

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ÜRETİM ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BİR ÜRETİM SÜRECİNDE TOPLAM ÜRETİM
SÜRESİNİN ÖĞRENME EĞRİLERİ İLE ANALİZİ**

Tunahan AYDOĞDU

2501171699

TEZ DANIŞMANI

Dr. Öğr. Üyesi Sündüz DAĞ

İSTANBUL – 2022

ÖZ

BİR ÜRETİM SÜRECİNDE TOPLAM ÜRETİM SÜRESİNİN ÖĞRENME EĞRİLERİ İLE ANALİZİ

TUNAHAN AYDOĞDU

Yapılan çalışmada, bir tekstil üretim sürecinde çalışanların öğrenme durumları analiz edilerek, bu durumun toplam üretim süresine olan etkisi incelenmiştir. İlk kez Wright tarafından ortaya atılmış olan öğrenme eğrisi modeli kullanılarak süreçte çalışanların öğrenme oranları hesaplanmıştır. Aynı zamanda, Wright'ın aynı işte yapılan tekrar sayısı arttıkça, işi tamamlamak için gereken toplam sürenin azalacağı dolayısıyla maliyetlerin de azalacağı yönündeki tezi test edilmiştir. Çalışmanın sonucunda öğrenme oranının yükselmesi ile toplam üretim süresinin kısaldığı ve verimliliğin arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Öğrenme Eğrileri, Öğrenme Eğrisi Modelleri, Üretim Yönetimi, İş Ölçümü, Zaman Etüdü

ABSTRACT

ANALYSIS OF TOTAL PRODUCTION TIME WITH LEARNING CURVES IN A PRODUCTION PROCESS TUNAHAN AYDOĞDU

In this study, the learning situations of the employees in a textile production process were analyzed and the effect of this situation on the total production time was examined. Using the learning curve model which was first introduced by Wright, the learning rates of the employees in the process were calculated. At the same time, Wright's thesis that as the number of repetitions of the same job increases, the total time required to complete the job will decrease and thus the costs will decrease as well. As a result of this study, it was determined that with the increase in the learning rate, the total production time was shortened and the productivity increased.

Keywords: Learning Curves, Learning Curves Models, Production Management, Work Measurement, Time Study



TEŞEKKÜR

Bir Üretim Sürecinde Toplam Üretim Süresinin Öğrenme Eğrileri ile Analizi konulu tez çalışmamda danışmanlık eden, beni yönlendiren ve her türlü imkânı sağlayan çok kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Sündüs DAĞ'a teşekkürlerimi sunarım.



ÖNSÖZ

Kalite kavramı günümüzde değişen ihtiyaçlar ile farklı tanımlara sahip bir olgu haline gelmiştir. İşletmeler mümkün olan en az maliyet ile tüketicilerin ihtiyaçlarını maksimum miktarda karşılamak istemekte, tüketiciler ise mümkün olan en az ücret ödemesi ile kaliteli ürün/hizmet almak istemektedirler. Var olan piyasa koşulları işletmeler arasındaki rekabeti arttırmış, işletmeler maliyetleri minimize ederek kaliteli üretim yapmanın yollarını araştırmaya yönelmişlerdir. Bu noktada işletmeler en önemli maliyet kalemlerinden sayılan “zaman” kavramına yönelik toplam üretim süresinin azaltılması araştırmalarında çeşitli yöntemler kullanmışlardır.

Bu çalışmanın amacı, Öğrenme Eğrileri ile üretim sürecinin toplam süresi üzerinde etkili olan faktörleri inceleyerek, toplam süre üzerinde azaltıcı etki meydana getiren faktörleri bulmak ve Öğrenme Eğrileri değişkenlerinin farklı değerler altında hesaplamalarını yaparak işletmeye değişkenlerin ne kadar etkili olduğuna dair öneriler yapmaktır. Öğrenme Eğrileri kapsamında işletme, sürecin yeniden kurulumu, kusurlu ürünlerin yeniden işlenmesine dair bilginin önemini fark ederek ihtiyaca göre önlemler alabilmekte ve tüm sürecin tamamlanması için gerekli süreye ulaşabilmektedir.

TUNAHAN AYDOĞDU

İSTANBUL, 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZ	ii
ÖNSÖZ.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
SEMBOLLER LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR LİSTESİ	xi
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM ÜRETİM YÖNETİMİ VE SİSTEMLERİ

1.1. ÜRETİM	2
1.2. ÜRETİM YÖNETİMİ	2
1.2.1. ÜRETİM YÖNETİMİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ	3
1.2.2. ÜRETİM YÖNETİMİNİN AMAÇLARI.....	4
1.2.3. ÜRETİM YÖNETİMİNİN FONKSİYONLARI	5
1.2.4. ÜRETİM YÖNETİMİNİN DİĞER FONKSİYONLARLA İLİŞKİSİ.....	7
1.3. ÜRETİM SİSTEMİ	7
1.3.1. ÜRETİM SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	8

İKİNCİ BÖLÜM

İŞ ÖLÇÜMÜ

2.1. İŞ ÖLÇÜMÜ TANIMLARI	11
2.2. İŞ ÖLÇÜMÜNÜN AMAÇLARI.....	12
2.3. İŞ ÖLÇÜMÜ TEKNİKLERİ.....	12
2.4. İŞ ÖLÇÜMÜ SONUÇLARININ KULLANILDIĞI YERLER.....	14
2.5. KRONOMETRE İLE İŞ ÖLÇÜMÜ.....	14
2.6. ZAMAN ETÜDÜNÜN AŞAMALARI.....	14
2.7. GÖZLEM VE ÖLÇÜMLERİN YAPILMASI.....	15
2.8. GÖZLEM SAYISININ HESAPLANMASI	15
2.9. TEMPO	16
2.10. TOLERANSLARIN HESAPLANMASI	16
2.11. STANDART ZAMANIN HESAPLANMASI.....	18

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ÖĞRENME EĞRİLERİ

3.1. ÖĞRENME EĞRİLERİNİN ORTAYA ÇIKIŞI VE TANIMI	18
3.2. ÖĞRENME EĞRİSİ MODELLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ	20
3.2.1. WRIGHT'IN İLK ÖĞRENME MODELİ	20
3.2.2. LOGARİTMİK DOĞRUSAL MODELLER	22
3.2.3. HİPERBOLİK MODELLER	26
3.2.4. ÜSTEL MODELLER	28
3.2.5. ÇOK DEĞİŞKENLİ MODELLER	29
3.2.6. UNUTMA MODELİ	30
3.3. ÖĞRENME EĞRİLERİNİN KISITLAMALARI	30

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

4.1. İNCELENEN FİRMA VE PROSES İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	31
4.2. ÖĞRENME EĞRİSİNİN İŞLETME İÇİNDE ARAŞTIRILMASI	33
4.3. $y = C_1x^{-b}$ MODELİNDEKİ b VE DEĞERLERİNİN ALINAN ÖRNEKLER İÇİN TAHMİN EDİLMESİ	39
4.4. FARKLI ÖĞRENME EĞRİSİ SEMBOLLERİNİN TOPLAM SÜRE ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	41
4.4.1. b'nin Toplam Süre Üzerindeki Etkisi	42
4.4.2. β'nin Toplam Süre Üzerindeki Etkisi	43
4.4.3. ϵ'nin Toplam Süre Üzerindeki Etkisi	44
4.4.4. θ'nin Toplam Süre Üzerindeki Etkisi	45
4.4.5. n'in Toplam Süre Üzerindeki Etkisi	46
4.4.6. Öğrenme Sembollerinin Farklı Kombinasyonları ile Toplam Süre İlişkisi 47	
4.4.7. İşletmenin Mevcut Durumu ile Öğrenme Sembollerinin Farklı Kombinasyonlarıyla Hesaplanan Toplam Zamanın Karşılaştırılması	50
SONUÇ	52
BİBLİYOGRAFYA / KAYNAKÇA	54

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: Referans Ölçüm Sonuçları	34
Tablo 2: Her Faaliyet İçin Gözlem Sayısı (n)	34
Tablo 3: İki Vardiya Çalışan 2 Kişilik Grubun Ortalama Değerleri	36
Tablo 4: Dört Vardiya Çalışan 2 Kişilik Grubun Ortalama Değerleri	37
Tablo 5: 3. Ve 4. Çalışanların Ortalama Performansı	38
Tablo 6: İki Vardiya Tekrar Yapan Grubun Öğrenme Oranı	40
Tablo 7: Dört Vardiya Tekrar Yapan Grupta 3. Çalışanın Öğrenme Oranı	40
Tablo 8: Dört Vardiya Tekrar Yapan Grupta 4. Çalışanın Öğrenme Oranı	40
Tablo 9: Çalışanların Öğrenme Oranı Karşılaştırması	41
Tablo 10: b Etkisi ile Toplam Süre	42
Tablo 11: β Etkisi ile Toplam Süre	43
Tablo 12: ε Etkisi ile Toplam Süre	44
Tablo 13: θ Etkisi ile Toplam Süre	45
Tablo 14: n Etkisi ile Toplam Süre	46
Tablo 15: Öğrenme Sembollerinin Farklı Kombinasyonları ile Toplam Süre İlişkisi	48
Tablo 16: İşletmenin Mevcut Durumu ile Öğrenme Sembollerinin Farklı Kombinasyonlarıyla Hesaplanan Toplam Zamanın Karşılaştırılması	50

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Üretim Yönetiminin Fonksiyonları	5
Şekil 2: Üretim Sisteminin Genel Yapısı	8
Şekil 3: Öğrenme Eğrisinde b Etkisi	21
Şekil 4: Denklem (2) Üzerinde b Etkisi	22
Şekil 5: Stanford-B, DeJong, S Eğrisi, Plateu Modeli ve Wright Modeli Grafik Gösterimi	25
Şekil 6: Üç Parametrelili Hiperbolik Model Eğrisi.....	27
Şekil 7: Üretim Süreci Aşamaları	32
Şekil 8: b'nin Toplam Süre Üzerindeki Etkisi	42
Şekil 9: β 'nin Toplam Süre Üzerindeki Etkisi	43
Şekil 10: ϵ 'nin Toplam Süre Üzerindeki Etkisi.....	44
Şekil 11: θ 'nın Toplam Süre Üzerindeki Etkisi.....	45
Şekil 12: n'in Toplam Süre Üzerindeki Etkisi	47

SEMBOLLER LİSTESİ

$b = (0 < b < 1)$ çalışanın öğrenme oranı

β = Süreç Kalitesinin Yeniden Yapılandırılmasına Dair Öğrenme Sembolü

ε = Kusurlu Ürünlerin Yeniden İşlenmesine Dair Öğrenme Sembolü

Θ = Sürecin kontrol dışına çıkma olasılığına dair öğrenme Sembolü

n = Üretim sürecinde yapılan kesinti miktarı



KISALTMALAR LİSTESİ

QLC : Quality Learning Curve



GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ve değişen tüketici istekleriyle beraber işletmeler arasında rekabet giderek artmaktadır. Teknolojide gerçekleşen bu hızlı değişim, ülkeler ve insanlar üzerinde ekonomik ve sosyal etkiler meydana getirmektedir. Bu durumdan hareketle piyasalarda tüketici rolünde olan insanlar birbirlerinden daha kolay etkilenmiş, ihtiyaç ve istekleri geçmişe göre daha çok çeşitlenmiştir.

İnsanlar günümüzde ihtiyaçlarını teknolojinin getirisi olarak kolayca internet aracılığıyla karşılayabilmektedirler. Dolayısıyla kaliteye ve kaliteli ürüne ulaşmak geçmişe kıyasla daha kolay hale gelmiştir. Aynı zamanda insanlar gelişen lojistik faaliyetler sonucu dünyanın çeşitli yerlerinden yine internet aracılığıyla istedikleri ürün veya hizmete kolayca ulaşabilmektedir. Bu durum “küreselleşme” kavramını ortaya çıkarmıştır.

Gelişen lojistik faaliyetler sonucunda ülke içinde işletmelerin birbirleriyle rekabet etmesinin de ötesinde işletmeler artık dünya çapında birbirleriyle rekabet etmeye başlamıştır. Günümüzde tüketicinin daha bilinçli olmasından dolayı işletmeler sadece üretip satmak için değil, aynı zamanda kaliteli ürün üretip tüketiciyi memnun etme amacıyla hareket etmektedirler. İşletmeler kaliteli ürünü üretirken maliyetleri minimum seviyeye indirebilmeyi amaçlamaktadırlar. İşletmeler için birçok maliyet kalemi bulunmakta olup en önemli maliyet kalemlerinden birisi “zaman” kavramıdır.

Bu çalışmada, öğrenme eğrilerinin uygulama yapılan işletmenin sahip olduğu farklı öğrenme oranlarıyla hedeflediği haftalık üretim miktarına hangi faktörleri dikkate alarak en optimal sürede ulaşacağı üzerine hesaplamalar yapılmıştır. Öğrenme eğrilerinin parçası olan öğrenme parametrelerinin farklı kombinasyonlarıyla toplam üretim zamanları hesaplanmış, işletmenin sahip olduğu mevcut çalışan öğrenme oranıyla hedeflediği haftalık üretim miktarının, ne kadarlık bir toplam zaman sonunda gerçekleşebileceği noktasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Birinci bölümde, üretim, üretim yönetimi, üretim yönetiminin amaçları, üretim yönetiminin fonksiyonları ve işletme içerisindeki diğer fonksiyonlar ile ilişkisi, üretim sistemleri ve elemanları, üretim sistemlerinin sınıflandırılması anlatılmıştır. İkinci bölümde, iş ölçümü ve amaçları, iş ölçümü teknikleri, zaman etüdü ve aşamaları,

yeterli gözlem sayısının ve standart zamanın hesaplanması anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, öğrenme eğrileri, öğrenme eğrilerinin ortaya çıkışı ve tarihsel gelişimi ile öğrenme eğrileri modelleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, konu ile ilgili yapılan uygulamaya yer verilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

ÜRETİM YÖNETİMİ VE SİSTEMLERİ

1.1. ÜRETİM

Üretim, insan ihtiyaçlarını karşılayan mal ya da hizmetlerin meydana getirilmesi, başka bir deyişle belirli girdilerin belirli bir dönüştürme sürecinden geçirilerek belirli mal ya da hizmet haline dönüştürülmesidir (Özgen, 1987: 3). Yamak'a göre üretim ise, ekonomik anlamı olan herhangi bir şeyi ortaya çıkarmak için gösterilen faaliyettir (Yamak, 1994: 12). İşletmeler için üretim kilit rol oynayan bir fonksiyondur. Teknik ve ekonomik açıdan üretim farklı tanımlanmaktadır (Kobu, 1981: 1-2). Ekonomistler üretimi değer yaratmak olarak tanımlamaktadır. Teknik anlamda ise üretim, fiziksel bir varlığın değerini arttıracak değişikliğin yapılması veya yarı mamul halde bulunan bir ürünün mamul hale dönüştürülmesi olarak tanımlanmaktadır. İşletme bilimi üretim tanımını ekonomistlerin yapmış oldukları tanıma yakın olarak kabul etmektedir (Özgen, 1987: 3).

1.2. ÜRETİM YÖNETİMİ

Üretim yönetimi; talep edilen miktar, yer, zaman, kalite ve minimum maliyet ile mal veya hizmet üretilebilmesi için gereken üretim sisteminin tasarımı ve kontrolü olmak üzere iki geniş faaliyet alanı ile ilişkili bulunmaktadır (Buffa, 1969: 29). Üretim yönetimi, işletmelerin işgücü, hammadde, sermaye, bilgi birikimi gibi faktörleri bir araya getirerek istenilen miktar, kalite, zaman ve yerde mal veya hizmet üreterek işletme olarak amacına ulaşmasıdır. Bu tanımda yer alan dört unsurun (fiyat, kalite, miktar, zaman) tamamının aynı anda en iyi şekilde gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Örneğin; üretilen miktar fazla oldukça işletmenin satışlarına olumlu etki etmekte ancak işletmenin stok maliyetlerini arttırmaktadır. Üretim yönetimi, kıt kaynakların etkili şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Kıt kaynakların verimli kullanılabilmesi için, işletmenin aynı zamanda diğer birimleriyle sıkı bir bilgi alış-verişi içerisinde olması gerekir.

1.2.1. ÜRETİM YÖNETİMİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Sanayi devriminin günümüzdeki üretim kavramlarının oluşmasında etkisi büyüktür ancak sanayi devrimi bu kavramların oluşmasının tek sebebi olmamıştır. Gelişen teknoloji ile insanlığın eğitim alanında ve yönetim yeteneklerinde gelişmesi günümüzdeki üretim yönetimini ortaya çıkarmada etkili olmuştur. Sanayi devrimi öncesinde diğer faktörlerin etkileri örneklerle görülmektedir. Makineleşmenin olmadığı zamanlarda Çin Seddi ve Mısır Piramitleri gibi yapılar işgücü ve yönetim yeteneğinin bir araya getirilmesiyle inşa edilmiştir.

Modern üretim yönetiminin başlangıcı ünlü ekonomist Adam Smith'e kadar dayandırılır. O tarihten günümüze kadar olan önemli gelişmeler şu şekildedir (Kobu, 2005:7):

- Adam Smith, 1776 yılında yayımladığı Ulusların Zenginliği (The Welth of Nations) adlı kitabında işi bölümlere ayırmış ve iş bölümü yaparak üretim artışı sağlayacak gelişmeleri belirlemiştir.
- 1832 yılında Matematikçi Charles Babbage, iş bölümü uygulanması sonucunda sağlanan faydaların ayrıntılarını hesaplamış, işi basitleştirmiş, uzmanlaşma ile üretkenliğin artırılması yönünde denemeler yapmıştır.
- 1900-1920 yılları arasında Frederick Taylor bilimsel yönetimin kurallarını tanımlamıştır. Üretim yönetiminde; verimlilik artışı, organizasyon, işgücü verimliliği, işletme düzeni vb. kavramların Taylor ile ortaya çıktığı kabul edilmektedir. Taylor'un bilimsel yönetim kuralları; İş analizinde parmak hesabı yerine bilimsel yöntemlerin kullanılması, çalışanların seçme, eğitim ve yetiştirilmesinde sistematik yöntemlerin uygulanması, çalışan ile yöneten arasında sağlam temellere dayanan iş birliğinin kurulması, iş yükünün çalışanlar ve yönetenler arasında dengeli, adil ve uygun biçimde bölünmesidir.
- 1911 yılında Frank Gilbreth, hareket ekonomisi prensiplerini ortaya koymuş ve mikro hareketleri tanımlamıştır. Eşi Lilian Gilbreth ise insan faktörünün üretim sürecindeki önemini ortaya çıkarmıştır.
- 1920'lerde F.W. Harris matematik modellerini stok kontrol problemlerine uygulamıştır.
- 1930'larda W. Shewhart istatistik yöntemlerini ve olasılık teorisini kalite kontrol alanında uygulamıştır.

- Savaştan sonra, doğrusal programlama ve diğer matematik yöntemleri geliştirilmiş, modellerle simülasyon yöntemi uygulanmış, yüksek hızlı bilgisayarlar ortaya çıkmış, otomasyonlar gelişmiş ve ergonometri önem kazanmıştır.
- 1960'tan günümüze kadar; toplam sistem kavramı ve geniş kapsamlı simülasyon modelleri üretim sistemlerinin tasarımında kullanılmış, haberleşme, planlama ve araştırmada bilgisayarlardan geniş şekilde yararlanılmıştır.

Son yıllarda özellikle Japon firmaları; sıfır hatalı üretime, toplam kalite yönetimine, sıfır stok anlayışına öncülük etmektedir. Bu firmalardan olan Toyota, Just in Time (Tam Zamanında Üretim) ve KANBAN yöntemleriyle, diğer firmalar ise bilgisayarlı tasarım ve üretim (CAD, CAM) gibi devrim niteliğindeki uygulamaların Dünya'ya yayılmasına öncülük etmişlerdir.

1.2.2. ÜRETİM YÖNETİMİNİN AMAÇLARI

Üretimde 4 faktör (kalite, maliyet, miktar ve zaman) önem arz etmektedir. Üretim yönetiminin amacı bu faktörleri birlikte değerlendirerek en uygun değerleri bulmaktır. Üretim yönetiminin amaçlarını şu şekilde özetleyebiliriz:

- Tüketici taleplerini kalite, maliyet, miktar ve zaman açısından en iyi şekilde karşılamak,
- Stok miktarını mümkün olan en az seviyelerde tutmak,
- İşletmenin işgücü ve makine unsurlarından sağladığı yararı yükseltmek.

Üretim yönetimi amaçlarına bakıldığında aralarında çelişki gözükmemektedir. Stokları minimum seviyede tutarak tüketici taleplerini zaman kaybetmeksizin karşılamak gerçekleşmesi zor amaçlardandır.

