

Öğrenme Eğrisinin Yeni Ürün Geliştirme Sürecindeki Etkisini  
Benzetim Modeliyle Araştırılması

Gökay Görkem Günday

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim 2012

Research the Impact of Learning Curve on New Product Development Procedure by  
Simulation Models

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Industrial Engineering

October 2012

Öğrenme Eğrisinin Yeni Ürün Geliştirme Sürecindeki Etkisini Benzetim Modeliyle  
Araştırılması

Gökay Görkem Günday

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç.Dr. Servet Hasgül

Ekim 2012

## ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Gökay Görkem Günday'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Öğrenme Eğrisinin Yeni Ürün Geliştirme Sürecindeki Etkisinin Benzetim Modeliyle Araştırılması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd.Doç.Dr.Servet HASGÜL

**İkinci Danışman** : -----

**Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Yrd.Doç.Dr.Servet HASGÜL

**Üye** : Prof.Dr.Nihat YÜZÜGÜLLÜ

**Üye** : Yrd.Doç.Dr. Feriştah ÖZÇELİK

**Üye** : Yrd.Doç.Dr. Şafak KIRIŞ

**Üye** : Yrd.Doç.Dr. Berna ULUTAŞ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Yapılan çalışma beyaz eşya imalatı yapan bir işletmede çalışanların öğrenme profillerinin ortaya çıkartılması, çalışanların yeni öğrenme süreçlerine adaptasyonu ne derecede önemli olduğu, bu öğrenme sürecinin doğal bir şekilde kontrolsüzlüğe itilmesinin ne gibi zararlara yol açtığı araştırılmıştır.

Bu araştırma doğrultusunda üç parametrelili hiperbolik model kullanılarak çalışanların öğrenme hızının nasıl ölçüleceği ve parçadan bütüne gelecek şekilde bir bireyin öğrenme hızındaki değişimin bütün üzerinde nasıl bir performans değişimine neden olacağı benzetim paket programıyla araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Öğrenme Eğrisi, Öğrenme Eğrisi Modelleri

## **SUMMARY**

The aim of this study is to define the learning profile of workers, how to control workers adaptation on new learning process, what will happen when this process left in to naturally learning way and bad effects this situation on white good production.

According to this study, by the help of using three parameter hyperbolic model how to measure workers learning speed and overall performance changes due to one worker learning speed is searched. This results based on the simulation program.

**Keywords:** Learning Curve, Learning Curve Models

## TEŞEKKÜR

Öğrenme Eğrisinin Yeni Ürün Geliştirme Sürecindeki Etkisini Benzetim Modeliyle Araştırılması çalışmalarında, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Servet HASGÜL'e teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b>		<b>v</b>
<b>SUMMARY</b>		<b>vi</b>
<b>1. GİRİŞ</b>		<b>1</b>
<b>2. ÖĞRENME EĞRİSİ</b>		<b>6</b>
2.1 Öğrenme Eğrisinin Ortaya Çıkışı ve Tanımı		6
2.2 Öğrenme Eğrisi Modellerinin Tarihsel Gelişimi		10
2.2.1 Wright tarafından tanımlanan ilk öğrenme eğrisi modeli		10
2.2.2 Logaritmik doğrusal modeller		15
2.2.3 Hiperbolik modeller		21
2.2.4 Üstel modeller		26
2.2.5 Çok değişkenli modeller		27
2.2.6 Geçmiş çalışmalardan özetler		29
2.3 Unutma ve Unutmanın Çalışan Performansı Üzerindeki Etkisi		30
2.4 Öğrenme Eğrisinin Modellerinin Yeterliliği		33
2.5 Öğrenme Eğrisinin ve Yeni Ürün Tasarım Süreci		36
<b>3. ÖĞRENME EĞRİSİNİN İŞLETME ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ</b>		<b>40</b>
3.1 İşletmenin Tanıtımı		40
3.2 Öğrenme Eğrisinin İşletme İçinde Araştırılması		43
3.3 $y = C1xb$ Modelindeki b ve C1 değerlerinin Alınan Örnekler İçin Tahmin Edilmesi		53
<b>4. BÜYÜK ÖLÇEKLİ İŞLETMELERDE ÖĞRENME EĞRİSİNİN KOLAY YÖNTEMLERLE ÖLÇÜLEBİLMESİ</b>		<b>55</b>
4.1 Öğrenme Eğrisinin Etkilerini İncelemek İçin Uygun Matematiksel Modelin Seçilmesi		56



4.2 Üç Parametrelili Hiperbolik Modelle Öğrenme Hızının Ölçülebilmesi İçin Uygulanan Yöntem	61
4.3 Üç Parametrelili Hiperbolik Modelle Öğrenme Hızının Ölçülebilmesi İçin Yapılan Sayısal İşlemler	62
4.4 Üç Parametrelili Hiperbolik Modelle Öğrenme Hızının Bilgisayar Ortamında Hızlı Bir Şekilde Çözümlemesi	68
<b>5. ÜÇ PARAMETRELİ HİPERBOLİK MODELİN BENZETİM PROGRAMI İLE TEST EDİLMESİ</b>	<b>72</b>
5.1 Farklı Geçmiş Deneyimlerin Benzetim Modeli Üzerindeki Sonuçları	74
5.2 Üç Parametrelili Modele Unutma Faktörünün Eklenmesi ve Unutma Etkisinin İncelenmesi	75
5.3 Verilen Ara Süresinin Öğrenme Eğrisi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması	77
5.4 Verilen Ara Sayısı İle Öğrenme Eğrisi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması	78
5.5 Benzetim Çalışmasından Elde Edilen Sonuçlar	79
5.5.1 Geçmiş deneyimin çalışan performansı üzerindeki etkisinin benzetim modeli ile yorumlanması	80
5.5.2 Yapılan işe verilen aranın çalışan performansı üzerindeki etkisinin benzetim modeli ile yorumlanması	81
5.5.3 Yapılan işe verilen ara sayısının çalışan performansı üzerindeki etkisinin benzetim modeli ile yorumlanması	81
<b>6. SONUÇ</b>	<b>82</b>
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ</b>	<b>85</b>
<b>EKLER</b>	<b>91</b>

## Şekiller Dizini

Şekil 2.1 Öğrenme Eğrisinde b Değerinin Etkisi.....	12
Şekil 2.2 b Değerinin Denklem (2) Üzerindeki Etkisi.....	13
Şekil 2.3 Denklem(3) Sonuçları.....	14
Şekil 2.4 Stanford-B, DeJong, S Eğrisi, Plateu Modeli ve Wright Modeli Grafik Gösterimi (Anzanello M.J., Fogliatto F.S. : 2010). ....	21
Şekil 2.5 Üç Parametrelili Hiperbolik Model Eğrisi (Uzumeri, M., Nembhard, D., 1998). .....	23
Şekil 2.6 Çok Değişkenli Model Grafikselle Gösterimi.....	28
Şekil 2.7 Kesikli Çalışan Performansı .....	30
Şekil 2.8 PLM (Ürün Yaşam Çevrimi ) <a href="http://www.product-lifecycle-management.info/">www.product-lifecycle-management.info/</a> .....	38
Şekil 3.1 Poliüretan Öncesi Hazırlık Bandı Buzdolabı Gövde Plastiği ve Konvansiyonel Tip Evaporatör .....	43
Şekil 3.2 Buzdolabı Soğutma Sistemi Boru ve Boru Ucundaki Tapa .....	43
Şekil 3.3 5 ve 6 Numaralı Çalışanların Performans Grafiği .....	49
Şekil 4.1 Karar Sistemi Girdi ve Çıktıları.....	55
Şekil 4.2 Geçmiş Deneyime Göre Değişen Performans Düzeyi Grafikselle Gösterim.....	59
Şekil 4.3 Farklı $r$ Değerleri için Değişen Performans Düzeyinin Grafikselle Gösterimi ..	60
Şekil 4.4 Excel Arayüzünde İlk Sekiz Çevrimin Girildiği Alan.....	69
Şekil 4.5 Excel Yardımıyla $b, p, r$ Değerlerinin Belirlenmesi.....	69
Şekil 4.6 Excel Arayüzünde Değerlendirme Sonucu Alanı.....	70
Şekil 5.1 Benzetim Programı Ekran Görüntüsü.....	73
Şekil 5.2 Farklı Geçmiş Deneyimlerinin Etkisi .....	75
Şekil 5.3 Unutma Modelinin Benzetim Programındaki Ekran Görüntüsü .....	76
Şekil 5.4 Farklı Sürelerde Verilen Aranın Öğrenme Eğrisi Üzerindeki Etkisi.....	78
Şekil 5.5 Verilen Ara Sayısına Göre Değişen Öğrenme Performansı Grafiği.....	79

### Çizelgeler Dizini

Çizelge 2.1 Denklem(1) ve Denklem(2) Karşılaştırması.....	15
Çizelge 2.2 Shafer, S., Nembhard, D.A., Uzumeri, M.V 2001 (1).....	25
Çizelge 2.3 Shafer, S., Nembhard, D.A., Uzumeri, M.V 2001(2).....	25
Çizelge 2.4 Geçmişte Yapılan Çalışmaların Özeti (Paul N. Leiby, Jonathan Rubin ve Chuanqing Lu: 1997).....	29
Çizelge 2.5 Aynı Soğutucu Grubuna Ait 3 Farklı Modelin Benzerliği .....	39
Çizelge 3.1 İncelenen Operasyonun İş Adımları .....	44
Çizelge 3.2 Birinci 6 Kişilik Grup için Ortalama Değerler .....	45
Çizelge 3.3 İki Vardiya Çalışan 2 Kişilik Grubun Ortalama Değerleri.....	46
Çizelge 3.4 Dört Vardiya Çalışan 2 Kişilik Grubun Ortalama Değerleri.....	47
Çizelge 3.5 3. Ve 4. Çalışan Ortalama Performansı .....	48
Çizelge 3.6 Dört Vardiya Çalışan 2 Kişilik Grubun Ortalaması .....	50
Çizelge 3.7 5 ve 6 Numaralı Çalışanların Toplamlı Tekrar ve Performansı .....	51
Çizelge 3.8 5 ve 6 Numaralı Çalışanların Tekrar Sayısı Performans Arasındaki İlişki .	52
Çizelge 3.9 Referans Ölçüm Sonucu .....	52
Çizelge 3.10 Çalışanların Öğrenme Eğimi Karşılaştırması .....	54
Çizelge 4.1 Farklı Geçmiş Deneyimler İçin Değişen Performans Düzeyi .....	58
Çizelge 4.2 Farklı $r$ Değerleri İçin Değişen Performans Düzeyi.....	60
Çizelge 4.3 Sekiz Çevrim ve Performans değerleri .....	64
Çizelge 4.4 Sekiz Tekrar Sonucu Elde Edilen Ortalama $b$ Değeri .....	65
Çizelge 4.5 Sekizin Katı Tekrar Sayısı İçin Tahmin Değerleri ve Tolerans Sınırları ....	66
Çizelge 4.6 Beş Adet Tahmin ile Değerlendirme Puanı .....	67
Çizelge 4.7 Ortalama $b$ Değeri Hesabı .....	67
Çizelge 4.8 Farklı Bir Aday İçin Değerlendirme Sonucu.....	68
Çizelge 5.1 Farklı Deneyim Düzeylerinin Karşılaştırılması.....	80

## 1. GİRİŞ

Sanayileşme çağıyla birlikte günlük hayatta kullandığımız ve hayatımızın bir parçası olan bir çok ürün toplu halde tüm dünya üzerindeki insanlara daha ekonomik şekilde sunulabilir hale gelmiştir. Bu gelişmenin esas kaynağı sanayi çağında endüstri mühendisliği alanında devrim niteliğinde yapılan ilerlemeler bir çok ürünün fabrika çıkış maliyetinin düşürülmesine borçludur. Böylelikle insanlar daha ekonomik yollarla bir çok ürüne ulaşmaya başlamışlardır.

İlk üretim ve tüketim anlayışında olabildiğince çok üretmelisin ki olabildiğince çok satabilesin anlayışı yer almaktaydı. Bu anlayışı en çok benimseyen Henry Ford olabildiğince çok insanın ulaşabileceği fiyatta aynı tip araba yaparak insanlara sunmaya çalışıyordu. 1920'lerde Rouge Nehrinin kıyısında Dearborn, Michiganda 81.000 bordolu çalışmanı 645.906 m<sup>2</sup> kapalı alanı, 268.99.592,07 \$ değeriyle çalışan tesis kitle imalatında gelinen son noktayı göstermektedir. Tesise tüm ham maddeler temin edildikten sonra ham çelikten araba imalatı yapılmaktaydı. Bu derece büyük bir organizasyon yardımcı sanayi veya tedarikçi ile çalışmak yerine bütün iş fabrika içinde yapılmakta olduğu için bir çok farklı uzmanlıkları bir arada bulunmasına neden olmaktadır. “Herhangi bir müşteri arabasını istediği renkte boyanmış olarak sahip olabilir, müşteri sadece siyah rengi tercih ettiği sürece” sözü Henry Ford tarafından söylenmiş ve dönemin üretim psikolojisini çok net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Henry Ford tarafından uzun yıllar benimsenen bu yaklaşım General Motors Company tarafından pazara sunulan yeni bir model otomobil ile 1923 yılında son buldu. Müşteriler GM tarafından üretilen otomobili daha pahalı olmasından dolayı tercih etmeyecekleri üzerinde duran Ford yaptığı hatayı 1923 yılında satışlarının aşırı düşmesi sonucu fark etti. Müşterilerin daha pahalı olmasına rağmen bu yeni otomobili tercih etmesinin altında yatan neden aslında müşterilerin mevcut üründen sıkılmış ve yeni ürüne ise hevesli olmalarından kaynaklanıyordu.

Bu zamana kadar müşterilerin ne istediği konusuna hiç önem vermeyen işletme sahipleri ilk defa müşterinin alışlagelmiş ürün dışında bir ürüne sahip olma isteğini ve bu isteğini gerçekleştirirken vereceği fazladan parayı görmüş oldular.

İlerleyen yıllarda benzer durum beyaz eşya, kullanıcı elektroniği, mobilya gibi bir çok sektörde paralel olarak gelişti. Kullanıcının standarttan dışında veya yeni bir özellik katılmış bir ürünü fazladan para ödeyerek alma isteği üretici tarafında pazara sürekli yeni ürün sürme şeklinde yansındı. Bu durum 1980’li yılların sonlarına kadar devam ederken uzak doğudan gelen rekabeti yüksek firmalar benzer düşüncedeki müşterilere ürünlerini satmaya başladılar.

Uzakdoğulu firmalar ile rekabet etmek adına sürekli pazara yeni bir ürün süren firmaların araştırma geliştirme maliyetleri, yatırım maliyetleri gibi maliyetler sürekli artmaya başladı. Bu artış ürün üzerindeki amortisman yükünü tetikleyerek ürünün karlılığının düşmesine neden oldu. Diğer bir taraftan her defasında üretim süreçlerini yeni ürün için yeniden adapte etmeye çalışmak, işletmeler için de gözükmeyen adı konulamamış bazı verimsizlikleri ortaya çıkardı. Tam olarak tariflenmemiş olsa da bu verimsizliğin sonucu ürünün fabrika çıkış maliyeti üzerindeki işçilik gideri payının, hurda ve fire payının artması ile ortaya çıkmış bulundu. Uzun süre bu duruma aldırış etmeyen firmalar tüm dünya üzerinde yaşanan küresel bir darboğaz sonucunda ekonomik anlamda çok güç bir duruma düştüler, farklı firmalar farklı teknikler kullanarak üretim maliyetlerini düşürmenin yollarını aradılar.

Bu darboğaz noktasından kurtulmak için ilk kullanılan can simidi, pazara şu ana kadar pazarda o özelliği bulundurmamayan yeni bir ürün sunarak müşteriyi tekrardan tüketime yönlendirmek olmuştur. Bu düşünceyle birlikte firmalar birbirleri arasında bir ar-ge ve patent savaşı içerisine girmişlerdir. Bugün benzer mantıkla faaliyet sürdürebilen firmalar pazara sürekli yeni ürünler sürmektedir. Örnek verecek olunursa, ilk renkli televizyon, ilk uzaktan kumandalı tv, ilk 42 inç tv, ilk düz ekran tv, ilk LCD tv, ilk plazma televizyon ilk LED tv, ilk üç boyutlu televizyon şeklinde ilerleyerek her defasında tv üzerine yeni bir özellik eklenmiştir. Bu ara basamakların her biri mevcut veya farklı müşterileri tüketime sevk etmiştir.

Zamanla müşterinin yeni ürün beklentisi daha çok artmış ve pazara yeni özellikli ürünlerin verilmesi daha kısa süreler almıştır. Diğer bir söylemle kullanıcı elindeki üründen çabuk sıkılır olmuştur. Yeni ürünü pazara daha kısa sürede sunmaya başlayan firmalar, farkında olmadan bir ürünün amortisman yükünü diğer bir ürüne yüklemiş ve

kendi kendilerini ister istemez zor bir durum içerisinde tekrardan bulmuşlardır. Yeni özellikli ürün üretme çözümü uzun vadede bazı firmalar için başarılı olamamıştır.

Tam bu noktada firmaların birbirleri arasındaki rekabet yeteneği ürün tasarlama sürecindeki yaratıcı ve yenilikçi teknikler popülerliğin yerine, üretim süreçlerindeki yaratıcı ve yenilikçi tekniklerin ortaya çıkartılmasıyla kazanılmaya başlanmıştır. Üretim süreçlerini yeniden eleştirel gözle inceleyen firmalar daha rekabetçi bir yapı kazanmaya başlamışlardır. Günümüzün tüketim alışkanlıklarında kullanıcı alışkanlıkları çok fazla değişmiştir. Birbirinin muadili ürünler, marka değeri, pazarlama stratejisi ve toplumsal algılarla farklı fiyatlarda pazara sürülmektedir. Bu da pazardaki başarı anahtarını daha iyi ürün tasarlamak yerine üretim süreçlerini daha yaratıcı tasarlamak olarak değiştirmiştir.

İşletmeler üretim süreçlerini yeniden gözden geçirirken en önemli faktör olan iş gücü adaptasyonu başarı merdivenlerinde en önemli basamak görevindedir. Süreçler değiştikçe çalışanlar için yeni eğitim ve yeni yetenek kazandırma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Başarı hikâyesi sayılabilecek organizasyonlarda bu süreç öğrenme eğrisi ve etkilerinin incelenmesiyle gerçekleştirilirken, başarı merdiveninin basamaklarını tam olarak anlayamamış organizasyonlarda ise deneyerek ya da yaparak öğrenme sonucu deneyim kazanma ve buna bağlı verimlilik yönetimi yapılmaktadır.

Bu iyileşme süreçlerinin ortaya çıkış nedenini anlamak için daha eski yıllara geri dönüp incelediğimizde; 1800'lü yılların sonlarında başlayan sanayileşme hareketi ve bu hareketi daha da ivmelendiren 2. Dünya Savaşı, savaş sonrasında ikinci bir ivmelenme kazandıran sivil sanayileşme ve savaştan çıkan ülkelerin yeniden yapılanmasıdır. Sanayileşmede yaşanan bu değişimin esas nedeni; 8–10 kişilik atölyelerde çalışan birbirine benzer niteliklerdeki çalışanların olduğu zanaatkâr veya ustalık isteyen üretim birimlerinden yüzlerce veya binlerce sayıda farklı özelliklerdeki insanların birlikte çalışması gerektiği üretim sistemlerine geçilmesidir.

Kurulan bu yeni üretim sistemi karşısında “Endüstri Mühendisliğinin Babası” olarak da adlandırılan Taylor'un süreçler içinde ortaya çıkan hammadde ve işçilik kayıplarını ele alarak kayıp yönetimi incelemesiyle işlerin standartlaştırılması, gereksiz işlerin ayıklanması ile önlenildiği fark edilmiştir.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda işle ilgili standart zamanın çalışanın öğrenmesiyle birlikte iyileştiğini görmüştür. Bu iyileşme işletme içindeki göstergelerin de iyileşmesi anlamına gelse de üretim süreçlerindeki esas verimsizlik ve kayıp kaynağı süreçlerin standartlaşma eksikliği, gereksiz hareketler gibi nedenlerin altında aranmaktaydı. Frederick Winslow Taylor 'un döneminde yapılan tekrarın artmasıyla işin tamamlanma süresinin azalması arasındaki ilişkinin altında yatan nedenleri arayıp ortaya çıkarmak çok ilgi çekmese de ilerleyen yıllarda bu durumun sebebi ve matematiksel olarak modellenerek ortaya konulacaktı.

Üretim işletmeleri veya beceri gerektiren işlerde öğrenme sürecine baktığımızda, sürecin tekrarlarla birlikte iyileştiği aşikârdır. Doğal olan insanın yaptığı işi tekrar ettikçe deneyim kazanması ve deneyim sonucunda hızlanmasıdır. İnsanoğlunun yaptığı işte deneyim kazandıkça hızlanmasını iki nedene bağlayabiliriz. Birincisi fiziksel olarak kaslarının aynı işi tekrar ettikçe güçlenmesi ve aynı işi yaparken güçlenen belirli kas kütlelerinin aynı hareketi daha az zorlanma ile yapmasıdır. İkinci neden ise psikolojik olup çalışanın yaptığı işin en küçük adımları içinde bir birini takip eden adımlar arasında geçiş yaparken kendi işini kolaylaştırmak amacıyla küçük kısa yollar arayıp, bunları deneme yanılma yöntemiyle ortaya çıkarmasıdır. Bu belirtilen iki neden sonucunda çalışan deneyim ve hız kazanmıştır.

İnsanların tekrar ederek ve deneyim kazanarak yaptıkları işin süresine dayalı bir eğri şeklinde performansının ölçülmesi ve bunun analiz edilmesine öğrenme eğrisi tanımlaması yapılmıştır. Öğrenme eğrisini süreçlerinin analizi için kullanan işletmeler her çalışana ayrı ayrı öğrenme sürecinin analiz edilmesi, analiz sonucunda doğru işe doğru çalışanın atanması ve en düşük verimsizliklerle yeni süreçlerin devreye alınmasını gerçekleştirmektedir.

Tabiatta olduğu gibi insanoğlu da bireyler arasında mental ve fiziksel faktörler açısından farklılık göstermektedir. Bu farklılıkların doğru analiz edilmesi, çalışan gelişimi ve işletmenin kaynak kullanımını açısından hayati önem taşımaktadır. Özellikle motor fiziksel hareketler çalışanın mental yeteneğinin bir yansıması olan kas hareketlerinin nasıl bir süreç haritası içinde hareket ettiğinin analiz edilmesi işletme içindeki kayıpların en küçüklenmesini sağlayacaktır.

Çalışanların doğru işe atanması ve eğitim süreçlerinin yönetilmesiyle birlikte işletmenin kazandığı deneyimi birçok faaliyeti üzerinde yansıtılabileceği zamanla ortaya çıkartılmıştır. Planlama faaliyetleri, yeni pazarlara girip büyüme stratejilerin belirlenmesi vb. bu duruma örnek teşkil etmektedir. Çok uluslu işletmeler için ise; yeni bir coğrafyada yapılan yatırım, devreye alma süreçleri sonrasında ana merkezdeki deneyimin yeni coğrafyaya aktarılması ve bu deneyimi aktarmak için geçen sürenin en küçüklenmesi için kullanılabilmesi mümkündür. Böylelikle çok uluslu firma yeni coğrafyada yaptığı yatırımı en kısa sürede en iyi çıktı ile yönetebilir hale gelecek yada en iyi çıktıya ne zaman ulaşabileceğini biliyor olacaktır.

Süreçlerin içindeki verimsizlik ve kayıpların ortaya çıkartılması isteklerinin çoğunda standartlaştırma aranırken, insana dayalı süreç olan öğrenme mekanizmalarının nelere neden olacağı tam anlamıyla incelenememiştir. Kabaca yapılan çalışmalar sonucunda çalışanların her zaman tekrar ettiği işleri içerecek şekilde yeni ürün tasarlıyor olmasının bir önceki ürün ile yakın fabrika çıkış maliyetleri sağladığı fark edilmiştir. Bu farkındalık ilk önce otomotiv sektörüne ve sonra kullanıcı elektroniğine yansımıştır. Bilgisayar programları desteği ile yeni yaratılan ürün ile önceki ürünün bir birine ürün ağacı açısından ne derece benzer olduğu, imalat sürecini tamamlarken ne derecede ortak bir yol izlediğinin sorgulanmasına imkân sağlanmıştır.

İlk yıllarda deneysel yöntemlerle ortaya çıkan bu çalışma sonucunda elde edilen kazanç görüldükçe, ilerleyen yıllarda stok kontrolü, muhasebe, performans değerlendirmesi, tedarik zinciri tasarımı gibi birçok yenilikçi bakışla birlikte iç içe değerlendirilmeye başlanmıştır.

Bu çalışmada ise; seri imalat yapan bir işletme için öğrenme eğrisinin ne gibi verimsizliklere neden olacağı ortaya çıkartmak ve çalışanların anlık performansını incelenerek öğrenme hızı analiz edilmesi ve farklı durum senaryolarının benzetim modeli ile test edilerek ne gibi sonuçlar doğuracağı anlatılmıştır.



## 2. ÖĞRENME EĞRİSİ

### 2.1 Öğrenme Eğrisinin Ortaya Çıkışı ve Tanımı

Öğrenme eğrisi (ÖE), ilk olarak 19. yüzyılda Alman psikolog Hermann Ebbinghaus tarafından ortaya konmuştur (Wikipedia). Ebbinghaus, hafıza çalışmalarında anlamsız sözcükleri kullanmak suretiyle sözcüklerin anlamlarının ve kelimelerle eşyalar arasındaki ilişkinin hatırlama üzerindeki olumlu etkisini en aza indirmiş ve bu şartlarda hatırlamanın ne kadar zorlaştığını ortaya koymuştur. Ayrıca ilk öğrenme ve unutmaya eğrisini oluşturmuş, hafızada bellek teorisini geliştirmiştir. Bu teoride, tamamen unutilan bir kavramın yeniden öğrenilmesi için gerekli zamanla, o kavramı ilk defa öğrenmek için gerekli zamanı karşılaştırmış ve bellekteki kayıtların etkisini vurgulamıştır (Wikipedia,2012:1).

Öğrenme eğrisinin havacılık sanayinde işgücü verimliliği ile olan ilişkisi matematiksel modellerle ilk defa T.P. Wright tarafından 1936 yılında “Journal of the Aeronautical Science” dergisinde yayınlanan bir makalede ortaya atılmıştır (Wikipedia). Bu makalede uçak endüstrisinde yaptığı araştırmaları ve uçak üretimindeki tahmini maliyetlerini nasıl hesaplanabileceğini ortaya koyan bir teoriyi anlatmıştır. Bu teori ortaya atılmasının ardından günler geçtikçe farklı alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır.

Temelde ifade edilmek istenen bir operasyonun ya da bir işin sürekli tekrarlanması neticesinde o işin daha kısa sürede ve daha az çaba gereksinimi içinde yapılacağıdır. Wright (1936) tarafından ortaya atılan hipotezde temel kavram “Bir birim işin tamamlanması için gerekli olan direkt işçilik saati, üretim miktarı iki katına çıktığında belirli bir oranda düşer” şeklinde ifade edilmiştir. İlerleyen çalışmalarda ise bu oranın ne olduğu ve nasıl formülize edileceğini belirtmiştir.

Örnek olarak ise havacılık sektöründe yaptığı araştırmaları koymuş ve uçak imalatında ilk uçağın üretim maliyetinin 100 milyon \$, ikinci uçağın üretim maliyetini 80 milyon \$, dördüncü uçağın üretim maliyetinin 64 milyon \$, sekizinci uçağın üretim maliyetinin ise 51 milyon \$ olduğunu görmüştür. Burada üretim miktarının iki katına çıktıkça üretim maliyetlerinin %20 azaldığı görülmektedir. İşletme içindeki çalışanlar nasıl uçak üretileceğini öğrendikçe izleyen uçakları daha kısa sürede ve daha az kayıpla

üretmekte ve bu da fabrika çıkış maliyetinin düşürülmesini sağlamaktadır. Diğer bir ifadeyle, bir ekseninde imalat maliyeti, tamamlanma süresi veya hurda maliyeti, diğer ekseninde ise yapılan tekrar sayısına göre çizilen eğrilere öğrenme eğrisi (ÖE) olarak adlandırılabilir.

ÖE işçilerin tekrarlı işler karşısındaki performansının matematiksel olarak modellendirilmiş tarifidir (Wright,1936; Teplitz,1991; Badiru,1992; Argote, 1999; Fioretti, 2007). Tekrar söz konusu olduğu sürece işçiler işi yaparken daha az vakit kullanmayı, işlerin ve işi yapmakta kullanılan aletlerin benzerliğine bağlı olarak kısa yollar keşfedeceklerdir (Wright, 1936; Teplitz, 1991; Dar-El, 2000).

Öğrenme olgusu genellikle, bir birim mamul üretimi için geçerli olan ortalama zamanın, birikimli üretim miktarı iki katına çıktığında sabit bir oranda azalması olarak tanımlanır (Chen,1999:170-178) . Bu tanımdaki temel varsayım, üretimin başlangıç aşamasından sonra, üretim faktörlerinin bazılarının birbiri arasındaki uyumun gelişmesi olarak kabul edilir. Burada konu edilen faktörlerden en önemlisi bir birinden bağımsız özelliklere sahip çalışan havuzudur. Doğal olarak bu havuz içindeki bireylerin farklı olması işletmenin yönetmesi gereken bir faktördür.

“Üretim verimliliği ile ilgili yapılmış bir dizi deneysel çalışma göstermektedir ki, bir firma üretim teknolojisini değiştirdiğinde, verimlilik ilk başta düşmekte ve daha sonra eski teknoloji ile elde edilmiş verimlilik seviyesini aşacak şekilde aşamalı olarak artmaktadır. Verimlilikteki ilk düşüş, eski teknolojiye ait olan üretim bilgisinin yeni teknolojiye uygulanmadığını, müteakip verimlilik artışı ise yaparak öğrenmenin etkisini göstermektedir” (Klenow, Peter J.1998:531).Klenow ile aynı görüşü paylaşan Byrns'e göre ÖE bir kavram ya da teknolojiye uzman veya yeterli hale gelebilmenin zorluğu, kullanılan zaman veya maliyet bazında ifade eden bir kavramdır (Byrns, 2007:1).

Yukarıda yapılan tanımlarda ortak olarak belirtilen durum çalışanın yeterli bir duruma gelmesi hali geçmiş yıllarda Taylor'un da fark ettiği çalışanın yaptığı tekrar arttıkça işi tamamlama süresinin azalması durumudur. Taylor zamanında bu iyileşmenin tam olarak adını koyamasa da, her hangi bir şekilde bunu gelişme amacıyla kullanamasa da ilerleyen yıllarda başka araştırmacılar tarafından birçok farklı alanda kullanılmıştır. Peki bu yapılan işte sürenin azalmasının, kaynak kullanımının iyileşmesi nedenleri ile bu

süreye bağlı değişen işletme göstergeleri nelerdi? Bu sorunun cevabına bakıldığında alınan cevaplar, direkt işçilik ve hammadde maliyeti ile değişken genel imalat gideri gösterilebilir.

Direkt işçilik, direkt hammadde ve değişken genel imalat gideri faaliyet hacmine bağlı olarak değişken gider kabul edilmektedir. Karakteristik özellikleri ile yönetici ve işçilerin işe uyumu öğrenme faktörünü ortaya çıkarır. Thomas bu uyumu aşağıdaki şekilde ifade etmiştir (Gulledge, Thomas R., 1987: 223-236).

- Üretim işlemlerinin tekrarlanması ile işçilerin işe alışması,
- Genel olarak koordinasyon, iş organizasyonu ve mühendislik ilişkilerinin gelişmesi,
- Alt birimlerde daha etkili ve verimli üretim süreci geliştirme,
- Daha etkili hammadde temininin geliştirilmesi,
- Daha etkili ve verimli araçların geliştirilmesidir.

Bu maddelere bakıldığında öğrenme, işletme organizasyonunun üretim yönetimi açısından işlemlerin tekrarlanmasından elde edilen etkinliğin gelişmesi olarak ortaya çıkmaktadır. Çünkü insanın doğası olarak organizasyonda yaptığı işlemler tekrarlandıkça bu işlemler kolaylaşmakta ve öğrenme olgusu ortaya çıkmaktadır.

ÖE, için tecrübeye bağlı kazanılan verimliliklerin neler olduğu ve bunların tekrar sayısı karşısında nasıl değiştiğini inceleyen bir grafikdir (American Heritage Dictionary, 2006:1). Bu tanımın devamında ise; tekrarlı yapılan işlerde birim başına harcanan sürenin azaldığını, toplam tekrar sayısı iki katına çıktıkça birim başına harcanan süresinin %10 veya %40 arasında değişen oranda azaldığını istatistiksel olarak ortaya konduğu sayısal olarak vurgulanmıştır.

Bu istatistiksel sürecin ortaya çıkardığı eğriyi kullanarak üretim veya hizmet işletmelerinde cevabı güç soruların cevabını bulmak, işletme kaynaklarını daha verimli kullanmak adına değerlendirmiştir. Bu cevaplanması güç olan sorular ise:

1. Yeni bir hemşire 50 hasta kayıt formunu doldurmak için 1 saat harcıyor. İkinci 50 için 50 dakika, üçüncü 50 için ise 45 dakika harcıyor. Bu hemşirenin saatte 100 kayıt formu standardına ulaşması için ne kadar zamana ihtiyaç vardır?

2. Bir grup çalışan tarafından ilk denizaltı üretmek için 4000 saat harcanmış, ikinci denizaltı için 3800 saat harcanmış, dördüncü denizaltı için 3600 saat harcanmış ise 16. denizaltıyı tamamlamak için ne kadar saate ihtiyaç vardır?

Yukarıdaki soruların cevabını bulma isteği işletmelerin kaynak yönetimine verdiği önem, pazara doğru zamanda ürün sağlayabilme ve müşteri memnuniyeti gibi işletmeler arasında rekabeti sağlayan birçok öğeyi kullanmaya dayanmaktadır. Bu soruları cevaplayabilmek için oluşturulan modeller öğrenme eğrisi modellerini doğrulamış ve ilerleyen yıllarda bu modellere çeşitli parametrelerin ilavesiyle çok boyutlu bir kontrol aracı olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Yukarıda tanımlamalardan özetleyecek olursak, ÖE'nin kabaca yapılabilecek tarifi şu şekildedir: yapılan bir işteki tekrar sayısı iki katına çıktıkça işin yapılma süresi veya maliyetinin belirli bir oranda azalması ve bu azalmanın sayısal olarak bir grafik üzerinde incelenmesidir.

ÖE işçilerin tekrarlı görevler karşısında gelişim performansını incelemek için etkili bir araç olmasıyla birlikte yeni ürün devreye alma süreçlerinde ortaya çıkan yetersizliklerin azaltılmasında öncülük eder. ÖE ile işçilerin öğrenme profili analizi ve öğrenme profiline uygun iş atamakta kullanılarak verimlilik faaliyetlerine de hizmet vermiştir. Üretim maliyetlerinin deneyim ve yetenek kazandıkça nasıl değişeceği, teknoloji seviyesine göre nasıl bir danışmanlık hizmetine ihtiyaç duyulacağı gibi soruların araştırılmasına yardımcı olmuştur (Anzanello M.J., Fogliatto F.S, 2010).

Öğrenme eğrisinin en yaygın kullanım alanları;

1. Uçak endüstrisinde; maliyet tahmini, üretim programlarının hazırlanması, işgücü verimliliğinin saptanması, araç-gereç ihtiyacının tespiti, ücret limitlerinin tayini konularında,
2. Yeni bir mamulün satış fiyatının üretime geçmeden önce tahmin edilmesinde,
3. İşgücü planlamasında,
4. Yeni işçilerin ustalık bakımından gösterdiği gelişmelerin izlenmesinde,
5. Mevcut tesislere yapılacak ek yatırımların planlanmasında,
6. Yap veya satın al (make-or-buy) kararının verilmesinde,

7. Mamul üzerindeki tasarım değişikliklerinin maliyetinin hesaplanmasında,
8. Standart zamanların kontrolünde,
9. Finansal planlamada,
10. İşçilik kontrolünde.

## 2.2 Öğrenme Eğrisi Modellerinin Tarihsel Gelişimi

Ebbinghaus'un ölümünden 27 yıl sonra öğrenme eğrisi gerçek hayat problemlerinde şekillenmeye başlamış, olaya psikoloji boyutundan ziyade işletme kaynaklarının kullanımı gözüyle bakılmaya başlanmıştır ve Wright tarafından ilk matematiksel model ortaya konulmuştur. Wright'in halefi olan araştırmacılar ise içinde bulunduğu durumu ve problemin kısıtlarını göz önüne alarak elindeki problemi çözecek yeni matematiksel modelleri geliştirmiştir. Her model bir ihtiyaç sonucu araştırmacılar tarafından ortaya konulmuştur ve zamanla ortaya çıkan modellerin melez türevleri de karşımıza çıkmıştır. Bu bölümde Wright'dan itibaren günümüze kadar en çok bilinen öğrenme eğrisi modelleri incelenmiş ve modellerin nasıl işlem yaptığı anlatılmaya çalışılmıştır.

