



ÖĞRENME EĞRİSİ ANALİZİ VE ÖĞRENME MALİYETİ: YENİ İŞÇİ PERFORMANSININ İNCELENMESİ - HİPOTETİK BİR ÇALIŞMA

Murat KURLAR¹

Öz

Günümüz iş dünyasında, işletmelerin işe yeni alınan çalışanları hızlı ve etkili bir şekilde yetiştirmeleri son derece önemlidir. Bu bağlamda, öğrenme eğrisi analizi, işçilerin öğrenme süreçlerini daha iyi anlamak ve gelecekteki performanslarını tahmin etmek için değerli bilgiler sunmaktadır. Bu çalışma, işe yeni alınan işçilerin eğitim sürecindeki performansını değerlendirmek ve gelecekteki başarılarını tahmin etmek amacıyla öğrenme eğrisi analizini ele almaktadır. Bu çalışmada, işletmelerin yeni işçileri daha etkili bir şekilde yönetmelerine ve eğitim programlarını iyileştirmelerine yardımcı olmak için öğrenme eğrisi ve regresyon modelini stratejik bir şekilde nasıl uygulayabileceklerinin gösterilmesi amaçlanmaktadır. Bu çerçevede, iş dünyasında rekabet avantajı elde etmek ve uzun vadeli başarıyı güvence altına almak isteyen şirketler için öneriler sunulmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan verilerin hipotetik olmasından dolayı analizlerin gerçek dünya senaryolarına uygulanabilirliği üzerine odaklanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Öğrenme eğrisi analizi, Yeni işçi performansı, Maliyet etkinliği.

JEL Kodları: M40, M49.

LEARNING CURVE ANALYSIS AND THE COST OF LEARNING: EXAMINING NEW WORKER PERFORMANCE - A HYPOTHETICAL STUDY

Abstract

In today's business world, it is extremely important for companies to train newly hired employees quickly and effectively. In this context, learning curve analysis offers valuable information to better understand workers' learning processes and predict their future performance. This study addresses learning curve analysis in order to evaluate the performance of newly hired workers during the training process and predict their future success. This study aims to demonstrate how businesses can strategically apply the learning curve and regression model to help them manage new workers more effectively and improve their training programs. In this context, suggestions are offered for companies that want to gain a competitive advantage in the business world and secure long-term success. Additionally, since the data used in this study are hypothetical, the focus is on the applicability of the analyzes to real-world scenarios.

Keywords: Learning curve analysis, New worker performance, Cost efficiency.

JEL Codes: M40, M49.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Mersin Üniversitesi, muratkurlar@mersin.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3266-275X
Başvuru Tarihi (Received): 03.05.2024 **Kabul Tarihi** (Accepted): 02.09.2024

Giriş

Günümüzde pek çok sistem istenildiği gibi performans göstermemekte ve işletilmesi de uygun maliyetli olmamaktadır. Özellikle üretim sistemlerinin çoğu zaman tam kapasitenin altında çalışmasından dolayı verimlilik düşük ve üretilen ürün maliyeti yüksektir. Maliyet konusu ile ilgili olarak deneyimler, fabrikadaki bakım, işçilik, malzemeler ile ilgili maliyetlerin ve üretim firelerinden kaynaklanan maliyetlerin toplam üretim maliyetinin büyük bir kısmını kapsadığını göstermiştir (Wang ve Lee, 2001: 491). Teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte veri bilimi ve yapay zeka temelli analiz yöntemleri, iş dünyasında ve endüstride çeşitli alanlarda büyük bir etki yaratmaktadır. Bu bağlamda, özellikle üretim ve iş süreçlerinde verimliliği artırmak, maliyetleri düşürmek ve kaynakları daha etkili bir şekilde yönetmek amacıyla kullanılan öğrenme eğrisi ve regresyon modelleri, önemli bir araştırma alanını oluşturmaktadır. Üretim işletmeleri için üretim süreci ile ilgili sürekli iyileşme ve bu süreçteki maliyet etkinliği, rekabet avantajı sağlamak açısından önemlidir. Bu yüzden işletmelerin üretim süreçlerini sürekli olarak gözden geçirmeleri ve iyileştirmeleri gerekmektedir.

Bu çalışmanın veri seti, bir üretim işletmesinin üretim sürecindeki deneyimlerini ve iyileşme sürecini yansıtmak amacıyla hipotetik olarak oluşturulmuştur. Veri seti, farklı deneme sayılarında gerçekleştirilen üretim sürelerini ve bu sürelerin mevcut ve yeni işçi koşullarında nasıl değiştiğini göstermektedir. Bu varsayımsal veri seti, gerçek bir işletmenin üretim sürecine benzer bir senaryoyu yansıtmak üzere tasarlanmıştır. Üretim işletmelerinin uygulayabilmesi için veri seti çeşitli analizler ve modelleme teknikleri ile kullanılabilir hale getirilmiştir. Özellikle, öğrenme eğrisi analizi, işletmenin üretim sürecindeki iyileşmeyi görselleştirmek ve anlamak için önemli bir analizdir. Bu analiz, bir üretim işletmesinin üretim süreçlerinin nasıl optimize edilebileceği ve maliyetlerinin nasıl azaltılabileceği konusunda değerli bilgiler sağlayabilir.

Eğrisel regresyon modeli, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki matematiksel ilişkiyi ifade eden eğriler oluşturarak veri setlerindeki ilişkilerin anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu model, veri setlerindeki değişkenliği ve ilişkileri açıklamak için kullanılmakta olup özellikle iş süreçlerindeki üretim verilerini analiz etmek ve gelecekteki performansı tahmin etmek amacıyla eğrisel regresyon modellerinin kullanımı, karar alıcılar için stratejik bir araçtır. Bu çalışmada, öğrenme eğrisinin ve eğrisel regresyon modelinin üretim süreçlerinde nasıl kullanılabileceği, avantajları ve sınırlamaları detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. Ayrıca, öğrenme eğrisi analizi ve eğrisel regresyon modelinin kullanıldığı bir örnek vakaya odaklanarak gerçek dünya uygulamalarının potansiyeli vurgulanmaktadır.