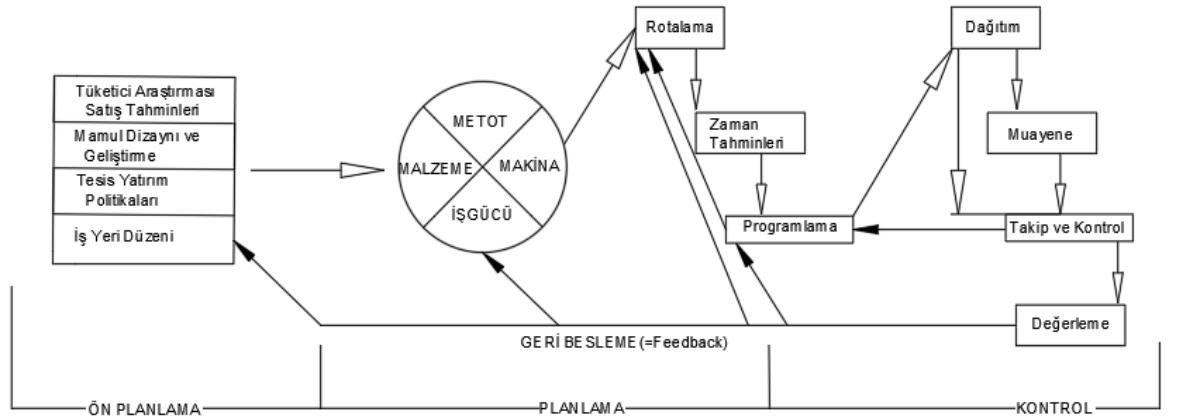
Küçük bir işletmede üretim, muhasebe, satın alma, satış ve diğer fonksiyonlar genellikle işletme sahibi tarafından yerine getirilir. Sorun ile karşılaşıldığında fonksiyonların tamamı bir kişiye bağlı olduğu için karar vermek nispeten daha kolaydır. Ancak büyük işletmelerde üretim yönetiminin her bir amacı, farklı bir fonksiyonun esas amaçlarındandır. Satış departmanı müşteri isteklerini derhal karşılamayı amaçlarken, üretim departmanı işgücü ve makineleri optimum iş yükü ile

çalıştırmayı amaçlamaktadır. Çelişkili olan bu durumda üretim yönetimi departmanı iki taraf arasında uzlaştırıcı güç olarak görev yapmaktadır.

1.2.3. ÜRETİM YÖNETİMİNİN FONKSİYONLARI

Bir işletmede üretim yönetiminin fonksiyonları; işletmenin büyüklüğü, yönetim politikası, örgüt yapısı, üretim tipi veya yöntemleri, içerisinde bulunduğu sanayi dalı, üretim miktarı gibi unsurlara bağlı olarak belirlenir. Factory dergisi ve APICS (Amerikan Production and Inventory Control Society) tarafından yapılan araştırmaya göre Amerika'daki işletmelerin %90'ı üretim departmanında ön planlama, planlama ve kontrol olmak üzere 3 ana fonksiyonu kullanmaktadır. Şekil 1'de bu 3 ana fonksiyon gösterilmiştir. Şekil 1'de oklar işletmenin fonksiyonları arasındaki sorumluluk akışını temsil etmektedir.

Şekil 1: Üretim Yönetiminin Fonksiyonları



(Kobu, 2005: 12)

Ön planlamada, tüketicinin talep ettiği ürünün şekli, özellikleri, fiyatı, miktarı ve ürünü hangi zaman diliminde teslim almak istediğine ait bilgiler toplanarak analizi gerçekleştirilir. Tüketicinin üründen beklentileri, kalite ve tasarım özelliklerine dönüştürülür ve üretimin gerek duyduğu bilgiler hazırlanır. Rakip firmalarla rekabetin yaşanabilmesi veya tüketici kararlarının değişmesi üzerine mevcut ürün üzerinde yenilik yapılması gerektiği belirlenebilir. Kapasiteye uygun üretim yapılabilmesi için eldeki olanakların nasıl kullanılması gerektiğine karar verilir. İşletme yatırım stratejisine uygun olacak şekilde ara parçaları kendisi üretebilir, başka bir firmaya yaptırabilir veya doğrudan başka bir firmadan satın alabilir. Üretim araçları ve fabrikanın konumu belirlendikten sonra, makine ve teçhizatın etkili bir şekilde

kullanılacağı bir düzen oluşturulur. Değişen teknoloji ve üretim koşulları gibi faktörler sonucunda üretim sürecinde aralıklarla makine ve teçhizatın yerleri değiştirilir veya sürece eklemeler yapılabilir. Bazı demirbaşların yer değişimi oldukça maliyetli olacağından üretim süreci ilk kez kurulurken dikkatli kararlar verilmeli ve yerleşim o şekilde yapılmalıdır.

Planlama aşaması temelde 4 üretim faktörü olan Makine, malzeme, metot ve işgücüne dayanmaktadır.

Tüketici taleplerinin zamanında karşılanabilmesi için hammaddenin tedariki, tüketicinin talep ettiği ürün miktarı ve ürünün kalite özellikleri bilgilerine sahip olunmalıdır. Hammadde temin edildikten sonra mevcut makine ve işgücü kapasitelerinde gerekli planlamalar yapılarak tüketicilerin talep ettiği miktarın sorunsuzca üretilmesi amaçlanmaktadır. İşletme, talebin zamanında karşılanabilmesi için yeni makineler almak, mevcut olan makineleri yenileriyle değiştirmek veya var olan işgücüyle fazla mesai yapmak seçeneklerinden hangisini tercih edeceğini belirlemelidir.

Üretim yönetiminin kontrol aşamasında dağıtım, takip ve kontrol, değerlendirme fonksiyonları bulunmaktadır. Ana fonksiyonlardan biri olan kontrolün amacı üretim sürecinde hazırlanan planları uygulayacak faaliyetleri sürdürmek, uygulama sırasında problem ile karşılaşırsa ilgili birimlere bilgi akışı sağlamaktır.

Dağıtım fonksiyonunda amaç, iş emirlerinin kısıtlı zaman içerisinde süreci gerçekleştiren işçilere ve yöneticilere iletilmesidir. Üretim sürecinde makinelerde arıza meydana gelmesi veya ani siparişlerin araya sıkıştırılması noktasında planlanan üretimler aksayabilir. Bu aksamaları tespit ederek yöneticilere bilgi vermek takip ve kontrol fonksiyonunun görevidir.

Üretim faaliyetlerinin planlamaya uygun devam ettiği, süreçte oluşan hataların sebepleri ve üretilen ürünlerin kalite kontrol sonucuna dair bilgiler birlikte hesaplanarak rapor hazırlanır. Düzenlenen raporlar, ilgili departmanlara geri dönüt olarak iletilir. Departmanlardan varsa aksaklıklarını en kısa sürede düzeltmeleri istenir.

Üretim yönetimi fonksiyonları, üretim sürecinde aksaklık yaşanması durumunda gerekli raporları düzenleyerek ilgili departmanlara bilgi akışı sağlamaktadır.

1.2.4. ÜRETİM YÖNETİMİNİN DİĞER FONKSİYONLARLA İLİŞKİSİ

Üretim yönetimi işletme içerisindeki diğer fonksiyonların etkili bir şekilde görevlerini yapabilmesine yardımcı olmaya çalışır. İşletme içerisinde yer alan satış, pazarlama araştırması, kontrol, satın alma ve diğer departmanlar birbirleriyle koordineli olarak çalışmalıdır. Pazarlama araştırması departmanı, gelecekte oluşabilecek tüketici taleplerini, işletmenin hali hazırda ürettiği ürünlere gösterilebilecek ilgiyi ve tahmin edilen satış miktarını saptamalıdır. Satış departmanı, üretilen ürünleri satın almak isteyen tüketicilerden talepleri almalı, teslim tarihlerini belirlemeli ve siparişleri malzeme yönetimi ve planlama-kontrol departmanlarına aktarmalıdır. Planlama-kontrol departmanı bu bilgi akışı doğrultusunda işletmenin var olan stoklarına göre en uygun sipariş miktarını, teslim zamanını, ne kadarlık bir işgücünün kaç gün çalışması gerektiği gibi soruların cevaplarını belirlemelidir (Çevrimiçi 1).

Sonuç olarak, üretim yönetimi ve işletmenin fonksiyonları sürekli olarak birbirlerine bilgi akışı sağlamalı, üretim yöneticileri ise karar alırken işletmenin diğer fonksiyonlarını da hesaba katmalıdır. İşletmenin tüm fonksiyonları birer bütündür ve birbirinden bağımsız olarak düşünülemez. Üretim yöneticisi bu durumun farkında olmalı ve bir fonksiyon olmadığında veya işlevsiz kaldığında işletmenin başarısızlığa sürükleneceğinin farkında olmalıdır.

1.3. ÜRETİM SİSTEMİ

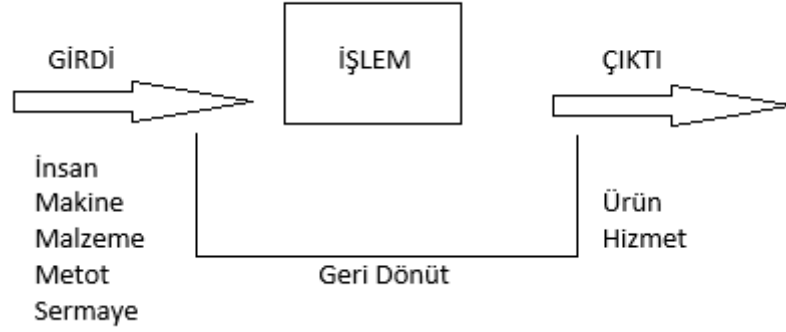
Üretim sistemi, ekonomik değere sahip olan bir ürünün yapımı için oluşturulan malzeme-makine-insan sistemi ile farklı nitelikte ve farklı miktarda girdiyi alarak anlamlı bir çıktıya dönüştüren sistemdir. Üretim sistemi genel olarak beş unsurdan oluşmaktadır. Bunlar;

- Malzeme (material)
- Makine (machine)
- İnsan (man)
- Metot (method)
- Sermaye (money)

Üretim sisteminin temel özelliği bir dönüştürme süreci olmasıdır. Dönüştürme sürecinde, girdiler önceden belirlenen şartlara göre işlenir ve yine önceden belirlenen

niteliklere uygun bir çıktı oluşturulur. Şekil 2’de bir üretim sisteminin genel yapısı gösterilmiştir (Yamak, 1994: 18).

Şekil 2: Üretim Sisteminin Genel Yapısı



Üretim sistemlerini değerlendirmede etkinlik, üretkenlik, verimlilik gibi kavramlar kullanılır ve bu kavramlar oldukça önemlidir.

1.3.1. ÜRETİM SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Üretim sistemleri; kesikli üretim, sürekli üretim ve proje tipi üretim olarak 3 ana sınıfa ayrılmaktadır. Kesikli üretim kendi içerisinde siparişe göre üretim ve parti tipi üretim, sürekli üretim sistemi ise kendi içerisinde kütle tipi üretim ve akış tipi üretim olarak ikiye ayrılmaktadır. Üretim sistemleri, farklı faktörlere göre de sınıflandırılabilir. Örneğin; mamulün cinsine göre kimyasal madde üretimi, demir-çelik üretimi olabileceği gibi, kullanılan üretim yöntemine göre birincil üretim, analitik üretim ve sentetik üretim olarak da sınıflandırılabilir (Çevrimiçi 2).

Kesikli Üretim

Az sayıda sipariş üzerine ve farklı ürünlere yönelik üretim yapılan sistemlerdir. Seri üretimden farklı olarak genel amaçlı makine ve teçhizat gerektirmektedir. Farklı ürünlerin üretimi, genel amaçlı makineler üzerinde bazı ayarlamalar yapılarak gerçekleştirilmektedir (Çevrimiçi 3). Kesikli üretime örnek olarak, mobilya üretimi ve tekstil üretimi verilebilir.

Kesikli üretim sisteminin özellikleri şu şekilde sıralanabilir;

- Düzensiz talep vardır
- Genel amaçlı makineler kullanılmaktadır

- Az miktarda ve çeşitli üretim yapılabilir
- Aynı işlevsel özelliğe sahip üretim araçları aynı bölümlerde toplanabilir
- Nitelikli işgücü kullanılmaktadır
- Hammadde ve mamul stokları mümkün olduğunca minimum seviyededir
- Esneklik vardır.

Kesikli üretim siparişe göre üretim ve parti üretimi olarak ikiye ayrılmaktadır.

Siparişe Göre Üretim

Siparişe göre üretim, düşük miktarlarda üretilen ancak ürün çeşitliliğinin fazla olduğu ve belirli siparişleri karşılamak üzere yapılan üretimdir. Üretim sürekli olmayıp partiler şeklinde olmaktadır. Müşteriler, siparişleri üzerinde spesifik özellikler talep edebilmektedir. Bu tip sistemlerde, benzer özellikteki makine, teçhizat ve işgücü kaynakları beraber gruplandırılarak çeşitli üretim birimleri oluşturulmaktadır (Yılmaz, 2013).

Sipariş tipi üretim, talebe bağlı olarak, üç şekilde olabilmektedir (Baskak ve Tanyaş, 2006):

- Ürünün bir kez sipariş üzerine üretilmesi
- Çeşitli ürünlerin, düşük miktarlarda, belirli aralıklarla sipariş üzerine üretilmesi
- Çeşitli ürünlerin, düşük miktarlarda, belirsiz aralıklarla sipariş üzerine üretilmesi

Parti Üretimi

Bir ürünün siparişi veya sürekli talebe yanıt verebilmek için belirli miktarlardan oluşan partiler halinde üretilmesidir. Bir parti ürünün üretiminden sonra makine ve üretim süreci tekrar tasarlanarak başka cins ürün üretilmektedir. Parti tipi üretimde, seri üretime göre daha az, atölye tipi üretime göre daha fazla miktarda ürün üretilmektedir. Bu sistemde yapılacak olan planlama ve çizelgeleme çalışmaları diğer üretim tiplerine göre oldukça zordur. Tekstil, gıda gibi çoğu tüketim malı parti üretimi grubunda yer almaktadır (Çevrimiçi 4).

Sürekli Üretim

Sürekli üretim tipinde ürün çeşidi az fakat üretim miktarları yüksektir. Sahip olunan makine ve işgücü ile belirli bir ürünün üretimi için kullanılır. Üretimi yapılan ürünün talep miktarı çok yüksektir.

Talep miktarının yüksek olmasından dolayı hammadde ve nihai ürün stok miktarları yüksek düzeylerde tutulmaktadır. Sürekli üretime ait bazı özellikler aşağıda sıralanmıştır:

- Düzenli talep
- Ürünün oluşum sırasına göre yerleşim
- Özel amaçlı makine kullanımı
- Esnek olmayan bir üretim hattı
- Yüksek hız ve yüksek verimlilik
- Vasıfsız personel
- Kolay ve düzenli üretim planlama faaliyetleri
- Periyodik bakım faaliyetleri

Sürekli üretim; kütle ve akış üretimi olarak iki alt gruba ayrılmaktadır:

Kütle Tipi Üretim Sistem

Ürün miktarının yüksek, ürün çeşidinin ise düşük olduğu üretim sistemi tipidir. Üretim sürecinde ufak değişiklikler yapılarak farklı tipte benzer ürünler üretmek mümkündür. Beyaz eşya ve bilgisayar üretim sistemleri bu tip üretim sistemine örnek olarak verilebilir.

Akış Tipi Üretim Sistemi

Bu tip üretim sisteminde makinalar yalnızca tek tip ürün üretecek şekilde tasarlanmıştır. Otomasyona dayalı bir üretim sistemidir. Çimento sanayi, motor sanayi bu tip üretim sistemine örnek olarak verilebilir.

Kütle üretimi ile akış üretimi arasındaki en büyük fark, kütle üretiminde bir üründen çok yüksek miktarlarda ve uzun süreli üretim yapılır. Gerekliğinde makine, yerleşme düzeni gibi değişiklikler yaparak başka tip ürün üretimine geçme imkânı vardır. Akış üretiminde ise makine ve yerleşme düzeni yalnızca tek tip ürün üretmek için tasarlanmıştır. Bu üretim sisteminde farklı bir ürün üretmek çok maliyetli veya imkansızdır (Çevrimiçi 5).

Proje Tipi Üretim

Belirlenmiş bir ürünün yalnızca bir defa üretilmesi bakımından siparişe göre üretim ile benzerlik göstermektedir. Bu sistemde üretilen ürünler genellikle hareket yeteneğine sahip olmayan tiptedirler. Metro hattı yapımı, otomobil üretimi proje tipi üretim sistemine örnek olarak verilebilir. Proje tipi üretim sisteminin en önemli özelliği; makine ve insan gücünün üretimde kullanılan hammadde çevresinde ve içerisinde hareket edebilir olmasıdır. Bu durumun sonucu olarak birçok faaliyet eş zamanlı olarak yapılabilir. Ayrıca proje tipi üretim sistemi en maliyetli üretim sistemi olarak kabul edilmektedir (Çevrimiçi 4).

İKİNCİ BÖLÜM

İŞ ÖLÇÜMÜ

İş ölçümü, nitelikli bir işçinin belirli bir işi istenen performans düzeyinde gerçekleştirebilmek ve gereken zamanı belirlemek için tasarlanmış tekniklerin uygulanmasıdır. İş ölçümü aynı zamanda bir süreçte, etkin olmayan süreyi belirlemeye ve ölçmeye yardımcı olmaktadır.

İş ölçümünden yaygın olarak; işin planlanması ve programlanması, insan gücü planlaması, ekip çalışmasında iş dengelemesi, maliyetlendirme, işgücü performansı ölçümü gibi sonuçlar elde edilmektedir (Kiran, 2020: 191).

İş ölçümü, etkin olmayan zamanın nedenlerini araştırmakta, bu durumu kademeli olarak azaltarak, etkin olmayan zamanı ortadan kaldırmaya yardımcı olmaktadır.

2.1. İŞ ÖLÇÜMÜ TANIMLARI

İş ölçümü, bir işin veya işin bir bölümünün tamamlanmasının ne kadar süreceğini bulmanın birkaç farklı yolunu kapsayan bir terimdir (Çevrimiçi 6). Bir başka tanıma göre ise iş ölçümü; belirli bir performans düzeyinde çalışan nitelikli bir işçi tarafından yapıldığında belirli bir görevin alacağı süreyi belirleme sürecidir (Çevrimiçi 7). Nadler'e göre iş ölçümü; bir işlemin belirli koşullar altında ve belirli metotlarla, yeterli eğitim, bilgi ve yeteneğe sahip çalışanlar tarafından, çalıştığı gün boyunca aşırı yorgunluk ortaya çıkarmayacak çalışma hızı ile yapılması için geçen zamanın tespiti amacıyla uygulanan tekniklerdir (Nadler, 1963).

Literatürdeki tanımlardan yola çıkarak iş ölçümünü özetlemek gerekirse, ortalama bir işçinin belirli bir üretim görevini belirli bir performans düzeyinde gerçekleştirmesi için gereken zamanı belirlemektir.

İş ölçümü, üretim için gereken zamanın belirlenmesi dışında, işletmeye değer katmayan faaliyetlerin ve israfın ortaya çıkarılmasına da yardımcı olmaktadır.

2.2. İŞ ÖLÇÜMÜNÜN AMAÇLARI

İş ölçümünün var olan üretim sürecini daha verimli hale getirmek için benimsediği amaçlar bulunmaktadır. Karşılaştırma amacı, kapasite değerlendirmesi, tahmin amacı bu amaçlardandır (Kiran, 2020: 193).

Karşılaştırma amacı

Karşılaştırma amacı işletmeye, alternatif yöntemlerin etkinliğinin karşılaştırılması, alternatifler arasında ideal olan sürecin seçimini kolaylaştırması, gerçek sürelerin tahmini sürelerle göre kontrol edilmesi ve gerçek makine performansının beklenen değerlere göre kontrol edilmesi açısından yarar sağlamaktadır.

Kapasite değerlendirme

Kapasite değerlendirme işletmeye, tesisin ve işgücü gereksinimlerinin hesaplanması da dahil olmak üzere, üretim planlamasının temel alacağı bilgileri sağlaması, siparişleri mevcut tesis kapasitesine dönüştürmesi, gerçekçi planların yapılmasını sağlaması, departmanlar arasındaki iş yükünün dengelenmesine yardımcı olması açısından yarar sağlamaktadır.

Tahmin amacı

Tahmin amacı işletmeye, kaybolan veya etkin olmayan zamanı ortadan kaldırması, işletmenin amaç ve hedeflerini belirlemesi, işçilik maliyetlerinin kontrol bilgisinin sağlanması ve işletmenin gelecek planlarının projelendirilmesi açısından yardımcı olmaktadır.

2.3. İŞ ÖLÇÜMÜ TEKNİKLERİ

İş ölçümü teknikleri, işletmenin yapısı ve ekonomik imkanlarına göre uygulanmaktadır. Literatürde bulunan ve uygulanma şansı bulabilen iş ölçümü teknikleri şu şekilde sıralanabilir (Kobu, 1999: 378):

- Doğrudan Ölçme
- Faaliyet Örneklemesi
- Standart Bilgilerin Sentezi
- Analitik Tahminler
- Elemanter Hareket Standartları

Bu iş ölçümü teknikleri arasında en fazla adı geçen ve uygulananı, gözlemlenen işteki aşamaları belirli kuralları izleyerek kronometre ile ölçmeye çalışan doğrudan ölçme tekniğidir. Literatürde zaman etüdü veya kronometraj olarak da tanımlanmaktadır.