### 2.2.1 Wright tarafından tanımlanan ilk öğrenme eğrisi modeli

ÖE, Wright tarafından 1936 yılında uçak imalatında tekrar gerçekleştirildiğinde üretim maliyetlerinin nasıl düştüğünü incelemesinden sonra deneysel olarak geliştirilmiştir. Bu maliyetlerdeki azalma imalatı yapılan uçak sayısının iki katına çıktıkça sabit bir oranda azaldığını ispatlamıştır. (Teplitz, 1991; Cook, 1991; Badiru, 1992; Argote, 1999; Askin and Goldberg, 2001).

Wright tarafından ilk kez tanımlaması yapılan ÖE ekonomik açıdan incelendiğinde, ekonomik öğrenme noktası, genellikle benzer deneyimleri içeren işleri birbirinin takip etmesi sonucu ikincil etki olarak ortaya çıkmıştır. Verimlilik ve etkinliğin gelişmesi topyekûn örgütsel bir öğrenme sürecinin sonucu olarak göz önüne alınmalıdır. Genellikle bu sürecin yol haritası önce hızlanma ardından yavaşlama şeklinde ve devamında ulaşılabilir düzeyde verimliliğin elde edilmesiyle tamamlanmıştır. Kaynak kullanımının ve iş gücünün öğrenme temelli yöntemlerinin

kullanılarak azaltılmasının gelecekteki işletme, işletmenin büyümesi ve ekonomik anlamda gelişmesi üzerinde gizli kalmış etkisi Jevons çelişkisi şeklinde 1880'lerde tartışılmaktaydı. 1980'lere gelindiğinde bu konu Khazzoom-Brookes Postulate tarafından tekrardan güncellenmiştir (Wikipedia,2012:1).

İşçilerin performansının ölçülmesinde bağımlı değişkenler kullanılmıştır;

1. Bir adet üretilmesi için gerekli süre,
2. Belirli zaman dilimi içinde üretilen ürün miktarı,
3. Bir ürünün üretilme maliyeti,
4. Uyumsuzluk yüzdesi. (Teplitz, 1991).

Wright tarafından ilk kez resmi olarak tanımlanan bu model Denklem(1)'de verilmiştir.

$$y = C_1 x^b \quad (1)$$

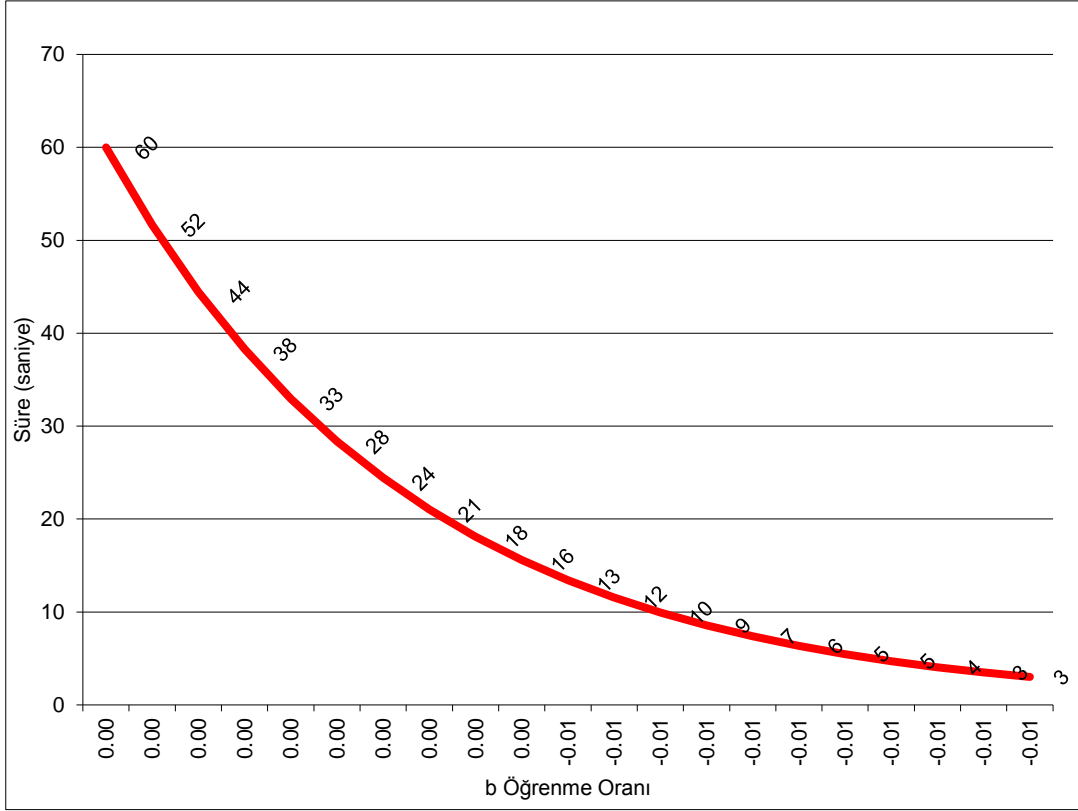
$y$ :  $x$  kadar ürünü üretmek için ortalama süre (ya da maliyet)

$C_1$ : İlk üretimi için tamamlanma süresi (ya da maliyet)

$x$ : Araştırılan hedef üretim miktarı

$b$ :  $(-1 < b < 0)$  çalışanın öğrenme oranını tanımlayan ÖE eğimi,  $b$  değeri  $-1$ 'e yaklaştıkça yüksek öğrenme oranının ve iş uyumunun hızlı olduğunu gösterecektir.

Denklem(1)'de  $b$  değeri gerçek hayatta her çalışan için farklı değere sahiptir. Bu değer grup için ortak alınabileceği gibi her çalışan ayrı ayrı değerlendirilip çalışanları öğrenme profiline göre işe atamak da mümkündür.  $b$  değerinin nasıl bir etkisinin olduğunu göstermek için örnek bir çalışma yapılmıştır. Örnek olarak seçilen konuda; bir çalışanın bir işi ilk defa tamamlaması 60 dakikasını almıştır. Yirminci tekrarı yaptığında işi tamamlamasının kaç dakikasını alacağını hesaplarken  $b$  değerinin sonucu nasıl etkilediğini görmek istersek Şekil2.1'deki gibi bir grafik elde edilir.



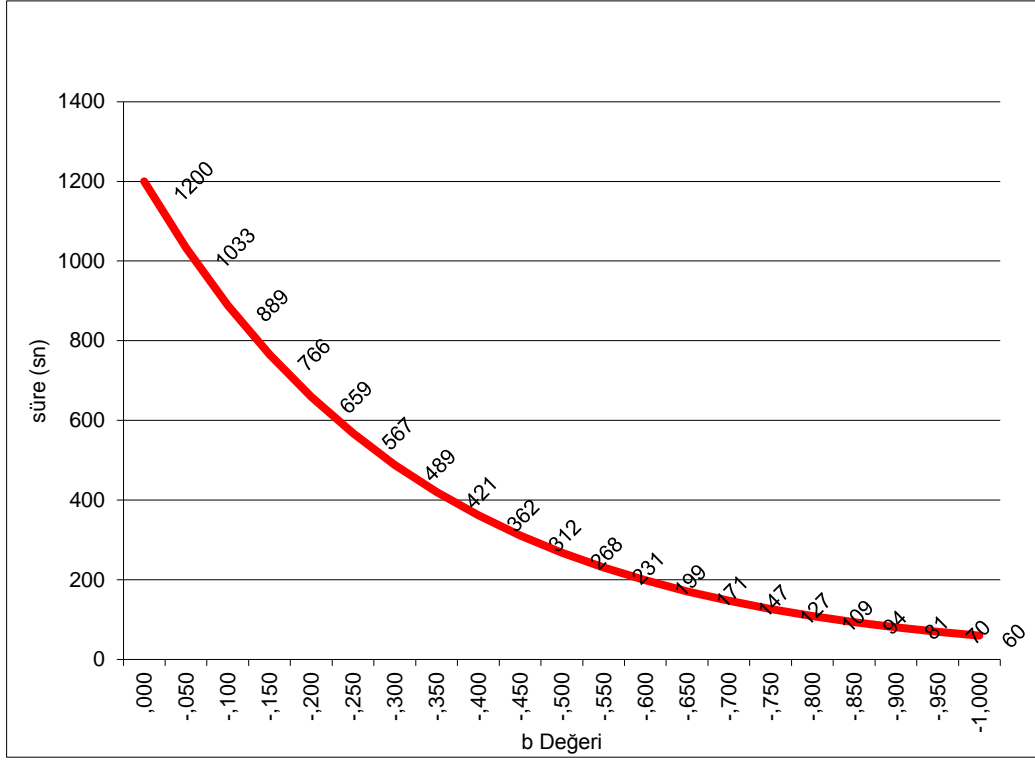
Şekil 2.1 Öğrenme Eğrisinde b Değerinin Etkisi

Yukarıdaki grafikte gözüktüğü gibi  $b$  değerinin -1'e yakın olması öğrenme sürecinin daha hızlı olduğunu göstermektedir.  $b$  değeri ne kadar 0'a yakın ise bu da öğrenmenin daha yavaş olduğu anlamına gelmektedir.  $b$  değeri burada çalışanın öğrenme profilini ortaya koymaktadır.

Wright'in modelinde yapılan değişikliklerle  $x$  kadar ürünü üretmek için gerekli sürenin (ya da maliyet) tahmin edilmesine imkân verilmiştir.

$$y_{1-x} = C_1 x^{b+1} \quad (2)$$

Denklem(2)  $x$  kadar ürünü üretmek için gerekli olan sürenin basit bir şekilde tahminlenebilmesi için, modelde yapılan değişiklikle elde edilmiştir. Bu denklemin sonuçları bir önceki örnek için uygulayacak olursa Şekil2.2'deki gibi bir grafik elde ederiz.



Şekil 2.2 b Değerinin Denklem (2) Üzerindeki Etkisi

Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de görüldüğü gibi  $b$  değeri iki tahmin değerini etkilemektedir.

1.  $x$ .tekrarı yaptığında  $x$ . tekrarı yapmak için harcadığı süre
2.  $x$  kadar tekrar yapması için gerekli süre.

Bu iki değer üzerinde de  $b$ 'nin etkisi bulunmaktadır ve  $b$  değeri, kurulacak olan modelin hassasiyetini belirlemektedir. Yapılan tahminleme sonucunun kararlı olabilmesi için her şeyden önce  $b$  değerinin doğru hesaplanması, her çalışan için ayrı bir  $b$  değeri mi kullanılacak yoksa bütün çalışan havuzu için ortak tek bir  $b$  değeri mi kullanılacağı konusunda karar verilmesi gerekmektedir.

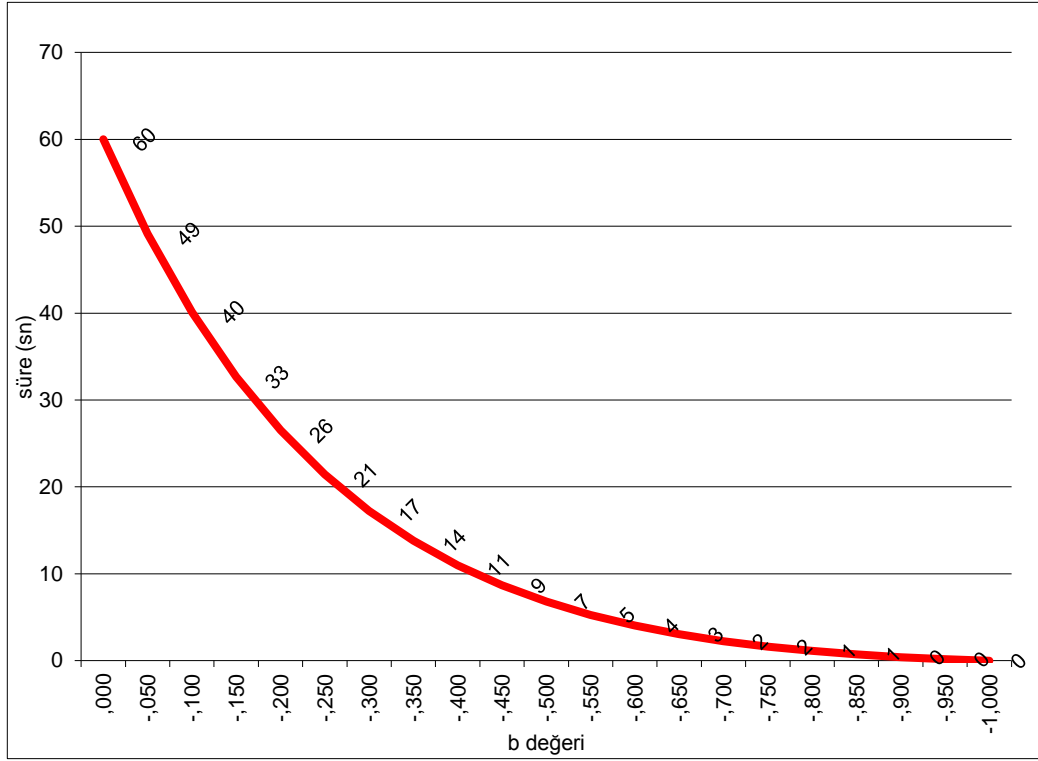
Bu model daha da geliştirilerek belirlenmiş  $i$  birim ürünü üretmek için ihtiyaç duyulan zamanı (ya da maliyeti) hesaplayabilmek için yapılan değişikliklerle Denklem(3) elde edilmiştir.

$$y_i = C_1 [i^{b+1} - (i-1)^{b+1}] \quad (3)$$

Denklem(3)'de diğer denklemler gibi  $b$  değerinden etkilenmektedir. Denklem(1) ve Denklem(2)'yi açıklamak için kullanılan veriler kullanılarak Denklem(3)'de 20.



tekrar yapıldığında tekrar süresinin ne olacağını tahmin eden denklemin sonuçları Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3 Denklem(3) Sonuçları

Verilen birinci ve ikinci denklemin her birinde farklı matematiksel modeller kullanılmış ve her defasında belirli tekrar sonrasında  $x$ . tekrarı yapmak için gereken süre ya da  $x$  tekrarı ne kadar sürede tamamlayacağı tahmin edilmek istenmiştir. Bu iki denklemin birbirlerine göre çalışma performansı aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Çizelge 2.1’de görüldüğü üzere her iki denklemden 0,05 aralığındaki  $b$  değerlerinin denklemin sonucunu nasıl etkilediği gözükmektedir. Tablodaki sonuçlara göre öğrenme eğrisini kullanarak yapılacak olan bir tahmin sadece  $b$  değerine bağlı değil seçilen modelin çalışma mantığına da bağlı olduğu gözükmektedir. Her iki denklemin de logaritmik doğrusal yapıya sahiptir.

Çizelge 2.1 Denklem(1) ve Denklem(2) Karşılaştırması

b Değeri	Denklem 1	Denklem 2
0,00	60	60
-0,05	52	49
-0,10	44	40
-0,15	38	33
-0,20	33	26
-0,25	28	21
-0,30	24	17
-0,35	21	14
-0,40	18	11
-0,45	16	9
-0,50	13	7
-0,55	12	5
-0,60	10	4
-0,65	9	3
-0,70	7	2
-0,75	6	2
-0,80	5	1
-0,85	5	1
-0,90	4	0
-0,95	3	0
-1,00	3	0

Çalışmanın konusu olan öğrenme eğrisi Wright tarafından ilk kez matematiksel ifadeye döküldüğünde kurulan denklem logaritmik doğrusal yapıdaydı. Wright öncesinde yapılan çalışmalar, ÖE matematiksel modellerinin dışında ekonomik anlamda ve psikolojik anlamda incelemekteydi. İlerleyen yıllarda Wright tarafından ortaya konulan bu logaritmik modelin üzerinde diğer araştırmacılar değişiklikler yaparak farklı denklemleri farklı amaçlarda, kendisine has problemleri çözmek için kullanmışlardır. Zamanla doğrusal logaritmik yapıdaki denklemlerin yerine üstel ve hiperbolik modeller de geliştirilmiştir.

### 2.2.2 Logaritmik doğrusal modeller

Logaritmik doğrusal modeller bir işin tamamlanma süresinin tahmin edilmesinde esnekliğine rağmen, bir ürünün yaşam çevriminin hesaplanabilmesi için aynı ürünün partiler şeklinde üretilirken üretip ara vermenin etkisi ortaya çıkartmaktadır. Wright tarafından ortaya çıkartılan modelde yapılan üretime verilen araların etkisi yani unutmanın etkisi modele dahil edilmemiştir.

Bazı sanayi kollarında logaritmik doğrusal ÖE modellerinin, çalışanların öğrenme sürecini modellemek için uygulandığı iyi bilinmektedir. Örneğin yarı iletken

sanayileri, elektronik ve havacılık bileşenler üreten sanayileri, kimya sanayi, otomotiv parçası üreten sanayiler ve kamyon montajı. ÖE üretim maliyetlerinin izlenmesinde bir gösterge olarak ilk kez Teplitz (1991) tarafından kullanılmıştır.

Blancett, Globerson ve Gold'a göre tekrarlı işlerde üretim oranının tahminlenmesinde en çok kullanılan ÖE modeli logaritmik doğrusal modeldir. Globerson ve Levin (1987)'e göre elle yapılan kabul edilebilir hassasiyetteki işlerin karmaşık olmayan matematiksel modellerle gösterilmesidir. Bu tanım içindeki kabul edilebilir hassasiyet ilerleyen günlerde bir çok araştırmacının modele ilave parametre eklemesiyle toleransları git gide daraltan bir yapı içerisine sokmaya başlamıştır.

Blancet (2002) bu modeli birkaç farklı inşaat sektöründe çalışanların ürün geliştirmeden üretim sürecine kadar olan performansını ortaya çıkarmakta kullanmıştır. Benzer amaçlar içinde olan Terwiesch ve Bohn (2001) yeni bir üretim sürecindeki ürün veya modelin öğrenme etkisini tanımlamışlardır. Son olarak hücreli yapıda imalat yapan bir yerleşim planına sahip bir üretim sürecinde birimler arasındaki üretkenlik Kannan ve Palocsay (1999) tarafından karşılaştırılmıştır.

Üretim planlamada ise çalışanların öğrenme eğrisinin stok kontrol politikaları üzerindeki etkisini inceleyerek en iyi lot büyüklüğünü tanımlamasında ve diğer planlama faaliyetlerinde kullanmışlardır.

Yapılan çalışmaların raporlarında, logaritmik doğrusal ÖE modellerinin integralinin üretim planlamaya yardımcı olması için tasarlandığı literatürde belirtilmiştir. Yelle (1980, 1983), Kortge (1993) ve Kortge et al. (1994) ÖE modellerini, üretim planlamayı geliştirmek amacıyla, Ürün Yaşam Çevrimi Modelleri ile birleştirmiş, ÖE ve Cobb-Douglas fonksiyonunun birleştirilmesi sonucunda spesifik faktörlerin öğrenme eğrisini nasıl etkilediğini tanımlamıştır. Benzer şekilde Pramongkit et al.(2002) tarafından logaritmik doğrusal ÖE Toplam Üretken Bakım ile Tayland'daki birçok işletmede ilişkilendirmiştir.

Ürün tasarımının süreç kalitesi ve maliyetinin üzerindeki etkisini vurgulamak için Koulamas (1992), logaritmik doğrusal ÖE ile kalite kontrol tekniklerini birleştirilmesini önermiştir. Tapiero (1987) üretim tesislerindeki öğrenme süreci ve kalite kontrol arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Teng and Thompson (1996) otomotiv sektöründe kalite kontrol ve yeni ürün üretim maliyetleri ile öğrenme eğrisi

arasındaki etkileşimi tanımlamıştır. Franceschini and Galetto (2002) ÖE meyve suyu üretiminde çalışanların yeteneklerinin artmasıyla ortaya çıkan uygunsuzlukların azaltılmasında tahminlemede kullanmıştır. Jaber and Guiffida (2004) Wright'ın ÖE modelinde değişiklik önererek yeniden işleme neden olan hatalara Kalite Öğrenme Eğrisi (KÖE) (Quality Learning Curve QLC) olarak tanımladı. Son olarak Jaber ve Khan (2010) Jaber and Guiffida (2004) çalışanların öğrenme sürecine dayalı kalite problemleri (örneğin ürün yeniden işlenmesi, hurda vb.) için adres gösterdiği ÖE bileşenlerinde değişikliği önermiştir. Buna ilaveten Jaber ve Khan (2010) ÖE parametrelerinde duyarlılık analizi yaparak üretim ve yeniden işleme sürecini tanımlamışlardır.

Logaritmik doğrusal ÖE Chambers ve Johnston (2000) tarafından hizmet sektöründe de farklı iki hizmet sunucu olan hava yolları şirketi ve küçük ölçekli bankada uygulama yapmışlardır. Saraswat ve Gorgone (1990) özel mülklerde yazılım yüklemesi yapan çalışanların performansını ortaya çıkartılmasında kullanmıştır. Buna ilaveten Strum (1999) klinik formları dolduran çalışanlarda doldurulan form sayısının iki katına çıktığında maliyetin %15 azaldığı ortaya çıkmıştır.

Diğer logaritmik doğrusal ÖE üzerine Müller et al. (2010), tarafından yapılan ilginç bir araştırmada alışlagelmiş bilgisayar mouse ile aynı yeteneğe sahip özel geliştirilmiş bir kalemin değiştirilmesi sonucu kullanıcıların öğrenme ihtiyaçlarını tanımlamıştır. Hurley (1996) ve Eden et al. (1998) Wright'ın modelinde tekrar sayısını çok sayıda artırdıkça çevrim süresinin sifıra yaklaştığını söylemektedir ki, aslında gerçek hayatta bu uygulama mümkün değildir. Bunun üstesinden gelebilmek için yazarlar sabit zaman dilimi dahil edilmiştir. Globerson et al. (1989) Wright'ın modelinde çalışanların geçmiş deneyimlerinin dâhil edilmemesinden yakınlıkla üretim planlama ve iş gücü yerleştirmesi üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmıştır.

Veri toplanan süreçteki değişkenlik ÖE modellerinin daha sıkı olmasına neden olmaktadır (Yelle, 1979). Globerson (1984) ve Vigil ve Sarper (1994) *b* değişkeninde kesin olmayan tahminlerin yapılması ÖE modelinin tehlikede olduğunun habercisidir diyerek, tahminleme yapılan süreçte geri bildirim için güven aralığı kullanmayı önerdiler. Globerson ve Gold (1997) ÖE olasılık yoğunluk fonksiyonu ve varyant katsayısını tahmin eden bir eşitsizlik kurdular. Smunt (1999) Wright'ın modelinde *b*

değişkenin değiştiği süreçleri kapsayacak değişiklik yaptı, aynı zamanda Smunt ve Watts (2003) ÖE tahmin edilen değişkenlerinde varyant değerini düşürmek için veri toplama tekniği önerdiler.

Kümülatif birimleri bağımsız değişken olarak kullanmak ÖE literatüründe dikkat çekici bir uygulama olmuştur. Fine (1986) üretilen ürün sayısı eksik, yanlış veya yetersiz öğrenme sorunlarını gizlediği konusunu tartışmıştır. Çünkü yapılan üretimlerin istenilen kalitede olup olmadığı göz ardı edilmektedir. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için Fine ÖE sadece istenilen ürün kalitesinde yapılan üretim olacak şekilde değiştirmiştir.

Li and Rajagopalan (1997) Fine tarafından vurgulanan yapılan üretimin istenilen kalitede olup olmadığı sınavasının yapacak şekilde bu sorunu daha da genişleterek ÖE modellerinde istenilen kalite düzeyi ve kabul edilemez kalite düzeyindeki yapılan üretimleri modele dahil etmiştir. Son olarak Jaber ve Guiffrida (2004) çalışanı yüzde cinsinden kabul edilmez kalite düzeyinde yapılan iş ve yeniden işlem yapılan ürün sayısı gibi göstergelerle izlemek amacıyla Wright'ın modelinde değişiklik yapmıştır.

Wright modelinde yapılan değişikliklerin sonucunda kurulan denklem sistemlerinin özel uygulamalara adapte edilmesi önerilmiş ve alternatif modellerin farkına varılmıştır. Bunlardan biri olan *Stanford-B* çalışanın geçmiş deneyiminin de katıldığı denklem Denklem(4)'de verilmiştir.

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

B: Birim cinsinden çalışanın geçmiş deneyimi,

y: x kadar ürünü üretmek için ortalama süre (yada maliyet)

$C_1$ : İlk üretimi için tamamlanma süresi (maliyet)

x: Araştırılan hedef üretim miktarı

b:  $(-1 < b < 0)$  çalışanın öğrenme oranını tanımlayan ÖE eğimi,

Denklem(4)'de B geçmiş iş deneyimi ÖE zaman/birim ekseninde aşağıya doğru çekmesine neden olur. (Teplitz, 1991; Badiru, 1992; Nembhard and Uzumeri, 2000a). Model Boeing 707'nin montaj evrelerinde test edilmiş ve ardından ürün üstünde gelişim faaliyetleri gözlenmiştir (Yelle, 1979; Badiru, 1992; Nembhard and Uzumeri, 2000a).

Bu modeli daha detaylı inceleyecek olursa: Stanford çalışmalarında 29 değişik durum için  $n$  değerini hesaplamış ve bunun  $-0,397$  ile  $-0,599$  arasında değiştiğini ve ortalama  $-0,499$  olarak bulmuştur. Boeing şirketi, Boeing 707'nin üretiminde Stanford – B modelinin en iyi sonuçları ürettiğini belirtmiştir. Bütün bunlara rağmen Stanford – B modelinde tecrübeyle elde edilen öğrenmenin kaybolmadığını, aradan ne kadar zaman geçerse geçsin aynı kaldığını varsaymaktadır. Bu varsayımın değiştirilmesi fonksiyonu daha da kullanışsız hale getirmektedir (Belkaoui, 1986:11).

*Dejong'un* kurduğu model ise makinelerle olan etkileşimin öğrenme süreci üzerindeki etkisini kapsamıştır. De Jong, oluşturduğu bu modelle bir işteki elle yapılan aktivitelerin oranını ifade etmek için yeni bir parametre ile Wright'ın modelini modifiye etmiş ve güç fonksiyonunu önermiştir. Yapılan bir işteki aktiviteler genelde el ile yapılan operasyonlardan oluşuyorsa, izleyen üretimler tamamlandıkça, üretim zamanı sıkıştırılabilir özellik gösterdiğinden süre düşecektir. Üretim aktivitelerinin makine operasyonlarının ağırlığı daha fazlaysa, üretim arttıkça üretim zamanının sıkıştırılabilirliği düşmektedir. De Jong bir faaliyetteki çalışan – makine oranını ve ÖE grafiğinin belirli bir miktar üretimden sonra bir üretim zamanı limit değerine ulaştığı gerçeğini dikkate almak için sıkıştırılmazlık faktörü olarak adlandırılan M faktörünü log-lineer modele ilave etmiştir. Böylelikle, bu model bir işin makineler tarafından yerine getirilen, bu nedenle öğrenmeyle zamanı düşürülemeyen ve çalışanlar tarafından yapılan, öğrenmeyle zamanı düşürülebilen şeklinde iki kısımdan oluştuğunu ortaya koymuş ve elde edilen denklem Denklem(5)'de verilmiştir.

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

$0 \leq M \leq 1$  sıkıştırılabilirlik faktörü işin makineler tarafından yapılan bölümünü belirtmektedir. (Yelle, 1979; Badiru, 1992).  $M=0$  iken sürece hiçbir makine katılmadığı anlamına gelirken  $M=1$  iken bütün sürecin makine tarafından yapıldığı anlamına gelmektedir.

$y$ :  $x$  kadar ürünü üretmek için ortalama süre (yada maliyet)

$C_1$ : İlk üretimi için tamamlanma süresi (maliyet)

$x$ : Araştırılan hedef üretim miktarı

$b$ :  $(-1 < b < 0)$  çalışanın öğrenme oranını tanımlayan ÖE eğimi,

*S Eğrisi* modeli ise makine ile yapılan işlerin olduğu ve operasyonun ilk çevriminin yoğunluk analizine bağlı olduğu durumda öğrenme sürecini tanımlamak amacıyla oluşturulmuştur. DeJong ve Stanford-B modelinin sonuçlarının birleştirilmesiyle oluşturulan bu model Denklem(6) da verilmiştir. Modeldeki değişkenler orijinal tanımlarını sürdürmektedir (Badiru, 1992; Nembhard and Uzumeri, 2000a).

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

y: x kadar ürünü üretmek için ortalama süre (ya da maliyet)

$C_1$ : İlk üretimi için tamamlanma süresi (maliyet)

x: Araştırılan hedef üretim miktarı

b:  $(-1 < b < 0)$  çalışanın öğrenme oranını tanımlayan ÖE eğimi,  $0 \leq M \leq 1$  sıkıştırabilirlik faktörü işin makineler tarafından yapılan bölümünü belirtmektedir,

Oluşturulan bu modelin temel özellikleri ise;

1. Üretimin ilk aşamaları, tüm personel için kısmi tecrübenin kazanıldığı safhalardır. Malzemedeki veya tasarımdaki son dakika değişiklikleri hızlı öğrenmeyi ve düşük ilk maliyet oluşumunu engeller.
2. Daha sonra kullanılan üretim metotlarında ya da araçlarında yapılan düzeltmeler, maliyetlerdeki hızlı düşüşü mümkün kılabilir.

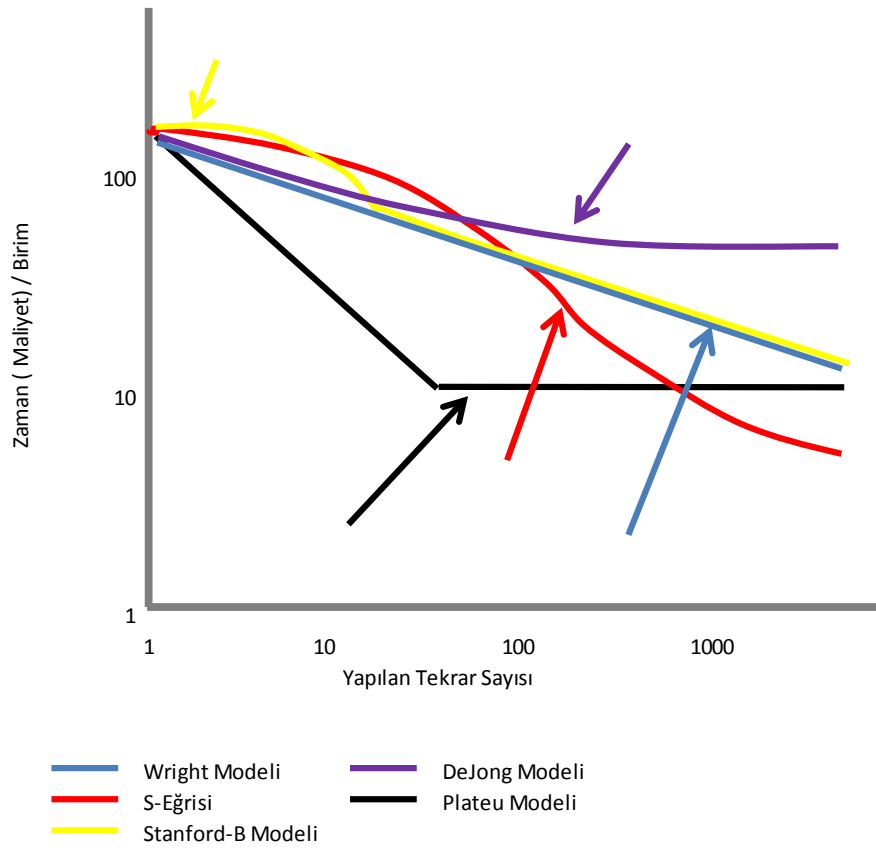
ÖE grafiğinin ilk bölümünün Stanford – B modeli tarafından, diğer bölümünün de De Jong Modeli tarafından daha iyi tanımlanıyor olması, bu iki modeli birleştirerek S tipi eğriyi oluşturma yaklaşımına neden olmuştur (Yeh vd., 2007:7).

Plateau modelinde ilaveten kullanılan C sabiti; çalışanın kararlı haldeki performansını tanımlamaktadır. Denklem(7). Çalışanın kararlı hale ulaşması öğrenmenin son bulması veya ekipmanların çalışanın gelişimini artık sınırlandırdığı noktada oluşmaktadır. (Yelle,1979; Teplitz, 1991; Li and Rajagopalan, 1998).

$$y = C + C_1x^b \quad (7)$$

Şekil 2.4. de bu zamana kadar oluşturulan farklı öğrenme eğrisi modellerinin birbirleri ile zaman ve üretilen birim ürün ekseninde oluşturulmuş grafikte

performansları karşılaştırılmıştır. Burada diğer modellerden farklı olarak Plateu'nun oluşturduğu modelde belirli bir öğrenme düzeyinden sonra öğrenmenin sabit kalacağını daha fazla ilerlemediğini görülmektedir. Diğer modellerde ise tekrar sayısı sonsuza gittikçe işlem süresi sıfırlanacakmış gibi eğri hareket etmektedir. Gerçek hayatta ise böyle bir durumun gerçekleşmesi söz konusu bile değildir. DeJong ve Stanford modelinin birleşimi olan S Eğrisi modeli daha gerçekçi bir yapıya sahiptir (Anzanello M.J., Fogliatto F.S 2010).



Şekil 2.4 Stanford-B, DeJong, S Eğrisi, Plateu Modeli ve Wright Modeli Grafik Gösterimi (Anzanello M.J., Fogliatto F.S. : 2010).

### 2.2.3 Hiperbolik modeller

Mazur ve Hasite (1978) iki parametrelilik hiperbolik eğriye sahip istenilen kalite düzeyinde yapılan üretim ve toplam yapılan üretim sayısı arasındaki ilişkiyi ortaya çıkaran bir ÖE modeli önermiştir. [Denklemlik(8)]. Önerilen modelde  $x$  istenen kalite



düzeyinde yapılan üretim sayısı,  $r$  istenilen kalite düzeyini sağlamayan üretim miktarı,  $y$  istenen kalite düzeyindeki yapılan üretim oranının  $k$  sabiti ile çarpılmış halidir.

$$y = k \left( \frac{x}{x+r} \right) \quad (8)$$

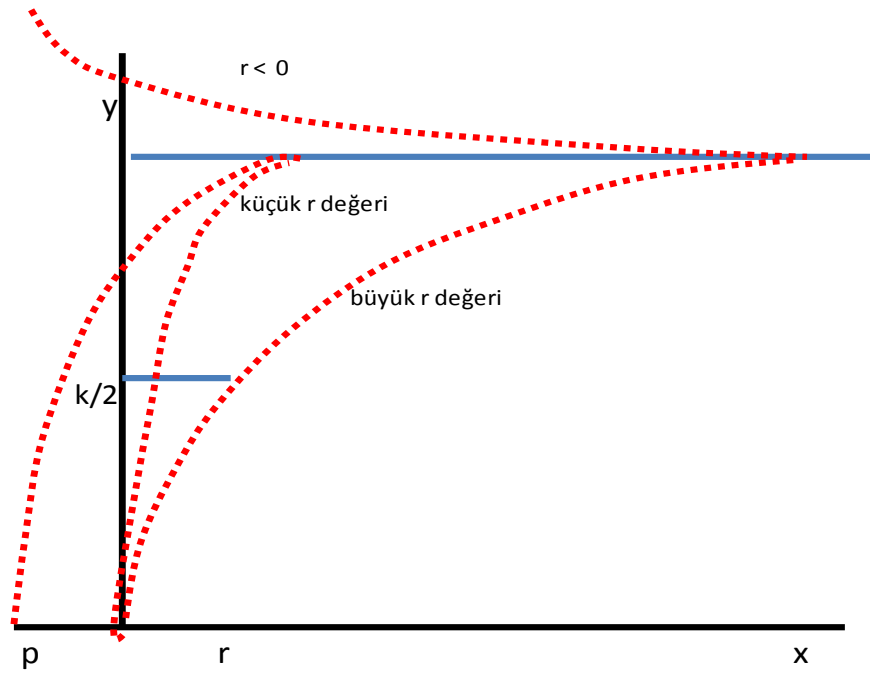
- $y$ :  $x$  kadar ürünü üretmek için ortalama süre (yada maliyet)  
 $k$ : En yüksek performans düzeyi,  
 $r$ : Öğrenme oranı.