1. Literatür Taraması

Yaparak öğrenme ve üretim performansı üzerine literatür oldukça geniştir. En yaygın yaklaşım, kümülatif üretim çıktısı ile direkt işçilik maliyetleri arasındaki ilişkinin incelenmesidir. İlk incelemelerden biri olan ve Wright (1936) tarafından yapılan çalışmada, kümülatif üretim çıktısı iki katına çıktığında, hava aracı üretimine ilişkin direkt işçilik maliyetlerinin %20 düştüğü tespit edilmiştir (Macher ve Mowery, 2003: 393).

Hartley (1965) tarafından yapılan çalışma, öğrenme eğrisinin kapasite kavramı üzerindeki etkilerini göstermektedir. Çalışmada öğrenmenin, belirli bir doğrudan işgücü ve tesis ile bir hava aracının üretim çıktısının zaman birimi başına artırabileceği ifade edilmiştir. Şirketin haftada 1000 işçi saatini doğrudan işgücü girişi olarak kullandığı varsayıldığında, öğrenme eğrisini kullanarak üretimde ilk haftada bir uçak üretileceği; ancak sekiz uçak üretildiğinde, aynı işgücünün neredeyse iki uçak üretebileceği örnek olarak verilmiştir. Dolayısıyla, bir hava aracı işletmesi için kapasite, belirli bir uçağın kümülatif çıktısı arttıkça zaman periyodu başına genişlemeye devam eden esnek bir kavram olacağı ve öğrenmenin öneminin, ABD Boeing Aircraft Company tarafından 1954 yılına ilişkin raporda açıklandığı belirtilmiştir. Bu açıklamada, B-47 uçağının ilk üretim modeline kıyasla, bir pound hava aracı ağırlığı için gereken işçilik saatlerinde önemli bir azalma olduğu ve

öğrenmenin teknolojik ilerlemelerin sürekli takip edildiği Uçak Endüstrisi'nde belirgin olarak görüldüğü ifade edilmiştir.

Klenow (1998) çalışmasında, öğrenmenin her üretim teknolojisine özgü olduğu ve azalan üretkenlik kazanımlarına yol açtığı kanıtlarından yola çıkarak, bir işletmenin işlem teknolojisini ne zaman güncelleyeceğine dair bir model oluşturmaktadır. Klenow tarafından yapılan çalışmada, modelin üç önemli sonucuna vurgu yapılmaktadır. İlk olarak, işletmenin teknolojisini güncelleme durumunda üretkenliğin endojen olarak düştüğü, ikinci olarak, talebin yüksek olduğu dönemlerde işletmelerin sahip olduğu teknolojiyi güncelleme olasılığının talebin düşük olduğu dönemlerden daha yüksek olduğu ve üçüncü olarak, işletme üretkenliği ile işgücü girdisi arasındaki korelasyonun düşük olduğu vurgulanmaktadır. Çalışmada ayrıca üretkenlik göreceli olarak düşük olduğunda öğrenme hızının yüksek olacağı ve üretkenlik göreceli olarak yüksek olduğunda öğrenme hızının düşük olacağı ifade edilmektedir. Çalışmanın sonucunda, modelin, zaman ile üretkenlik arasındaki korelasyonu, verilerde gözlemlenen seviyeye doğru düşüren bir mekanizmaya sahip olduğu ifade edilmektedir.

Mahesh ve Woll (2007) tarafından yapılan çalışmada, yüksek teknolojiye sahip bir ürünün üretiminde kullanılan ekipmanın karmaşıklığının ve eğitim maliyetlerinin her yıl arttığı ifade edilmektedir. Çalışmada, Intel Corporation'daki çalışma ekibinin, 12 günlük ekipman eğitimini, 5 günlük sınıf deneyimini, 3 saatlik web tabanlı eğitimi ve önleyici bakımı içeren bir karma öğrenme süreci açıklanmaktadır. Uygulamanın sonucunda, teknisyenlerin fabrika dışında geçirdikleri sürenin % 60 oranında azaldığı, fayda maliyet oranının 2,27 ve yatırımın getiri oranının %157 arttığı tespit edildiği belirtilmektedir. Çalışmanın sonucunda, karma öğrenmenin Intel Corporation'daki ekipman eğitimine destek sağlamak için yeterliliğe ulaşma süresi, yatırımın getiri oranı ve maliyet fayda analizleri açısından uygulanabilir ve uygun maliyetli bir çözüm olduğu ifade edilmektedir.

Çetiner ve Erol (2008) tarafından yapılan çalışmada, öğrenme kavramı, öğrenmenin maliyetler üzerindeki etkisi ve maliyet azaltma teknikleri incelenmekte ve çalışmanın ampirik kısmında işletmeye yapılan ilk ziyarette, çıraklık ve kalfalık eğitimini tamamlamış ve ustalık becerisine sahip bir işçinin üretimi gözlemlenerek maliyetlerin doğru bir şekilde belirlenmesi sağlanmıştır. Maliyetlerdeki 20 TL'lik düşüşün, işçilik maliyetlerindeki azalmadan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, öğrenme ve deneyim için katlanılan maliyetlerin toplam maliyetleri düşürmede olumlu bir rol oynadığı ve bir maliyet azaltma aracı olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Güneş (2010), öğrenme eğrilerinin teorik bir çerçeve içinde analiz edilmesine ve maliyetlerin tahmin edilmesine odaklanmaktadır. Üretimdeki öğrenme etkisi ve maliyet tahmini, çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Çalışmada, üretim miktarı iki katına çıktığında üretim zamanında belirli bir oranda azalma olacağı varsayımına dayanan öğrenme eğrileri, yönetim kararları açısından temel bir felsefe olarak ele alınmaktadır. Ancak, bu durumun standartlaşmış üretim süreçleri ve teknolojik yeniliklerin olmadığı durumlarda geçerli olduğu ifade edilmektedir. Çalışmada, teknolojik gelişmelere uyum sağlayan işletmelerin yüksek teknolojiye dayalı üretim yapısına sahip olması durumunda yeni öğrenme fenomeninin üretim süreçlerinde ortaya çıkabileceği ve bu durumun da öğrenme eğrilerinin önemini daha da artıracığı belirtilmektedir. Çalışmada, öğrenme eğrileri literatüründe kullanılan parametre tahmini yöntemleri ve maliyet fonksiyonları incelenmiş ve bu yöntemlerin kar planlaması, maliyet tahminleri ve fiyatlandırma kararları gibi birçok işletme kararında kullanılabileceği ifade edilmektedir.