Doğrudan Ölçme

İş bir çalışan tarafından sabit bir yerde yapılmaktadır. Yapılan iş kısa süreli sıklıklarla tekrarlanmaktadır. Uzun dönemli olarak düşünüldüğünde herhangi bir değişiklik söz konusu olmamaktadır. Saptanacak standartların duyarlık derecesi yüksek olmalıdır.

Faaliyet Örneklemesi

İş birçok çalışan tarafından dar bir alanda yapılmaktadır. Yapılan işte tekrarlanma sayısı az ve periyotlar uzun olmaktadır. Değişken ve tesadüf faaliyetlere sıkça rastlanmaktadır. Ayrıntılı olarak gözlemlenen işin aşamalarını ölçmek mümkün olmamaktadır. Saptanacak standartların duyarlık derecesi nispeten daha azdır.

Standart Bilgilerin Sentezi

Uzun dönemli yapılmakta olan işler için uygun olmaktadır. Düzenli kayıtların tutulması ve gözlemlenen işin aşamalarında gelecekte önemli değişikliklerin olmaması halinde oldukça etkili bir yöntemdir.

Elemanter Hareket Standartları

Daha çok ilk defa tasarlanan işler için ve henüz gerçek üretim sürecinin başlamadığı durumlarda standartların tespiti için kullanılmaktadır. Yapılan işler kısa dönemli ve sıklıkla değişiklik oluyorsa en uygun yöntemdir.

Analitik Tahminler

Az tekrarlanan işlerde ve diğer yöntemlerin maliyetlerinin çok yüksek olması halinde kullanılmaktadır. Standartlar, işi iyi bilen uzman çalışanlar tarafından tecrübeye ve sezgiye dayanılarak belirlenmektedir.

2.4. İŞ ÖLÇÜMÜ SONUÇLARININ KULLANILDIĞI YERLER

İş ölçümü temelde işletmeler açısından planlama ve kontrol faaliyetlerinin verimliliğini arttırmaya yöneliktir. Gözlemler sonucu yapılan hesaplamalar doğrultusunda bulunan standart zamanlar,

- Üretim planlarının hazırlanmasında bilgi kaynağı olarak,
- Standart maliyetlerin hesaplanması ve bütçe planlamasında,
- Üretimi başlamamış ürünün maliyetinin hesaplanmasında,
- Makine ve üretim yerlerinin verimliliğinin hesaplanmasında,
- Var olan çalışma sisteminin daha verimli hale getirilmesinde,
- Süreçte olması gereken işçi sayısının ve makine ihtiyacının belirlenmesinde,
- İşçi ile işveren arasında verim ve ücret noktalarında ölçülebilir kriterlerin oluşturulmasında,
- Üretkenlik ve verimliliği arttırmak için yapılacak girişimlerin sağladığı avantajların getirisini hesaplamada kullanılır.

2.5. KRONOMETRE İLE İŞ ÖLÇÜMÜ

Kronometre ile iş ölçümü, doğrudan ölçme olarak da adlandırılmaktadır. Seçilmiş bir sürecin, yine seçilmiş bir işçi tarafından yapılması esnasında geçen sürenin kronometre ile ölçülmesi olarak tanımlanmaktadır. Bir işçi seçip, yaptığı işin ortalamasını alarak ölçülebildiği gibi aynı nitelikte birkaç işçi seçip bir günlük çalışmalarının ortalamalarını alarak da ölçüm yapılabilir.

2.6. ZAMAN ETÜDÜNÜN AŞAMALARI

Zaman etüdü, kronometre ile ölçülerek zaman ölçüm formuna kaydedilir. Ölçümler sonucunda standart zamana ulaşmak için,

- Ölçümü yapılacak iş, işçi ve uygulanacak işlem hakkında bütün bilgiler toplanmalıdır,
- Gözlemlenecek iş, kronometre ile ölçüme en uygun olacak şekilde aşamalara ayrılmalıdır,

- Gözlem yapılarak ölçümler kaydedilmelidir,
- Gözlem sonucu yapılacak olan tahminin gerçeğe en yakın olabilmesi için gereken gözlem sayısı hesaplanmalıdır,
- Çalışan işçi tempo faktörü olan R belirlenmelidir,
- Gözlemlenen iş için toleranslar hesaplanmalıdır,

aşamaları uygulanmalıdır.

2.7. GÖZLEM VE ÖLÇÜMLERİN YAPILMASI

Gözlem yapılan işteki aşamaların süreleri kronometre kullanılarak, sürekli ölçüm, tekrarlı ölçüm ve akümülatif ölçüm yöntemleri ile tespit edilebilmektedir (Kobu, 1999: 387).

Sürekli Ölçüm

Gözlemlenen işin her aşaması sonrasında kronometredeki değer kaydedilir. Zaman ölçümünün temel aracı olan kronometre hiçbir zaman durdurulmamakta ve geri alınmamaktadır. Gözlem tamamlandıktan sonra her aşama için kaydedilmiş olan değer bir önceki değerden çıkarılarak her aşama içerisinde ne kadarlık bir süre harcandığı bulunmaktadır.

Tekrarlı Ölçüm

Gözlemlenen işteki her aşama bitişinde kronometre üzerindeki değer kaydedilerek, kronometre sıfırlanmaktadır. Böylelikle gözlem sonunda sürekli ölçümün aksine çıkarma işlemine gerek kalmadan aşamaların süreleri kaydedilmektedir.

Akümülatif Ölçüm

İki veya üç kronometre ile yapılmaktadır. Gözlemlenen işteki her aşama sonunda bir kronometre değeri kaydetmek için durdurulurken, diğer kronometre sonraki aşamayı ölçmek üzere çalıştırılmaktadır.

2.8. GÖZLEM SAYISININ HESAPLANMASI

Bir işi oluşturan aşamaların süreleri, çeşitli değişkenlerin etkisiyle değişiklik gösterebilmektedir. Gözlemlenen bir işte sadece bir defa ölçüm yaparak, iş ve aşamaları hakkında tahminde bulunmak oldukça zor olabilmektedir. Yeteri sayıda gözlem yapıldıktan sonra belirli bir güven düzeyinde tahmin yapmak daha sağlıklı

olmaktadır. Sürece dair ölçüm yapılırken seçilen işin aşamalarının en az kaç kez gözlemlenmesi gerektiğinin tespiti (Heizer ve Render, 2017),

z = Güven düzeyi

s = Standart Zaman

h = Hata payı olmak üzere

$\bar{x}$ = Ortalama süre

$$n = ((z \cdot s) / (h \cdot \bar{x}))^2 \quad (1)$$

formülüyle yapılmaktadır.

2.9. TEMPO

Zaman etüdünün öznellik sınırına en yakın olan unsuru tempodur. Tempo değeri, çalışanın işi gerçekleştirirken sarf ettiği efordur. Standart olarak 1 olarak kabul edilirken işçi yavaş çalışıyorsa 1'in altında, hızlı çalışıyorsa 1'in üstünde bir değer verilir. R ile gösterilen tempo faktörü, ölçülen zaman ile çarpıldığında normal zaman elde edilmektedir (Çevrimiçi 8).

2.10. TOLERANSLARIN HESAPLANMASI

Her tekrarda olmayan bazı faaliyetler, tahmin edilemeyen gecikmeler ve yorulma gibi nedenler, normal zamana bilinçli olarak eklenmektedir. Toleranslar; kişisel ihtiyaçlar, yorulma ve gecikme olmak üzere üç grupta toplanarak tespit edilmektedir (Kobu, 1999: 391).

Kişisel İhtiyaçlar Toleransı

Çalışanın temizlik, sigara ve su içme gibi ihtiyaçlarını karşılamak için hesaplanmaktadır. Hafif işlerde %2, en fazla ise %5 seviyesine kadar çıkabilmektedir.

Yorulma Toleransı

Ağır veya düşünsel çaba isteyen işlerde yorulma toleransı eklenmektedir. Hafif işlerde yorulma toleransı eklemeye gerek olmamaktadır. Yorulma toleransının hesaplanması oldukça zor olmaktadır. Daha öncesinde çeşitli yorgunluk faktörleri için tecrübelerle bulunmuş olan toleransları, gözlemlenen işin durumuna göre seçerek eklemek

yapılacak tahmini daha gerçekçi hale getirmektedir. Çalışanların yorulmasına sebep olan çeşitli faktörler ve bu faktörlerin dereceleri (normal zamanın yüzdesi olarak);

1. *Faktör: Bedensel çaba yoğunluğu ve beceri*

- Çok Hafif ise %2
- Hafif ve ustalık istiyorsa %4
- Orta ağırlıkta ve ustalık istiyorsa %8
- Ağır ise %16
- Çok ağır ise %24

2. *Faktör: Düşünsel çaba yorgunluğu*

- %30-40 yoğunluk varsa %1
- %41-50 yoğunluk varsa %2
- %51-75 yoğunluk varsa %4
- %76 ve daha fazla yoğunluk varsa %8

3. *Faktör: Çalışma esnasındaki duruş pozisyonu*

- Oturuyorsa %1
- Ayaktaysa %2
- Eğiliyor veya uzanıyorsa %4
- Yürüyorsa %10

4. *Faktör: Gürültü*

- Normal sesle konuşmak mümkün ise toleransa gerek yoktur
- Konuşmak için ses yükseltmek gerekiyorsa %1
- Sadece bağırarak konuşuluyorsa %2
- Ortamdaki gürültü konuşmayı engelliyorsa %4
- Düzensiz ve devamlı olarak gürültü varsa %10

5. *Faktör: Göz Yorgunluğu*

- İş, çıplak gözle yapılabiliyorsa toleransa gerek yoktur
- Gözlük ve benzeri aletler kullanılıyorsa %4
- Mikroskop ve benzeri aletler kullanılıyorsa %6

6. *Faktör: Çevre Şartları*

- Büro ve benzeri çalışma yerleri için toleransa gerek yoktur
- Duman, yağ kokusu ve benzeri maddelere maruz kalınıyorsa %3
- Aşırı rahatsız eden unsurlar varsa %6
- Aşırı sıcak veya soğuğa maruz bir yerse %6
- Zararlı kimyasal maddelerin bulunduğu bir yerse %6

olacak şekildedir. Faktörlerdeki toleranslar incelendiğinde en elverişli çalışma ortamı ve şartında çalışılsa dahi %4 seviyesinde bir toleransın eklenmesi ihtiyacı doğmaktadır.

Gecikme Toleransı

Yapılan işin aşamaları haricinde, engellenemeyen durumlar gecikmeye sebep olabilmektedir. Makine ve insanın çalışmasındaki plansızlık kaçınılabılır gecikmeleri oluşturmaktadır. Makinelerin bakım ve tamirlerinin planlı ve zamanında yapılması, çalışanlara yeterli oranda yorulma toleranslarının verilmesi gibi önlemler alınarak gecikmelerin bir kısmı önlenabilmektedir. Gecikmenin engellenemediği durumlarda geçmişte yapılmış işler kendi şartları içerisinde değerlendirilerek ona göre gecikme toleransı hesaplamaaya dahil edilmektedir.

2.11. STANDART ZAMANIN HESAPLANMASI

Toleranslar genellikle normal zamanın yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Bu ifade standart zamanın hesaplamasında, toleranslar toplamının normal zaman ile çarpılarak bulunması sebebiyle ayırt edici bir noktadır. Standart zamanın hesaplaması R tempo olmak üzere (Heizer ve Render, 2017);

$$\text{Normal Zaman} = \text{Ölçülen Zaman} \times R$$

$$\text{Standart Zaman} = \text{Toplam Normal Zaman} / (1 - \text{Ek Paylar})$$

formülüyle yapılmaktadır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM ÖĞRENME EĞRİLERİ

3.1. ÖĞRENME EĞRİLERİNİN ORTAYA ÇIKIŞI VE TANIMI

Öğrenme eğrisi, ilk olarak 19. Yüzyılda Alman psikolog Hermann Ebbinghaus tarafından ortaya konmuştur (Çevrimiçi 9). Ebbinghaus, hafıza çalışmalarında anlamsız sözcükleri kullanarak, sözcüklerin anlamlarının ve kelimelerle eşyalar arasındaki ilişkinin hatırlama üzerindeki olumlu etkisini en aza indirmiş ve bu şartlar altında hatırlamanın ne kadar zor olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca ilk öğrenme ve unutma eğrisini oluşturarak hafızada bellek teorisini geliştirmiştir. Bu teori, tamamen

unutulan bir kavramın yeniden öğrenilmesi için gerekli zaman ile o kavramı ilk defa öğrenmek için gerekli zamanı karşılaştırmış ve geçmişteki kayıtların etkisini göstermiştir (Günday, 2012: 6).

Wright, bir işin devamlı olarak tekrarlanması sonucunda o işin daha kısa sürede tamamlanabileceği tezini savunmuştur. Wright, yapılan işi tamamlamak için gereken sürenin, üretim miktarı iki katına çıktığında düşeceği şeklinde açıklamıştır. Wright, havacılık sektöründe ilk uçağın 100 milyon, ikinci uçağın 80 milyon, dördüncü uçağın 64 milyon, sekizinci uçağın ise 51 milyon dolar maliyetle üretilmesi örneğini vermiştir. Üretim miktarı iki katına çıktıkça maliyetler yaklaşık %20 azalmaktadır. Çalışanlar, uçak üretimi sürecini devamlı olarak tekrar ederek, üretilen sonraki uçakları daha kısa sürede üretmekte dolayısıyla maliyetlerin düşmesini sağlamaktadır.

Öğrenme eğrileri, çalışanların tekrarlı işler ile ulaştıkları performansın matematiksel olarak ifade edilerek modele çevrilmiş halidir. Çalışanlar yaptıkları işi tekrar ettiği sürece, işi daha kısa zamanda yapabilmekte ve işi yapmakta kullanılan araç ve gereçlerin benzerliğine bağlı olarak kısa yollar bulabilmektedir (Wright, 1936: 124).

Üretim verimliliği hakkında yapılan çalışmalara göre, işletmeler üretim teknolojisini değiştirdiğinde, verimliliğin önce düştüğünü sonrasında ise eski teknoloji ile elde edilmiş verimlilik seviyesini aşacak şekilde arttığını görmüştür. Verimlilikteki ilk düşüş, üretim yönteminin ve teknolojilerin değiştirilmesinden dolayı iken, sonrasında verimlilikteki artış ise tekrarlı olarak yapılan işler sonucunda öğrenmenin etkisiyle olmuştur (Klenow, 1998: 531).

Öğrenme eğrileri, süreçlerin toplam sürelerinin kısaltılmasına, süreçte bulunan hammadde ve diğer kaynakların en uygun şekilde kullanılmasına katkıda bulunmakta ve bunun sonucu olarak işletmelerde işçilik, hammadde ve değişken üretim maliyetlerini azaltmaya yardımcı olabilmektedir.

Öğrenme eğrileri; çalışanlara öğrenme oranlarının analizini yapabilmekte ve aynı zamanda üretim maliyetlerinin deneyim ve işin yapılmasına dair yetenek kazandıkça değiştiğini de göstermektedir (Anzanello M.J., Fogliatto F.S, 2010).

3.2. ÖĞRENME EĞRİSİ MODELLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Alman psikolog Hermann Ebbinghaus, öğrenme eğrisini tanımlayan ilk kişidir (Wozniak, R. H, 1999). Ebbinghaus'dan sonra öğrenme eğrisi, psikoloji alanı yerine daha çok işletme kaynaklarının verimli kullanımı konusunda yardımcı olmuştur. 1936 yılında Wright tarafından ilk matematiksel model geliştirilmiştir. Araştırmacılar, karşı karşıya oldukları problemleri dikkate alarak yeni matematiksel modeller ortaya çıkarmışlardır. Bu bölümde oluşturulan ilk matematiksel modelden itibaren günümüze kadar en çok bilinen öğrenme eğrisi modelleri incelenerek modellerin nasıl çalıştığı ve işletme içerisinde bulunan hangi faktörleri yorumlamaya fayda sağladığı anlatılmaya çalışılmıştır.

3.2.1. WRIGHT'IN İLK ÖĞRENME MODELİ

Öğrenme Eğrileri, 1936 yılında Wright'ın uçak sanayisinde üretim tekrarlandıkça maliyetlerin düştüğünün görülmesi üzerine matematiksel model olarak ifade edilmiştir. Wright'e göre maliyetler, üretilen uçak sayısı iki katına çıktıkça belli oranda azalmaktadır. Wright tarafından ilk kez tanımlanan Öğrenme Eğrileri ekonomik olarak incelendiğinde, genellikle benzer tecrübeye sahip işlerin birbirini takip etmesi sonucu verimlilik artışı etkisi görülmektedir.

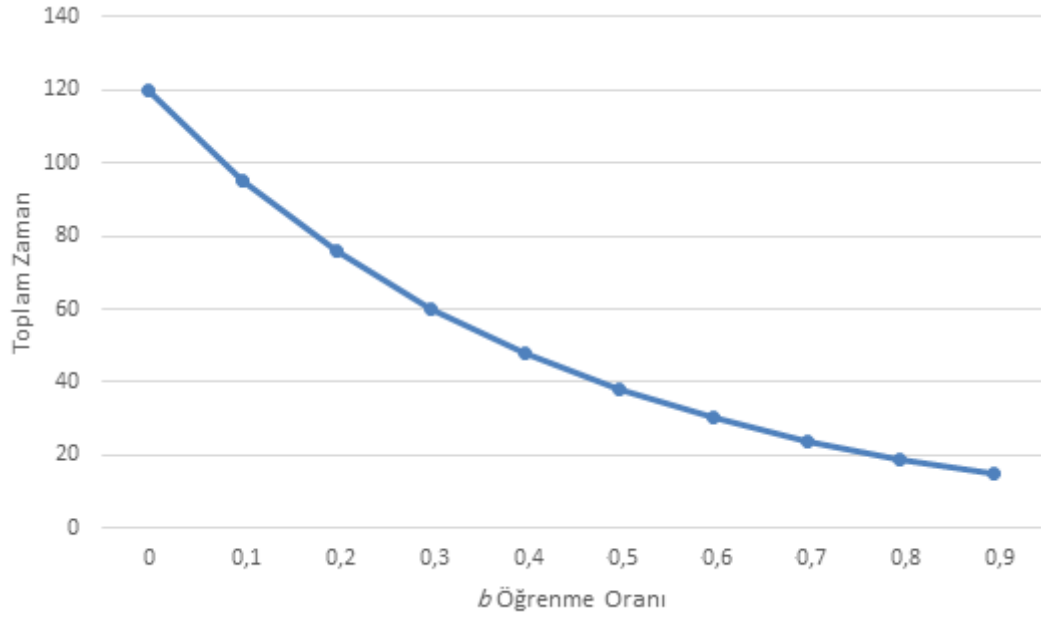
Wright tarafından 1936 yılında tanımlanan matematiksel model Denklem (2)'de verilmiştir;

$$y = C_1 x^{-b} \quad (2)$$

Denklem (2)'de, x kadar ürünün üretilmesi için ortalama zaman veya maliyet y , ilk ürünün üretiminin tamamlanması için gereken zaman veya maliyet C_1 , hedeflenen üretim miktarı x , çalışanların öğrenme oranı ise b değişkeni ile gösterilmiştir. b değişkeni 1'e yaklaştıkça toplam süre kısalacak, maliyetler ise azaltılabilecektir.

Denklem (2)'deki b değeri her çalışan için farklı değerde olabilmektedir. b değeri belli bir çalışma grubu için ortak alınabileceği gibi her çalışan için farklı olarak da değerlendirilebilir. b değerinin etkisini görebilmek için örnek verilmiştir. Örnekte; bir çalışan bir işi ilk kez yaptığında işi tamamlaması için 120 dakikaya ihtiyaç duymaktadır. Aynı çalışan aynı işi onuncu kez tekrarladığında b değerinin etkisi ile işi ne kadarlık bir sürede bitirebileceği Şekil 3'te gösterilmiştir.