Bu modelde ilk defa çalışanın idealde ulaşması gereken performansının ne olması gerektiği göz önüne alınmıştır. Wright'ın modelinin aksine ideal bir gelişime ulaştıktan sonra bu noktada sabit kalınacağı görüşü modele dahil edilmiştir. Yapılan bu değişikliğe ilaveten çalışanın geçmiş deneyimi; geçmişte aynı tekrarı ne kadar yaptığını da modele parametre olarak ekleyecek bir yapı kurulmuştur. Denklem(9).

$$y = k \left( \frac{x+p}{x+p+r} \right) \quad (9)$$

$$y, k, p, x > 0 \text{ ve } p + r > 0$$

$r$ :  $k/2$  performans düzeyine ulaşması için gerekli üretim sayısı.  $r$  değerinin daha büyük olması çalışanın kararlı durumdaki performans düzeyine ulaşabilmesi için daha çok tekrara ihtiyaç olduğunu gösterir. Diğer bir deyişle Wright'ın modelinde olduğu gibi  $b$  değeri ( $-1 < b < 0$ ) ne kadar sıfıra yakın ise çalışanın öğrenme hızı o kadar yavaş olmakta  $r$  değeri ne kadar küçükse (Wright modeline göre  $b$  değeri ne kadar  $-1$ 'e yakınsa) çalışanın öğrenme hızı daha yüksek olmaktadır.



Şekil 2.5 Üç Parametrelili Hiperbolik Model Eğrisi (Uzumeri, M., Nembhard, D., 1998).

Şekil 2.5’de görüldüğü gibi  $r$  değeri  $k/2$  performansa ulaşmak için gerekli tekrar sayısını göstermektedir.  $p$  değeri ise geçmişte yapılan tekrar sayısını göstermektedir.  $p$  değerinin büyüklüğü ise kararlı durumdaki performans düzeyi olan  $k$  değerine ulaşılması için gerekli tekrarı doğrudan etkilemektedir.

Uzumeri ve Nembhard (1998),  $r$  değeri hiperbolik modelin olası 3 değere yönlendirmektedir. Bunlar

1.  $r$  değerinin 0’den büyük olması durumu; eğri çalışanın yeni iş karşısından benzer davranış gösterene kadar artış gösterdiği durum.
2.  $r$  değerinin 0’a doğru hareket etmesi durumu; eğri yatay bir çizgide hareket eder ve çalışanın gelişim noksanlığına işaret eder.
3.  $r$  değerinin 0’dan küçük olması durumu; eğri azalan bir çizgi takip eder, unutmaya da yorgunluğun göstergesidir. Şekil 2.5 bu üç durum gösterilmektedir.

Mazur and Hastie (1978) üstel modellerle üç değişkenli hiperbolik modelleri süreç verilerini karşılaştırmak adına çok yoğun kullanmışlardır.  $p$  ve  $r$  değişkenlerinde benzerlikler bulurken  $k$  değerini üstel modelde göz ardı edilmiştir (daha küçük bir değer

olarak alınmıştır ). İlaveten üç değişkenli hiperbolik model ( $R^2$ ) determinasyon katsayısı ile toplanan verinin analizinde daha iyi uyum sağlamaktadır.

Üç değişkenli hiperbolik model ÖE modelinde Nembhard ve Uzumeri (2000a) tarafından kullanılmıştır. ÖE modelleri verimlilik ve durağanlık terimlerini kullanarak negatif öğrenme senaryolarını modellemek için kullanmışlardır. Anzanello ve Fogliatto (2007) üç değişkenli üstel model ve sabit zaman (Towill,1990) modellerine nazaran daha katı bir model bulmuşlardır.

Üç değişkenli hiperbolik model, üretim sisteminde çalışanlara verimli bir şekilde iş atmasına imkân vermektedir. Uzumeri ve Nembhard (1998) ve Shafer (2001) bir grup yeni işi öğrenen çalışan üzerinde model verilerini kullanmışlardır. Yazarlar hızlı öğrenenlerin (düşük  $r$  değerli çalışanlar) en yüksek performansa yavaş öğrenenlere (yüksek  $r$  değeri) nazaran daha kısa sürede ulaştıkları sonucuna varmışlardır. Bu sebeple hızlı öğrenenlere kısa çevrimli işleri atarken, yavaş öğrenme sürecine sahip çalışanlara uzun çevrimli işleri atamak en yüksek performansa ulaşılmasını sağlamıştır. Benzer amaçlarda Nembhard ve Osothsilp (2002) çalışanlara atanan işlerin karmaşıklığını ortaya çıkarmışlardır. Son olarak Uzumeri ve Nembhard (2000) üç değişkenli hiperbolik modelleri eğitim süreçlerinin etkinliğini ölçmek için kullanmışlardır.

Üç değişkenli hiperbolik modelle yapılan bir diğer uygulama Anzanello ve Fogliatto (2010) tarafından sıradaki üretim miktarını bitirmek için gerekli süreyi tahmin etmek amacıyla kullanılmıştır. Devamında çizelgeleme alanında toplam gecikmeyi veya erken teslimatı en küçükleme amacıyla kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda değişkenler iki farklı şekilde kümelendirilmiştir;

1. Süreç uzmanları tarafından atanan ürün karmaşıklığı
2. ÖE tarafından temsil edilen öğrenme eğrisi değişkenleri. Değişkenler her defasında tek değişkeni dışarıda bırakılacak şekilde kümelemenin performans testi yapılmıştır.

Shafer, S., Nembhard, D.A., Uzumeri, M.V (2001) tarafından otomobiller için radyo imalatı yapan bir işletmede yaptığı çalışmalarda çalışanlar için farklı değerlerdeki  $p$ ,  $r$  değerlerinin Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Shafer, S., Nembhard, D.A., Uzumeri, M.V 2001 (1)

	Ürün/saat	ürün	ürün
	<i>k</i>	<i>p</i>	<i>r</i>
<b>Ortalama</b>	29,70	1.150,50	921,10
<b>Standart Sapma</b>	7,40	2.496,10	2.289,30
<b>Max</b>	45,00	13.165,70	14.980,90
<b>Min</b>	19,40	0,00	1,30

Çizelge 2.2’de çalışanlar için kararlı durumdaki performans değeri, geçmişte yapılan tekrar sayısı ve öğrenme hızı ortalama, en büyük ve en küçük değerleri verilmiştir. Yapılan bu çalışmadaki veriler kullanılarak 450 tekrarda ulaşılabilecek performans düzeyinin ortalama, en büyük ve en küçük değerlerin Denklem(9)’u nasıl değiştiğini incelenecek olursa Çizelge 2.3 elde edilir.

Çizelge 2.3 Shafer, S., Nembhard, D.A., Uzumeri, M.V 2001(2)

	Ürün/saat	ürün	ürün		
	<i>k</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
<b>Ortalama</b>	29,70	1.150,50	921,10	15	16,59
<b>Standart Sapma</b>	7,40	2.496,10	2.289,30		
<b>Max</b>	45,00	13.165,70	14.980,90	450	21,43
<b>Min</b>	19,40	0,00	1,30	450	19,34

Çizelge 2.3’de görüldüğü gibi yapılan çalışmada en hızlı öğrenen çalışan 21,43 ürün/saat değerine ulaşırken, en yavaş çalışan 19,34 ürün/saat değerindedir. Eğer Denklem(9) ortalama değerlerle hesaplanırsa 450 tekrar sonucunda, geçmişte 1150,5 tekrar yapmış, 921,1 tekrarla  $k/2$  performans değerine ulaşan bir çalışan 18,85 ürün/saat performans değerine ulaşmaktadır.

Hiperbolik modellerde modelin çalışma performansını gösteren  $r$  değerinin her çalışan için ayrı ayrı hesaplanması mümkün olacağı gibi bütün grup için tek bir ortalama değer de kullanılabilir. Örnek olarak bir birey için  $r$  değerini hesaplamak istiyorsak, işçinin önceden hiç yapmadığı bir iş üzerinde aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

1. Çalışanın işi yapan başka birini gözlemlemesine izin vermek,
2. Çalışana sahada doğrudan uygulamaları anlatmak,

3. Birinci tekrardan  $k$  istenilen performans düzeyine ulaşana kadar performansını ölçüp not etmek.

Bu adımlarla birlikte çalışanın  $k$  istenilen performans düzeyine ulaşması için yaptığı tekrar sayısı öğrenilmiş olacaktır.  $k$  değeri,  $x$  değeri ve  $y$  değerleri bilindiğinden Denklem(8)'de  $r$  değeri yalnız bırakılarak hesaplanabilir. Bu yöntemde her çalışan için ayrı ayrı hesaplamak uzun ve zahmetli olacağından grup içinde örnekleme alarak ortalama  $r$  değeri de kullanılabilir.

#### 2.2.4 Üstel modeller

Üstel ÖE, logaritmik doğrusal ÖE modellerine nazaran daha çok parametreyi içinde barındıran yapıya sahiptir. Bu parametrelerde çalışanın öğrenme süreci ile ilave bilgi sunulmaktadır (Nembhard ve Uzumeri, 2000a). Knetch (1974) tarafından uzun süren imalatlarda, tahmin sonuçlarını daha kaliteli hale getirmek için üstel ve logaritmik doğrusal fonksiyonlar yeniden düzenlemiştir. Denklem(10)

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

Literatürde en çok tartışılan üç model bulunmaktadır. Bunlar üç değişkenli üstel, iki değişkenli üstel ve sabit zaman modelleridir.

Üç değişkenli üstel ÖE modelleri;

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

$y$ : Çalışanın  $x$  birim süre sonrasındaki üretilen ürün cinsinden performans göstergesidir. ( $y \geq 0$  ve  $x \geq 0$ ).

$k$ : Çalışan öğrenme sürecini tamamladığındaki performansı. Operasyon süresince üretilen ürün sayısı ( $k \geq 0$ ).

$p$ : Çalışanın geçmiş birim zaman cinsinden geçmiş deneyimi ( $p \geq 0$ ).

$r$ : Öğrenme oranı, birimi süre.

Mazur ve Hasite(1978) Denklem (11)'de verilen ÖE modeli karmaşık ve çalışanın yeni bir iş yapması gerektiği durumlar için uymadığını belirtmektedirler. Diğer bir taraftan model çalışanın geçmiş deneyimi varsa güzel çalışmaktadır.

Sabit zaman modeli;

Towill (1990) tarafından önerilmiş ve yapısal olarak üç parametrelili üstel modele benzerlik göstermektedir.

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

$y_c$ : Çalışanın başlangıç performansı (birim zamanda üretilen ürün sayısı),

$y_f$ : Öğrenme süreci tamamlandığında çalışanın en yüksek performansı

$t$ : Kümülatif operasyon süresi istenilen performansta yapılabilmesi için gerekli sürenin tahmin edilmesinde kullanılır.

Towill (1990) Sabit Zaman modelinde çalışanların performans verilerinin çalışanın işe kısa bir süre de adaptasyon sağlamasından sonra başlaması gerektiğini önermektedir.

Naim ve Towill (1990) Denklem(12)'de trigonometrik fonksiyon eklemişler ve çevrimsel varyantın performans tarafından onaylandığı modelleri tanımlamakta kullanmışlardır. Devamında Howell (1990) modelin tahminleme yeteneğindeki parametrelerin etkisini ortaya çıkarmıştır ve önerdiği bu yaklaşım karmaşık modellerin olduğu durumlarda kullanılma alışkanlığı kazandırdı. Son olarak Dardan (2006) Sabit Zaman modelini donanım işletmesinde uyguladı. Amaç, çalışanların teknolojik yatırım düzeyi ile öğrenme süreci arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmaktır.

### 2.2.5 Çok değişkenli modeller

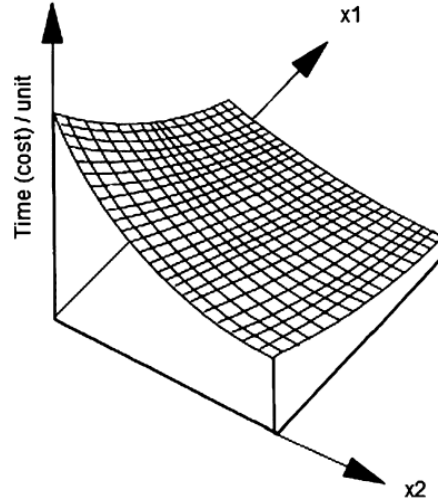
Geleneksel ÖE modellerinin genişletilmesine ihtiyaç duyulduğu zaman öğrenme senaryoları nicel ve niteleyici etkenler tarafından karakterize edilmiştir (Badiru, 1992). Çok değişkenli ÖE modelleri bir ya da iki bağımsız değişkene bağlı olup genelde aşağıdaki gibi yapıya sahip olurlar.

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

$K$ : İlk ürünün performansı (ya da maliyeti),

$C_i$ :  $i$  bağımsız değişken için katsayı diğer parametreler ise önceden tanımlandığı halleri ile aynı.

İki bağımsız değişkenin olduğu ÖE modellerinde değişkenlerle Şekil 2.6'daki gibi yüzey grafiği oluşmaktadır.  $x_1$  ve  $x_2$  operasyon sürelerini temsil etmektedir.



Şekil 2.6 Çok Değişkenli Model Grafıksel Gösterimi

Gold (1981) ve Camm (1987) Denklem(13)'deki benzer ilişkileri üretilen ürün sayısı, üretim oranı, eğitim programlarının süresi ve maliyeti, iş karmaşıklığı gibi bağımsız değişkenlerin fonksiyonu olacak şekilde üretim maliyetlerini izlemek için kullanmışlardır. Hamade (2009) tek değişkenli ve çok değişkenli ÖE CAD eğitim programında katılımcıların performansını ölçmede kullanmıştır.

Badiru (1992) çok değişkenli ÖE modellerinin tahmin yeteneğini karşılaştırmıştır. Çok değişkenli modeller değişkenlerin birbirini etkilediğini ortaya koymuş ama katkısız değişkenlerin modele eklenmesi modelin kalitesini tehlikeye atmaktadır. Çok değişkenli modellerde parametrelerin kestirimi sayısal olarak kararsızlığa neden olabilmekte bu da modelin kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Tek değişkenli modeller ilave edilen değişkenin öğrenme süreci üzerinde net bir tarifi yapılamıyorsa tercih edilmelidir.

## 2.2.6 Geçmiş çalışmalardan özetler

Wright tarafından havacılık sanayinde iş gücü verimliliği ile öğrenme eğrisini matematiksel modellerle açıklanmasının ardından araştırmacılar farklı sanayi kollarında kullanmak üzere yeni modelleri geliştirmişlerdir. Geliştirilen her model kendine has problemi çözmeye yönelik olup modellerin birbirleri arasındaki performans açısından farklılıkları da ayrı bir araştırma konusu olmuştur.

Çizelge 2.4 Geçmişte Yapılan Çalışmaların Özeti (Paul N. Leiby, Jonathan Rubin ve Chuanqing Lu: 1997)

Çalışma	Metod	Sonuçlar
Sheshinski (1967)	Sektörler ve ülkeler arası yapılan 22 adet regresyon analizi ile $\ln A = a + b \ln G$ A = verimlilik G = toplam tecrübe a, b = katsayılar	b değerinin 0,7 ile 0,85 arasında değiştiği bulunmuştur.
Baloff (1971)	Başlangıç modeli; emek yoğun prosesin bulunduğu 3 adet fabrikada regresyon analizi yöntemi kullanılarak	toplam üretim iki katına çıkarıldığında, birim maliyetteki düşüş; % 10 – 12,5 müzikal enstrümanda % 20 – 25 konfeksiyon imalatında % 10 – 20 otomobil yedek parçasında
Hart (1983)	1929 – 1968 yılları arası Amerika Magnezyum Üretim verileri kullanılarak	Toplam üretimdeki % 1'lik artışın, %0,16'lık fiyat düşüşüne neden olduğu tespit edilmiştir.
Lieberman (1984)	Amerika Kimya Sanayindeki 37 ürünle ilgili çalışmalar yapılarak	Toplam üretim % 85 artarken, ortalama birim maliyetin % 5,5 oranında azaldığı tespit edilmiştir.
Adler ve Clark (1991)	Bir elektrik şirketine ait 2 üretim ünitesinde çalışmalar yapılarak	% 70'lik bir ÖE etkisi tespit edilmiştir.

Çizelge 2.4'de özet şekilde verildiği gibi farklı araştırmacıların farklı işletmelerde yaptıkları çalışmalar sonucunda ÖE modellerine ait farklı parametre ve ispatları ortaya koymuşlardır. Sheshinski (1967) yaptığı çalışmada *b* değeri öğrenme oranını bir grup çalışan arasında nasıl değiştiğini hesaplamıştır. Yapılan çalışma sonucunda 0,7 ile 0,85 arasında değiştiği ortaya çıkmıştır. Adler ve Clark (1991) de benzer şekilde bir elektrik şirketinde ait 2 üretim tesisinde çalışarak, *b* değerini 0,7



olarak hesaplamıştır. Bu değer önceden bahsedildiği gibi kurulacak modelin tahminlemeyi doğru yapabilmesi için hayati önem taşımaktadır.

Diğer araştırmacılar Baloff, Hart ve Lieberman araştırmalarında yapılan tekrarın (sırasıyla) %1, %85, %200 artması gibi durumlar sonucunda üretim verimliliğinin (kullanılan iş gücü adamXsaat, birim maliyet, hurda miktarı kg/ürün vb.) nasıl değiştiğini farklı üretim sektörlerinde incelemişlerdir.

### 2.3 Unutma ve Unutmanın Çalışan Performansı Üzerindeki Etkisi

1936'da Wright ilk kez ÖE bahsederken sadece çalışanların tekrar sayısını ikiye katladıkça yaptığı işin performans göstergelerinin %10 ile %20 arasında iyileştiğini vurgulamıştı. İlerleyen yıllarda ÖE ve etkiler farklı boyutlar içinde incelenirse de unutma konusu biraz geç gündeme alınmıştır. ÖE incelenmesindeki temel amaç çalışanların ne kadar tekrar yaptığında istenilen performansa ulaşabileceğini ölçerek önceden tahmin etmek ve buna bağlı verimsizlik kaynaklarını yok etmektir. Benzer şekilde çalışanın yaptığı işe ara vermesi sonucunda ya da farklı karakteristikteki işlere yönelmesi sonucunda bir önceki işte kazandığı performans düzeyini tam anlamıyla koruyamamaktadır. Bu performans kaybı aşağıdaki Şekil 2.7'deki gibidir.



Şekil 2.7 Kesikli Çalışan Performansı

Şekil 2-7'deki grafiğin  $x$  eksenini tekrar sayısının  $y$  eksenini ise işin tamamlanma süresini göstermektedir. 20. tekrardan sonra çalışan yaptığı işe 5 çevrim için ara vermiş ve tekrar işe başladığında bıraktığı süreden daha yüksek bir tamamlanma süresi ile işi tamamlayabilmiş ve izleyen 5 çevrim sonrasında rejime oturabilmiştir. Bu durum çalışanın unutmaması olarak gösterilmektedir. Bu zamana kadar anlatılan tüm matematiksel modeller bu grafiği göz ardı etmiş, çalışan yaptığı işe ara vermesinin performansını değiştirmeyeceği varsayımı ile hareket edilmiştir. Gerçek hayatta ise bu durum tam tersidir. Çalışan yaptığı işe ara vermesi sonrasında performans kaybına uğramaktadır.

Bu durum tıpkı Wright'ın ÖE ortaya çıkarttığı gibi deneysel yöntemlerle ortaya çıkarmak mümkündür. Önceki bölümde anlatıldığı gibi aynı  $r$  düzeyine sahip 5 farklı çalışan bulduktan sonra bu 5 kişiden 1. günde 1 tekrar, 2. günde 2 tekrar, 3. günde 3 tekrar, 4. günde 4 tekrar ve 5. günde 5 tekrar yapacak şekilde önceden hiç yapmadıkları bir iş üzerinde performans gelişimi izlenecek olursa 5 kişiden de farklı sonuç elde edilecektir. Çıkan sonuçların farklı olmasının nedeni, yapılan işe verilen aranın süresi ile ilgilidir.

Unutmanın çalışan performansı üzerindeki etkisini kontrol altına alabilmek için araştırılan soru; “çalışan ne kadar süreyle tekrar yapmaz ise işi bıraktığı performans düzeyinden daha kötü bir noktada iş yapacağıdır”. Çalışanın öğrenme sürecini izleyerek ve kontrol altına alarak elde edilen verimliliği yetersiz bulan araştırmacılar çalışanın unutma sürecini de irdelemişler ve olumlu neticelerin altına imza atmışlardır.

Unutma süreci ise kesikli aralıklara bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Yönetimin üretim sürecinde verilecek araları yönetebilme yeteneği varken bazen üretim aralıkları yönetim dışında gelişmektedir. Hastalık, lokavt, grev yıllık izin gibi literatürdeki çoğu unutma modellerinde üretim sürecinde verilen tek bir aranın etkisi incelenmektedir. Kesikli aralıklarla verilen üretim aralarında tek ara verilen sistemlerdeki uygulamalara benzer şekilde burada da yeniden kullanılmalıdır. (Globerson 1989, Bailey 1989) Denklem(9)'de yapılan değişikliklerle aralıklı unutmaların etkisi de modele eklenmiştir. Yapılan bu değişikliklerle elle yapılan veya kavramsal işletmelerdeki unutmanın etkisi ölçülebilir hale gelmiştir.

Unutma modeli, güncel deneyerek öğrenme, geçmişte birbirinden ayrı ne kadar tekrar yapıldığı ve  $R$  değerine bağlıdır. Her çalışan için  $x$  toplam üretkenliği, güncel yapılan ölçüm,  $R_x$ , en çok üretimi yapılan ürün ile karşılaştırılarak Denklem(14)'de tanımlanmıştır.  $x$  birim ürünü üretmek için geçen süre  $(t_x - t_0)$  (Shafer, S., Nembhard, D.A., Uzumeri, M.V., 2001).

$$R_x = \frac{\sum_{i=1}^x t_i - t_0}{x(t_x - t_0)} \quad (14)$$

$R_x$ : 0 ve 1 arasında değer almaktadır,  $R_x = 1$  olduğu durumlarda tüm deneyim aynı zaman içinde kazanıldığı anlamına gelirken.  $R_x = 0$  olduğu durumda ise deneyimin tamamının önceden kazanıldığı anlamına gelmektedir. Araştırmacıların yaptıkları çalışmaya göre sabit bir üretkenlik oranı için  $R_x$ 'in nominal değeri 0,5 yakınsıyor olması gerekmektedir.

Yeni deneyim kazanan bireylerin toplam üretkenlik üzerindeki etkisi  $R_x^\alpha$  faktörü modele eklenerek sağlanmıştır.  $\alpha$  bireylerin birbirinden bağımsız olarak unutma düzeyidir.  $\alpha > 0$  olmakla birlikte çok küçük olduğu değerlerde toplam üretkenlik üzerindeki etkisi çok az olmaktadır.  $\alpha$  değerinin artmasıyla birlikte  $R_x^\alpha$  faktörü küçülmekte, toplam üretkenliği azaltmakta ve unutma oranını daha büyük hale gelmesine neden olmaktadır.

$$y_x = k \left( \frac{xR_x^\alpha + p}{xR_x^\alpha + p + r} \right) \quad (15)$$

$$\alpha, y, k, p, x \geq 0 \quad p + r \geq 0$$

Denklem(15)'deki parametreler sayesinde hem pozitif hem de negatif öğrenmenin matematiksel hali ortaya çıkartılmıştır. Shafer, S., Nembhard, D.A., Uzumeri, M.V., (2001)'nin bu denklemi oluşturmaktaki amaçları, çalışanların öğrenme oranının farklı olabildiği gibi çalışanlar arasında negatif öğrenme oranı olanlarını da ortaya çıkartmaktır. Otomobiller için radyo imalatı yapan bir işletmede kontrol ve test istasyonlarında önceden hiç çalışmamış çalışanların performansının tüm üretim üzerindeki etkisini incelemek için oluşturdukları bu modelle, işletme içinde negatif öğrenme süreci olan çalışanlar gözlemlenmiştir. Oluşturdukları benzetim çalışmasına negatif öğrenmenin etkisini katmak istemedikleri için negatif öğrenme sürecine sahip olan çalışanlardan elde ettikleri verileri kullanmamışlardır.

Yapılan işe verilen aranın etkisi basit iki farklı gözlem ile araştırmak mümkündür. Birincisi, çalışanları yapılan işe uzun süre tekrarlayarak çalışanın deneyim kazanmasını sağlamak ve sonucunda işle ilgili daha fazla uzmanlık elde etmesini sağlamaktır. İkinci yöntem ise, uzun aralar vererek çalışanları sürekli test istasyonunda yeni bir çalışan ile değiştirmek, çalışanın kontrol istasyonunda doğru şekilde çalıştığı süreyi azaltmaktır. İkinci yöntemde çalışanın istasyonda uzun aralıklarla çalışması unutmaya ve düşük performansa neden olacaktır.

#### **2.4 Öğrenme Eğrisinin Modellerinin Yeterliliği**

ÖE zamanla tedarik zinciri tasarımı, planlama, yeni yatırım fizibilitesi, örgütsel öğrenme gibi birçok alanda genişleyerek kullanılmaya başlanmış olsa da sakıncalı durumlara da neden olabilmektedir. Bunlardan en temel olanı, her çalışanın aynı düzeyde öğrenme hızına sahip olmaması, çalışan havuzunun farklı karakteristikteki çalışanları içinde barındırması, bazı iş elemanları çalışanın daha önce üzerinde yıllarca tecrübe kazandığı faaliyetlerden oluşabiliyor olabilir ki, bu da gene öğrenme oranının yanlış hesaplanmasına neden olacaktır. Diğer bir kalem ise, çalışanın bilerek işi yavaşlatması olasılığı, bu durumda da analiz yapan kişinin işi yapan kişiden daha fazla deneyimli olması gerekir ki işi yapan kişinin bilerek düşük tempoda çalışıp çalışmadığına kanaat getirmesi gerekmektedir.

ÖE üzerindeki önemli bir diğer husus da ürün tasarım süreci üzerindeki etkisidir. Günümüz rekabetçi piyasa koşullarında tüketicilerin ortak beklentisi her defasında aynı işlevi yapan ya da yeni yetenekler kazanmış ürünleri ilk kullanan olmaktır. Bu da tasarım sürecinin sürekli çalışmasına araştırma geliştirme ve yeni ürün geliştirme süreçlerinin durmadan hizmet vermesi anlamına gelmektedir.

Bu gelişim süreci içinde ÖE ile olan etkileşimi ise şu şekildedir. Yeni tasarlanacak ürünün hedef pazarlardaki satış fiyatının belirlenebilmesi için maliyet analizinin doğru yapılması gerekmektedir. Ürün maliyetinin en önemli kalemlerinden biri olan ürün üstündeki standart adamXsaat değeri, yeni oluşturulan tasarım ile mevcut tasarım arasındaki farkları ve öğrenme süreci göz önüne alınarak yapılmalıdır. Bu konuda Ford Motor Company ve General Motors Company'nin geçmişte yaşadığı deneyimin özeti şöyledir.

Ford Motor Company’de Model T aracının üretimi ilk iki yıllık döneminde, , aracın ortalama fiyatı 5000 \$’dan 3000 \$’a düşürülmüştür. Daha sonra şirket, Model T’nin fiyatını % 85’lik bir ÖE ile 900 \$ seviyelerine kadar düşürebilmiştir.

Ford Motor Company’e ait Model T aracının hızlı bir gelişim gösterdiği bu kısa zaman diliminde, iş dünyasında da bir takım değişiklikler olmuştur. İşçi ücretleri üç kat artmış, günlük çalışma saatleri 10 saatten 8 saate düşürülmüş, hareketli montaj hatları keşfedilmiş ve kullanılmaya başlanmıştı. Model T aracının üretimi 1927 yılında sonlandırıldıktan sonra, Ford ürettiği araçların fiyatını daha önceki dönemden farklı olarak yıldan yıla artırdı. Bu artışın nedeni, konfor, güvenlik ve performansı geliştirmek için yapılan tasarım çalışmaları ve bu gelişimler için kullanılan malzemelerin çok pahalı olmasından kaynaklanmaktaydı. Fiyatlardaki yıllık artışlar; ebat, ağırlık ve performans için fiyatlardan ödün verildiğini göstermektedir.

Ford’un piyasadaki yerini Model T ile pekiştirmeye başladığı 1909 yılında, Ford’un hedefi fiyatları daha da düşürerek, üretimi artırmak ve pazar payını geliştirmektir. Model T’nin üretimi durdurulmadan önceki en düşük fiyatı 850 \$’dı. Bu sırada bir set araba lastiğinin fiyatı ise 60 \$’dı. Henry Ford gazetecilere “Yapmak istediklerimiz biraz zaman alacak” şeklinde açıklama yapmasına rağmen, daha sonra arabaları 400 \$’dan satmayı planladıklarını duyuruyordu. 1907 yılında şirket kurucusunun ölümü ve yüksek fiyatlı araba üretmeyi savunan pay sahibi yöneticilerin muhaliflerinin işten ayrılmasından sonra, şirket yönetimi tekrar maliyet düşürme stratejisini uygulama kararı aldı. Şirket, Model T’deki ve 1907 yılında çıkarılan en ucuz otomobil olan Model N’deki başarılarından dolayı bu stratejiyi uygularken çok rahat davrandı. Şirket, daha modern fabrikalar inşa ederek, mevcut fabrikalardan daha çok ürün üretimini sağlayarak, satın alınan parçalarda ekonomikliğini sorgulayarak, işgücünü daha çok bölümlendirmek suretiyle verimliliği artırarak birçok tasarruf elde etti. Bu çabalar, 1913 yılına ulaşıldığına, araç üretim zamanınının 21 günden 14 güne kadar düşürülmesi sağlanmış oldu. Daha sonra motor, radyatör ve diğer donanım montaj hatlarını, hareketli montaj hatlarına dönüştürmek suretiyle uyguladığı süreç iyileştirmeleriyle firma, üretimi biraz daha hızlandırabilmiştir. Fakat tam da bu sıralardaki personel işgücü devir hızı aylık % 40 civarındaydı (Abernathy ve Wayne, 1974:113).

Bu süreç içerisinde eklenmiş olan yüksek miktardaki hammadde stokuna rağmen üretim zamanı dört güne kadar düşürülmüş, stok seviyeleri de yarıya indirilmişti. Yine bu dönemde, fabrika inşasında kullanmak ve geriye doğru yapılan büyümeyi insan gücüyle desteklemek amacıyla işgücüne ilaveler yapılmış olmasına rağmen, araç başına harcanan işçilik miktarında % 60'a varan düşüşler söz konusu olmuştu. Ford için Model T sonrası uygulamaya konmuş olan maliyet düşürme stratejisi tam bir başarıydı. Fakat bu başarı beraberinde organizasyonun ürün değiştirme, maliyet yapısını değiştirme ve yenilikçiliği sürdürme yeteneklerini olumsuz etkileyen sonuçları da getirmiştir.

Pazarda da değişimler söz konusuydu. 1920'lerin başında, tüketici talepleri daha çok konfor için ağır ve kapalı araçlara doğru kaymaktaydı. Ford'un en büyük rakibi General Motors hemen bu talebe cevap verdi. Ford'un bu talep karşısındaki tepkisi Model T'de bir takım değişiklikler yapmak şeklinde oldu. Bunun neticesinde arabanın ağırlığı % 25 oranında artmış oldu.

Değişen tüketici talepleri doğrultusunda araç ağırlığının artırılması, Ford Motor Company'deki maliyet düşürme çalışmalarını sekteye uğratmıştır. Ford'un genişleyen pazardaki payını en azından sabit tutmak isteyen yöneticileri, liste fiyatlarını ÖE formülü doğrultusunda daha da düşürdüler. Bu karar, 1923 yılındaki satışların düşmesiyle birlikte kar paylarının daha da azalmasına yol açmıştır. Müşteri talepleri doğrultusunda yapılan tasarım değişikliklerinin hızlanması ve çalışan maaşlarının artmaya devam etmesi, özellikle perakende satışlarda üretim maliyetlerinin çok büyük oranlarda artmasına neden olmuştur. 1926 yılında bazı modellerin üretim maliyetleri satış fiyatlarının % 93'ü seviyelerine kadar yükselmiş, bazı ürünlerde tüccarlara maliyetinin altında fiyatlarla satılmaya başlanmıştı. Bir aracı en verimli şekilde üretme konusunda yenilmez olan Ford, General Motors'un stratejisi karşısında savunmasız bir konumda kalmıştı.

Ford ve General Motors'un yaşadıkları bu süreç tüketicinin sadece iyi fiyata iyi ürün değil aynı zamanda farklılığa yöneldiğinin 2.Dünya savaşı öncesindeki toplum üzerinde bile hissedildiğinin en belirgin ispatıdır. Ford; sürekli daha kısa sürede, daha rekabetçi ve daha ucuza araç üretmenin yollarını arayıp, bunları sihirli bir değneğin dokunuşları gibi yarı mamul temininden satışa kadar olan tüm süreçlerinde usta

dokunuşlarla ve başarıyla uygulamıştır. Ne yazık ki tüketicinin istekleri bir anda değişerek; şirketin bu isteklere cevap veremiyor olması satış kaçırmasına neden olmuştur. Satış kaçırmanın korkusuyla birlikte bu zamana kadar hiç yapmadığı bir uygulama olan ürün üzerinde konfor ve donanım gibi müşteri isteklerine kulak verecek uygulamaları bir an önce adapte etmeye çalıştılar. Tüketici isteklerini ürün tasarım sürecine hızlıca adapte etmeye çalışırken atladıkları en önemli nokta, yeni tasarlanan ürün ile eski ürünün aynı verimlik düzeyinde üretileceğiydi. Yeni tasarlanan ürünlerdeki üretim maliyeti eski ürünlerle aynı kabul edilmişti.

Dört yıllık bu süreçte sekiz yeni modeli piyasaya sürmüş, işgücünde, proses teknolojisinde ve yönetimde uzmanlaşmış ve tüketicilerin değişen taleplerini karşılamak için yaklaşık bir yılını harcayarak yeni bir model geliştirmiş güçlü bir firma olan Ford bütün bunlara rağmen model değiştirme aşaması ve akabinde 200 milyon \$ kaybetmiş, 15.000 makinesini değiştirmiş ve 25000 ilave makine kurmuş, sadece Detroit'te 60.000 işçisini işten çıkarmak zorunda kalmıştır (Wikipedia).

Ford'un yaşadığı bu deneyim ÖE'nin yeni ürün tasarım sürecinde etkin bir şekilde kullanılabilmesi için mevcut ürün ile yeni ürünün benzerliğinin bir şekilde formülize edilmesi gerektiği ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. İlerleyen yıllarda belki bu öyküden ders çıkartan ya da benzer süreci yaşayan uzak doğulu imalatçılar bu yöntemi yalın imalat, yalın üretim sistemleri olarak adlandırmışlardır. Günümüzde hâla Ford üretim tesislerinde kullanılan Ford Production Systems (Ford Üretim Sistemleri), üretim öncesinde tasarım sürecinde sadeliği, ortak parça kullanımını ve üretim dışındaki diğer süreçlerin de sadeleştirilmesini içermektedir. Günümüzde ortak parça kullanımının tasarım başarısı, işletme maliyetlerinin azaltılması, üretim verimliliği, yarı mamul tedarikinin ucuzlaması gibi birçok üretim aşamasında olumlu etkisi bulunmaktadır. Üretimde doğrudan çalışan kişiler için ise ortak parça kullanımı onların aynı malzeme ile sık tekrar yapmasına neden olacak ve Ford'un elde ettiği gibi bir verimliliği işletmelerin kazanmasına neden olacaktır.