Atıcı (2021) tarafından yapılan çalışmada, farklı üretim miktarlarının üretim süresine etkisi, literatürde yer alan öğrenme eğrisi modelleriyle incelenmektedir. Çalışma kapsamında literatürde önerilen 13 farklı öğrenme modelinin karşılaştırılması için 20 farklı işin standart zaman bilgisinin rastgele oluşturulduğu belirtilmektedir. İncelenen öğrenme modellerinin tamamı, üretim

miktarının artmasıyla birlikte üretim süresinin azaldığını öne sürmektedir. Çalışmada özellikle kübik öğrenme eğrisinin ve Genel-Pozisyon-Bağımlı öğrenme eğrisinin, üretim miktarı arttıkça üretim süresinin sifıra yaklaşacağını öne sürdüğü ifade edilmektedir.

Heng (2010), Singapur'daki 20 imalat endüstrisinde öğrenme eğrisinin etkisini deneysel olarak test etmeyi ve Güney Kore ile Japonya'daki on bir endüstride öğrenme eğrilerini tahmin ederek bu etkiyi karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Çalışmada, Singapur'daki imalat endüstrileri için tahmin edilen öğrenme eğrisinin sonuçları tartışılmaktadır. Ayrıca Güney Kore ve Japonya'daki endüstrilerin öğrenme eğrileri de sunulmaktadır. Singapur'da resmi bir endüstri politikası olmamasına rağmen ekonominin yabancı sermaye ve rekabetçilik prensipleri üzerine kurulduğu belirtilmektedir. Singapur'daki imalat endüstrilerine ilişkin öğrenme eğrileri, Güney Kore ve Japonya'dakilerle karşılaştırıldığında öğrenmenin önemini vurgulamaktadır. Geç katılanların genellikle kısa yolları kullanmadıkları ve daha dik öğrenme eğrilerine sahip oldukları ifade edilmektedir. Ayrıca çalışmada teknik bilgilerin aktarılabileceği ancak operasyonel becerilerin pratik deneyimle kazanılabileceği belirtilmektedir. Kültürel faktörlerin ve toplumsal organizasyon yapısının öğrenme sürecini etkileyebileceği ve Japon işçilerinin disiplinli karaktere sahip olmalarının öğrenme üzerinde olumlu bir etkisi olabileceği ifade edilmektedir.

Aydın ve Aksoy (2014) tarafından yapılan çalışmada, işletme ömrünü uzatma çabalarıyla öğrenmenin, bir kültür haline gelerek yenilikler ve iyileştirmeler ortaya koyma sürecini besleyen bir mekanizma haline dönüşmesi arasındaki ilişkiye odaklanılmaktadır. Bu değerlendirmelerin, öğrenme sürecini açıklamak için geliştirilen öğrenme eğrileri yaklaşımına dayandığı belirtilmektedir. Çalışmada öğrenme eğrileri yaklaşımı ile bir işin sürekli tekrar edilmesinin öğrenme hızını artırarak emeğin marjinal verimliliğini artırıcı yani ortalama maliyetleri azaltıcı bir etki yarattığına vurgu yapılmaktadır. Bu yaklaşımın, iktisat teorisindeki pozitif ölçek ekonomileri kavramına karşılık geldiği ancak bazı farklılıklar içerebileceği ifade edilmektedir.

2. Öğrenme Eğrileri

Öğrenme eğrileri ilk olarak Curtis-Wright Corp. Şirketi'nden T.P. Wright tarafından 1936 yılında hazırlanan raporda kullanılmış olup bu raporda belirli bir uçağın yapımında direkt işçilik maliyetlerinin öğrenme ile nasıl azaldığı anlatılmaktadır. Bu teori daha sonra diğer uçak üreticileri tarafından da doğrulanmıştır. İlk uçağı üretmek için gereken süre ne olursa olsun öğrenme eğrilerinin çeşitli hava aracı kategorileri için geçerli olduğu belirtilmiştir (örneğin, jet avcı uçaklarına karşı yolcu uçakları ve bombardıman uçakları). Öğrenme eğrileri o zamandan beri sadece işçiliğe değil, aynı zamanda malzeme ve satın alınan diğer bileşenlerin maliyetlerine de uygulanmaktadır. Öğrenme eğrisinin gücü o kadar büyüktür ki istihdam seviyeleri, maliyetler, kapasite ve fiyatlandırma ile ilgili birçok stratejik kararda önemli bir rol oynamaktadır (Venkataraman ve Pinto, 2016: 864). Öğrenme eğrisi fikri, tekrarlanan görevlerin yerine getirilmesinin gittikçe daha kolay ve hatta daha da hızlı hale geldiği gözlemlerden ortaya çıkmıştır. Bir faaliyet veya faaliyetler grubu tekrarlandığında, zaman ve maliyette azalmaya ve sonuç olarak daha iyi kaliteye ve gerçekleştirilen faaliyetlerin performansında iyileşmeye yol açabilir.

Öğrenme eğrisi analizi, bir modelin eğitim seti ve test seti üzerindeki performansının, veri seti boyutuna veya eğitim iterasyonlarına göre nasıl değiştiğini gösteren bir grafik sunmaktadır. Bu analiz, modelin aşırı uyum (overfitting) veya eksik uyum (underfitting) eğilimlerini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Dolayısıyla, öğrenme eğrisi analizi, modelin genelleme yeteneğini değerlendirmek ve iyileştirmek için kritik bir öneme sahiptir (Viering ve Loog, 2022: 7799). Öğrenme eğrisi ilişkisi genellikle log-lineer veya sabit yüzde modeli olarak tanımlanan bir güç fonksiyonu ile modellenmektedir. Log-lineer tanımı kullanılmaktadır çünkü güç fonksiyonu kolayca log tabanlı verileri kullanan lineer bir modele dönüştürülebilir. Aşağıdaki öğrenme gücü fonksiyonu, üretim hacmi geometrik olarak her arttığında çalışma saatlerinin sistematik olarak sabit bir yüzde oranında azaldığını kabul etmektedir.

$$(A, ya da I_n) = ax^b \quad (1)$$

Bağımlı değişkenin seçimi, kümülatif ortalama zaman öğrenme modeli (A) veya bireysel birim zaman öğrenme modeli (I_n) seçilip seçilmediğine bağlıdır (Argote ve Epple, 1990: 920).

Bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler aşağıda listelenmiştir.

A = x birim için ortalama kümülatif iş saatleri,

I_n = Sonucu birimi üretmek için gereken iş saatlerinin sayısı,

a = İlk birimi üretmek için gereken iş saatleri,

x = Üretilen birimlerin kümülatif sayısı,

b = Her zaman negatif olan öğrenme üssü.

Negatif öğrenme üssü b, öğrenme oranını temsil eden, saatlerdeki sabit yüzde azalmayı ifade eden r ve üretimdeki faktör artışını (genellikle 2'ye göre) temsil eden f olmak üzere (log r)/(log f) ile eşittir.

Öğrenme güç eğrisinin logaritmik dönüşümü şu şekilde yapılmaktadır.

$$\text{Log}(A, ya da I_n) = \text{Log}(ax^b) = \text{Log}(a) + \text{Log}(x^b) = \text{Log}(a) + b \text{Log}(x) \quad (2)$$

Öğrenme güç eğrisi, Log (A) veya Log (I_n)'in bağımlı değişken olduğu, Log (a)'nın y-kesidi, b'nin eğim ve Log (x)'in bağımsız değişken olduğu bir doğrusal denkleme dönüştürülür. Bu kuvvet fonksiyonunun logaritmik dönüşümü, eğrisel verilerin kolayca analiz edilemediği durumlarda faydalı olmaktadır. Veri analizi yapıldığında, birçok yönetim ve maliyet muhasebesi ders kitabı, eğrisel güç fonksiyonunun logaritmik dönüşümünü log-lineer bir fonksiyona çevirmektedir. Bu dönüşüm, bilinen doğrusal regresyon tekniklerinin kullanılmasını sağlamaktadır. Ancak günümüzde elektronik tabloların gelişmiş istatistiksel yetenekleri sayesinde öğrenciler, öğrenme eğrilerini modellemek için orijinal eğrisel verilere doğrudan erişebilmektedir. Bu da eğrisel veri analizini, maliyet davranışının incelenmesinde kullanılacak bir başka araç haline getirmektedir (Togo, 2001: 211). Doğrusal olmayan regresyon analizi veya kısaca eğrisel regresyon analizi, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişki, negatif ivmeli (içbükey) veya pozitif ivmeli (dışbükey) olduğunda eğrisellik ortaya çıkmaktadır (Ganzach, 1997: 236).

Makine yoğun üretimde, öğrenme olgusu nadiren manuel bir görevin doğrudan emekle öğrenilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu olgu, genellikle çeşitli doğrudan işgücü, dolaylı işgücü ve teknik personelin entegre bir adaptasyon çabasıyla ortaya çıkmakta ve esas olarak manuel öğrenmeden ziyade bilişsel öğrenmeye dayanmaktadır. Mühendisler, süpervizörler, makine operatörleri, bakım görevlileri, kalite kontrol personeli ve diğer dolaylı işgücü çalışanları, bir üretim sürecinin verimliliğini artırmak için önemli katkılarda bulunabilirler (Baloff, 1966: 277).

3. Veri Seti ve Metodoloji

Bu çalışmada kullanılan veri seti, bir üretim işletmesinde gerçekleştirilen hipotetik üretim süreçlerine ait bilgileri içermektedir. Tablo 1'de yer alan veri seti, farklı üretim dönemlerinde üretilen masaların sayısını (X), standart üretim sürelerini (Y), yeni işçilerin üretim sürelerini (Z), standart maliyetleri, yeni işçi maliyetlerini ve toplam maliyetleri içermektedir. Bu hipotetik veri seti, işletmenin üretim süreçlerindeki değişimlerini ve maliyet etkinliğini analiz etmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, öğrenme eğrisi analizi ve eğrisel regresyon modeli kullanılarak üretim süreçlerindeki iyileşme ve maliyet etkinliği incelenmektedir. Öncelikle veri seti üzerinde öğrenme eğrisi analizi gerçekleştirilmektedir. Öğrenme eğrisi analizi, üretim süreçlerindeki deneyim artışının, üretim sürelerini ve maliyetlerini nasıl etkilediğini belirlemek için

kullanılmaktadır. Daha sonra, eğrisel regresyon modeli oluşturulmuş ve bu model üretim süreçlerindeki değişimi matematiksel olarak ifade etmek ve üretim sürelerinin ve maliyetlerinin üretilen birim sayısına bağlı olarak nasıl değiştiğini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu veri seti, işletmelerin üretim süreçlerindeki iyileşmeyi ve maliyet etkinliğini değerlendirmelerine yardımcı olmak amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca, işletmelere, üretim süreçlerindeki deneyimi ve öğrenmeyi dikkate alarak stratejik kararlar almalarına fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Bu analizlerin gerçekleştirilmesinde Python programlama dili kullanılmıştır.