Şekil 3: Öğrenme Eğrisinde b Etkisi



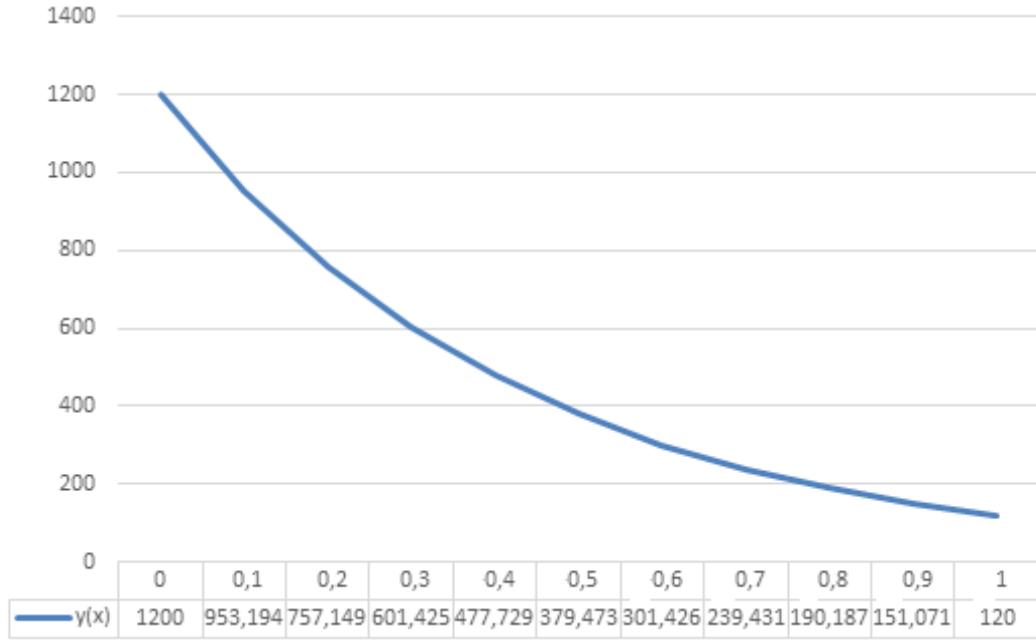
Şekil 3'te görüldüğü üzere b değerinin 1'e yaklaşması öğrenmenin yüksek, b değerinin 0'a yaklaşması ise öğrenmenin az ve düşük olduğunu göstermektedir. b değeri bu modelde çalışanın öğrenme oranını göstermektedir.

Wright'ın modelinde yapılan değişikliklerle x kadar üretim yapabilmek için gereken zaman, Denklem (3) ile tahmin edilebilmektedir.

$$y_{1-x} = C_1 x^{b+1} \quad (3)$$

Denklem (3); x kadar üretim yapabilmek için gereken zamanın tahmin edilebilmesi için, Wright'ın ilk matematiksel modelinde yapılan değişiklikle beraber ortaya çıkmıştır. Bu denklemin sonuçları Şekil 3 örneğindeki veriler kullanılarak Şekil 4'te gösterilmiştir.

Şekil 4: Denklem (2) Üzerinde b Etkisi



Şekil 3'ten x tekrar yapıldığında x. Tekrar için gereken zamana, Şekil 4'te x kadar üretimin yapılabilmesi için gerekli zamana ulaşılabilir. Ulaşılabilen bu tahmini zaman faktörü üzerinde, b değişkeninin etkisi oldukça fazladır. Öncelikle b değerinin belirlenirken her çalışan için ayrı olarak mı yoksa çalışma grubu için mi belirleneceğine karar verilmeli ve hesaplamalara verilen bu karardan sonra başlanmalıdır.

Öğrenme eğrisi Wright tarafından ilk kez matematiksel model olarak tanımlandığında, logaritmik doğrusal yapıda olan bir denklem vardı. İlerleyen yıllarda diğer araştırmacılar Wright'ın bu logaritmik modelinin üzerinde değişiklikler yapmış, oluşturdukları farklı denklemleri farklı amaçlar ve farklı problemleri çözmek için kullanmışlardır. Zamanla doğrusal logaritmik yapıdaki denklemlere ek olarak üstel ve hiperbolik modeller de ortaya çıkarılmıştır (Günday, 2012: 15).

3.2.2. LOGARİTMİK DOĞRUSAL MODELLER

Logaritmik doğrusal modeller, literatürde birçok uygulama alanında kullanılmıştır. Yapılacak olan iş için geçen sürenin tahmini (Teplitz, 1991), ürün yaşam döngüsünün tahmini (Kortge,1994), süreçte olması muhtemel kesintilerin üretim hızı üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi (Jaber & Bonney, 1996; Argote, 1999), üretim sürecinde bulunan ürünün özellikleri değiştiğinde üretim oranının değerlendirilmesi (Towill,

1985) gibi alanlarda kullanılmıştır. Ayrıca üretim maliyetlerinin takip edilebilmesi için öğrenme eğrisi ilk kez Teplitz (1991) tarafından kullanılmıştır.

Logaritmik doğrusal öğrenme eğrisi modelleri, çalışanların öğrenme sürecini modellemek için bazı sanayi dallarında uygulanmaktadır. Kimya sanayisi, otomotiv parçaları üreticileri, gemi montajı yapanlar örneklerden bazılarıdır (Cook, 1991; Lieberman, 1984; Baloff, 1971).

Tekrarlı işlerde üretim oranının tahmin edilmesinde en çok kullanılan öğrenme eğrisi modeli logaritmik doğrusal model olmuştur. Logaritmik doğrusal model, manuel yapılan kabul edilebilir hassasiyetteki işlerin karmaşık olmayan matematiksel modellerle gösterilmesidir (Globerson & Levin, (1987), Vits & Gelders, (2002). Zamanla araştırmacılar bu modele parametreler ekleyerek ölçümleri daha hassas hale getirmişlerdir.

Logaritmik doğrusal öğrenme eğrileri, üretim planlama faaliyetlerinde de kullanılabilmektedir. Çalışanların öğrenmelerinin stok politikaları, optimal parti büyüklüğü belirleme ve diğer üretim planlama faaliyetleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Kopcsó & Nemitz, 1983). Yelle (1980, 1983), Kortge (1993), üretim planlamasını iyileştirmeyi amaçlayan öğrenme eğrileri ve ürün yaşam döngüsü modellerini birleştirmiştir.

Koulamas (1992) logaritmik doğrusal öğrenme eğrilerini, ürünün yeniden tasarımının süreç kalitesi ve maliyeti üzerindeki etkilerini değerlendirmek için önermiştir. Teng ve Jaber and Guiffida (2004), hatalı ürünlerin yeniden işlenmesini gerektiren süreçler için Wright'ın öğrenme eğrisi modelinde değişiklik önererek ortaya çıkan modele "kalite öğrenme eğrisi" (Quality Learning Curve) adını vermişlerdir. Jaber ve Guiffida (2008), QLC'yi, kalitenin sürdürülerek üretimin tekrar kontrol altına alınması için üretim sürecinin kesintiye uğratılması varsayımı altında incelemişlerdir.

Globerson'a göre Wright'ın modelinin dezavantajı, modelin işçilerin üretim planlamasını ve işgücü paylaşımını etkileyen önceki deneyimlerini dikkate almamasıdır. Wright'ın modelindeki değişiklikler ilk olarak denklemi belirli uygulamalara uyarlamak ve daha sonra alternatif modellerin tanınması için

önerilmiştir. Bu değişikliklerin sonuçlarından biri olan Stanford-B modeli, işçilerin önceki deneyimlerini de içermektedir. Stanford-B modeli Denklem 4'te gösterilmiştir.

$$y = C_1 (x + B)^{-b} \quad (4)$$

Denklem (4)'te, birim sayısı olarak çalışanın geçmişteki tecrübesi B , x kadar ürünün üretilmesi için ortalama zaman veya maliyet y , ilk ürünün üretiminin tamamlanması için gereken zaman veya maliyet C_1 , araştırılan üretim miktarı x , çalışanların öğrenme oranı ise b değişkeni ile gösterilmiştir.

Denklem 4'te görüldüğü üzere geçmiş tecrübelerin birim sayılarına karşılık gelen B parametresi, öğrenme eğrisini zaman / birim eksenine göre aşağı kaydırır. Aynı zamanda model, Boeing 707'nin montaj aşamalarında ve daha sonra üründe gerçekleştirilen iyileştirme faaliyetlerinde test edilmiştir (Yelle 1979; Badiru 1992; Nembhard ve Uzumeri 2000a).

DeJong'un modeli, makinenin öğrenme sürecindeki etkisini içermektedir. DeJong tarafından logaritmik doğrusal öğrenme eğrisi modeline eklenen M sıkıştırılamazlık faktörü, tamamen makineler tarafından yapılan işler olduğunda öğrenme olamayacağını ve zamanın azaltılamayacağını gösterirken, makinenin kullanılmadığı ve işlerin manuel olarak yapıldığı kısımlarda ise öğrenme ile zamanın azaltılabileceğini ortaya koymuştur. DeJong'un bu modeli Denklem 5'te gösterilmiştir.

$$y = C_1 [M + (1 - M)x^{-b}] \quad (5)$$

Denklem (5)'te gösterilen M ($0 \leq M \leq 1$), makineler tarafından yürütülen görevin bir kısmını bildiren sıkıştırılamazlık faktörüdür (Yelle 1979; Badiru 1992). Bu faktörün değerinin 0 olması sürece dahil bir makinenin olmadığını göstermekteyken, faktörün değerinin 1 olması ise öğrenmenin hiç olmayıp sürecin tamamen makineler tarafından sürdürüldüğünü göstermektedir. x kadar ürünün üretilmesi için ortalama zaman veya maliyet y , ilk ürünün üretiminin tamamlanması için gereken zaman veya maliyet C_1 , araştırılan üretim miktarı x , çalışanların öğrenme oranı ise b değişkeni ile gösterilmiştir.

S-eğrisi modeli, makine müdahalesinin ne zaman gerçekleştiğini ve ilk çalışma döngülerinin ne zaman derinlemesine analiz gerektirdiğini öğrenmeyi tanımlamayı

amaçlamaktadır. Denklem 6'da sunulan model, DeJong'un ve Stanford-B'nin modellerinin bir kombinasyonudur (Badiru 1992; Nembhard ve Uzumeri 2000a).

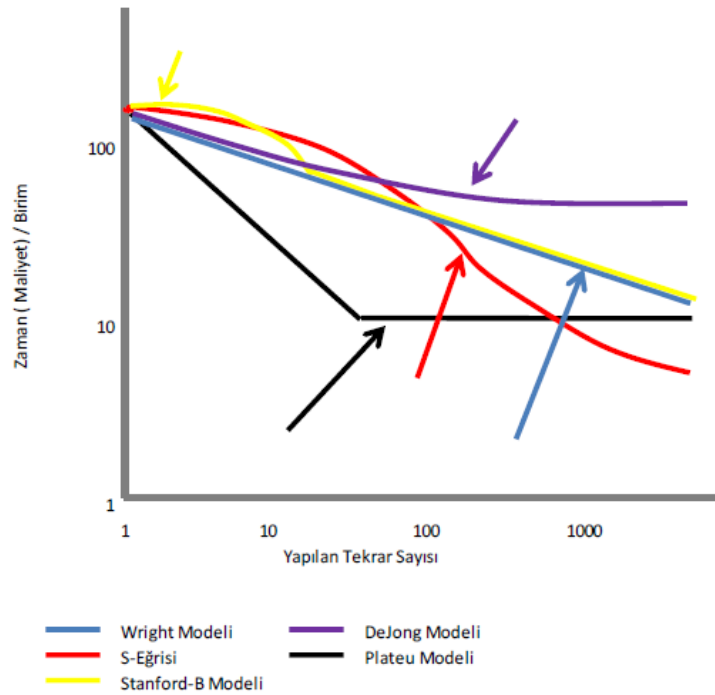
$$y = C_1 [M + (1 - M)(x + B)^{-b}] \quad (6)$$

Denklem (6)'da birim sayısı olarak çalışanın geçmişteki tecrübesi B , makineler tarafından yürütülen görevin bir kısmını bildiren sıkıştırılabilirlik faktörü M ($0 \leq M \leq 1$), x kadar ürünün üretilmesi için ortalama zaman veya maliyet y , ilk ürünün üretiminin tamamlanması için gereken zaman veya maliyet C_1 , araştırılan üretim miktarı x , çalışanların öğrenme oranı ise b değişkeni ile gösterilmiştir.

$$y = C + C_1 x^b \quad (7)$$

Denklem 7'de gösterilen Plateau modelindeki C sabiti, işçi performansının istikrarlı durumunu tanımlamaktadır. Kararlı duruma, öğrenme tamamlandıktan sonra veya makine sınırlamaları işçilerin gelişimini engellediğinde ulaşılmaktadır (Yelle, 1979; Teplitz, 1991; Li, ve Rajagopalan, 1998).

Şekil 5: Stanford-B, DeJong, S Eğrisi, Plateau Modeli ve Wright Modeli Grafik Gösterimi



(Anzanello M.J., & Fogliatto F.S, 2010), (Günday, G.G., 2012: 21)

Şekil 5'te görüldüğü gibi diğer modellerden farklı olarak Plateau'nun oluşturduğu modelde belirli bir öğrenme düzeyinden sonra öğrenme sabit kalmış, diğer modellerde ise eğri tekrar sayısı arttıkça işlem süresi sıfır seviyesine doğru hareket etmiştir. Bir işin yapılması için gereken işlem süresinin sıfır olması gibi bir durum mümkün değildir. Dolayısıyla DeJong ve Stanford modelinin birleşimi olan S-Eğrisi modeli daha gerçekçi bir yapıya sahiptir (Anzanello M.J. ve Fogliatto F.S, 2010).

3.2.3. HİPERBOLİK MODELLER

Mazur ve Hastie (1978), üretilen toplam birim sayısı ile istenilen kalite düzeyindeki üretimi ilişkilendiren bir öğrenme eğrisi modeli önermiştir. Bu model Denklem 8'de gösterilmiştir.

$$y = k (x/(x + r)) \quad (8)$$

Denklem (8)'de, istenilen kalite seviyesinde olan birim sayısı x , istenilen kalite seviyesinde olmayan birim sayısı r , x kadar ürünün üretilmesi için ortalama zaman veya maliyet y , maksimum performans düzeyi k değişkeni ile gösterilmiştir.

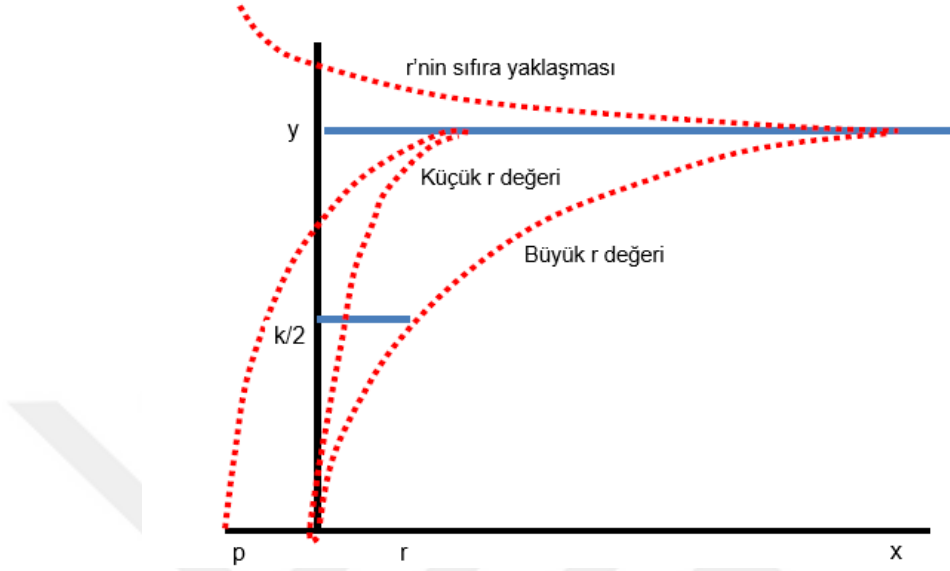
İşçilerin verilen görevi gerçekleştirme konusunda önceki deneyimlerini dahil ederek daha eksiksiz bir model oluşturulabilir. Bu nedenle Mazur ve Hastie (1978), Denklem 8'e p parametresinin dahil edilmesini önermiş ve Denklem 9'da gösterilen 3 parametrelili hiperbolik öğrenme eğrisine öncülük etmiştir. Bu denklemde, p parametresi, çalışanların zaman birimlerinde değerlendirilen önceki deneyimlerini ifade etmektedir ($p \geq 0$).

$$y = k ((x + p)/(x + p + r)) \quad (9)$$

$y, k, p, x > 0$ ve $p + r > 0$

Uzumeri ve Nembhard (1998), r parametresini, maksimum performans seviyesinin yarısı olan k değişkeni ve $k/2$ üretim seviyesine ulaşmak için gereken zamanla ilişkilendirmiştir. Yüksek r değerine sahip bir işçinin k 'ya ulaşması için defalarca tekrar yapması gerekmektedir. Aynı zamanda r 'nin hiperbolik modelde şekil faktörü olarak davrandığı belirtilmiş ve Şekil 6'da gösterilmiştir.

Şekil 6: Üç Parametrelili Hiperbolik Model Eğrisi



(Uzumeri, M., Nembhard, D., 1998)

Şekil 6'da görüldüğü üzere üç olası öğrenme profili vardır:

- 1- $r > 0$ ise eğri, k 'ya kadar yeni görevler gerçekleştiren işçilerin tipik davranışlarını temsil eden artan bir profil gösterir
- 2- $r \rightarrow 0$ ise eğri, işçilerin gelişiminin olmadığını gösteren yatay bir yol izler
- 3- $r < 0$ ise eğri, genellikle yorgunluk veya unutmayla ilişkili azalan bir performans gösterir.

Üç parametrelili hiperbolik model, verimlilik, kararlılık, tutumluluk ve senaryoları unutarak modelleme yeteneği açısından diğer öğrenme eğrisi modellerine göre daha dikkat çekici bir performans göstermektedir (Uzumeri ve Nembhard, 1998).

Uzumeri ve Nembhard (1998) bu modeli yeni görevlere atanan işçilere uygulamıştır. Uygulama sonucunda hızlı öğrenenlerin (düşük r değerine sahip işçiler) yavaş öğrenenlere (yüksek r değerine sahip işçiler) kıyasla maksimum performansa daha kısa zamanda ulaştıkları bulunmuştur. Bu nedenle, kısa süreli görevlere hızlı öğrenen çalışanları atamayı, uzun süreli görevlere ise yavaş öğrenen çalışanları atamayı önermişlerdir.

3.2.4. ÜSTEL MODELLER

Knetch (1974), uzun süreli üretim çalışmalarında tahminleri iyileştirmek için üstel ve logaritmik doğrusal fonksiyonları entegre etmiştir. Önerilen model ise Denklem 10'da gösterilmiştir.

$$y = C_1 x^b e^{cx} \quad (10)$$

Bu modelde c ikinci bir sabit olup diğer parametreler daha önce tanımlandığı gibidir. Literatürde birkaç üstel öğrenme eğrisi modeli önerilmiş ancak özellikle üç tanesi tartışma konusu olmuştur. Bunlar; üç parametrelili üstel model, iki parametrelili üstel model ve sabit zaman modelleridir. Üç parametrelili hiperbolik model Denklem 11'de gösterilmiştir.

$$y = k (1 - e^{-(x+p)/r}) \quad (11)$$

Denklem (11)'de, çalışanın x birim zaman sonrasında üretilen ürün cinsinden performans göstergesi y ($y \geq 0$ ve $x \geq 0$), çalışan öğrenme sürecini tamamladığındaki performansı – üretim süresince üretilen ürün sayısı k ($k \geq 0$), çalışanın geçmiş birim zaman cinsinden geçmiş deneyimi p ($p \geq 0$), öğrenme oranı r ile gösterilmiştir.

Denklem 10'daki öğrenme eğrisi modeli, Mazur ve Hastie (1978) tarafından test edilmiştir. Model, karmaşık ve yeni görevler talep eden işçiler tarafından nitelendirilen süreçlere zayıf bir uyum sağlamıştır. Buna karşılık model, yüksek düzeyde çalışanların önceki deneyimleriyle karakterize edilen senaryolara iyi uyum sağlamıştır. Denklem 11'de p parametresinin çıkartılması, iki parametrelili üstel öğrenme eğrisi modelini ortaya çıkarmaktadır. Tahmin edildiği gibi bu kadar basitleştirilmiş bir model, üç parametrelili üstel öğrenme eğrisi ile karşılaştırıldığında performans verilerine daha zayıf uyum sağlamaktadır (Mazur ve Hastie, 1978).

Üstel modeller ile üç parametrelili hiperbolik model arasında bir karşılaştırma Mazur ve Hastie (1978) tarafından yapılmıştır. p ve r parametrelerinin benzer değerleri aldığını, k parametresinin ise genellikle üstel model tarafından fazla dikkate alınmadığını bulmuşlardır.

Alternatif bir üstel model, Towill (1990) tarafından önerilen sabit zaman modelidir. Yapısal olarak üç parametrelili üstel öğrenme eğrisine benzemektedir. Bu model, Denklem 12'de gösterilmiştir.

$$y = y_c + y_f (1 - e^{-t/\tau}) \quad (12)$$

Denklem (12)'de, çalışanın başlangıç performansı (birim zamanda ürettiği ürün sayısı) y_c , öğrenme sürecini tamamladığında çalışanın en yüksek performansı y_t , belirli bir performans seviyesine ulaşmak için gereken zamanın daha kolay tahmin edilmesini sağlayan kümülatif çalışma süresi t ile gösterilmiştir.

Towill (1990), sabit zaman modelini çalışanların göreve kısa bir adaptasyonundan sonra performans verisi toplanan başladığı bir süreçte uygulamıştır.

Naim ve Towill (1990), sabit zaman modeline, performanstaki döngüsel değişikliklerin doğrulandığı senaryoları daha iyi tanımlamak amacıyla trigonometrik fonksiyonlar eklemiştir. Ayrıca Howell (1990), modelin tahmin yeteneğindeki yanlış parametre girişlerinin etkisini ve karmaşık modelleme durumlarında yakınsama elde etmek için yaklaşımlar önermiştir.