## 2.5 Öğrenme Eğrisinin ve Yeni Ürün Tasarım Süreci

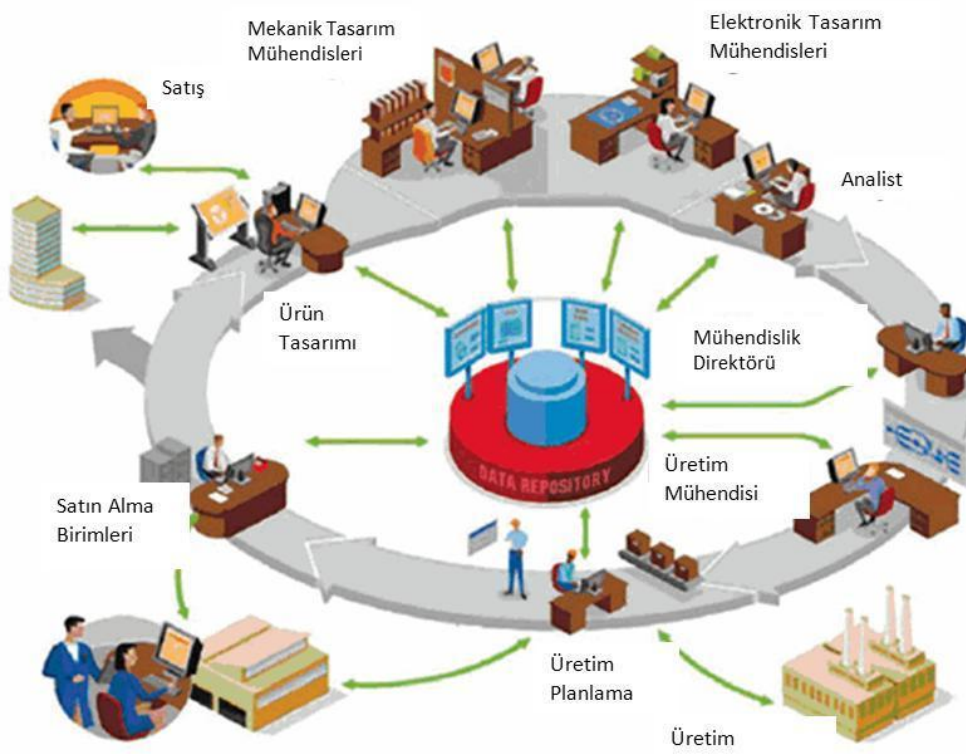
Yeni ürün geliştirme sürecinde proje performansının ölçülmesinde kullanılan bir gösterge de ortak parça kullanım oranıdır. Her proje ne kadar ortak parça kullanarak

tüketicide yeni bir ürün algısı yaratabiliyorsa, o tasarım açısından o derece başarılı olduğu söylenebilmektedir. Benzer şekilde mevcut ürün üzerinde ucuzlatma ve parça ortaklaştırması yapan birimler, AR-GE yöneticiliklerinin içinde kümeleşerek işletmenin verimlilik hedefine hizmet etmektedirler.

Gelişen bilgisayar yazılımları sayesinde tasarım birimlerine görsel olarak iki farklı stok numarasının (Stock Keeping Unit SKU) ürün ağaçlarının (bill of material) ne derecede orak olduğunu sorgulama imkânı sağlamaktadır. Benzer şekilde üretim süreç adımlarının (bill of processes) birbirleri ile hangi oranda aynı olduğunu tasarım aşaması öncesinde, tasarım sonrasında ve anlık olarak sorgulama imkanı yaratmıştır. Siemens tarafından geliştirilen PLM Product Life Management ( PLM Ürün Yaşam Çevrimi) paket yazılımı altında yeni ürün projelerini yöneten firmalar ürün tanımı, araştırma geliştirme, üretim, satış, müşteri ve servis elemanlarının da içinde bulunduğu süreci kontrol altına almaktadırlar. Bu süreç içerisinde yeni bir ürün tanımı yapıldığında hedef pazarlardaki satış fiyatı ve karlığı önceden bilinmekte ve tasarım bölümüne bu karlılık düzeyi için ürünün fabrika çıkış maliyetinin ne olması gerektiği önceden bildirilebilmektedir.

Ürün tasarım süreci öncesinde taslak ürün ağaçları ve operasyon ağaçları üzerinde çalışarak ürün projesinin başlama vuruşu yapılmakta ve her gözden geçirme evresinde hedef ile ne kadar uyumlu çalışıldığı takip edilmektedir. Bu noktada fabrika çıkış maliyetini tetikleyen ürün adamXsaat bilgisi geçmişte üretilen ürünler ile ne kadar ortak olursa fabrika çıkış maliyeti hedeflenen değer ile o derece tutarlı olmaktadır. AR-GE faaliyetleri ile öğrenme eğrisinin etkileşimi ise tam bu noktada ortaya çıkmaktadır. Yapılacak olan yeni tasarım eskisinden ne kadar uzak, yeni montaj imalat teknikleri içeriyorsa adaptasyonu da o derece uzun sürmektedir. İşletme içinde tüm üretim süreçlerinde yapılacak olan top yekûn değişiklik işletme genelinde bir direnç yaratacaktır. Ford örneğinde olduğu gibi işletmeler yeni isteklere sahip olan tüketicilere her daim yeni ürün sunularak işletmeler pazardaki yerini sağlamlaştırmak zorundadırlar.





Şekil 2.8 PLM (Ürün Yaşam Çevrimi )

[www.product-lifecycle-management.info/](http://www.product-lifecycle-management.info/)

Günümüzde cep telefonu, otomotiv, beyaz eşya gibi sektörlerde ürün farklılaştırılması temel yapı aynı kalmak koşulu ile yeni ürünlerin piyasaya sürülmesi ile yapılmaktadır. Özellikle birbirinin devamı şeklinde piyasaya sürülen cep telefonları kullanıcılar üzerinde imalatçı firmanın sürekli yeni modelleri piyasaya süren teknoloji öncüsü bir firma olduğu algısını sağlamıştır. Bu uygulamanın diğer bir faydası da bir önceki platform ya da modelde elde edilen öğrenme faaliyetleri sürdürülebilir olarak devam etmektedir. Yani çalışanın ara vermeksizin öğrenme sürecine devam etmektedirler.

Çalışmanın yapıldığı buzdolabı işletmesi de ürün gamını olabildiğince ortaklaştırmış, standart parça kullanımına önem vererek olabildiğince farklı kabindeki ürünlere aynı malzemeyi aynı süreçle kullanımını sağlayacak tasarıma yönelmiştir. Eski ürün gamında birbirinden farklı yapıda olan no-frost soğutucuları bu şekilde tekrardan incelenip hepsi ortaklaştırmıştır. Hacmi 30 ile 80lt arasında değişen ürünlerde aynı

malzemelerin aynı montaj tekniği ile kullanılması çalışanlara her defasında aynı işi yapıyormuşçasına ilerleme sağlamıştır.

Çizelge 2.5’de işletme içinde PLM veri tabanında no-frost soğutucu ailesine ait üç farklı model için özet karşılaştırma Çizelgesi verilmiştir. Bu çizelgeye göre üç modelin işletmede tüm no-frost ürünleri üretme için yapılan işlere göre yüzde cinsinden ne kadar benzediği ilk bölümde verilmiştir. Yine benzer şekilde bu üç modelin işletme içinde yapılan tüm modellerden ve ürünün soğutucu grubu ailesinden bağımsız olarak yapılan operasyonlara göre yüzde cinsinden ne kadar uyum gösterdiği verilmiştir.

Aynı çizelgenin ikinci bölümünde ise bu üç modelin ilk bölümde karşılaştırmak için kullanılan değerlerin, bu üç modelin toplam işçilik düzeyinin ne kadarını oluşturduğu verilmiştir.

Bu çizelgeden elde edilebilecek bir diğer sonuç da Model1’ tüm no-frost soğutucu ailesine göre %32, Model2’nin %45 ve Model3’ün ise %64 düzeyinde benzerliktedir. Tüm işletme içinde üretilen buzdolaplarına göre karşılaştırılacak olursa bu değerler sırasıyla %29, %33 ve %28 olmaktadır. Tüm işletme düzeyinde bakılan benzerlik yüzdeleri ise ürünlerin işletme içinde üretilen herhangi bir ürün ile ne derece benzer olduğunu göstermektedir.

PLM yönetim sistemiyle birlikte bu tip sorgulamalar anlık olarak stok numarası bazında yapılabilir hale gelmiş olup, aynı parçalar için yapılan operasyonların neler olduğunu yüzlerce kullanıcıya aynı anda sunma imkânı sağlamıştır.

Çizelge 2.5 Aynı Soğutucu Grubuna Ait 3 Farklı Modelin Benzerliği

	Tüm Operasyonlara Göre		Kendi Operasyonlarına Göre	
	NO-FROST	STANDART	NO-FROST	STANDART
Model1	32%	29%	31%	65%
Model2	45%	33%	37%	62%
Model3	64%	28%	48%	48%

### 3. ÖĞRENME EĞRİSİNİN İŞLETME ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma bir buzdolabı işletmesindeki üzerinde çalışanların anlık olarak performanslarının kronometraj yöntemi ile ölçülmesi ile yapılmıştır. Ölçüm sonucu elde edilen veriler öğrenme eğrisi modellerinde ve benzetim modellerinde kullanılarak farklı durumların incelemesi yapılmıştır.

Yapılan bu çalışma öncesinde öğrenme eğrisinin işletme üzerindeki etkilerini sayısal olarak ortaya koyabilmek için çalışanların iş performansını izleyecek bir otomasyon sistemi, işletme tarafından önceden devreye alınmıştır. Bu sistemin girdileri; çalışanın belirtilen işi tamamlama süresi ve yaptığı tekrar sayısıdır. Devamında elde edilmek istenen ise; çalışanın öğrenme sürecini ne düzeyde tamamladığı, çalışanın unutma sürecine geçip geçemediğini belirtilmesidir. Sistem bu kararları verirken çalışanın anlık olarak işi tamamlama süresine bakarak önceki performans düzeyi, ideal performans düzeyi gibi değerleri göz önüne alarak çalışması ve sonuç üretmesi istenmiştir. Problemin daha anlaşılabilir olması açısından çalışmanın yapıldığı işletme ve içinde bulunduğu durum izleyen bölümlerde özet halinde sunulmuştur.

#### 3.1 İşletmenin Tanıtımı

Seçilen modelin neden seçildiği, neden modelin işletme içindeki probleme en uygun olduğunu anlayabilmek için işletmenin içinde bulunduğu durumu daha iyi tanımak gerekmektedir. Çalışmanın yapıldığı işletme; yılda 3,5 milyon adet buzdolabı üretim kapasitesine sahip olup, yurt dışında farklı yerleşim noktalarında yaptığı buzdolabı üretimiyle diğer işletmelere bir AR-GE merkezi gibi hizmet veren yapıya sahiptir. Avrupa'nın aynı kampüs içinde en yüksek kapasitesine sahip olan işletme sekiz farklı ürün grubu – tezgâh seviyesi, no-frost, çift kapılı konvansiyonel soğutucu, kombi, gardırop tipi ürünler, tek kapılı dondurucular, tek kapılı soğutucular, dört kapılı ürünler – ve 139 farklı kabinde 1400'ü aşkın farklı stok numarası ile üretim yapmaktadır. İşletmenin içinde bulunduğu beyaz eşya grubu dünyanın ilk on beyaz eşya üreticisi arasında yer almakta ve rekabette daha da güçlenebilmek için yeni platform proje yatırımları ile yeni işletme yatırımlarına önem vermektedir.

Dünyada farklı coğrafyalardaki kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde yönettiği tasarım, imalat ve servis süreci içinde her ay ortalama bir yeni platform ürün projesini devreye alırken 80 ile 100 adet arasında yeni stok numarasına sahip ürün sisteme dahil olmaktadır. İşletme içinde PLM (ürün yaşam çevrimi) sistemiyle oluşturulan yeni tasarımlar müşteri gözünde olabildiğince farklıymış gibi algı yaratılırken ürün üzerinde yapılan kozmetik müdahaleler veya ilave edilen ek özelliklerle müşteri ihtiyaçları karşılanabilmektedir.

Bu noktada işletme içinde şu tip problemler zamanla su yüzüne çıkmaya başlamıştır. Pazarda rekabet yaratmak amacıyla tasarlanmış olan ürün muadil ürün ile karşılaştırıldığında malzeme maliyeti daha düşük kalırken işçilik ve genel imalat giderinden aldığı payların daha yüksek çıktığı, yapılan üretimlerin artmasıyla birlikte işçilik ve genel imalat giderinin zamanla azaldığı fark edilmiştir. İşletmenin ortalama her ay yeni bir platform ürünü devreye aldığı, ayda en az 80 adet yeni stok numarasının yaratıldığı ve rekabete bu derece önem verdiği bir noktada yeni ürün devreye alma sürecini nasıl daha verimli yönetilebileceği kafalarda oluşan soru işaretiydi.

Yeni ürün devreye alma sürecinde ortaya çıkan ve işletme içinde herkes tarafından açık bir şekilde görülen, ancak hâlâ çözümlenememiş olan başlıca verimsizlik nedenleri ise şunlardır;

1. Mavi yakalı çalışanın mevcut ürünlerde zamanla aşırı tekrar yapması öğrenme yetisinin zayıflamasına neden olmuş, iş körlüğüne ve yaratıcılığının körelmesine neden olmuştur.
2. Mavi yakalı çalışanların fiziksel olarak sürekli aynı istasyonda çalışması ya da sürekli benzer iş grupları içinde çalışması çalışanın zihinsel monotonluğuna neden olmuştur.
3. Aynı istasyonda yapılan uzun süreli tekrarın geçmiş deneyimlerin unutulmasına montaj bandı üzerindeki çalışanların ise oto kontrol yetisinin kaybolmasına neden olmaktadır ki bu da kalite ve hız problemlerini tetikleyen en önemli nedendir.

Yukarda sıralanan bu verimsizlik kaynakları mevcut ürün üretimine devam edildiği süre içinde nadir olarak gözlenmekle birlikte özellikle platform projelerinin devreye alınması sırasında bir anda ortaya çıkmaktadır. Yeni platform ürün denemelerinde bu tip problemlerin bir anda ortaya çıkmasının nedeni; ürün tasarımında yapılan değişiklikler montaj bandı üzerinde işlerin öncül ve ardıl yapısını değiştirmekte, bu da çalışanların ister istemez yaptıkları işlerin değişmesine neden olmaktadır.

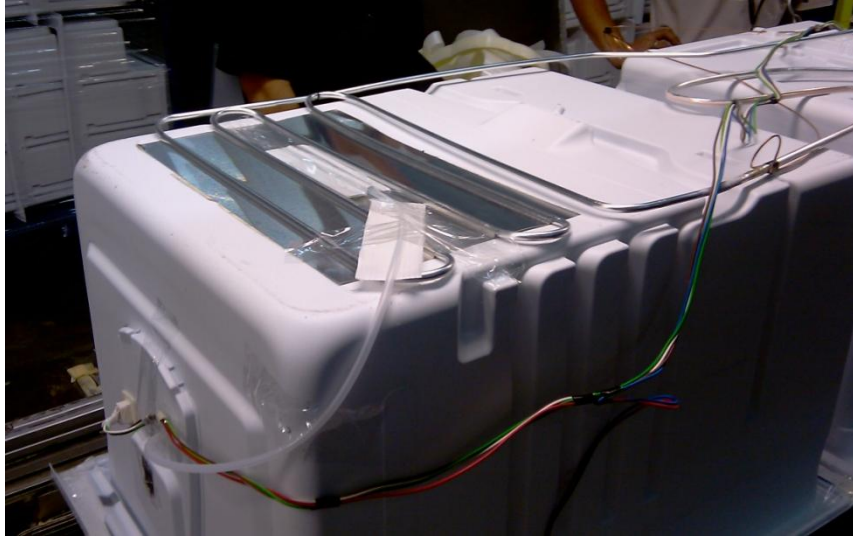
Bu sırada pazara verilecek olan yeni ürün ile birlikte daha rekabetçi bir şekilde ürün sunma çabasında olan işletme; hız kaybı, kalite, hurda ve diğer problemlerle uğraşmaktadır. Bu problemler içinde de en önemli olanı hız kaybıdır. Üretim hızının düşmesi eldeki mevcut çalışan sayısı değişmeden yapılan üretimin azalmasına neden olmaktadır. Üretim hızının düşmesine maliyet muhasebesi açısından bakıldığında ise ürün üzerindeki birim işçilik maliyetinin artmasına, dolaylı yoldan ürün üzerindeki genel imalat gideri payının da artmasına neden olmaktadır. Hız kaybının tetiklediği maliyet artışı ile birlikte, ürünün fabrika çıkışı maliyeti artmaktadır.

Yeni platform ürün projesi içinde deneme üretimi yapılan ürünler mevcut oranlara nazaran başlangıç üretim hızları daha düşük olmakta, ancak ilerleyen deneme üretimlerinde seviyeli olarak artmaktadır. Yani zamanla mevcut ürünle benzer ya da daha iyi bir işçilik maliyeti ve genel imalat gideri payına sahip olmaktadır. Bu iyileşme sürecinin ne olduğu, ne zaman son bulacağı ve nasıl kontrol edileceği ise işletmede tam belirsizlik halindedir. Yapılan deneme üretimleri sonrasında üretim hızını belirlemek için genellikle bir önceki deneme üretimi referans alınarak bir sonraki deneme üretiminin hızına karar verilmektedir.

Yeni platform projelerde ortaya çıkan bu belirsizlik sürecinin tamamını tek bir model altında yönetmek oldukça zordur. Bu sebeple yapılan çalışmada sadece yeni ürün devreye alma süreci ve bunun neden olduğu hız kaybının etkileri ortaya çıkartılmak istenmiştir. Bu amaçla seçilen modelde, işletmedeki gerçek veriler kullanılarak yeni platform projelerinde hız kaybının nasıl kontrol edilebileceği test edilmiştir. Bu test çalışmasının yapılabilmesi için işletme içindeki çalışanların öğrenme hızı, çalışma öncesinde araştırılmış ve örnek teşkil edecek bir değer hesaplanmıştır. İzleyen bölümlerde bu araştırmanın nasıl yapıldığı anlatılmaktadır.

### 3.2 Öğrenme Eğrisinin İşletme İçinde Araştırılması

İşletme içinde öğrenme eğrisinin ne düzeyde olduğunu araştırmak için işletmede çeşitli gözlemlerle deney grupları oluşturulmuştur. İşletmenin poliüretan öncesi hazırlık bandında dönüş borusu birleştirme istasyonu seçilmiştir. Bu istasyonda operatör iç gövde üzerine önceki istasyonlarda yapılandırılmış olan kuyruk evaporatör – Şekil 32’de gözükten malzeme – ve dönüş borusu üzerindeki – Şekil 3.1’de görülen siyah parça – tapaları çıkarmakta, ardından bir sonraki istasyon olan kaynak istasyonuna hazırlık için boruları birleştirmektedir. Son olarak boru birleşimlerine sulandırılmış toz dekapan sürmektedir.



Şekil 3.1 Poliüretan Öncesi Hazırlık Bandı Buzdolabı Gövde Plastiği ve Konvansiyonel Tip Evaporatör



Şekil 3.2 Buzdolabı Soğutma Sistemi Boru ve Boru Ucundaki Tapa

Seçilen istasyon fiziksel olarak detaylı incelenmiştir. Bu istasyonda operatör ayakta çalışmakta ve ergonomik açıdan 90° dönüşler yapmaktadır. İşlem sırasında yüksek derecede konsantrasyon içermeyen temel düzeyde beceri kabiliyetine ihtiyaç duyarken, zihinsel çaba daha azdır. Bedensel çaba ön plana çıkmış iken yapılan işin

sorumluluk düzeyi çok yüksek değildir. Bu iş istasyonunda sırasıyla yapılan işler ve adım numaraları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 İncelenen Operasyonun İş Adımları

Operasyon NO	Operasyon Türü	Operasyon Tanımı
	M	Palet Transfer Zamanı
10	M	Dönüş borusunun tapasını çıkart
20	M	Kuyruk evaporatör giriş borusunun tapasını çıkart, evaporatör dondurucu çıkış borusunu kuyruk evaporatör giriş borusuna tak
30	M	eşanjör boruya form ver, kılcal boru çıkışının tapasını çıkart, kılcal boru çıkışını evaporatör dondurucu giriş borusuna tak
40	M	dekapanlı fırçayı, kılcal boru çıkışı ile evaporatör dondurucu giriş borusu birleşimine sür.
50	M	dekapan fırçayı, kuyruk evaporatör giriş borusu ile evaporatör dondurucu çıkış borusu birleşimine sür.
60	M	İşlem Tamam Butonuna bas
40	FRK	dekapan su karışımı ikmali 500 dolap / 15 sn
50	FRK	dekapan su karışımı ikmali 500 dolap / 15 sn

Yapılan çalışmanın ve ölçümlerin tutarlı olması için vardiya sorumlusuna bu çalışanları çalıştığı iş istasyonunun kesinlikle değiştirmemesi gerektiği, değiştirmesi gerekiyorsa önceden haber vermesi gerektiği bildirilmiştir. Bu yeni çalışanlardan ölçüm almak için izlenen yöntem ise üretim hattı üzerindeki ürünlerin taşınmasını sağlayan ve ürün künye bilgilerini üzerinde taşıyan paletlerin PLC sistemi üzerindeki hareketleri takip edilmiştir. Daha da detaylandırılacak olursa operatör çalıştığı istasyonda sabit dururken ürünler bant üzerinden hareket edip istasyona geldiği noktalarda durmaktadırlar. Ürünler STOP & GO mantığında ürünler hareket etmektedir.

Operatör istasyonda işini tamamladıktan sonra işlem tamam butonuna basmasıyla ürün istasyonu terk etmekte, yerine yeni ürün gelmektedir. Ölçüm süresine baz teşkil eden zaman aralığı ise yeni paletin istasyona girdiği an ve operatörün işlem tamam butonuna bastığı süre arasında geçen zaman dilimidir. Otomasyon sisteminin desteği ile elde edilen bu verilerin sahada doğru çalışıp çalışmadığı hakkında doğrulama yapılmıştır.

Bu istasyonda önceden hiç çalışmamış işletme kadrosuna yeni katılan 12 adet mavi yakalı çalışan üzerinde incelenmiştir. Bu 12 çalışan önce 2 gruba ayrılmıştır. Birinci gruptaki 6 çalışan belirtilen istasyonda sırasıyla 1 vardiya boyunca aralıksız (çay ve yemek molaları ile beklenmedik duruşları haricinde ) çalışmışlardır. İkinci grup ise kendi içinde ikişer kişilik 3 gruba ayrılmışlardır. Bu ikişer kişilik gruplarda çalışanlar sırasıyla 2 vardiya, 4 vardiya ve 8 vardiya boyunca çalışmışlardır. Böylelikle poliüretan öncesi hazırlık bandında “*boru birleştirme*” ve “*dekapan sürme*” işlerini sadece 1 vardiya tekrar edilmesi ile elde edilecek gelişim düzeyi ile ara vermeden farklı frekanslarda tekrar edilmesi durumunda gelişim düzeyine olan etkisi incelenmiştir.

On iki mavi yakalı çalışan işe başlamadan önce vardiya sorumlusu tarafından aynı istasyonda 10~20 dakika arasında değişen bir süre içinde işbaşı eğitimi vermiştir. Verilen bu işbaşı eğitiminin ardından çalışan yalnız bırakılmış çalışanın sadece istenilen kalitede üretim yapması için uyarılarda bulunulmuştur. Yeni çalışmaya başlayan personele sadece yaptığı işin kalitesini kabul edilebilir ölçüde olup olmadığına dikkat edecek, çevrim süresi veya işin tamamlanmasıyla ilgili bir kaygı duymaması gerektiği konusunda bildirim yapılmıştır. Ayrıca ürün önüne geldikten sonra işi tamamladıysa işlem tamam butonuna basmak için beklememesi gerektiği önemle bildirilmiştir.

On iki çalışan çalışma yerlerine adapte edildikten sonra ilk edilen veri birinci grup içindeki 6 farklı çalışanın sonuçları Çizelge 3.2.’deki gibidir.

Çizelge 3.2 Birinci 6 Kişilik Grup için Ortalama Değerler

	Ortalama Çevrim Süresi (sn)	Yapılan Tekrar Sayısı (adet/vardiya)
1. Çalışan	26,7	729
2. Çalışan	26,8	712
3. Çalışan	26,6	706
4. Çalışan	26,1	691
5. Çalışan	26,7	717
6. Çalışan	27,3	720
Grup Ortalaması	26,7	713



Birinci grup içinde alınan ölçümler neticesinde en hızlı çalışan operatörün 26,1sn ortalama çevrim süresinde 691 adet tekrar yaptığı gözlenmiştir. Grup içinde en çok tekrar yapan çalışan ise (1 numaralı çalışan) 729 adet tekrar yapmıştır. Grubun ortamlarıyla çevrim süresi 713 tekrar ile 26,7 sn olarak gerçekleşmiştir. Grup içinde en çok göze batan 4 numaralı çalışan olmuştur. Bu çalışan diğer çalışanlardan farklı olarak grup içinde en az tekrarı yapmasına rağmen en düşük çevrim süresine ulaşmıştır ki, bu da 4.çalışanın öğrenme hızının diğerlerinden daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Çalışanların bir vardiya sonucunda elde ettiği ortalama değerler birbirine yakın gibi gözükse de, çalışanların benzer sonuçlara ulaşması farklı çevrim sayısı sonrasında gerçekleşmiştir. Bu sonuçtan yola çıkarak farklı niteliklerdeki iş gücünün belirli bir tekrar sonrasında aynı performans düzeyine farklı tekrar sayıları ile ulaşabileceği değerlendirilmektedir.

İkinci grup çalışanlar belirtilen istasyonda günde 1 vardiya olmak üzere 2 günde iki vardiya süresince çalışmışlardır. İkinci çalışma grubundan elde edilen sonuçlar ise Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 İki Vardiya Çalışan 2 Kişilik Grubun Ortalama Değerleri

Vardiya Sayısı		Ortalama Çevrim Süresi (sn)	Yapılan Tekrar Sayısı (adet/vardiya)
1	1. Çalışan	27,0	838
	2. Çalışan	27,3	842
1. Vardiya Ortalaması		27,1	840
2	1. Çalışan	25,9	766
	2. Çalışan	26,6	759
2. Vardiya Ortalaması		26,2	763
Grup Ortalaması		26,7	801

İkinci grup içinde çalışanlar ilk vardiyada ortalama 840 çevrim ile 27,1 sn çevrim süresine ulaşmışlardır. İzleyen günde ikinci vardiyada ortalama 763 tekrarla çalışanlar 26,2 sn çevrim süresine ulaşmışlardır. Çalışan 2 kişilik grup izleyen ilk günde

bir önceki güne göre yaptığı tekrar sayısı az olmasına rağmen gelişim gösterdiği açıktır. İkinci gün ile birinci gün arasında çevrim süresi açısından %3,2'lik bir iyileşme sağlanmıştır. Bu iyileşmeye karşın çalışanların bir gün öncesine göre yapılan tekrar sayısı %9,2 daha azdır. İkinci grubun iki vardiyalık ortalamasına bakıldığında ise ortalama 801 tekrar ile 26,7 sn'lik çevrim süresine ulaştıkları gözlenmiştir.

İkinci grup içindeki 2 çalışan da birbirleri arasında farklılık göstermektedir. Birinci çalışan ikinci çalışana göre tekrar sayısı benzer olsa da çevrim süresinde 1.gün ikinci çalışana göre %1,1 daha iyi performans göstermiş, 2.gün ise %2,7 daha iyi performans göstermiştir. Ortalama performans değerlerine baktığımızda ise; 1.çalışan 2.çalışana göre %1,9 daha iyi performans göstermiştir. Özetle birinci grupta olduğu gibi ikinci grup içinde de çalışanların öğrenme hızı arasında farklılık gözlenmektedir.

Üçüncü grup çalışanlar ise ardışık günler içinde toplam 4 vardiya belirtilen iş istasyonunda çalışmışlardır. Yapılan gözlemler sonucu çalışanlardan elde edilen performans göstergesi aşağıdaki Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 Dört Vardiya Çalışan 2 Kişilik Grubun Ortalama Değerleri

Vardiya Sayısı		Ortalama Çevrim Süresi (sn)	Yapılan Tekrar Sayısı (adet/vardiya)
1	3. Çalışan	29,4	738
	4. Çalışan	29,2	754
	1. Vardiya Ortalaması	29,3	746
2	3. Çalışan	26,6	824
	4. Çalışan	26,9	839
	2. Vardiya Ortalaması	26,7	832
3	3. Çalışan	25,2	921
	4. Çalışan	25,2	937
	3. Vardiya Ortalaması	25,2	929
4	3. Çalışan	22,7	943
	4. Çalışan	22,8	955
	4. Vardiya Ortalaması	22,7	949
Grup Ortalaması		26,0	864

Üçüncü grup içindeki 2 çalışanın gelişim performansına bakıldığında birbirleriyle çok yakın seviyelerde hareket ettiği görülebilir. Çizelge 3.5'te ise 3 ve 4 numaralı çalışanların birbirlerinden %1,7 daha az tekrar yapmasına rağmen her ikisinin de

ortalama çevrimlerinin 26sn'de olduğunu ve 4.vardiyanın sonunda her ikisinin de ulaştığı ortalama çevrimin 22,7 ve 22,8 sn olması bu çalışanların öğrenme eğrisini çok önceden tamamladığının göstergesidir.

Çizelge 3.5 3. Ve 4. Çalışan Ortalama Performansı

	Ortalama Çevrim Süresi (sn)	Toplam Yapılan Tekrar Sayısı (adet/vardiya)
3. Çalışan	26,0	3426
4. Çalışan	26,0	3485

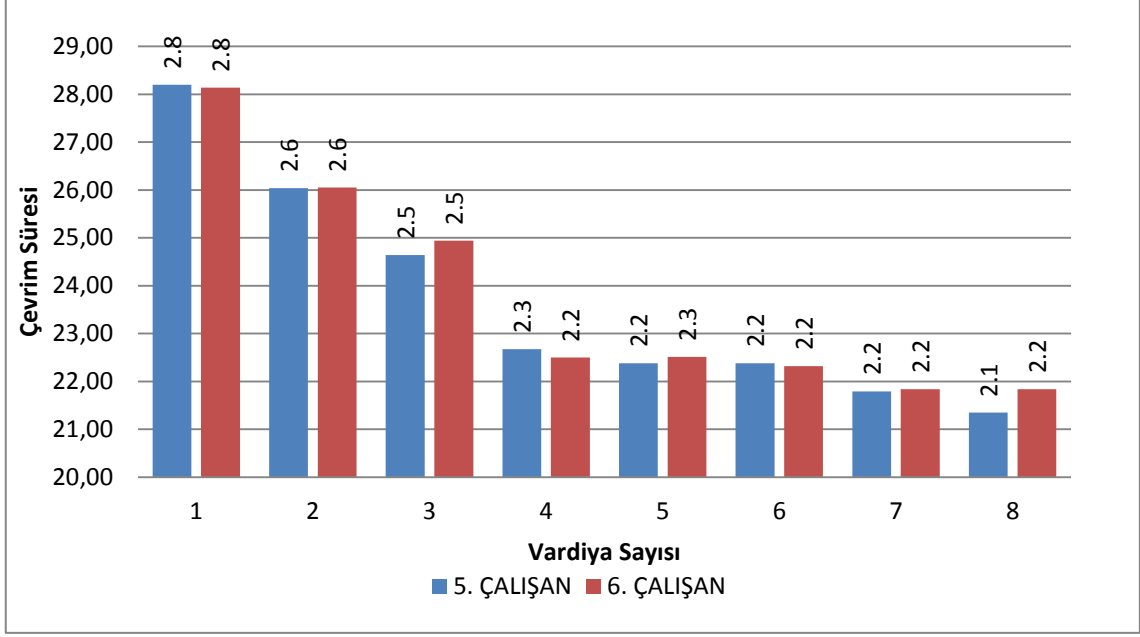
Üçüncü grup ikinci gruptan farklı olarak 2 kat daha fazla tekrar yapmışlardır. İkinci grubun ulaştığı son noktadaki ortamla çevrim süresi 26,7sn iken üçüncü grubun 4.vardiya sonunda ulaştığı en iyi nokta 22,7sn olmuştur. Üçüncü grubun ikinci gün sonucunda ulaştığı en iyi noktadaki çevrim süresi 26,7sn iken, dördüncü günün sonunda bu değer 22,7 olmuştur. Bu noktada Wright'in ilk ortaya çıkardığı yapılan tekrarın 2 katına çıkmasıyla işin tamamlanma süresinin %20 azalacağını test etme imkanı doğmuştur.

$$26,7 * 0,8 = 22,4 \text{sn}$$

$$1 - (26,7 - 22,7) / 26,7 = \%85$$

Yukarıdaki işlemlerde görüldüğü gibi, üçüncü grup çalışanlarda tekrar sayısı iki katına çıktığında işin tamamlanma süresi %15 oranında azalmıştır. Bu da Wright tarafından yapılan tanımlamanın kabaca doğruladığının bir diğer göstergesidir.

Dördüncü grup 8 vardiya art arda üretim yapmış, çalışanların 8 vardiya sonucundaki üretim performansı karşılaştırılmıştır. Şekil 3.3'de verildiği gibi 2 çalışan 8 vardiya boyunca üretim yapmışlardır ve her vardiyanın ortalama sonucu aşağıdaki grafikteki gibi olmuştur. Şekil 3.3'de görüldüğü gibi 5.çalışan 28 saniye ortalama ile üretime başlayıp 21,3 saniye çevrim süresi ile sekizinci vardiyadaki üretimi tamamlamıştır. Altıncı çalışan ise ilk vardiyadaki üretim hızı 28,1sn iken sekizinci vardiya ortalama hızı 21,8 saniye değerine ulaşmıştır.



Şekil 3.3 5 ve 6 Numaralı Çalışanların Performans Grafiği

Çizelge 3.6 Dört Vardiya Çalışan 2 Kişilik Grubun Ortalaması

Vardiya Sayısı		Ortalama Çevrim Süresi (sn)	Yapılan Tekrar Sayısı (adet)
1	5. Çalışan	28,2	747
	6. Çalışan	28,1	741
1. Vardiya Ortalaması		28,2	744
2	5. Çalışan	26,0	867
	6. Çalışan	26,1	816
2. Vardiya Ortalaması		26,0	842
3	5. Çalışan	24,6	949
	6. Çalışan	24,9	941
3. Vardiya Ortalaması		24,8	945
4	5. Çalışan	22,7	967
	6. Çalışan	22,5	950
4. Vardiya Ortalaması		22,6	959
5	5. Çalışan	22,4	978
	6. Çalışan	22,5	916
5. Vardiya Ortalaması		22,4	947
6	5. Çalışan	22,4	978
	6. Çalışan	22,3	989
6. Vardiya Ortalaması		22,3	984
7	5. Çalışan	21,8	1008
	6. Çalışan	21,8	1001
7. Vardiya Ortalaması		21,8	1005
8	5. Çalışan	21,3	1030
	6. Çalışan	21,8	1017
8. Vardiya Ortalaması		21,6	1024
Grup Ortalaması		22,1	990

Dördüncü grup çalışanları arasında öğrenme hızı açısından belirgin bir fark bulunmamakla birlikte, belirli bir tekrardan sonra çalışanların performansı veya çevrim süreleri birbirlerine çok yakın değerle ulaşmıştır. İlk vardiyalarda 800'ün altındaki bir tekrarla anca 28,7 sn'lik çevrimi gösterirken sekizinci vardiya sonunda 1000'li tekrarlara ulaşılmış ve 21~22 sn aralığındaki bir değer almıştır. Beş ve altı numaralı çalışanın performansının 8 vardiya boyunca arttığı, yapılan tekrarın artmasıyla birlikte çevrim süresinin azaldığını görülmektedir. Beş ve altı numaralı çalışanların toplamda yaptıkları tekrar ile 2., 3., 4., 6., ve 8. vardiya sonlarındaki yaptıkları kümülatif tekrar sayıları Çizelge 3.7 verildiği gibidir.

Çizelge 3.7 5 ve 6 Numaralı Çalışanların Toplamlı Tekrar ve Performansı

Vardiya Numarası	5. ÇALIŞAN		6. ÇALIŞAN	
	Vardiyalık Tekrar Sayısı	Toplam Tekrar Sayısı	Vardiyalık Tekrar Sayısı	Toplam Tekrar Sayısı
1	747		741	
2	867	1614	816	1557
3	949	2563	941	2498
4	967	3530	950	3448
5	978		916	
6	978	5486	989	5353
7	1008		1001	
8	1030	7524	1017	7371

Tekrar sayısının ilk adımda 2 kat artması 5.çalışanın performansını %13 iyileştirirken, altıncı çalışanda bu değer %14 olmuştur. İkinci adımda yapılan tekrar iki katına çıktığında (3-6) beşinci çalışan performansı %9, altıncı çalışanın performansı %10 iyileşmiştir. Son olarak üçüncü adım olan dördüncü ve sekizinci vardiya karşılaştırmasında beşinci çalışanın performansı %6, altıncı çalışanın performansı %3 iyileşme gösterdiği Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8 5 ve 6 Numaralı Çalışanların Tekrar Sayısı Performans Arasındaki İlişki

Karşılaştırılan Tekrarlar	5. ÇALIŞAN		6. ÇALIŞAN	
	Performans İyileşme Oranı	Yapılan Tekrar Değişim Oranı	Performans İyileşme Oranı	Yapılan Tekrar Değişim Oranı
2-4	13%	219%	14%	221%
3-6	9%	214%	10%	214%
4-8	6%	213%	3%	214%

Ölçümlerin yapıldığı istasyonda geçmişte 5 yıl üzerinde deneyimi bulunan bir çalışan üzerinden referans ölçümler alınmış ve bu 12 kişilik grup içindeki bireylerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Beş yılın üzerindeki deneyime sahip olan çalışandan alınan ölçümün sonucu aşağıdaki Çizelge 3.9'daki gibidir.