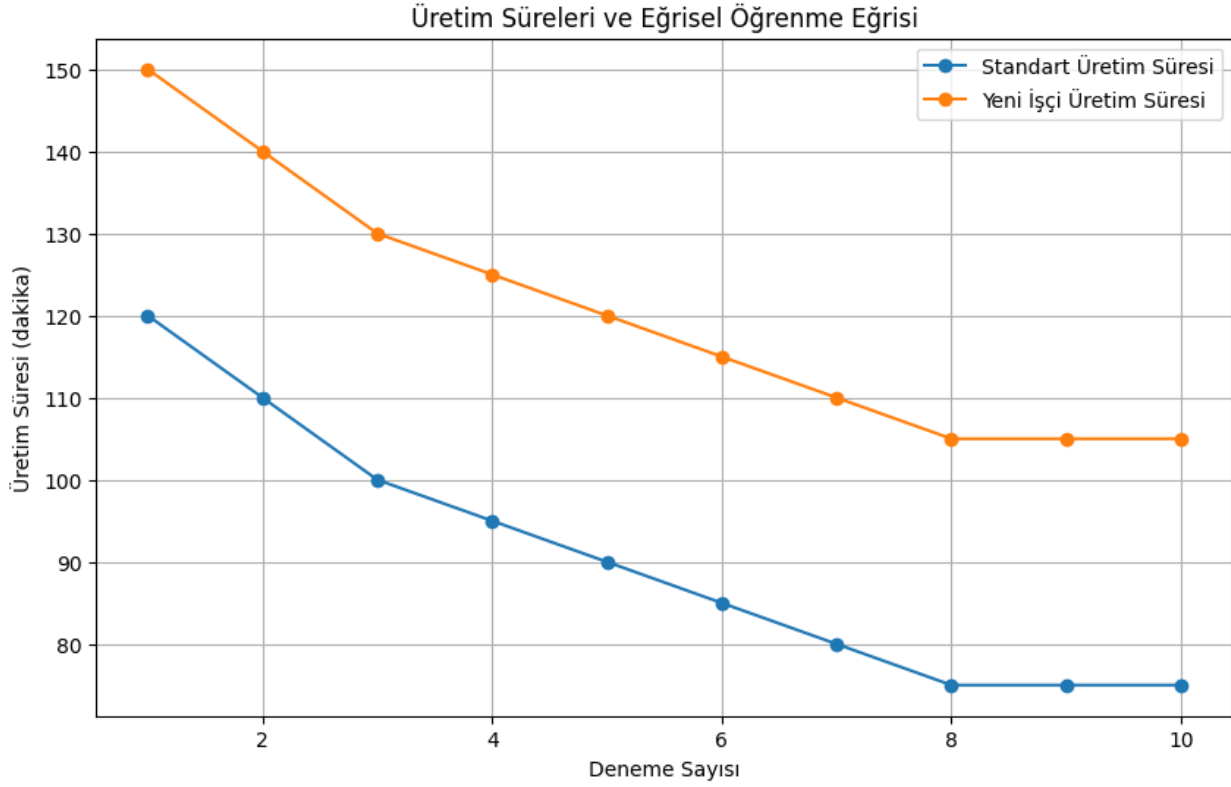
Tablo 1: Hipotetik Veri Seti

Üretilen Masa Sayısı (X)	Standart Üretim Süresi (Y)	Yeni İşçinin Üretim Süresi (Z)	Standart Maliyet (\$)	Yeni İşçi Maliyet (\$)	Toplam Maliyet (\$)	Birim Maliyet (\$)	Kümülatif Üretim Sayısı
1	120 dakika	150 dakika	50	60	50	50	1
2	110 dakika	140 dakika	45	55	100	50	3
3	100 dakika	130 dakika	40	50	150	50	6
4	95 dakika	125 dakika	38	48	190	47,5	10
5	90 dakika	120 dakika	35	45	225	45	15
6	85 dakika	115 dakika	33	43	258	43	21
7	80 dakika	110 dakika	30	40	290	41,43	28
8	75 dakika	105 dakika	28	38	318	39,75	36
9	75 dakika	105 dakika	28	38	346	38,44	45
10	75 dakika	105 dakika	28	38	374	37,4	55

4. Analiz ve Bulgular

Grafik 1'de yer alan üretim süreleri ve eğrisel öğrenme eğrisi incelendiğinde, deneme sayısı arttıkça, standart üretim sürelerinde ve yeni işçinin üretim sürelerinde azalma gözlemlenmektedir. Dolayısıyla bu durum, işletmenin üretkenliğinin artmasına katkı sağlayabilir. Ayrıca, deneme sayısı arttıkça toplam maliyetlerin ve birim maliyetlerin azalması, işletmenin maliyet etkinliğinin artmasını ifade etmektedir. Her iki eğrinin de deneme sayısına bağlı olarak azalması, işletmedeki üretim sürelerinin zamanla azalmasını göstermektedir. Standart üretim süreleri ile yeni işçinin üretim süreleri arasında paralel bir azalma eğilimi gözlemlenmektedir. Deneme sayısı arttıkça, standart üretim sürelerindeki azalmanın daha belirgin hale geldiği ve yeni işçinin üretim sürelerinde de benzer bir azalma eğiliminin olduğu görülmektedir. Başlangıç noktasına göre, standart üretim sürelerindeki azalmanın daha belirgin olması, işletmenin başlangıçta daha fazla iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu ifade etmektedir.