3.2.5. ÇOK DEĞİŞKENLİ MODELLER

Nicel ve nitel faktörlerin öğrenme sürecini etkilediği durumlar, geleneksel öğrenme eğrisi modellerinin genişletilmesini gerektirir (Badiru, 1992). Bu nedenle, çok değişkenli öğrenme eğrileri (iki veya daha fazla bağımsız değişkene dayanan öğrenme eğrileri) geliştirilmiştir. Bu modeller genellikle Denklem 13'teki yapıyı göstermektedir.

$$C_x = K \prod_{i=1}^n c_i x_i^{b_i} \quad (13)$$

Denklem (13)'te, ilk ürünü üretmek için performans veya maliyet K , i bağımsız değişken için katsayı C_i ile gösterilmiştir. Denklemdaki diğer parametreler daha önce tanımlandığı gibidir.

McIntyre (1977) ve Womer (1979), entegrasyon prosedürlerine dayanan alternatif çok değişkenli öğrenme eğrileri önermişlerdir. Ancak bu modeller karmaşıklıklarından dolayı sınırlı uygulama alanı bulmuştur.

Badiru (1992), tek değişkenli ve çok değişkenli öğrenme eğrilerinin tahmin yetenekleri arasında kapsamlı bir karşılaştırma yapmıştır. Çok değişkenli modellerde değişkenlerin amaca uygun bilgiler sunduğunu, ancak anlamlı olmayan değişkenlerin eklenmesinin modelin kalitesini tehlikeye attığını belirtmiştir.

3.2.6. UNUTMA MODELİ

Ürün özelliklerindeki değişiklikler ve üretim sürecindeki kesintiler, işlerin sürdürülebilirliği açısından ekstra zorluklar getirmektedir (Jaber, 2006).

Unutmak, süreçteki kesintilerin önemli bir sonucudur. Çalışılmayan bir dönemden sonra üretim hızında azalma olabilmektedir. Sürekli olarak devam eden üretime kıyasla, süreçte yapılan kesintiden sonra sürece yeniden başlandığında özellikle ilk zamanlarda daha düşük kaliteli ürünler üretilbildiği görülmüştür.

Globerson ve ark. (1989), logaritmik doğrusal öğrenme modelinin, çalışanların unutma sürecini doğru bir şekilde tanımladığını, öğrenme ve unutmanın benzer şekillerde gerçekleştiğini göstermiştir. Jaber ve Bonney (1996) ve Bailey ve McIntyre (2003), logaritmik doğrusal tabanlı modeller kullanarak unutma sürecini modellemişlerdir.

Nembhard ve Uzumeri (2000a), Shafer ve ark. (2001) ve Nembhard ve Osothsilp (2002), üç parametrelili hiperbolik öğrenme eğrisini, unutma sürecini modellemek için kullanmışlardır. Davidovitch ve ark. (2008), simülasyon kullanarak öğrenme-unutma-yeniden öğrenme sürecinin verimliliğini tahmin etmiş, aktivite devam ettiğinde farklı kesinti uzunluklarının işçilerin performansını nasıl etkilediğini analiz etmişlerdir.

Üretim sürecindeki kesintilere benzer şekilde, ürünün müşteri istekleri doğrultusunda veya yeni pazarlar için yeniden tasarlanması da işçilerin performansını etkileyebilmektedir (Yelle 1979).

3.3. ÖĞRENME EĞRİLERİNİN KISITLAMALARI

Öğrenme Eğrileri toplam süre üzerinde etkili olan faktörleri incelemekte faydalı olmakta ancak bazı kısıtlamaları bulunmaktadır. Bu kısıtlamalar;

- Öğrenme Eğrileri işletmeden işletmeye değişiklik göstereceğinden her işletme başka işletmelerin var olan verilerini kullanmak yerine kendi verisini üretmelidir.
- Öğrenme Eğrileri genellikle ilk birim ürünün üretilmesi için gerekli süre üzerine inşa edilmiştir. Sürece dair yeni bilgiler elde edildikçe tekrar yenilemek olumlu sonuçlar doğuracaktır.

- Çalışan, sürecin tasarımı ve çalışma şekillerinde herhangi bir değişikliğin olması durumunda öğrenme eğrisinin değişimi beklenmektedir. Eğri önce kısa bir süre için yukarı doğru çıkıp, uzun vadede düşüşüne devam edecektir.
- Çalışanlar ve süreçler üzerinde iyileştirme yapılabilirken, öğrenme eğrileri dolaylı işçilik ve malzemelere uygulanamaz.
- İşletmenin kültürü, kaynakların ulaşılabilirliği ve süreçlerdeki değişimler öğrenme eğrisini etkileyebilmektedir. Örneğin; bir projenin sonuna doğru çalışanların ilgisi ve çabası azalabilir. Bu durum ise eğriyi aşağı yönlü kesebilir (Heizer ve Render, 2017).

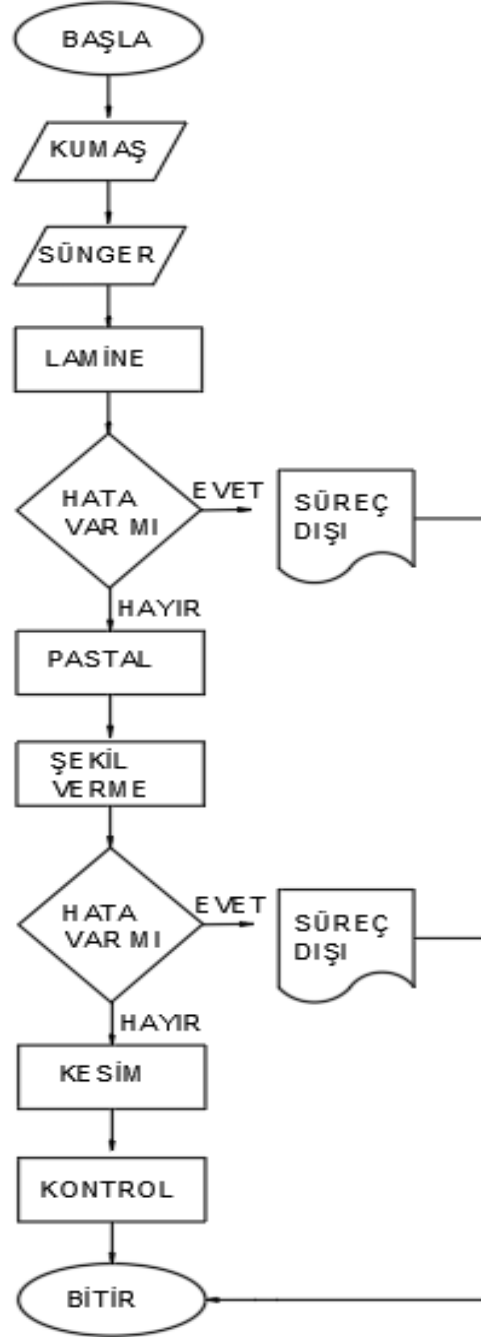
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

4.1. İNCELENEN FİRMA VE PROSES İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Uygulamanın yapıldığı firma tekstil sektöründe faaliyet göstermektedir. Üretim hattında üçgen, kare, yıldız gibi çeşitli şekil isimleriyle adlandırılan ürünler üretilmektedir. Bu ürün sünger ve kumaşın belirli sıcaklık altında yapıştırılarak kalıbın istenilen boyutlarda hazırlanmasından sonra tekrar belli sıcaklık altında şekil verildiği bir süreçtir. Firma, kesikli üretimin unsurlarından olan parti tipi üretim sistemini benimsemektedir. Benimsenen bu üretim sistemine göre bir ürünün siparişine ve talebine yanıt verebilmek için üretim partiler şeklinde yapılmaktadır. Bir ürünün üretiminin tamamlanmasının ardından üretim süreci yeniden tasarlanarak farklı şekil ve cinsten ürün üretimi yapılabilir.

Şekil 7: Üretim Süreci Aşamaları



Şekil 7’de uygulamanın yapıldığı süreç gösterilmiştir. Süreç, lamine adı verilen sünger ve kumaşın belirli sıcaklık altında birbirine yapıştırılması ile başlar. Bu işlem sonunda hatalı bir üretim söz konusu olursa çıktı kusurlu olarak değerlendirilerek süreç dışında kalır. Ardından pastal adı verilen işlemle istenilen boyutların kalıbına göre çizim yapılır ve bloklar halinde parçalara ayrılır. Bu işlemden sonra her blok kumaş/sünger

birleşimine tekrar belirli sıcaklık altında şekil verilir. Şekil verme işleminden sonra çıktılarına yönelik ara kontrol yapılır ve kusurlu ürünler süreç dışında kalır. Bir blok kumaş/sünger birleşiminde birçok sayıda son ürün niteliğinde şekil olduğundan kesim kısmında bu kumaş/sünger birleşiminden ayrılır. Son aşamada hata kontrolü yapılır ve eğer kontrol sınırları içerisindeyse paketlenerek üretim süreci sonlandırılır.

4.2. ÖĞRENME EĞRİSİNİN İŞLETME İÇİNDE ARAŞTIRILMASI

İşletme içerisindeki öğrenme eğrisi değerinin belirlenebilmesi için çalışanlar arasından deney grupları oluşturulmuştur. Uygulama kısmı için lamine oluşturma süreci seçilmiştir. Bu istasyonda çalışanlar ayakta çalışmakta, kumaş ve süngerin makine aracılığıyla yüksek sıcaklık altında yapıştırma işlemini yapmaktadır. Çalışanlar kumaş topu ve süngerin makineye takılması ve kumaşın katlanmadan pürüzsüz birleştirilmesini kontrol ederek makineye yön vermektedirler. Bu süreç esnasında yüksek konsantrasyona ihtiyaç olmayıp belirli aralıklarla makine çıkışında kontrol yapmak yeterli olmaktadır. Dolayısıyla zihinsel çabadan ziyade el becerisi ön plandadır.

Yapılan çalışmanın ve değerlendirmelerin tutarlı olması için sorumluya istasyonda çalışanların yerlerinin değiştirilmemesi gerektiği bildirilmiş, değiştirmenin gerekli olduğu durumlarda bilgi verilmesi istenmiştir. Değerlendirmenin doğru olarak yapılabilmesi için üretilmekte olan ürün lamine istasyonunda, sürece giren her parti ürün kumaş üstünde numaralandırma yöntemi kullanılmıştır. Her istasyonda çalışan personeller sabit tutulmuş ürünler kademeli şekilde sonraki istasyonlara aktarılmış ve numaralandırma yöntemiyle takibi sağlanmıştır.

İstasyonlarda süreç tamamlandığında çalışan personel üretilen ürüne onay vermekte ve ürünün bir sonraki sürece sevki sağlanarak süreç istasyonlar için yeniden başlamaktadır. Değerlendirmenin yapıldığı kumaşın ve süngerin makineye yüklenmesi, uygun sıcaklığın ayarlanıp birleştirilmesi ve çıkan ürünün kontrol edilmesi faaliyetlerini kapsamaktadır.

3 yıl üzerinde iş tecrübesi bulunan personel referans olarak alınmış ve 4 kişilik bir çalışan grubunun ölçüm sonuçları referans ile karşılaştırılmıştır. Üç yılın üzerinde tecrübeye sahip personelin çalışma süreleri kronometre ile ölçülmüştür. Her bir faaliyet için 65 defa gözlem yapılarak ortalamalar ve standart sapmalar

hesaplanmıştır. Daha sonra her bir faaliyet için yeterli gözlem sayısı, %95 güven düzeyi ve %5 hata payı ile 2.8. *Gözlem Sayısının Hesaplanması* bölümünde bahsedilen Denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 2, her bir faaliyet için gerekli gözlem sayısını göstermektedir. Tablo 2’de ölçümü yapılan her bir faaliyet incelendiğinde, kumaşın makineye yüklenmesi faaliyetinin en az 52 defa, süngerin makineye yüklenmesi faaliyetinin en az 44 defa, uygun sıcaklığın ayarlanması faaliyetinin en az 32 defa, üretilen ürünün kontrol edilmesi faaliyetinin en az 61 defa gözlemlenmesi gerektiği görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, her bir faaliyetin 65 defa gözlemlenmesinin yeterli olduğunu göstermektedir.

Tablo 1: Referans Ölçüm Sonuçları

Operasyon Kodu	Operasyon Tanımı	Ortalama İşlem Süresi (Saniye)	Standart Sapma (s)	Tempo (R)
A	Kumaşı makineye yükle	24,9	0,076	0,90
B	Süngerin makineye yükle	32,6	0,092	0,85
C	Uygun sıcaklığı ayarla	4,6	0,011	1
D	İstasyon sonunda üretilen ürünü kontrol et	14,2	0,047	0,95
		76,3	0.087	

Tablo 2: Her Faaliyet İçin Gözlem Sayısı (n)

Operasyon Kodu	Operasyon Tanımı	Gözlem Sayısı (n)
A	Kumaşı makineye yükle	52
B	Süngerin makineye yükle	44
C	Uygun sıcaklığı ayarla	32
D	İstasyon sonunda üretilen ürünü kontrol et	61

Tüm faaliyetler için normal zaman hesabı aşağıda verilmiştir.

A için normal zaman = $(24,9) \times (0,90) = 22,41$ saniye

B için normal zaman = $(32,6) \times (0,85) = 27,71$ saniye

C için normal zaman = $(4,6) \times (1) = 4,6$ saniye

D için normal zaman = $(14,2) \times (0,95) = 13,49$ saniye

Gözlemi yapılan iş için normal zaman = 68,21 saniye olarak hesaplanmıştır.

Toleranslar Toplamı ise 2.10. *Toleransların Hesaplanması* bölümünde bahsedilen faktörlere göre belirlenmiştir.

- Bedensel Çaba %2
- Düşünsel Çaba %1
- Duruş Pozisyonu %2
- Çevre Şartları %3 olmak üzere, toplamda %8 olarak kabul edilmiştir.

Dolayısıyla referans ölçümün standart zamanı;

Standart Zaman = $(68,21) / (1-0,08) = 74,14$ saniye olarak hesaplanmıştır.

İşletmede daha önce farklı süreçlerde çalışmış ancak lamine istasyonunda hiç çalışmamış 4 çalışan 2 gruba ayrılmıştır. Birinci gruptaki 2 çalışan belirlenen lamine istasyonunda 2 vardiya boyunca çalışmışlardır. İkinci grupta bulunan 2 çalışan ise 4 vardiya boyunca çalışmışlardır. Sonuç olarak, farklı tekrar sayısına sahip vardiyaların çalışanların gelişimine ne kadarlık bir etki yaptığı incelenmiştir.

Dört çalışan işe başlamadan sürecin sorumlusu tarafından eğitime tabi tutulmuşlardır. Gerekli anlatım ve uyarılardan sonra çalışanlar istasyonda kendileriyle baş başa bırakılmış ve istenilen kalite seviyesinde ürünü üretmeleri istenmiştir. Çalışanlardan süreye dair kendilerini sıkıştırmamaları yalnızca ürünü başarıyla tamamlamaları istenmiştir.

Birinci Grup içerisindeki çalışanlar lamine istasyonunda, 0,90 tempoyla (R) çalıştıkları kabul edilerek toplam 2 vardiya çalıştırılmış ve çalışmanın sonuçları Tablo 3'teki gibi kaydedilmiştir.

Tablo 3: İki Vardiya Çalışan 2 Kişilik Grubun Ortalama Değerleri

Vardiya Sayısı		Ortalama İşlem Süresi	Standart Sapma (s)	Gözlem Sayısı (n)	Yapılan Tekrar Sayısı
1	1. Çalışan	130,8	0,786	200	207
	2. Çalışan	132,6	0,789	196	215
	1. Vardiya Ortalaması	131,7			211
2	1. Çalışan	127,4	0,766	200	204
	2. Çalışan	128,5	0,765	196	198
	2. Vardiya Ortalaması	127,9			201
	Grup Ortalaması	129,8			206

Birinci grup içerisindeki 1. Çalışan için normal zaman;

$$(129,1) \times (0,90) = 116,19 \text{ saniye,}$$

Standart zaman;

$$(116,19) / (1-0,08) = 126,29 \text{ saniye,}$$

2. Çalışan için normal zaman;

$$(130,55) \times (0,90) = 117,50 \text{ saniye,}$$

Standart zaman;

$$(117,50) / (1-0,08) = 127,72 \text{ saniye olarak hesaplanmıştır.}$$

Gözlemlenen iş üzerinde 3 yıl üzerinde tecrübesi olan çalışanın, %8 tolerans seviyesinde standart zamanı 74,14 saniye iken, süreçte ilk defa çalışan tecrübesiz 1. Çalışanın yine aynı tolerans seviyesinde standart zamanı 126,29 saniye, 2. Çalışanın standart zamanı 127,72 saniye olarak ölçülmüştür. 1. Çalışan referans alınan çalışana göre işi, %70,34, 2. Çalışan ise %72,26 daha yavaş tamamlamaktadır. Sonuçlar, literatürdeki “tecrübe faktörü yapılan işin tamamlanma süresini kısaltır” anlayışını doğrulamaktadır.

Birinci grup içinde çalışanlar ilk vardiyada ortalama 211 tekrar sayısı ile 131,70 saniye işlem süresine ulaşmışlardır. Sonraki gün ise ikinci vardiyada ortalama 201 tekrar sayısı ile çalışanlar 127,90 saniye işlem süresine ulaşmışlardır. Çalışan 2 kişilik

grubun ilk gün vardiyasına göre, ikinci gün vardiyasında tekrar sayısı azalmış olmasına karşın gelişim gösterdiği görülmektedir. İkinci gün ile birinci gün arasında işlem süresi açısından %2,9'luk bir iyileşme sağlanmıştır. Bu iyileşmeye karşın çalışanların ilk güne göre yaptıkları tekrar sayısı %4,74 azalmıştır. Birinci grubun iki vardiya ortalamasına bakıldığında ise ortalama 206 tekrar sayısı ile 129,80 saniyelik işlem süresine ulaştıkları gözlenmiştir.

Birinci grup içindeki 2 çalışan da birbirleri arasında farklılık göstermektedir. Birinci çalışan ikinci çalışana göre tekrar sayısı benzer olsa da işlem süresinde 1.gün ikinci çalışana göre %1,4 daha iyi performans göstermiş, 2.gün ise %0,8 daha iyi performans göstermiştir. Ortalama performans değerlerine baktığımızda ise; 1.Çalışan 2.Çalışana göre %1,1 daha iyi performans göstermiştir. Bu durum çalışanların öğrenme hızı arasında farklılıklar olduğunu göstermektedir.

İkinci gruptaki çalışanlar ise 0,90 tempoyla (R) çalıştıkları kabul edilerek sıralı günler içinde toplam 4 vardiya olacak şekilde belirlenen lamine istasyonunda çalışmışlardır. Yapılan gözlemler sonucu çalışanlardan elde edilen performans Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4: Dört Vardiya Çalışan 2 Kişilik Grubun Ortalama Değerleri

Vardiya Sayısı		Ortalama İşlem Süresi	Standart Sapma (s)	Gözlem Sayısı (n)	Yapılan Tekrar Sayısı
1	3. Çalışan	130,8	0,777	195	221
	4. Çalışan	132,4	0,755	180	213
	1. Vardiya Ortalaması	131,6			217
2	3. Çalışan	125,4	0,745	195	218
	4. Çalışan	127,8	0,729	180	210
	2. Vardiya Ortalaması	126,6			214
3	3. Çalışan	118,6	0,704	195	207
	4. Çalışan	120,2	0,686	180	201
	3. Vardiya Ortalaması	119,4			204
4	3. Çalışan	106,4	0,632	195	199
	4. Çalışan	107,6	0,614	180	189
	4. Vardiya Ortalaması	107			194
Grup Ortalaması		121			207

İkinci grup içerisindeki 3. Çalışan için normal zaman;

$$(120) \times (0,90) = 108 \text{ saniye,}$$

Standart zaman;

$$(108) / (1-0,08) = 117,39 \text{ saniye,}$$

4. Çalışan için normal zaman;

$$(122) \times (0,90) = 109,8 \text{ saniye,}$$

Standart zaman;

$$(109,8) / (1-0,08) = 119,35 \text{ saniye olarak hesaplanmıştır.}$$

Süreçte ilk defa çalışan tecrübesiz 3. Çalışanın %8 tolerans seviyesinde standart zamanı 117,39 saniye, 4. Çalışanın standart zamanı 119,35 saniye olarak ölçülmüştür. 3. Çalışan referans alınan çalışana göre işi, %58,33, 4. Çalışan ise %60,98 daha yavaş tamamlamaktadır. İkinci grubun birinci gruba göre işi daha hızlı tamamlamasının nedeni yapılan tekrar sayısının birinci gruba göre iki katı olmasıdır.

Tablo 5'te görüldüğü gibi 4. Çalışan, 3. Çalışana göre %3,78 daha az tekrar yapmış olmasına rağmen 4. Çalışan başlangıçtaki 1,6 saniyelik farkı korumuştur. 3. Çalışanın ortalama işlem süresinin 120 saniye, 4. Çalışanın ise ortalama işlem süresinin 122 saniye olduğu, 4. Vardiyanın sonunda her ikisinin de ulaştığı ortalama işlem süresinin 106,4 ve 107,6 saniye olması bu çalışanların 4. Vardiya sonunda yapılan işi, ortalama işlem sürelerinden daha kısa bir sürede bitirebildiklerini ve toplam süre üzerinde öğrenme etkisi olduğunu göstermektedir.