Çizelge 3.9 Referans Ölçüm Sonucu

Operasyon NO	Operasyon Türü	Operasyon Tanımı	İşlem Süresi
	M	Palet Transfer Zamanı	3,00
10	M	Dönüş borusunun tapasını çıkart	1,92
20	M	Kuyruk evaparatör giriş borusunun tapasını çıkart, evaparatör dondurucu çıkış borusunu kuyruk evaparatör giriş borusuna tak	3,77
30	M	eşanjör boruya form ver, kılcal boru çıkışının tapasını çıkart, kılcal boru çıkışını evaparatör dondurucu giriş borusuna tak	6,23
40	M	dekapanlı fırçayı, kılcal boru çıkışı ile evaparatördondurucu giriş borusu birleşimine sür.	2,59
50	M	dekapan fırçayı, kuyruk evaparatör giriş borusu ile evaparatör dondurucu çıkış borusu birleşimine sür.	2,66
60	M	İşlem Tamam Butonuna bas	0,54
40	FRK	dekapan su karışımı ikmali 500 dolap / 15 sn	0,03
50	FRK	dekapan su karışımı ikmali 500 dolap / 15 sn	0,03
			<b>20,76</b>

Referans için alınan ölçüme göre çalışanın belirtilen işi 20,76 sn ortalama ile tamamlamaktadır. Bu ortalama art arda yapılan 10 ölçümün ortalama değeridir.

Ölçümler kronometre ile yapılmış olup salt ölçüm sürelerine ek olarak %8 yorgunluk payı ilave edilmiştir. Ek-2’de alınan ölçümün detayları ve ortalama değerleri verilmiştir.

### 3.3 $y = C_1 x^b$ Modelindeki $b$ ve $C_1$ değerlerinin Alınan Örnekler İçin Tahmin Edilmesi

Wright tarafından ilk kez matematiksel modeli kurulan denklem üzerinde biraz değişiklik yaparak alınan ölçümler sonucunda iş gücü havuzundaki bireylerin  $b$  ( $-1 < b < 0$ ) çalışanın öğrenme oranını tanımlayan değer hesaplanmıştır. Bunun için modelde yapılan matematiksel işlemler şu şekildedir.

$$y = C_1 x^b$$

$y'$  yapılan tekrar sayısının iki katına çıktığı durumdaki performans düzeyi olsun.

$$y' = C_1 (2x)^b$$

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

$$\ln(y) = \ln(C_1) + b \ln(x)$$

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

$y'$  ile  $y$  arasındaki fark alınır.

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

$$\ln\left(\frac{y'}{y}\right) = b \ln(2)$$

$$b = \frac{\ln\left(\frac{y'}{y}\right)}{\ln(2)}$$

Wright modelini kullanarak, yapılan tekrar sayısının iki katına çıkması durumunda  $b$  değerinin elde edildiği matematiksel işlemler yukarıdaki gibidir. “ $b$ ” değerini hesaplayabilmek için 1. Vardiya ile 2.vardiya arasındaki gelişim yüzdesi, 2. ile ve 4.vardiya arasındaki, 4.ile 8.vardiya arasındaki gelişim yüzdesine bakılmış ve her gruptaki çalışanlar için bu değerler ayrı ayrı ve ortalaması hesaplanmıştır.  $C_1$ ’ ise ölçüm alınan ilk vardiyanın ortalama değeri olarak kullanılmıştır.



Ek-3, Ek-4, Ek-5’de verilen detay hesaplarda üç farklı grup için  $b$  değeri ve  $C_1$  değerlerinin tahmin sonuçları çizelgeler halinde verilmiştir.

Elde edilen sonuçların özetine göre 2.çalışan da alınan ölçümlere göre  $b$  değeri 0’dan daha büyük çıkmış olması çalışanın öğrenemediğini veya unutma etkisinin yüksek olduğunu göstermektedir.  $b$  değeri – ile 0 arasında değer almakta olup, 0 değerine ne kadar yaklaştıkça öğrenmenin azaldığını, 0 olduğu durumda ise herhangi bir öğrenmenin söz konusu olmadığını göstermektedir.  $b$  değeri ne kadar -1’e yaklaşıyorsa öğrenme sürecinin o derece hızlı öğrenme eğiminin o derece dik olduğunu göstermektedir. Çizelge 3.10’da elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Çizelge 3.10 Çalışanların Öğrenme Eğimi Karşılaştırması

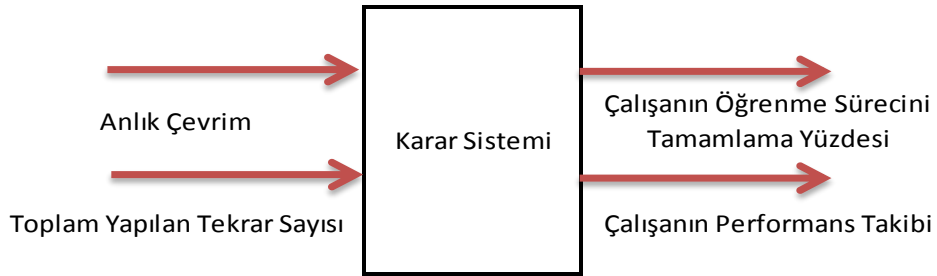
	<b>Öğrenme Eğimi</b>	<b><math>b</math> değeri</b>
<b>1. Çalışan</b>	96,04%	-0,0583
<b>2. Çalışan</b>	102,41%	0,0344
<b>3. Çalışan</b>	87,82%	-0,1874
<b>4. Çalışan</b>	88,37%	-0,1783
<b>5. Çalışan</b>	91,19%	-0,1331
<b>6. Çalışan</b>	92,01%	-0,1202

Çizelge 3.10’a göre en hızlı öğrenme sürecine sahip çalışan 3 numaralı çalışandır. Bu çalışan Wright’in tanımına benzer şekilde yaptığı tekrar sayısı 2 katına çıktıkça işi tamamlama süresini %12,18 oranında azaltabilmektedir. Aynı çalışan için  $b$  değeri -0,1874 olarak hesaplanmış olup, en küçük  $b$  değerine sahiptir. En hızlı öğrenenden en yavaş öğrenene doğru çalışanları sıralayacak olursak 3, 4, 5, 6, 2 numara şeklindedir. Çalışanların en hızlı öğreneni 3 numara en yavaş öğreneni ise 2 numaralı çalışandır.

#### 4. BÜYÜK ÖLÇEKLİ İŞLETMELERDE ÖĞRENME EĞRİSİNİN KOLAY YÖNTEMLERLE ÖLÇÜLEBİLMESİ

Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi değişen ürün ve üretim sürecine hızlı adapte olan işletmeler ekonomik açıdan yaşamını sürdürebilirken, bu sürece çalışanlarını hızlı adapte edemeyen geçmişte kazanılan deneyimlerin ve üretim hızındaki artışın yeni ürün içinde aynı olacağını kabul edenler bu mücadeleden maalesef mağlup bir şekilde ayrılmaktadırlar.

Bu mücadele içinde firmalar araştırma geliştirme süreçlerini ne kadar uzmanca yönetseler de seri imalat işletmelerinde üretimin başarısı doğrudan sahada işi yapan kişi ile ilgilidir. Seri şekilde imalat yapan bir işletme faaliyetlerini sürdürebilme mücadelesinde elindeki kozları güçlendirmek için uygulayabileceği diğer bir yöntem de çalışan havuzunu daha nitelikli hale getirmektir. Çalışan havuzunun daha nitelikli hale getirilmesi işletme içinde bir anda hayata geçecek bir uygulama değildir. Bu süreç zamana yayılmalı ve ilk önce yeni personel seçme ve yerleştirmede uygulanmalıdır. Yeni personel seçiminde çalışanlar arasında yapılan el becerisi, yetenek ve teknik bilginin yanı sıra çalışanın ne derecede hızlı öğrendiği de araştırılmalıdır.



Şekil 4.1 Karar Sistemi Girdi ve Çıktıları

Eldeki mevcut çalışanların öğrenme performansını ölçmek için ise bu çalışanlara daha önceden hiç uygulamadıkları ve işletme içinde yapılan işlere benzer olmayan bir iş seçilip gerekirse laboratuvar ortamı yaratılarak çalışanların öğrenme performansı ölçülmelidir. Mevcut çalışan havuzunda hızlı öğrenenlerin mi daha yoğun olduğu yoksa yavaş öğrenenlerin mi daha yoğun olduğu öğrenildikten sonra gerekirse çalışan havuzu yeni çalışanlar ilave edilerek hızlı öğrenen yoğunluklu bir küme şeklini alabilir. İşletme içinde hâlâ çalışmaya devam eden yavaş öğrenme hızına sahip çalışanlar yapılan işin

genellikle aynı olduğu ya da çok nadir değiştiği operasyonlara veya üretim birimlerine transfer edilmesi sağlanabilir.

Özellikle işletme içinde yeni ürünlerin sıkça devreye alındığı farklı denemelerin aynı anda yapıldığı üretim birimlerinde yüksek öğrenme hızına sahip çalışanların tercih edilmesi önceki bölümlerde anlatılan yeni ürün devreye alma sürecindeki olumsuzlukları ortadan kaldıracaktır.

Bu amaçlar doğrultusunda kurulacak olan model hem yeni alınacak personel için hem de mevcut personel için kullanılabilir olmalıdır. Kurulacak modelde personel belirli kabuller altında değerlendirilmeli ve bu değerlendirme sonucuna göre yerleştirilmelidir.

#### **4.1 Öğrenme Eğrisinin Etkilerini İncelemek İçin Uygun Matematiksel Modelin Seçilmesi**

Bir önceki bölümlerde belirtilen problemleri çözmek ve değerlendirmede kullanılacak model Wright'ın ilk kez ortaya attığı modelden farklı bir modeldir. Wright'ın modelinde geçmiş deneyim etkisi, ideal performansın ne olduğu, insan makine etkileşimi gibi faktörler bulunmaktadır. Yapılan çalışmada her hangi bir makine kullanımı olmadığı için makine ile etkileşimli olarak uyarlanmış matematiksel modeller doğrudan kullanılamaz hale gelmiştir.

Wright'ın modeli dışında Towill tarafından ortaya çıkarılan Denklem(12) sabit süre içinde çalışanların performansını incelemekte ve uzun dönemler içinde karar verilebilmesini sağlamaktadır. Bu yüzden Towill'in modeli de kullanılamamıştır. Seçilecek olan model kısa zaman dilimleri içindeki performans değişimini izleyip çalışanın gelecek performans düzeyini tahmin edebilir olmalıdır.

Bu modeller çıkarıldıktan sonra geriye hiperbolik, çok değişkenli ve üstel modeller kalmış bulunmaktadır. Bu üç grup içinde, uygulama kolaylığı, geçmiş deneyim ve ideal performans ölçütünü de göz önüne alan tek model olan üç parametrelili hiperbolik modelin kullanılmasına karar verilmiştir.

Üç parametrelili hiperbolik modelin kullanılmasına neden olan faktörler ise şunlardır;

1. Yapılan tekrar sayısının karar modeline dahil edilmek istenmesi,

2.  $k$  ideal performans düzeyinin tam olarak bilinmesi,
3.  $x$  kadar tekrar sonrasında ulaşılması gereken performans düzeyinin araştırılıyor olmasıdır.

$$y = k \left( \frac{x + p}{x + p + r} \right)$$

$$y, k, p, x > 0 \text{ ve } p + r > 0 \quad (9)$$

Burada;

$y$ :  $x$  kadar ürünü üretmek için ortalama süre (yada maliyet)

$k$ : En yüksek performans düzeyi,

$r$ :  $k/2$  performans düzeyine ulaşması için gerekli üretim sayısı.  $r$  değerinin daha büyük olması çalışanın kararlı durumdaki performans düzeyine ulaşabilmesi için daha çok tekrara ihtiyaç olduğunu gösterir.

Mazur ve Hestie (1978) tarafından kurulan bu modelde  $r$  değerinin hesaplanabilmesi için öncesinde Wright'ın modelini kullanarak  $b$  değerinin hesaplanması gerekmektedir.  $b$  değerinin hesaplanması için alınan ölçümler  $p$  değerini geçmiş deneyim bilgisini oluşturacaktır. Böylelikle modelin 2 parametresi aynı gözlem içerisinde çıkartılmış olacaktır.

Üç parametrelili hiperbolik modelde  $p$  ve  $r$  değeri için duyarlılık analizi ve  $p$  değerinin yapılan tahmin değerini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bunun için birbirinden farklı iki performans düzeyi karşılaştırılması yapılarak incelenmiştir.

$$y = k \left( \frac{x + p}{x + p + r} \right)$$

$$y' = k \left( \frac{x + p'}{x + p' + r} \right)$$

$p' \neq p$  olmak üzere

$p' = p + A$  olsun

Geçmişte yapılan tekrar sayısını  $A$  kadar arttırdığımıza durumda tahmin edilecek performans değerinin nasıl değişeceği hesaplanmak istenmektedir. Bu durumda;

$$y' = k \left( \frac{x + (p + A)}{x + (p + A) + r} \right)$$

$$y' - y = k \left( \frac{x + p}{x + p + r} \right) - k \left( \frac{x + (p + A)}{x + (p + A) + r} \right)$$

$$y' - y = k \left[ \left( \frac{x + p}{x + p + r} \right) - \left( \frac{x + (p + A)}{x + (p + A) + r} \right) \right]$$

$$y' - y = k \left( \frac{x^2 + xp + xr + xp + p^2 + pr + xA + pA + rA - x^2 - xp - xA - xr - xp - p^2 - pA - pr}{(x + p + r)(x + (p + A) + r)} \right)$$

$$y' - y = k \left( \frac{rA}{(x + p + r)(x + (p + A) + r)} \right)$$

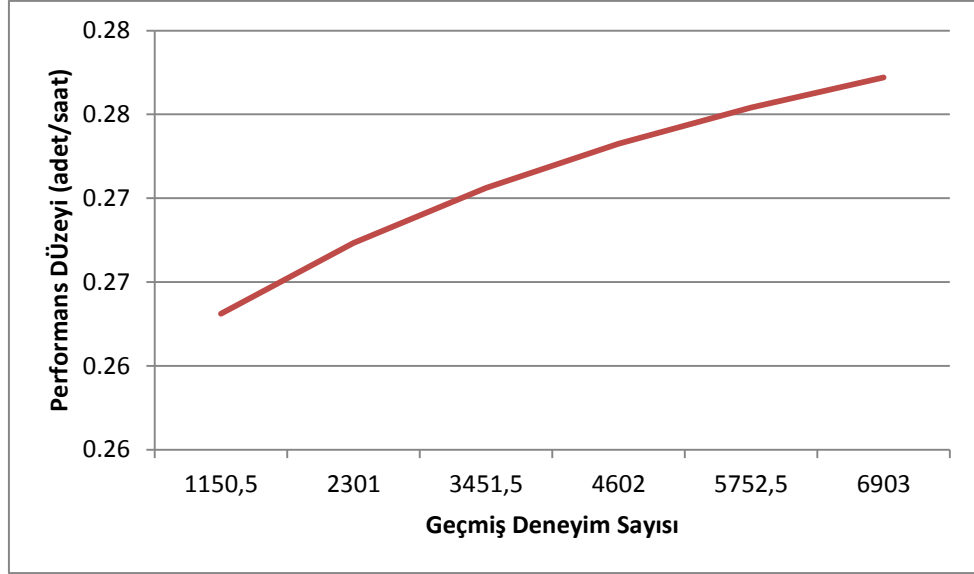
Geçmiş deneyim A kadar büyütülmesi yukarıdaki kadar farka neden olmaktadır.

Eğer A değeri sıfırdan büyük ise  $y'$ -y değeri de sıfırdan büyük olacaktır, eğer A değeri sıfırdan küçük ise  $y'$ -y değeri de sıfırdan küçük olacaktır. Bu iki durum incelendiğinde geçmiş deneyimin artması tahmin edilen performansın daha yüksek bir düzeyde çıkmasına neden olurken, geçmiş deneyimin olduğundan daha az şekilde modele yansıtılması tahmin edilen performans düzeyinin daha düşük çıkmasına neden olacaktır. Benzer şekilde geçmiş deneyiminin daha düşük olması tahmin edilen performansın daha düşük çıkmasına neden olacaktır. Üç parametrelili hiperbolik model ile geçmiş deneyimin pozitif veya negatif yönde değiştirilmesi durumundaki etkisi yukarıdaki gibi açıklanmıştır.

Geçmiş deneyimlerin pozitif veya negatif yönde değişiyor olması durumu sayısal işlemlerle incelendiğinde aşağıdaki gibi bir Çizelge 4.1 elde edilmiştir.

Çizelge 4.1 Farklı Geçmiş Deneyimler İçin Değişen Performans Düzeyi

<b>k</b>	<b>p</b>	<b>r</b>	<b>x</b>	<b>y</b>
adet/saat	adet	adet	adet	adet/saat
ideal performans düzeyi	geçmiş deneyim sayısı	k/2 performans için tekrar sayısı	tahmin edilecek tekrar sayısı	tahmin edilen performans düzeyi
29,7	1150,50	921,1	6000	26,31
29,7	2301,00	921,1	6000	26,73
29,7	3451,50	921,1	6000	27,06
29,7	4602,00	921,1	6000	27,33
29,7	5752,50	921,1	6000	27,54
29,7	6903,00	921,1	6000	27,72



Şekil 4.2 Geçmiş Deneyime Göre Değişen Performans Düzeyi Grafikselsel Gösterim

İdeal performans düzeyinin yarısına ulaşabilmek için yapılması gereken tekrar sayısı  $r$  değerine göre duyarlılık analizi aşağıdaki gibidir.

$$y = k \left( \frac{x + p}{x + p + r} \right)$$

$$y' = k \left( \frac{x + p}{x + p + r'} \right)$$

$$r' \neq r$$

$$r' = r + B$$

$$y' = k \left( \frac{x + p}{x + p + (r + B)} \right)$$

$$y' - y = k \left( \frac{x + p}{x + p + (r + B)} \right) - k \left( \frac{x + p}{x + p + r} \right)$$

$$y' - y = k \left[ \left( \frac{x + p}{x + p + (r + B)} \right) - \left( \frac{x + p}{x + p + r} \right) \right]$$

$$= k \left( \frac{x^2 + xp + xr + xp + p^2 + pr - x^2 - xp - xr - xB - xp - p^2 - pr - pB}{(x + p + (r + B))(x + p + r)} \right)$$

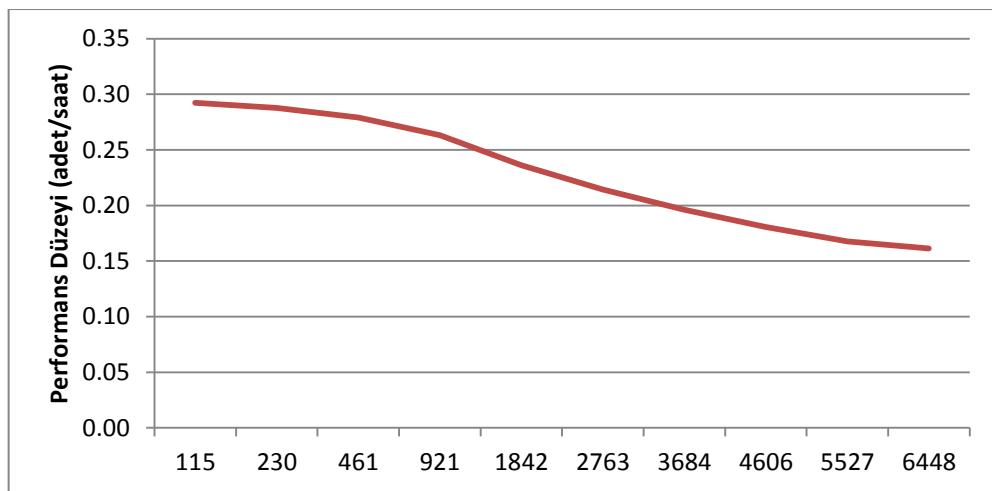
$$= k \left( \frac{B(p - x)}{(x + p + (r + B))(x + p + r)} \right)$$

$r$  değeri  $B$  kadar değiştirildiğinde tahmin edilen performans düzeyi  $p$  ve  $x$  değerine bağlı olarak değişmektedir. Tahmin edilen tekrarın ( $x$ ) sayısı ile ideal

performans düzeyinin yarısına ulaşılması için gerekli tekrar sayısına ( $p$ ) bağlı olarak değişmektedir. Eğer  $r$  değeri olması gereken değerden daha küçük hesaplanırsa tahmin edilen performans düzeyinin daha iyi bir değer olarak belirlenmesine neden olacak bu da hatalı bir tahmin değerinin kullanılmasına neden olacaktır. Eğer  $r$  değeri olması gereken değerden daha büyük hesaplanırsa tahmin edilen performans düzeyinin daha düşük olmasına neden olacaktır.

Çizelge 4.2 Farklı  $r$  Değerleri İçin Değişen Performans Düzeyi

<b>k</b>	<b>p</b>	<b>r</b>	<b>x</b>	<b>y</b>
adet/saat	adet	adet	adet	adet/saat
ideal performans düzeyi	geçmiş deneyim sayısı	k/2 performans için tekrar sayısı	tahmin edilecek tekrar sayısı	tahmin edilen performans düzeyi
29,7	1150,5	115,1	6000	29,23
29,7	1150,5	230,3	6000	28,77
29,7	1150,5	460,6	6000	27,90
29,7	1150,5	921,1	6000	26,31
29,7	1150,5	1842,2	6000	23,62
29,7	1150,5	2763,3	6000	21,42
29,7	1150,5	3684,4	6000	19,60
29,7	1150,5	4605,5	6000	18,06
29,7	1150,5	5526,6	6000	16,75
30,7	1150,5	6447,7	6000	16,14



Şekil 4.3 Farklı  $r$  Değerleri İçin Değişen Performans Düzeyinin Grafikselsel Gösterimi

#### 4.2 Üç Parametrelili Hiperbolik Modelle Öğrenme Hızının Ölçülebilmesi İçin Uygulanan Yöntem

Kullanılacak modelin belirlenmesinden sonraki aşama eldeki mevcut çalışan havuzunun ve yeni alınacak personelin hızlı öğrenen mi yavaş öğrenen mi olduğunu incelemek olacaktır. Bunun için uygulaması önerilen yöntem şu şekildedir. Basit bir test düzeneği şeklinde işletme içinde yapılan ya da yapılabilir benzer işlerden gerekli deneyim kazanıldıktan sonra en az 20 saniyeden uzun sürecek bir operasyon seçilmeli veya kurgulanmalıdır.

Bu kurgulanma sonrasında çalışanın değerlendirmesi yapmadan önce ön veri toplama değerlendirme modelinde modelin çalışma performansını etkileyen parametrelerin hesaplanması gerekmektedir. Bunun için seçilen adaya kurgulanan operasyonu tamamlaması için herhangi bir bilgi veya eğitim yapılmaz ve adayın kendi başına keşfederek kurgulanan operasyonu tamamlaması istenir. Bu şekilde aynı adaydan art arda 8 kez işlem yaptırılır ve çalışma performans verileri kayıt edilir. Kayıt edilen veriler sayesinde 3 parametrelili hiperbolik modelde kullanılan  $r$  ve  $p$  parametreleri belirlenmiş olacaktır.

İlk sekiz tekrarın ardından adaydan toplam 15 dakika boyunca aynı operasyonu ara vermeden tekrar etmesi istenir ve her tekrardaki performansı kayıt altına alınır. İzleyen her sekizin katı olan periyotlar sonunda çalışanın ulaşması gereken performans düzeyi tahmin edilir ve fiili değer ile karşılaştırılır. Fiili değer üzerine ilave edilen kabul edilebilir tolerans düzeyinin eklenmesiyle birlikte her sekizin katı olan tekrarı değerlendirmesi puanlandırılır. İstenilen tolerans arasında bulunan değerlendirme için (+1) puan, kabul edilebilir performans düzeyinden daha kötü bir performans değerlendirmesi için (-1) puan, kabul edilebilir performans düzeyinden daha iyi bir performans değerlendirmesi için (+2) puan verilir.

Böylece 15 dakika sonucunda aday veya mevcut çalışan için bir değerlendirme puanı belirlenmiş olacaktır. Değerlendirme çalışması yeni çalışan seçme yerleştirme sürecinde yapılıyorsa  $-5 \leq d \leq -3$  puanı alan adaylar doğrudan elenirken  $-2 \leq d \leq 0$  aralığındaki adayların bir kez daha test edilmesine karar verilmiştir.  $0 < d \leq 5$



aralığındaki adaylar ise testi başarılı olarak tamamlamış, öğrenme hızı açısından aranan niteliğe sahip olduğu anlamına gelecektir. ♦

Kurulan bu karar modeli sayesinde iş başvurusu yapan adayların öğrenme performansının ne derece hızlı olduğu, önceden deneyimi olmadığı ve herhangi bir eğitim almadığı bir işi 15 dakikalık tekrar süresi sonucunda deneyimli bir çalışana göre ne derecede yaklaştığına dair bilgi edinebilmemize imkan tanımıştır. Kurulan bu karar modeli ile mevcut çalışanların da öğrenme hızı ortaya çıkartılabilmemesine imkan sağlamıştır. Hızlı öğrenen çalışan ile yavaş öğrenen çalışan ilk defa işletme içinde sayısal verilere dayalı bir değerlendirme süreci ile tarafsız olarak değerlendirilebilmesine imkân tanımıştır. Bu tarafsız değerlendirme sonucunda mevcut çalışanların öğrenme profiline uygun iş gruplarının bulunduğu çok değişken veya çok sabit işlere yönlendirilmesi sağlamıştır.

#### 4.3 Üç Parametrelili Hiperbolik Modelle Öğrenme Hızının Ölçülebilmesi İçin Yapılan Sayısal İşlemler

Mazur ve Hasite (1978) tarafından geliştirilen üç parametrelili hiperbolik model yeni aday ve mevcut çalışanın değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Modelin nasıl çalıştığı ve nasıl değerlendirme yaptığı bir önceki bölümde anlatılmıştır. Bu bölümde ise model üzerinde yapılan sayısal işlemler birkaç örnek üzerinde çalışma yapısı incelenmiştir.

$$y = k \left( \frac{x + p}{x + p + r} \right)$$

$$y, k, p, x > 0, \text{ ve } p + r > 0$$

Denklem(9)

Denklem(9)'da çalışmadan önce üç parametrenin belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar  $p$  (çalışanın geçmiş deneyimi),  $r$  ( $k/2$  performans düzeyine ulaşabilmesi için gerekli tekrar sayısı),  $k$  (en yüksek performans düzeyi) parametreleridir. Bu parametrelerinin nasıl belirlendiği ise aşağıda detaylı şekilde açıklanmıştır.

---

♦ Değerlendirme sisteminin akış diagramı Ek-6'de, çalışma algoritması ise Ek-7'de verilmiştir.

Modelin parametreleri birbirleri ile ilişki içinde olup  $r$  değerinin hesaplanabilmesi için  $k$  değerinin biliniyor veya önceden saptanmış olması gerekir.  $k$  değerinin hesaplanmak için MTM (Method Time Mesurment) gibi sentetik zaman ölçüm yöntemleri kullanılabilir. Anlatılan bu örnek çalışmada seçilen iş istasyonunda yeterli düzeyde geçmiş deneyimi olan çalışanlardan standart süre ölçümü yapılmıştır. Alınan ölçüm süresi, aynı noktada farklı vardiyada çalışanlar ile karşılıklı kontrol edilerek ve ölçüm süresinin doğrulaması yapılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda  $k$  değerinin standart süresine göre değeri 20,76 saniye olarak belirlenmiştir. Bu değer ileride  $r$  parametresinin hesaplanması için kullanılacaktır.

Modelin ilk parametresi olan  $k$  değerinin belirlenmesinin ardından, çalışanın ilk sekiz tekrardaki işi tamamlama süresi kullanılarak  $r$  değerinin hesaplanmasına geçilmiştir.  $r$  değeri çalışanın  $k/2$  performans düzeyine ulaşabilmesi için yapması gereken tekrar miktarı olarak tanımlanmıştır. Bu değeri hesaplamak için Wright tarafından tanımlanan ilk öğrenme eğrisi modeli kullanılmıştır.

Bunun için işletmede bir grup yeni çalışan önceden hiç çalışmadıkları ve önceden yaptıkları işler ile benzer olmayan bir iş istasyonunda çalıştırılmıştır. İlk çalışandan alınan ard arda 8 çevrimin süreleri aşağıdaki Çizelge 4.3 gibidir.

Çizelge 4.3 Sekiz Çevrim ve Performans değerleri

Çevrim Sayısı	Çevrim Süresi (sn)	Vardiyalık Performans (tekrar/vardiya)
1	28,2	747
2	26,0	867
3	24,6	949
4	22,7	967
5	22,4	978
6	22,4	978
7	21,8	1008
8	21,3	1030

İlk sekiz tekrarda, çevrim sayısının iki katına çıktığı durumlardaki gelişmeye bakarak çalışan için ortalama bir öğrenme hızı belirlenmiştir. Bu değer belirlenmesi için aşağıdaki işlemler yapılmıştır:

$$y = C_1 x^b$$

$$y' = C_1 (2x)^b$$

$$\ln(y) = \ln(C_1 x^b)$$

$$\ln(y) = \ln C_1 + b * \ln(x) \quad (a)$$

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

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

b denkleminde a denklemini çıkartırsak

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

$$\ln\left(\frac{y'}{y}\right) = b * \ln(2)$$

$$b = \frac{\ln\left(\frac{y'}{y}\right)}{\ln(2)}$$

Yukarıdaki matematiksel işlemler sonucunda tekrar sayısı iki katına çıktığı durumlarda  $b$  değerinin hesaplanabilmesine imkân sağlayan denklem bir kez daha kullanılmıştır. Bu denklem birinci ve ikinci tekrar, ikinci ve dördüncü, dördüncü ve sekizinci tekrarlara bakılarak  $b$  değerinin hesaplanması için kullanılmıştır. Sekiz tekrar

sonucunda elde edilen üç farklı  $b$  değerinin ortalaması alınarak ortalama  $b$  değeri aday için tayin edilmiştir. Çizelge 4.2’de sekiz çevrim sonucu elde edilen  $b$  değeri verilmiştir.

Çizelge 4.4 Sekiz Tekrar Sonucu Elde Edilen Ortalama  $b$  Değeri

Çevrim Sayısı	Çevrim Süresi	Vardiyalık Performans	Tanım	İyileşme Oranı	$b$ değeri
1	39,2	747	1. ve 2. Tekrara Göre $b$ Hesabı	66,43%	-0,5900
2	26,0	867			
3	24,6	949	2. ve 4. Tekrara Göre $b$ Hesabı	87,07%	-0,1998
4	22,7	967			
5	22,4	978	4. ve 8. Tekrara Göre $b$ Hesabı	94,14%	-0,0870
6	22,4	978			
7	21,8	1008			
8	21,3	1030			
<b>ORTALAMA <math>b</math></b>				82,55%	-0,2767

Sekiz tekrar sonunda  $b$  değerinin bulunmasıyla birlikte  $r$  değeri ;aşağıdaki düzenlemeler yapılarak hesaplanmıştır.

$$k * 2 = C_1 x^b$$

$$k * 2 = C_1 r^b$$

$$r = \sqrt[b]{\frac{(k*2)}{C_1}} = \sqrt[-0,2767]{\frac{(20,76*2)}{39,2}} = 0,812$$

Yukarıdaki işlemlerden sonra modeli çalıştırabilmek için tek ihtiyaç duyulan  $p$  değerinin hesaplanması ise önceki parametrelere nazaran daha kolaydır. Önceden yapılan tekrar sayısının kayıt altında tutuluyor olması gerekmektedir. Bu örnekte geçmişteki yapılan tekrar sayısı sekiz olarak gerçekleşmiştir.

$$y = k \left( \frac{x + p}{x + p + r} \right) = \frac{\text{adet}}{\text{saat}} * \left( \frac{\text{adet} + \text{adet}}{\text{adet} + \text{adet} + \text{adet}} \right)$$

$$y = \frac{\text{adet}}{\text{saat}}$$

Hiperbolik model, birim uyumu açısından incelendiğinde modelin sonucu adet/saat değerini vermekte olup, çalışanın ilerideki tahmin edilen performans ölçütünün birimi ile aynıdır.

Kurulan değerlendirme modelinde tolerans değeri olarak negatif üst sınır 0,05, pozitif üst sınır olarak 0,1 aralığı kabul edilmiştir. Bu tolerans aralığının anlamı ise; tahmin edilen performans düzeyi ile fiili performans düzeyi arasında 0,05 daha kötü performanslar kabul edilemez iken, 0,1 daha iyi performans düzeyi kabul edilebilir. Tolerans aralığını daha detaylandırarak olursak; tahmin edilen performans saniye/çevrim biriminde ölçülürken adayın fiili gerçekleştirdiği çevrim süresi tahmin düzeyinden 0,05 daha yüksek ve 0,1 daha yüksek ise kabul edilebilir sınır dışında anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.5 Sekizin Katı Tekrar Sayısı İçin Tahmin Değerleri ve Tolerans Sınırları

x	Tahmin Edilen Çevrim	Pozitif Tolerans	Negatif Tolerans
8	165,0	173,28	148,53
16	167,7	176,12	150,96
24	169,1	177,57	152,21
32	170,0	178,46	152,96
40	170,5	179,05	153,47

Çizelge 4.5’de verildiği gibi, her üç dakikalık dilimler için performans değerlerinin kestirimi yapılmıştır ve 0,05 negatif, 0,1 pozitif sınır değerleri hesaplanmıştır. Negatif tolerans değerleri tahmin edilen değerden daha yüksek bir saniye/çevrim değerine sahipken, pozitif tolerans değeri tahmin edilenden daha düşük bir saniye/çevrim değerine sahiptir. Bu tolerans değerlerinin belirlenmesinin ardından her değerlendirmenin fiili performans değeri ile karşılaştırılması ve adayın puanlanmasına geçilebilir.

Çizelge 4.6 Beş Adet Tahmin ile Değerlendirme Puanı

x	Tahmin Edilen Çevrim	Pozitif Tolerans	Negatif Tolerans	Fiili Değer	Değerlendirme Puanı
8	165,0	173,28	148,53	163,27	1
16	167,7	176,12	150,96	164,91	1
24	169,1	177,57	152,21	164,23	1
32	170,0	178,46	152,96	170,70	1
40	170,5	179,05	153,47	172,41	1
<b>TOPLAM Değerlendirme Puanı</b>					<b>5</b>

Toplamda 15 dakika süren ve art arda yapılan tekrarlarda, her üç dakikalık periyotta çalışanın performansı değerlendirilmiş ve tolerans sınırları içinde kalan değerler için (+1) tolerans dışındaki (daha kötü performans) değerler için (-1) puan, performans değerinden daha iyi fiili değerler için +2 puan verilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda örnek aday 1 puan almış ve değerlendirme sistemine göre uygun olarak nitelendirilerek değerlendirmeyi başarı ile tamamlamıştır.

Benzer işlemler farklı bir örnek aday üzerinde de yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.7 Ortalama *b* Değeri Hesabı

Çevrim Sayısı	Çevrim Süresi	Vardiyalık Performans	Tanım	İyileşme Oranı	b değeri
1	39,2	747	1. ve 2. Tekrara Göre b Hesabı	66,43%	-0,5900
2	26,0	867			
3	24,6	949	2. ve 4. Tekrara Göre b Hesabı	87,07%	-0,1998
4	22,7	967			
5	22,4	978	4. ve 8. Tekrara Göre b Hesabı	94,14%	-0,0870
6	22,4	978			
7	21,8	1008			
8	21,3	1030			
<b>ORTALAMA b</b>				<b>82,55%</b>	<b>-0,2767</b>

*b* değerinin hesaplanmasının ardından *r* değeri 0,812 olarak hesaplanmıştır. Bu da adayın  $k/2$  performans değerine ulaşması için 0,812 kadar tekrar yapmasının yeterli olacağını göstermektedir.

Çizelge 4.8 Farklı Bir Aday İçin Değerlendirme Sonucu

x	Tahmin Edilen Çevrim	Pozitif Tolerans	Negatif Tolerans	Fiili Değer	Değerlendirme Puanı
8	164,5	172,73	148,05	160,43	1
16	167,2	175,60	150,51	166,20	1
24	168,7	177,12	151,82	161,73	1
32	169,6	178,06	152,63	167,75	1
40	170,2	178,70	153,18	173,33	1
<b>TOPLAM Değerlendirme Puanı</b>					<b>5</b>

Örnek verilerle işlem yapılan diğer adayın değerlendirme sonucunda değerlendirme puanı 3 olarak hesaplanmıştır ve değerlendirme sonucunda adayın öğrenme hızı ile işe yatkınlığı açısından uygun olduğu sonucu çıkmıştır.

