemin sağladığı hassasiyet ve yüksek mekanik dayanım, zorlu koşullarda performansı artırır. Ayrıca, RTM ile üretilen parçalar, düşük ağırlıkları sayesinde operasyonel verimliliği artırır.

Denizcilik sektöründe, RTM teknolojisi, dayanıklı ve su geçirmez kompozit yapıların üretimi için önemli bir araçtır. Hafif ve sağlam gövde panelleri ile pervane bileşenlerinin üretiminde kullanılan bu yöntem, özellikle korozyona dayanıklılık gerektiren uygulamalarda ön plana çıkar.

RTM ayrıca inşaat sektöründe de prefabrik yapı elemanlarının üretiminde tercih edilmektedir. Köprü kirişleri, cephe panelleri ve diğer hafif yapı elemanları, yöntemin sağladığı üretim esnekliği ve dayanıklılık sayesinde verimli bir şekilde üretilir. Bu yapı elemanları, malzeme israfını azaltarak çevresel sürdürülebilirliği destekler.

RTM'nin medikal sektöründeki uygulamaları arasında, protezler ve biyouyumlu cihazlar gibi hassas üretim gerektiren parçaların üretimi yer alır. Bu uygulamalarda, yöntemin hassas kalıp doldurma kabiliyeti, üstün ürün kalitesini garanti eder (Sadayan ve ark., 2006).

3.3. İş Etüdü Yöntemleri ile Standart Üretim Sürelerinin Belirlenmesi

İş etüdü, bir işletmenin süreçlerini sistematik bir şekilde analiz ederek verimliliği artırmayı, kaynakların etkin kullanımını sağlamayı ve performans standartlarını belirlemeyi amaçlayan bir bilimsel yöntemdir. Bu yöntem, iş süreçlerini hem mikro hem de makro düzeyde inceleyerek çalışanların, ekipmanların ve malzemelerin en verimli şekilde nasıl kullanılabileceğini ortaya koyar. İş etüdü, özellikle zaman ve hareket etüdü gibi iki temel bileşeni içerir. Bunlar belirli bir işi gerçekleştirmenin en etkili yollarını tanımlamak ve o işin tamamlanması için gereken süreyi ölçmek için kullanılır.

Tarihsel olarak, iş etüdü ilk kez 20. yüzyılın başlarında, Frederick Taylor ve Frank & Lillian Gilbreth gibi öncüler tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmalar, zaman yönetimi ve hareket ekonomisi kavramlarının işletme yönetimine entegrasyonunu sağlamış ve verimlilik yönetimi için temel oluşturmuştur. İş etüdü teknikleri, bu dönemde yalnızca üretim süreçlerinde değil, aynı zamanda hizmet sektöründe de etkili bir şekilde uygulanmıştır.

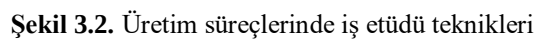
Günümüzde iş etüdü, metot etüdü ve zaman etüdü olarak iki ana dalda incelenmektedir. Bu süreçte, her iki yaklaşım da süreçlerin yeniden tasarlanmasında ve iş akışlarının iyileştirilmesinde önemli bir rol oynar.

İş etüdü uygulamalarının en önemli hedeflerinden biri, işletmelerin maliyetlerini düşürmek ve süreçlerdeki darboğazları ortadan kaldırmaktır. Özellikle üretim süreçlerinde, iş etüdü kullanımı, daha az kaynakla daha fazla çıktı elde edilmesini sağlar. Bu süreçte kullanılan zaman etüdü teknikleri, süreç sürelerini optimize ederek iş akışlarını düzenler.

İş etüdünün bir diğer önemli yönü, insan ilişkilerini dikkate almasıdır. Çalışanların iş süreçlerindeki rollerini optimize etmek ve onların yeteneklerini en iyi şekilde kullanmak, iş etüdünün başarılı bir şekilde uygulanmasında kritik bir faktördür. Bu bağlamda, iş etüdü yalnızca süreçleri iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda çalışanların iş tatminini artırarak örgütsel performansa katkıda bulunur.

Modern iş etüdü uygulamaları, dijital araçlar ve veri analitiği ile desteklenmektedir. Simülasyon, süreç haritalama ve dijital ikiz teknolojileri gibi yöntemler, iş süreçlerinin daha ayrıntılı bir şekilde analiz edilmesine ve bu süreçlerdeki iyileştirme alanlarının belirlenmesine olanak tanır. Örneğin, dijital süreç simülasyonları, süreçlerin gerçek zamanlı analizini sağlayarak karar verme süreçlerini destekler.

İş etüdü, iş süreçlerini iyileştirmenin ötesine geçerek, hem çalışan memnuniyetini artırır hem de işletme kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlar. Üretimden hizmet sektörüne, sağlık hizmetlerinden devlet kurumlarına kadar geniş bir uygulama alanına sahip olan bu yöntem, işletme yönetiminin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Üretim süreçlerinde kullanılan iş etüdü teknikleri, Şekil 3.2'de görsel olarak detaylandırılmıştır.



Metot etüdü, iş etüdünün temel bileşenlerinden biri olup, iş süreçlerini sistematik olarak analiz ederek daha verimli ve etkin yöntemler geliştirmeyi hedefler. Bu yaklaşım, işin mevcut yapılış biçimini kaydetme ve inceleme sürecini kapsar. Daha sonra, gereksiz hareketler ve zaman kaybına neden olan unsurlar belirlenerek, bu eksikliklerin giderilmesine yönelik alternatif yöntemler önerilir. Bu sayede iş süreçleri basitleştirilir, maliyetler düşürülür ve verimlilik artırılır.

15

sonucunda, iş akışındaki aksaklıkları gidermek için düzenlemeler yapılır (Howkins, 1968). Ayrıca, metot etüdü sadece üretim süreçlerine değil, hizmet sektöründe ve ofis ortamlarında da uygulanabilir. Bu geniş kullanım alanı, yöntemin işletmelerin tüm birimlerinde sağladığı faydaları ortaya koyar (Howkins, 1968).

Metot etüdünün uygulanmasında, iş süreçlerini kaydetme ve analiz etme adımları büyük önem taşır. Bu süreçte, akış şemaları, süreç haritaları ve iş tipi diyagramları gibi görselleştirme araçları kullanılır. Bu tür teknikler, süreçlerin daha iyi anlaşılmasını sağlarken, karar alma süreçlerini kolaylaştırır. Özellikle grafiksel analiz yöntemleri, işletme yöneticilerinin mevcut sorunları hızlı bir şekilde görmelerine ve çözüm geliştirmelerine olanak tanır (Pemberton, 1974).

Modern metot etüdü teknikleri, dijital araçlar ve otomasyon sistemleriyle desteklenerek daha karmaşık süreçlerin analizini mümkün kılar. Örneğin, simülasyon teknikleri, süreçlerin nasıl optimize edileceğini önceden test etmek için kullanılır. Bu yöntem, süreçlerin verimliliğini artırırken aynı zamanda çalışanların iş yükünü hafifletir. Aynı zamanda ergonomik düzenlemeler, çalışanların daha rahat ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar.

Metot etüdü ile standart çalışma sürelerinin belirlenmesinin en temel unsurlarından biridir. Bu, iş yüklerinin adil bir şekilde dağıtılmasına ve ücretlendirme sistemlerinin iyileştirilmesine olanak tanır. Ayrıca, süreçler arasında dengenin sağlanması, iş akışının düzenlenmesini kolaylaştırır. Bu yöntem, özellikle üretim hatlarında süreç optimizasyonu sağlamak için kritik bir araçtır.

Metot etüdü aynı zamanda iş güvenliğini artırma potansiyeline sahiptir. Hareket ekonomisi prensipleri doğrultusunda yapılan düzenlemeler, çalışanların işlerini daha az eforla ve daha güvenli bir şekilde yapmalarına olanak tanır. Ergonomik iyileştirmeler, hem çalışan memnuniyetini hem de işletme performansını artırır.

3.3.2. Zaman etüdü

Zaman etüdü, iş etüdünün temel bir alt dalıdır ve belirli bir işi gerçekleştirmek için gereken standart süreyi belirlemeye yönelik sistematik bir yöntem olarak tanımlanır. Bu teknik, iş süreçlerini detaylı bir şekilde analiz ederek gereksiz adımları ortadan kaldırmayı ve süreçlerin daha verimli hale getirilmesini amaçlar. Tarihsel olarak, zaman etüdü ilk olarak 1760'larda Avrupa'da kullanılmaya başlanmış ve özellikle üretim alanında süreç iyileştirme hedefleri doğrultusunda geliştirilmiştir.

Günümüzde ise zaman etüdü, farklı üretim yöntemlerinin karşılaştırılması, iş atamaları, maliyet hesaplamaları ve ücretlendirme gibi birçok farklı alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu yöntem, iş süreçlerinde içsel, dışsal ve makineye bağlı zaman faktörlerini analiz ederek, bir görevin gerçekleştirilmesi için gereken minimum süreyi belirler. Bu analiz sürecinde, temsili operatörler seçilir ve performansları gözlemlenerek elde edilen veriler değerlendirilir. Daha sonra bu veriler, üretim planlaması, süreç kontrolü ve verimlilik ölçümü gibi çeşitli yönetsel kararlar için temel oluşturur. Zaman etüdü, iş süreçlerinde verimliliği artırırken, aynı zamanda maliyetleri düşürerek işletmelerin rekabet gücünü artırmasına olanak tanır.

Zaman etüdü uygulamalarının bir diğer önemli avantajı, üretim süreçlerinde darboğazların tespit edilmesi ve giderilmesine olanak sağlamasıdır. Bu teknik, süreçlerdeki değer katmayan aktiviteleri ortadan kaldırarak, üretim döngü sürelerini kısaltır ve genel verimliliği artırır. Örneğin, zaman etüdü kullanılarak süreçlerin ayrıntılı bir analizi yapılabilir ve bu analiz sonucunda gereksiz adımların elimine edilmesi sağlanabilir. Bu da, organizasyonel verimlilik üzerinde doğrudan bir etki yaratır.

Modern zaman etüdü teknikleri, dijital araçlar ve simülasyon yazılımları gibi teknolojilerle desteklenmektedir. Bu tür teknolojiler, süreçlerin daha hızlı analiz edilmesine ve daha karmaşık sistemlerin optimize edilmesine olanak tanır. Aynı zamanda, bu teknikler üretim hızını artırmanın yanı sıra, süreçlerdeki hata oranlarını da minimize eder.

Zaman etüdü, yalnızca üretim süreçlerinde değil, aynı zamanda iş sağlığı ve güvenliği ile ergonomik düzenlemelerin iyileştirilmesinde de önemli bir rol oynar. İşçilerin daha az yorulmalarını ve görevlerini daha güvenli bir şekilde yerine getirmelerini sağlamak için zaman etüdü bulgularından yararlanılır. Bu iyileştirmeler, hem çalışanların iş tatminini artırır hem de işletmelerin genel verimliliğini yükseltir.

Belirli bir işin gerçekleştirilmesi için gerekli standart sürelerin belirlenmesi konusunda tarihsel olarak üç temel yöntemin kullanıldığı görülmektedir. Bu yöntemler, uzman yargısına dayalı tahmin, geçmiş verilere dayalı tahmin ve mühendislik temelli iş ölçümü ile süre hesaplama şeklinde sınıflandırılabilir. Uzman yargısına dayalı tahmin yöntemi, genellikle konu ile ilgili uzmanların görüşlerine dayanmakta olup, bireysel deneyim ve sezgisel değerlendirmelerle desteklenmektedir. Bu yöntem, doğrudan sezgisel tahminler, yarı nicel verilere dayalı deneyimle yapılan eğitilmiş tahminler ve belirli ölçütlere dayalı nicel verilerin uzman yorumuyla desteklenmesi gibi aşamalara

ayrılabilir. Geçmiş kayıtlara dayalı tahmin tekniğinde ise üretim standartları, daha önce tamamlanmış işlerin kayıtlarına dayandırılarak oluşturulur. Çalışanların, yeni bir göreve başlamadan önce zaman ölçüm cihazlarını veya veri toplama araçlarını etkinleştirmesi ve iş tamamlandıktan sonra bu ölçüm sürecini sonlandırması, yaygın olarak kullanılan bir uygulamadır (Genaidy ve ark., 1990).

Mühendislik iş ölçümü, temel olarak ölçüm teknikleri ve hesaplama yöntemleri olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir. Ancak ölçüm teknikleri, belirli sınırlılıklara sahip olup genellikle yalnızca mevcut üretim süreçlerine uygulanabilmektedir. Bu bağlamda zaman ölçümü; doğrudan kronometre kullanımı, video analizleri veya gözlemlenen faaliyetlerin sıklığının istatistiksel olarak değerlendirilmesi gibi yöntemlerle gerçekleştirilebilir (Yeşilyurt, 2023). Alman Devlet İş Zamanları Belirleme Komisyonu (REFA) tarafından geliştirilen zaman etüdü yöntemleri, sistematik bir zaman ölçüm süreci sunarak standart zaman belirleme çalışmalarını desteklemektedir. Bununla birlikte, planlanan sürelerin hesaplanmasını içeren çeşitli teknikleri de kapsamaktadır. Hesaplama yöntemleri arasında önemli bir yere sahip olan önceden belirlenmiş hareket zamanı sistemleri (PMTS), üretim öncesi planlama süreçlerinde kullanılabilme avantajı sunarak, fiziksel iş yeri henüz oluşturulmadan zaman yönetimi ve süreç optimizasyonuna katkı sağlamaktadır (Bures & Pivodova, 2015). Bir zaman etüdü çalışması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

- Doğrudan gözlem metodu ile zaman etüdü
 - ✓ Zaman etüdü kapsamına alınacak işlerin belirlenmesi
 - ✓ Çalışma yöntemlerinin standardizasyonu
 - ✓ Gözlem yapılacak çalışanın seçim kriterleri
 - ✓ İş süreçlerine ilişkin verilerin toplanması ve kaydedilmesi
 - ✓ İşin bileşenlerine ayrıştırılması ve analizi
 - ✓ Ölçüm için gerekli döngü sayısının belirlenmesi
 - ✓ Alt işlemlere ait zaman ölçümlerinin gerçekleştirilmesi
 - ✓ Zaman etüdü için kullanılan araçların uygulanması ve verilerin analizi
 - ✓ Standart çalışma temposunun belirlenmesi
 - ✓ Normal zamanın hesaplanması
 - ✓ Ek payların tanımlanması
 - ✓ Standart zamanın belirlenmesi
- Önceden tanımlanmış hareket zamanı sistemleri

Doğrudan gözlem metodu ile zaman etüdü

Doğrudan gözlem, bir işin belirli bir süreçte gerçekleştirilmesi için geçen zamanı ölçmek amacıyla uygulanan etkili bir tekniktir. Bu yöntem, belirli bir görev için standart süreleri belirlemek ve süreçlerdeki verimliliği artırmak için kullanılır. Doğrudan gözlem sırasında, bir gözlemci fiziksel olarak bir görev veya davranışı izler ve bu süre zarfında tüm ayrıntıları kayıt altına alır. Bu süreçte, gözlemci pasif bir şekilde süreci analiz eder ve sürenin yanı sıra iş adımlarını da not alır.

Bu yöntem, hem bireysel performansı hem de ekip çalışmasını analiz etmek için uygundur. Örneğin, bir üretim hattında çalışan işçilerin hareketleri, makinelerle etkileşimleri ve iş akışındaki duraklamalar gibi unsurlar dikkatlice incelenebilir. Gözlem, yalnızca iş süreçlerini değil, aynı zamanda bu süreçlerin birbiriyle uyumunu ve etkileşimlerini de değerlendirir.

Doğrudan gözlem tekniklerinde, gözlemcinin varlığı kimi zaman gözlenen davranışları etkileyebilir. Ancak, bu etkinin sistematik şekilde analiz edilmesi, gözlem sonuçlarının doğruluğunu artırabilir (Gardner, 2000). Örneğin bir çalışmada, doğrudan gözlemin davranış üzerindeki kısa vadeli etkilerinin analiz edildiği ve bu etkilerin davranışların doğal akışını tamamen bozmadığı görülmüştür.

Video kayıtları gibi teknolojiler, doğrudan gözlem tekniklerini destekleyen modern araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bu kayıtlar, gözlemcilerin olayları daha sonra tekrar analiz etmelerine olanak tanır. Örneğin, bir çalışmada, video destekli gözlemin, doğrudan gözlemden daha fazla ayrıntı toplama yeteneği sağladığı ve daha ayrıntılı veri kategorilendirmesi için faydalı olduğu bulunmuştur. Doğrudan gözlem ile zaman etüdü çalışması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Starovoytova, 2017).

Zaman etüdü kapsamına alınacak işlerin belirlenmesi:

İş süreçlerinde verimliliği artırmak için ilk ve kritik bir adımdır. Bu süreç, hangi işlerin zaman etüdü için uygun olduğunu belirlemek amacıyla detaylı bir analiz yapmayı gerektirir. Seçim kriterleri arasında işin tekrarlanabilirliği, süreç içindeki önemi ve gözlemlemenin mümkün olduğu bir ortamda gerçekleştirilmesi yer alır. Bir üretim hattında sıkça tekrarlanan işler, zaman etüdü yapılacak işler arasında öncelikli olabilir.

Çalışma yöntemlerinin standardizasyonu:

Zaman etüdü yapılacak işlerin standartlaştırılması sürecinde, gözlemcilerin sistematik bir şekilde iş akışlarını takip etmeleri gerekir. Bu, gözlemcinin, her bir işlemin ne kadar sürdüğünü ve hangi aşamalarda gecikmeler yaşandığını doğru bir şekilde kaydetmesini sağlar. Bunun yanı sıra, gözlemcilerin tutarlı bir şekilde veri toplaması,

verilerin doğruluğunu artırır ve iş süreçlerinin daha verimli hale getirilmesine yardımcı olur (Bures & Pivodova, 2015).

Gözlem yapılacak çalışanın seçim kriterleri:

Zaman etüdü çalışmalarında gözlem alınacak operatörlerin seçimi, veri toplama sürecinin doğruluğunu ve güvenilirliğini etkileyen kritik bir adımdır. Bu seçim, operatörün iş akışındaki rolüne, beceri düzeyine ve performans tutarlılığına bağlı olarak yapılır (Gullberg, 1995). Belirli bir üretim istasyonunda deneyimli bir operatörün seçimi, süreç analizi sırasında daha doğru ve tekrarlanabilir sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir.

İş süreçlerine ilişkin verilerin toplanması ve kaydedilmesi:

Zaman etüdü çalışmaları sırasında iş ile ilgili bilgilerin doğru bir şekilde kaydedilmesi, sürecin verimliliği ve analizlerin doğruluğu açısından kritik öneme sahiptir. Gözlem sürecinde, iş akışları, operatörlerin hareketleri ve kullanılan araçlarla ilgili bilgiler, sistematik bir şekilde kaydedilmelidir. Bu süreç, genellikle zaman damgalı kayıtlarla desteklenir ve her bir adım detaylı bir şekilde belge altına alınır. Bilgilerin doğru bir şekilde kaydedilmesi, standartların oluşturulmasında önemli bir rol oynar (Pustejovsky & Runyon, 2014). Bir çalışmada, zaman etüdü ile elde edilen verilerin analizi, iş süreçlerindeki darboğazların belirlenmesine ve bu darboğazların giderilmesine yönelik adımların atılmasına yardımcı olmuştur.

İşin bileşenlerine ayrılması ve analizi:

Zaman etüdü çalışmalarında işin alt öğelere ayrıştırılması, karmaşık görevlerin daha iyi anlaşılması ve yönetilmesi için kullanılan önemli bir tekniktir. Bu yaklaşım, bir işin farklı bileşenlerinin analiz edilmesini ve her bir bileşenin sürece olan etkisinin değerlendirilmesini sağlar. Alt öğelerin belirlenmesi, iş süreçlerinin optimize edilmesi ve standardizasyonunun sağlanması açısından kritik öneme sahiptir (Whiteson ve ark., 2003).

Ölçüm için gerekli döngü sayısının belirlenmesi:

Zaman etüdü çalışmaları sırasında ölçülecek döngü sayısının belirlenmesi, hem verimliliği artırmak hem de güvenilir sonuçlar elde etmek açısından kritik bir adımdır. Döngü sayısının doğru belirlenmesi, zaman ölçümlerinin istatistiksel doğruluğunu ve ekonomikliğini garanti altına alır. Bir çalışmada, döngü sayısını belirlemek için pareto ilkesi kullanılmış ve bu sayede her döngünün katkısının ölçümler üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

Alt işlemlere ait zaman ölçümlerinin gerçekleştirilmesi:

Alt işlemlerin zaman ölçümünün gerçekleştirilmesi, zaman etüdü çalışmalarında iş süreçlerini detaylı bir şekilde analiz etmek için önemli bir adımdır. Bu adım, belirlenen her alt işlemin bireysel olarak ölçülmesini ve süreç içindeki etkisinin değerlendirilmesini içerir. Alt işlemlerin zaman ölçümleri, iş süreçlerinin optimize edilmesi ve performansın artırılması için gerekli olan verilerin elde edilmesine olanak sağlar. Zaman ölçümü sırasında, işlerin karmaşıklığına bağlı olarak alt işlemler arasında önceliklendirme yapılması gerekebilir. Önceliklendirme, en kritik ve en çok zaman harcayan işlemlerin daha ayrıntılı incelenmesini sağlar (Weigl ve ark., 2009). Örneğin, bir çalışmada, alt işlemlerin belirli bir önem sırasına göre zaman ölçümünün yapılması, genel sürecin iyileştirilmesine katkıda bulunmuştur.

Zaman etüdü için kullanılan araçların uygulanması ve verilerin analizi:

Zaman etüdü analistleri, iş süreçlerini ölçmek ve analiz etmek için yıllar içinde çeşitli teknolojilerden yararlanmıştır. 1940'larda popüler hale gelen kronometreler, uzun yıllar boyunca temel bir araç olarak kullanılmıştır. Ancak teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, bu manuel araçların yerini bilgisayar destekli yazılımlar ve video tabanlı analiz sistemleri almaya başlamıştır. Özellikle dijitalleşmenin etkisiyle, gözlem ve analiz sürecinde kağıt-kalem yöntemlerinden, otomatik kayıt ve veri işleme özelliklerine sahip modern araçlara geçiş sağlanmıştır. Proplanner ve Timer Pro Professional gibi yazılımlar, iş süreçlerinin video kaydı üzerinden detaylı analiz edilmesine olanak tanır. Timer Pro Professional, kümülatif zamanlama özelliklerine sahip bir yazılım olarak öne çıkar. Araştırmacılar, bu yazılım aracılığıyla video kayıtlarını kare kare geri sarabilir, işlemleri duraklatabilir ve belirli bir iş parçasını yüksek hassasiyetle analiz edebilir. Bu esneklik, yalnızca mevcut iş süreçlerini anlamayı değil, aynı zamanda gelecekteki süreçlerin iyileştirilmesine dair değerli iç görüler elde etmeyi de mümkün kılar. Ayrıca, Timer Pro Professional yazılımı, iş parçacıklarını sınıflandırarak detaylı raporlar oluşturulmasını sağlar. Elde edilen analizler, zaman etüdü uzmanları tarafından değerlendirilir ve sonuçlar Microsoft Office Excel formatında paylaşılabılır (Szewczyk & Sowa, 2017). Bu tür araçlar, yalnızca daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda zaman etüdü sürecini daha verimli ve kullanıcı dostu hale getirir. Böylelikle, iş analistleri yalnızca geçmiş süreçleri değerlendirmekle kalmaz, aynı zamanda daha iyi kararlar almak için bu verilerden yararlanır. Modern zaman etüdü araçları, yalnızca iş verimliliğini artırmakla kalmayıp, çalışma koşullarını optimize etmek için de etkili bir çözüm

sunmaktadır. Bu tür teknolojiler, işletmelerin rekabet avantajını güçlendirmesi ve kaynaklarını daha etkin kullanması için önemli bir destek mekanizması haline gelmiştir.

Standart çalışma temposunun belirlenmesi:

Doğrudan gözlemle yapılan zaman etüdü çalışmaları sırasında standart temponun belirlenmesi, iş süreçlerinin etkinliği ve verimliliği açısından kritik bir adımdır. Standart tempo, bir operatörün normal çaba ve yetenek düzeyinde işini gerçekleştirme hızını ifade eder. Bu hızı belirlemek için objektif gözlemler yapılmalı ve değerlendirme süreci titizlikle yönetilmelidir. Standart tempo belirleme süreci genellikle operatörün hızını analiz etmeyi ve bu hızın bir referans değeriyle kıyaslanmasını içerir. Bu süreçte gözlemcinin deneyimi ve kullanılan araçların doğruluğu büyük önem taşır. Gözlemci, temponun doğru bir şekilde belirlenmesi için iş süreçlerini ayrıntılı bir şekilde incelemelidir. Video teknolojisinin kullanımı, standart tempo belirleme sürecinde doğruluğu artırabilir. Video kaydı, operatör hareketlerini daha ayrıntılı bir şekilde analiz etmeye olanak tanır ve insan hatalarını en aza indirir. Özellikle kompleks hareketlerin temposunu değerlendirirken video destekli analizlerin kullanılması faydalıdır.

Normal zamanın hesaplanması:

Bu yöntem zaman etüdü çalışmalarında operatörün standart tempo ile bir işi gerçekleştirme süresini belirlemek için kullanılan kritik bir süreçtir. Bu süreç, iş süreçlerinin analizi ve optimizasyonu için temel veri sağlar. Normal zamanın hesaplanması sırasında ölçülen veriler, işin alt görevlerine bölünerek her bir görevin ne kadar sürede tamamlandığı belirlenir. Bu hesaplama, doğrudan gözlemle elde edilen zaman ölçümleri ve belirlenen tempo faktörlerinin çarpımı ile gerçekleştirilir. Tempo faktörü, operatörün hızının standart tempoya oranını ifade eder ve bu oran, işin zorluk derecesine göre değişiklik gösterebilir.