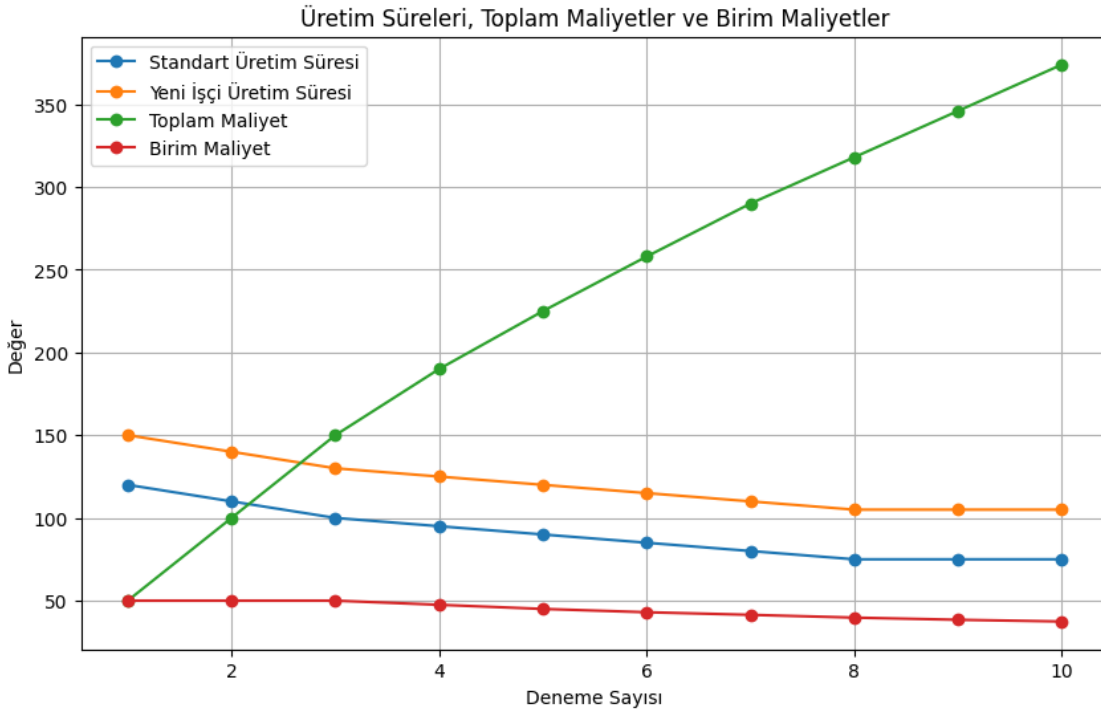
Grafik 1'de, deneme sayısı arttıkça üretim sürelerinin hızla düştüğü ancak bu düşüş hızının deneme sayısı arttıkça azaldığı görülmektedir. Bu durum, yeni işçinin başlangıçta hızlı bir şekilde öğrendiğini ancak daha sonra daha yavaş bir hızda iyileşme gösterdiği anlamına gelmektedir.

Grafik 1. Üretim Süreleri ve Öğrenme Eğrisi

Grafik 2 incelendiğinde, mavi ve turuncu renkteki çizgiler standart üretim süresini ve yeni işçi üretim süresini temsil etmektedir. Her iki sürenin de deneme sayısı arttıkça azaldığı görülmektedir. Bu durum, işletmenin üretim sürecinde eğrisel öğrenme eğrisinin olduğunu ortaya koymaktadır. İlk denemede (1. nokta), standart üretim süresi 120 dakika ve yeni işçi üretim süresi 150 dakikadır. Ancak son denemede (10. nokta), standart üretim süresi yaklaşık 75 dakika ve yeni işçi üretim süresi yaklaşık 105 dakika olarak gerçekleşmiştir.

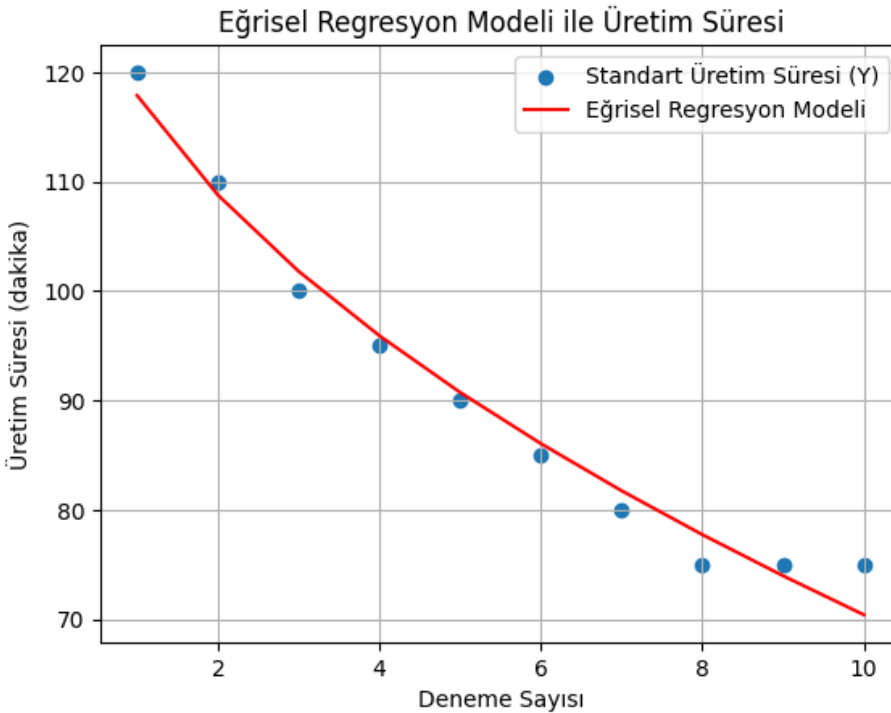
Yeşil ve kırmızı renkteki çizgiler toplam maliyetleri ve birim maliyetleri temsil etmektedir. Deneme sayısı arttıkça, her iki maliyetin de azaldığı belirlenmiştir. Bu durum da işletmenin maliyet etkinliğinin artması anlamına gelmektedir. İlk denemede (1. nokta), toplam ve birim maliyet 50 birimdir. Ancak son denemede (10. nokta), toplam maliyet yaklaşık 374 birime, birim maliyet ise yaklaşık 37,4 birime azalmıştır. Deneme süresi arttıkça, toplam maliyetlerin ve birim maliyetlerin değişim hızının azalacağı dolayısıyla işletmenin üretim sürecindeki iyileşmenin de zamanla yavaşlayacağı ifade edilebilir. İlk denemelerde değişim hızı daha yüksek olup daha sonraki denemelerde azalmaktadır. Örneğin, toplam maliyetlerin türevi, ilk denemelerde daha dik bir eğim gösterirken, daha sonraki denemelerde eğim daha düşük olarak gerçekleşmiştir.

Grafik 2. Üretim Süreleri, Toplam Maliyetler ve Birim Maliyetler



Grafik 3 incelendiğinde, standart üretim süresi (120 dakika) ile yeni işçi üretim süresi (150 dakika) arasındaki farkın deneme sayısının artmasıyla azaldığı görülmektedir. Standart üretim süresi, deneme sayısı arttıkça azalan bir eğilim göstermektedir. Bu durum da yeni işçilerin üretim sürecine hızlı adapte olduğunu ve işletmenin performansının arttığını ortaya koymaktadır. Grafik 3'te görülen bu eğilimler, işletmenin üretim sürecinde öğrenme eğrisinin olduğunu ve zamanla performansının arttığını göstermektedir.