#### 4.4 Üç Parametrelili Hiperbolik Modelle Öğrenme Hızının Bilgisayar Ortamında Hızlı Bir Şekilde Çözümlemesi

Bir önceki bölümde iki farklı örnek değerlendirme çalışması ile değerlendirme sistematığının sayısal olarak nasıl çalıştığı anlatılmak istenmiştir. Bu bölümde ise kurulan değerlendirme sistematığının excel ortamında nasıl bir otomasyon ile çalıştığı kullanıcı arayüzlerinin nasıl oluşturulduğu anlatılmaktadır. Bu Çalışma ile amaçlanan yeni işe alınacak personel ile ve mevcut personelin değerlendirilmesinde kullanılacak değerlendirme sistematığının herkes tarafından kolayca bilgi girişi yapılabilir bir uygulama haline çevirmektir.

Bu basit arayüz sayesinde insan kaynakları gibi teknik olmayan departmanlarda çalışanın el yatkınlığını nasıl ölçüleceğini eski yöntemlerle test eden uygulamaların yanında, işletme için ihtiyaç duyulan çalışanın öğrenme hızının ölçülmesi de herkes tarafından yapılabilir hale gelmiştir. Bu arayüzü kullanmak için karar modelinde olduğu gibi ilk adım art arda sekiz çevrimin tek tek ölçümlerinin yapılmasıdır. Alınan bu ölçümler Şekil 4.4'deki gibi doldurulur.

	A	B	C	D	E	F	G
5							
6		Çevrim Sayısı	Çevrim Süresi	Vardiyalık Performans	Tanım	İyileşme Oranı	b değeri
7		1	39,2	747	1. ve 2. Tekrara Göre b Hesabı	66,43%	-0,5900
8		2	26,0	867			
9		3	24,6	949	2. ve 4. Tekrara Göre b Hesabı	87,07%	-0,1998
10		4	22,7	967			
11		5	22,4	978	4. ve 8. Tekrara Göre b Hesabı	94,14%	-0,0870
12		6	22,4	978			
13		7	21,8	1008			
14		8	21,3	1030			
15		<b>ORTALAMA b</b>				82,55%	-0,2767

Şekil 4.4 Excel Arayüzünde İlk Sekiz Çevrimin Girildiği Alan

Bu sekiz çevrimin girilmesinden sonra excel içindeki matematiksel fonksiyonlar yardımıyla önceki bölümlerde anlatılan matematiksel işlemler gerçekleştirilmiş ve sırasıyla  $b$ ,  $p$ ,  $r$  değerleri bulunmuştur. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi  $b$ ,  $p$ ,  $r$  değerleri otomatik olarak hesaplanmış, eğer kullanıcı isterse tolerans değerlerini değiştirebilme imkanı verilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G	H
5								
6		Çevrim Sayısı	Çevrim Süresi	Vardiyalık Performans	Tanım	İyileşme Oranı	b değeri	
7		1	39,2	747	1. ve 2. Tekrara Göre b Hesabı	66,43%	-0,5900	
8		2	26,0	867				
9		3	24,6	949	2. ve 4. Tekrara Göre b Hesabı	87,07%	-0,1998	
10		4	22,7	967				
11		5	22,4	978	4. ve 8. Tekrara Göre b Hesabı	94,14%	-0,0870	
12		6	22,4	978				
13		7	21,8	1008				
14		8	21,3	1030				
15		<b>ORTALAMA b</b>				82,55%	-0,2767	
16		<b>Öğrenme Süreci Sonunda Ulaşılmaması beklenen Performans Değeri ürün/sa</b>						
17								
18		<b>k</b>	20,76 sn		İdeal Çevrim Süresi (sn)			
19			173,4 ürün/sa		İdeal Çevrimin Performans Değeri			
20		<b>Geçmiş Deneyim Sayısı (adet)</b>						
21		<b>p</b>	8 adet					
22		<b>k/2 perofmans düzeyine ulaşması için gerekli tekrar sayısı (adet)</b>						
23								
24		<b>r</b>	0,812					
25		<b>Kabul Edilebilir Tolerans Düzeyi</b>						
26								
27		0,05	Pozitif Tolerans		Adayın daha kötü olduğu anlamına gelir.			
28		-0,1	Negatif Tolerans		Adayın daha iyi olduğu anlamına gelir.			
29								
30								

Şekil 4.5 Excel Yardımıyla  $b, p, r$  Değerlerinin Belirlenmesi



Hiperbolik modeli çalıştıracak parametrelerin tespit edilmesinden sonra yapılacak olan çalışma on beş dakika süresince çalışanın her çevriminin ölçülmesi ve aynı dosya üzerindeki listeye sırasıyla girilmesi gerekmektedir. On beş dakikalık süre içinde yapılan tekrarların ölçüm sürelerinin sırasıyla girilmesi hayati derecede önemlidir. Kurulan hiperbolik model, tahmin edilen değer ile karşılaştırma yaparken bu sıralamaya göre girilen çevrim bilgisini göstermektedir. Ek-8’da verilen ekran görüntüsü giriş yapıldığı alanları göstermektedir.

On beş dakikalık tekrar süresinde yapılan çevrim sürelerinin girilmesiyle birlikte değerlendirme sistemi çalışmaya başlar. Şekil 4.6’de gösterildiği gibi, her üç dakikalık periyot sonrasında yapılan çevrim ile tahmin edilen çevrim karşılaştırılmıştır.

	I	J	K	L	M	N
x	Tahmin Edilen Çevrim	Pozitif Tolerans	Negatif Tolerans	Fiili Değer	Değerlendirme Puanı	
8	165,0	173,28	148,53	163,27	1	
16	167,7	176,12	150,96	164,91	1	
24	169,1	177,57	152,21	164,23	1	
32	170,0	178,46	152,96	170,70	1	
40	170,5	179,05	153,47	172,41	1	
<b>TOPLAM Değerlendirme Puanı</b>					<b>5</b>	

15dk'da yapılan Çevrim Sayısı	43
15dk'da yapılan Çevrim Ortalaması (sn)	21,71
15dk'da yapılan Çevrim Ortalaması (ürün/saat)	165,79
15dk'da İdeale Yaklaşma %	95%

Şekil 4.6 Excel Arayüzünde Değerlendirme Sonucu Alanı

Bu karşılaştırma sonucunda örnek aday beş puan almış ve uygun olarak kabul edilmiştir. Öğrenme hızının ölçülmesiyle birlikte ek olarak adayın on beş dakikada içinde ideal çevrime ne derece yaklaştığı ortalama çevrime bakılarak söylenmiştir. Ekran görüntüsünde olduğu gibi, çalışan ideal çevrime %95 oranında yaklaşmıştır ki bu öğrenme hızını da doğrulayan bir ölçümdür. Öğrenme hızı değerlendirme puanı ile ideale ne derece yaklaştığı arasında anlamsız farkların olması mümkün değildir. İncelenen diğer adaylarda 1 puan üzerindeki 23 adayın %90 ile %95 aralığında kaldığı,

8 adayın 2 puan alarak % 95 ile %100 aralığında kaldığı, bir adayın ise 2 puan ile %101 oranında olduğu görülmüştür. Değerlendirmede başarısız olan (-2)'den düşük puan alan adaylardan en iyi yaklaşan %72 değerinde kalmıştır.

## 5. ÜÇ PARAMETRELİ HİPERBOLİK MODELİN BENZETİM PROGRAMI İLE TEST EDİLMESİ

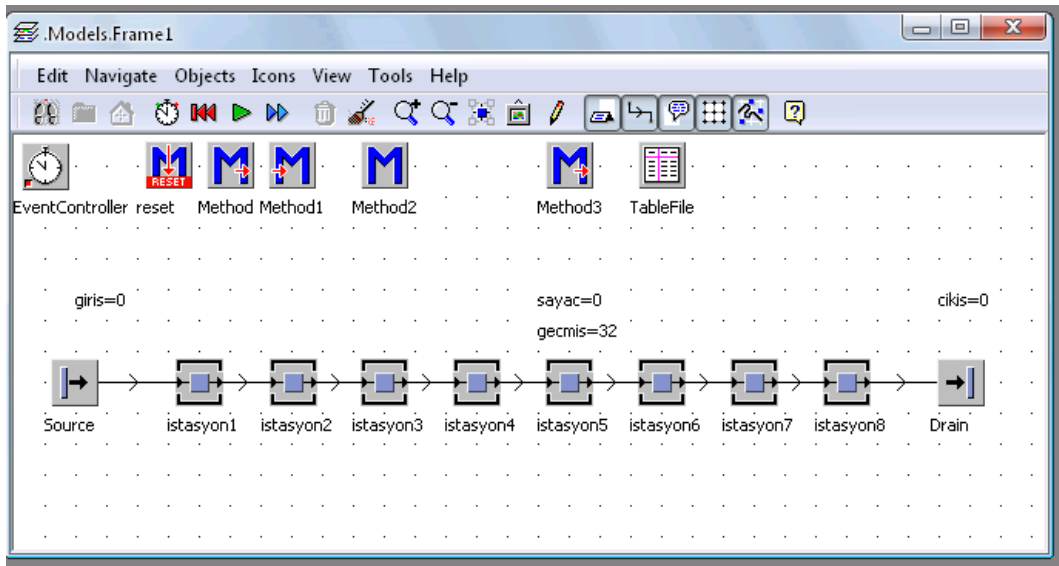
Bir önceki bölümde çalışmanın yapıldığı işletmede çalışanların bireysel olarak öğrenme hızının nasıl ölçülebileceği anlatılmıştır. Çalışan sayısı üç binin üstündeki büyük ölçekli örnek işletmede çalışan havuzu sürekli değişmekte, çalışan devir oranının ise yüksek olduğu bilinmektedir. Sürekli değişen bu iş gücü havuzunda yeni personel seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken husus çalışanların hızlı öğrenme potansiyeline sahip olmasıdır.

Bireysel olarak test edilen öğrenme hızı işletme gözünden bakıldığında; personelin yeni ürün ve değişen süreçlere ne derecede hızlı uyum sağlayabileceğini gösteren bir göstergedir. Bireysel olarak yapılan bu analizler işletme boyutuna indirebilmek ve dış ortam şartlarını sabit tutabilmek adına bir önceki bölümde seçilen model benzetim paket programıyla test edilmesine karar verilmiştir.

Benzetim modeli ile tek bir çalışanın grup üzerindeki etkisinin ne derece büyük olduğuna ve benzer şekilde öğrenme modeli üzerindeki bazı parametrelerindeki pozitif veya negatif yönünde değişmesinin etkisi uzun gözlemler yapmadan elde edilebilmesine imkân sağlayacaktır. Benzetim modelinden elde edilecek sonuçlar, farklı ürün geliştirme senaryolarının etkisini daha net ortaya çıkartabilecektir.

Üç parametrelili hiperbolik modelin çalışma performansını test etmek ve uzun tekrarlar sonucu elde edilebilecek sonuçları daha kısa sürede elde edebilmek için benzetim programı kullanılmıştır. Bu amaçla seçilen benzetim programı Technomatix Plant Simulation'dır. Siemens tarafından geliştirilen bu yazılım genetik algoritmalar, deney tasarımı gibi bir çok optimizasyon araçlarını sunmaktadır.

Oluşturulan benzetim modelinde sekiz istasyondan kurulmuş ve sistemin kapasitesini ölçebilmek adına giriş ve çıkış hızı sonsuz olacak şekilde düzenlenmiştir. Oluşturulan modelin programdaki ekran görüntüsü Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Benzetim Programı Ekran Görüntüsü

Benzetim modelinde anlık olarak hareket eden varlıkların sayısı ve hiperbolik model üzerinde test edilmek istenen parametreler değişken olarak tanımlanmıştır. Bu değişken tanımlama özelliği sayesinde hem istenilen parametrelerin değiştirilmesi daha kolay olmuş hem de anlık olarak modelin nasıl çalıştığını anlayabilmek adına benzetim modeline görsellik kazandırılmıştır. ♦

Bu değişkenlerin tanımları ise şu şekildedir;

1. giris: Benzetim modeline giriş yapan varlık sayısını sayar,
2. sayac: “istasyon5”den gecen varlık sayısını sayar,
3. gecmis: Üç parametrelili hiperbolik modelde kullanılan “p” parametresinin karşılığı,
4. cikis: Benzetim modelinden çıkış yapan varlık sayısını sayar.

Bu değişkenlerden “giris”, “sayac”, “cikis” anlık olarak değişirken, “gecmis” değişkeni benzetim modeli çalıştırılmadan önce elle girilen bir değere sahiptir. Anlık olarak değişen “sayac” değişkeni sayesinde “istasyon5”in bir sonraki varlık için işlem süresi (istasyon5.proctime ) tahmin edilebilmektedir. Benzetim modelindeki “Method3”

♦ Simülasyon Programında kullanılan akış diagramı Ek 9’da verilmiştir.

♦ kontrol nesnesi ile tahmin işlemi matematiksel hale çevrilmiştir. Bu matematiksel işlem “istasyon5” her defasında yeni bir varlık girişi yaptığında çalışmakta ve yeni giriş yapan varlık için işlem süresi hesaplanmaktadır. Bu tahmin işleminin matematiksel formülasyonu ise aşağıdaki gibidir.

$$\text{istasyon5. proctime} = \frac{3600}{k \left( \frac{x+p}{x+p+r} \right)}$$

$$\text{istasyon5. proctime} = \frac{3600}{173,410 \left( \frac{\text{sayac} + \text{gecmis}}{\text{sayac} + \text{gecmis} + 0,812} \right)}$$

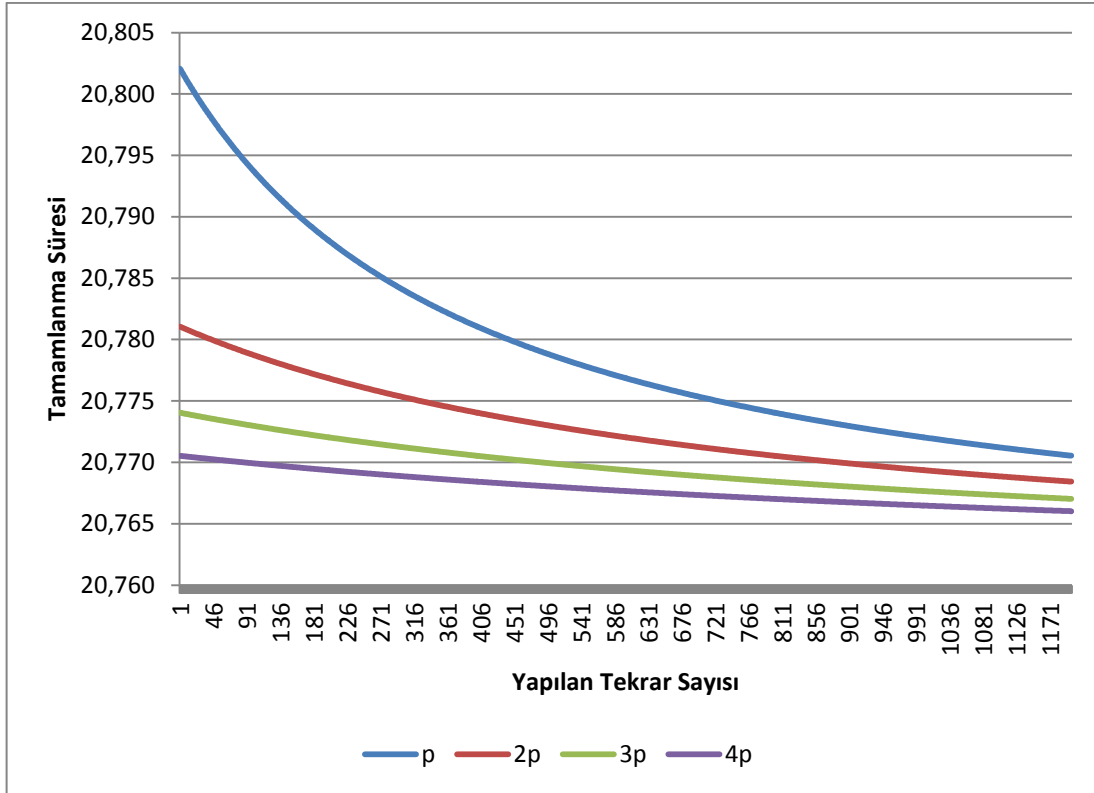
Benzetim modelinde tanımlanan değişkenler ve yukarıdaki matematiksel işlemlerle istasyon5’e yapılan her yeni varlık girişi için hesaplanan her işlem süresi bir Çizelge üzerine kayıt edilmektedir. Uzun gözlemler yerine benzetim programı ile kısa sürede elde edilen bu sonuçların kayıt edilmemesi sayesinde geçmiş deneyimin etkisini uzun süreçte incelemek mümkün olmuştur.

### 5.1 Farklı Geçmiş Deneyimlerin Benzetim Modeli Üzerindeki Sonuçları

Benzetim modelinde geçmiş deneyimin parametrik olarak girilmesi farklı p değerleri ile model çalıştırıldığında elde edilen sonuçların karşılaştırılmasına olanak sağlamıştır. Bu karşılaştırmayı yapabilmek için k=173,410 ve r= 0,812 olan bir model seçilmiştir. Değişken p değerleri ise p=400 (p), p=800 (2p), p=1200 (3p), p=1600 (4p) olarak seçilmiştir. Bu 4 farklı düzey için benzetim modeli 4 kez çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar bir grafik haline çevrilmiştir.

---

♦ Method3 ile yazılan kod’un ekran görüntüsü Ek 10’da verilmiştir.



Şekil 5.2 Farklı Geçmiş Deneyimlerinin Etkisi

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi p değeri arttıkça tahmin edilen işlem süreleri daha düşük çıkmaktadır. Grafiğin başlangıcında bu fark büyük iken yapılan tekrar sayısı arttıkça p değerinin eskisi kadar önemi kalmadığı görülmektedir. Bu da yapılan tekrarın yeterince artmış olması öğrenme sürecinin tamamlandığını göstermekte, geçmiş deneyimin sadece ilk tahmin edilen değerler üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. Benzer mantıkla hazırlanan diğer grafik Ek-11’de verilmiştir.

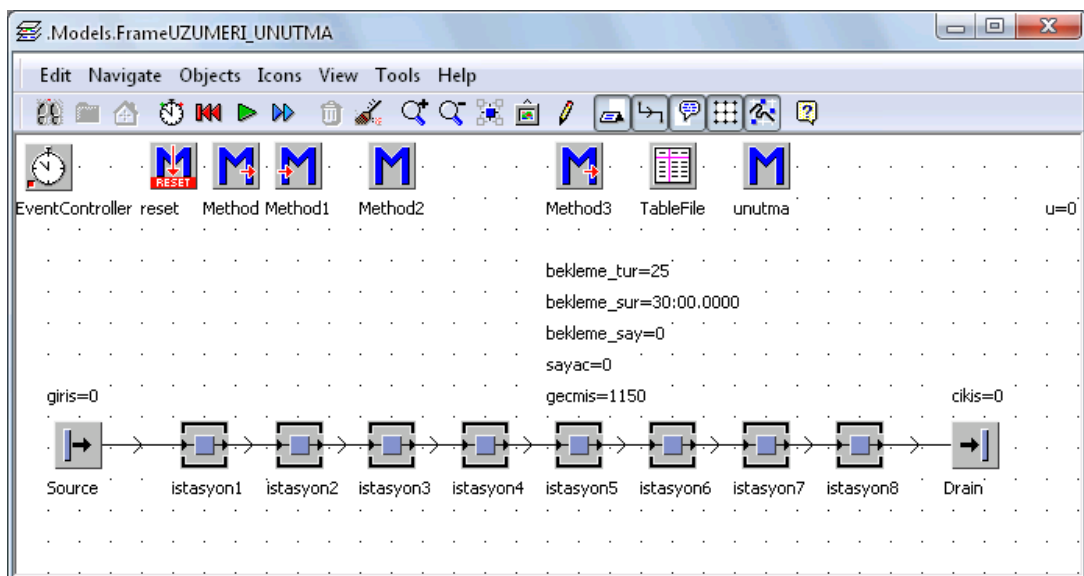
## 5.2 Üç Parametrelili Modele Unutma Faktörünün Eklenmesi ve Unutma Etkisinin İncelenmesi

Üç parametrelili model geçmiş deneyimlerin etkisini de göz önünde alacak şekilde tasarlanmış olmasına rağmen model üzerinde çalışanın verdiği ara ve verilen araların sayısına ilişkin herhangi bir detay bulunmamaktadır. Model üzerinde unutma etkisini ekleyebilmek için aşağıdaki matematiksel işlemler yapılmıştır.

$$y_n = k \left( \frac{n+p}{n+p+r} \right) \quad (a)$$

$$y_{n+1} = k \left( \frac{n+1+p}{n+1+p+r} \right) \quad (b)$$

Denklem a n-inci tekrar için tahmin edilen  $y$  değeri, denklem b ise (n+1)-inci tekrar için tahmin edilen  $y$  değeri. Yukarıdaki denklem  $a$  ve  $b$  art arda iki tekrar için tahmin edilen değerleri vermektedir.  $y_{n+2}$ 'de  $w$  kadar süre ara verildiğinde hiperbolik modelin nasıl çalıştığını kısa sürede incelemek için gene benzetim programının yardımı kullanılmıştır.



Şekil 5.3 Unutma Modelinin Benzetim Programındaki Ekran Görüntüsü

Bir önceki benzetim modelinde olduğu gibi bu model de değişkenler yardımıyla modelin izlenebilmesine imkân sağlayacak şekilde düzenlenmiştir. Bir önceki modele ilave gelen değişkenler;

1. bekleme\_tur: Kaç tekrarda bir ara verileceğinin kontrol edildiği değişkendir,
2. bekleme\_sur: Verilen aranın kaç dakika süreceğinin ayarlandığı değişkendir,
3. bekleme\_say: Ara verilmemiş olsaydı bu ara süresinde ortalama olarak yapılabilir tekrar sayısını hesaplandığı değişkendir,
4. toplam: Her “bekleme\_tur” kadar tekrar yapıldığında, yapılan tekrarların saniye cinsinden toplamı,

5. ort: “toplam” değeri ile anlık olarak “sayac”ın bölünmesiyle elde edilir.

Bu tanımlamaların benzetim modeline yansıtılmış hali ise aşağıdaki gibidir.

$$\text{ort} = \frac{\text{toplam}}{\text{sayac}},$$

$$\text{bekleme\_say} = \frac{\text{bekleme\_sur}}{\text{ort}},$$

$$y_{n+2} = k \left( \frac{n+2+p-\text{bekleme\_say}}{n+2+p-\text{bekleme\_say}+r} \right) \quad (\text{c})$$

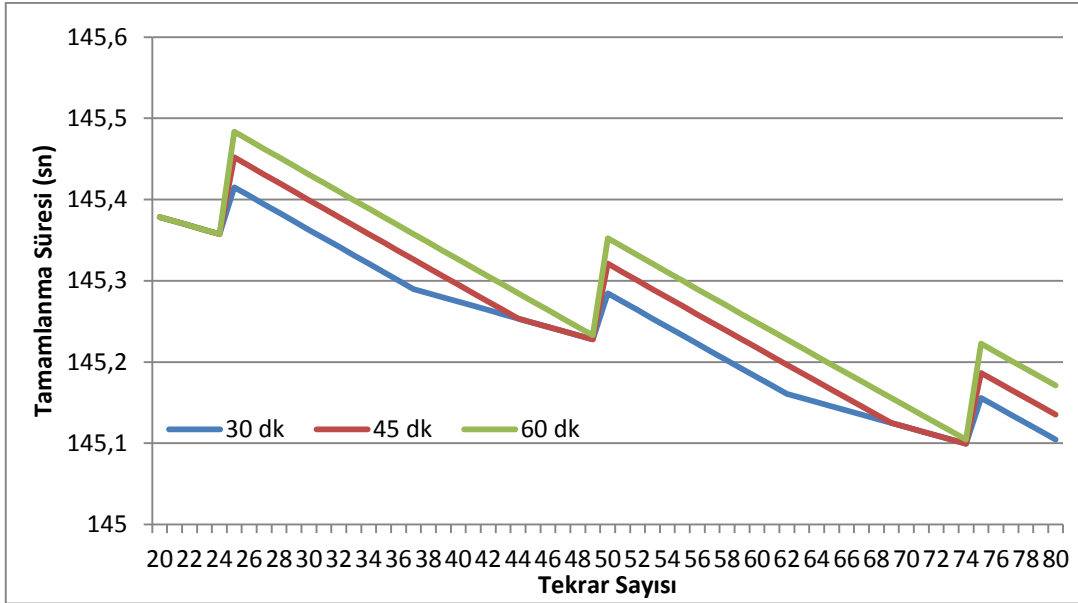
Denklem c ile  $y_{n+2}$  değeri hesaplanırken verilen aranın etkisi model üzerine eklenmiştir. Verilen ara süresince yapılabilir tekrar ile model cezalandırılarak, ara dönüşünde yapılan ilk tekrar geçmiş deneyimden bekleme\_say kadar değeri azaltarak sıradaki varlık için işlem süresi tahmin edilmektedir. n+2’den tekrar sayısı ilerleyip n+c-inci tekrara ulaşıldığında, c değeri bekleme\_say ile eşit olduğu anda verilen aranın etkisi bittiğini, modelin normal seyirinde hareket edeceği anlamına gelmektedir. Unutma Modeli İçim Simülasyon Modelinde Yapılan Değişiklikler Ek 11’de verilmiştir. Unutma Modeli İçin Kullanılan Akış Diyagramı Ek 12’de verilmiştir.

### 5.3 Verilen Ara Süresinin Öğrenme Eğrisi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması

Üç parametrelili hiperbolik modele unutma etkisi matematiksel olarak eklendikten sonra, verilen ara ile öğrenme sürecinin etkisinin olup olmadığı araştırılmak istenmiştir. Öğrenme süreci devam ederken farkla sürelerdeki araların toplam n kadar tekrarın yapılması için gerekli olan süreyi nasıl değiştirdiğini hesaplayabilmek için yine benzetim programı kullanılmıştır.

Bölüm 5.2’de anlatılan benzetim programı ile k=29,7, p=4600 olan bir model üzerinde 30, 45 ve 60 dakikalar şeklinde verilen araların etkisi incelemiştir. Benzetim modeli 175 tekrar için çalıştırılmış, 175 tekrarın toplam tamamlanma süresi ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.4 gibi grafik haline getirilmiştir.



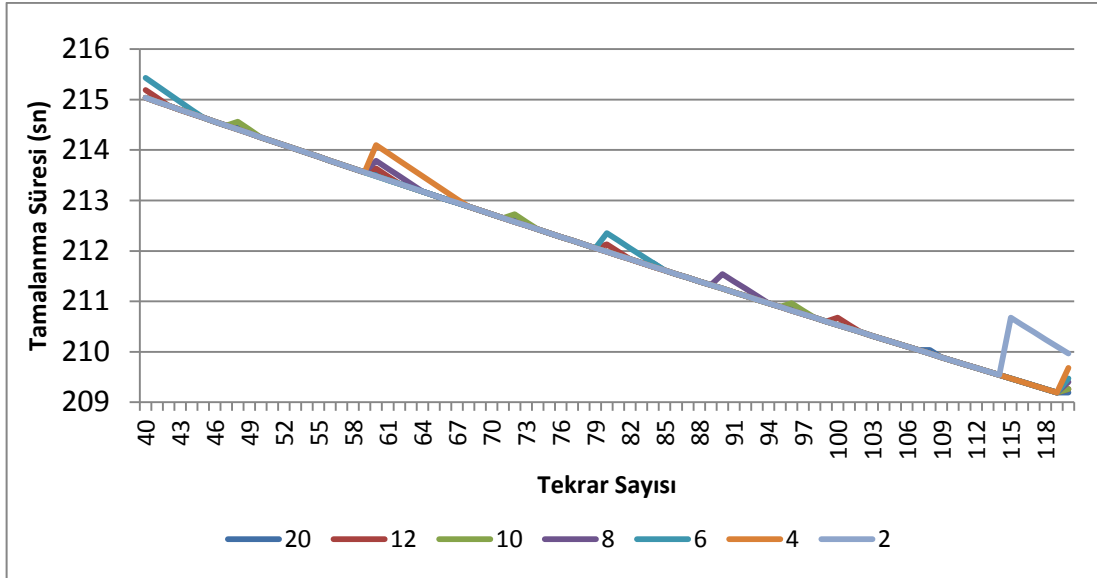


Şekil 5.4 Farklı Sürelerde Verilen Aranın Öğrenme Eğrisi Üzerindeki Etkisi

Şekil 5.4'deki grafik 175 tekrar içinde toplam altı kez verilen 30, 45 ve 60 dakikalık araların tahmin edilen  $y$  değerinin nasıl etkilediğini sadece bir kesit halinde göstermektedir. Detay grafik Ek 13'de verilmiş olup birinci tekrar ile 175. tekrar arasında nasıl bir fark olduğu görülmektedir. Verilen araların süresi arttıkça tahmin edilen  $y$  değerleri kötüleşmekte, işlem süreleri uzamaktadır. Diğer bir deyişle öğrenme sürecinde verilen araların süresi arttıkça öğrenme süreci daha kötüleşmektedir. Benzetim modeli yardımıyla toplamda aynı tekrara ulaşmak için gerekli duruş hariç işlem süresi karşılaştırıldığında; gerekli en yüksek süre verilen ara sürelerinin en uzun olduğu koşulda gerçekleşmiştir. Ek 13'de benzetim programından elde edilen veriler Çizelge halinde verilmiştir.

#### 5.4 Verilen Ara Sayısı İle Öğrenme Eğrisi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması

Verilen ara süresi gibi verilen araların da sayısının öğrenme sürecine etkisinin olup olmadığı incelenmek istenmiştir. Bunun için;  $k=29,7$ ,  $p=1150$  olan bir model üzerinde toplam 120 dakikalık bir aranın 20, 12, 10, 8, 6, 4 ve 2 eşit parça halinde verilmesi durumunda öğrenme eğrisinin nasıl değiştiği incelenmek istenmiştir. Toplamda verilen ara süresi 120 dakika sabit kalacak şekilde verilen farklı büyüklükteki araların öğrenme performansı üzerindeki etkisi aşağıdaki Şekil5.5'deki gibi verilmiştir.



Şekil 5.5 Verilen Ara Sayısına Göre Değişen Öğrenme Performansı Grafiği

Yukarıdaki grafikte görüldüğü gibi toplamda 120 dakika olan ara süresi değişmeyecek şekilde, 20, 12, 10, 8, 6, 4 ve 2 eşit parça olacak şekilde parçalara bölünmüştür. Bu bölme işlemi sonucunda her farklı alternatif için 240 tekrar yaptırılmış ve duruş hariç gerekli işlem süresi karşılaştırıldığında anlamlı bir fark bulunamamıştır. (Detay grafik Ek 15’de verilmiştir.) Bu sonuçta önemli olan verilen aranın kaç seferde kaç dakikalık periyotlarla verildiği değil toplamda verilen ara süresinin öğrenme performansına etki ettiğini göstermektedir. Verilen aranın toplam süresi arttıkça aynı tekrar için gerekli işlem süresinin artmasına neden olurken, verilen ara sayısının artması veya azalması gerekli işlem süresi üzerinde herhangi bir değişikliğe neden olmamıştır. Ek 14’de benzetim programında elde edilen işlem süreleri, Ek 15’de ise Şekil 5.4’deki grafiği daha detaylı olarak verilmiştir.

### 5.5 Benzetim Çalışmasından Elde Edilen Sonuçlar

İşletme içinden elde edilen veriler sonucunda kurulan benzetim modeli ile çalışanların farklı çalışma koşulları altındaki performanslarının nasıl etkilendiği incelenmiştir. Bu incelemede mercek altına alınan çalışma koşulları geçmiş deneyim, çalışma süresi boyunca verilen aranın toplam süresi ve çalışma süresi boyunca kaç adet ara verildiğinin çalışanların performansını nasıl etkilediği incelenmiştir.

### 5.5.1 Geçmiş deneyimin çalışan performansı üzerindeki etkisinin benzetim modeli ile yorumlanması

Yapılan inceleme sonucunda çalışanların geçmiş deneyimlerinin fazla olması ideal performans düzeyine daha kısa sürede ulaşabileceğini göstermiştir. Diğer bir deyişle çalışanlardan her zaman en yüksek düzeyde performans elde edilebilmesi, fabrika çıkış maliyeti üzerindeki işçilik payının en küçüklenebilmesi için çalışanların her zaman deneyim sahibi olduğu geçmişte çok tekrar yaptığı işleri yapıyor olması lazım. Günümüz rekabet ortamında ise müşterilere sürekli aynı ürünün sunulması bir markanın ticari olarak ömrünün sonlanmasıyla sonuçlanacak bir hatadır.

Müşteriler her defasında pazara yeni ürün geleceği beklentisi içindedirler, bu noktada firmalar her defasında bir önceki üründen öğrendikleri deneyimi hiçe saymaları durumunda çalışanları tam performans ile kullanımı söz konusu olmayacaktır.

Bu durumu elimizdeki benzetim sonuçlarıyla da desteklemek mümkündür. Şekil 5-2'de verilen grafikteki verileri kullanacak olursak. 25 adet tekrar için gereken süreler yüzde cinsinden farkları incelendiğinde çıkan sonuçlar geçmişte yapılan deneyimin ne derece önemli olduğunu ortaya çıkartmaktadır. Geçmiş deneyimi en çok olan çalışana göre en az olan çalışanın aynı sayıdaki işi tamamlaması için %12,4 fazla süreye ihtiyaç duymaktadır.

Çizelge 5.1 Farklı Deneyim Düzeylerinin Karşılaştırılması

Geçmiş Deneyim Düzeyi (Yapılan Tekrar Sayısı)	Toplam Tamamlanma Süresi (saniye)	Yüzde Fark
40.000	519	
0	583	12,4%

Bu %12,4'lük fark içinde eski deneyimlerini kullanarak yeni ürün yaratmayı ortaya koyabilmiş olan işletme pazara daha kısa sürede ürün verebileceği gibi, bir önceki ürün deneyimi sonucunda düşük hurda, düşük ıskarta ve düşük işçilik maliyetinden elde ettiği avantajı pazara sürdüğü yeni ürün üzerindeki karlılığını artırmaktadır. Giremediği pazarlarda ise fiyat avantajı sayesinde daha düşük fiyatla pazara girme imkânı sağlayabilmesi de olası bir durumdur.

### **5.5.2 Yapılan işe verilen aranın çalışan performansı üzerindeki etkisinin benzetim modeli ile yorumlanması**

Benzetim sonucunda elde edilen diğer bir sonuçta çalışanların öğrenme sürecini olumsuz etkileyen faktör; öğrenme süreci tamamlanmadan verilen aralardır. Bu ara süreleri ne kadar artarsa çalışanın unutulması artmakta ve performans düzeyi daha da kötüleşmektedir. Şekil 5.4'de verilen grafikte benzetim modelinden elde edilen farklı sürede verilen araların çalışan performansı üzerindeki etkisi açıklanmıştır.

Daha detaylı olarak grafik şu şekilde yorumlanabilir, örnek olarak çalışanlar yaptıkları "A" işinden herhangi bir "B" işine geçerken fiziksel set-up'ın yanı sıra gözükmeyen diğer bir kayıpta çalışanların zihinsel olarak yaptığı işe hazırlanmasıdır. A işinden B işine geçerken sadece fiziksel olarak gereksinimlerin hazırlanmasına ihtiyaç duymayan çalışanlar, zihinsel açıdan da yapılan işin hatırlanması, işi yaparken öğrenilen kısa yolların ve kendilerince buldukları kolaylıkların da hatırlanması gerekir. Bu hatırlama süreci tamamlanana kadar bir önceki tekrarda elde ettiği performansa ulaşması zaman alır. İdeal performansa ulaşma süreci verilen aranın uzunluğu ile doğru orantılıdır. Verilen aranın süresi ne kadar uzun ise çalışanın tekrardan ideal performans düzeyine ulaşması süre alır.

### **5.5.3 Yapılan işe verilen ara sayısının çalışan performansı üzerindeki etkisinin benzetim modeli ile yorumlanması**

Yapılan işe verilen aranın miktarı ile çalışan performansı arasındaki ilişki açıklandıktan sonra benzetim modeli üzerinde verilen ara sayısının çalışan performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekil 5.5'de farklı miktarlarda verilen araların çalışan performansı üzerindeki etkisi grafik ile gösterilmiştir. Bu grafikte 1200 adet tekrarın toplam tamamlanma süresi ile verilen farklı miktardaki aralar karşılaştırılarak incelenmiştir. Benzetim modelinde aynı geçmiş deneyimine sahip çalışan için 2~20 arasında değişen parça halinde verilen toplam 120 dakikalık araların çalışan performansının değiştirmedığı benzetim modeli ile ortaya konulmuştur.

Benzetim modelinde farklı parçalara bölünmek koşulu ile toplamda 120 dakikayı aşmayacak şekilde en çok 20 en az 2 parça olacak şekilde verilen araların 1200 adet tekrarın tamamlanması için gereken süreyi değiştirmedığı ortaya konulmuştur.