Ek payların tanımlanması:

Ek payların tanımlanıp normal süreye verilmesi, zaman etüdü çalışmalarında iş gücü performansının daha gerçekçi bir şekilde değerlendirilmesi ve üretim sürecindeki olası sapmalara uyum sağlanması için kritik bir adımdır. Bu süreçte, çalışanların fiziksel yorgunluğu, dinlenme ihtiyaçları ve beklenmedik duraklamalar gibi faktörler göz önünde bulundurulur. Ek payların belirlenmesi sırasında kullanılan yöntemlerden biri, çalışma çevresinin incelenmesi ve işin gerekliliklerine uygun bir ek oran belirlenmesidir. Örneğin, ağır fiziksel işler için daha yüksek bir dinlenme payı eklenirken, daha az yorucu işler için bu oran daha düşük olabilir. Ek paylar, iş süreçlerinin aksamadan devam etmesini sağlamak için kullanılan önemli bir tampon görevi görür. Bu paylar, özellikle üretim

sürecinde beklenmedik duraklamaların ve operatör yorgunluğunun etkilerini minimize etmeye yardımcı olur.

Standart zamanın belirlenmesi:

Standart zamanın belirlenmesi, üretim süreçlerinin etkin bir şekilde planlanması ve iyileştirilmesi için önemli bir adımdır. Bu süreçte, her iş biriminin normal çalışma temposuna göre tamamlanma süresi hesaplanır ve buna dinlenme veya bekleme gibi ek süreler dahil edilir. Bu adım, süreç optimizasyonu ve iş yükü yönetimi açısından kritik öneme sahiptir.

Önceden tanımlanmış hareket zamanı sistemleri:

Önceden belirlenmiş hareket zamanı sistemleri iş süreçlerini temel insan hareketlerine ayırarak bu hareketleri analiz eden bir iş ölçüm sistemidir. Bu sistem, hareketlerin niteliği ve yapıldığı koşullara göre sınıflandırılarak, belirli standart sürelerle ölçülmesini sağlar. Özellikle endüstriyel uygulamalarda üretim verimliliğini artırmak için kritik bir rol oynamaktadır.

PMTS'nin uygulanabilirliği, özellikle bilgisayar destekli sistemlerin geliştirilmesiyle önemli ölçüde artmıştır. Günümüzde, bu sistemlerin dijital versiyonları, iş analistlerinin daha hızlı ve hassas bir şekilde zaman standartları oluşturmalarına yardımcı olmaktadır (Genaidy ve ark., 1990). PMTS'nin en yaygın türlerinden biri olan MODAPTS, iş parçacıklarını temel vücut hareketlerine göre ayırarak iş sürelerini hesaplar. Bu yöntem, özellikle iş yükü tahminleri ve ücretlendirme sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

PMTS, özellikle tekrarlayan işlerde süreç iyileştirmeleri için güçlü bir araçtır. Mikro hareket analizleri ve simülasyon tabanlı yaklaşımlar, manuel işlemlerin daha etkin bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak PMTS'nin bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Örneğin, hareketlerin bireysel özelliklere göre değişebilmesi ve çevresel faktörlerin hesaba katılmaması, sistemin doğruluğunu etkileyebilmektedir.

Bu sistemlerin kullanımı, iş süreçlerini daha verimli hale getirirken, aynı zamanda iş gücü üzerindeki yükü optimize etmek için de önemli bir fırsat sunar. PMTS, günümüz iş dünyasında üretim süreçlerinin hızını ve doğruluğunu artırarak işletmelerin rekabet gücünü desteklemektedir.

3.4. Üretim Sürelerinin Tahmin Edilmesinde Kullanılan İstatistiksel ve Analitik Yöntemler

Üretim süreçlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi, işletmelerin rekabet gücünü artıran ve operasyonel verimliliği doğrudan etkileyen kritik bir faktördür. Bu bağlamda, üretim sürelerinin doğru tahmin edilmesi, üretim planlamasının optimize edilmesini sağlarken, kaynakların etkin kullanımına ve müşteri memnuniyetinin artırılmasına da önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Üretim sürecine ilişkin tahminlerin doğruluğunu artırmak amacıyla istatistiksel ve analitik yöntemler yaygın olarak kullanılmakta olup, bu yöntemler karar destek sistemlerinin güçlendirilmesine de olanak tanımaktadır. Özellikle istatistiksel analiz yazılımları, üretim verilerinin analizi ve öngörü modellerinin oluşturulmasında etkin bir araç olarak öne çıkmakta, süreçlerin veri odaklı yönetilmesine katkı sunmaktadır.

3.4.1. Veri ön işleme ve tanımlayıcı istatistiklerin analizi

Veri hazırlama ve tanımlayıcı istatistikler, veri analizi sürecinin temel bileşenlerinden olup, ham verilerin anlamlı hale getirilmesi, özetlenmesi ve analiz için uygun bir yapıya dönüştürülmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu süreçler, verilerin güvenilirliğini ve doğruluğunu sağlamak adına eksik verilerin yönetilmesi, aykırı değerlerin belirlenmesi ve uygun veri dönüşümlerinin gerçekleştirilmesi gibi adımları içermektedir. İstatistiksel analiz yazılımları, bu süreçleri sistematik ve verimli bir şekilde yürütmek için gelişmiş araçlar sunmaktadır. Veri ön işleme ve tanımlayıcı istatistiklerin analizi süreci aşağıdaki aşamaları kapsamaktadır.

- Veri hazırlama
 - ✓ Veri temizliği
 - ✓ Değişkenlerin dönüştürülmesi
 - ✓ Veri görselleştirme
- Tanımlayıcı istatistikler
 - ✓ Merkezi eğilim ölçümleri
 - ✓ Değişkenlik ölçümleri
 - ✓ Dağılım analizi
 - ✓ Veri ilişkilerinin analizi

Veri Hazırlama:

Veri Temizliği:

Eksik verilerin tespiti ve düzeltilmesi, veri ön işleme sürecinin kritik aşamalarından biridir. Bu bağlamda oluşturulan istatistik yazılımlar, eksik gözlemleri uygun istatistiksel yöntemlerle tahmin ederek doldurma veya bu verileri analiz dışında tutma gibi işlemleri sistematik bir şekilde gerçekleştirme imkânı sunmaktadır. Özellikle trend analizleri gibi zaman serisi tabanlı çalışmalarda, eksik verilerin uygun yöntemlerle tamamlanması veri setinin tutarlılığını ve analiz sonuçlarının güvenilirliğini artırmaktadır. Bu bağlamda, eksik verilerin düzeltilmesi veya yönetilmesi, bilimsel araştırmalarda veri kalitesini koruma açısından önemli bir adımdır.

Değişkenlerin dönüştürülmesi:

Veri analizi sürecinde, incelenen değişkenler farklı ölçü birimlerine sahip olabilir. Bu durum, özellikle regresyon gibi istatistiksel yöntemlerde analiz doğruluğunu etkileyebilir. Değişkenlerin standart bir ölçü birimine dönüştürülmesine olanak tanıyarak farklı ölçeklerdeki değişkenler arasında karşılaştırılabilirlik sağlayan yazılımlardan en etkili Minitab yazılımıdır. Ayrıca, kategorik değişkenlerin sayısal kodlamaya çevrilmesi, modelleme sürecinde değişkenlerin daha etkin bir şekilde işlenmesine yardımcı olur. Bu tür dönüşümler, istatistiksel analizlerin daha güvenilir ve anlamlı sonuçlar üretmesine katkıda bulunur (Lesik, 2018).

Veri görselleştirme:

Veri setinin temel özelliklerini anlamamanın ilk aşaması, dağılımın uygun görselleştirme teknikleriyle analiz edilmesidir. Bu amaçla, histogramlar, saplama yaprak (stem-and-leaf) grafikleri ve kutu grafikleri (boxplot) gibi istatistiksel gösterimler yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle istatistiksel analiz yazılımları, bu grafiklerin oluşturulmasını kolaylaştırarak verilerin merkezi eğilim, yayılım ve olası aykırı değerler açısından değerlendirilmesine olanak tanır. Bu görselleştirme yöntemleri, veri setinin genel yapısını anlamak ve ileri analizler için uygun istatistiksel yöntemleri belirlemek açısından kritik bir öneme sahiptir.

Tanımlayıcı istatistikler:

Merkez eğilim ölçümleri:

Bir veri setinin merkezi eğilim ölçümleri arasında ortalama, medyan ve mod yer almakta olup, bu ölçümler veri dağılımının temel özelliklerini anlamada önemli bir rol oynamaktadır. İstatistiksel analiz süreçlerinde bu ölçümler, verinin genel yapısını özetleyerek karar alma süreçlerine katkı sağlar (Cooksey, 2020).

Değişkenlik ölçümleri:

Veri setlerinde değişkenliğin ölçülmesi, istatistiksel analizlerin güvenilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Standart sapma, varyans ve değişim katsayısı, bir veri setindeki değişim düzeyini belirlemeye yönelik temel istatistiksel ölçütler arasında yer almaktadır. Bu ölçütler, verilerin merkezi eğilimden ne ölçüde sapma gösterdiğini değerlendirerek değişkenliğin anlaşılmasına katkı sağlar. Oluşturulan yazılımlar, bu istatistiksel değerleri ayrıntılı bir şekilde hesaplayarak, kullanıcıların veri analizi sürecinde daha kapsamlı ve doğru sonuçlara ulaşmasını mümkün kılmaktadır.

Dağılım analizi:

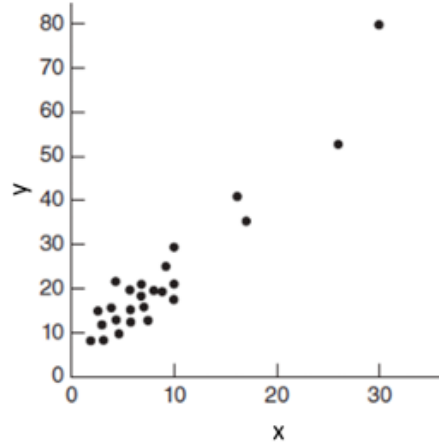
Veri dağılımının analizi, istatistiksel değerlendirmelerde merkezi bir rol oynar ve özellikle uç değerlerin belirlenmesi, olası sapmaların tespiti açısından kritik öneme sahiptir. Veri setinde anormalliklerin ve aykırı gözlemlerin varlığı, analiz sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini etkileyebileceğinden, bu unsurların sistematik bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, istatistiksel analiz süreçlerini kolaylaştıran ve kullanıcıya kapsamlı görselleştirme araçları sunan güçlü bir yazılımlar bulunmaktadır. Özellikle Minitab yazılımı, dağılım analizleri, değişkenlik ölçütleri ve grafiksel özetler aracılığıyla verinin yapısını anlamaya katkı sağlamakta ve olası veri hatalarının tespit edilmesine olanak tanımaktadır.

Veri ilişkilerinin analizi:

İki değişken arasındaki ilişkinin nicel olarak analiz edilmesi için kullanılan temel istatistiksel araçlardan biri korelasyon, diğeri ise kovaryanstır. Korelasyon, değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü belirlerken, kovaryans bu ilişkinin ortak değişim miktarını ölçmektedir. İstatistiksel analiz yöntemlere sahip araçlardan biri olan Minitab yazılımı, söz konusu analizlerin hesaplanmasını kolaylaştırmakla birlikte, sonuçların daha iyi yorumlanabilmesi için görsel destek sağlayan grafiksel araçlar sunmaktadır.

3.4.2. Regresyon analizlerinin uygulanması

Regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkileri anlamak ve bu ilişkileri modellemek amacıyla kullanılan önemli bir istatistiksel yöntemidir. Geniş uygulama alanı sayesinde birçok disiplinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Örneğin Şekil 3.3'te görüldüğü gibi X değişkeninin Y değişkeni üzerinde etkili olduğu varsayılarak, X 'in çeşitli değerleri için Y 'nin aldığı değerler analiz edilebilir ve bu analiz sonuçları bir saçılım grafiği ile görselleştirilebilir.

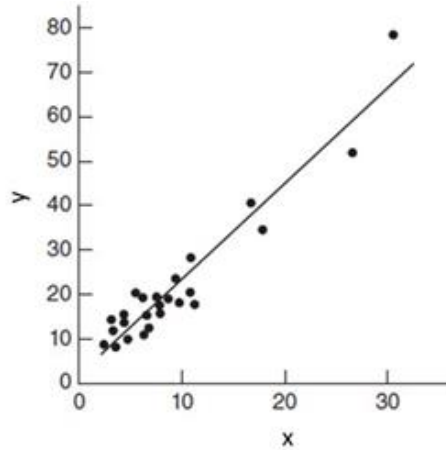


Şekil 3.3. X ve Y değişkenleri örnek saçılım grafiği

Grafikte yer alan saçılım noktaları incelendiğinde, X ve Y değişkenleri arasında bir ilişkinin mevcut olduğu ve bu ilişkinin doğrusal bir yapıya sahip olduğu anlaşılabılır. Noktaların genel eğilimlerini yansıtacak şekilde çizilen bir doğru, iki değişken arasındaki bu ilişkinin daha açık bir şekilde görülmesini sağlar. Bu doğrusal bağlantı, grafiğin sunduğu görsel bilgilerle desteklenerek ifade edilebilir. Bu iki değişkene ait doğrusal ilişki aşağıda yer alan denklem 3.1 ile gösterilir.

$$Y = a + bX \quad (3.1)$$

Burada a doğrunun Y -eksenini kestiği noktayı (kesim noktası), b bağımsız değişkenin her bir birimlik artışında Y 'de beklenen değişimi (eğim) ifade eder. Model, veri noktalarını temsil eden bir doğrusal çizgi aracılığıyla görselleştirilir ve en küçük kareler yöntemiyle hesaplanan a ve b parametrelerine dayanır. Bu teknik, doğrusal bir ilişkinin varlığını test etmek ve bu ilişkiyi açıklamak için kullanılabilir.



Şekil 3.4. X ve Y değişkenleri arasındaki örnek doğrusal ilişki

Şekil 3.4'te görüldüğü üzere noktalar doğrusal çizgiyle tam bir uyum göstermemektedir. Bu nedenle, belirtilen doğrusal ilişki formülünün yeniden gözden geçirilmesi gereklidir. Gözlemlenen Y değeri ile doğrusal çizgi arasındaki fark e (epsilon) ile ifade edilen bir istatistiksel hata olarak tanımlanır. Bu hata, modelin verilere tam uyum sağlamadığını açıklayan rastgele bir değişken olarak düşünülebilir. Bu durum, X ve Y değişkenleri arasındaki doğrudan ilişkinin yanı sıra, çevresel faktörler ve kontrol dışı diğer değişkenlerin etkisiyle de ortaya çıkabilir.

$$Y = a + bX + e \quad (3.2)$$

Regresyon modelinin temeli, veriler arasındaki ilişkiyi doğrusal bir çizgiyle temsil etmektir. Eğim b ve kesim noktası a aşağıda yer alan 3.3, 3.4 ve 3.5 denklemleri ile hesaplanır.

$$b = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \quad (3.3)$$

Yukarıda yer alan 3.3'deki denklemde bağımsız değişkendeki X değişimlerin bağımlı değişken Y üzerindeki etkisini ölçer. Ayrıca $\bar{X}$ bağımsız değişken X 'in aritmetik ortalamasını ifade ederken $\bar{Y}$ bağımlı değişken Y 'nin aritmetik ortalamasını ifade etmektedir.

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (3.4)$$

Kesim noktası (a), $X=0$ olması halinde Y 'nin aldığı değeri gösterir.

$$Y = a + bX \quad (3.5)$$

3.4.3. Hipotez testlerinin uygulanması

Hipotez testleri, istatistiksel analizlerde temel bir rol oynar ve gruplar arasındaki farkların anlamlılığını test etmek ya da bir değişkenin belirli bir hipoteze uyup uymadığını değerlendirmek için kullanılır. Hipotez testlerinin uygulanma süreçleri aşağıdaki aşamaları içermektedir.

- Varyans analizi
 - ✓ Temel varyans analizi (ANOVA) modelleri
 - ✓ Hata varyansı ve F testi
 - ✓ Mikroarray verilerinin analizi
 - ✓ Çoklu karşılaştırma analizleri
 - ✓ Deney tasarımı (DOE)
 - ✓ Varsayım kontrolü

- Tek örneklem t-testi
- İki örneklem t-testi
- Ki kare testi

Varyans analizi:

Varyans Analizi (ANOVA), birden fazla grup arasındaki ortalama farklarını karşılaştırmak için kullanılan güçlü bir istatistiksel yöntemdir. Bu analiz, gruplar arası değişimin rastgele mi yoksa istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık içerip içermediğini belirlemek amacıyla geliştirilmiştir. Özellikle deneysel ve gözlemsel araştırmalarda yaygın olarak kullanılan ANOVA, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini değerlendirmek için uygun bir yöntemdir. Tek yönlü ANOVA, iki veya daha fazla grubun ortalamalarını karşılaştırırken, faktöriyel ANOVA birden fazla bağımsız değişkenin etkilerini incelemektedir. Bu yöntem, araştırmalarda elde edilen verilerin anlamlı olup olmadığını değerlendirmek ve hipotez testleri gerçekleştirmek için sıklıkla tercih edilmektedir.

Temel ANOVA modelleri:

Tek faktörlü (one-way) ve çift faktörlü (two-way) varyans analizi (ANOVA) yöntemleri, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini istatistiksel olarak değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Tek faktörlü ANOVA, yalnızca bir bağımsız değişkenin farklı düzeylerinin bağımlı değişken üzerindeki etkisini analiz ederken, çift faktörlü ANOVA, iki bağımsız değişkenin hem ayrı ayrı hem de etkileşim halinde bağımlı değişken üzerindeki etkilerini incelemeye olanak tanımaktadır. Bu yöntemler, özellikle deneysel ve gözlemsel araştırmalarda değişkenler arasındaki ilişkileri anlamak ve hipotezleri test etmek için yaygın olarak tercih edilmektedir.

Hata varyansı ve F testi:

ANOVA ve F testi, farklı grupların ortalamaları arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendiren temel istatistiksel yöntemlerdir. ANOVA, toplam varyansın grup içi ve grup arası bileşenlere ayrılmasını sağlayarak, gözlemlenen farkların rastlantısal mı yoksa sistematik bir etkiden mi kaynaklandığını belirlemeye yardımcı olur. F testi, bu varyans bileşenlerini karşılaştırarak hipotezin kabul veya reddedilmesine yönelik bir karar mekanizması sunar. Bu yöntemler, özellikle deneysel ve karşılaştırmalı araştırmalarda, değişkenler arasındaki ilişkilerin nesnel bir şekilde analiz edilmesini sağlar (Kim, 2017).

Mikroarray verilerinin analizi:

ANOVA, gen ekspresyonu çalışmalarında mikroarray verilerinin analizinde yaygın olarak kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu yöntem, farklı deney grupları arasında gen ekspresyon seviyelerindeki farklılıkları belirlemek amacıyla uygulanır. Özellikle biyoinformatik ve genetik araştırmalarında karmaşık veri kümelerini analiz etmek için tercih edilen ANOVA, varyansın grup içi ve gruplar arası dağılımını değerlendirerek anlamlı farklılıkları tespit etmeye olanak tanır (Churchill, 2004). Bu tür kapsamlı istatistiksel analizler, manuel hesaplamalarla oldukça zahmetli olabileceğinden, Minitab gibi istatistiksel yazılımlar bu süreçleri kolaylaştırarak araştırmacılara zaman kazandırır ve hata payını minimize eder.

Çoklu karşılaştırma analizleri:

Minitab yazılımı, çoklu karşılaştırma yöntemlerini içeren analizleri kolaylaştırarak araştırmacılara gruplar arasındaki farklılıkları belirleme imkânı sunar. Bu yöntemler, istatistiksel anlamlılık seviyelerini değerlendirerek, belirli gruplar arasındaki farkların hangi seviyelerde meydana geldiğini ortaya koyar. Özellikle çoklu hipotez testlerinde hata oranlarını kontrol etmek ve istatistiksel gücü artırmak amacıyla kullanılan bu teknikler, veri analizi süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır.

Deney tasarımı (DOE):

Varyans analizi (ANOVA), deney tasarımı (Design of Experiments, DOE) kapsamında kullanılan istatistiksel bir yöntem olup, farklı değişkenlerin bağımsız değişken üzerindeki etkilerini karşılaştırmak amacıyla uygulanmaktadır. Bu yöntem, özellikle endüstriyel üretim süreçlerinde kalite kontrolü ve optimizasyon çalışmalarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Örneğin, baskı devre kartlarının üretim süreçlerinde kullanılan termal profillerin incelenmesi amacıyla ANOVA yöntemi kullanılarak farklı parametrelerin üretim kalitesi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

Varsayım kontrolü:

ANOVA'nın güvenilirliği, temel varsayımlarının sağlanmasına bağlıdır. Bu varsayımlar arasında, özellikle hata terimlerinin normal dağılıma uygunluğu ve varyansların homojenliği önemli bir yer tutmaktadır. Bu tür varsayımların ihlal edilmesi, analiz sonuçlarının doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilir. İstatistiksel yazılımlar, bu varsayımların sağlanıp sağlanmadığını değerlendirmek için çeşitli araçlar sunmaktadır (Jaeger, 2008). Örneğin Minitab yazılımı, artık değer (residual) analizleri yoluyla normal dağılım ve varyans homojenliği gibi kritik varsayımların kontrol edilmesine olanak tanımaktadır.

Tek örneklem t-testi:

Tek örneklem t-testi, belirli bir popülasyon ortalaması ile tek bir örneklemde elde edilen ortalamanın istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla kullanılan parametrik bir testtir. Bu test, özellikle bir değişkenin ölçülen ortalama değerinin, önceden belirlenmiş teorik veya standart bir değere eşit olup olmadığını değerlendirmek için uygulanır. Örneğin, belirli bir ürünün ortalama ağırlığının üretim standartlarında belirtilen hedef ağırlığa uygun olup olmadığını test etmek amacıyla kullanılabilir. İstatistiksel analiz yazılımlarından biri olan Minitab, tek örneklem t-testini gerçekleştirmek için veri setini işler, örneklem ortalamasını ve standart hatayı hesaplar, ardından hipotez testini yürüterek test istatistiğini ve buna karşılık gelen p-değerini raporlar. p-değerinin önceden belirlenen anlamlılık düzeyinden (genellikle 0,05) küçük olması durumunda, örneklem ortalamasının popülasyon ortalamasından anlamlı bir farklılık gösterdiği sonucuna ulaşılır.

İki örneklem t-testi:

İki örneklem t-testi, bağımsız iki grup arasındaki ortalama farkının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu test, özellikle farklı koşullar altında üretilen ürünlerin ölçümlerini karşılaştırmak veya iki farklı grubun belirli bir değişkene ilişkin performanslarını değerlendirmek için tercih edilmektedir. Örneğin, iki farklı üretim makinesinin ürettiği ürünlerin ortalama boyutlarının istatistiksel olarak benzer olup olmadığını analiz etmek amacıyla uygulanabilir. İlgili analizler, parametrik varsayımların sağlandığı durumlarda standart iki örneklem t-testi ile gerçekleştirilirken, verilerin normal dağılım varsayımını karşılamadığı durumlarda non-parametrik alternatifler tercih edilmektedir.

Ki kare testi:

Ki-kare testi, kategorik değişkenlere ilişkin gözlenen frekansların, teorik olarak beklenen dağılımlarla anlamlı bir farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu test, özellikle bağımsız değişkenin kategorik olduğu durumlarda, gruplar arasındaki farklılıkların rastlantısal olup olmadığını değerlendirmek için tercih edilir (Reijsbergen ve ark., 2015). Örneğin, bir işletmenin farklı şubelerinde yapılan müşteri memnuniyeti anketlerinin sonuçları karşılaştırılarak, memnuniyet düzeylerinin şubelere göre anlamlı bir farklılık gösterip göstermediği analiz edilebilir. Bu tür bir analiz, karar alıcıların hizmet kalitesini iyileştirme yönünde kanıta dayalı stratejiler geliştirmesine yardımcı olabilir.

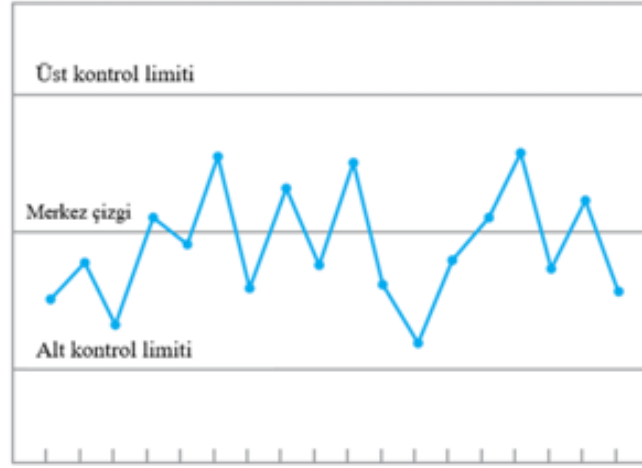
3.4.4. Kontrol grafiklerinin kullanılması

İstatistiksel süreç kontrolünün temel araçlarından biri olarak süreç izlemeyi sağlamak amacıyla kontrol grafikleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu grafikler, sürecin değişkenliklerini belirleyerek uygunsuz veya hatalı ürünlerin oluşmasını engellemeye yönelik önleyici tedbirlerin alınmasına olanak tanır. Süreç kontrolü sağlama noktasında önemli bir rol oynayan kontrol grafikleri, 1920'lerde Walter A. Shewhart tarafından geliştirilmiştir ve günümüzde hala etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır.

Kontrol grafikleri, süreç değişkenliklerini inceleyerek süreçlerin istikrarlı bir şekilde işlemesini sağlamak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Beklenmeyen değişimlerin kaynağını azaltarak süreç performansının sürekliliğini ve iyileştirilmesini hedefler. Ayrıca, bu grafikler sayesinde normal süreç dalgalanmaları belirlenebilir ve anormal durumlar hızlıca fark edilerek gerekli aksiyonların alınması sağlanabilir (De Vries & Reneau, 2010).