Grafik 3. Eğrisel Regresyon Modeli ile Standart Üretim Süresi



Eğrisel regresyon modelinin denklemi şu şekildedir:

$$Y = -21,95\sqrt{x} + 139,83 \quad (3)$$

Bu denklemde, Y, standart üretim süresini; X, deneme sayısını (üretilen birimlerin kümülatif sayısı) temsil etmektedir. -21,95 ve 139,83 katsayıları ise modelin parametreleridir.

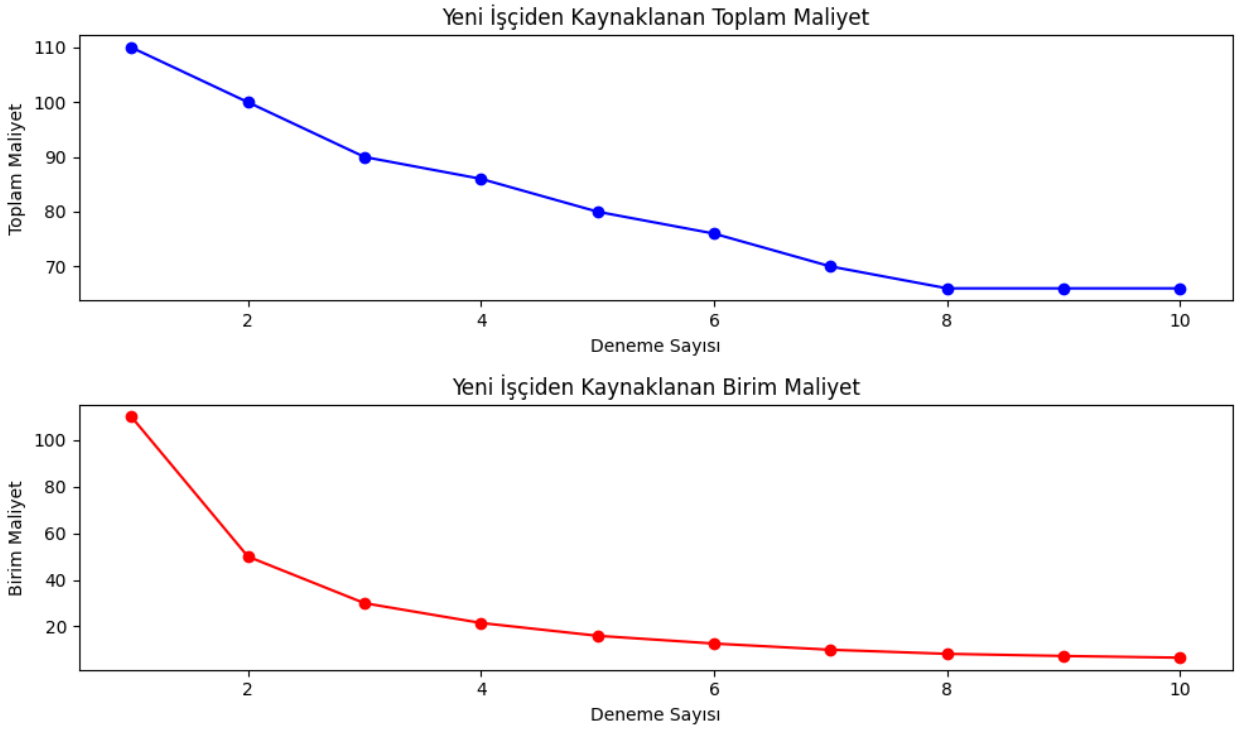
Bu eğrisel regresyon denklemini, bağımlı değişken Y ile bağımsız değişken X arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Denklem, X değerlerinin kareköküne dayalı bir eğriyi ifade etmektedir. Bağımsız değişkenin karekökü alınarak oluşturulan eğrisel regresyon modeli, veri setindeki doğrusal olmayan ilişkinin daha iyi açıklanması için kullanılmaktadır. Genellikle, bağımsız değişkenin doğrusal bir etkisinin olmadığı veya bağımlı değişken üzerindeki etkisinin sabit bir oranla değil, değişken bir oranla arttığı durumlarda bu yöntem tercih edilmektedir. Bu durumda, veri setindeki bağımsız değişken olan X, üretim birimlerinin kümülatif sayısını temsil etmektedir. Bazı durumlarda, bu tür verilerde artan birim sayısıyla birlikte etkinin sabit bir oranda artmadığı gözlemlenir. Yani, her bir birim artışının etkisi giderek azalır. Bu durumda, karekök alınması, değişkenin etkisinin bu değişen oranını daha iyi temsil edebilir. Bu nedenle, karekök alma gibi dönüşümler, veri setindeki doğrusal olmayan ilişkileri daha iyi modellemek için kullanılır. Eğrisel regresyon modelinde bağımsız değişkenin karekökü alınması da bu amaca hizmet etmektedir. Modelin açıklaması şu şekildedir:

Sabit terim (*b*)(139,83), deneme sayısı (*X*) sıfır olduğunda, yani üretim olmadığında, standart üretim süresinin yaklaşık olarak 140 dakika olduğu anlamına gelmektedir. Çoğunlukla yeni işçilerin deneyim eksikliğinden dolayı bu sürenin daha uzun bir üretim süresi olması beklenir.

Eğim terimi (*a*) (-21,95), her bir birimin üretilmesiyle standart üretim süresindeki değişimi ifade etmektedir. Negatif bir eğim, her bir birimin üretilmesiyle standart üretim süresinin azalması anlamına gelmektedir. Denklemde yer alan -21,95 değeri, üretilen birimlerin kümülatif sayısının karekökü ile çarpıldıktan sonra standart üretim süresindeki değişimi temsil etmektedir. Bu değişim de işçilerin deneyim kazandıkça, her bir birimin üretim süresinin daha hızlı bir şekilde azaldığını ifade etmektedir. Başlangıçta daha uzun üretim süreleri beklenirken, üretilen birimlerin sayısı arttıkça üretim süresinin azaldığı görülebilir.