## 6. SONUÇ

Çalışma sonucunda işletme içinde öğrenme hızının sayısal bir şekilde ölçülebilme fırsatı ortaya çıkmıştır. İşletme içinde bu güne kadar onlarca kez yaşanan yeni ürün, yeni model, yeni vardiya ya da vardiya geçişlerinde tam olarak tarifi yapılamayan ve yönetilemeyen bir süreç ilk kez sayısal olarak ortaya konulmuştur.

Yapılan bu çalışma ile işletme içinde farkındalık yaratılmıştır. AR-GE süreçlerinde tam olarak tarifi konulmasa da yapılan tasarımlar bir önceki ürünler ile ortak noktası çok olacak şekilde ilerlemektedir. Tasarımda kullanılan bu uygulama Ürün Yöneticiliği biriminden müşteri algısı ve rakipler göz önüne alınarak seçilirken, uygulamanın esas amacının hızlı adaptasyon olup olmadığı bilinmemektedir.

Kurulan bu Excel arayüzü ile birlikte mavi yaka seçme ve yerleştirme sürecinde, adayın değerlendirmesinde ilave bir başlık olarak “Çalışanın Öğrenme Hızı” olarak eklenmiştir. İnsan kaynakları ile iş birliği içinde yeni işe alınacak farklı personeller üzerinde kurulan değerlendirme sistemi test edilmiştir. Test sonuçlarının tamamı işletme gizlilik politikası açısından paylaşılmak istenmemektedir. Bu yüzden sadece bölüm 4.4’de elde edilen sonuçların bir kısmına dair veriler paylaşılmıştır.

Çalışmanın diğer bir faydası da eldeki mevcut çalışan profilinin çıkartılmasıydı. Bu kapsam doğrultusunda mevcut çalışanlarda benzer teste tabii tutularak her çalışanın öğrenme hızı çıkartılmaya başlanmıştır. Eldeki tüm çalışanların öğrenme hızı belirlenmesi sonucunda elde edilen faydalar ise aşağıdaki gibidir.

1. Her çalışana öğrenme yeteneğine göre ilgili istasyona atayarak çalışanların doğru değerlendirilmesini sağlamıştır.
2. Yavaş öğrenen çalışanlar yapılan işin sabit olduğu, hızlı öğrenen çalışanlar ise yapılan işin sürekli değiştiği istasyonlara atanmıştır ki bu da yeni ürün ve yeni model devreye alma kayıplarının azaltılmasını hedeflenmektedir.
3. Farklı maliyet merkezleri arasında vardiya veya personel geçişi yapılırken çalışanın profiline uygun iş seçilmiş, benzer işlerin olduğu istasyonlara yavaş öğrenen çalışanlar atanırken, hızlı öğrenen çalışanlar farklı işlerin olduğu istasyonlara atanmıştır. Bu da vardiya geçiş kaybını en aza indirilmesini sağlayacaktır.

Yukarıda sıralanan başlıklar işletme içinde öğrenme hızının her çalışan için tanımlanması ile birlikte işletme tarafında adım adım elde edilmiştir. Sadece çalışanların profilini çıkartmak ve bazı kesin kurallar koyarak çalışanların istasyonlara atamasını yapmak bile işletme içinde yaşanan yeni ürün, yeni model vardiya geçişi gibi problemlerin daha yumuşatılmasına neden olmuştur. Sadece tanımlama yapmak ile bu derece de önemli bir ilerleme kayıt edilebiliyorsa öğrenme eğrisinin unutma eğrisi ile birlikte kullanıldığı karmaşık modeller kullanılarak yapılan çalışan atama, iş atama ve dengeleme problemlerinin çözülmesi işletme için çok önemli bir ilerleme sağlayacağı kesindir.

Mevsimsel olarak değişken iş gücü kullanan işletmelerde geçici olarak kadroya dahil edilen ve sonra kadro dışı bırakılan mavi yakalı çalışanların sistem içinde en iyi adaptasyonu yani öğrenme sürecini sağlayabilmesi için önemli olan bir faktör yapılan tekrarlara verilen ara süresidir. Geçici kadrolu çalışan yaptığı işe ara verdiği sürece öğrenme performansı azalırken, ara süresi kısaldıkça öğrenme performansı iyileşmektedir. Öğrenme performansını değiştirmeyen bir faktör ise toplam ara süresi değişmediği sürece verilen ara sayılarının artması veya azalmasıdır. Ara sayısının artması öğrenme performansı üzerinde etkisi bulunmaması geçici kadrolu çalışanları tekrar tekrar farklı işlerde toplam süre aynı kalmak koşulu ile herhangi bir verimlilik kaybı olmadan çalıştırılabileceğini göstermektedir.

Sadece tanımlama ile yapılan bu ilerleme işletme içinde öğrenme eğrisinin ne derecede önemli olduğunu ortaya koymuştur. Benzetim modelleri ile desteklenen çalışma sayesinde uzun sürede elde edilecek sonuçlar, çok daha kısa süreler içinde benzetim modeli ile test edilerek birbirlerine göre farklı benzerlikteki yeni ürünlerin devreye alınması ne gibi verimsizliklere neden olacağını test edilmesine imkan sağlamıştır. İşletme tarafından PLM (Ürün Yaşam Çevrimi) sistemine geçilmesi mevcut ürünlerin ve mevcut üretim hatlarındaki çalışanların ne derecede ortak iş yaptıklarının izlenebilmesine imkan sağlamıştır. Bu yazılım desteği ile aynı zamanda yeni devreye alınacak ürün için en ideal üretim hattı neresi olduğu geçmiş deneyim kaygılarını göz önüne alınarak karar verme prensibine varılmıştır.

Bu prensibe ulaşmadaki en önemli etken benzetim modelinden elde edilen farklı deneyim düzeyindeki sadece 1 operatörün bile bütün üzerinde ne derece de büyük etki

bırakabileceğini gördükten sonra oluşmuştur. Aynı hat üzerinde vardiyada ortalama yüzün üzerinde mavi yakalı çalışan bir üretim hattında tüm çalışanların bütünleşik etkisi ve öğrenme süreci göz önüne alındığında oluşan etki bir çığ gibi büyümektedir.

Nasıl ki bir çığ yuvarlandıkça büyüyorsa, çalışanların tamamı için öğrenme sürecini yeniden başlatmak benzer çığın üretim tesisi içinde hareket ediyor olması anlamına gelmektedir. Tam bu noktada işletmelerin hayatta kalma savaşından sağlam çıkabilmeleri için para, enerji, zaman ve iş gücü gibi kaynakların profesyonel şekilde yönetilmesi gerektiği aşikârdır. Bu başlıklardan en önemlisi de iş gücü ve mevcut iş gücünün en etkili bir şekilde kullanılması her geçen gün önem kazanmaktadır. Çalışanlara olabildiğince aynı işi yüklemek birçok göstergenin daha iyi olmasını sağlamaktadır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

1. Anzanello M.J., Fogliatto F.S (2010). *“Learning curve models and applications: Literature review and research directions”* Belkaoui, Ahmed Rihai (1986); *The Learning Curve: A Management Accounting Tool*, Quorum Books, Wesport, CT.
2. Argote, L., 1999. *“Organizational Learning: Creating, Retaining and Transferring Knowledge”*. Springer, New York.
3. Askin, R., Goldberg, J., 2001. *“Design and Analysis of Lean Production Systems”*. John Wiley & Sons, New York.
4. Badiru, A.B., 1992. *“Computational survey of univariate and multivariate learning curve models”*. IEEE Transactions on Engineering Management 39 (2), 176-188
5. Blancett, R.S., 2002. *“Learning from productivity learning curves. Research-Technology Management”* 43 (3), 54-58.
6. Chambers, S., Johnston, R., 2000. *“Experience curves in services: macro and micro level approaches. International Journal of Operations & Production Management”* 20 (7), 842-859
7. Chen, T.J. *“Modeling Learning curve learning complementarity for resource allocation and production scheduling”*. Decision Science, vol 1, s. 170-186
8. Cook, J.A., 1991. *“Competitive model of the Japanese firm”*. Journal of Policy Modelling 13 (1), 93-114.
9. Dar-el, Ezey M. (2000); *Human Learning: From Learning Curves to Learning Organizations*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
10. Eden, C., Williams, T., Ackermann, F., 1998. *“Dismantling the learning curve: the role of disruptions on the planning of development projects”*. International Journal of Project Management 16 (3), 131-138



11. Franceschini, F., Galetto, M., 2002. "Asymptotic defectiveness of manufacturing plants: an estimate based on process learning. *International Journal of Production Research*" 40 (3), 537-545.
12. Fine, C.H., 1986. "Quality improvement and learning in productive systems." *Management Science* 32 (10), 1301e1315.
13. Globerson, S., Gold, D., 1997. "Statistical attributes of the power learning curve model." *International Journal of Production Research* 35 (3), 699-711.
14. Globerson, S., Levin, N., Shtub, A., 1989. "The impact of breaks on forgetting when performing a repetitive task". *IIE Transactions* 21 (4), 376-381.
15. Gullidge, Thomas R., 1987, "Production rate, learning and program cost: Survey and bibliography". *Engineering Cost and Production Economics*, Cilt i, s.223-236
16. Hurley, J.W., 1996. "When are we going to change the learning curve lecture?" *Computers Operations Research* 23 (5), 509e511.
17. Jaber, M., Guiffrida, A., 2004. "Learning curves for process generating defects requiring reworks". *European Journal of Production Research* 159 (3), 663e672.
18. Jaber, M., Kher, H., 2004. "Variant versus invariant time to total forgetting: the learn/forget curve model revisited". *Computers & Industrial Engineering* 46 (4), 697e705.
19. Jaber, M., Khan, M., 2010. "Managing yield by lot splitting in a serial production line with learning, rework and scrap." *International Journal of Production Economics* 124 (1), 32e39.
20. Kannan, V., Palocsay, S., 1999. "Cellular vs process layouts: an analytic investigation of the impact of learning on shop performance." *Omega* 27 (5), 583-592.
21. Kortge, G., 1993. "Link sales training and product life cycles. *Industrial Marketing Management*" 22 (3), 239-245.
22. Kortge, G., Okonkwo, P., Burley, J., Kortge, J., 1994. "Linking experience, product life and learning curves, calculating the perceived value price range. *Industrial Marketing Management*" 23 (3), 221-228

23. Koulamas, C., 1992. "Quality improvement through product redesign and the learning curve. *Omega*" 20 (2), 161-168.
24. Klenow, Peter J. (1998); "Learning Curves and the Cyclical Behavior of Manufacturing Industries," *Review of Economic Dynamics* 1, s. 531–550.
25. Knecht, G., 1974. "Costing, technological growth and generalized learning curves. *Operations Research Quarterly*" 25 (3), 487-491.
26. Li, G., Rajagopalan, S., 1997. "The impact of quality on learning." *Journal of Operations Management* 15 (3), 181e191.
27. Mazur, J.E., Hastie, R., 1978. "Learning as accumulation: a reexamination of the learning curve". *Psychological Bulletin* 85 (6), 1256-1274.
28. Müller, C., Tomatis, L., Läubli, T., 2010. "Muscular load and performance compared between a pen and a computer mouse as input devices." *International Journal of Industrial Ergonomics* 40 (6), 607e617.
29. Naim, M.M., Towill, D.R., 1990. "An engineering approach to LSE modelling of experience curves in the electricity supply industry. *International Journal of Forecasting*" 6 (4), 549-556.
30. Nembhard, D.A., Uzumeri, M.V., 2000a. "An individual-based description of learning within an organization". *IEEE Transactions on Engineering Management* 47 (3), 370e378
31. Paul N. Leiby, Jonathan Rubin ve Chuanqing Lu, 1997; "Topics on Modeling New Technology Introduction: Learning by Doing, Irreversible Investment, Risk Aversion and Limited Foresight" *TAFV Model Technical Memorandum*, 7 November, University of Tennessee, s. 1–17.

32. Pramongkit, P., Shawyun, T., Sirinaovakul, B., 2002. "*Productivity growth and learning potentials of Thai industry. Technological Forecasting and Social Change*" 69 (1), 89-101.
33. Saraswat, S.P., Gorgone, J.T., 1990. "*Organizational learning curve in software installation: an empirical investigation. Information & Management*" 19 (1),53-59.
34. Smunt, T.L., Watts, C.A., 2003 "*Improving operations planning with learning curves:overcoming the pitfalls of "Messy" shop floor data*". *Journal of Operations Management* 21 (1), 93e107.
35. Shafer, S., Nembhard, D.A., Uzumeri, M.V., 2001. "*The effects of worker learning, forgetting and heterogeneity on assembly line productivity.*" *Management Science* 47 (12), 1639-1653.
36. Sturm, R., 1999. "*Cost and quality trends under managed care: is there a learning curve in behavior health carve-out plans?*" *Journal of Health Economics* 18 (5), 593e604.
37. Tapiero, C., 1987. "*Production learning and quality control. IIE Transactions*" 19 (4),362-370.
38. Teng, J., Thompson, G., 1996. "*Optimal strategies for general price-quality decision models of new products with learning production costs. European Journal ofOperational Research*" 93 (3), 476-489.
39. Teplitz, C.J., 1991. "*The Learning Curve Deskbook: A Reference Guide to Theory, Calculations and Applications*". Quorum Books, New York.
40. Terwiesch, C., Bohn, R., 2001. "*Learning and process improvement during production ramp-up. International Journal of Production Economics*" 70 (1), 1-19.
41. Towill, D.R., 1990. "*Forecasting learning curves. International Journal of Forecasting*" 6(1), 25-38.

42. Uzumeri, M., Nembhard, D., 1998. "A population of learners: a new way to measure organizational learning. *Journal of Operations Management* "16 (5), 515-528.
43. Yeh, Sonia, Edward S. Rubin, David A. Hounshell, Margaret R. Taylor (2007); "Uncertainties in Technology Experience Curves for Integrated Assessment Models," *International Journal of Energy Technology and Policy*, Cilt 5
44. Yelle, L.E., 1980. "Learning curves: interaction of marketing and production." *Industrial Marketing Management* 9 (2), 311e318.
45. Yelle, L.E., 1983. "Adding life cycles to learning curves." *Long Range Planning* 16 (6), 82e87.
46. Vigil, D.P., Sarper, H., 1994. "Estimating the effects of parameter variability on learning curve model predictions". *International Journal of Production Economics* 34 (2), 187e200.
47. Waterworth, C.J., 2000. "Relearning the learning curve: a review of the derivation and applications of learning-curve theory". *Project Management Journal* 31 (1), 24-31
48. Wright, T.P. (1935); "Factors Affecting The Cost of Airplanes," *Journal of Aeronautical Sciences*, Cilt 3, s. 275–282.
49. Wright, T.P., 1936. *Factors affecting the cost of airplanes. Journal of the Aeronautical Sciences* 3, 122e128.
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Learning\\_curve](http://en.wikipedia.org/wiki/Learning_curve)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Henry\\_Ford](http://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Ford)
- <http://www.history.com/topics/henry-ford>
- <http://www.hfmgv.org/exhibits/hf/default.asp#fmc>
- <http://www.ahdictionary.com/>

Ek 1 1923 İmalatı Model – T (Ford Motor Company) 1923 İmalatı Oldsmobile (General Motors Company)

Ek 2 İncelenen İş İstasyonda Tecrübeli Çalışana Ait Detay Ölçüm Değerleri

Ek 3 İki Vardiya Tekrar Yapan Grubun Öğrenme Eğimi

Ek 4 Dört Vardiya Tekrar Yapan Grubun Öğrenme Eğimi

Ek 5 Sekiz Vardiya Tekrar Yapan Grubun Öğrenme Eğimi

Ek 6 Karar Modelinin Akış Şeması

Ek 7 Karar Modeli Çalışma Algoritması

Ek 8 Excel Arayüzünde On Beş Dakikalık Tekrar Boyunca Girilen Çevrimler

Ek 9 Simülasyon Programında Kullanılan Akış Diagramı

Ek 10 Simülasyon Modeli Method3 Ekran Görüntüsü

Ek 11 Unutma Modeli İçin Simülasyon Modelindeki Method'larda Yapılan Değişikliklerin Ekran Görüntüsü

Ek 12 Unutma Modeli İçin Simülasyon Programında Kullanılan Akış Diagramı

Ek 13  $k=29,7$ ,  $p=1150$ ,  $p=2300$ ,  $p=3450$ ,  $p=4600$  İçin Elde Edilen Grafik

Ek 14 Farklı Sürelerde Aranın Öğrenme Eğrisi Üzerindeki Etkisi

Ek 15 Farklı Sürelerde Verilen Aranın Öğrenme Eğrisi Üzerindeki Etkisi

Ek 16 Ara Sayısına Göre Değişen Öğrenme Performansı

Ek 17 Verilen Ara Sasyına Göre Değişen Öğrenme Performansı Grafiği

**EKLER**

Ek 1 1923 İmalatı Model – T (Ford Motor Company) 1923 İmalatı Oldsmobile (General Motors Company)

1923 İmalatı Model – T (Ford Motor Company)



1923 İmalatı Oldsmobile (General Motors Company)



## Ek 2 İncelenen İş İstasyonda Tecrübeli Çalışana Ait Detay Ölçüm Değerleri

0	BORU BİRLEŞTİRME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ortalama Performans	Dinlenme Payı	20,76
M	Palet Transfer Zamanı	3,00										3,00		3,00
10	Dönüş borusunun tapasını çıkart	1,68	1,67	1,77	1,88	1,78	1,63	1,91	1,84	1,71	1,89	1,78	8%	1,92
20	Kuyruk evaporatör giriş borusunun tapasını çıkart, evaporatör dondurucu giriş borusunu kuyruk evaporatör giriş borusuna tak	3,45	3,29	3,24	3,37	3,42	3,73	3,97	3,36	3,27	3,79	3,49	8%	3,77
30	eşanjör boruya form ver, kılcal boru çıkışını tapasını çıkart, kılcal boru çıkışını evaporatör dondurucu giriş borusuna tak	5,74	5,86	5,75	5,67	5,62	5,79	5,78	5,89	5,69	5,85	5,76	8%	6,23
40	dekapanlı fırçayı, kılcal boru çıkışı ile evaporatördondurucu giriş borusu birleşimine sür.	2,27	2,44	2,41	2,35	2,58	2,34	2,39	2,29	2,37	2,50	2,39	8%	2,59
50	dekapan fırçayı, kuyruk evaporatör giriş borusu ile evaporatör dondurucu giriş borusu birleşimine sür.	2,31	2,63	2,39	2,29	2,43	2,60	2,51	2,62	2,38	2,47	2,46	8%	2,66
60	İşlem Tamam Butonuna bas	0,50										0,50	8%	0,54
40	dekapan su karışımı ikmalı 500 dolap / 15 sn	0,03										0,03	8%	0,03
50	dekapan su karışımı ikmalı 500 dolap / 15 sn	0,03										0,03	8%	0,03

## Ek 3 İki Vardiya Tekrar Yapan Grubun Öğrenme Eğimi

Çevrim Süresi (sn)	Yapılan Tekrar Sayısı	Öğrenme Eğimi	b değeri	C1
1. ÇALIŞAN	27,0	838		
1. ÇALIŞAN	25,9	766		
2. ÇALIŞAN	26,6	759		
2. ÇALIŞAN	27,3	842		
1. ve 2. Tekrara Göre b Hesabı		96,04%	-0,0583	26,95
1. ve 2. Tekrara Göre b Hesabı		102,41%	0,0344	26,61



## Ek 4 Dört Vardiya Tekrar Yapan Grubun Öğrenme Eğimi

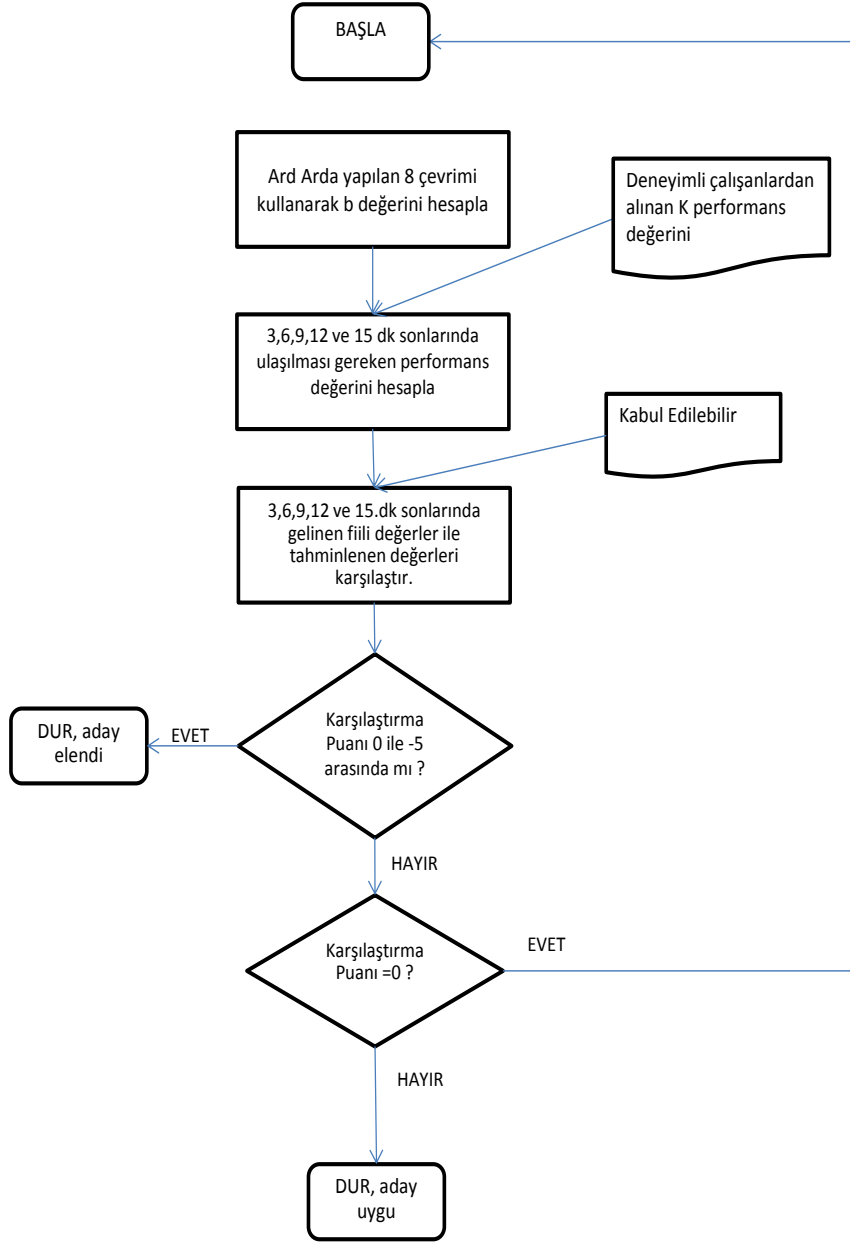
Çevrim Süresi (sn)	Yapılan Tekrar Sayısı	Öğrenme Eğimi	b değeri	C1
3. ÇALIŞAN	738	90,53%	-0,1436	29,42
3. ÇALIŞAN	824			
3. ÇALIŞAN	921	85,12%	-0,2325	29,42
3. ÇALIŞAN	943			
<b>ORTALAMA</b>				
		87,82%	-0,1874	
4. ÇALIŞAN	754	91,95%	-0,1210	29,21
4. ÇALIŞAN	839			
4. ÇALIŞAN	937	84,79%	-0,2380	29,21
4. ÇALIŞAN	955			
<b>ORTALAMA</b>				
		88,37%	-0,1783	

1. ve 2. Tekrara Göre b Hesabı	2. ve 4. Tekrara Göre b Hesabı	Öğrenme Eğimi	b değeri	C1
1. ve 2. Tekrara Göre b Hesabı	2. ve 4. Tekrara Göre b Hesabı	90,53%	-0,1436	29,42
1. ve 2. Tekrara Göre b Hesabı	2. ve 4. Tekrara Göre b Hesabı	85,12%	-0,2325	29,42
<b>ORTALAMA</b>				
		87,82%	-0,1874	
1. ve 2. Tekrara Göre b Hesabı	2. ve 4. Tekrara Göre b Hesabı	91,95%	-0,1210	29,21
1. ve 2. Tekrara Göre b Hesabı	2. ve 4. Tekrara Göre b Hesabı	84,79%	-0,2380	29,21
<b>ORTALAMA</b>				
		88,37%	-0,1783	

## Ek 5 Sekiz Vardiya Tekrar Yapan Grubun Öğrenme Eğimi

Çevrim Süresi (sn)	Yapılan Tekrar Sayısı	Öğrenme Eğimi	b değeri	C1
5. ÇALIŞAN	747	92,35%	-0,1148	28,20
5. ÇALIŞAN	867	87,07%	-0,1998	28,20
5. ÇALIŞAN	949	94,14%	-0,0870	28,20
5. ÇALIŞAN	967			
5. ÇALIŞAN	978			
5. ÇALIŞAN	978			
5. ÇALIŞAN	1008			
5. ÇALIŞAN	1030			
<b>ORTALAMA</b>				
6. ÇALIŞAN	741	91,19%	-0,1331	28,14
6. ÇALIŞAN	816	92,58%	-0,1112	28,14
6. ÇALIŞAN	941	86,36%	-0,2116	28,14
6. ÇALIŞAN	950			
6. ÇALIŞAN	916			
6. ÇALIŞAN	989			
6. ÇALIŞAN	1001			
6. ÇALIŞAN	1017			
<b>ORTALAMA</b>				
		92,01%	-0,1202	

## Ek 6 Karar Modelinin Akış Şeması



## Ek 7 Karar Modeli Çalışma Algoritması

Adım No	İş Tanımı
1	ard arda 8 çevrimin süresini al
2	1. ve 2. , 2. ve 4. , 4. ve 8. çevrim sürelerini kullanarak b değerini hesapla
3	deneyimli bir çalışandan alınan performans değerinin yarısına ulaşması için gereken tekrar miktarını bul
4	3dk sonrası için performans değerini hesapla
5	3dk sonrasındaki perofromans gelişimine bak, Tolerans sınırları içinde ise 0 + ise +1,- ise -1 ile puanla
6	6dk sonrası için performans değerini hesapla
7	6dk sonrasındaki perofromans gelişimine bak, Tolerans sınırları içinde ise 0 + ise +1,- ise -1 ile puanla
8	9dk sonrası için performans değerini hesapla
9	9dk sonrasındaki perofromans gelişimine bak, Tolerans sınırları içinde ise 0 + ise +1,- ise -1 ile puanla
10	12dk sonrası için performans değerini hesapla
11	12dk sonrasındaki perofromans gelişimine bak, Tolerans sınırları içinde ise 0 + ise +1,- ise -1 ile puanla
12	15dk sonrası için performans değerini hesapla
13	15dk sonrasındaki perofromans gelişimine bak, Tolerans sınırları içinde ise 0 + ise +1,- ise -1 ile puanla
14	15dk sonundaki tahmin fiili perofromans değerini ile deneyimli çalışana göre karşılaştır.
15	$-5 \leq d \leq -3$ puanı alan adayları ele
17	$0 < d \leq 5$ aralığındaki adaylar ise başarılı
18	$-2 \leq d \leq 0$ puan alanları içim tekrardan 1.adıma git.

## Ek 8 Excel Arayüzünde On Beş Dakikalık Tekrar Boyunca Girilen Çevrimler

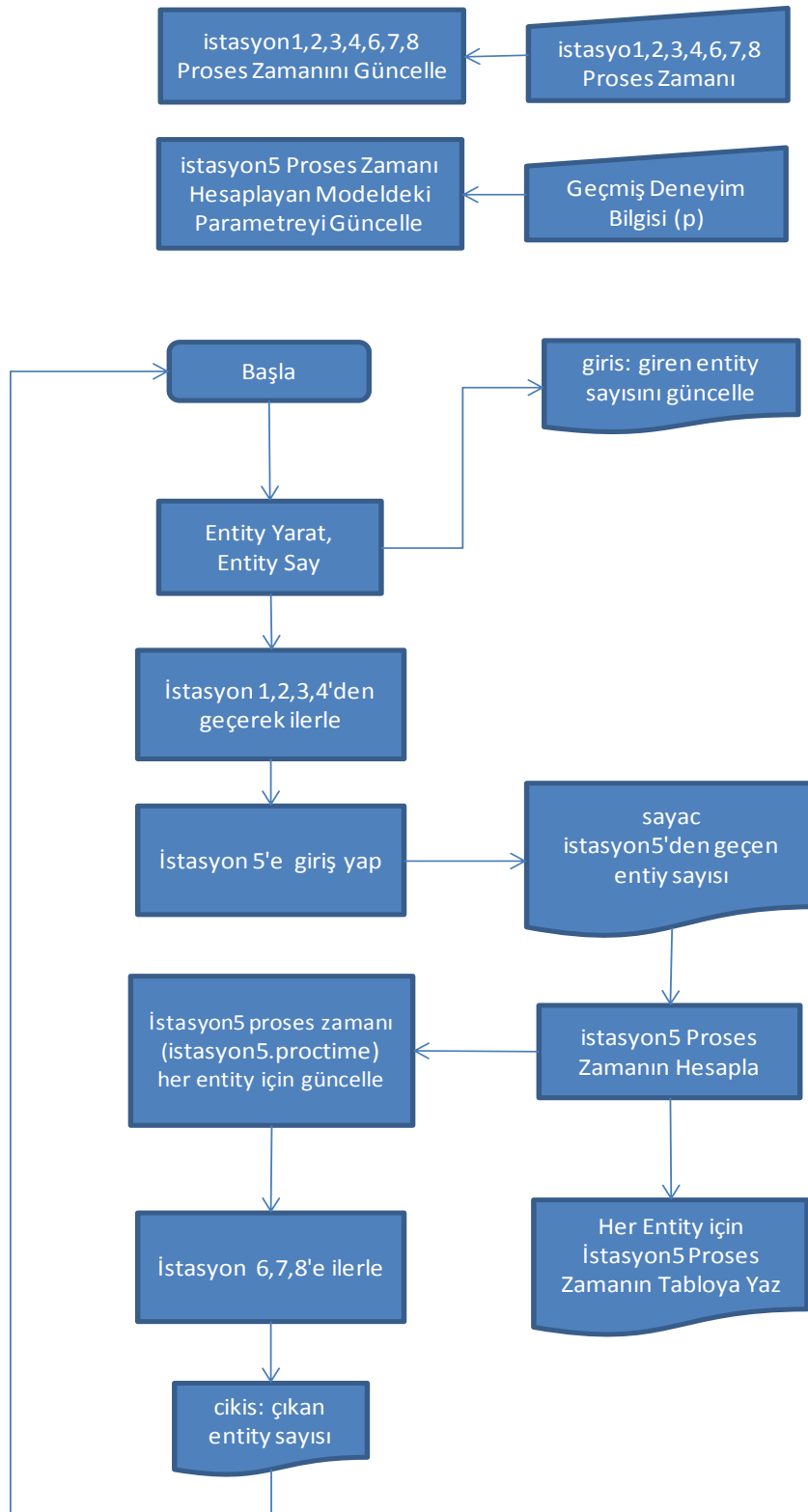
Q	S	T
---	---	---

Q	S	T
---	---	---

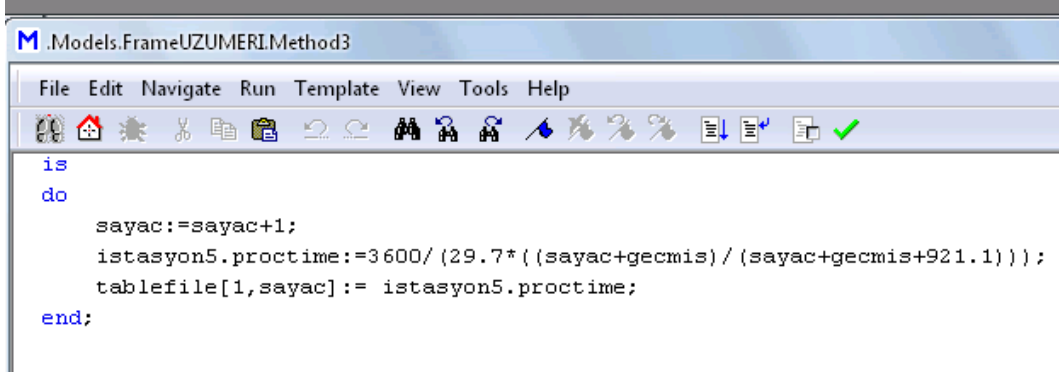
Çevrim Sayısı	Çevrim Süresi
1	23,16
2	23,04
3	22,93
4	22,82
5	22,71
6	22,55
7	22,44
8	22,05
9	22,05
10	22,09
11	21,98
12	21,88
13	21,77
14	21,66
15	21,94
16	21,83
17	21,81
18	21,62
19	21,61
20	21,51
21	22,26
22	22,15
23	22,04
24	21,92
25	21,65
26	21,68
27	21,57
28	21,46
29	21,65
30	21,35

Çevrim Sayısı	Çevrim Süresi
25	21,65
26	21,68
27	21,57
28	21,46
29	21,65
30	21,35
31	21,24
32	21,09
33	21,2
34	20,88
35	20,77
36	20,67
37	21,09
38	20,98
39	21,2
40	20,88
41	20,77
42	20,89
43	20,89
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	

## Ek 9 Simülasyon Programında Kullanılan Akış Diagramı



## Ek 10 Benzetim Modeli Method3 Ekran Görüntüsü



```
is
do
    sayac:=sayac+1;
    istasyon5.proctime:=3600/(29.7*((sayac+gecmis)/(sayac+gecmis+921.1)));
    tablefile[1,sayac]:= istasyon5.proctime;
end;
```

## Ek 11 Unutma Modeli İçin Benzetim Modelindeki Method'larda Yapılan Değişikliklerin Ekran Görüntüsü

```

File Edit Navigate Run Template View Tools Help
is
  a:integer;
do
  sayac:=sayac+1;
  a:=sayac;
  while a>=bekleme_tur loop
    a:=a-bekleme_tur;
    if a=0 then;
      unutma;
    end;
  end;

  if bekleme_say=0 then
    istasyon5.proctime:=3600/(29.7*((sayac+gecmis)/(sayac+gecmis+921.1)));
    tablefile[1,sayac]:= istasyon5.proctime;
  end;
  if bekleme_say>0 then
    istasyon5.proctime:=3600/(29.7*((sayac+gecmis-bekleme_say)/(sayac+gecmis-bekleme_say+921.1)));
    tablefile[1,sayac]:= istasyon5.proctime;
    bekleme_say:=bekleme_say-1;
  end;
end;