Şekil 3.5'te bir kontrol grafiği örneği sunulmaktadır. Grafikte, kalite özelliklerinin ortalama değerini ifade eden bir merkez çizgisi yer alırken, süreç kontrolünü değerlendirmek için UCL ve LCL isimli iki yatay çizgi de gösterilmektedir. Bu sınırlar, sürecin kontrol altında olduğu durumlarda, örneklem verilerinin neredeyse tamamının bu sınırlar içinde kalmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Kontrol sınırları içerisinde kalan veriler, sürecin istikrarını koruduğunu ve müdahale gerektirmediğini ifade eder. Ancak, kontrol sınırlarının dışında kalan bir veri noktası, sürecin kontrol dışına çıktığını işaret eder ve bu durumun nedenlerini belirleyerek ortadan kaldırmak amacıyla detaylı bir analiz ve düzeltici işlemler yapılması gereklidir. Ayrıca, zaman içindeki değişimlerin daha net bir şekilde izlenebilmesi için, kontrol grafiğinde yer alan noktalar genellikle düz bir çizgiyle birbirine bağlanarak görselleştirilir.



Şekil 3.5. Kontrol grafiği örneği

Kontrol grafikleri için modeller aşağıdaki gibidir.

$$\text{Üst Kontrol Limiti} = \mu_w + L\sigma_w \quad (3.6)$$

$$\text{Alt Kontrol Limiti} = \mu_w - L\sigma_w \quad (3.7)$$

Yukarıda yer alan 3.6 ve 3.7'deki formüllerinde w , kalite özelliğini ifade eden bir istatistiki değer olarak tanımlanır; μ_w ortalama değer, σ_w standart sapmayı gösterir. Sapma birimi cinsinden ölçülen L , merkez çizgisine olan uzaklık anlamına gelir. Pozitif sapmalar üst kontrol sınırını, negatif sapmalar ise alt kontrol sınırını belirler. Walter A. Shewhart tarafından geliştirilen bu kontrol grafiklerinin temel teorisi, kalite yönetiminde önemli bir adım olmuştur ve bu prensiplere dayalı grafikler Shewhart kontrol grafikleri olarak bilinmektedir (Montgomery, 2020).

Shewhart'ın geliştirdiği bu grafikler, birçok endüstri ve sürecin analizinde önemli bir rol oynamıştır. Kontrolü sağlamak amacıyla oluşturulan grafikleri mevcut olsa da, shewhart kontrol grafikleri en bilinen yöntemlerden biridir. Bunun temel sebepleri, bu grafiklerin oldukça basit bir yapıya sahip olması ve süreç ölçümlerinin ortalamalarının genellikle istatistiksel olarak normal bir dağılım sergilemesidir.

Bu grafikler oluşturulurken, limitlerin doğru olması oldukça önemlidir. Limitler, merkez çizgiden fazla uzağa konumlandırıldığında, rastgele bir noktanın kontrol sınırlarının dışında yer alma ihtimali (Tip I hata) azalır. Ancak, bu durum aynı zamanda gerçek bir kontrol dışı durumu temsil eden bir noktanın kontrol sınırları içinde kalma ihtimalini (Tip II hata) artırabilir. Bu nedenle, kontrol limitleri seçilirken hem hata türlerini dengeleyecek hem de sürecin etkin şekilde izlenmesini sağlayacak bir yaklaşım benimsenmelidir.

Kontrol limitlerinin merkez çizgisine daha yakın belirlenmesi, tip I hata riskini artırırken tip II hata riskini azaltabilir. Bu nedenle, bir kontrol grafiği tasarımında limitlerin doğru şekilde ayarlanması son derece önemlidir. Pratikte, Shewhart kontrol limitlerinde sıklıkla $L = 3$ değeri kullanılır çünkü bu, genellikle tatmin edici sonuçlar sağlamaktadır.

Kontrol grafikleri genellikle iki aşamada oluşturulur: Faz I ve Faz II. İlk aşamada, analiz edilecek özellik hakkında veri toplanır ve bu verilerin geriye dönük analizi yapılır. Çalışmanın doğruluğunu ve kontrolünü sağlamak amacıyla geçici kontrol limiti belirlenir. Bu limitlerin güvenilirliği, gelecekteki verilerle yapılacak analizler için uygun olup olmadığının tespiti amacıyla incelenir.

Kontrol grafiklerinin etkinliğini değerlendirmek için en sık kullanılan performans ölçütü, ortalama tespit uzunluğu (ARL) olarak bilinir. Bu metrik, performans değerlendirmesinde iki farklı ARL değeri temel alınarak analiz edilebilir. ARL_0 grafik tarafından hatalı bir sinyal gösterilene kadar süreç kontrol altında olduğu sürede grafikte işaretlenen ortalama veri noktası sayısını tanımlarken, ARL_1 ise süreç ortalamasında bir değişim olduğunda, kontrol grafiğinin kontrol dışı bir sinyal üretene kadar kaydettiği ortalama nokta sayısını ifade eder.

Kontrol grafiklerinde yer alan tahmin hatalarının incelenmesi sürecinde, kontrol mekanizmalarının uygulanması kapsamında genellikle sürecin olasılık dağılımına ilişkin parametrelerin doğrudan bilindiği varsayılmaktadır. Ancak pratikte, bu parametreler genellikle süreçten alınan örnekler kullanılarak hesaplanır ve bu hesaplamalardaki olası hatalar genelde dikkate alınmaz.

Tahmin hatalarının oluşturulan kontrol grafikleri kapsamında büyük bir etkisi vardır. Kontrol grafiklerinin ve performans metriklerinin birbiri ile ilişkili tahmin hatalarını ele alan, bootstrap yöntemi tabanlı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, süreç kontrolünün altında ya da üstünde olmadığına yüksek doğrulukla garanti edilmesi için kontrol limitleri dinamik olarak ayarlanmaktadır. Ortalama tespit uzunluğunu hedeflenen aralıkta tutmayı amaçlayan bu yöntem, kontrol altındaki süreçlerin güvenilir bir şekilde izlenmesini sağlamaktadır.

Gandy ve Kvaløy (2013), parametrik ve parametrik olmayan bootstrap prosedürlerini bir araya getirerek farklı performans ölçümleri için uygulanabilir bir yöntem geliştirmiştir. Bu amaçla, `spcadjust` adını verdikleri bir R paketi tasarlamışlardır ve bu paket, farklı grafik türlerine bootstrap yöntemlerini entegre ederek analiz süreçlerini desteklemektedir.

Shewhart kontrol grafiği kullanılarak kontrol edilen bir süreçte, tekil gözlemlerin normal dağılım gösterdiği varsayımıyla, X 'in standart ve ortalama sapması geçmiş n tane gözlemden tahmin edilmektedir. Kontrol altında olduğu kabul edilen süreçte, yeni elde edilen gözlemler $(X_1, X_2, \dots)$ için, iki taraflı Shewhart grafiği üzerinde kontrol durumu Denklem 3.1'deki gibi değerlendirilir:

$$S_t = \frac{x_t - \mu}{\sigma}, |S_t| > c \quad (3.8)$$

Bir süreç kontrolü sırasında izlenen karakteristik için belirlenen bir eşik değeri (c) , $|S_t| > c$ durumunda sürecin sınırların dışına çıktığını işaret eder. Shewhart kontrol grafikleri genellikle kontrol ortalaması ve standart sapmaya dayalı olarak çalıştırılır ve standart sapma değerinin üç katına denk gelen bir eşik değeri olan $c=3$ kullanılarak uygulanır. Bu durum, sürecin istatistiksel olarak kabul e dilebilir sınırların dışına çıkması halinde bir uyarı sinyali üretmesini sağlar.

Bölüm 5'te standart üretim süresi tahminine ait prosedürün son maddesi olan düzeltilmiş Shewhart kontrol grafikleri ile yapılan çalışmaya ait grafikler verilmiştir.

3.5. Üretim Sürelerinin Tahmin Edilmesinde Veri Madenciliği Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Veri madenciliği, geçmiş üretim verilerinden anlamlı desenler ve ilişkiler çıkarmayı amaçlayan bir süreçtir. Bu süreçte, makine öğrenmesi algoritmaları, bu desenleri tahmin modellerine dönüştürerek gelecekteki üretim sürelerini öngörmede kullanılır (Adesiyen, 2021). Örneğin, geçmişteki üretim hatası oranlarını ve kullanılan malzemelerin özelliklerini analiz ederek, yeni bir siparişin tamamlanma süresi tahmin edilebilir.

3.5.1. Makine öğrenmesi algoritmalarının kullanımı

Veri madenciliği ve makine öğrenmesi süreçlerini optimize eden yazılımlar, kapsamlı analiz ve modelleme imkânı sunarak kullanıcıların bu süreçleri daha verimli bir şekilde gerçekleştirmelerine olanak tanımaktadır. Bu tür yazılımlar, hem denetimli hem de denetimsiz öğrenme algoritmalarını destekleyerek farklı veri işleme senaryolarına uyum sağlayabilmektedir. Ayrıca, programlama bilgisi gerektirmeyen görsel ara yüzleri sayesinde, kullanıcıların karmaşık veri analizi işlemlerini kolaylıkla gerçekleştirmelerine

imkân tanımakta ve geniş bir uygulama alanında kullanılabilirlik sunmaktadır. Makine öğrenmesi algoritmalarının uygulanması süreçleri aşağıdaki adımları kapsar.

- Karar ağaçları ve rastgele ormanları
- Destek vektör makineleri (SVM)
- Regresyon modelleri
- Derin öğrenme teknikleri

Karar ağaçları ve rastgele ormanları:

Karar ağaçları, özellikle üretim süreçlerinde karar verme mekanizmalarının derinlemesine anlaşılmasına ve süreç içerisindeki olası sapmaların tespit edilmesine olanak tanıyan önemli araçlardır. RapidMiner gibi yazılımlar, bu algoritmaların görsel olarak yapılandırılmasını sağlayarak, kullanıcıların modelleme süreçlerini daha erişilebilir ve anlaşılır kılmaktadır. Örneğin, farklı malzeme türlerinin üretim süreleri üzerindeki potansiyel etkileri, karar ağaçları kullanılarak analiz edilebilmekte ve bu sayede süreç optimizasyonu için önemli çıkarımlar elde edilebilmektedir.

Destek vektör makineleri (SVM):

Destek vektör makineleri (SVM), yüksek boyutlu veri kümelerinde değişkenler arasındaki karmaşık ilişkileri belirlemek ve analiz etmek için yaygın olarak kullanılan bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Bu yöntem, özellikle doğrusal olarak ayrıştırılamayan veri yapılarında etkin bir şekilde çalışarak, veriler arasındaki örüntüleri keşfetmeye olanak tanır. SVM, üretim süreçlerinde farklı parametrelerin çıktı üzerindeki etkilerini modellemek için kullanılabilir. Örneğin, bir üretim tesisinde makinelerin çalışma ayarlarının üretim süresi üzerindeki etkisini analiz etmek amacıyla SVM algoritması uygulanabilir. Böylece süreç optimizasyonu sağlanabilir ve üretim verimliliği artırılabilir.

Regresyon modelleri:

Regresyon modelleri, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri analiz etmek ve geleceğe yönelik tahminler yapmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modeller, belirli bir sistemdeki değişkenler arasındaki nedensel bağlantıları istatistiksel yöntemlerle ortaya koyarak karar verme süreçlerine katkı sağlamaktadır. Oluşturulan makine öğrenmesi algoritmalarına ait platformlar, regresyon modellerinin optimizasyonunu gerçekleştirmek ve model doğruluğunu artırmak amacıyla çapraz doğrulama teknikleri gibi yöntemler sunmaktadır. Bu doğrulama yöntemleri, modelin aşırı öğrenme (overfitting) riskini azaltarak daha genellenebilir sonuçlar elde edilmesine yardımcı olmaktadır (Lingitz ve ark., 2018). Örneğin, bir üretim hattında çalışan iş gücü

ile üretim süresi arasındaki ilişkinin analizi, regresyon modelleri aracılığıyla gerçekleştirilebilir ve bu sayede verimliliği artırmaya yönelik stratejiler geliştirilebilir.

Derin öğrenme teknikleri:

Derin öğrenme, büyük veri setlerindeki karmaşık örüntüleri belirleme ve analiz etme açısından güçlü bir yöntemdir. Büyük ölçekli veri kümeleri üzerinde uygulanabilen bu teknik, çok boyutlu ve doğrusal olmayan ilişkileri keşfetmeye olanak tanıyarak daha derinlemesine iç görüler sunar (Fischer ve ark., 2018). Örneğin, bir üretim tesisinde enerji tüketimi ile üretim süresi arasındaki dinamik ve karmaşık ilişki, derin öğrenme modelleri kullanılarak analiz edilebilir. Bu tür bir yaklaşım, süreç optimizasyonu ve kaynak yönetimi gibi alanlarda daha bilinçli ve veriye dayalı kararlar alınmasına katkıda bulunabilir.

3.5.2. Tahminleme sürecinde RapidMiner kullanımı

RapidMiner kullanılarak gerçekleştirilen üretim süresi tahminleme çalışmaları incelendiğinde, baskılı devre kartları (PCB) üretim süreçlerinde çevrim sürelerinin tahmin edilmesi amacıyla kullanılmış olup, Simbiyotik Organizma Arama (SOS) algoritması ile desteklenen Destek Vektör Makineleri (SVM) modeli ile entegre edildiğinde %90 doğruluk oranına ulaşmıştır. Benzer şekilde, otomotiv sektöründe montaj sürelerinin tahmin edilmesi amacıyla regresyon modelleriyle birlikte kullanılmış ve veri setlerinden elde edilen özellikler doğruluk oranını artırmak amacıyla optimize edilmiştir. Zaman serisi analizlerinde ise RapidMiner tabanlı tahmin modellerinin, geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk sunduğu belirlenmiştir. Bu çalışmaların yürütülmesi sürecinde, tahminleme aşamalarında RapidMiner yazılımının kullanımı aşağıdaki aşamalarını içeren sistematik bir süreci kapsamaktadır.

- Veri toplama ve hazırlık
- Model seçimi
- Tahmin modellerinin eğitimi
- Sonuçların analizi

Veri toplama ve hazırlık:

Üretim hatlarından elde edilen veriler, analitik işlemler için RapidMiner yazılımına aktarılmaktadır. Bu veri setleri, üretim süreçlerinin çeşitli yönlerini kapsamakta olup genellikle iş sırası, döngü süreleri, makine kapasiteleri ve iş gücü

bilgileri gibi unsurları içermektedir. Verinin güvenilirliğini artırmak amacıyla veri temizleme süreçleri uygulanmakta, bu bağlamda eksik verilerin doldurulması ve aykırı değerlerin belirlenerek uygun yöntemlerle yönetilmesi sağlanmaktadır. Bu işlemler, veri analizinin doğruluğunu artırarak üretim süreçlerinin daha etkin şekilde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Model seçimi:

RapidMiner, farklı algoritmalar arasında seçim yapmayı kolaylaştıran bir veri madenciliği ve makine öğrenmesi platformudur. Özellikle üretim süresi tahmini gibi öngörücü analizlerde, regresyon modelleri, derin öğrenme teknikleri ve zaman serisi analizleri sıklıkla tercih edilen yöntemler arasında yer almaktadır. Bu yöntemler, veri setlerindeki örüntüleri belirleyerek gelecekteki üretim sürelerini daha hassas bir şekilde tahmin etmeye olanak tanımaktadır.

Tahmin modellerinin eğitimi:

Geçmiş üretim verileri, RapidMiner gibi makine öğrenmesi modellerinin eğitimi için temel bir kaynak olarak kullanılır. Modelin genel performansını artırmak ve aşırı uyum riskini en aza indirmek amacıyla, bu süreçte çapraz doğrulama yöntemleri uygulanarak modelin genelleme yeteneği değerlendirilmektedir. Bu doğrulama teknikleri, veri kümesinin farklı alt bölümlerinde modeli test ederek, modelin yeni ve görülmemiş veriler karşısındaki başarısını ölçmeyi amaçlar.

Sonuçların analizi:

Modellerin performansı, doğruluk oranları, hata metrikleri ve tahmin başarımları gibi nicel kriterler doğrultusunda değerlendirilmektedir. Örneğin, yapılan bir araştırmada, RapidMiner yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen tahmin modellerinin doğruluk oranının %85'in üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bu durum, söz konusu yazılımın yüksek doğrulukta tahmin yapabilme kapasitesine sahip olduğunu göstermekte ve modelleme süreçlerinde etkin bir araç olduğunu göstermektedir.

4. MATERYAL ve METOT

4.1. Standart Üretim Sürelerinin Tahmin Edilme Prosedürü

Literatür araştırmalarına dayanarak, bir RTM üretim istasyonunda parça üretimine ait standart sürelerin tahmin edilmesi, tahmin hatalarının izlenmesi ve modelin iyileştirilmesi kapsamında Yeşilyurt (2023) tarafından önerilen aşağıdaki prosedür adımları temel alınmıştır;

1. Çalışmanın yapılacağı üretim istasyonunun belirlenmesi
2. Belirlenen üretim istasyonunun mevcut durum analizi
3. Üretim istasyonundaki standart üretim aktivitelerinin tanımlanması
4. Üretim istasyonunda gözlem alınması
5. Video kayıtlarının analiz edilip aktivite sürelerinin belirlenmesi
6. Standart süre hesaplama modelinin istatistiksel olarak tanımlanması
7. Standart üretim süresi model parametrelerinin tahmin edilmesi
8. Standart üretim sürelerinin hesaplanması
9. Doğrulama çalışmaları kapsamında tahmin hatalarının kontrol grafiği ile izlenmesi

4.1.1. Çalışmanın yapılacağı üretim istasyonunun belirlenmesi

Her bir üretim istasyonu için standart üretim sürelerinin belirlenmesi, bu süreler doğrultusunda üretim planlarının oluşturulması ve gerçekleştirmelerin düzenli olarak izlenerek geliştirme adımlarına dönüştürülmesi, üretim süreçlerinin temel bir parçasıdır. Bu sürelerin, mühendislik analizleri ve detaylı hesaplamalar ışığında oluşturulmuş standart sürelerden türetilmesi ideal bir yaklaşım olarak kabul edilir. Ayrıca, belirlenen üretim sürelerinin, değişen üretim şartlarına kolayca uyarlanabilecek esnek bir altyapıyla desteklenmesi, etkinlik ve doğruluğun sürdürülmesi açısından kritik öneme sahiptir. Standart üretim sürelerinin belirlenmesi ve bu süreçlerin devamlılığının sağlanması, işletmeler açısından maliyetli olduğu için, çoğu işletme üretim sürecinde kaydedilen geçmiş verilere dayalı gerçek süreleri kullanmayı tercih etmektedir. Ancak, bir işletme üretim sürelerini mühendislik analizleri ile belirlemeyi ve bu süreleri takip etmeyi amaçladığında, çalışmaların başlangıç noktası ve izlenecek adımlar, hem maliyetlerin hesaplanmasında hem de sonuçların doğruluğunda belirleyici bir etkiye sahiptir. Üretim

sürecinin gerçekleştiği sektör, üretim istasyonlarının çalışma düzeni, üretilen ürünlerin sayısı ve çeşitliliği, izlenecek prosedürün belirlenmesinde kritik bir etkiye sahiptir.

Her bir üretim hücresinde gerçekleştirilen tüm üretim faaliyetlerinin ayrıntılı şekilde tanımlanması, üretim istasyonuna gelen parçaların miktar ve çeşitliliğinin fazla olması nedeniyle bu bilgilerin düzenli olarak güncellenmesini gerektirir. Ayrıca, üretim istasyonunda işlem gören parçaların tek seferlik üretim, talebe bağlı üretim ya da belirli periyotlarla gerçekleştirilen üretim gibi farklı senaryolara uyum sağlayacak şekilde organize edilmesi büyük önem taşır. Bu çalışmada uygulanan prosedür, yukarıda belirtilen özelliklere sahip üretim istasyonlarında kullanılabilmektedir.

4.1.2. Belirlenen üretim istasyonunun mevcut durum analizi

Üretim istasyonu belirlendikten sonra, bu istasyonda yapılacak analizin uzman tarafından mevcut durum değerlendirilerek gerçekleştirilmesi kritik öneme sahiptir. Analiz sürecinde, incelenecek temel özellikler aşağıda belirtilmiş olup, işletmenin ihtiyaçlarına göre bu özellikler artırılabilir veya azaltılabilir. Ancak, çalışmanın doğru bir şekilde ilerleyebilmesi ve sonuçların etkili bir şekilde değerlendirilebilmesi için bu adımın özenle ele alınması ve detaylı bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Bu süreç, elde edilecek çıktılar ve sağlanacak kazanımların net bir şekilde ortaya konulması açısından oldukça önemlidir.

- Üretim istasyonunun fiziki çalışma koşulları
- Üretim istasyonundaki vardiya bazlı çalışma saatleri
- Üretim istasyonunda çalışan personel sayısı
- İlgili üretim istasyonunda geçmişte tamamlanan veya hâlihazırda üretilmekte olan projeler ve parçalara ilişkin bilgiler
- Üretim istasyonunda mevcut üretim sürelerinin hangi yöntemlerle belirlendiği ve bu süreler doğrultusunda üretim planlarının nasıl oluşturulduğu bilgisi,
- Üretim istasyonunda üretilen aktif parçalara yönelik olarak kabul gören üretim sürelerinin sağlanması
- Üretim istasyonunda mevcut üretim planına uygunluk oranı
- Üretim istasyonunda üretim gereksinimleri doğrultusunda tanımlanmış olan üretilmesi planlanan parça listesi

Üretim istasyonundaki çalışma koşulları ve düzenin değerlendirilmesi amacıyla, uzman personelin istasyonda bizzat bulunarak ortamı gözlemlemesi ve standart üretim faaliyetlerini tanımlaması gereklidir. Gözlem verilerinin toplanmasından önce, bu koşullar dikkate alınarak ayrıntılı bir plan hazırlanmalıdır.

4.1.3. Üretim istasyonundaki standart üretim aktivitelerinin tanımlanması

Literatürde vurgulandığı üzere, zaman etüdü çalışmalarının öncesinde metot etüdü çalışmalarının tamamlanması çok önemlidir. Bu doğrultuda, zaman etüdüne geçilmeden önce üretim istasyonundaki iş planları ayrıntılı şekilde gözden geçirilmeli ve üretim sürecinde yer alan tüm faaliyetler net bir şekilde belirlenmelidir.

İşletmelerde kullanılan üretim dokümanları, işletmenin yapısına göre değişiklik gösterebilir. Bazı dokümanlar süreçleri teknik çizimlerle detaylandırırken, bazıları yalnızca genel bir açıklama ile sınırlı kalabilir. Bu nedenle, zaman etüdü yapacak uzmanların, sürecin detaylarını anlayabilmek için süreç yöneticileri ve çalışanlarla iş birliği yapması önemlidir. Bu süreçte, mevcut dokümanlar detaylı bir şekilde analiz edilmeli ve süreçle ilgili bireylerden alınan bilgiler doğrultusunda, iş akışları standart süreçlerin tanımlanabileceği adımlara ayrılmalıdır.

Tez çalışması kapsamındaki üretim istasyonunda kullanılacak olan üretim dokümanları, üretim aktivitelerinin ayrıntılı bir şekilde kırılımlarını içermemektedir. Bu nedenle, görevli personelin üretim istasyonunda çalışmaya başladığı andan itibaren, parçaların bir sonraki üretim istasyonuna gönderilmek üzere hazırlandığı süreye kadar gerçekleştirilen tüm işlemler, genel bir çerçevede tanımlanmıştır.

4.1.4. Üretim istasyonunda gözlem yapılması

Literatür incelemesi kapsamında, doğrudan gözlemle zaman etüdü gerçekleştirilirken kullanılabilecek farklı kayıt yöntemlerine yer verilmiştir. Tez çalışmasında ise parçaların üretim süreçleri, video kaydı alınarak gözlemlenmiştir. Parça üretim süreçlerinin video kayıt yöntemiyle izlenmesi, analiz ve değerlendirme açısından bir dizi avantaj sağlamaktadır ve bu avantajlar aşağıda detaylandırılmıştır.

- Üretim istasyonunda üretim sürecinin tamamının video kaydı ile belgelenmesi, gözlem sırasında oluşabilecek bilgi kayıplarını önler.

- Video kaydını gerçekleştiren personelin gerekli eğitimlerden geçmesi, bu işlemi hızla ve yetkin bir şekilde yapabilmesini sağlar, ayrıca çekimi yapan kişinin zaman etüdü uzmanı olması gerekmez.
- Kaydedilen videoların analiz sürecinde durdurma ve başlatma yöntemleriyle defalarca incelenebilmesi, detayların gözden kaçmamasını temin eder.
- Video kayıtları aynı zamanda, gerektiğinde kanıt olarak kullanılacak güvenilir bir dokümantasyon sağlar.
- Bunun yanı sıra, video kayıtları eğitim gibi farklı amaçlar doğrultusunda da değerlendirilebilir ve çok yönlü bir kaynak oluşturur.

Bu yöntemin avantajlarına ek olarak, işletme üzerinde oluşturabileceği mali yüklerin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Video kayıt işlemleri için ilave personele ihtiyaç duyulabilirken, kayıt için kullanılacak kamera, tripod ve batarya gibi ekipmanların sağlanması da ayrı bir maliyet kalemi oluşturabilir. Ayrıca, video dosyalarının büyük boyutları nedeniyle ek depolama alanına ihtiyaç duyulması, dosya sunucularında kapasite artırımını gerektirebilir ve bu da maliyetlerin artmasına neden olabilir.

4.1.5. Video kayıtlarının analiz edilip aktivite sürelerinin belirlenmesi

Üretim süreçlerinin incelenmesinde kullanılan video kayıtları, zaman etüdü çalışmasını gerçekleştirecek uzman tarafından özel analiz yazılımları aracılığıyla detaylı şekilde değerlendirilir. Parça üretiminin yapılması sırasında gerçekleşen üretim faaliyetlerinin süreleri, yazılımın sağladığı imkanlarla kayıtların izlenmesi ve analiz edilmesi yoluyla hesaplanır. Tez çalışması kapsamındaki bu analizler Timer Pro Professional yazılımı kullanarak detaylı biçimde gerçekleştirilmiştir.

