



Fason Üretim Planlamada Doğrusal Programlamanın Kullanılmasına Yönelik Bir Çalışma: Otomotiv Yan Sanayi Örneği



A Study on the Use of Linear Programming in Contract Manufacturing Planning: Example of Automotive Sub-Industry

Remzi BAŞAR*

Yücel EYÜPOĞLU**

DOI: <https://doi.org/10.25204/iktisad.1293104>

Öz

Makale Bilgileri

Makale Türü:

Araştırma
Makalesi

Geliş Tarihi:

05.05.2023

Kabul Tarihi:

16.06.2023

© 2023 İKTİSAD
Tüm hakları
saklıdır.



Bu çalışmada, büyük çaplı üretim yapan bir otomotiv yan sanayi işletmesi için kurgulanan matematiksel model üzerinde, işletmenin üretim yapabileceği optimum üretim miktarları ve maksimum kâr hesaplanmaktadır. Yürütülen çalışma ile işletmenin fason üretim ile anlık sipariş artışlarında sipariş karşılayabilme kapasitesinin yükselmesi ve kâr artışı sağlanması amaçlanmaktadır. Çalışmada doğrusal programlama yönteminden faydalanılmış ve hali hazırda yapılan üretime ait veriler ve üretim kısıtları dikkate alınarak fason üretim planlaması için model geliştirilmiştir. İşletmenin kullanmakta olduğu HarmonyERP isimli kurumsal kaynak planlama (KKP) uygulama yazılımı üzerinden alınan 1 Temmuz ile 1 Ağustos 2022 tarih aralığındaki üretim verileri kullanılmıştır. Ürünler için gerekli depolarda kapasite artırım yapıldığında müşteri talebindeki anlık sipariş artışlarının karşılanmasıyla kâr artışı sağlanmış ve bu kârdan fason üretim maliyeti çıkarıldığında maksimum kâr artışı sağlanabileceği görülmüştür. Çalışma ile işletme üretim kısıtlarına göre en yüksek kârlılığı sağlayacak maksimum üretim adetleri bulunmuş ve fason üretim yapılan ürün grubu için üretim planlama yapılmıştır. İşletmenin yeterli sayıda depo ve bu depolarda uygun raf kapasitesine sahip olmaması olarak ifade edilebilecek depo kısıtları da eklenerek fason üretim planlaması için kârın maksimum olacağı seviye bulunmuş ve bu kârlılık seviyesine ulaşabilmesi için yakalanması gereken üretim adetleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üretim planlama, fason üretim, stoğa üretim, doğrusal programlama.

Abstract

Article Info

Paper Type:

Research Paper

Received:

05.05.2023

Accepted:

16.06.2023

© 2023 JEBUPOR
All rights
reserved.



In this study, the optimum production quantities and maximum profit that the company can produce are calculated on the mathematical model designed for an automotive supplier industry company engaged in large-scale production. With the work carried out, it is aimed to increase the capacity of the enterprise to meet orders in case of instant order increases and to increase profits. In the study, linear programming method was used and a model was developed for contract manufacturing planning by taking into account the data and production constraints of the current production. Production data between 1 July and 1 August 2022 taken from the enterprise resource planning (ERP) application software called HarmonyERP used by the enterprise, was used. When the capacity is increased in the warehouses required for the products, an increase in profit has been achieved and it has been seen that maximum profit increase can be achieved when the subcontracting cost is subtracted from this profit. With the study, the maximum production quantities that will provide the highest profitability according to the production constraints of the enterprise have been found and production planning has been made for the product group that has contracted production. By adding the warehouse constraints of the enterprise, the level at which the profit will be maximum for contract production planning has been found and the production numbers that must be achieved in order to reach this profitability level have been obtained.

Keywords: Production planning, contract manufacturing, production to stock, linear programming.