Grafik 4'te yeni işçiden kaynaklanan toplam ve birim maliyet grafikleri yer almaktadır. Grafik 4 incelendiğinde, ilk denemeden başlayarak, yeni işçinin kullanılmasıyla toplam maliyetler ve birim maliyetler sürekli olarak artmaktadır. Yeni işçinin işletme maliyetlerini artırdığını ve başlangıçta beklenen maliyet avantajının olmadığını göstermektedir. Ancak, deneme sayısı arttıkça, toplam maliyet ve birim maliyet artış hızı azalmaktadır. Bu durum da yeni işçinin getirdiği artışın başlangıçta yüksek olduğunu, ancak zamanla azaldığını ifade etmektedir. Grafik 4'te yeni işçinin çalışmasından kaynaklanan artışın başlangıçta yüksek olduğunu, ancak zamanla azaldığını ve belirli bir noktadan sonra toplam ve birim maliyetlerdeki artışın neredeyse sabit hale geldiği görülmektedir.

Grafik 4. Yeni İşçiden Kaynaklanan Toplam ve Birim Maliyet



5. Sonuç

Bu çalışma, bir üretim işletmesindeki imalat sürecinin öğrenme eğrisi ile şekillendirilebileceğini, hipotetik veriler sonucunda elde edilen bulgular ise işletmenin üretim sürecindeki iyileşmenin ve maliyet etkinliğinin zamanla arttığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla işletmenin rekabet gücünü artırmak için önemli bir fırsat sunmaktadır. Özellikle, yeni işçilerin veya makinelerin hızlı bir şekilde adapte olması ve üretim sürecinin optimize edilmesi, işletmenin başarısı için son derece önemlidir. Çalışmada elde edilen bulgular, öğrenme eğrisi analizi ile işletmenin üretim sürecindeki deneyimin iyileşme eğilimi gösterdiğini açıkça ortaya koymaktadır. Başlangıçta yüksek olan standart üretim süreleri, deneyim arttıkça ve işçiler/makineler daha verimli hale geldikçe azalmaktadır. Bu durum, işletmenin süreçlerini optimize etme ve maliyetlerini azaltma potansiyeline işaret etmektedir. Yapılan analiz sonuçları, literatürdeki çalışmalarla birlikte ele alındığında, işletmenin öğrenme eğrisi etkisinin önemli olduğunu ve sürekli iyileşme sağlayarak rekabet avantajı elde edebileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca regresyon modeli, veri setindeki deneyim ve üretim süreleri arasındaki ilişkinin analiz edilmesine yardımcı olmaktadır. Model, deneyimin artmasıyla birlikte üretim sürelerinin azaldığını açıkça göstermektedir. Bu bilgi, işletmenin gelecekteki performansını tahmin etmek ve iyileştirme stratejilerini geliştirmek için önemlidir.

Sonuç olarak, işletmelerin sürekli iyileşme ve maliyet etkinliği konularında personel eğitimine önem vermesi gerekmektedir. İşçinin verimliliğinin artırılması ve maliyet azaltma stratejilerinin uygulanması, işletmenin rekabet avantajını artırabilir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, öğrenme eğrisinin daha detaylı analizleri yapılabilir ve belirli faktörlerin üretim sürecine etkisi araştırılabilir. Otomasyon ve makine kullanımlarından dolayı işçilerin üretimdeki süreleri daha kısa; işçi başına düşen standart üretim maliyetleri ve birim maliyetleri de genellikle daha az olan teknoloji yoğun bir üretim işletmesi örnek olarak kullanılabilir.

Kaynakça

- Atıcı, U. (2021). Öğrenme eğrilerinin karşılaştırılması. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(1), 119-129.
- Argote, L. ve Epple, D. (1990). Learning curves in manufacturing. *Science*, 247(4945), 920-924.
- Aydın, M. K. ve Aksoy, Ö. (2014). Öğrenme'nin kısa dönem'koşulları altında maliyetleri azaltıcı etkisi üzerine bir değerlendirme. *Bilgi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2, 1-15.
- Baloff, N. (1966). The learning curve--some controversial issues. *The Journal of Industrial Economics*, 14(3), 275-282.
- Çetiner, E. ve Mikail, E. R. O. L. (2008). Öğrenme ve öğrenmenin maliyet düşürmede araç olarak kullanılması ve amprik bir çalışma. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 6(1), 121-128.
- Ganzach, Y. (1997). Misleading interaction and curvilinear terms. *Psychological Methods*, 2(3), 235-247.
- Güneş, R. (2010). Öğrenme faktörünün üretim maliyetleri üzerine etkisinin genel bir değerlendirmesi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 17(1-2), 275-289.
- Hartley, K. (1965). The learning curve and its application to the aircraft industry. *The Journal of Industrial Economics*, 13(21), 22-128.
- Heng, T. M. (2010). Learning curves & productivity in Singapore manufacturing industries. In *Second Annual Conference of the Academic Network for Development in Asia (ANDA)* (pp. 8-10).
- Klenow, P. J. (1998). Learning curves and the cyclical behavior of manufacturing industries. *Review of Economic Dynamics*, 1(2), 531-550.
- Macher, J. T., & Mowery, D. C. (2003). "Managing" learning by doing: an empirical study in semiconductor manufacturing. *Journal of Product Innovation Management*, 20(5), 391-410.
- Mahesh, V. ve Woll, C. (2007). Blended learning in high tech manufacturing: A case study of cost benefits and production efficiency. *Journal of Asynchronous Learning Networks*, 11(2), 43-60.
- Togo, D. F. (2001). A curvilinear approach to teaching learning effects for cost estimation. *Journal of Accounting Education*. 19(3), 211-223.
- Venkataraman, Ray R., and Jeffrey K. Pinto. (2016). Operations management: Managing global supply chains. Canada: Sage Publications.
- Viering, T., & Loog, M. (2022). The shape of learning curves: a review. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 45(6), 7799-7819.
- Wang, F. K., & Lee, W. (2001). Learning curve analysis in total productive maintenance. *Omega*, 29(6), 491-499.