4.1.6. Standart süre hesaplama modelinin istatistiksel olarak tanımlanması

Üretim istasyonlarında parçaların tamamlanması için gerçekleştirilen işlemler, bazen üretilecek parça sayısına bağlı olarak değişebilirken, bazı durumlarda parça miktarından bağımsız bir süre gerektirebilir. Örneğin, üretilecek X parçasının miktarı 1 adet de olsa 10 adet de olsa, çalışan personel yalnızca bir kez işçilik kapatma işlemi gerçekleştirir ve bu işlem sırasında tamamlanan işin bilgileri sisteme kaydedilir.

Eğer üretim dokümanında reçine emdirme işlemi talep edilmişse ve üretim yapılacak kalıp (tool) iki adet parça bulunuyorsa, personel her iki parçaya yetecek olan reçinenin hazırlama işlemini gerçekleştirmesi gerekmektedir. Üretim sırasında bir kez yapılan ve tüm parçalar için ortak olan faaliyetler “toplam yan faaliyet süresi” olarak tanımlanırken, her parçaya özel olarak tekrar eden işlemlerin süreleri ise “toplam ana faaliyet süresi” olarak ifade edilmektedir.

Literatür taramaları ve işletmeden elde edilen veriler ışığında, üretim istasyonunda üretilen parçanın standart üretim süresi, aşağıda belirtilen tahmin modeli kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\hat{y}_i(k) = (\hat{t}_i + \hat{\kappa}_i(k)x_i) \times t_i \times z_j \quad (4.1)$$

Denklem 4.1’de yer alan parametrelere ait açıklamalar aşağıdaki gibidir.

- $\hat{y}_i(k)$: k parçasının üretimine ait standart üretim süresinin tahminini,
- $\hat{t}_i$: parça üretimi için yapılan toplam yan faaliyet süresi tahminini,
- $\hat{\kappa}_i(k)$: parça üretiminde bağımlı olan faaliyetlerin toplam ana faaliyet süresi tahminini,
- x_i : üretimi yapılacak toplam parça adedini,
- t_i : üretim anındaki çalışma temposunu,
- z_j : üretim istasyonu için belirlenen ek paylara ait katsayı

Toplam yan faaliyet süresi denklem 4.2, toplam ana faaliyet süresi ise denklem 4.3’ deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\hat{t}_i = \sum_{p=1}^m \hat{\alpha}_p \quad (4.2)$$

$$\hat{\kappa}_i(k) = \sum_{l=1}^n \hat{s}_l(k) \quad (4.3)$$

Çalışma yapılan üretim istasyonundaki yan faaliyetlere ait aktivitelerin adedi m , ana faaliyetlere ait aktivitelerin adedi ise n ile gösterilmektedir. Ayrıca her bir aktivitenin üretim süresini etkilediği parametreleri belirlenip bu parametrelere göre gruplar oluşturulmaktadır.

4.1.7. Standart üretim süresi model parametrelerinin tahmin edilmesi

4.1.6’da açıklanan standart üretim süresi modelinde, parça adedi, tool bilgisi, çalışma temposu katsayısı, ek paylar katsayısı gibi parametrelere ait veriler önceden tanımlıdır. Ancak, toplam yan faaliyet süresi ve toplam ana faaliyet süresi kapsamında bulunan üretim aktivite sürelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Toplam yan faaliyet

süresi içerisindeki aktiviteler, her bir tool (ister tek parça üretilecek şekilde ister iki parça üretecek şekilde olsun) için yalnızca bir kez gerçekleştirildiği için, bu sürelerin tahmininde temel istatistiksel yöntemler kullanılabilir. Bu bağlamda, verilerin dağılımını analiz etmek ve ortalama değerleri hesaplamak gibi istatistiksel yaklaşımlar, sürelerin doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlayabilir.

Tez çalışmasının 5. Bölümünde sunulan uygulama örneğinde, toplamsal bir tahmin yöntemi kullanılarak tahminler yapılmıştır. Tool boyutlarına bağlı olarak değişkenlik gösteren aktivite sürelerinin doğru şekilde tahmin edilmesi, daha detaylı ve kapsamlı bir analiz sürecini gerektirmektedir. İncelenen üretim istasyonunda, toplam ana faaliyet süresini oluşturan üretim aktivitelerinden bazıları, tool boyutlarının farklılığına bağlı olarak süre açısından değişkenlik göstermektedir.

Üretim çeşitliliğinin yüksek olduğu istasyonlarda, aktivite sürelerinin parça özelliklerine göre farklılık göstermesi tahmin sürecini oldukça karmaşık hale getirmektedir. Aktivite sürelerini etkileyen faktörlerin tanımlanması ve bu faktörlerin süreler üzerindeki etkilerinin büyüklüğünün analiz edilmesi, tahmin doğruluğunu artırmak için temel bir gerekliliktir.

Bu tez çalışmasında, çeşitli özelliklere sahip aktivitelerin tahmin edilmesi amacıyla farklı istatistiksel yöntemler değerlendirilmiş, özellikle tool özelliklerinin etkisiyle farklılık gösteren aktivite sürelerinin öngörülmesi için Minitab ve RapidMiner uygulamalarında yer alan regresyon analizi yöntemi uygulanmıştır. Uygulanan yöntemlerin karşılaştırmalı sonuçları elde edilmiş olup, ilgili parametre tahminlerine ilişkin detaylı açıklamalar Bölüm 5’te yer almaktadır.

4.1.8. Standart üretim süresinin hesaplanması

İstatistiksel analizlerle elde edilen model parametreleri, parçanın standart üretim süresini tahmin etmek için toplam süre modeli içerisinde kullanılarak $\hat{y}_i(k)$ değeri oluşturulur. Genellikle işletmelerde, üretim süreçlerine ilişkin veriler, şirket sunucularında barındırılan merkezi veri tabanlarında muhafaza edilir.

Modelin ihtiyaç duyduğu verilerin gerçek zamanlı ve güncel bir şekilde temin edilmesi, bu verilerin işlenmesi ve elde edilen sonuçların düzenli, sistematik ve otomatik bir yapı içerisinde raporlanabilmesi için Microsoft SQL Server Management Studio yazılımı tercih edilmiştir. Bu yazılım, veri yönetimini kolaylaştırırken aynı zamanda hesaplama süreçlerinin hızlı ve hatasız bir şekilde yürütülmesine olanak sağlamıştır.

Ayrıca, raporlama işlemlerinin otomasyonu sayesinde model performansının izlenmesi ve iyileştirme süreçlerinin desteklenmesi hedeflenmektedir.

4.1.9. Model doğrulaması kapsamında Shewhart kontrol grafikleri kullanımı

Parça üretim sürelerinin belirlenmesinin ardından, bu süreler üretim planlama sürecine entegre edilerek ilgili planlamalar yapılır. Üretim istasyonunda çalışma başladığında, görevli personel, parçanın ana faaliyetlerine ait üretim sürecini sistemsel olarak başlatır ve yeni bir parçanın üretimine geçişe kadar geçen süreyi kaydetmek üzere sisteme giriş yapar.

Sistemde kayıtlı olan gerçekleşme süreleri ile toplamsal tahmin modeli kullanılarak hesaplanan tahmini süreler arasındaki farklar, kontrol grafikleriyle düzenli olarak takip edilir. Eğer modelin tahmin ettiği değerler ile gerçek veriler arasında beklenmeyen bir sapma gözlemlenirse, "üretim istasyonundaki standart üretim aktivitelerinin tamamlanması" adımına geri dönülür. Bu adımda, öncelikle standart işlemler detaylı bir şekilde kontrol edilir ve standart dışı adımlar belirlenirse, süreçte gerekli iyileştirmeler yapılır. Eğer sapma, modelde yeterli temsil edilemeyen parçalardan kaynaklanıyorsa, bu parçalar modele eklenerek modelin doğruluğu artırılır. Ardından, kontrol grafikleri güncellenmiş kontrol limitleriyle tekrar oluşturulur ve süreç izlemeye devam edilir.

Tahmin edilen sürelerin doğrulanması sürecinde, kontrol grafikleri kullanılarak tahmin hatalarını analiz eden yaklaşımı temel alınmış ve bu grafiklerden elde edilen sinyallerin, gerektiğinde modelin tahmin doğruluğunu artırmak için girdi olarak değerlendirilmesi sağlanmıştır. Bu yöntemle, sürekli iyileşme hedefleyen bir prosedür uygulanmıştır.

Anlatılan prosedür, kaynakların sınırlı olduğu ve parça çeşitliliği ile adetinin oldukça fazla olduğu üretim istasyonlarında uygulanmaktadır. Geleneksel gözlem yöntemleri, dinamik ve sürekli değişen bu tür istasyonlarda yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, sürekli güncellenebilir bir yapıya sahip, kaynakları verimli kullanan ve hızlı sonuçlar üreten bir yaklaşım gereklidir. Örneğin, 9999 farklı parçanın işlendiği bir üretim istasyonunda, eğer sınırsız kaynaklar mevcut olsaydı, her parçanın tek tek gözlemi yapılabilir ve her yeni parça için bu süreç kolayca tekrarlanabilirdi. Ancak, gerçek işletmelerde kaynaklar sınırsız olmadığı için, mevcut kaynakların etkin kullanımıyla mümkün olan en hızlı ve en doğru sonuçları elde edecek yöntemlerin benimsenmesi

zorunludur. Bu yaklaşım, kaynak kısıtlarının bulunduğu ortamlarda üretim süreçlerini daha verimli hale getirmeyi amaçlamaktadır. Bu sebepten modelin kolaylıkla iyileştirilebilecek olması avantaj olmaktadır.

Materyal ve metot bölümünde, süreç boyunca uygulanan teknik yöntemler detaylandırılmış ve önerilen prosedürün uygulama adımları, Bölüm 5'te yer alan örnek çalışma üzerinden kapsamlı bir şekilde açıklanmıştır.



5. BULGULAR ve DEĞERLENDİRMELER

Bu kısımda bir önceki bölümde yer alan ‘’Standart Üretim Süresi Tahmin Prosedürü’’ kapsamındaki örnek çalışmaya ait detaylar verilmektedir.

5.1. Çalışmanın Yapılacağı Üretim İstasyonunun Belirlenmesi

Çalışmanın yapılmış olduğu işletmede birbirinden farklı birçok üretim sürecine hizmet eden çeşitli üretim istasyonları bulunmaktadır. Bu üretim istasyonları arasında seçilen RTM istasyonu, farklı havacılık projelerinin isterlerinin karşılanması kapsamında parçaların üretiminin gerçekleştirildiği kritik bir üretim alanıdır.

Üretim hattına sürekli olarak farklı boyutlarda ve farklı özelliklerde yüzlerce parçanın gelmesi, standart üretim sürelerini belirlemek için geleneksel yöntemlerin etkisiz kalmasına yol açmaktadır. Bu durum, değişken üretim koşullarına uyum sağlayabilecek daha esnek ve modern yöntemlerin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu bağlamdaki RTM istasyonu, önerilen prosedürün değerlendirilmesi ve uygulanabilirliği kapsamında uygun bir üretim istasyonu olarak tercih edilmiştir.

5.2. Belirlenen Üretim İstasyonunun Mevcut Durum Analizi

RTM istasyonu için gerçekleştirilecek çalışma kapsamında, sahada detaylı bir inceleme yapılmıştır. İstasyonun düzeni, iş akışları ve standart faaliyetlerin belirlenmesi amacıyla üretime ilişkin dokümanlar titizlikle değerlendirilmiştir. Çalışmaya konu olan üretim istasyonu ile ilgili genel bilgiler aşağıda yer almaktadır.

- Üretim istasyonunda, 2 vardiya temelinde bir çalışma düzeni uygulanmakta olup, bu sistemde toplam 16 farklı teknisyen görev yapmaktadır.
- RTM yöntemi ile çalışan 8 farklı üretim istasyonu mevcuttur.
- Parçaların üretim planları, üretim planlama ve kontrol birimi tarafından her vardiya için düzenlenmekte ve bu planların süreleri geçmiş üretim verilerinden faydalanılarak belirlenmektedir. Bu yöntem, literatürde açıklanan geçmiş üretim kayıtlarının süre tahmininde kullanılması yöntemine uygun bir uygulama olarak dikkat çekmektedir.

- Üretim planlarına bağlılık oranı ise genellikle yüksektir.
- İstasyonun faaliyet göstermeye başladığı tarihten itibaren, önümüzdeki yıllar boyunca yüzlerce farklı parçanın üretilmesi planlanmıştır. Ancak, üretilmesi gereken parçaların türleri ve miktarları sürekli güncellenmekte olduğundan mevcut durum analizine ilişkin veriler, analiz tarihindeki geçerli bilgileri kapsamaktadır.

5.3. Üretim İstasyonundaki Standart Üretim Aktivitelerinin Tanımlanması

Parça üretimine ilişkin talimatlar dikkatlice değerlendirilmiş ve istasyonda görevli teknik ekip ile yapılan görüşmeler doğrultusunda gerekli bilgiler toplanmıştır. Gerçekleştirilen saha ziyaretleri ve mevcut üretim dokümanlarının incelenmesi sayesinde standart faaliyetler tanımlanmış, bu faaliyetler gözlem yoluyla analiz edilerek süreç detayları ortaya konmuştur.

Üretim süreçleri için belirlenen aktiviteler, REFA standartları esas alınarak düzenlenmiştir. REFA standartları, iş süreçlerini sistematik bir biçimde analiz etmek ve iyileştirmek amacıyla yapılandırılmış bir yöntem sağlamaktadır. Bu aktiviteler yan faaliyet ve ana faaliyet olarak ikiye ayrılmaktadır.

Yan faaliyetler, bir teknisyenin asıl görevinin dışında, esas işi desteklemek amacıyla gerçekleştirdiği ancak doğrudan üretim veya hizmet sürecine etkisi olmayan faaliyetlerdir. Bu yan faaliyetler, genellikle verimliliği artırmayı amaçlayan tamamlayıcı nitelikteki işlerdir.

Ana faaliyetler ise, teknisyenin asıl sorumluluğu, ürün üretimi veya hizmet sunumu süreçlerine doğrudan katkı sağlayan ve işlemin temel hedefleriyle ilişkili faaliyetlerdir. Bu ana faaliyetler, işin verimlilik ve üretkenlik düzeyini belirlenmesinde büyük bir rol oynar. Bu nedenle analizlerin en kritik kısmını teşkil eder.

Tanımlanmış olan yan faaliyetlere ait aktiviteler ile açıklamaları aşağıdaki gibidir.

- İşçilik Girme: Üretim sürecinde çalışanların gerçekleştirdiği tüm faaliyetlerin kayda alınması ve bu faaliyetlerin izlenmesi sürecini ifade etmektedir.

- Tool Taşıma: Üretimi yapılacak parçalar için kullanılan toolların giren alanından alınıp ilgili üretim istasyonuna taşınması ve üretimi tamamlanan parçalara ait toolların çıkan alanına yerleştirilmesi işlemleridir.
- Reçine Hazırlık: Reçine bazlı malzemelerin reçine emdirme işlemi için uygun hale getirilmesi amacıyla gerçekleştirilen hazırlık işlemleri sürecini ifade etmektedir.
- Markalama: Üretim süreci tamamlanan iş parçası üzerine, parça ile ilgili bilgilerin eklenmesi işlemini tanımlamaktadır.
- Reçine Doldurma: Parça üretimi için kullanılacak olan reçinenin gerekli gramajda ölçülerek uygun bir kaba doldurulması işlemidir.
- Reçine Taşıma: Doldurulan reçinenin RTM tezgahına taşınması işlemine ait süreci ifade etmektedir.
- Hazneye Reçine Yerleştirme: Uygun gramajda hazırlanan reçinenin RTM üretimimin yapılacağı istasyonun haznesine yerleştirilmesi işlemini ifade etmektedir.
- Kapak Kapama: Reçine yerleştirme işlemi tamamlandıktan sonraki hazneye ait kapağın kapatılması işlemi olarak tanımlanmaktadır.
- Kalıp Vakum Testi: Kalıp içerisinde hava boşluklarının varlığını belirlemek amacıyla uygulanan ve vakum altında kalıbın sızdırmazlığını değerlendirmek için gerçekleştirilen bir kontrol işlemidir.
- Tank Vakum Testi: Tankın sızdırmazlık ve dayanıklılığını kontrol etmek amacıyla gerçekleştirilen bir vakum test prosedürüdür.
- Parça Bilgi Kayıt: Üretimi yapılan parçalara ait bilgilerin elektronik ortamına kaydedilmesi işlemidir.
- Enjeksiyon Hortumu Sökme: Çalışılan toollarda yer alan enjeksiyon hortumlarının parça üretimi sonrasında toollardan sökülmesi işlemidir.
- Soğutma Hortumu Sökme: Soğutma işlemi için kullanılan hortumların parça üretimi sonrası sökülmesi işlemidir.
- Termocouple Sökme: Parça üretimi esnasında sıcaklık ölçümü için kullanılan termocouplelerin parça üretimi tamamlandıktan sonra sökülme işlemidir.
- Yardımcı Ekipman Hazırlık: Parça üretimi sürecinde kullanılacak olan ekipman ve yardımcı malzemelerin hazırlanması işlemidir.

- İşçilik Bitirme: Üretimi tamamlanan parçaların elektronik ortamdaki takip sisteminde tamamlandığına dair mührün vurulması işlemidir.

Tanımlanmış olan ana faaliyetlere ait aktiviteler ve bu aktivitelere ait açıklamalar aşağıdaki gibidir.

- Tool Isıtma: RTM istasyonunda parça reçine emdirme işlemi yapılmadan önce parçalara ait toolların ısıtılarak optimum çalışma sıcaklığına ulaşması işlemidir.
- Reçine Emdirme: Parça üretimi kapsamında ilgili tool içerisine istenilen değerlere göre reçinenin enjekte edilmesi işlemidir.
- Tool Soğutma: Reçine emdirme işlemi tamamlanana parçalara ait toolların verilen değerlere göre soğutulması işlemidir.

5.4. Üretim İstasyonunda Gözlem Yapılması

Parça üretim süreçlerinin analizinde, literatürde vurgulanan yöntemlerden biri olan video kayıt tekniği tercih edilmiştir. Bu kapsamda, üretim aşamaları, gözlem konusunda uzman kişilerin yönlendirmesiyle FDR-AX100E 4K Sony Video Kamera kullanılarak baştan sona kaydedilmiştir.

Planlama süreci dışında parça üretiminin maliyetinin yüksek seviyelerde olması olması ve üretim istasyonundaki yoğunluk nedeniyle, çalışma esnasında üretimi gözlemlenen parçalar farklı boyutlara sahip toollardan seçilmiştir. Bu yaklaşım ile üretim ve planlama sürecine ek bir maliyet yaratmadan gözlem yapılması mümkün kılınmıştır. Yapılan gözlemler dijital ortama aktarılmış ve bu sayede gözlem analizleri için gerekli temel hazırlıklar tamamlanmıştır.

Video kayıt tekniği ile gözlem alınırken aşağıda yer alan hususlara dikkat edilmiştir;

- Çalışma yapılacak olan toollar ve parçalar belirlenmiştir.
- Çalışmayı gerçekleştirecek teknisyen belirlenmiştir.
- Parça üretimi sürecinde video kayıt noktaları ve kamera açıları belirlenmiştir.
- Parça üretimi sırasında standart prosedürlerin eksiksiz bir şekilde uygulandığından emin olunmuştur.

- Birden fazla teknisyenin yer aldığı durumlarda kamera sayısı artırılarak çekim yapılmıştır.
- Kameralar parça üretimi esnasında işlemleri detaylıca görececek şekilde bir pozisyonlandırılmıştır.
- Video kaydı alınırken, kamera ekranı dikkatle kontrol edilmiş ve kaydedilen hareketlerin ve işlemlerin anlaşılabilir olduğundan emin olunmuştur.

5.5. Video Kayıtların Analiz Edilip Aktivite Sürelerinin Belirlenmesi

Video kayıtları üzerinden yapılan gözlemler, bölüm 5.3'te belirtilen standart aktivite gruplarına ayrılmıştır ve analiz işlemleri Timer Pro Professional yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir üretilen parçanın saniye bazındaki standart aktivite süreleri hesaplanmış ve bu veriler yazılım aracılığıyla Microsoft Excel formatında çıkarılmıştır. Analize dair Timer Pro Professional yazılımından alınan örnek Microsoft Excel çıktısı Ek-1'de bulunmaktadır.

Yazılım tabanlı durdur-başlat yöntemiyle kaydedilen her bir gözleme ait aktivite süreleri, bölüm 5.7 kısmında yer alan istatistiksel yöntemlerden faydalanılarak standart aktivite sürelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

5.6. Standart Süre Hesaplama Modelinin İstatistiksel Olarak Tanımlanması

Bölüm 4.1.6'da açıklanan genel kapsamlı formüle dayanarak tahmin modeli oluşturulmuş ve bu modelde tempo %100 normal olarak kabul edilmiştir. RTM üretim istasyonu için kullanılan ek pay katsayısı, geçmişte gerçekleştirilen iş örnekleme çalışmasından elde edilen %4 değerine dayandırılmıştır. Ek paylarla ilgili detaylı açıklamalar, Bölüm 3.3.1'in altında yer alan 'Standart Temponun Belirlenmesi' başlığı altında verilmiştir.

Gözlemlerin değerlendirilmesi sürecinde, metodolojide tanımlanan ana ve yan faaliyet sürelerine etki eden aktiviteler ile tool boyutları arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Bu ilişki, Minitab programında bulunan regresyon analizi toolları kullanılarak doğrulanmış ve aktivite sürelerinin tool hacmine bağlı olarak değişeceği farklı gruplara ayrılmıştır. Bu bağlamda oluşturulan genel tahmin modeli denklem 5.1'deki gibidir.

$$\hat{y}_i(k) = (\hat{t}_i + \hat{\kappa}_i(k)x_i) \times t_i \times z_j \quad (5.1)$$

Denklem 5.1’de yer alan parametreler incelendiğinde $\hat{y}_i(k)$ k parçasının üretimine ait standart üretim süresinin tahminini, $\hat{t}_i$ parça üretimi için yapılan toplam yan faaliyet süresi tahminini, $\hat{\kappa}_i(k)$ parça üretiminde bağımlı olan faaliyetlerin toplam ana faaliyet süresi tahminini göstermektedir. Başta belirtilen bilgiler ışığında $t_i=1$ ve $z_j=1.04$ alınıp toplam yan faaliyet süresi ve toplam ana faaliyet süresi aşağıdaki biçimde hesaplanmıştır.

$$\hat{t}_i = \sum_{p=1}^m \hat{\alpha}_p \quad (5.2)$$

$$\hat{\kappa}_i(k) = \sum_{l=1}^n \hat{s}_l(k) \quad (5.3)$$

Denklem 5.2 ve denklem 5.3’te yer alan parametreler incelendiğinde, $\hat{\alpha}_p$ çalışma yapılan üretim istasyonundaki yan faaliyetlere ait süre tahmini, $\hat{s}_l(k)$ ana faaliyetlere ait süre tahminini, m yan faaliyetleri oluşturan aktivitelerin adedini, n ise ana faaliyetlere ait aktivitelerin adedini göstermektedir.

Parça sayısı 1 olan toollar için genel tahmin modelinden çıkartılan süre tahmin modeli denklem 5.4’teki gibidir.

$$\hat{y}_i(k) = ((\hat{\alpha}_1 + \hat{\alpha}_2 + \hat{\alpha}_3 + \hat{\alpha}_4 + \hat{\alpha}_5 + \hat{\alpha}_6 + \hat{\alpha}_7 + \hat{\alpha}_8 + \hat{\alpha}_9 + \hat{\alpha}_{10} + \hat{\alpha}_{11} + \hat{\alpha}_{12} + \hat{\alpha}_{13} + \hat{\alpha}_{14} + \hat{\alpha}_{15}) + (\hat{s}_1(k) + \hat{s}_2(k) + \hat{s}_3(k))) \times t_i \times z_j \quad (5.4)$$

Buradan toplam yan faaliyet süresi denklem 5.5, toplam ana faaliyet süresi ise denklem 5.6’daki gibi hesaplanmaktadır.

$$\hat{t}_i = \sum_{p=1}^{15} \hat{\alpha}_p \quad (5.5)$$

$$\hat{\kappa}_i(k) = \sum_{l=1}^3 \hat{s}_l(k) \quad (5.6)$$

Denklem 5.4, 5.5 ve 5.6’da yer alan aktivitelere göre yan faaliyetleri oluşturan parametreler aşağıdaki gibidir.

- $\hat{\alpha}_1$: İşçilik girme aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre
- $\hat{\alpha}_2$: Reçine taşıma aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre
- $\hat{\alpha}_3$: Hazneye reçine yerleştirme aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre
- $\hat{\alpha}_4$: Kapak kapama aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre
- $\hat{\alpha}_5$: Kalıp vakum testi aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre
- $\hat{\alpha}_6$: Tank vakum testi aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre
- $\hat{\alpha}_7$: Enjeksiyon hortumu sökme aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre
- $\hat{\alpha}_8$: Soğutma hortumu sökme aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre
- $\hat{\alpha}_9$: Termocouple sökme aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre
- $\hat{\alpha}_{10}$: Yardımcı ekipman hazırlık aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre

- $\hat{\alpha}_{11}$: İşçilik bitirme aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre
- $\hat{\alpha}_{12}$: Reçine hazırlık aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre
- $\hat{\alpha}_{13}$: Reçine doldurma aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre
- $\hat{\alpha}_{14}$: Parça bilgi kayıt aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre
- $\hat{\alpha}_{15}$: Markalama aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre

Denklem 5.4, 5.5 ve 5.6’da yer alan aktivitelere göre çıkarılan formüllerdeki ana faaliyetleri oluşturan parametreler aşağıdaki gibidir.