Atıf / to Cite (APA): Başar, R. ve Eyüpoğlu, Y. (2023). Fason üretim planlamada doğrusal programlamanın kullanılmasına yönelik bir çalışma: Otomotiv yan sanayi örneği. *İktisadi İdari ve Siyasal Araştırmalar Dergisi*, 8(21), 600-617. <https://doi.org/10.25204/iktisad.1293104>

*ORCID Dr. Öğr. Üyesi, Düzce Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri, remzibasara@duzce.edu.tr

**ORCID Kurumsal Yazılım Danışmanlık Ltd. Şti., Business Solutions Executive, yuceleyupoglu1@gmail.com

Extended Abstract

Introduction and Research Questions & Purpose:

The main purpose in production planning is to comply with the order delivery date given to the customer and to provide timely and instant response to future orders in this direction. With the linear programming method used in the study, it is aimed to guide the production planning for the production planning manager or the personnel in similar positions by adding the production stage to the stock to the production management parameters in the enterprises.

Literature Review:

With contract manufacturing, the costs and risks of large enterprises are shared with the contract business (Durak, 2006: 102). Contract companies have a small profit margin compared to the finished product industries, so they should have a good production planning system (Uhlmann et al., 2018: 1059). Businesses want limited resources to be managed and quick decisions can be made. Linear programming model is one of the effective models in scientific decision making processes (Alan and Yeşilyurt, 2004: 151-152). There are many studies on linear programming in the literature: Kağncıoğlu (1991), presented a study that reached the optimal production strategy and the lowest production cost with the linear programming method. Gül et al., (2000), in order to achieve the level of mechanization in forestry, the working hours of manpower and machine work were determined and the most appropriate production method was found. By using the linear programming method, Krynke and Mielczarek (2018) reached the machine with the lowest production cost in addition to maximizing profit.

Methodology:

In the study carried out as an applied research, the answer to the question of whether contract production planning can be made in the enterprise by using the linear programming method was investigated. A solution has been sought for the problem that the automotive supply industry production company gives long-term delivery dates to the production increase demands instantly sent by the companies to which it is the supplier, due to the inadequacies in production planning. If the enterprise can realize the production-to-stock production planning, which is the subject of the study, by determining a planning method in order to make a production-to-stock decision, both to be able to produce to stock before order for products with instant order increase, and wants to meet order demands on time and at the same time to ensure profit maximization by working with small-scale contract manufacturing companies. For this purpose, a model has been developed for contract manufacturing planning, taking into account the data and production constraints of the current production. All of the data in the study were taken from the relevant screens and report data on the enterprise resource planning (ERP) system called HarmonyERP, which is used by the enterprise.

Results and Conclusions:

In the study, a study focused on meeting customer demands by outsourcing small-scale contract manufacturing companies to meet the variable customer demands due to the full capacity operation of the business. In the study carried out, as in similar studies in the literature, the maximum production quantities that can be produced were found in order to ensure the highest profit maximization according to the business production constraints. Unlike other studies in the literature, the product or product group that is operated within the entire enterprise in the enterprise where the application is made, has not been selected, and production planning has been made for the product group that has contracted production. Again, warehouse constraints are also added to the business production planning constraints and the result output. By adding the warehouse constraints of the enterprise, the level at which profit maximization will be achieved for contract manufacturing planning has been found and the production numbers that must be achieved in order to reach the highest level of profit maximization are presented as table. This study is considered to be important in terms of showing that capacity and profit increase can be achieved with contract manufacturing for companies that want to increase their production capacity but have insufficient internal resources. In our study, in which it was shown that production capacity increase is possible even when internal resources are not sufficient; with the mathematical modeling carried out, it is revealed that capacity planning can be made for the workshop, machine, warehouse, number of personnel and other production parameters.

The study can be a guide for businesses to increase their production capacity, and this approach can be considered in the calculation of MRP in the production-warehouse capacity relationship. It is thought that the study will make an original contribution to the literature with its guiding aspect.

1. Giriş

İşletmeler, değişen piyasa koşulları ve teknolojinin tedarik zinciri üzerindeki etkisi ile tüm süreçlerinde geliştirmeler yapmaya ve iyileştirmeye çalışmaktadırlar. Tedarik zincirinde belki de en önemli süreç olan üretim planlamanın sürekli geliştirilmesi, süreç içindeki karar ve dinamiklerin sürekli kontrol altında olması gerekmektedir. Üretim yönetiminin temel fonksiyonu olan üretim planlama, işletmenin temel üretim ihtiyacı (müşteri rezervli üretim), üretim hedefleri, beklenen üretim kapasitesi karşılama durumu, üretim maliyetlendirmesi ve benzeri süreçlerin, süreç öncesi veya sonrası planlanması ve uygulanması için önemlidir (Türk ve Kiani, 2019: 32). Üretim planlamasında temel amaç müşteriye verilen sipariş teslim tarihine uymak ve bu doğrultuda gelecek dönemlerdeki siparişlere zamanında ve anlık cevap verebilmeyi sağlamaktır.