```

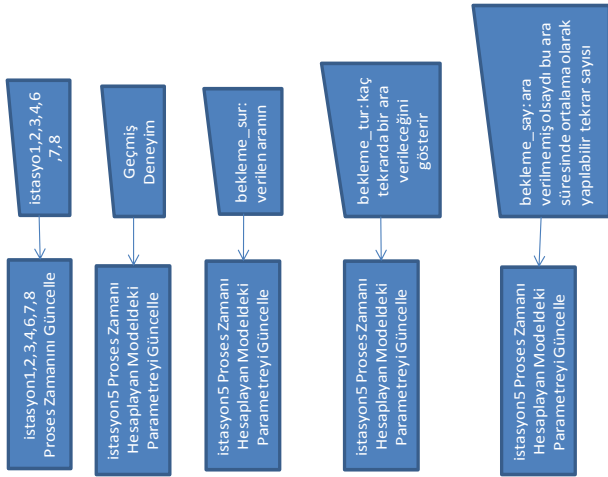
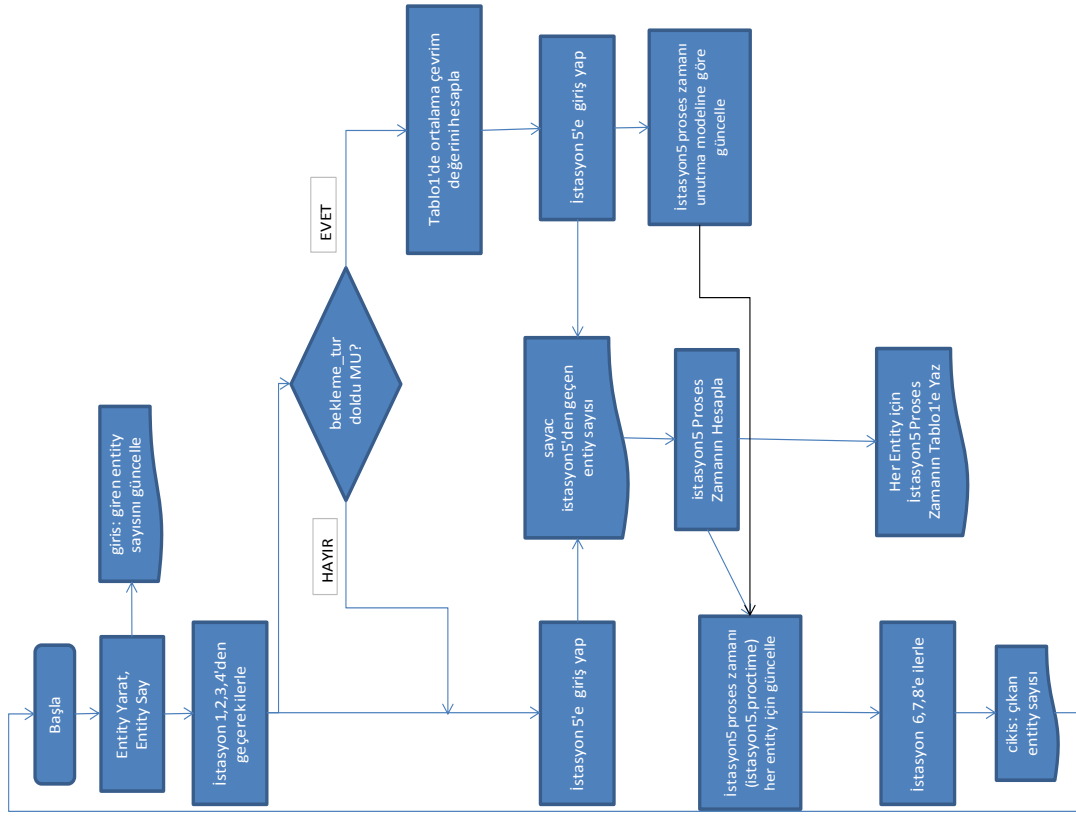
```

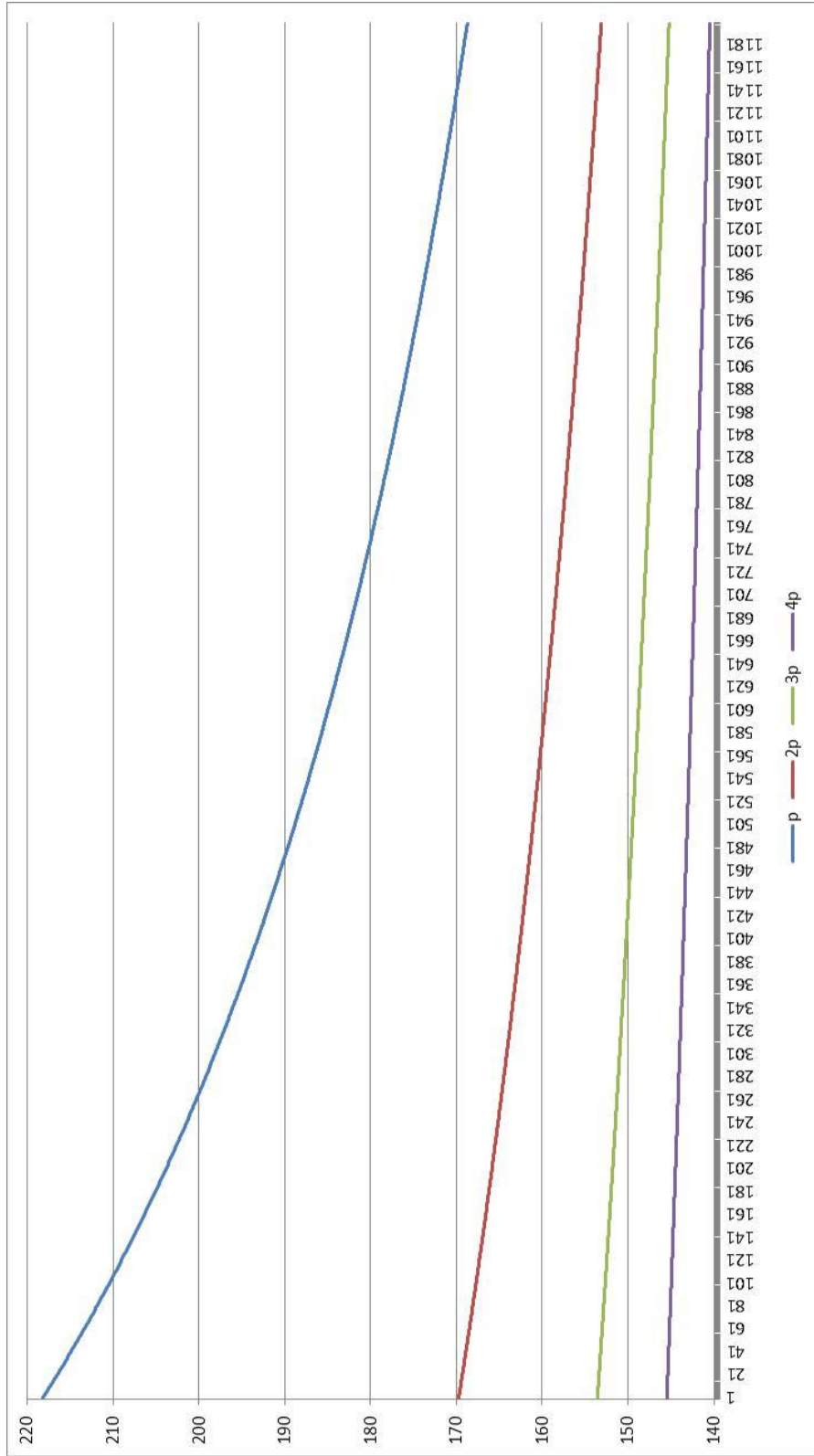
File Edit Navigate Run Template View Tools Help
is
  k:integer;
  toplam:integer;
  ort:integer;
  w:integer;
do
  for k := 1 to sayac loop;
    toplam:=tablefile[1,k]+toplam;
  next;
  ort:=toplam/sayac;
  bekleme_say:=bekleme_sur/ort;
  u:=u+1;
end;

```



Ek 12 Unutma Modeli İçin Simülasyon Programında Kullanılan Akış Diagramı



Ek 13  $k=29,7$ ,  $p=1150$ ,  $p=2300$ ,  $p=3450$ ,  $p=4600$  İçin Elde Edilen Grafik

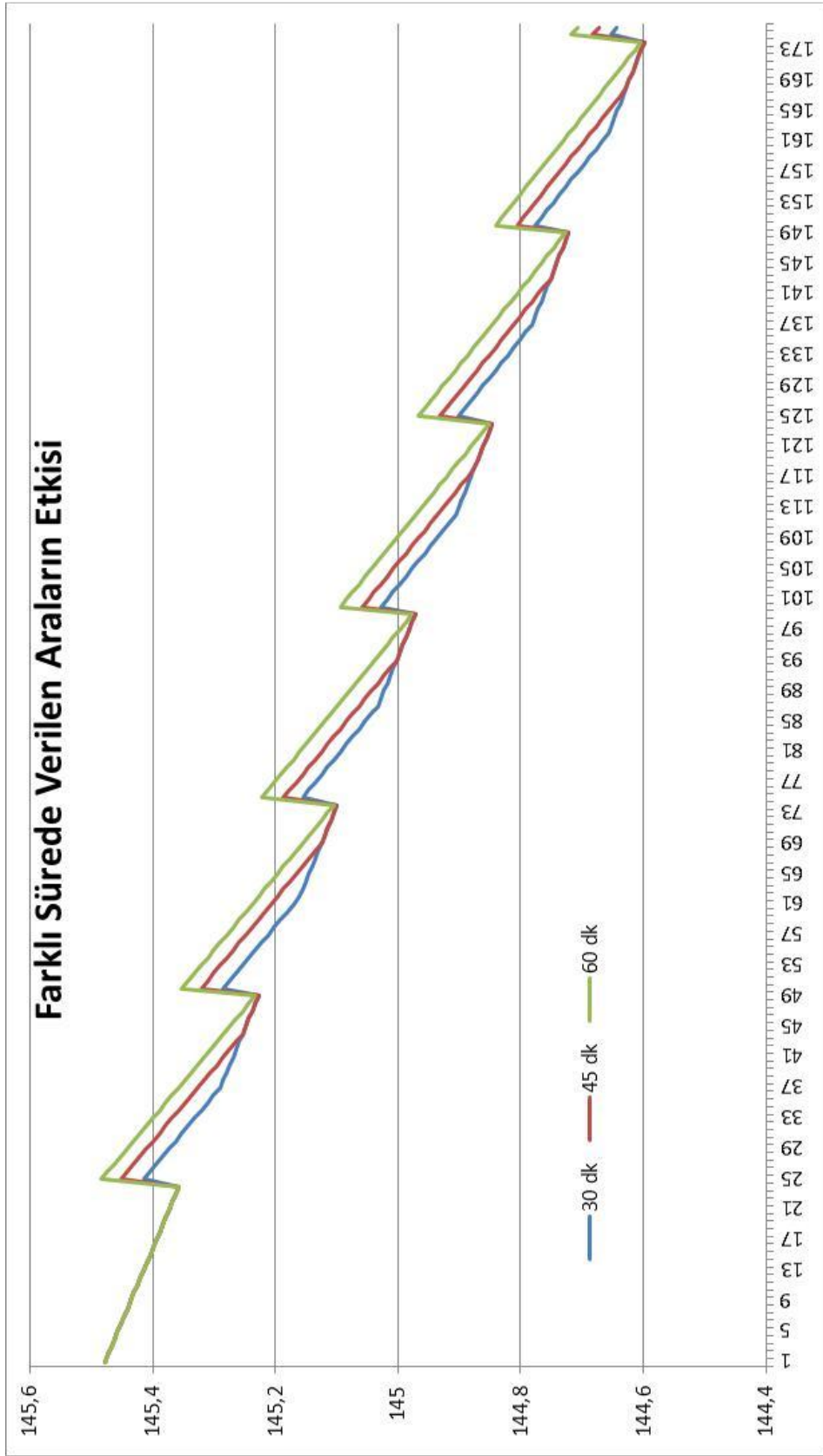
Ek 14 Farklı Sürelerde Aranın Öğrenme Eğrisi Üzerindeki Etkisi

Geçmiş Deneyim	4.600	4.600	4.600	4.600	Çevrim Sayısı	4.600	4.600	4.600	4.600
verilen ara süresi	30 dk	45 dk	60 dk	180 dk		30 dk	45 dk	60 dk	180 dk
Çevrim Sayısı	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)		Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)
1	145,5	145,5	145,5	145,5	51	145,3	145,3	145,3	145,6
2	145,5	145,5	145,5	145,5	52	145,3	145,3	145,3	145,6
3	145,5	145,5	145,5	145,5	53	145,3	145,3	145,3	145,6
4	145,5	145,5	145,5	145,5	54	145,2	145,3	145,3	145,6
5	145,5	145,5	145,5	145,5	55	145,2	145,3	145,3	145,6
6	145,5	145,5	145,5	145,5	56	145,2	145,3	145,3	145,5
7	145,4	145,4	145,4	145,4	57	145,2	145,2	145,3	145,5
8	145,4	145,4	145,4	145,4	58	145,2	145,2	145,3	145,5
9	145,4	145,4	145,4	145,4	59	145,2	145,2	145,3	145,5
10	145,4	145,4	145,4	145,4	60	145,2	145,2	145,2	145,5
11	145,4	145,4	145,4	145,4	61	145,2	145,2	145,2	145,5
12	145,4	145,4	145,4	145,4	62	145,2	145,2	145,2	145,5
13	145,4	145,4	145,4	145,4	63	145,2	145,2	145,2	145,5
14	145,4	145,4	145,4	145,4	64	145,2	145,2	145,2	145,5
15	145,4	145,4	145,4	145,4	65	145,1	145,2	145,2	145,5
16	145,4	145,4	145,4	145,4	66	145,1	145,2	145,2	145,4
17	145,4	145,4	145,4	145,4	67	145,1	145,1	145,2	145,4
18	145,4	145,4	145,4	145,4	68	145,1	145,1	145,2	145,4
19	145,4	145,4	145,4	145,4	69	145,1	145,1	145,2	145,4
20	145,4	145,4	145,4	145,4	70	145,1	145,1	145,1	145,4
21	145,4	145,4	145,4	145,4	71	145,1	145,1	145,1	145,4
22	145,4	145,4	145,4	145,4	72	145,1	145,1	145,1	145,4
23	145,4	145,4	145,4	145,4	73	145,1	145,1	145,1	145,4
24	145,4	145,4	145,4	145,4	74	145,1	145,1	145,1	145,4
25	145,4	145,5	145,5	145,7	75	145,2	145,2	145,2	145,5
26	145,4	145,4	145,5	145,7	76	145,1	145,2	145,2	145,5
27	145,4	145,4	145,5	145,7	77	145,1	145,2	145,2	145,5
28	145,4	145,4	145,5	145,7	78	145,1	145,2	145,2	145,4
29	145,4	145,4	145,4	145,7	79	145,1	145,1	145,2	145,4
30	145,4	145,4	145,4	145,7	80	145,1	145,1	145,2	145,4
31	145,4	145,4	145,4	145,7	81	145,1	145,1	145,2	145,4
32	145,3	145,4	145,4	145,7	82	145,1	145,1	145,2	145,4
33	145,3	145,4	145,4	145,7	83	145,1	145,1	145,1	145,4
34	145,3	145,4	145,4	145,6	84	145,1	145,1	145,1	145,4
35	145,3	145,3	145,4	145,6	85	145,1	145,1	145,1	145,4
36	145,3	145,3	145,4	145,6	86	145,0	145,1	145,1	145,4
37	145,3	145,3	145,4	145,6	87	145,0	145,1	145,1	145,4
38	145,3	145,3	145,3	145,6	88	145,0	145,1	145,1	145,3
39	145,3	145,3	145,3	145,6	89	145,0	145,0	145,1	145,3
40	145,3	145,3	145,3	145,6	90	145,0	145,0	145,1	145,3
41	145,3	145,3	145,3	145,6	91	145,0	145,0	145,1	145,3
42	145,3	145,3	145,3	145,6	92	145,0	145,0	145,0	145,3
43	145,3	145,3	145,3	145,6	93	145,0	145,0	145,0	145,3
44	145,3	145,3	145,3	145,5	94	145,0	145,0	145,0	145,3
45	145,2	145,2	145,3	145,5	95	145,0	145,0	145,0	145,3
46	145,2	145,2	145,3	145,5	96	145,0	145,0	145,0	145,3
47	145,2	145,2	145,3	145,5	97	145,0	145,0	145,0	145,2
48	145,2	145,2	145,2	145,5	98	145,0	145,0	145,0	145,2
49	145,2	145,2	145,2	145,5	99	145,0	145,0	145,0	145,2
50	145,3	145,3	145,4	145,6	100	145,0	145,1	145,1	145,3

## Ek 14 Devam

Geçmiş Deneyim	4.600	4.600	4.600	4.600	Çevrim Sayısı	4.600	4.600	4.600	4.600
verilen ara	30 dk	45 dk	60 dk	180 dk		30 dk	45 dk	60 dk	180 dk
Çevrim Sayısı	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Sayısı	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)
101	145,0	145,0	145,1	145,3	151	144,8	144,8	144,8	145,1
102	145,0	145,0	145,1	145,3	152	144,8	144,8	144,8	145,1
103	145,0	145,0	145,1	145,3	153	144,7	144,8	144,8	145,1
104	145,0	145,0	145,1	145,3	154	144,7	144,8	144,8	145,1
105	145,0	145,0	145,0	145,3	155	144,7	144,8	144,8	145,0
106	145,0	145,0	145,0	145,3	156	144,7	144,7	144,8	145,0
107	145,0	145,0	145,0	145,3	157	144,7	144,7	144,8	145,0
108	144,9	145,0	145,0	145,3	158	144,7	144,7	144,8	145,0
109	144,9	145,0	145,0	145,3	159	144,7	144,7	144,8	145,0
110	144,9	145,0	145,0	145,2	160	144,7	144,7	144,7	145,0
111	144,9	144,9	145,0	145,2	161	144,7	144,7	144,7	145,0
112	144,9	144,9	145,0	145,2	162	144,7	144,7	144,7	145,0
113	144,9	144,9	145,0	145,2	163	144,7	144,7	144,7	145,0
114	144,9	144,9	145,0	145,2	164	144,6	144,7	144,7	145,0
115	144,9	144,9	144,9	145,2	165	144,6	144,7	144,7	144,9
116	144,9	144,9	144,9	145,2	166	144,6	144,6	144,7	144,9
117	144,9	144,9	144,9	145,2	167	144,6	144,6	144,7	144,9
118	144,9	144,9	144,9	145,2	168	144,6	144,6	144,7	144,9
119	144,9	144,9	144,9	145,2	169	144,6	144,6	144,7	144,9
120	144,9	144,9	144,9	145,1	170	144,6	144,6	144,6	144,9
121	144,9	144,9	144,9	145,1	171	144,6	144,6	144,6	144,9
122	144,9	144,9	144,9	145,1	172	144,6	144,6	144,6	144,9
123	144,9	144,9	144,9	145,1	173	144,6	144,6	144,6	144,9
124	144,8	144,8	144,9	145,1	174	144,6	144,6	144,6	144,9
125	144,9	144,9	145,0	145,2	175	144,7	144,7	144,7	145,0
126	144,9	144,9	145,0	145,2					
127	144,9	144,9	144,9	145,2					
128	144,9	144,9	144,9	145,2					
129	144,9	144,9	144,9	145,2					
130	144,9	144,9	144,9	145,2					
131	144,8	144,9	144,9	145,2					
132	144,8	144,9	144,9	145,2					
133	144,8	144,9	144,9	145,1					
134	144,8	144,8	144,9	145,1					
135	144,8	144,8	144,9	145,1					
136	144,8	144,8	144,9	145,1					
137	144,8	144,8	144,8	145,1					
138	144,8	144,8	144,8	145,1					
139	144,8	144,8	144,8	145,1					
140	144,8	144,8	144,8	145,1					
141	144,8	144,8	144,8	145,1					
142	144,8	144,8	144,8	145,0					
143	144,8	144,8	144,8	145,0					
144	144,7	144,7	144,8	145,0					
145	144,7	144,7	144,8	145,0					
146	144,7	144,7	144,8	145,0					
147	144,7	144,7	144,7	145,0					
148	144,7	144,7	144,7	145,0					
149	144,7	144,7	144,7	145,0					
150	144,8	144,8	144,8	145,1					

Ek 15 Farklı Sürelerde Verilen Aranın Öğrenme Eğrisi Üzerindeki Etkisi



## Ek 16 Ara Sayısına Göre Değişen Öğrenme Performansı

Geçmiş Deneyim (p)	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	Çevrim Sayısı	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150
verilen ara süresi (dk)	6	10	12	15	20	30	60		6	10	12	15	20	30	60
verilen ara sayısı (adet)	20	12	10	8	6	4	2		20	12	10	8	6	4	2
ara frekansı (tekrar)	12	20	24	30	40	60	115		12	20	24	30	40	60	115
TOPLAM ARA (dakika)	120	120	120	120	120	120	120		120	120	120	120	120	120	120
Çevrim Sayısı	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)
1	218,21	218,21	218,21	218,21	218,21	218,21	218,21	61	213,41	213,48	213,41	213,64	213,41	213,94	213,41
2	218,13	218,13	218,13	218,13	218,13	218,13	218,13	62	213,33	213,33	213,33	213,48	213,33	213,79	213,33
3	218,05	218,05	218,05	218,05	218,05	218,05	218,05	63	213,26	213,26	213,26	213,33	213,26	213,64	213,26
4	217,96	217,96	217,96	217,96	217,96	217,96	217,96	64	213,18	213,18	213,18	213,18	213,18	213,48	213,18
5	217,88	217,88	217,88	217,88	217,88	217,88	217,88	65	213,10	213,10	213,10	213,10	213,10	213,33	213,10
6	217,79	217,79	217,79	217,79	217,79	217,79	217,79	66	213,03	213,03	213,03	213,03	213,03	213,18	213,03
7	217,71	217,71	217,71	217,71	217,71	217,71	217,71	67	212,95	212,95	212,95	212,95	212,95	213,03	212,95
8	217,63	217,63	217,63	217,63	217,63	217,63	217,63	68	212,88	212,88	212,88	212,88	212,88	212,88	212,88
9	217,54	217,54	217,54	217,54	217,54	217,54	217,54	69	212,80	212,80	212,80	212,80	212,80	212,80	212,80
10	217,46	217,46	217,46	217,46	217,46	217,46	217,46	70	212,73	212,73	212,73	212,73	212,73	212,73	212,73
11	217,38	217,38	217,38	217,38	217,38	217,38	217,38	71	212,65	212,65	212,65	212,65	212,65	212,65	212,65
12	217,30	217,30	217,30	217,30	217,30	217,30	217,30	72	212,58	212,58	212,58	212,58	212,58	212,58	212,58
13	217,21	217,21	217,21	217,21	217,21	217,21	217,21	73	212,50	212,50	212,50	212,50	212,50	212,50	212,50
14	217,13	217,13	217,13	217,13	217,13	217,13	217,13	74	212,43	212,43	212,43	212,43	212,43	212,43	212,43
15	217,05	217,05	217,05	217,05	217,05	217,05	217,05	75	212,35	212,35	212,35	212,35	212,35	212,35	212,35
16	216,97	216,97	216,97	216,97	216,97	216,97	216,97	76	212,28	212,28	212,28	212,28	212,28	212,28	212,28
17	216,88	216,88	216,88	216,88	216,88	216,88	216,88	77	212,21	212,21	212,21	212,21	212,21	212,21	212,21
18	216,80	216,80	216,80	216,80	216,80	216,80	216,80	78	212,13	212,13	212,13	212,13	212,13	212,13	212,13
19	216,72	216,72	216,72	216,72	216,72	216,72	216,72	79	212,06	212,06	212,06	212,06	212,06	212,06	212,06
20	216,64	216,64	216,64	216,64	216,64	216,64	216,64	80	211,98	212,13	211,98	211,98	212,35	211,98	211,98
21	216,56	216,64	216,56	216,56	216,56	216,56	216,56	81	211,91	211,98	211,91	211,91	212,21	211,91	211,91
22	216,48	216,48	216,48	216,48	216,48	216,48	216,48	82	211,84	211,84	211,84	211,84	212,06	211,84	211,84
23	216,39	216,39	216,39	216,39	216,39	216,39	216,39	83	211,76	211,76	211,76	211,76	211,91	211,76	211,76
24	216,31	216,31	216,48	216,31	216,31	216,31	216,31	84	211,76	211,69	211,69	211,69	211,76	211,69	211,69
25	216,23	216,23	216,31	216,23	216,23	216,23	216,23	85	211,62	211,62	211,62	211,62	211,62	211,62	211,62
26	216,15	216,15	216,15	216,15	216,15	216,15	216,15	86	211,54	211,54	211,54	211,54	211,54	211,54	211,54
27	216,07	216,07	216,07	216,07	216,07	216,07	216,07	87	211,47	211,47	211,47	211,47	211,47	211,47	211,47
28	215,99	215,99	215,99	215,99	215,99	215,99	215,99	88	211,40	211,40	211,40	211,40	211,40	211,40	211,40
29	215,91	215,91	215,91	215,91	215,91	215,91	215,91	89	211,32	211,32	211,32	211,32	211,32	211,32	211,32
30	215,83	215,83	215,83	216,15	215,83	215,83	215,83	90	211,25	211,25	211,25	211,54	211,25	211,25	211,25
31	215,75	215,75	215,75	215,99	215,75	215,75	215,75	91	211,18	211,18	211,18	211,18	211,18	211,18	211,18
32	215,67	215,67	215,67	215,83	215,67	215,67	215,67	92	211,11	211,11	211,11	211,11	211,11	211,11	211,11
33	215,59	215,59	215,59	215,67	215,59	215,59	215,59	93	211,03	211,03	211,03	211,11	211,03	211,03	211,03
34	215,51	215,51	215,51	215,51	215,51	215,51	215,51	94	210,96	210,96	210,96	210,96	210,96	210,96	210,96
35	215,43	215,43	215,43	215,43	215,43	215,43	215,43	95	210,89	210,89	210,89	210,89	210,89	210,89	210,89
36	215,43	215,35	215,35	215,35	215,35	215,35	215,35	96	210,89	210,82	210,96	210,82	210,82	210,82	210,82
37	215,27	215,27	215,27	215,27	215,27	215,27	215,27	97	210,75	210,75	210,82	210,75	210,75	210,75	210,75
38	215,19	215,19	215,19	215,19	215,19	215,19	215,19	98	210,67	210,67	210,67	210,67	210,67	210,67	210,67
39	215,11	215,11	215,11	215,11	215,11	215,11	215,11	99	210,60	210,60	210,60	210,60	210,60	210,60	210,60
40	215,03	215,19	215,03	215,03	215,43	215,03	215,03	100	210,53	210,67	210,53	210,53	210,53	210,53	210,53
41	214,96	215,03	214,96	214,96	215,27	214,96	214,96	101	210,46	210,53	210,46	210,46	210,46	210,46	210,46
42	214,88	214,88	214,88	214,88	215,11	214,88	214,88	102	210,39	210,39	210,39	210,39	210,39	210,39	210,39
43	214,80	214,80	214,80	214,80	214,96	214,80	214,80	103	210,32	210,32	210,32	210,32	210,32	210,32	210,32
44	214,72	214,72	214,72	214,72	214,80	214,72	214,72	104	210,25	210,25	210,25	210,25	210,25	210,25	210,25
45	214,64	214,64	214,64	214,64	214,64	214,64	214,64	105	210,18	210,18	210,18	210,18	210,18	210,18	210,18
46	214,56	214,56	214,56	214,56	214,56	214,56	214,56	106	210,10	210,10	210,10	210,10	210,10	210,10	210,10
47	214,49	214,49	214,49	214,49	214,49	214,49	214,49	107	210,03	210,03	210,03	210,03	210,03	210,03	210,03
48	214,49	214,41	214,56	214,41	214,41	214,41	214,41	108	210,03	209,96	209,96	209,96	209,96	209,96	209,96
49	214,33	214,33	214,41	214,33	214,33	214,33	214,33	109	209,89	209,89	209,89	209,89	209,89	209,89	209,89
50	214,25	214,25	214,25	214,25	214,25	214,25	214,25	110	209,82	209,82	209,82	209,82	209,82	209,82	209,82
51	214,18	214,18	214,18	214,18	214,18	214,18	214,18	111	209,75	209,75	209,75	209,75	209,75	209,75	209,75
52	214,10	214,10	214,10	214,10	214,10	214,10	214,10	112	209,68	209,68	209,68	209,68	209,68	209,68	209,68
53	214,02	214,02	214,02	214,02	214,02	214,02	214,02	113	209,61	209,61	209,61	209,61	209,61	209,61	209,61
54	213,94	213,94	213,94	213,94	213,94	213,94	213,94	114	209,54	209,54	209,54	209,54	209,54	209,54	209,54
55	213,87	213,87	213,87	213,87	213,87	213,87	213,87	115	209,47	209,47	209,47	209,47	209,47	209,47	210,67
56	213,79	213,79	213,79	213,79	213,79	213,79	213,79	116	209,40	209,40	209,40	209,40	209,40	209,40	210,53
57	213,71	213,71	213,71	213,71	213,71	213,71	213,71	117	209,33	209,33	209,33	209,33	209,33	209,33	210,39
58	213,64	213,64	213,64	213,64	213,64	213,64	213,64	118	209,26	209,26	209,26	209,26	209,26	209,26	210,25
59	213,56	213,56	213,56	213,56	213,56	213,56	213,56	119	209,19	209,19	209,19	209,19	209,19	209,19	210,10
60	213,56	213,64	213,48	213,79	213,48	214,10	213,48	120	209,19	209,26	209,26	209,40	209,47	209,68	209,96

## Ek 16 Devam

Geçmiş Deneysel (p)	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	Çevrim Sayısı	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150
	6	10	12	15	20	30	60		6	10	12	15	20	30	60
verilen ara süresi (dk)	6	10	12	15	20	30	60		6	10	12	15	20	30	60
verilen ara sayısı (adet)	20	12	10	8	6	4	2		20	12	10	8	6	4	2
ara frekansı (tekrar)	12	20	24	30	40	60	115		12	20	24	30	40	60	115
TOPLAM ARA (dakika)	120	120	120	120	120	120	120		120	120	120	120	120	120	120
Çevrim Sayısı	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)	Çevrim Süresi (sn)
121	209,06	209,12	209,12	209,26	209,33	209,54	209,82	181	205,10	205,16	205,10	205,28	205,10	205,54	205,10
122	208,99	208,99	208,99	209,12	209,19	209,40	209,68	182	205,03	205,03	205,03	205,16	205,03	205,41	205,03
123	208,92	208,92	208,92	208,99	209,06	209,26	209,54	183	204,97	204,97	204,97	205,03	204,97	205,28	204,97
124	208,85	208,85	208,85	208,85	208,92	209,12	209,40	184	204,91	204,91	204,91	204,91	204,91	205,16	204,91
125	208,78	208,78	208,78	208,78	208,78	208,99	209,26	185	204,84	204,84	204,84	204,84	204,84	205,03	204,84
126	208,71	208,71	208,71	208,71	208,71	208,85	209,12	186	204,78	204,78	204,78	204,78	204,78	204,91	204,78
127	208,64	208,64	208,64	208,64	208,64	208,71	208,99	187	204,72	204,72	204,72	204,72	204,72	204,78	204,72
128	208,57	208,57	208,57	208,57	208,57	208,57	208,85	188	204,66	204,66	204,66	204,66	204,66	204,66	204,66
129	208,51	208,51	208,51	208,51	208,51	208,51	208,71	189	204,59	204,59	204,59	204,59	204,59	204,59	204,59
130	208,44	208,44	208,44	208,44	208,44	208,44	208,57	190	204,53	204,53	204,53	204,53	204,53	204,53	204,53
131	208,37	208,37	208,37	208,37	208,37	208,37	208,44	191	204,47	204,47	204,47	204,47	204,47	204,47	204,47
132	208,37	208,37	208,37	208,37	208,37	208,37	208,44	191	204,47	204,47	204,47	204,47	204,47	204,47	204,47
133	208,23	208,23	208,23	208,23	208,23	208,23	208,23	193	204,35	204,35	204,41	204,35	204,35	204,35	204,35
134	208,17	208,17	208,17	208,17	208,17	208,17	208,17	194	204,28	204,28	204,28	204,28	204,28	204,28	204,28
135	208,10	208,10	208,10	208,10	208,10	208,10	208,10	195	204,22	204,22	204,22	204,22	204,22	204,22	204,22
136	208,03	208,03	208,03	208,03	208,03	208,03	208,03	196	204,16	204,16	204,16	204,16	204,16	204,16	204,16
137	207,96	207,96	207,96	207,96	207,96	207,96	207,96	197	204,10	204,10	204,10	204,10	204,10	204,10	204,10
138	207,90	207,90	207,90	207,90	207,90	207,90	207,90	198	204,04	204,04	204,04	204,04	204,04	204,04	204,04
139	207,83	207,83	207,83	207,83	207,83	207,83	207,83	199	203,98	203,98	203,98	203,98	203,98	203,98	203,98
140	207,76	207,76	207,76	207,76	207,76	207,76	207,76	200	203,91	204,04	203,91	203,91	204,22	203,91	203,91
141	207,69	207,69	207,69	207,69	207,69	207,69	207,69	201	203,85	203,91	203,85	203,85	204,10	203,85	203,85
142	207,63	207,63	207,63	207,63	207,63	207,63	207,63	202	203,79	203,79	203,79	203,79	203,98	203,79	203,79
143	207,56	207,56	207,56	207,56	207,56	207,56	207,56	203	203,73	203,73	203,73	203,73	203,85	203,73	203,73
144	207,56	207,49	207,63	207,49	207,49	207,49	207,49	204	203,73	203,67	203,67	203,67	203,67	203,73	203,67
145	207,43	207,43	207,49	207,43	207,43	207,43	207,43	205	203,61	203,61	203,61	203,61	203,61	203,61	203,61
146	207,36	207,36	207,36	207,36	207,36	207,36	207,36	206	203,55	203,55	203,55	203,55	203,55	203,55	203,55
147	207,29	207,29	207,29	207,29	207,29	207,29	207,29	207	203,49	203,49	203,49	203,49	203,49	203,49	203,49
148	207,23	207,23	207,23	207,23	207,23	207,23	207,23	208	203,43	203,43	203,43	203,43	203,43	203,43	203,43
149	207,16	207,16	207,16	207,16	207,16	207,16	207,16	209	203,37	203,37	203,37	203,37	203,37	203,37	203,37
150	207,10	207,10	207,10	207,36	207,10	207,10	207,10	210	203,31	203,31	203,31	203,55	203,31	203,31	203,31
151	207,03	207,03	207,03	207,23	207,03	207,03	207,03	211	203,25	203,25	203,25	203,43	203,25	203,25	203,25
152	206,96	206,96	206,96	207,10	206,96	206,96	206,96	212	203,19	203,19	203,19	203,31	203,19	203,19	203,19
153	206,90	206,90	206,90	206,96	206,90	206,90	206,90	213	203,13	203,13	203,13	203,19	203,13	203,13	203,13
154	206,83	206,83	206,83	206,83	206,83	206,83	206,83	214	203,07	203,07	203,07	203,07	203,07	203,07	203,07
155	206,77	206,77	206,77	206,77	206,77	206,77	206,77	215	203,01	203,01	203,01	203,01	203,01	203,01	203,01
156	206,77	206,70	206,70	206,70	206,70	206,70	206,70	216	203,01	202,95	203,07	202,95	202,95	202,95	202,95
157	206,64	206,64	206,64	206,64	206,64	206,64	206,64	217	202,89	202,89	202,95	202,89	202,89	202,89	202,89
158	206,57	206,57	206,57	206,57	206,57	206,57	206,57	218	202,83	202,83	202,83	202,83	202,83	202,83	202,83
159	206,51	206,51	206,51	206,51	206,51	206,51	206,51	219	202,77	202,77	202,77	202,77	202,77	202,77	202,77
160	206,44	206,57	206,44	206,44	206,77	206,44	206,44	220	202,71	202,83	202,71	202,71	202,71	202,71	202,71
161	206,37	206,44	206,37	206,37	206,64	206,37	206,37	221	202,65	202,71	202,65	202,65	202,65	202,65	202,65
162	206,31	206,31	206,31	206,31	206,51	206,31	206,31	222	202,59	202,59	202,59	202,59	202,59	202,59	202,59
163	206,25	206,25	206,25	206,25	206,37	206,25	206,25	223	202,53	202,53	202,53	202,53	202,53	202,53	202,53
164	206,18	206,18	206,18	206,18	206,25	206,18	206,18	224	202,47	202,47	202,47	202,47	202,47	202,47	202,47
165	206,12	206,12	206,12	206,12	206,12	206,12	206,12	225	202,41	202,41	202,41	202,41	202,41	202,41	202,41
166	206,05	206,05	206,05	206,05	206,05	206,05	206,05	226	202,35	202,35	202,35	202,35	202,35	202,35	202,35
167	205,99	205,99	205,99	205,99	205,99	205,99	205,99	227	202,29	202,29	202,29	202,29	202,29	202,29	202,29
168	205,99	205,92	206,05	205,92	205,92	205,92	205,92	228	202,29	202,23	202,23	202,23	202,23	202,23	202,23
169	205,86	205,86	205,92	205,86	205,86	205,86	205,86	229	202,18	202,18	202,18	202,18	202,18	202,18	202,18
170	205,79	205,79	205,79	205,79	205,79	205,79	205,79	230	202,12	202,12	202,12	202,12	202,12	202,12	203,13
171	205,73	205,73	205,73	205,73	205,73	205,73	205,73	231	202,06	202,06	202,06	202,06	202,06	202,06	203,01
172	205,67	205,67	205,67	205,67	205,67	205,67	205,67	232	202,00	202,00	202,00	202,00	202,00	202,00	202,89
173	205,60	205,60	205,60	205,60	205,60	205,60	205,60	233	201,94	201,94	201,94	201,94	201,94	201,94	202,77
174	205,54	205,54	205,54	205,54	205,54	205,54	205,54	234	201,88	201,88	201,88	201,88	201,88	201,88	202,65
175	205,48	205,48	205,48	205,48	205,48	205,48	205,48	235	201,82	201,82	201,82	201,82	201,82	201,82	202,53
176	205,41	205,41	205,41	205,41	205,41	205,41	205,41	236	201,77	201,77	201,77	201,77	201,77	201,77	202,41
177	205,35	205,35	205,35	205,35	205,35	205,35	205,35	237	201,71	201,71	201,71	201,71	201,71	201,71	202,29
178	205,28	205,28	205,28	205,28	205,28	205,28	205,28	238	201,65	201,65	201,65	201,65	201,65	201,65	202,18
179	205,22	205,22	205,22	205,22	205,22	205,22	205,22	239	201,59	201,59	201,59	201,59	201,59	201,59	202,06
180	205,22	205,28	205,16	205,41	205,16	205,67	205,16	240	201,59	201,65	201,65	201,77	201,82	202,00	201,94

Ek 17 Verilen Ara Sasyına Göre Değişen đrenme Performansı Grafiği