- $\hat{s}_1(k)$: Tool ısıtma aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre
- $\hat{s}_2(k)$: Reçine emdirme aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre
- $\hat{s}_3(k)$: Tool soğutma aktivitesinin yer aldığı grup bazlı birim süre

Parça sayısı 1’den büyük olan toollar için genel tahmin modelinden çıkartılan süre tahmin modeli denklem 5.7’deki gibidir.

$$\hat{y}_i(k) = ((\hat{\alpha}_1 + \hat{\alpha}_2 + \hat{\alpha}_3 + \hat{\alpha}_4 + \hat{\alpha}_5 + \hat{\alpha}_6 + \hat{\alpha}_7 + \hat{\alpha}_8 + \hat{\alpha}_9 + \hat{\alpha}_{10} + \hat{\alpha}_{11} + \hat{s}_1(k) + \hat{s}_3(k)) + ((\hat{s}_2(k) + \hat{\alpha}_{12} + \hat{\alpha}_{13} + \hat{\alpha}_{14} + \hat{\alpha}_{15})x_i)) \times t_i \times z_j \quad (5.7)$$

Reçine emdirme işleminin ($\hat{s}_2(k)$) çalışma süresi, her bir tool hacmi için farklılık gösterdiği için, bu işlemde grup bazlı ortalama birim süre yerine ayrı bir model uygulanmıştır. Bu bağlamda geliştirilen tahmin modelinin detayları Bölüm 5.7’de kapsamlı bir şekilde sunulmuştur.

Üretimi yapılan parçaların gerçekleşme süreleri ile tahmin edilen sürelerin kıyaslanması ve izlenmesi için tahmin hataları denklem 5.8’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$e_i = \hat{y}_i(p) - y_i(p) \quad (5.8)$$

5.7. Standart Üretim Süresi Model Parametrelerinin Tahmin Edilmesi

Model oluşturulurken kullanılan aktivitelere ait parametrelerin bazıları tool özellikleri ve boyutları ile bağımlıyken bazı parametreler ise bundan bağımsız rol oynamaktadır. Bağımsız ve bağımlı parametrelere önceki bölümlerde değinilmiştir.

Üretim sürecinde farklı parça üretiminin gerçekleştirildiği 40 farklı toola ait video gözlem çalışmaları yürütülmüştür. Bu gözlemler, üretim sırasında kaydedilmiş ve analiz sürecinde Timer Pro Professional yazılımı kullanılarak detaylı olarak incelenmiştir. Analiz sürecinde, her bir aktivite ayrıntılı şekilde değerlendirilmiş ve ilgili operasyonların süreleri titizlikle ölçülmüştür. Çalışılan 40 farklı tool üzerinde gerçekleştirilen analizler

sonucunda, her bir aktiviteye ilişkin işlem süreleri belirlenerek üretim süreçlerinin zaman bazlı değerlendirilmesi yapılmıştır.

Farklı tool boyutlarının çalışma süreleri üzerinde değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, tool boyutlarına bağlı olarak bağımlı ve bağımsız değişkenler tanımlanmış ve üretim süresi tahminlerinin doğruluğunu artırmak amacıyla 'Tool Grupları' oluşturulmuştur. Tool boyutlarının değişmesiyle üretim sürelerindeki farklılıkların daha etkin bir şekilde modellenebilmesi için her bir tool grubu kapsamında belirli aktiviteler tanımlanmış ve bu aktiviteler için standart birim süreler belirlenmiştir. Tool gruplarının oluşturulma süreci ve her bir gruba ait aktiviteler için hesaplanan birim süreler, aşağıda sistematik adımlar halinde detaylandırılmıştır.

Adım 1:

Bu kapsamda gözlem alınan her bir tool için hacim bilgileri m^3 cinsinden hesaplanmıştır. Ardından tool boyutlarına göre bağımlı ve bağımsız değişken parametreleri belirlemek maksadıyla Minitab programında regresyon analizi kapsamındaki 'Fitted Line Plot' özelliği kullanılmıştır. Bu özellik kullanılırken 'Predictor' olarak 'Hacim (m^3)' belirlenmiş, 'Response' değerleri için ise analiz kapsamında oluşturulan tüm aktiviteler sırasıyla denenmiştir.

Analizler incelendiğinde tool büyüklüğü değiştikçe değişen parametreler tool ısıtma, reçine emdirme, tool soğutma, reçine hazırlık ve reçine doldurma aktiviteleridir. Bu aktivitelerin analizlerine ait görseller ve yorumlar aşağıda yer almaktadır.

Regression Analysis: TOOL ISITMA(sn) versus HACİM(m^3)

The regression equation is
TOOL ISITMA(sn) = 10207 + 30395 HACİM(m^3)

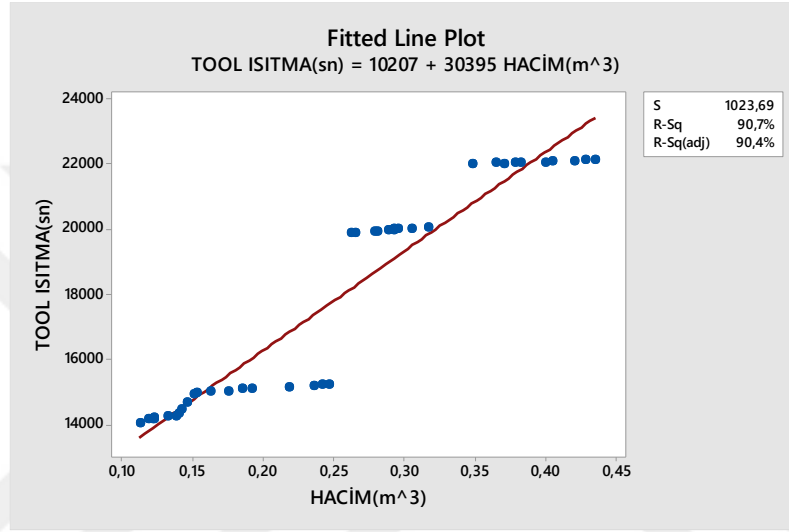
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
1023,69	90,65%	90,40%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	386080328	386080328	368,42	0,000
Error	38	39821526	1047935		
Total	39	425901855			

a)



b)

Şekil 5.1. Tool ısıtma süresi ve hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları

a) Model özeti

b) Uydurulmuş çizgi fonksiyonu

Şekil 5.1.a ve Şekil 5.1.b.’de yer alan ‘Tool ısıtma süresi ve hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları’ kapsamında tool hacmi arttıkça tool ısıtma süresi de tutarlı ve anlamlı biçimde artmakta olduğu görülmektedir. Regresyon modeli bu ilişkiyi %90,7 doğrulukla açıklamaktadır ve yüksek F değeri ile güvenilir bir sonuç sağlamaktadır. Bu sonuçlara göre tool ısıtma aktivitesini tool hacmine göre grup oluşturulması kapsamında bağımlı değişken olarak tanımlanabilir.

Regression Analysis: REÇİNE EMDİRME(sn) versus HACİM(m^3)

The regression equation is
 $REÇİNE EMDİRME(sn) = 322,0 + 5240 HACİM(m^3)$

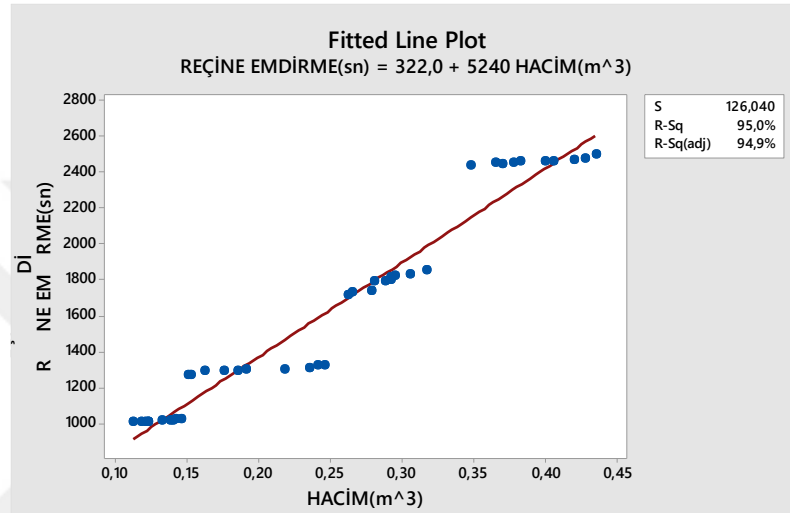
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
126,040	95,00%	94,87%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	11473900	11473900	722,26	0,000
Error	38	603669	15886		
Total	39	12077570			

a)



b)

Şekil 5.2. Reçine emdirme süresi ve hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları

- a) Model özeti
- b) Uydurulmuş çizgi fonksiyonu

Şekil 5.2.a ve Şekil 5.2.b.'de yer alan 'Reçine emdirme süresi ve hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları' kapsamında tool hacmi arttıkça reçine emdirme süresi de anlamlı ve doğrusal bir şekilde artmaktadır. Regresyon modeli bu ilişkiyi %95 doğrulukla açıklamaktadır. Modelin güçlü uyumu ve düşük sapma değeri sonucu reçine emdirme aktivitesini tool hacmine göre grup oluşturulması kapsamında bağımlı değişken olarak tanımlanabilir.

Regression Analysis: REÇİNE DOLDURMA(sn) versus HACİM(m³)

The regression equation is
REÇİNE DOLDURMA(sn) = - 3,31 + 805,0 HACİM(m³)

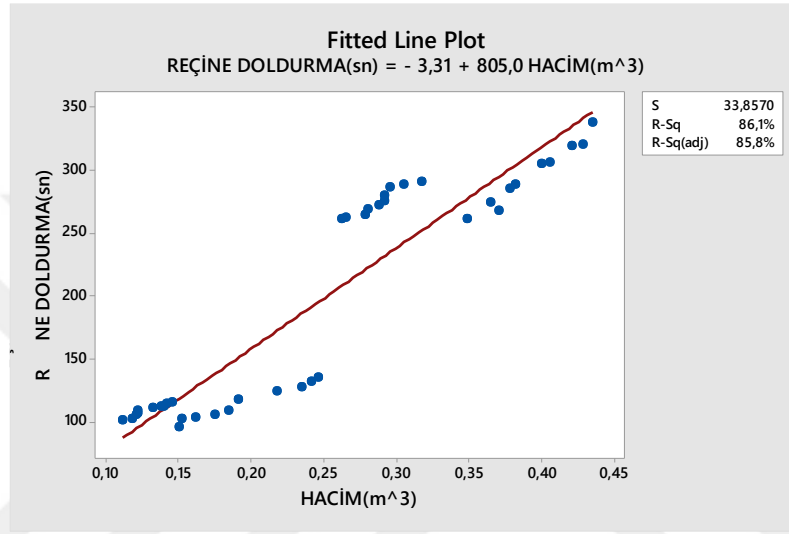
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
33,8570	86,14%	85,78%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	270790	270790	236,23	0,000
Error	38	43559	1146		
Total	39	314349			

a)



b)

Şekil 5.3. Reçine doldurma süresi ve hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları

a) Model özeti

b) Uydurulmuş çizgi fonksiyonu

Şekil 5.3.a ve Şekil 5.3.b.’de yer alan ‘Reçine doldurma süresi ve hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları’ kapsamında tool hacmi arttıkça reçine doldurma süresi de anlamlı ve doğrusal bir şekilde artmaktadır. Regresyon modeli bu ilişkiyi %86,1 doğrulukla açıklamaktadır. Modelin düşük sapma değeri sonucu reçine doldurma aktivitesini tool hacmine göre grup oluşturulması kapsamında bağımlı değişken olarak tanımlanabilir.

Regression Analysis: REÇİNE HAZIRLIK(sn) versus HACİM(m³)

The regression equation is
 $REÇİNE\ HAZIRLIK(sn) = 29,00 + 52,92\ HACİM(m^3)$

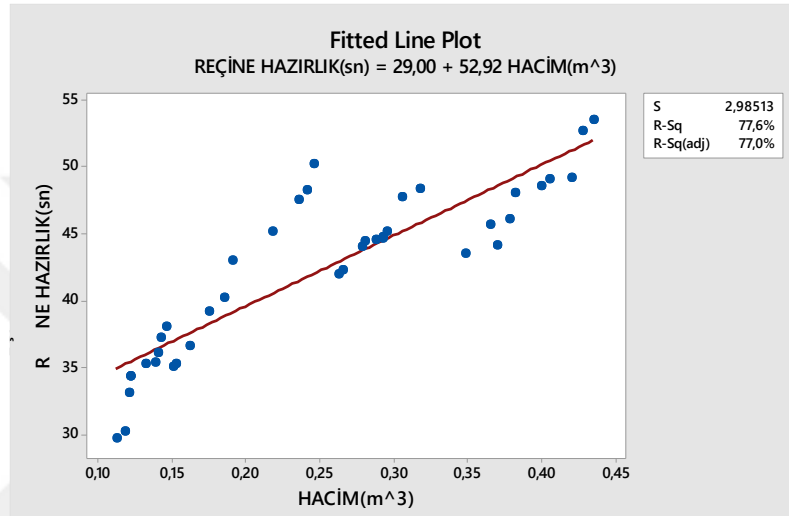
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
2,98513	77,56%	76,97%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1170,32	1170,32	131,33	0,000
Error	38	338,62	8,91		
Total	39	1508,94			

a)



b)

Şekil 5.4. Reçine hazırlık süresi ve hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları

- a) Model özeti
- b) Uydurulmuş çizgi fonksiyonu

Şekil 5.4.a ve Şekil 5.4.b’de yer alan ‘ Reçine hazırlık süresi ve hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları’ kapsamında reçine hazırlık süresi tool hacmine bağlı olarak anlamlı bir şekilde artmaktadır. Regresyon modeli bu ilişkiyi %77,6 doğrulukla açıklamaktadır. Standart sapmanın düşük olması ve P-değerinin anlamlı çıkması modelin güvenilir olduğunu göstermektedir. Reçine hazırlık aktivitesinin uyumunun diğer aktivitelere göre biraz daha düşük olmasına rağmen tool hacmine göre grup oluşturulması kapsamında bağımlı değişken olarak tanımlayabiliriz.

Regression Analysis: TOOL SOĞUTMA(sn) versus HACİM(m³)

The regression equation is
TOOL SOĞUTMA(sn) = 43,4 + 38932 HACİM(m³)

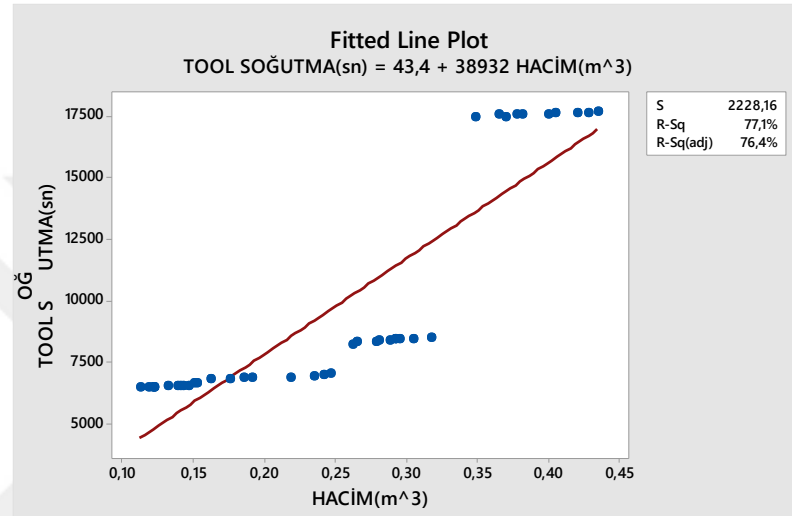
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
2228,16	77,05%	76,45%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	633416194	633416194	127,58	0,000
Error	38	188658936	4964709		
Total	39	822075131			

a)



b)

Şekil 5.5. Tool soğutma süresi ve hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları

a) Model özeti

b) Uydurulmuş çizgi fonksiyonu

Şekil 5.5.a ve Şekil 5.5.b’de yer alan ‘Tool soğutma süresi ve hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları’ kapsamında tool soğutma aktivitesine ait çalışma süresi tool hacmine bağlı olarak anlamlı bir şekilde artmaktadır. Regresyon modeli bu ilişkiyi %77,1 doğrulukla açıklamaktadır. Standart sapmanın düşük olması modelin güvenilir olduğunu göstermektedir. Tool soğutma aktivitesinin uyumunun da reçine hazırlık aktivitesi gibi olmasından bu aktivite de tool hacmine göre grup oluşturulması kapsamında bağımlı değişken olarak tanımlanmaktadır.

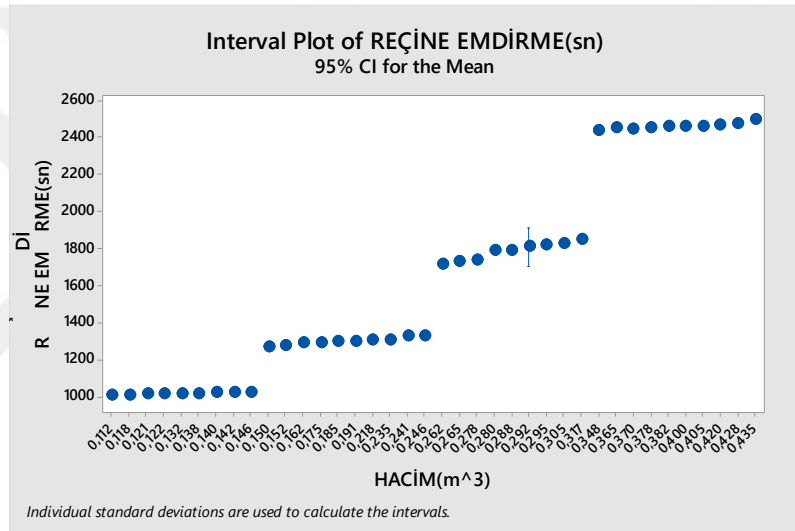
Diğer aktivitelerin analiz sonuçları incelendiğinde işçilik girme, markalama, reçine taşıma, hazneye reçine yerleştirme, kapak kapama, kalıp vakum testi, tank vakum testi, parça bilgi kayıt, enjeksiyon hortumu sökme, soğutma hortumu sökme, işçilik bitirme gibi aktivitelerin tool boyutları ile herhangi bir ilişkisi olmadığı saptanmıştır. Bu sebepten dolayı bu aktiviteler tool hacmine göre grup oluşturulması kapsamında hesaba

katılmamıştır. Tool büyüklüğünden bağımsız olan parametrelere ait sonuçlar Ek-2’de yer almaktadır.

Adım 2:

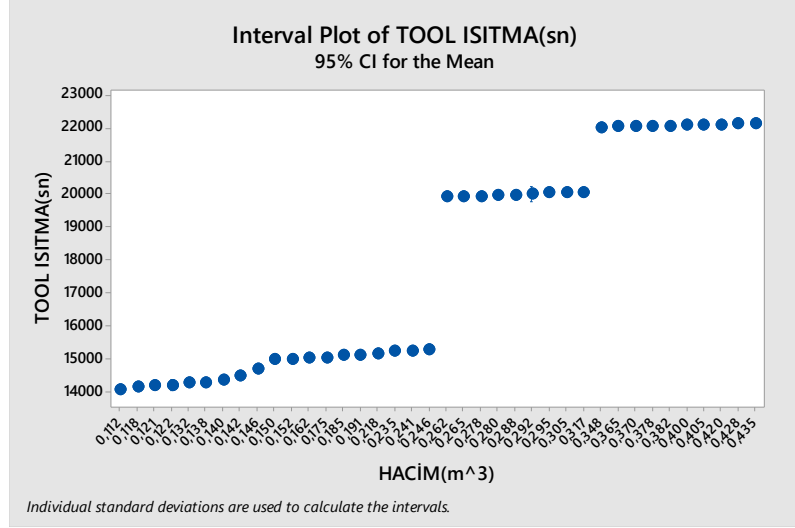
Regresyon analizleri sonucunda belirlenen bağımlı değişkenler Minitab programının ANOVA analizi kapsamında yer alan ‘Interval Plot’ özelliği kullanılarak analiz edilmiştir. Bu özellik kullanılırken ‘Graph Variables’ olarak bağımlı değişkenler kullanılmış ‘Categorical Variables for Grouping’ olarak ‘Hacim (m³)’ kullanılmıştır.

Analizler incelendiğinde tool büyüklüğü değiştikçe değişen bağımlı parametrelerin hangi aralıklarda anlamlı olduğu belirlenmiştir. Bu analizlerine ait bazı görseller ve yorumlar aşağıda yer almaktadır.



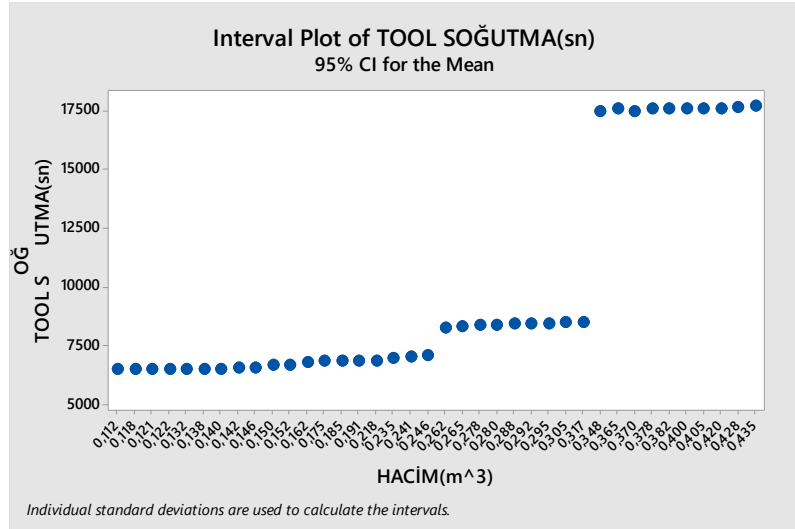
Şekil 5.6. Reçine emdirme süresi ve hacim arasındaki ilişki (İstatistiksel dağılım analizi)

Şekil 5.6’da yer alan ‘Reçine emdirme süresi ve hacim arasındaki ilişki (İstatistiksel dağılım analizi)’ kapsamında reçine emdirme aktivitesinin süresi genel bağlamda %95 güven aralığında hacim arttıkça arttığı gözlemlenmektedir. 0,146 m³ ve altında yer alan ilk grupta sürelerde belli bir küme içerisinde toplanmıştır. 0,146-0,246 m³ arasındaki ikinci grupta hacim arttıkça reçine emdirme süresi artış göstermektedir. Bu artış 0,246-0,350 m³ arasında daha belirgin hale gelmektedir. Son olarak 0,350-0,450 m³ arasındaki dördüncü grupta reçine emdirme süresi önemli bir sıçrama gösterip stabil hale gelmiştir.



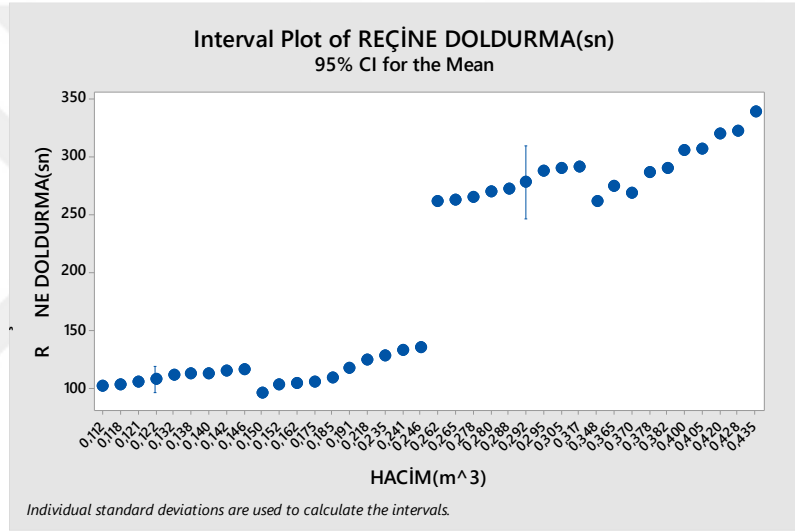
Şekil 5.7. Tool ısıtma süresi ve hacim arasındaki ilişki (İstatistiksel dağılım analizi)

Şekil 5.7’de yer alan ‘Tool ısıtma süresi ve hacim arasındaki ilişki (İstatistiksel dağılım analizi)’ kapsamındaki tool ısıtma süresi ile hacim arasındaki ilişkinin %95 güven aralığında olduğu gözlemlenmektedir. 0,146 m³ ve daha küçük hacme sahip ilk grupta, tool ısıtma süreleri dar bir aralıkta yoğunlaşmış ve belirgin bir artış gözlemlenmemiştir. 0,146-0,246 m³ arasındaki ikinci grupta, hacim arttıkça tool ısıtma süresi kademeli bir şekilde yükselmiştir. 0,246-0,350 m³ arasındaki üçüncü grupta, tool ısıtma süresi önceki gruba kıyasla daha belirgin bir artış göstermiştir. 0,350-0,450 m³ aralığında ise tool ısıtma süresi önemli bir sıçrama yaparak üst seviyeye çıkmış ve bu noktadan sonra stabil hale gelmiştir. Genel olarak, hacim büyüdükçe tool ısıtma süresi artış göstermekte, ancak belirli bir hacim seviyesinden sonra değişim durarak sabit bir değere ulaşmaktadır.



Şekil 5.8. Tool soğutma süresi ve hacim arasındaki ilişki (İstatistiksel dağılım analizi)

Şekil 5.8’de yer alan ‘Tool soğutma süresi ve hacim arasındaki ilişki (İstatistiksel dağılım analizi)’ kapsamı tool soğutma süresi ile hacim arasındaki ilişkiyi göstererek %95 güven aralığında ortalama değerleri sunmaktadır. 0,146 m³ ve altındaki ilk grupta, tool soğutma süreleri dar bir aralıkta toplanmış ve belirgin bir değişim göstermemiştir. 0,146-0,246 m³ aralığında hacmin artmasıyla birlikte soğutma süresi kademeli olarak yükselmiştir. 0,246-0,350 m³ arasındaki üçüncü grupta bu artış daha belirgin hale gelmiş ve soğutma süresi önemli ölçüde uzamıştır. 0,350-0,450 m³ aralığında ise soğutma süresi keskin bir sıçrama yaparak üst seviyeye ulaşmış ve burada sabitlenmiştir. Genel olarak bakıldığında, hacim büyüdükçe tool soğutma süresinin arttığı, ancak belirli bir noktadan sonra durağan bir seviyeye geldiği görülmektedir.