Tablo 5: 3. Ve 4. Çalışanların Ortalama Performansı

	Ortalama İşlem Süresi (Saniye)	Toplam Yapılan Tekrar Sayısı
3. Çalışan	120	845
4. Çalışan	122	813

İkinci grup birinci gruptan farklı olarak 2 kat daha fazla vardiya yapmıştır. Birinci grubun ulaştığı son noktadaki ortalama işlem süresi 129,80 saniye iken, ikinci grubun 4.vardiya sonunda ulaştığı en iyi seviye 107 saniye olmuştur. İkinci grubun ikinci gün sonucunda ulaştığı en iyi seviyedeki işlem süresi 126,6 iken, dördüncü günün sonunda bu değer 107 saniye olmuştur. Wright'ın, tekrar sayısının iki katına

çıkarılmasıyla işin tamamlanma süresinin %20 azalacağı yönündeki tezini test etme imkânı doğmuştur.

$$(126,6) \times (0,8) = 101,30 \text{ saniye}$$

$$1 - (126,6 - 107) / 126,6 = \%84,50$$

Hesaplanan sonuçtan da görüldüğü üzere, ikinci gruptaki çalışanlarda tekrar sayısı iki katına çıktığında işin tamamlanma süresi %15,50 oranında azalmıştır. Bu sonuç Wright tarafından ortaya atılan tezin kabaca doğruluğunun bir göstergesidir.

4.3. $y = C_1x^{-b}$ MODELİNDEKİ b VE DEĞERLERİNİN ALINAN ÖRNEKLER İÇİN TAHMİN EDİLMESİ

Wright tarafından öğrenme eğrilerine dair ortaya atılan ilk matematiksel model denklemi üzerinde gerekli güncellemeler yapılarak ölçümler yapılmış, bu ölçümler sonucunda iş gücünü oluşturan çalışanların öğrenme oranını b ($0 < b < 1$) tanımlayan değer hesaplanmıştır. Bunun için modelde yapılan matematiksel işlemler sırasıyla aşağıdaki gibidir;

$$y = C_1x^{-b}$$

y' yapılan tekrar sayısının iki katına çıktığı durumdaki performans düzeyi olmak üzere,

$$y' = C_1(2x)^{-b}$$

y ve y' için her iki tarafın doğal logaritması alınır.

$$\ln y = \ln C_1 - b \ln x$$

$$\ln y' = \ln C_1 - b \ln 2x = \ln C_1 - (b \ln 2 + \ln x)$$

y' ile y arasındaki fark alınır.

$$\ln y' - \ln y = \ln C_1 - b \ln 2 - b \ln x - \ln C_1 + b \ln x$$

$$\ln(y'/y) = -b \ln 2$$

$$-b = \ln(y'/y) / \ln 2$$

b değerinin hesaplanabilmesi ve Wright modelinin geçerli bir şekilde uygulanabilmesi için tekrar sayılarının iki katına çıktığı ilk grup için Tablo 6'da 1. ve 2. Vardiyalar, ikinci grup için ise Tablo 7 ve Tablo 8'de 2. ve 4. Vardiyalar arasındaki çalışanların gelişim yüzdesine bakılmış, gruplara göre her bir çalışanın ortalama değerleri hesaplanmıştır. C_1 ise ölçüm alınan ilk vardiyaların ortalama değeri olarak kabul edilerek hesaplamaya dahil edilmiştir. b değeri 1'e yaklaştıkça öğrenme sürecinin hızlı olduğunu göstermektedir (Günday, 2012: 54).

Tablo 6: İki Vardiya Tekrar Yapan Grubun Öğrenme Oranı

	İşlem Süresi (Saniye)	Yapılan Gözlem Sayısı		b değeri	C ₁
1. ÇALIŞAN (1. Vardiya)	130,8	207	1. ve 2. Vardiyaya Göre b Değeri Hesaplaması	0,0375	130,8
1. ÇALIŞAN (2. Vardiya)	127,4	204			
2. ÇALIŞAN (1. Vardiya)	132,6	215	1. ve 2. Vardiyaya Göre b Değeri Hesaplaması	0,0446	132,6
2. ÇALIŞAN (2. Vardiya)	128,5	198			

Tablo 7: Dört Vardiya Tekrar Yapan Grupta 3. Çalışanın Öğrenme Oranı

	İşlem Süresi (Saniye)	Yapılan Gözlem Sayısı		b değeri	C ₁
3. ÇALIŞAN (1. Vardiya)	130,8	221	1. ve 2. Vardiyaya Göre b Değeri Hesaplaması	0,0595	130,8
3. ÇALIŞAN (2. Vardiya)	125,4	218			
3. ÇALIŞAN (3. Vardiya)	118,6	207	2. ve 4. Vardiyaya Göre b Değeri Hesaplaması	0,2185	130,8
3. ÇALIŞAN (4. Vardiya)	106,4	199			
			ORTALAMA	0,139	

Tablo 8: Dört Vardiya Tekrar Yapan Grupta 4. Çalışanın Öğrenme Oranı

	İşlem Süresi (Saniye)	Yapılan Gözlem Sayısı		b değeri	C ₁
4. ÇALIŞAN (1. Vardiya)	132,4	213	1. ve 2. Vardiyaya Göre b Değeri Hesaplaması	0,0501	132,4
4. ÇALIŞAN (2. Vardiya)	127,8	210			
4. ÇALIŞAN (3. Vardiya)	120,2	201	2. ve 4. Vardiyaya Göre b Değeri Hesaplaması	0,2281	132,4
4. ÇALIŞAN (4. Vardiya)	107,6	189			
			ORTALAMA	0,1391	

Elde edilen sonuçlara göre, ölçüme alınan tüm çalışanların öğrenme eğilimine sahip olduğu b değerlerinin 0 ile 1 arasında olmasından anlaşılmaktadır. b değeri ne kadar 1'e yakın ise öğrenme o kadar fazla; ne kadar sıfıra yakın ise öğrenme o kadar az olmaktadır. Aynı zamanda b değerlerinin negatif olmaması çalışanlarda unutma etkisinin olmadığını göstermektedir. Tablo 9'da sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 9: Çalışanların Öğrenme Oranı Karşılaştırması

	b Değeri
1. Çalışan	0,0375
2. Çalışan	0,0446
3. Çalışan	0,1390
4. Çalışan	0,1391

Tablo 9'a göre en hızlı öğrenme sürecine sahip çalışanlar 3 ve 4 no'lu çalışanlardır. Bu çalışanlar Wright'ın modeline benzer şekilde tekrar sayısı (vardiya sayısı) iki katına çıktıkça işin tamamlanma süresini %9,64 oranında azaltabilmektedir. 3. Çalışan için b değeri 0,1390, 4. Çalışan için b değeri 0,1391 olarak hesaplanmış ve 4. Çalışan en yüksek b değerine sahip olmuştur. En hızlı öğrenenden en yavaş öğrenene doğru sıraladığımızda 4, 3, 2, 1 no'lu çalışanlar şeklindedir. En yavaş öğrenen b değeri sıfıra en yakın olan ($b = 0,0375$) 1 no'lu çalışandır.

4.4. FARKLI ÖĞRENME EĞRİSİ SEMBOLLERİNİN TOPLAM SÜRE ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Bu bölümde farklı öğrenme eğrisi sembollerinin, U4 kodlu ürünün toplam üretim süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

$$Y(x) = \frac{y_1}{1-b} x^{1-b} \quad (14)$$

Sürecin toplam zamanı, Denklem 14'teki formül ile,

$$S(n) = \tau_1 \sum_{i=1}^n i^{-\beta} \quad (15)$$

Sürecin kuruluma dair zamanı, Denklem 15'teki formül ile,

$$R(x, m) = \frac{r_1}{1-\varepsilon} \left(\frac{p}{2m} \right)^{1-\varepsilon} x^{2-2\varepsilon} \quad (16)$$

Yeniden işlemeye dair zamanı ise, Denklem 16'daki formül ile hesaplanmıştır.

Firma günlük ortalama 8 saat aktif çalışmakta ve haftalık 900 birim ürün (x) üretmeyi hedeflemektedir. İlk birimin üretimi için gereken süre (y_1) 4,44 dakika, ilk kusurlu ürünün işlenmesi için gerekli süre (r_1) 2,04 dakika, sürecin ilk kurulum süresi ise 12 dakika olarak hesaplamalara dahil edilmiştir.

4.4.1. b'nin Toplam Süre Üzerindeki Etkisi

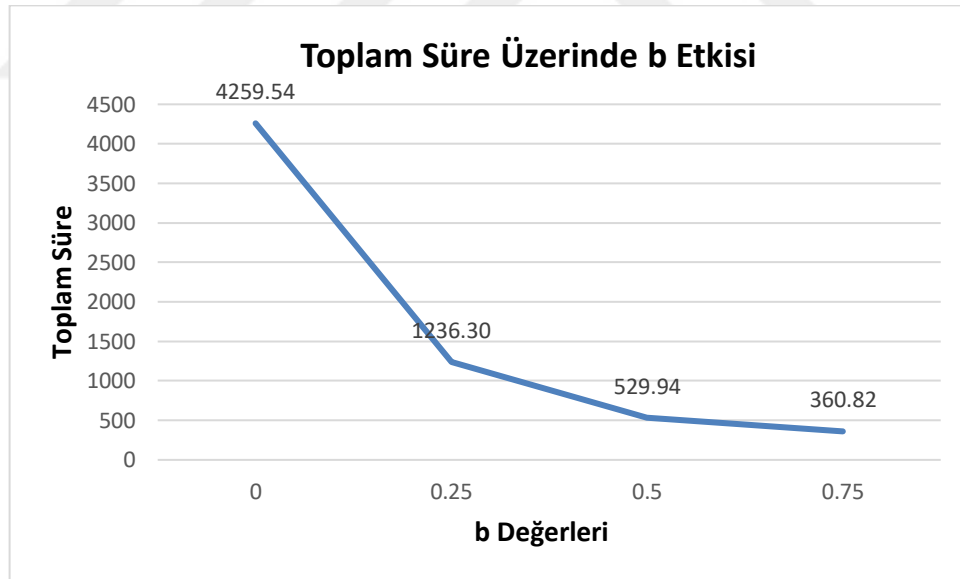
b değeri dışındaki diğer parametreler sabit tutularak b'nin farklı değerler alması durumunda toplam üretim süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10: b Etkisi ile Toplam Süre

b	β	ε	Θ	n	$Y(x)$ (Toplam Zaman)	$S(m)$ (Kurulum)	$R(x,m)$ (Yeniden İşleme)	$T(x,m)$
0	0.25	0.25	0.25	4	3996,00	39,69	223,85	4259,54
0.25	0.25	0.25	0.25	4	972,76	39,69	223,85	1236,30
0.5	0.25	0.25	0.25	4	266,40	39,69	223,85	529,94
0.75	0.25	0.25	0.25	4	97,28	39,69	223,85	360,82

Tablo 10'da görüldüğü üzere öğrenme oranının çalışanlar için artması üretim sürecinin toplam süresini ciddi boyutlarda azaltmaktadır.

Şekil 8: b'nin Toplam Süre Üzerindeki Etkisi



Şekil 8, b'nin toplam süre üzerindeki etkisini göstermektedir. Üretim sürecine yönelik hiçbir öğrenmenin olmadığı durumda ($b=0$), toplam süre 4259,54 dakika iken, öğrenme oranının 0,25 seviyesine gelmesi toplam süreyi yaklaşık 3023 dakika azaltacaktır. Öğrenme oranının $b=0,5$ olması ile firma hedef üretim miktarı olan 900 birime ikinci çalışma günü başlarında ulaşabilmektedir. Bu noktadan sonra firma hedef üretim miktarında güncelleme yaparak daha kısa sürede daha fazla üretim yapabilmekte, maliyetleri düşürme şansına sahip olabilmektedir.

4.4.2. β 'nın Toplam Süre Üzerindeki Etkisi

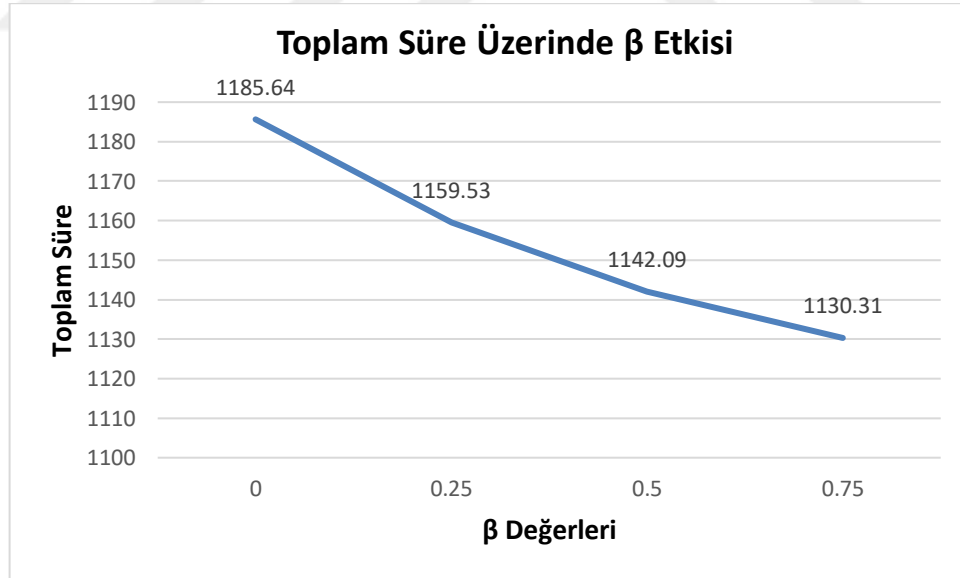
β değeri dışındaki diğer parametreler sabit tutularak β 'nın farklı değerler alması durumunda toplam üretim süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11: β Etkisi ile Toplam Süre

b	β	ε	θ	n	$Y(x)$ (Toplam Zaman)	$S(m)$ (Kurulum)	$R(x,m)$ (Yeniden İşleme)	$T(x,m)$
0.25	0	0.25	0.25	8	972,76	96,00	116,88	1185,64
0.25	0.25	0.25	0.25	8	972,76	69,90	116,88	1159,53
0.25	0.5	0.25	0.25	8	972,76	52,46	116,88	1142,09
0.25	0.75	0.25	0.25	8	972,76	40,67	116,88	1130,31

Tablo 11'de görüldüğü üzere süreç kalitesinin yeniden yapılandırılmasının öğrenilmesi diğer parametreler sabitken üretim sürecinin toplam süresine fazla etki etmemektedir.

Şekil 9: β 'nın Toplam Süre Üzerindeki Etkisi



Şekil 9, β 'nın toplam süre üzerindeki etkisini göstermektedir. Üretim sürecinde yeniden yapılandırılmaya dair öğrenmenin olmadığı durumda ($\beta=0$), toplam süre 1185,64 dakika iken, sürecin yeniden yapılandırılmasının öğrenme oranının 0,25 seviyesine gelmesi diğer parametrelerin sabit olup yeniden kurulumun desteklenememesi sebebiyle, toplam süreyi yalnızca 26 dakika azaltarak 1159,53 dakika seviyesine getirmiştir. Sürecin yeniden yapılandırılmasına dair öğrenme

oranının $\beta=0,5$ olması ile sürecin yeniden yapılandırılması 1142,09 dakikada yapılabilirken, hiç öğrenmenin olmadığı ($\beta=0$) durumda sürecin yeniden yapılandırılması 1185,64 dakikada yapılmaktadır. β 'nın 0 değerinden 0,5 değerine yükselmesi, sürecin yeniden yapılandırılmasına dair toplam süreyi 43 dakika azaltabileceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

4.4.3. ε 'nın Toplam Süre Üzerindeki Etkisi

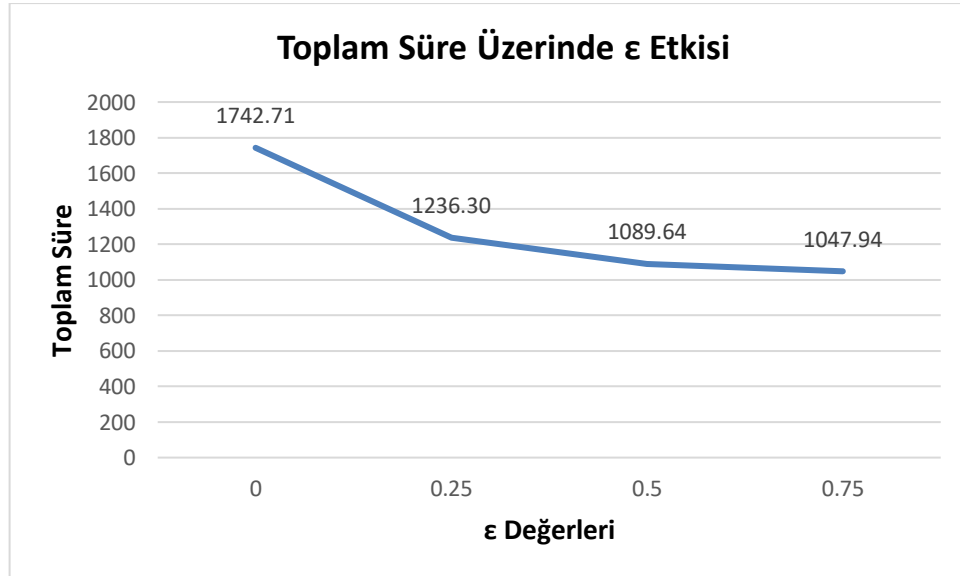
ε değeri dışındaki diğer parametreler sabit tutularak ε 'nın farklı değerler alması durumunda toplam üretim süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 12: ε Etkisi ile Toplam Süre

b	β	ε	θ	n	$Y(x)$ (Toplam Zaman)	$S(m)$ (Kurulum)	$R(x,m)$ (Yeniden İşleme)	$T(x,m)$
0.25	0.25	0	0.25	4	972,76	39,69	730,26	1742,71
0.25	0.25	0.25	0.25	4	972,76	39,69	223,85	1236,30
0.25	0.25	0.5	0.25	4	972,76	39,69	77,19	1089,64
0.25	0.25	0.75	0.25	4	972,76	39,69	35,49	1047,94

Tablo 12'de görüldüğü üzere kusurlu ürünlerin yeniden işlenmesine dair öğrenme arttıkça toplam süre önemli ölçüde azalabilmektedir.

Şekil 10: ε 'nın Toplam Süre Üzerindeki Etkisi



Şekil 10, ε 'nın toplam süre üzerindeki etkisini göstermektedir. Üretim sürecinde kusurlu ürünün yeniden işlenmesine dair öğrenmenin olmadığı durumda ($\varepsilon=0$), toplam

süre 1742,71 dakika iken, kusurlu ürünün yeniden işlenmesi öğrenme oranının 0,25 seviyesine gelmesi, toplam süreyi yaklaşık 506 dakika azaltarak 1236,30 dakika seviyesine getirmiştir. Kusurlu ürünün yeniden işlenmesi öğrenme oranının $\varepsilon=0,5$ olması ile hiç öğrenmenin olmadığı durum ile arasındaki fark yaklaşık 653 dakika, $\varepsilon=0,75$ olması ile hiç öğrenmenin olmadığı durum ile ise 695 dakika olmuştur.

4.4.4. Θ 'nın Toplam Süre Üzerindeki Etkisi

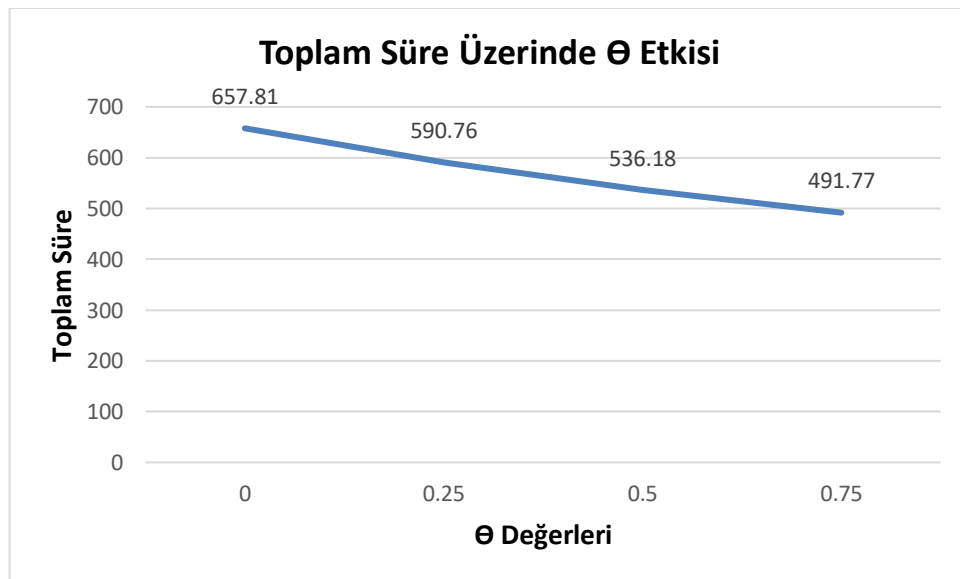
Θ değeri dışındaki parametreler sabit tutularak, Θ 'nın farklı değerler alması durumunda toplam üretim süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 13'te gösterilmiştir.