Şekil 5.9. Reçine doldurma süresi ve hacim arasındaki ilişki (İstatistiksel dağılım analizi)

Şekil 5.9’da yer alan ‘Reçine doldurma süresi ve hacim arasındaki ilişki (İstatistiksel dağılım analizi)’ kapsamı reçine doldurma süresi ile hacim arasındaki ilişkiyi göstererek %95 güven aralığında ortalama değerleri sunmaktadır. 0,146 m³ ve altındaki ilk grupta, doldurma süreleri dar bir aralıkta toplanmış ve belirgin bir değişim göstermemiştir. 0,146-0,246 m³ arasındaki ikinci grupta ise hacim arttıkça doldurma süresi kademeli olarak yükselmiştir. 0,246-0,350 m³ aralığında bu artış daha belirgin hale gelmiş ve süredeki yükseliş hızlanmıştır. 0,350-0,450 m³ seviyesinde ise doldurma süresi keskin bir sıçrama yaparak üst seviyeye ulaşmış ve burada nispeten sabit bir hale gelmiştir.

Analizler doğrultusunda, tool büyüklüğündeki artışın çalışma süresi üzerindeki etkisi incelenmiş ve tablo 5.1’de yer alan çizelgede belirtilen dört ayrı grup oluşturulmuştur.

Tablo 5.1. Tool grupları

Hacim(m ³)	Tool Grubu
$X \leq 0,146$	1
$0,146 < X \leq 0,246$	2
$0,246 < X \leq 0,350$	3
$0,350 < X \leq 0,450$	4

Adım 3:

Gruplar tanımlandıktan sonra, her bir gözlem için elde edilen aktivite süreleri Minitab’te yer alan ‘Descriptive Statistics’ özelliği kullanılarak analiz edilmiş ve her grup için ortalama aktivite süreleri hesaplanmıştır. Bu süreçte, değişkenliğin kontrol edilmesi amacıyla Minitab’ın ‘Boxplot’ aracı kullanılmış, ancak herhangi bir sıra dışı durum tespit edilmemiştir. Gruplara ait ortalama birim süreler tablo 5.2’de belirtilmiş olup, detaylı analiz sonuçları Ek-3’te yer almaktadır.

Tablo 5.2. Tool grubu bazında aktivitelere ait saniye cinsinden ortalama birim süreler

Aktivite Adımı	Grup 1 Ortalama Birim Süre (sn)	Grup 2 Ortalama Birim Süre (sn)	Grup 3 Ortalama Birim Süre (sn)	Grup 4 Ortalama Birim Süre (sn)
$\hat{\alpha}_1$	60,00	60,00	60,00	60,00
$\hat{\alpha}_2$	40,41	40,41	40,41	40,41
$\hat{\alpha}_3$	39,72	39,72	39,72	39,72
$\hat{\alpha}_4$	31,16	31,16	31,16	31,16
$\hat{\alpha}_5$	78,66	78,66	78,66	78,66
$\hat{\alpha}_6$	99,36	99,36	99,36	99,36
$\hat{\alpha}_7$	198,88	198,82	198,82	198,82
$\hat{\alpha}_8$	10,77	10,77	10,77	10,77
$\hat{\alpha}_9$	11,96	12,41	15,15	22,66
$\hat{\alpha}_{10}$	71,96	78,86	105,14	157,94
$\hat{\alpha}_{11}$	95,69	95,69	95,69	95,69
$\hat{\alpha}_{12}$	34,35	42,04	44,78	48,04
$\hat{\alpha}_{13}$	108,81	115,12	275,12	296,87
$\hat{\alpha}_{14}$	32,82	32,82	32,82	32,82
$\hat{\alpha}_{15}$	42,15	42,15	42,15	42,15
$\hat{s}_1(k)$	14273,00	15093,00	19960,00	22057,00
$\hat{s}_3(k)$	6500,10	6841,90	8385,80	17581,00
	21729,8	22912,8	29515,5	40893,0

Reçine emdirme parametresi ($\hat{\sigma}_2(k)$), tool boyutu ve k parçasına bağlı olduğundan diğer parametrelerden farklı olarak bir tahmin modeli biçiminde ele alınmıştır. Bu parametrenin modellenmesi için Minitab yazılımı ve veri madenciliği ile makine öğrenimi algoritmalarını içeren RapidMiner yazılımı kullanılarak iki farklı doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Her iki yazılımda oluşturulan modeller detaylı bir şekilde karşılaştırılmış, en yüksek doğruluk ve performansı sunan model tahmin modeli olarak seçilmiştir. Modeli seçimi sonrası kullanılacak olan modele ait Minitab yazılımında artıklar incelenmiştir. Bu analiz sürecine ilişkin sonuçlar ve karşılaştırmalar, kapsamlı olarak Bölüm 5.7.1’de açıklanmıştır.

5.7.1. Minitab ve RapidMiner kullanılarak reçine emdirme süresi tahmininin karşılaştırmalı analizi

Reçine emdirme süresi, kullanılan tooların boyutuna ve işlenen parça sayısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada, RTM istasyonunda üretilen parçalara ait analiz sonuçları ve işletmenin veri tabanında kayıtlı bilgiler analiz edilerek bir model oluşturulması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, üretim sürecine ait kayıtlar veri tabanından alınmış ve incelenmiştir. Üretilen her toola ait parçalar için reçine emdirme süresini etkileyen ve sistemde kaydedilmiş olan faktörler aşağıda belirtilmiştir.

- Üretilen parçaya ait parça numarası bilgisi
- Kullanılacak olan toolun boyut bilgisi
- Üretim esnasında gerekli olan emme basıncı bilgisi
- Üretim esnasında gerekli olan kür sıcaklığı bilgisi
- Üretim esnasında gerekli olan kür basıncı bilgisi

Önerilen metodoloji doğrultusunda, tahmin modellerine uygun ve işlenmiş veri setlerinin oluşturulması amacıyla veri ön işleme teknikleri uygulanmıştır. Bu süreçte, veri tabanından elde edilen ham veriler üzerinde çeşitli düzenleme ve filtreleme işlemleri gerçekleştirilmiş, böylece analizlerde kullanılacak temiz ve güvenilir bir veri yapısı oluşturulmuştur. Aşağıda, bu işlemlerin detayları sunulmaktadır.

- Veri tabanından alınan bilgilerin doğruluğunu sağlamak amacıyla, verilerin ilgili tablolardan eksiksiz ve hatasız bir şekilde aktarıldığının kontrol edilmesi,

- Analiz sürecine katkı sunmayan veya gereksiz olan veri sütunlarının veri setinden çıkarılması,
- Verilerin ayrıntılı olarak incelenmesiyle, benzer niteliklerin belirlenerek gruplandırılması ve ölçü birimlerinin standart hale getirilmesi (örneğin, tüm uzunluk değerlerinin metre cinsine çevrilmesi),

Belirtilen bu işlemler tamamlandıktan sonra, modelleme sürecinde kullanılabilecek doğrulanmış ve düzenlenmiş bir veri kümesi elde edilmiştir. Reçine emdirme süresinin tahmin edilmesi amacıyla oluşturulacak olan model için hem Minitab hem de RapidMiner programlarında yer alan regresyon tekniği uygulanmış ve analiz sonuçları aşağıda detaylandırılmıştır.

Minitab Regresyon Analizi Yöntemi ile Reçine Emdirme Süresi Tahmini:

Gerçekleştirilen gözlemler sonucunda 40 farklı parçaya ait toolun parça başına ölçülen reçine emdirme süreleri ve parçalara ait veri tabanından elde edilen bilgiler doğrultusunda regresyon analizi için veri seti oluşturulmuştur. Model oluşturulurken anlamlı olan değişken parametrelerinden tool hacmi veri setine dahil edilmiş olup, emme basıncı(bar), kür basıncı(bar), kür sıcaklığı(°C) her parça üretimi için sabit alındığından dolayı olarak analize dahil edilmemiştir. Bu veriler kullanılarak, reçine emdirme süresini tahmin etmeye yönelik bir model geliştirilmiş ve analiz süreci Minitab istatistiksel yazılımı aracılığıyla yürütülmüştür. Modelin çıktılarına ilişkin sonuçlar Şekil 5.10'da sunulmuş olup, analiz sırasında kullanılan varsayılan parametreler Ek 4'te detaylandırılmıştır.

Regression Analysis: REÇİNE EMDİRME SÜRESİ(sn) versus ... CİM(m^3)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	11473900	11473900	722,26	0,000
HACİM(m^3)	1	11473900	11473900	722,26	0,000
Error	38	603669	15886		
Lack-of-Fit	36	603539	16765	257,75	0,004
Pure Error	2	130	65		
Total	39	12077570			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
126,040	95,00%	94,87%	94,53%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	322,0	52,9	6,09	0,000	
HACİM(m^3)	5240	195	26,87	0,000	1,00

Regression Equation

$$\text{REÇİNE EMDİRME SÜRESİ(sn)} = 322,0 + 5240 \text{ HACİM(m}^3\text{)}$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	REÇİNE EMDİRME SÜRESİ(sn)	Fit	Resid	Std Resid	
11	1304,2	1553,4	-249,2	-2,00	R
14	1325,4	1610,4	-285,1	-2,29	R
20	1322,0	1584,8	-262,8	-2,11	R
37	2436,3	2145,5	290,9	2,36	R

R Large residual

Şekil 5.10. Reçine emdirme süresi ile hacim arasındaki regresyon analizi sonuçları

Analiz sonuçları, anlamlı değişken olan hacmin reçine emdirme süresi üzerindeki etkisini belirlemek ve modelin tahmin gücünü değerlendirmek için detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Regresyon analizinde elde edilen varyans analizi sonuçlarına göre, modelin toplam hata kareleri toplamı 11.473.900 olarak hesaplanmış ve bu değer değişken tarafından açıklanan varyansı yüksek düzeyde olduğu görülmüştür. F-değeri 722,26 olarak hesaplanmış olup, p-değeri 0,000 olduğundan modelin genel olarak istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum, hacmin reçine emdirme süresi üzerinde güçlü bir açıklayıcı etkisi olduğunu göstermektedir.

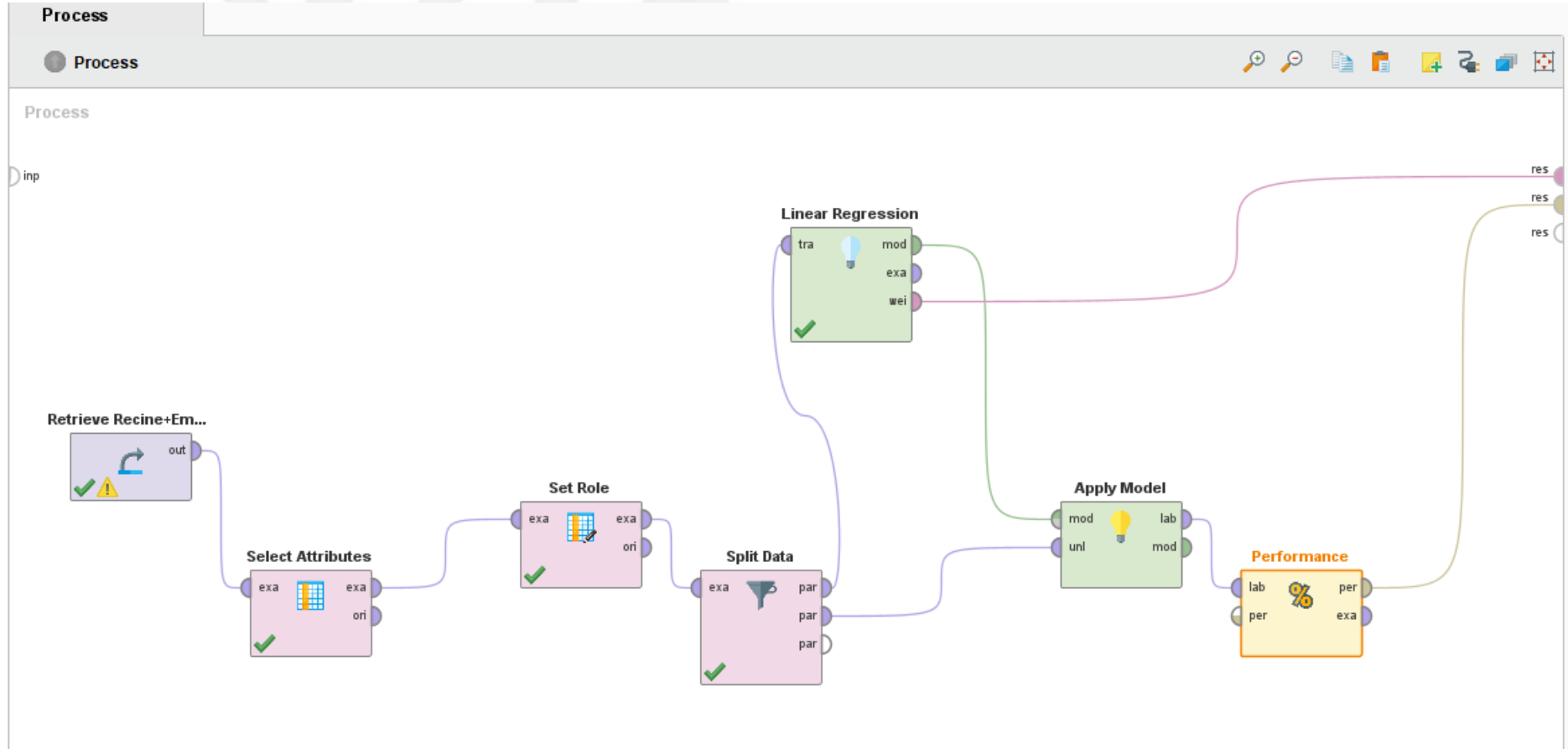
Modelin performansını değerlendirmek için hesaplanan R-kare değeri %95,00 olup, modelin bağımlı değişkenin toplam değişiminin %95'ini açıkladığını ortaya koymaktadır. Düzeltilmiş R-kare değeri %94,87, tahmin edilen R-kare değeri ise %94,53 olarak bulunmuş ve bu yüksek değerler modelin güvenilir ve doğruluk oranı yüksek bir tahmin modeli sunduğunu göstermiştir. Elde edilen katsayılar doğrultusunda sabit terim 322,0 olarak hesaplanmış olup, bu değer hacim sıfır olduğunda reçine emdirme süresinin 322,0 sn olacağını ifade etmektedir. Hacmin katsayısı ise 5240 sn olarak belirlenmiş ve

bu durum, hacimdeki her birimlik artışın reçine emdirme süresini 5240 sn artırdığını ortaya koymuştur. T-istatistiği 26,87 olup, p-değeri 0,000 olduğundan, değişkenin model içerisinde anlamlı olduğu görülmektedir.

RapidMiner Regresyon Analizi Yöntemi ile Reçine Emdirme Süresi Tahmini:

Minitab regresyon analizinde kullanılan 40 farklı tool için alınan gözlem sonuçları ile parçalara ait veri tabanından elde edilen bilgiler RapidMiner regresyon analizi kullanılarak incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5.11’de verilmiştir.





Şekil 5.11. RapidMiner ile reçine emdirmе süresi tahmin modeli iş akışı

Öncelikle, gözlem alınan veriler RapidMiner ortamına yüklenmiş ve veri seti üzerinde çeşitli ön işleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, modelin doğruluğunu artırmak için bağımsız değişkenler ve hedef değişken belirlenmiştir. Emme basıncı, kür basıncı ve kür sıcaklığı değişkenleri, öznitelik seçimi (select attributes) operatörü kullanılarak modelin dışında bırakılmıştır. Bunun temel nedeni, bu parametrelerin sabit olmasıdır. Bu tür değişkenlerin çıkarılması, modelin aşırı uyum (overfitting) riskini azaltmak ve daha basitleştirilmiş bir tahmin modeli oluşturmak için yapılır.

Veri ön işleme aşamasının bir diğer önemli adımı olarak, rol belirleme (set role) operatörü kullanılarak "Reçine Emdirme Süresi" hedef değişken (label) olarak atanmıştır. Bu adım, modelin bağımlı değişkenini tanımlayarak regresyon sürecinde bağımsız değişkenlere bağlı olarak nasıl tahmin edileceğini belirler. Hedef değişkenin doğru atanması, modelin bağımsız değişkenlerle olan ilişkisini belirleyebilmesi için kritik öneme sahiptir.

Daha sonra, veri bölme (split data) operatörü kullanılarak veri seti ikiye ayrılmıştır. Bu bölme işlemi, modelin doğruluğunu test edebilmek için gereklidir. Veri setinin %70'lik kısmı eğitim (training) verisi, %30'luk kısmı test (validation) verisi olarak ayrılmıştır. Eğitim veri seti, modelin parametrelerinin belirlenmesi için kullanılırken, test veri seti modelin yeni verilere karşı tahmin gücünü ölçmek için kullanılmıştır. Bu oran, genellikle makine öğrenmesi modellerinde dengeli bir performans elde etmek için kullanılan yaygın bir veri bölme oranıdır.

Modelleme aşamasında, doğrusal regresyon (linear regression) operatörü kullanılarak bir regresyon modeli oluşturulmuştur. Bu model, bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak modelleyerek tahmin edilebilir bir denklem modeli oluşturmuştur.

$$\hat{s}_2(k) = 314,80 + 5222,66 \times \text{Hacim}(m^3) \quad (5.9)$$

Denklem 5.9'da RapidMiner programında yer alan doğrusal regresyon modeli kullanılarak hacim (m^3) değişkeninin reçine emdirme süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Modelin elde ettiği regresyon denklemi, reçine emdirme süresinin hacim değişkenine bağlı olarak 5222,66 çarpanı ile arttığını ve başlangıç süresinin sabit terim olan 314,80 saniye olduğunu göstermektedir.

Modelin tahmin başarımı göreceli hata (relative error) metriği ile değerlendirilmiş olup, ortalama hata oranının %6,73 olduğu görülmüştür. Bu, modelin genel olarak tahmin ettiği reçine emdirme sürelerinin gerçek değerlerden ortalama %6,73 oranında sapabileceğini göstermektedir.

Bununla birlikte, hata oranı $\pm 5,02$ değişkenlik göstermektedir, yani belirli tahminler için hata oranı %1,71 seviyesine kadar düşebilirken, bazı durumlarda %11,75 seviyesine kadar çıkabilmektedir. Bu durum, bazı durumlarda modeldeki hata payının arttığını göstermektedir.

Row No.	REÇİNE EMDİRME SÜRESİ(sa)	prediction(REÇİNE EMDİ...	GÖZLEM	HACİM(m ³)	Emme Basın...	Cure Basınc...	Cure Sıcaklı...
1	1017.440	921.884	1	0.140	2	2.500	80
2	1005.270	925.819	7	0.112	2	2.500	80
3	1009.470	990.229	9	0.121	2	2.500	80
4	1304.242	1416.020	11	0.235	2	2.500	80
5	1268.970	1140.191	12	0.150	2	2.500	80
6	1292.010	1343.255	19	0.175	2	2.500	80
7	1734.750	1781.339	24	0.278	2	2.500	80
8	1827.580	1924.417	27	0.305	2	2.500	80
9	1714.390	1826.575	30	0.262	2	2.500	80
10	2450.940	2231.224	33	0.365	2	2.500	80
11	2459.540	2385.610	34	0.405	2	2.500	80
12	2457.160	2339.885	36	0.382	2	2.500	80

Şekil 5.12. RapidMiner ile test edilen veriler

Şekil 5.12’de yer alan görselde, bağımlı değişken olarak yalnızca hacim (m³) değişkeni modele dâhil edilerek reçine emdirme süresi tahmini gerçekleştirilmiştir. Diğer değişkenler olan emme basıncı, kür basıncı ve kür sıcaklığı sabit değerlere sahip olduğu için bağımsız değişken olarak tanımlanmış ve modele dâhil edilmemiştir. Ayrıca verilerin %70’inin eğitim (training) verisi, %30’unun test (validation) verisi olarak ayrıldığı görülmektedir. Bu ayrım, modelin eğitim sürecinde öğrenmesini sağlamak ve test aşamasında tahmin performansını değerlendirmek için yapılmıştır.

Gerçek reçine emdirme süreleri ile model tarafından tahmin edilen değerleri karşılaştırmaktadır. Örneğin, ilk gözlemde gerçek reçine emdirme süresi 1017.440 saniye iken model bu değeri 921.884 saniye olarak tahmin etmiştir. Benzer şekilde, yedinci gözlemde modelin tahmini 1734.255 saniye iken gerçek değer 1734.750 saniyedir. Bu gözlem için model oldukça başarılı bir tahminde bulunmuştur. Ancak, bazı gözlemler için tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasında farkların olduğu görülmektedir. Örneğin, 12. gözlemde gerçek değer 2457.160 saniye iken, model bu değeri 2339.885 saniye olarak tahmin etmiştir, yani yaklaşık 117 saniyelik bir sapma söz konusudur.

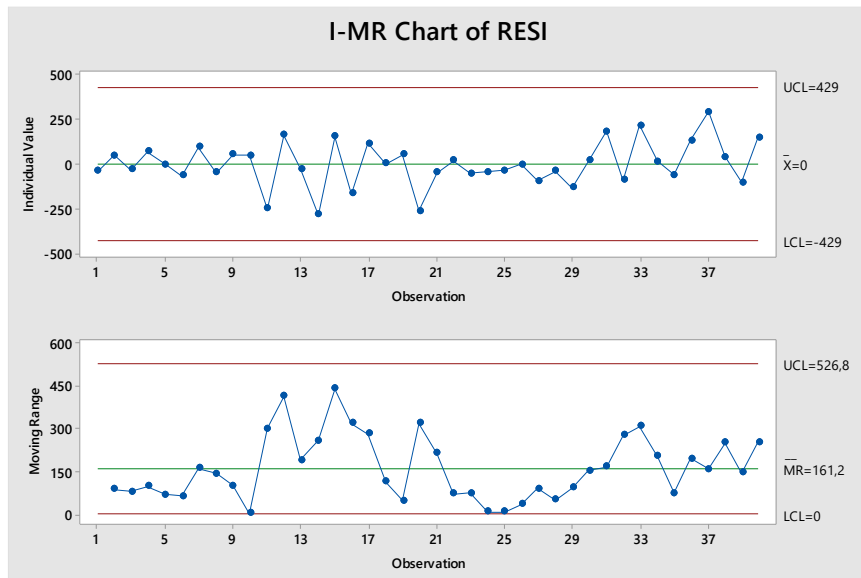
Tahmin Modellerinin Değerlendirilmesi ve Seçilen Modelde Artık Analizi Yapılması:

Oluşturulan her iki model istatistiksel performans açısından değerlendirildiğinde, Minitab programında gerçekleştirilen doğrusal regresyon modelinin daha düşük hata oranına sahip olması, %95 R^2 değeri ile bağımlı değişkeni yüksek oranda açıklayabilmesi ve bağımsız değişkenin anlamlılığını gösteren P-değerlerinin (0,000) istatistiksel olarak anlamlı bulunması, modelin güvenilirliğini artırmaktadır. Buna karşılık, RapidMiner ile yapılan regresyon analizinde hata oranının $\%6.73 \pm 5.02$ olarak hesaplanması, modelin tahmin doğruluğunun ilk model kadar yüksek olmadığını göstermektedir.

Bu doğrultuda, reçine emdirme süresinin tahmin edilmesine yönelik analizlerde daha güvenilir ve istatistiksel açıdan güçlü sonuçlar elde edebilmek adına Minitab Doğrusal Regresyon Analizine ait denklemin kullanılması uygun görülmüştür. Reçine emdirme süresinin tahmini doğrultusunda seçilen regresyon denklemi 5.10'daki gibidir ve bu tahmin modeli ile beraber genel model kapsamında tüm girdilere ait parametrelerin tahmini sağlanmaktadır.

$$\hat{s}_2(k) = 322 + 5240 \times \text{Hacim}(\text{m}^3) \quad (5.10)$$

Reçine emdirme süresi tahmin modeli kapsamında seçilen denkleme ait sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını değerlendirmek amacıyla Şekil 5.13'te yer alan artık kontrol grafiği oluşturulmuştur. Analiz yapılırken varsayılan ayarlar Ek-5'te verilmiştir.



Şekil 5.13. Reçine emdirme süresi tahmin denkleminin artık kontrol grafiği analizi

Şekil 5.13'te yer alan bireysel değerler grafiğinde (I-Chart), her bir gözlem noktası süreç ortalaması olan sıfır çizgisi etrafında dalgalanmakta olup, üst ve alt kontrol limitleri (UCL = 429, LCL = -429) dâhilinde kalmaktadır. Verilerin belirlenen kontrol sınırları içinde yer alması, sürecin genel olarak istatistiksel kontrol altında olduğunu göstermektedir. Bireysel gözlemler arasında belirli dalgalanmalar bulunmakla birlikte, süreçte sistematik bir sapma ya da kontrol sınırlarını aşan anormal bir durum tespit edilmemiştir.

Hareket aralığı grafiğinde (MR-Chart), ardışık gözlemler arasındaki değişkenlik değerlendirilmiştir. Ortalama hareket aralığı 161.2 olarak hesaplanmış olup, üst kontrol sınırı 526.8 ve alt kontrol sınırı 0 olarak belirlenmiştir. Süreçte yer alan gözlemler büyük ölçüde kontrol sınırları içinde kalmakla birlikte, belirli noktalarda hareket aralığında artış gözlenmektedir. Bu durum, sürecin belirli aşamalarında değişkenlik seviyesinin arttığını ve bazı gözlemler arasında ufak miktarlarda farklılıklar bulunduğunu göstermektedir.

Genel olarak bakıldığında reçine emdirme süresinin tahmini kapsamında oluşturulan regresyon denkleminin kabul edilebilir kontrol sınırları içerisinde olduğu görülmektedir.

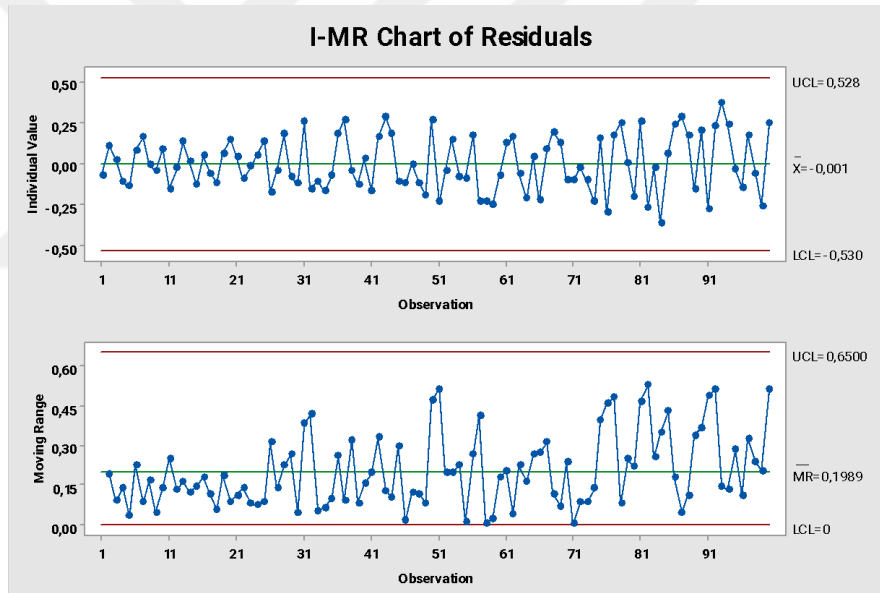
5.8. Üretime Ait Standart Sürenin Hesaplanması

Bir önceki bölümde detayları aktarılan değerler, istatistiksel yöntemler kullanılarak hesaplandıktan sonra standart üretim süresi tahmin modeline entegre edilerek $\hat{y}_i(k)$ değeri elde edilmektedir. Çalışmanın gerçekleştirildiği işletmede, üretim süreçlerine ilişkin veriler kurumsal veri tabanlarında saklanmakta ve yönetilmektedir. Tahmin modelinde, belirli bir parçanın üretim süresinin öngörülmesi için gerekli verilere erişim sağlamak amacıyla Microsoft SQL Server Management Studio aracılığıyla sorgular yürütülmüştür.

Standart üretim süresi tahmin modeline ait tüm girdiler veri tabanı sorguları aracılığıyla sisteme yüklenerek istenilen bilgiler veri tabanından çekilmiştir. Daha sonraki aşama olan doğrulama sürecinde faydalanan üretim gerçekleşme sürelerine ait veriler, işletmenin veri tabanından sorgular yoluyla alınmış ve analiz için tahmin edilen sürelerle karşılaştırılmıştır. Bu süreç sayesinde, modelin doğruluğunu değerlendirmek ve üretim süreçlerinin performansını analiz etmek maksadıyla parçaların üretimleri esnasındaki sürelerle ait bilgiler alınmıştır.

5.9. Model Doğrulaması Kapsamında Shewhart Kontrol Grafiği Kullanımı

Tahmin modelini oluşturan parametreler belirlendikten sonra modelin doğrulama çalışmaları gerçekleştirilmiş olup, bu kapsamda modelin kurulmasının ardından üretilen 100 farklı tool boyutuna ait parça üretim süreleri, işletmenin veri tabanında kayıtlı sistemden, ilgili parça bilgileri ve tool hacim bilgileriyle birlikte temin edilmiştir. Elde edilen veriler tahmin modeline entegre edilerek 100 farklı tahmini üretim süresi hesaplanmıştır. Akabinde tahmin edilen ve gerçekleşen üretim süreleri karşılaştırılarak her bir parça için tahmin hatalarını temsil eden artık değerler belirlenmiştir. Modelin doğruluk değerlendirmesi, hesaplanan artık değerlerin Shewhart kontrol grafikleri ile analiz edilmesi yoluyla gerçekleştirilmiş ilgili analizlere ait görseller ve yorumlar aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 5.14. Tahmin-gerçekleşme süresi Shewhart kontrol grafiği doğrulaması

Şekil 5.14'te yer alan gerçekleşme ve tahmin edilen süreler için analiz sonucunda, modelin tahmin performansı genel olarak istatistiksel kontrol altında olduğu gözlemlenmektedir. Bireysel artık değerlerin (I Chart) tamamının üst ve alt kontrol sınırları içerisinde kalması, modelin sistematik bir hata yapmadığını ve tahminlerde büyük sapmaların olmadığını göstermektedir. Ortalama artık değerinin ($\bar{X} = -0,001$) sıfıra çok yakın olması, modelin yanlılık içermediğini ve genel tahmin doğruluğunun yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Hareketli aralık grafiğinde (MR Chart) gözlemlenen değişkenlik değerlerinin de kontrol sınırları içerisinde kalmakta, böylece tahmin

hatalarının tutarlı bir şekilde yönetilebilir seviyede olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle 60. Gözlemden sonra artıklarda belirli bir artış eğilimi gözlemlense de, bu değlerlerin kontrol sınırlarını aşmaması, modelin genel tahmin kabiliyetinin korunabildiğini göstermektedir. Bu sonuçlar modelin tahmin başarısının yüksek, güvenilir ve istikrarlı olduğunu kanıtlamaktadır.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, RTM üretim istasyonları ve benzer üretim süreçlerine sahip işletmelerin üretim sürelerini tahmin edebilmeleri için önerilen “Standart Üretim Süresi Tahmin Prosedürü” uygulanmıştır. Prosedürün uygulanabilmesi için üretim istasyonlarının sahip olması gereken temel nitelikler açıklanmış ve seçilen bir üretim istasyonu üzerinden mevcut durum analizinin nasıl gerçekleştirileceği örnek bir çalışma ile detaylandırılmıştır. İşletmeler, kendi üretim süreçlerine bağlı olarak prosedürde belirtilen parametreleri uyarlayarak yapılan bu çalışmayı çeşitlendirebilir ve geliştirilebilir; ancak önerilen yöntemin verimli bir şekilde uygulanabilmesi için belirlenen temel unsurların sağlanması gerekmektedir.

Çalışmanın verimli bir şekilde yürütülebilmesi için, seçilen üretim istasyonundaki üretim süreçlerinin sistematik olarak belirlenmesi ve standart hale getirilmesi gerekmektedir. Bu durum, sürecin ilerleyen aşamalarının sorunsuz uygulanabilmesi için temel bir gerekliliktir. Bu bağlamda, üretim istasyonunun uzmanlar tarafından detaylı bir şekilde analiz edilmesi ve tüm üretim aşamalarını içerecek biçimde kapsamlı bir değerlendirme yapılması önem arz etmektedir. Ayrıca, üretim sürecindeki herhangi bir aşamanın göz ardı edilmemesi adına, istasyonun bütüncül bir perspektifle ele alınması gerekmektedir.

Literatürde metot ve zaman etüdüne ilişkin farklı yöntemler ele alınmış, geleneksel teknikler günümüz teknolojisiyle entegre edilerek yenilikçi bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu çalışmada literatüre ilaveten üretim sürecine dair gözlemler kamera ile kaydedilmiş ve bu kayıtların analizinde kullanılmak üzere kapsamlı bir analiz yazılımı kullanılmıştır. Söz konusu yazılım, zaman etüdü çalışmalarına yönelik çeşitli araçlar içermesi sebebiyle, ilerleyen araştırmalarda uzmanlara yol gösterici nitelikte olacaktır. Gerçekleştirilen uygulama kapsamında, kayıtlarda yer alan standart üretim faaliyetlerinin süreleri analiz yazılımı aracılığıyla saniye hassasiyetinde hesaplanarak detaylı bir inceleme yapılmıştır.

Uygulanan yönteme dayalı olarak oluşturulan tahmin modelinin tüm parametreleri, hem materyal ve metot kısmında teorik çerçeve içinde hem de bulgular ve değerlendirmeler bölümünde uygulamalı örnekler üzerinden kapsamlı şekilde ele alınmıştır. Üretim istasyonunda gerçekleştirilen gözlemler, yalnızca standart çalışma düzenine uygun ve gerekli teknik yeterliliğe sahip teknisyenler tarafından

yürütüldüğünden, modelde kullanılan “tempo” değişkeni tamamen normal (%100) kabul edilerek değerlendirilmiştir.

İlgili üretim hatlarında çalışma yürütecek uzmanların, gerçekleştirilen üretim süreçlerinde performansın standart değerlerin üzerinde ya da altında olup olmadığını analiz edebilecek bilgi ve yetkinliğe sahip olmaları gerekmektedir. Oluşturulan modeldeki temel parametrelerden “ek paylar” kavramı, materyal ve metot bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmış ve uygulama aşamasında işletme tarafından belirlenen referans değerler esas alınmıştır. Model doğruluğunu doğrudan etkileyen faktörlerden biri olan tempo değişkeninin hatalı belirlenmesi, tahmin modelinin performansını olumsuz yönde etkileyebileceği gibi, ek payların yanlış tespit edilmesi de benzer bir etkiye neden olmaktadır.

Çalışmada, üretim süreçleri "ana faaliyet süresi" ve "yan faaliyet süresi" olmak üzere iki ayrı kategoride ele alınmış ve her bir kategorinin kapsamı, ilgili örnekler kullanılarak detaylandırılmıştır. Tahmin modelinin oluşturulması sürecinde, belirlenen standart aktivitelerin hangi kategoriye dâhil edileceğinin tespiti, modelin doğruluğu açısından kritik bir faktör olarak değerlendirilmiştir. Modelleme aşamasında, parçanın teknik özelliklerinden bağımsız olarak yürütülen faaliyetler belirlenmiş ve bu faaliyetlerin süre tahminleri, örneklem yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Üretilen parçaların özelliklerine bağlı olmayan aktiviteler için bu analizlerden elde edilen ortalama süreler temel alınarak aktivitelerin ortalama süreleri belirlenmiştir.

Uygulamalarda herhangi bir nedenle farklılık meydana gelmesi durumunda, belirlenen ortalama sürelerin yeniden değerlendirilerek güncellenmesi gerekmektedir. Örneğin, üretim istasyonlarının yerleşiminde yapılan değişiklikler, çalışanların tool taşıırken kat ettiği mesafeleri doğrudan etkileyeceğinden, bu durum tool taşıma süresinde değişikliklere yol açacaktır. Bu nedenle, istasyonun mevcut durumu sürekli izlenmeli ve gerekli görüldüğünde süre hesaplamaları revize edilmelidir.

Çalışmada, üretilen parçaların özelliklerine bağlı olarak üretim süreçlerinin tahmin edilmesine yönelik iki farklı yöntem değerlendirilmiş ve bu yöntemlerin tahmin doğrulukları karşılaştırılmıştır. Ele alınan çalışmada, reçine emdirme süresinin tahmini için Minitab ve RapidMiner yazılımlarında yer alan regresyon teknikleri kullanılmış olup, gerçekleştirilen analizler sonucunda Minitab regresyon analizi yöntemi daha yüksek doğruluk oranı sağladığı için tercih edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar da regresyon modellerinin üretim süreçlerinin öngörülmesinde önemli bir araç olduğunu göstermektedir.

Üretim süreçlerinde gerçekleştirilecek parçalara yönelik zaman tahminlerini yapabilmek için belirlenen değişkenler, kapsamlı bir tahmin modeli içerisinde bütünleştirilmiştir. Bu çerçevede, planlanan ve fiili üretim sürelerinin anlık olarak elde edilmesi ve karşılaştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, söz konusu sürelerin hesaplanması ve kayıt altına alınması amacıyla Microsoft SQL Server Management Studio kullanılmış, ilgili veriler çeşitli sorgular yoluyla raporlanarak analiz edilmiştir.

Öngörülen süreler ile fiili gerçekleştirmeler elde edildikten sonra, belirlenen yöntemin son aşaması olan “Model Doğrulaması Kapsamında Shewhart Kontrol Grafiği Kullanımı” sürecine geçilmiştir. Üretimi tamamlanan farklı parçalara ilişkin tahmin hatalarının analiz edilmesi amacıyla Shewhart grafikleri oluşturulmuş ve bu çerçevede hata dağılımları incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde, bazı durumlarda tahmin sapmalarında artış eğilimi gözlemlense de, elde edilen tahminlerin kontrol limitleri içinde kalması, modelin öngörü yetkinliğini muhafaza ettiğini ve istikrarlı bir tahmin performansı sergilediğini ortaya koymuştur. Bu doğrultuda, gerçekleşen değerler ile geliştirilen model ile tahmin edilen sürelerin %95,74 oranında birbirine yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Bu karşılaştırmanın yer aldığı sayısal verilere şirket gizlilik politikası kapsamında yer verilmemiştir.

Yapılan uygulamalar, üretim kapasitesinin etkin şekilde planlanması, operasyonel hedeflerin ulaşılabilir kılınması, verimlilik analizlerinin sağlıklı biçimde yürütülmesi, standart süre belirleme yönteminin sürekliliğinin sağlanması ve üretim süreçlerinin anlık olarak izlenmesi gibi unsurları mümkün hale getirmektedir. Aynı zamanda, işletme maliyetlerinin makul seviyelerde tutulmasını destekleyerek, gereksiz kaynak kullanımının tespit edilmesine ve önlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu çalışma, ilerleyen dönemlerde yapılacak araştırmalara rehberlik ederek önemli bir referans sunma potansiyeline sahiptir.

KAYNAKLAR

- Adesiyani, A. E. (2021). Performance prediction of production lines using machine learning algorithm. *ScienceOpen Preprints*.
- Agwa, M., Youssef, S. M., Ali-Eldin, S. S., & Megahed, M. (2022). Integrated vacuum assisted resin infusion and resin transfer molding technique for manufacturing of nano-filled glass fiber reinforced epoxy composite. *Journal of Industrial Textiles*, 51(3_suppl), 5113S-5144S.
- Atalaya, K. D., Eraslanb, E., & Cinarc, M. O. (2014). A hybrid algorithm based on fuzzy linear regression analysis by quadratic programming for time estimation: An experimental study in manufacturing industry.
- Blundell, R., & Bond, S. (2000). GMM estimation with persistent panel data: an application to production functions. *Econometric reviews*, 19(3), 321-340.
- Brocks, T., Shiino, M. Y., Cioffi, M. O. H., Voorwald, H. J. C., & Caporalli Filho, A. (2013). Experimental RTM manufacturing analysis of carbon/epoxy composites for aerospace application. *Materials Research*, 16, 1175-1182.
- Bures, M., & Pivodova, P. (2015). Comparison of time standardization methods on the basis of real experiment. *Procedia Engineering*, 100, 466-474.
- Cairns, D. S., & Shramstad, J. D. (2000). *Evaluation Of Hand Lay-up And Resin Transfer Molding In Composite Wind Turbine Blade Manufacturing*.
- Choi, C. K., & Ip, W. H. (1999). A comparison of MTM and RTM. *Work Study*, 48(2), 57-61.
- Churchill, G. A. (2004). Using ANOVA to analyze microarray data. *Biotechniques*, 37(2), 173-177.
- Cooksey, R. W. (2020). *Illustrating statistical procedures: Finding meaning in quantitative data*. Springer Nature.
- De Vries, A., & Reneau, J. (2010). Application of statistical process control charts to monitor changes in animal production systems. *J Anim Sci*, 2010, E11-E24.
- Eraslan, E. (2009). The estimation of product standard time by artificial neural networks in the molding industry. *Mathematical Problems in Engineering*, 2009(1), 1-12.
- EPP Composites. RTM process. EPP Composites, <https://www.eppcomposites.com/rtm-process.html> [Ziyaret Tarihi: 15 Şubat 2025].
- Fischer, T., Krauss, C., & Treichel, A. (2018). *Machine learning for time series forecasting-a simulation study*.
- Gardner, F. (2000). Methodological issues in the direct observation of parent-child interaction: Do observational findings reflect the natural behavior of participants? *Clinical child and family psychology review*, 3, 185-198.

- Genaidy, A. M., Agrawal, A., & Mital, A. (1990). Computerized predetermined motion-time systems in manufacturing industries. *Computers & Industrial Engineering*, 18(4), 571-584.
- Gullberg, T. (1995). Evaluating operator-machine interactions in comparative time studies. *Journal of Forest Engineering*, 7(1), 51-61.
- Herrmann, A., & Fastert, C. (2008). Fully automated RTM production time: Aeronautics. *JEC composites*(41), 47-49.
- Howkins, M. (1968). Method Study in Mass Production. In *Celebration Cakes: Their Production and Decoration* (pp. 209-210). Springer.
- Jaeger, T. F. (2008). Categorical data analysis: Away from ANOVAs (transformation or not) and towards logit mixed models. *Journal of memory and language*, 59(4), 434-446.
- Jiang, S., Zhang, C., & Wang, B. (2001). A process performance index and its application to optimization of the RTM process. *Polymer Composites*, 22(5), 690.
- Kesarwani, P., Jahan, S., & Kesarwani, K. (2015). Composites: Classification and its manufacturing process. *Int. J. Appl. Res*, 1(9), 352-358.
- Kim, T. K. (2017). Understanding one-way ANOVA using conceptual figures. *Korean journal of anesthesiology*, 70(1), 22.
- Le Ferrand, H., Bouville, F., Niebel, T. P., & Studart, A. R. (2015). Magnetically assisted slip casting of bioinspired heterogeneous composites. *Nature materials*, 14(11), 1172-1179.
- Lesik, S. A. (2018). *Applied Statistical Inference with MINITAB®*. CRC Press.
- Lingitz, L., Gallina, V., Ansari, F., Gyulai, D., Pfeiffer, A., Sihn, W., & Monostori, L. (2018). Lead time prediction using machine learning algorithms: A case study by a semiconductor manufacturer. *Procedia Cirp*, 72, 1051-1056.
- Mizuno, H., Hayashi, N., & Enomoto, K. (2007). Development of the UV-Cured RTM Process. 16th International Conference on Composite Materials (ICCM),
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to statistical quality control*. John wiley & sons.
- Parandoush, P., & Lin, D. (2017). A review on additive manufacturing of polymer-fiber composites. *Composite Structures*, 182, 36-53.
- Pemberton, A. W. (1974). Investigational Methods: Work Study. *Plant Layout and Materials Handling*, 21-39.

- Potter, K. D. (1999). The early history of the resin transfer moulding process for aerospace applications. *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 30(5), 619-621.
- Pustejovsky, J. E., & Runyon, C. (2014). Alternating renewal process models for behavioral observation: Simulation methods, software, and validity illustrations. *Behavioral Disorders*, 39(4), 211-227.
- Reijsbergen, D., De Boer, P.-T., Scheinhardt, W., & Haverkort, B. (2015). On hypothesis testing for statistical model checking. *International journal on software tools for technology transfer*, 1-10.
- Ringsquandl, M., Lamparter, S., & Lepratti, R. (2015). Estimating processing times within context-aware manufacturing systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 2009-2014.
- Ruiz, E., Achim, V., & Lebel, F. (2010). Characterization, Analysis and design of RTM process. The 10th Int. Conf. Flow Processes in Composite Materials (FPCM10),
- Sadovyan, H., Zakarian, A., & Mohanty, P. (2006). Data mining algorithm for manufacturing process control. *Int J Adv Manuf Technol*, 28, 342-350.
- Schmachtenberg, E., Zur Heide, J. S., & Töpker, J. (2005). Application of ultrasonics for the process control of Resin Transfer Moulding (RTM). *Polymer testing*, 24(3), 330-338.
- Sozer, E. M., Simacek, P., & Advani, S. G. (2012). Resin transfer molding (RTM) in polymer matrix composites. *Manufacturing Techniques for Polymer Matrix Composites (PMCs)*, 243-310.
- Starovoytova, D. (2017). Time-study of Rotary-Screen-Printing Operation. *Industrial Engineering Letters*, 7(4), 24-35.
- Szewczyk, G., & Sowa, J. M. (2017). The accuracy of measurements in a time study of harvester operations. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 47, 1-10.
- Urban, M., Koblasa, F., & Mendřický, R. (2024). Machine Learning in Small and Medium-Sized Enterprises, Methodology for the Estimation of the Production Time. *Applied Sciences*, 14(19), 1-20.
- Veldsman, G., & Basson, A. (1999). Designing for RTM using manufacturing cost estimation models. Integration of Process Knowledge into Design Support Systems: Proceedings of the 1999 CIRP International Design Seminar, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 24–26 March, 1999.
- Weigl, M., Müller, A., Zupanc, A., & Angerer, P. (2009). Participant observation of time allocation, direct patient contact and simultaneous activities in hospital physicians. *BMC Health Services Research*, 9, 110.

- Whiteson, S., Kohl, N., Miikkulainen, R., & Stone, P. (2003). Evolving keepaway soccer players through task decomposition. Genetic and Evolutionary Computation—GECCO 2003: Genetic and Evolutionary Computation Conference Chicago, IL, USA, July 12–16, 2003 Proceedings, Part I,
- Yeşilyurt, Ö. (2023). *Çeşitliliğin yüksek olduğu üretim ortamlarında iteratif model düzeltmeleri ile iş emri standart üretim sürelerinin tahmini* [Master's thesis, Hacettepe Üniversitesi].
- Zhao, X. (2018). *Multi-scale study of RTM process modelling in the manufacturing of aerospace composites* University of Nottingham].
- Żywicki, K., & Osiński, F. (2019). A Comparison of Production Time Calculation. *Advances in Manufacturing II: Volume 2-Production Engineering and Management*, 97-105.



EKLER

EK-1 Timer Pro Professional Analizi Örnek Excel Çıktısı

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ID	Description	VA	SMED	Rating	Seconds	Start Time	Stop Time
2	1	İŞÇİLİK GİRME	V	HAZIRLIK	100	81,333000	10,349000	91,681999
3	2	YARDIMCI MALZEME/EKİPMAN HAZIRLIK	V	HAZIRLIK	100	109,625000	91,681999	201,307007
4	3	KALIP VAKUM TESTİ	V	HAZIRLIK	100	88,712997	632,116028	720,828979
5	4	TANK VAKUM TESTİ	V	HAZIRLIK	100	199,042007	720,828979	919,870972
6	5	YARDIMCI MALZEME GETİRME/GÖTÜRME	V	HAZIRLIK	100	27,416000	919,870972	947,286987
7	6	PARÇA BİLGİ KAYIT	V	HAZIRLIK	100	51,181000	947,286987	998,468018
8	7	TERMOCOUPLE KONTROLÜ	V	HAZIRLIK	100	31,971001	998,468018	1030,438965
9	8	GÖRSEL KONTROL	V	HAZIRLIK	100	37,465000	1030,438965	1067,904053
10	9	TOOL ISITMA	V	PLANLI AKTİVİTE	100	907,594971	1067,904053	1975,499023
11	10	SOİR MÜHÜRLEME	V	HAZIRLIK	100	139,535995	1975,499023	2115,034912
12	11	TOOL ISITMA	V	PLANLI AKTİVİTE	100	7327,944824	2115,034912	9442,980469
13	12	REÇİNE EMDİRME	V	PLANLI AKTİVİTE	100	2459,822998	9442,980469	11902,799805
14	13	TOOL ISITMA	V	PLANLI AKTİVİTE	100	1655,696045	11902,799805	13558,500000
15	14	TOOL ISITMA	V	PLANLI AKTİVİTE	100	12165,730469	,0000	12165,730469
16	15	TOOL SOĞUTMA	V	PLANLI AKTİVİTE	100	1880,510010	12165,730469	14046,240234
17	16	TOOL SOĞUTMA	V	PLANLI AKTİVİTE	100	12397,339844	,0000	12397,339844
18	17	TOOL SOĞUTMA	V	PLANLI AKTİVİTE	100	3303,294922	,0000	3303,294922
19	18	TERMOCOUPLE SÖKME	V	HAZIRLIK	100	25,660000	6871,523926	6897,184082
20	19	YARDIMCI MALZEME/EKİPMAN HAZIRLIK	V	HAZIRLIK	100	48,320000	6897,184082	6945,503906
21	20	ENJEKSİYON HORTUMU SÖKME	V	HAZIRLIK	100	258,388000	6945,503906	7203,892090
22	21	TOOL TAŞIMA	V	HAZIRLIK	100	129,080994	7203,892090	7332,973145
23	22	İŞÇİLİK BİTİRME	V	HAZIRLIK	100	112,232002	7332,973145	7445,205078

EK-2 Bağımsız Parametlerin Belirlendiği Analiz Sonuçları

- İşçilik Girme

Regression Analysis: İŞÇİLİK GİRME(sn) versus HACİM(m³)

The regression equation is
 $\text{İŞÇİLİK GİRME(sn)} = 60,06 - 0,235 \text{ HACİM(m}^3\text{)}$

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
1,51435	0,03%	0,00%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,0231	0,02312	0,01	0,921
Error	38	87,1433	2,29324		
Total	39	87,1664			

Fitted Line: İŞÇİLİK GİRME(sn) versus HACİM(m³)

- Markalama

Regression Analysis: MARKALAMA(sn) versus HACİM(m³)

The regression equation is
 $\text{MARKALAMA(sn)} = 42,20 - 0,219 \text{ HACİM(m}^3\text{)}$

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
3,72947	0,00%	0,00%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,020	0,0200	0,00	0,970
Error	38	528,540	13,9090		
Total	39	528,560			

Fitted Line: MARKALAMA(sn) versus HACİM(m³)

- Reçine Taşıma

Regression Analysis: REÇİNE TAŞIMA(sn) versus HACİM(m³)

The regression equation is
 $\text{REÇİNE TAŞIMA(sn)} = 40,38 + 0,122 \text{ HACİM(m}^3\text{)}$

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
1,58014	0,01%	0,00%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,0062	0,00623	0,00	0,960
Error	38	94,8798	2,49684		
Total	39	94,8860			

Fitted Line: REÇİNE TAŞIMA(sn) versus HACİM(m³)

- **Hazneye Reçine Yerleştirme**

Regression Analysis: HAZNEYE REÇİNE YERLEŞTİRME(sn) ... CİM(m^3)

The regression equation is
 HAZNEYE REÇİNE YERLEŞTİRME(sn) = 39,86 - 0,558 HACİM(m^3)

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
2,41315	0,06%	0,00%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,130	0,12990	0,02	0,882
Error	38	221,285	5,82328		
Total	39	221,415			

Fitted Line: HAZNEYE REÇİNE YERLEŞTİRME(sn) versus HACİM(m^3)