Tablo 13: Θ Etkisi ile Toplam Süre

b	β	ε	Θ	n	$Y(x)$ (Toplam Zaman)	$S(m)$ (Kurulum)	$R(x,m)$ (Yeniden İşleme)	$T(x,m)$
0.5	0.25	0.25	0	3	266,40	31,21	360,20	657,81
0.5	0.25	0.25	0.25	3	266,40	31,21	293,15	590,76
0.5	0.25	0.25	0.5	3	266,40	31,21	238,58	536,18
0.5	0.25	0.25	0.75	3	266,40	31,21	194,16	491,77

Tablo 13'te görüldüğü üzere sürecin kontrol dışına çıkma olasılığının öğrenilmesi diğer parametreler sabitken üretim sürecinin toplam süresine yaklaşık olarak 166 dakika etki etmiştir.

Şekil 11: Θ 'nın Toplam Süre Üzerindeki Etkisi



Şekil 11, Θ 'nın toplam süre üzerindeki etkisini göstermektedir. Üretim sürecinde sürecin kontrol dışına çıkma olasılığına dair öğrenmenin olmadığı durumda ($\Theta=0$), toplam süre 657,81 dakika iken, sürecin kontrol dışına çıkma olasılığına dair öğrenme oranının 0,25 seviyesine gelmesi, toplam süreyi yaklaşık 67 dakika azaltarak 590,76 dakika seviyesine getirmiştir. Sürecin kontrol dışına çıkma olasılığının öğrenme oranının $\Theta=0,5$ olması ile hiç öğrenmenin olmadığı durum arasındaki fark 121 dakika, $\Theta=0,75$ olması ile hiç öğrenmenin olmadığı durum arasındaki fark ise 166 dakika olmuştur.

4.4.5. n'in Toplam Süre Üzerindeki Etkisi

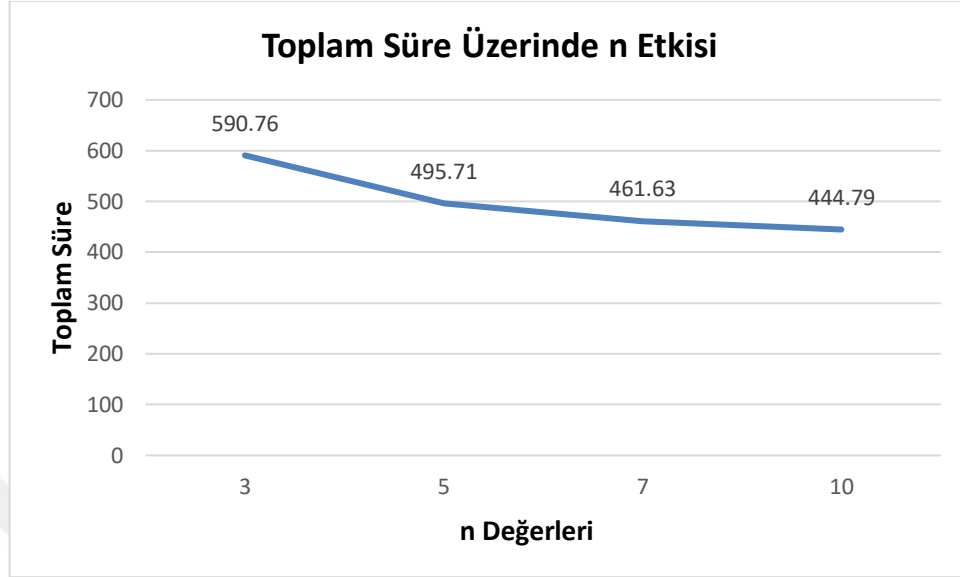
n değeri dışındaki parametreler sabit tutularak, n'in farklı değerler alması durumunda toplam üretim süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 14'te gösterilmiştir.

Tablo 14: n Etkisi ile Toplam Süre

b	β	ε	Θ	n	$Y(x)$ (Toplam Zaman)	$S(m)$ (Kurulum)	$R(x,m)$ (Yeniden İşleme)	$T(x,m)$
0.5	0.25	0.25	0.25	3	266,40	31,21	293,15	590,76
0.5	0.25	0.25	0.25	5	266,40	47,72	181,59	495,71
0.5	0.25	0.25	0.25	7	266,40	62,76	132,47	461,63
0.5	0.25	0.25	0.25	10	266,40	83,58	94,82	444,79

Tablo 14'te görüldüğü üzere sürecin kesintiye uğraması ne kadar fazla olursa öğrenme o kadar fazla olacağından toplam süreyi azaltan bir etki oluşmaktadır. Kesinti sayısının artmasıyla beraber kurulum süresi artmakta ancak bu artış karşısında kusurlu ürünleri yeniden işlemeye dair toplam süre azalmakta ve toplam süreyi de azaltmaktadır.

Şekil 12: n'in Toplam Süre Üzerindeki Etkisi



Şekil 12, n'in toplam süreye olan etkisini göstermektedir. Şekle göre; üretim sürecinde kesintinin az olduğu durumlarda ($n=3$), toplam süre 590,76 dakika iken, süreçte yapılan kesinti sayısının artması durumlarında ($n=5$) kurulum süresinin arttığı ancak öğrenme kaynaklı olarak kusurlu ürünlerin yeniden işleme sürelerinin azaltıcı bir etki yapmasından dolayı toplam süre 495,71 dakika olarak hesaplanmıştır. Süreçte yapılan kesinti sayısı arttıkça toplam süre kısalmaktadır. Şekil 12'de de görüldüğü üzere; n'in 3 olması ile n'in 10 olması durumları arasındaki toplam süre farkı yaklaşık olarak 146 dakika olarak hesaplanmıştır.

4.4.6. Öğrenme Sembollerinin Farklı Kombinasyonları ile Toplam Süre İlişkisi

Üretim sürecine dair öğrenme parametrelerinin yapmış oldukları etkiyi daha net görebilmek için öğrenme parametreleri farklı değerlerde kombine edilerek toplam süre üzerindeki etkisi incelenmiştir. Öğrenme Eğrisi parametrelerinin farklı kombinasyonları altında hesaplanan bu veriler Tablo 15'te gösterilmiştir.

Tablo 15: Öğrenme Sembollerinin Farklı Kombinasyonları ile Toplam Süre İlişkisi

	b	β	ε	Θ	n	$Y(x)$ (Toplam Zaman)	$S(m)$ (Kurulum)	$R(x,m)$ (Yeniden İşleme)	$T(x,m)$
I	0.25	0	0	0	4	972,76	48,00	1032,75	2053,51
II	0.25	0.25	0.25	0.25	4	972,76	39,69	223,85	1236,30
	0.25	0.25	0.25	0.5	3	972,76	31,21	238,58	1242,54
	0.25	0.25	0.25	0.75	3	972,76	31,21	194,16	1198,13
	0.25	0.25	0.5	0.25	5	972,76	47,72	67,15	1087,62
III	0.25	0.25	0.75	0.25	6	972,76	55,39	31,27	1059,41
	0.25	0.5	0.25	0.25	8	972,76	52,46	116,88	1142,09
IV	0.25	0.75	0.25	0.25	10	972,76	45,12	94,82	1112,69
V	0.5	0.25	0.25	0.25	4	266,40	39,69	223,85	529,94
	0.5	0.25	0.25	0.5	3	266,40	31,21	238,58	536,18
	0.5	0.25	0.25	0.75	3	266,40	31,21	194,16	491,77
	0.5	0.25	0.5	0.25	5	266,40	47,72	67,15	381,26
	0.5	0.25	0.75	0.25	6	266,40	55,39	31,27	353,06
	0.5	0.5	0.25	0.25	8	266,40	52,46	116,88	435,74
VI	0.5	0.75	0.25	0.25	10	266,40	45,12	94,82	406,33
	0.75	0.25	0.25	0.25	4	97,28	39,69	223,85	360,82
	0.75	0.25	0.25	0.5	3	97,28	31,21	238,58	367,06
	0.75	0.25	0.25	0.75	3	97,28	31,21	194,16	322,65
	0.75	0.25	0.5	0.25	5	97,28	47,72	67,15	212,14
	0.75	0.25	0.75	0.25	6	97,28	55,39	31,27	183,93
	0.75	0.5	0.25	0.25	8	97,28	52,46	116,88	266,61
VII	0.75	0.75	0.25	0.25	10	97,28	45,12	94,82	237,21

Çalışan öğrenme oranının (b) 0.25 olduğu diğer öğrenmelerin (β , ε , Θ) olmadığı ve sürecin kesinti (n) sayısının 4 olduğu durum (I) ile diğer öğrenmelerin 0.25 seviyesinde olması durumu (II) karşılaştırıldığında öğrenmenin hiç olmadığı durumda kurulum süresi 48 dakika iken süreç kalitesinin yeniden yapılandırılmasına dair öğrenme sembolü $\beta = 0.25$ seviyesinde olduğu durumda ise kurulumun toplam süresi %17,31 azalarak 39,69 dakika olmuştur. Yine öğrenmenin hiç olmadığı durumda (I) yeniden işlemeye dair toplam süre 1032,75 dakika iken, kusurlu ürünlerin yeniden işlenmesine dair öğrenme sembolü olan $\varepsilon = 0.25$ seviyesinde olduğu durumda (II) ise yeniden işlemeye dair toplam süre 223,85 dakika olmuştur. Yeniden işlemeye dair toplam süre, ε 0'dan 0.25'e geldiğinde %78,32 azalmıştır. Dolaylı olarak üretim sürecindeki toplam süreyi düşürecek olan bu öğrenme, işletmenin zaman maliyetini azaltacaktır. Tablo 15'te de görüldüğü gibi toplam süre 2053,51 dakikadan 1236,30 dakikaya düşmüştür.

Öğrenme sembollerinden b , β ve Θ 'nın 0.25 değeriyle, $\varepsilon = 0.75$ ve kesinti sayısını ifade eden n 'in 6 değeriyle hesaplandığında (III), II no'lu durumla kıyaslandığında kurulum toplam süresinin 39,69 dakikadan, %39,56 artarak 55,39 dakika olmuştur. Bunun sebebi üretim sürecindeki kesinti sayısının 4 iken 6'ya çıkarılmasıdır. Buna karşın kusurlu ürünlerin yeniden işlenmesine dair öğrenme (ε) 0.25 seviyesinden 3 kat artarak 0.75 seviyesine gelmiş yeniden işlemeye dair toplam süre 223,85 dakikadan %86,03 azalarak 31,27 dakika olmuştur. Üretim sürecinin toplam süresi 1236,30 dakika iken %14,31 azalarak 1059,41 dakika olmuştur.

Çalışan öğrenme oranının (b) 0.25'ten 0.5'e yükselmesinin diğer öğrenme sembolleri üzerinde yapmış olduğu etki hesaplandığında, çalışan öğrenme oranının 0.25 olduğu durumda (II) hedef üretim miktarı için gereken toplam zamanın 972,76 dakika olduğu, çalışan öğrenme oranının 0.5 olması durumunda (V) ise, %72,61 azalarak 266,40 dakika olduğu görülmektedir. Çalışan öğrenme oranının artışı, sürecin kurulum aşamasından üretimin tamamlanma aşamasına kadar olan toplam süre üzerinde ise 1236,30 dakikayı %57,14 azaltarak 529,94 dakikaya düşürmüştür.

β 'nın 0.75 ve sürecin kesinti (n) sayısının 10 olarak kabul edilmesi durumuyla (VI), V no'lu durum kıyaslandığında süreç kalitesinin yeniden yapılandırılmasına dair öğrenme sembolü olan β 'nın 0.25'ten 0.75'e seviyesine çıkmasına karşın, kurulumun toplam süresinin 39,69 dakikadan %13,68 artarak 45,12 dakika olmasının sebebi sürecin 4 kez değil 10 kez kesilerek tekrar bir kurulum gerçekleştirilmesidir. Kurulum üzerinde olumsuz etkiye sahip olan kesinti sayısı, kusurlu ürün sayısı üzerinde olumlu etkiye sahiptir (Jaber & Guiffreda, 2008). Dolayısıyla oluşacak kusurlu ürün sayısı azalacağından yeniden işlemeye dair ayrılacak toplam süre V no'lu durumda 223,85 dakika iken %57,64 azalarak 94,82 dakika olmuştur. Sürecin toplam süresi ise 529,94 dakikadan %23,33 azalarak 406,33 dakikaya düşmüştür.

Çalışan öğrenme oranının 0.25, ε ve Θ 'nın 0.25, β 'nın 0.75 ve sürecin kesinti (n) sayısının 10 olarak kabul edilmesi durumuyla (IV), diğer öğrenme sembolleri sabit iken çalışan öğrenme oranının 3 kat artarak 0.75 değerine gelme durumu (VII) kıyaslandığında hedeflenen üretim miktarı için gerekli üretim süresinin 972,76 dakikadan %90 oranında çok ciddi bir azalış göstererek 97,28 dakika düştüğü görülmektedir. Bu durum 1112,69 dakika olan toplam üretim zamanını %78,68 azaltarak 237,21 dakikaya düşürmüştür.

4.4.7. İşletmenin Mevcut Durumu ile Öğrenme Sembollerinin Farklı Kombinasyonlarıyla Hesaplanan Toplam Zamanın Karşılaştırılması

Uygulamanın yapıldığı işletmedeki çalışanların öğrenme oranları, sürecin yeniden yapılandırılmasına dair öğrenme oranı, kusurlu ürünlerin yeniden işlenmesine dair öğrenme oranı, sürecin kontrol dışına çıkma olasılığına dair öğrenme oranı ve sürecin eşit alt partilere ayrılarak yapılmasına dair bilgi birikimi ile öğrenme sembollerinin farklı kombinasyonlarıyla karşılaştırması Tablo 16'da yapılmıştır. Haftalık hedefin 900 birim ürün olduğu ve ölçümü yapılan çalışanların en hızlı öğreneni ile en yavaş öğrenenin b değerleri esas alınarak dakika cinsinden olmak üzere Tablo 16'da gösterilmiştir.

Tablo 16: İşletmenin Mevcut Durumu ile Öğrenme Sembollerinin Farklı Kombinasyonlarıyla Hesaplanan Toplam Zamanın Karşılaştırılması

b	β	ε	Θ	n	$Y(x)$ (Toplam Zaman)	$S(m)$ (Kurulum)	$R(x,m)$ (Yeniden İşleme)	$T(x,m)$	
0,0375	0	0	0	3	3214,84	36,00	1377,00	4627,84	VARSAYIM 1
0,1391	0	0	0	3	1802,84	36,00	1377,00	3215,84	
0,25	0	0	0	3	972,76	36,00	1377,00	2385,76	
0,0375	0,25	0	0	3	3214,84	31,21	1377,00	4623,05	VARSAYIM 2
0,1391	0,25	0	0	3	1802,84	31,21	1377,00	3211,05	
0,25	0,25	0	0	3	972,76	31,21	1377,00	2380,96	
0,0375	0,25	0,25	0	3	3214,84	31,21	360,20	3606,25	VARSAYIM 3
0,1391	0,25	0,25	0	3	1802,84	31,21	360,20	2194,25	
0,25	0,25	0,25	0	3	972,76	31,21	360,20	1364,17	
0,0375	0,25	0,25	0,25	3	3214,84	31,21	293,15	3539,20	VARSAYIM 4
0,1391	0,25	0,25	0,25	3	1802,84	31,21	293,15	2127,20	
0,25	0,25	0,25	0,25	3	972,76	31,21	293,15	1297,11	
0,0375	0,25	0,25	0,25	6	3214,84	55,39	153,06	3423,29	VARSAYIM 5
0,1391	0,25	0,25	0,25	6	1802,84	55,39	153,06	2011,29	
0,25	0,25	0,25	0,25	6	972,76	55,39	153,06	1181,20	

Lamine istasyonunda yapılan ölçümler sonucunda en yavaş öğrenen çalışan ile yapılan çalışmada (değerlerin sıfır olduğu ve sürecin 3 kez kesildiği durumda) 4627,84 dakikada haftalık hedefe ulaşılmıştır. Günde 8 saatlik çalışma ile bu işletmenin haftalık çalışma süresi 2400 dakikadır. Bu durumda en yavaş öğrenen çalışan süreç kalitesinin yeniden yapılandırılması, kusurlu ürünlerin yeniden işlenmesi, sürecin kontrol dışına çıkmasına dair öğrenmenin olmadığı durumlar ve sürecin 3 kez kesintiye uğratıldığı durumda haftalık ulaşması gereken hedefe yaklaşık

2. Haftanın sonunda ulaşabilmektedir. En hızlı öğrenen çalışan ise süreç kalitesinin yeniden yapılandırılması, kusurlu ürünlerin yeniden işlenmesi, sürecin kontrol dışına çıkmasına dair öğrenmenin olmadığı durumlar ve sürecin 3 kez kesintiye uğratıldığı durumda 3215,84 dakikada 900 birim ürünü üretebilmiş, hedeften 815,84 dakika uzak kaldığı gözlemlenmiştir. Süreç kalitesinin yeniden yapılandırılması, kusurlu ürünlerin yeniden işlenmesi, sürecin kontrol dışına çıkmasına dair öğrenmenin olmadığı durumlar ve sürecin 3 kez kesintiye uğratıldığı durumda bile olsa çalışan öğrenme oranının 0,25 seviyesinde olması haftalık hedefe belirlenen süre içinde ulaşıldığını göstermektedir (Varsayım 1).

Toplam süre üzerinde ciddi azaltıcı etkiye sahip ikinci önemli öğrenme sembolü kusurlu ürünlerin yeniden işlenmesine dair olanıdır ($R(x,n)$). Varsayım 2 ile Varsayım 3'ü kıyaslar isek en yavaş öğrenen çalışan Varsayım 2'de 4623,05 dakikada üretimi tamamlarken, en hızlı öğrenen çalışan 3211,05 dakikada üretimi tamamlamıştır. Bu iki sonuçta göstermektedir ki, bu çalışanlar mevcut şartlar altında haftalık hedefe istenilen süre içinde ulaşamamaktadır. Varsayım 2 ile Varsayım 3 arasındaki fark $\varepsilon = 0$ 'dan 0,25'e çıkarılmıştır. Bu fark doğrultusunda Varsayım 3'te en yavaş ve en hızlı öğrenen çalışana ait toplam süreler 1016,8 dakika azalarak sırasıyla 3606,25 ve 2194,25 dakika olmuştur. Bu sonuçlar en hızlı çalışanın var olan bilgi birikimine ek olarak işletmenin kusurlu ürünleri yeniden işlemeye dair bilgi birikimini artırması ile haftalık hedefe belirlenen süreden 205,75 dakika az olmak üzere ulaşabileceğini göstermektedir.

Sürecin parçalar halinde kesintiye uğratılarak yapılmasının toplam süreyi azaltacağı ilk düşünüldüğünde zor gibi gözüke de yapılan ölçümler bu durumun mümkün olabileceğini göstermiştir. Varsayım 4 ile Varsayım 5 karşılaştırıldığında aralarındaki fark yalnızca n (süreçteki kesinti sayısı)'in 3'ten 6'ya çıkarılmasıdır. Bu fark doğrultusunda Varsayım 4'te en yavaş ve en hızlı öğrenen çalışana ait toplam süreler 115,91 dakika azalarak sırasıyla 3423,29 ve 2011,29 dakika olmuştur. Bu olumlu etkiye rağmen Jaber (2006)'e göre, süreçte yapılan kesintilerin uzunluğu ve ürünün yeniden tasarlanması gibi faktörler çalışanların performansını bozabilmektedir.

SONUÇ

Son yıllarda işletmelerin endüstriyel pazarlar içerisindeki artan rekabet ile başa çıkabilme konusunda kullandıkları en önemli iki araç kalite ve maliyet olmuştur.

İşletmeler üretimlerini tüketici isteklerine uygun hale getirirlerken çeşitli maliyetleri göz önünde bulundurmak zorundadır. Üretim süresini artıran faktörlerin tespit edilerek elimine edilmesi veya iyileştirilmesi, işletme maliyetleri açısından kazanım sağlayacak bir faaliyettir. Rekabet edebilmek ve pazar payını koruyabilmek için işletmelerin maliyetlerini artıran durumları ayrıntılı bir şekilde incelemeleri gerekmektedir.

Bu çalışma, aynı zamanda üretim yapan işletmelerin hedefledikleri miktarlara ulaşabilmeleri için hangi faktörleri nasıl ele almaları gerektiği konusunda yardımcı olmaktadır. Çalışanların öğrenme seviyeleri, çalışanların üretim sürecinde devamlı olarak aynı bölümde çalışmalarının öğrenmelerine faydaları, üretilecek partinin alt partilere ayrılarak üretilmesinin kusur sayısını azaltabileceği gibi durumlardan yola çıkarak, hedeflenen haftalık üretim miktarına ulaşamayan işletmelere muhtemel sebeplerin gösterilmesi konularında farkındalık oluşturulmaya çalışılmıştır.