- **Kapak Kapama**

Regression Analysis: KAPAK KAPAMA(sn) versus HACİM(m^3)

The regression equation is
 KAPAK KAPAMA(sn) = 31,11 + 0,200 HACİM(m^3)

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
2,25951	0,01%	0,00%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,017	0,01665	0,00	0,955
Error	38	194,005	5,10540		
Total	39	194,022			

Fitted Line: KAPAK KAPAMA(sn) versus HACİM(m^3)

- **Kalıp Vakum Testi**

Regression Analysis: KALIP VAKUM TESTİ(sn) versus HACİM(m^3)

The regression equation is
 KALIP VAKUM TESTİ(sn) = 77,83 + 3,302 HACİM(m^3)

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
5,54703	0,39%	0,00%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	4,56	4,5553	0,15	0,703
Error	38	1169,24	30,7695		
Total	39	1173,80			

Fitted Line: KALIP VAKUM TESTİ(sn) versus HACİM(m^3)

- **Tank Vakum Testi**

Regression Analysis: TANK VAKUM TESTİ(sn) versus HACİM(m³)

The regression equation is
TANK VAKUM TESTİ(sn) = 99,71 - 1,406 HACİM(m³)

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
3,49916	0,18%	0,00%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,827	0,8265	0,07	0,796
Error	38	465,275	12,2441		
Total	39	466,102			

Fitted Line: TANK VAKUM TESTİ(sn) versus HACİM(m³)

- **Parça Bilgi Kayıt**

Regression Analysis: PARÇA BİLGİ KAYIT(sn) versus HACİM(m³)

The regression equation is
PARÇA BİLGİ KAYIT(sn) = 32,90 - 0,316 HACİM(m³)

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
2,00458	0,03%	0,00%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,042	0,04182	0,01	0,919
Error	38	152,697	4,01833		
Total	39	152,738			

Fitted Line: PARÇA BİLGİ KAYIT(sn) versus HACİM(m³)

- **Enjeksiyon Hortumu Sökme**

Regression Analysis: ENJEKSİYON HORTUMU SÖKME(sn) ... CİM(m³)

The regression equation is
ENJEKSİYON HORTUMU SÖKME(sn) = 198,9 - 0,169 HACİM(m³)

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
5,74852	0,00%	0,00%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,01	0,0120	0,00	0,985
Error	38	1255,73	33,0455		
Total	39	1255,74			

Fitted Line: ENJEKSİYON HORTUMU SÖKME(sn) versus HACİM(m³)

- Soğutma Hortumu Sökme

Regression Analysis: SOĞUTMA HORTUMU SÖKME(sn) ... HACİM(m³)

The regression equation is
 SOĞUTMA HORTUMU SÖKME(sn) = 10,75 + 0,0714 HACİM(m³)

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
0,474299	0,02%	0,00%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,00213	0,002132	0,01	0,923
Error	38	8,54847	0,224960		
Total	39	8,55060			

Fitted Line: SOĞUTMA HORTUMU SÖKME(sn) versus HACİM(m³)

- İşçilik Bitirme

Regression Analysis: İŞÇİLİK BİTİRME(sn) versus HACİM(m³)

The regression equation is
 İŞÇİLİK BİTİRME(sn) = 95,70 - 0,059 HACİM(m³)

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)
2,33261	0,00%	0,00%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,001	0,00146	0,00	0,987
Error	38	206,760	5,44105		
Total	39	206,761			

Fitted Line: İŞÇİLİK BİTİRME(sn) versus HACİM(m³)

EK-3 Grup Bazlı Birim Sürelerin (Mean) Belirlendiği Analiz Sonuçları

- Grup-1

Descriptive Statistics: İŞÇİLİK GİRME(sn); REÇİNE ... OL SOĞUTMA(sn)

Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
İŞÇİLİK GİRME(sn)	10	0	60,000	0,472	1,493	57,850	58,705	60,225	61,160
REÇİNE HAZIRLIK(sn)	10	0	34,353	0,865	2,734	29,650	32,395	34,783	36,385
MARKALAMA(sn)	10	0	42,146	0,479	1,513	39,840	40,822	42,230	43,653
REÇİNE DOLDURMA(sn)	10	0	108,81	1,59	5,03	101,01	104,38	109,61	112,79
REÇİNE TAŞIMA(sn)	10	0	40,407	0,470	1,486	38,460	39,320	39,905	42,140
HAZNEYE REÇİNE YERLEŞTİRME(sn)	10	0	39,724	0,730	2,309	37,210	38,008	38,985	41,502
KAPAK KAPAMA(sn)	10	0	31,156	0,949	3,001	25,880	28,977	31,475	32,735
KALIP VAKUM TESTİ(sn)	10	0	78,66	1,99	6,28	69,32	72,71	78,68	84,51
TANK VAKUM TESTİ(sn)	10	0	99,356	0,809	2,560	96,890	97,322	98,125	102,125
PARÇA BİLGİ KAYIT(sn)	10	0	32,823	0,541	1,711	29,870	31,623	33,330	34,072
ENJEKSİYON HORTUMU SÖKME(sn)	10	0	198,82	2,14	6,75	189,10	192,62	198,47	205,59
SOĞUTMA HORTUMU SÖKME(sn)	10	0	10,766	0,192	0,606	10,010	10,387	10,555	11,262
TERMOCOUPLE SÖKME(sn)	10	0	11,958	0,169	0,533	11,050	11,565	11,995	12,250
YARDIMCI MALZEME/EKİPMAN HAZIRL	10	0	71,960	0,734	2,321	68,450	70,250	71,765	73,910
İŞÇİLİK BİTİRME(sn)	10	0	95,693	0,726	2,296	92,290	93,218	95,680	97,835
TOOL İSİTMA(sn)	10	0	14273	56,0	177	14058	14160	14227	14364
TOOL SOĞUTMA(sn)	10	0	6500,1	4,60	14,6	6480,7	6490,0	6497,9	6509,7

Variable	Maximum
İŞÇİLİK GİRME(sn)	62,110
REÇİNE HAZIRLIK(sn)	38,050
MARKALAMA(sn)	44,100
REÇİNE DOLDURMA(sn)	115,31
REÇİNE TAŞIMA(sn)	42,790
HAZNEYE REÇİNE YERLEŞTİRME(sn)	44,140
KAPAK KAPAMA(sn)	36,770
KALIP VAKUM TESTİ(sn)	86,40
TANK VAKUM TESTİ(sn)	103,940
PARÇA BİLGİ KAYIT(sn)	34,870
ENJEKSİYON HORTUMU SÖKME(sn)	208,06
SOĞUTMA HORTUMU SÖKME(sn)	11,880
TERMOCOUPLE SÖKME(sn)	12,870
YARDIMCI MALZEME/EKİPMAN HAZIRL	75,470
İŞÇİLİK BİTİRME(sn)	98,420
TOOL İSİTMA(sn)	14672
TOOL SOĞUTMA(sn)	6531,0

- Grup-2

Descriptive Statistics: İŞÇİLİK GİRME(sn); REÇİNE ... OL SOĞUTMA(sn)

Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
İŞÇİLİK GİRME(sn)	10	0	60,004	0,470	1,486	57,550	58,917	59,955	61,357
REÇİNE HAZIRLIK(sn)	10	0	42,04	1,77	5,61	35,01	36,23	41,62	47,69
MARKALAMA(sn)	10	0	42,15	2,30	7,27	33,65	35,06	41,14	49,49
REÇİNE DOLDURMA(sn)	10	0	115,12	4,42	13,97	95,69	103,05	112,76	128,82
REÇİNE TAŞIMA(sn)	10	0	40,409	0,306	0,969	38,550	39,825	40,475	41,070
HAZNEYE REÇİNE YERLEŞTİRME(sn)	10	0	39,718	0,920	2,908	35,110	38,115	39,470	42,046
KAPAK KAPAMA(sn)	10	0	31,165	0,735	2,323	28,052	29,090	31,163	33,300
KALIP VAKUM TESTİ(sn)	10	0	78,66	1,66	5,26	72,14	74,92	77,81	82,19
TANK VAKUM TESTİ(sn)	10	0	99,36	1,66	5,24	92,11	94,97	98,00	104,71
PARÇA BİLGİ KAYIT(sn)	10	0	32,826	0,864	2,733	29,200	30,105	32,670	35,272
ENJEKSİYON HORTUMU SÖKME(sn)	10	0	198,82	1,74	5,51	192,02	193,50	198,05	205,02
SOĞUTMA HORTUMU SÖKME(sn)	10	0	10,773	0,0502	0,159	10,530	10,580	10,820	10,898
TERMOCOUPLE SÖKME(sn)	10	0	12,414	0,114	0,361	11,860	12,008	12,512	12,705
YARDIMCI MALZEME/EKİPMAN HAZIRL	10	0	78,86	1,40	4,41	72,11	74,99	79,35	83,63
İŞÇİLİK BİTİRME(sn)	10	0	95,690	0,910	2,878	91,090	93,217	95,370	98,153
TOOL ISITMA(sn)	10	0	15093	33,3	105	14948	14993	15103	15203
TOOL SOĞUTMA(sn)	10	0	6841,9	40,6	128,4	6637,8	6764,4	6840,4	6945,0

Variable	Maximum
İŞÇİLİK GİRME(sn)	62,220
REÇİNE HAZIRLIK(sn)	50,25
MARKALAMA(sn)	53,22
REÇİNE DOLDURMA(sn)	135,18
REÇİNE TAŞIMA(sn)	41,880
HAZNEYE REÇİNE YERLEŞTİRME(sn)	45,300
KAPAK KAPAMA(sn)	34,590
KALIP VAKUM TESTİ(sn)	88,98
TANK VAKUM TESTİ(sn)	106,33
PARÇA BİLGİ KAYIT(sn)	36,980
ENJEKSİYON HORTUMU SÖKME(sn)	205,39
SOĞUTMA HORTUMU SÖKME(sn)	10,950
TERMOCOUPLE SÖKME(sn)	12,880
YARDIMCI MALZEME/EKİPMAN HAZIRL	84,39
İŞÇİLİK BİTİRME(sn)	99,920
TOOL ISITMA(sn)	15241
TOOL SOĞUTMA(sn)	7046,0

- Grup-3

Descriptive Statistics: İŞÇİLİK GİRME(sn); REÇİNE ... OL SOĞUTMA(sn)

Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
İŞÇİLİK GİRME(sn)	10	0	60,002	0,426	1,349	58,420	58,563	59,880	60,950
REÇİNE HAZIRLIK(sn)	10	0	44,778	0,640	2,023	41,910	43,552	44,615	45,760
MARKALAMA(sn)	10	0	42,149	0,281	0,887	41,230	41,450	41,885	42,615
REÇİNE DOLDURMA(sn)	10	0	275,12	3,54	11,18	261,31	263,80	273,49	287,38
REÇİNE TAŞIMA(sn)	10	0	40,408	0,691	2,186	37,660	38,530	39,675	42,255
HAZNEYE REÇİNE YERLEŞTİRME(sn)	10	0	39,720	0,632	2,000	37,440	38,017	39,466	41,210
KAPAK KAPAMA(sn)	10	0	31,160	0,666	2,105	28,140	29,087	31,250	33,300
KALIP VAKUM TESTİ(sn)	10	0	78,66	1,35	4,28	70,01	76,72	79,08	81,92
TANK VAKUM TESTİ(sn)	10	0	99,359	0,748	2,366	96,200	97,190	99,160	101,500
PARÇA BİLGİ KAYIT(sn)	10	0	32,820	0,668	2,112	29,300	31,183	32,875	34,623
ENJEKSİYON HORTUMU SÖKME(sn)	10	0	198,82	2,05	6,50	190,01	192,36	198,95	205,70
SOĞUTMA HORTUMU SÖKME(sn)	10	0	10,770	0,159	0,501	10,070	10,340	10,695	11,275
TERMOCOUPLE SÖKME(sn)	10	0	15,148	0,408	1,291	13,570	13,955	15,060	16,580
YARDIMCI MALZEME/EKİPMAN HAZIRL	10	0	105,14	1,19	3,76	98,47	103,49	105,71	108,10
İŞÇİLİK BİTİRME(sn)	10	0	95,688	0,811	2,563	91,760	92,977	96,275	97,910
TOOL İSİTMA(sn)	10	0	19960	18,8	59,4	19880	19899	19959	20019
TOOL SOĞUTMA(sn)	10	0	8385,8	23,8	75,2	8225,5	8341,8	8405,4	8442,2

Variable	Maximum
İŞÇİLİK GİRME(sn)	62,280
REÇİNE HAZIRLIK(sn)	48,370
MARKALAMA(sn)	43,860
REÇİNE DOLDURMA(sn)	290,87
REÇİNE TAŞIMA(sn)	44,550
HAZNEYE REÇİNE YERLEŞTİRME(sn)	43,900
KAPAK KAPAMA(sn)	33,470
KALIP VAKUM TESTİ(sn)	84,39
TANK VAKUM TESTİ(sn)	103,210
PARÇA BİLGİ KAYIT(sn)	35,850
ENJEKSİYON HORTUMU SÖKME(sn)	208,54
SOĞUTMA HORTUMU SÖKME(sn)	11,610
TERMOCOUPLE SÖKME(sn)	17,210
YARDIMCI MALZEME/EKİPMAN HAZIRL	109,12
İŞÇİLİK BİTİRME(sn)	98,540
TOOL İSİTMA(sn)	20041
TOOL SOĞUTMA(sn)	8479,6

- Grup-4

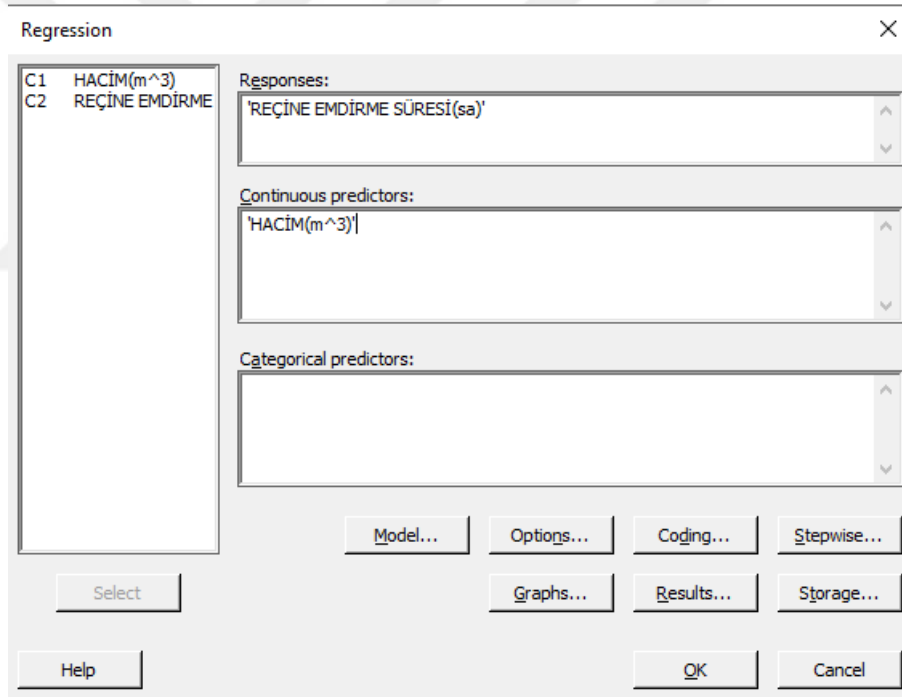
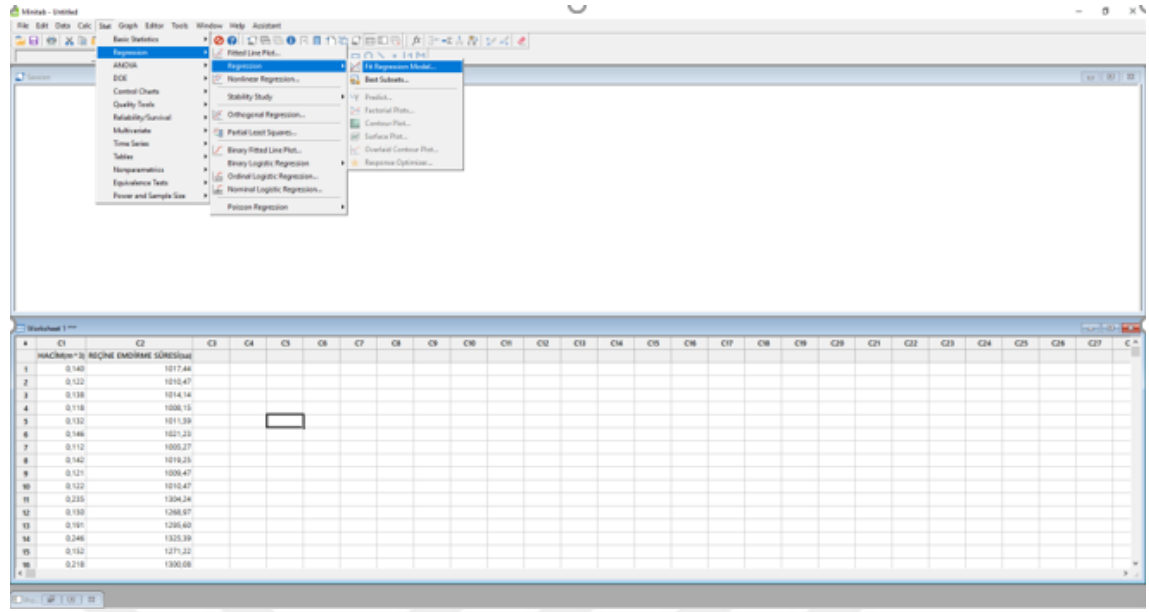
Descriptive Statistics: İŞÇİLİK GİRME(sn); REÇİNE ... OL SOĞUTMA(sn)

Statistics

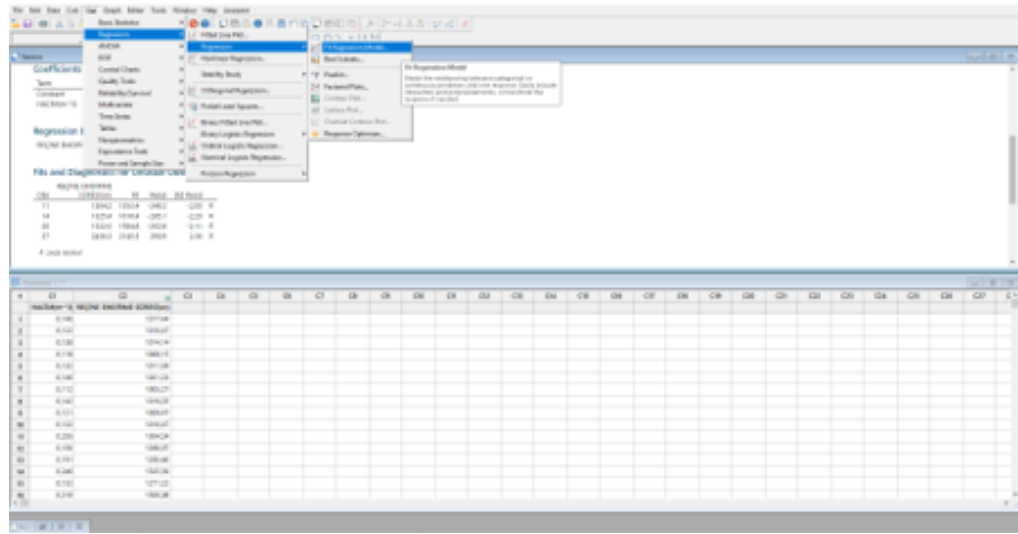
Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
İŞÇİLİK GİRME(sn)	10	0	60,001	0,586	1,852	57,980	58,438	59,415	61,455
REÇİNE HAZIRLIK(sn)	10	0	48,04	1,05	3,31	43,54	45,27	48,30	50,02
MARKALAMA(sn)	10	0	42,145	0,523	1,654	38,770	41,100	42,345	43,240
REÇİNE DOLDURMA(sn)	10	0	296,87	8,03	25,38	261,11	272,63	297,22	319,83
REÇİNE TAŞIMA(sn)	10	0	40,405	0,512	1,618	37,260	39,508	40,355	42,058
HAZNEYE REÇİNE YERLEŞTİRME(sn)	10	0	39,723	0,825	2,610	36,200	37,830	39,105	41,635
KAPAK KAPAMA(sn)	10	0	31,160	0,522	1,651	28,610	30,172	30,775	32,725
KALIP VAKUM TESTİ(sn)	10	0	78,66	2,12	6,71	69,66	72,29	79,09	85,01
TANK VAKUM TESTİ(sn)	10	0	99,36	1,11	3,49	94,92	96,60	98,81	101,38
PARÇA BİLGİ KAYIT(sn)	10	0	32,822	0,460	1,454	30,900	31,570	32,480	34,023
ENJEKSİYON HORTUMU SÖKME(sn)	10	0	198,82	1,46	4,62	191,64	195,37	198,26	203,39
SOĞUTMA HORTUMU SÖKME(sn)	10	0	10,771	0,175	0,553	10,110	10,275	10,700	11,120
TERMOCOUPLE SÖKME(sn)	10	0	25,659	0,613	1,938	22,210	23,865	25,865	27,088
YARDIMCI MALZEME/EKİPMAN HAZIRL	10	0	157,94	3,15	9,97	144,66	148,43	156,69	164,80
İŞÇİLİK BİTİRME(sn)	10	0	95,686	0,534	1,687	93,910	94,303	94,995	97,222
TOOL ISITMA(sn)	10	0	22057	13,9	44,0	21975	22029	22054	22098
TOOL SOĞUTMA(sn)	10	0	17581	23,0	72,7	17447	17544	17592	17624

Variable	Maximum
İŞÇİLİK GİRME(sn)	63,250
REÇİNE HAZIRLIK(sn)	53,47
MARKALAMA(sn)	44,680
REÇİNE DOLDURMA(sn)	338,66
REÇİNE TAŞIMA(sn)	42,330
HAZNEYE REÇİNE YERLEŞTİRME(sn)	44,840
KAPAK KAPAMA(sn)	34,010
KALIP VAKUM TESTİ(sn)	88,26
TANK VAKUM TESTİ(sn)	105,82
PARÇA BİLGİ KAYIT(sn)	35,470
ENJEKSİYON HORTUMU SÖKME(sn)	205,27
SOĞUTMA HORTUMU SÖKME(sn)	11,850
TERMOCOUPLE SÖKME(sn)	28,740
YARDIMCI MALZEME/EKİPMAN HAZIRL	175,13
İŞÇİLİK BİTİRME(sn)	98,390
TOOL ISITMA(sn)	22121
TOOL SOĞUTMA(sn)	17684

EK-4 Reçine Emdirme Süresi Regresyon Analizi Varsayılan Ayarlar



EK-5 Reçine Emdirme Süresi Kontrol Grafikleri Varsayılan Ayarlar



Regression

Responses:
REÇİNE EMDİRME SÜRESİ (sn)

Continuous predictors:
HACIM (m^3)

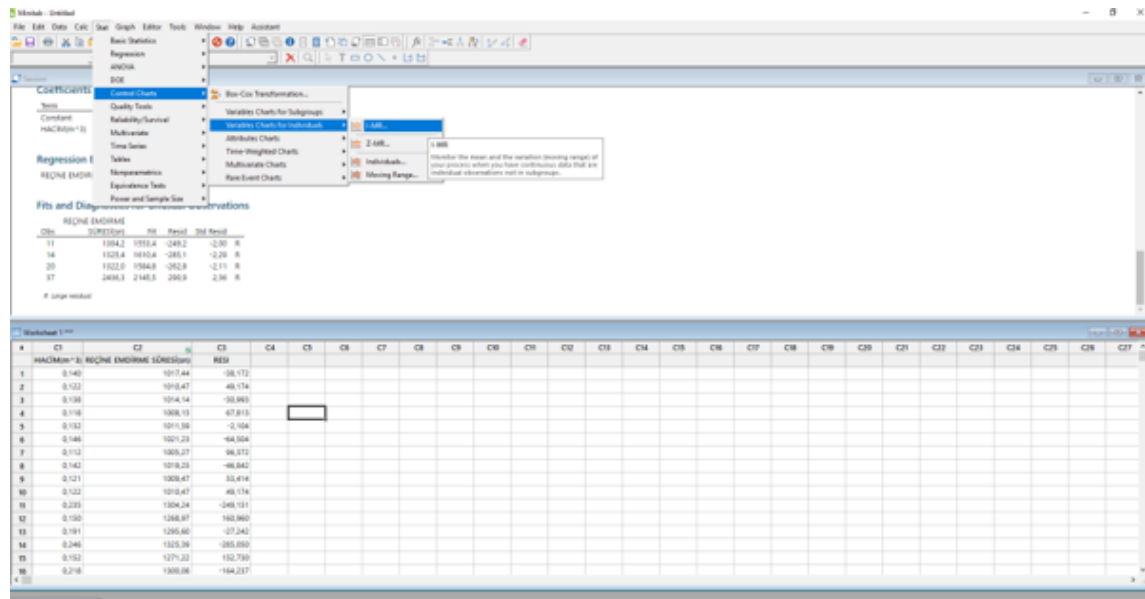
Categorical predictors:

Model... Options... Coding... Stepwise...
Graphs... Results... Storage...
Help OK Cancel

Regression: Storage

☐ Fits ☐ Coefficients
☒ Residuals ☐ Design matrix
☐ Standardized residuals
☐ Deleted residuals
☐ Leverages
☐ Cook's distance
☐ DFITS

Help OK Cancel



Individuals-Moving Range Chart

Variable	Chart Type	Chart Name
C1	HACİM(m^3)	HACİM(m^3)
C2	REÇİNE EMDİRME SÜRESİ	REÇİNE EMDİRME SÜRESİ
C3	RESİ	RESİ

Variables:

RESİ

Scale... Labels... Multiple Graphs... Data Options... I-MR Options...

Select

Help

OK Cancel

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Recep Doğru
Uyruğu : Türkiye

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Demirtaşpaşa Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi	2014
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği	2021
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği ABD	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2021-2023	Aselsan Konya Silah Sistemleri A.Ş.	İmalat Mühendisi
2023-Halen	Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.	Üretim Metot Mühendisi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR : ICAA 24