Uygulama, tekstil sektöründe kumaş ve sünger yapııştırarak farklı şekillerde parçalar üreten bir işletmeden alınan verilerle yapılmıştır. İşletmeden alınan veriler “toplam zaman” kavramı üzerinden Öğrenme Eğrileri ile analiz edilmiştir. Çalışan öğrenme oranı, süreç kalitesinin yeniden yapılandırılmasına dair öğrenme oranı, kusurlu ürünlerin yeniden işlenmesine dair öğrenme oranı, sürecin kontrol dışına çıkması durumunda sürecin yönetimine dair öğrenme oranı ve üretim sürecinde üretilen partinin kaç eşit parçaya bölünerek üretileceğini gösteren değerlerin farklı kombinasyonlarda bir araya getirilmesiyle toplam üretim zamanında nasıl bir etki yarattığı analiz edilmiştir. İşletmenin haftalık hedeflediği üretim miktarına uygun olarak süreçlerin toplam zamanları hesaplanmıştır. Aynı zamanda işletmenin üretmekte olduğu ortalama miktar ve çalışanların istasyonda yapmış oldukları tekrar sayıları doğrultusunda öğrenme sembollerine değerler atanarak işletmenin mevcut çalışan öğrenme oranı tahmin edilmiştir.

Dört kişilik çalışan grubu, ikişer kişilik iki grup olacak şekilde bölünmüştür. Gruplardan birisi iki vardiya, diğeri ise dört vardiya çalıştırılarak Wright tarafından ileri sürülen tekrar sayısı iki katına çıktıkça işin tamamlanma süresinin azalacağı tezi değerlendirilmiştir. İki vardiya tekrar yapan gruptaki 1. ve 2. Çalışan 129,8 saniye işi

tamamlama süresi ve 206 tekrar sayısı ile vardiyalarını tamamlamışlardır. Dört vardiya tekrar yapan gruptaki 3. ve 4. Çalışan ise 121 saniye işi tamamlama süresi ve 207 tekrar sayısı ile vardiyalarını tamamlamışlardır. Dört vardiya tekrar yapan gruptaki çalışanların ortalama süreleri sırasıyla 120 ve 122 saniyelere kadar düşmüştür. 1. ve 2. Çalışanların ikinci vardiyaları sonunda ulaştıkları ortalama işlem süresi 127,9 saniye iken, 3. ve 4. Çalışanların dördüncü vardiya sonunda ulaştıkları ortalama işlem süresi 107 saniye olmuştur. 3. ve 4. Çalışanlar, ikinci vardiyaları sonunda işi tamamlama süresinde ortalama 126,6 saniyelik performans gösterirken, dördüncü vardiya sonunda tekrar sayısının artmasıyla işi tamamlama süresi ortalama 19,6 saniye azalmış ve işin tamamlanma süresi 107 saniyelere düşerek Wright'ın tezini test etme imkanını ortaya çıkarmıştır. Ölçüm yapılan lamine istasyonunda referans ölçümleri, istasyonda üç yıldan fazla tecrübesi olan çalışan ile yapılmış ortalama işi tamamlama süresi 76,3 saniye olarak ölçülmüştür.

İki kişilik gruplar üzerinde Wright'ın modeli esas alınarak hesaplamalar yapılmış ve sonucunda 3. Çalışanın b değerinin 0,1390 ve 4. Çalışanın b değerinin 0,1391 olduğu hesaplanmıştır. Hesaplanan bu b değerlerine göre, en hızlı öğrenen çalışan oldukları, 1. Çalışanın ise 0,0375 b değeriyle en yavaş öğrenen çalışan olduğu ortaya çıkmıştır. B değerinin 0 ile 1 arasında olması gerekmekte ve 1'e yaklaştıkça öğrenmenin o kadar iyi olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca çalışanların b değerlerinin pozitif olması unutma etkisinin olmadığını göstermektedir. En hızlı öğrenen çalışanlar, tekrar sayısını iki katına çıkardıkça işin tamamlanma süresini ortalama %9,64 azaltabilmektedir.

Öğrenme eğrilerine ait yapılan ölçümler doğrultusunda işletme, çalışanlarının üretim sürecinde yerlerinin sıklıkla değiştirilmemesi gerektiği hakkında bilgilendirilmiştir. Aynı zamanda işletmeye kusurlu ürünlerin yeniden işlenerek paketlemeye hazır hale getirilebilmesi için kusur çeşitleri üzerinde çalışanlara eğitimler vermesi tavsiye edilmiştir. Hedeflenen üretim tek parti halinde değil daha küçük partilere ayrılarak gerçekleştirildiğinde; kusurlu ürün sayısına paralel olarak maliyetlerin de düşeceği belirtilmiştir. Sürecin yeniden yapılandırılmasına dair ise, var olan sürece alternatif modellerin tasarlanarak uygulanması ve sonuçların ilk üretim süreci modeliyle karşılaştırılması konusunda öneriler yapılmıştır. Ayrıca işletmeye üretim sürecinde yapılan kesintilerin uzunluğunun ve ürünlerin yeniden tasarlanmasının çalışanların performansını etkileyeceği konusunda hatırlatma yapılmıştır. İşletmeye yapılan bu

öneriler sonucunda sahip oldukları üretim sürecine dair farkındalık oluşturmak amaçlanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmada ele alınan konu ve uygulama bulgularının üretim yapan işletmelere süreçlerini geliştirme konusunda ışık tutacağı düşünülmektedir.

BİBLİYOGRAFYA / KAYNAKÇA

Anzanello, M. J., & Fogliatto, F. S.	Scheduling learning dependent jobs in customised assembly lines. <i>International Journal of Production Research</i> , 48(22), (2010), s. 6683-6699.
Anzanello, M. J., & Fogliatto, F. S.	"Learning curves: the state of the art and research directions." <i>Learning curves: Theory, models, and applications</i> . CRC Press Boca Raton, FL, 2011, s. 3-22.
Anzanello, M.J., & Fogliatto, F.S.	Learning curve modeling of work assignment in mass customized assembly lines. <i>International Journal of Production Research</i> 45(13), 2007
Argote, L.	<i>Organizational learning: Creating, retaining and transferring knowledge</i> . NewYork: Springer, 1999
Badiru, A.B.	Computational survey of univariate and multivariate learning curve models. <i>IEEE Transactions on Engineering Management</i> 39(2), 1992, s.176–188
Bailey, C.	Forgetting and the learning curve: A laboratory study. <i>Management Science</i> 35(3),1989, s. 340–352.
Bailey, C.D., & McIntyre, E.V.	The relation between fit and prediction for alternative forms of learning curves and relearning curves. <i>IIE Transactions</i> 29(6),1997, s. 487–495.
Bailey, C.D., & McIntyre, E.V.	Using parameter prediction models to forecast postinterruption learning. <i>IIE Transactions</i> 35(12), 2003, s.1077–1090.
Baloff, N.	Extension of the learning curve – Some empirical results. <i>Operational Research Quarterly</i> 22(4),1971, s. 329–340.
Barutçugil, İsmet.	Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri, Genişletilmiş 2. Baskı, Bursa: Uludağ Üniversitesi Yayınları, 1988.

Baskak, M. & Tanyaş M.	Üretim Planlama ve Kontrol. İrfan Yayıncılık, İstanbul, 2006
Blancett, R.S.	Learning from productivity learning curves. <i>Research-Technology Management</i> 43(3), 2002, s. 54–58.
Buffa, E.S.	Modern Production Management, John Wileys and Sons, 1969
Camm, J.D., Evans, J.R., & Womer, N.K.	The unit learning curve approximation of total costs. <i>Computers and Industrial Engineering</i> 12(3), 1987, s. 205–213.
Chambers, S., & Johnston, R.	Experience curves in services: Macro and micro level approaches. <i>International Journal of Operations and Production Management</i> 20(7), 2000, s. 842–859.
Cook, J.A.	Competitive model of the Japanese firm. <i>Journal of Policy Modeling</i> 13(1), 1991, s. 93–114.
Çetin, K.	Toplam Kalite Yönetimi Felsefesi ve Temel Unsurları, <i>Milli Eğitim Dergisi</i> , (2002), s. 35
Dağ, S.	“Standart X-R diyagramları ile iki aşamada örneklemeli X-R diyagramlarının performanslarının ARL (Average Run Length) yardımı ile değerlendirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, İÜ, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2006
Dardan, S., Busch, D., & Sward, D.	An application of the learning curve and the nonconstant-growth dividend model: IT investment valuation at Intel Corporation. <i>Decision Support Systems</i> 41(4), 2006, s. 688–697.
Dar-EI, E.M.	<i>Human learning: From learning curves to learning organizations</i> . Boston: Kluwer Academic, 2000
Dar-EI, E.M., & Rubinovitz, J.	Using learning theory in assembly lines for new products. <i>International Journal of Production Economics</i> 25(1–3), 1991, s. 103–109.
Davidovitch, L., Parush, A., & Shtub, A.	Simulation-based learning: The learning–forgetting relearning process and impact of learning history. <i>Computers & Education</i> 50(3), 2008, s. 866–880.
Ertuğrul, İ.,	Toplam Kalite Kontrol, 3. Baskı, Bursa: Ekin Kitabevi, 2014, s. 12-13-184-187-202

Fine, C.H.	Quality improvement and learning in productive systems. <i>Management Science</i> 32(10), 1986, s. 1301–1315.
Globerson, S.	The deviation of actual performance around learning curve models. <i>International Journal of Production Research</i> 22(1), 1984, s. 51–62.
Globerson, S., & Gold, D.	Statistical attributes of the power learning curve model. <i>International Journal of Production Research</i> 35(3), 1997, s. 699–711.
Globerson, S., & Levin, N.	Incorporating forgetting into learning curves. <i>International Journal of Production Management</i> 7(4), 1987, s. 80–94.
Globerson, S., Levin, N., & Shtub, A.	The impact of breaks on forgetting when performing a repetitive task. <i>IIE Transactions</i> 21(4), 1989, s. 376–381.
Gold, B.	Changing perspectives on size, scale, and returns: An interpretive survey. <i>Journal of Economic Literature</i> 19(1), 1981, s. 5–33.
Gümüşay, O. O	<i>Ekim Makinası İmalatında Zaman Etüdü</i> (Doctoral Dissertation, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), 2007
Günday, Gökay Görkem.	Öğrenme eğrisinin yeni ürün geliştirme sürecindeki etkisini benzetim modeliyle araştırılması. MS thesis. ESOGÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
Hamade, R., Jaber, M., & Sikstrom, S.	Analyzing CAD competence with univariate and multivariate learning curve models. <i>Computers and Industrial Engineering</i> 56(4), 2009, s. 1510–1518.
Heizer, J., & Render, B.	Üretim Yönetimi, Ankara, Palme Yayıncılık, 1. Baskı, 2017, s.773
Howell, S.	Parameter instability in learning curve models – Invited comments on papers by Towill and by Sharp and Price. <i>International Journal of Forecasting</i> 6(4), 1990, s. 541–547.
Jaber, M.Y., & Bonney, M.	Production breaks and the learning curve: The forgetting phenomenon. <i>Applied Mathematics Modeling</i> 20(2), 1996, s. 162–169.
Jaber, M.Y., & Bonney, M.	The economic manufacture/order quantity (EMQ/EOQ) and the learning curve: Past, present, and future. <i>International Journal of Production Economics</i> 59(1–3), 1999, s. 93–102.

Jaber, M.Y., & Bonney, M.	A comparative study of learning curves with forgetting. <i>Applied Mathematics Modeling</i> 21(8), 1997, s. 523–531.
Jaber, M.Y., & Bonney, M.	Lot sizing with learning and forgetting in set-ups and in product quality. <i>International Journal of Production Economics</i> 83(1), 2003, s. 95–111.
Jaber, M. Y., & Glock, C. H., & Zanoni, S.	"A Learning Curve with Improvement in Process Quality." <i>IFAC-PapersOnLine</i> 51.11 (2018), s. 681-685.
Jaber, M.Y., & Guiffrida, A.	Learning curves for process generating defects requiring reworks. <i>European Journal of Production Research</i> 159(3), 2004, s. 663–672.
Jaber, M.Y., & Guiffrida, A.	Learning curves for imperfect production processes with reworks and process restoration interruptions. <i>European Journal of Operational Research</i> 189(1), 2008, s. 93–104.
Jaber, M.Y., Bonney, M., & Moualek, I.	Lot sizing with learning, forgetting and entropy cost. <i>International Journal of Production Economics</i> 118(1), 2009, s. 19–25.
Kiran, D. R.	<i>Work Organization and Methods Engineering for Productivity</i> . Butterworth-Heinemann, 2020, s. 191-210
Klenow, Peter J.	"Learning Curves and the Cyclical Behavior of Manufacturing Industries," <i>Review of Economic Dynamics</i> 1, 1998, s. 531–550.
Knecht, G.	Costing, technological growth and generalized learning curves. <i>Operations Research Quarterly</i> 25(3), 1974, s. 487–491.
Kobu, B.	Üretim Yönetimi, İstanbul, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayını, Üçüncü Baskı, 1981
Kobu, B.	Üretim Yönetimi, İstanbul, Avcıol Basım-Yayın, Onuncu Baskı, 1999
Kobu, B.	Üretim Yönetimi, İstanbul, Beta Basım-Yayın, On İkinci Baskı, 2005
Kopcsó, D., & Nemitz, W.	Learning curves and lot sizing for independent and dependent demand. <i>Journal of Operations Management</i> 4(1), 1983, s. 73–83.
Kortge, G.	Link sales training and product life cycles. <i>Industrial Marketing Management</i> 22(3), 1993, s. 239–245.

Kortge, G., Okonkwo, P., Burley, J., & Kortge, J.	Linking experience, product life cycle, and learning curves: Calculating the perceived value price range. <i>Industrial Marketing Management</i> 23(3), 1994, s. 221–228.
Koulamas, C.	Quality improvement through product redesign and the learning curve. <i>Omega</i> 20(2), 1992, s. 161–168.
Lam, K., Lee, D., & Hu, T.	Understanding the effect of the learning-forgetting phenomenon to duration of projects construction. <i>International Journal of Project Management</i> 19(7), 2001, s. 411–420.
Li, G., & Rajagopalan, S.	A learning curve model with knowledge depreciation. <i>European Journal of Operational Research</i> 105(1), 1998, s. 143–154.
Lieberman, M.	The learning curve and pricing in the chemical processing industries. <i>The RAND Journal of Economics</i> 15(2), 1984, s. 213–228.
Mazur, J.E., & Hastie, R.	Learning as accumulation: A reexamination of the learning curve. <i>Psychological Bulletin</i> 85(6), 1978, s. 1256–1274.
McIntyre, E.	Cost-volume-profit analysis adjusted for learning. <i>Management Science</i> 24(2), 1977, s. 149–160.
Montgomery, Douglas, C.	Introduction To Statistical Quality Control, New York, John Wiley & Sons, cop., Sixth Edition, 2009
Muth, E.J., & Spremann, K.	Learning effects in economic lot sizing. <i>Management Science</i> 29(2), 1983, s. 102–108.
Nadler, G.	<i>Work Design</i> , Irwin, 1962, s. 258
Naim, M.M., & Towill, D.R.	An engineering approach to LSE modeling of experience curves in the electricity supply industry. <i>International Journal of Forecasting</i> 6(4), 1990, s. 549–556.
Nalbant, Z. Eser.	“İŞGÖRENLERİ GÜDÜLEYEN BİR UYGULAMA OLARAK KALİTE ÇEMBERLERİ ÖZET.” <i>Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi</i> 11 (1993), s. 251-283.
Nembhard, D.A., & Osothsilp, N.	Task complexity effects on between-individual learning/forgetting variability. <i>International Journal of Industrial Ergonomics</i> 29(5), 2002, s. 297–306.
Nembhard, D.A., & Uzumeri, M.V.	An individual-based description of learning, within an organization. <i>IEEE Transactions on Engineering Management</i> 47(3), 2000a, s. 370–378.

Omachonu, V. K., & Ross, J. E.	Principles of total quality, Crc Press, (2004), s. 421-422
Özgen, H.	Üretim Yönetimi, Adana, Bizim Büro Basımevi, 1987.
Pramongkit, P., Shawyun, T., & Sirinaovakul, B.	Analysis of technological learning 59ort he Thai manufacturing industry. <i>Technological Forecasting and Social Change</i> 69(1), 2002, s. 89–101.
Pratsini, E.	The capacitated dynamic lot size problem with variable technology. <i>Computers & Industrial Engineering</i> 38(4), 2000, s. 493–504.
Rachamadugu, R., & Tan, C.	Policies for lot sizing with setup learning. <i>International Journal of Production Economics</i> 48(2), 1997, s. 157–165.
Salameh, M.K., Abdul-Malak, M.U., & Jaber, M.Y.	Mathematical modeling of the effect of human learning in the finite production inventory model. <i>Applied Mathematics Modeling</i> 17(11), 1993, s. 613–615.
Shafer, S., Nembhard, D.A., & Uzumeri, M.V.	The effects of worker learning, forgetting, and heterogeneity on assembly line productivity. <i>Management Science</i> 47(12), 2001, s. 1639–1653.
Tapiero, C.	Production learning and quality control. <i>IIE Transactions</i> 19(4), 1987, s. 362–370.
Teng, J., & Thompson, G.	Optimal strategies for general price-quality decision models of new products with learning production costs. <i>European Journal of Operational Research</i> 93(3), 1996, s. 476–489.
Teplitz, C.J.	<i>The learning curve deskbook: A reference guide to theory, calculations and applications</i> . NewYork: Quorum Books, 1991
Terwiesch, C., & Bohn, R.	Learning and process improvement during production ramp-up. <i>International Journal of Production Economics</i> 70(1), 2001, s. 1–19.
Tiniş, F.	Mühendislik Tasarımında Kalite Sistemleri ile Standart, Yönetmelik Ve Tüzükler, t.y. s. 2
Towill, D.R.	Management systems applications of learning curves and progress functions. <i>Engineering Costs and Production Economics</i> 9(4), 1985, s. 369–383.
Towill, D.R.	Forecasting learning curves. <i>International Journal of Forecasting</i> 6(1), 1990, s. 25–38.

Uzumeri, M., & Nembhard, D.	A population of learners:A new way to measure organizational learning. <i>Journal of Operations Management</i> 16(5), 1998, s. 515–528.
Vigil, D.P., and Sarper, H.	Estimating the effects of parameter variability on learning curve model predictions. <i>International Journal of Production Economics</i> 34(2), 1994, s. 187–200.
Vits, J., & Gelders, L.	Performance improvement theory. <i>International Journal of Production Economics</i> 77(3), 2002, s. 285–298.
Womer, N.	Learning curves, production rate, and program costs. <i>Management Science</i> 25(4), 1979, s. 312–319.
Wozniak, R. H.	Introduction to memory: Hermann Ebbinghaus (1885/1913). <i>Classics in the history of psychology</i> , 1999
Wright, Theodore P.	“Factors affecting the cost of airplanes.” <i>Journal of the aeronautical sciences</i> 3.4 (1936): s.122-128.
Yamak, O.	Üretim Yönetimi, İstanbul, Alfa Basım, 1994.
Yeh, S., Rubin, E., Hounshell, D. A., & Taylor, M. R.	Uncertainties in technology experience curves for integrated assessment models. <i>Environmental Science & Technology</i> , 43(18), 2009, s. 6907-6914.
Yelle, L.E.	Industrial life cycles and learning curves: Interaction of marketing and production. <i>Industrial Marketing Management</i> 9(2), 1980, s. 311–318.
Yelle, L.E.	Adding life cycles to learning curves. <i>Long Range Planning</i> 16(6), 1983, s. 82–87.
Yelle, L.E.	The learning curve: Historical review and comprehensive survey. <i>Decision Sciences</i> 10(2), 1979, s. 302–328.
Yılmaz, E.	Siparişe Göre Üretim Yapan Sistemlerde Yalın Üretim Uygulamaları (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü), 2013
Çevrimiçi 1	https://documen.site/download/retn-yinetm-r-grv-ceren-efe_pdf (18.08.2021)
Çevrimiçi 2	https://www.benimuhendisim.com/uretim-sistemi-nedir-uretim-sistemlerinin-siniflandirilmesi/ (04.11.2021)
Çevrimiçi 3	https://www.argeme.net/kesikli-imalat/

	(30.03.2021)
Çevrimiçi 4	https://gencerhavvahilal.wordpress.com/2018/07/15/uretim-sistemleri/ (26.09.2021)
Çevrimiçi 5	http://rut.com.tr/docs/14MB20V1_USS_1.pdf (09.07.2021)
Çevrimiçi 6	http://www.managers-net.com/workmeasurement.html (20.06.2021)
Çevrimiçi 7	http://www.ims-productivity.com/page.cfm/content/WorkMeasurement. (20.06.2021)
Çevrimiçi 8	https://www.birendustrimuhendisi.com/zaman-etudu-nedir-nasil-yapilir/ (10.11.2021)
Çevrimiçi 9	https://en.wikipedia.org/wiki/Learning_curve (15.02.2021)