Çalışmada kullanılan doğrusal programlama yöntemi ile işletmelerde üretim yönetimi parametrelerine stoğa üretim aşaması da eklenerek işletmede üretim planlama müdürü ve üretim planlama sorumlusu olan personeller için üretim planlamada yol gösterici olması amaçlanmıştır. Araştırma için yapılan literatür taramasında fason üretim çalışmaları taranmış olsa da yan sanayi işletmeleri için fason üretim yapan ve doğrusal programlama yaklaşımıyla değerlendirilen bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Çalışmada kavramsal çerçeve başlığı altında çalışma konusu, amacı, önemi ve yönteminden bahsedilmiştir. Yöntem ve Araçlar başlığı altında konu ile alakalı araştırma kapsamı, araştırma verileri, analiz yöntemleri ve matematiksel model açıklanmıştır. Sonuç ve Tartışma başlığı altında model sonucunun değerlendirilmesi yapılmış, önerilerde bulunulmuş ve literatürdeki benzer çalışmalar ile arasındaki benzerlik ve farklılıklar ortaya konulmuştur.

İşletme üretim personelleri ile yapılan görüşmelerde işletmenin kısa vadedeki üretim planlamada kullanılan teslim tarihleri, üretim kapasiteleri, depo ve adres kapasiteleri, önceki dönem rapor verileri, malzeme kısıtları ve üretim maliyetleri işletmenin temel üretim kısıtları olarak ele alınmıştır. Elde edilen verilerin analizi doğrusal programlama yöntemi ile POM-QM for Windows 3 paket programı kullanılarak yapılmış ve sonuca ulaşılmıştır. Program benzer matematiksel yöntem problemlerinin çözümünde sonuçları kolayca hesaplayabildiği için tercih edilmiştir.

2. Kavramsal Çerçeve

Global ve iç piyasadaki büyük işletmelerde küreselleşme sürecinde ülkeler arasında ürün, sermaye ve emek hareketliliğinin artması, ekonomik ilişkilerin yoğunlaşmasına ve işletmeler arasındaki ilişkilerde lokasyondan bağımsız olarak tedarik ve üretim süreçlerinde ortak hareket edilme durumunun artmasını sağlamıştır. İşletme faaliyetlerini etkileyen faktörlerin çoğalması ve müşteri taleplerinin farklılık göstermesi işletmelerin üretim tesislerine yatırım yapma, yeni üretim tesisi açma gibi durumlarda maddi ve yönetsel olarak risk oluşturmaktadır. Fason üretimle büyük işletmelerin maliyet ve riskleri fason işletme ile paylaşılmakta ve dış kaynaklardan yararlanma ihtiyacı artmaktadır (Durak, 2006: 102). Büyük işletmeler için işletme dışında üretim yaptırmak yani fason üretim yaptırmak önemli hale gelmiştir. Pazar koşulları gereği müşteriler artık daha kısa sürede daha önemli özelliklere sahip yeni ürünler talep etmektedirler.

Büyük işletmeler bu ve benzer durumlar için fason olarak üretim yapan firmalardan operasyonel üretim ihtiyaçları çerçevesinde operasyonel parça tedariki sağlamaktadır. Fason üretim yapan firmalar ise büyük işletmelerin talepleri ve terminleri doğrultusunda istenen ürün ve parçaların üretimini istenen kalite kriterlerine göre yapmakta ve büyük işletmeye zamanında yetiştirmektedir.

Fason üretim yapan firmalar zamanla büyümüş ve üretim kapasiteleri artmış olsa da büyük işletmelere bağımlı olmaktadır. Fason işletmeler üretim süreçlerini ürün talebinde bulunan müşteri firmanın ürün detay taleplerini baz alarak karşılarlar. Fason işletmeler imal edecekleri parçaları, hatta markanın sahibi olan işletmenin komple ürününü üretmiş olsa dahi nihai tüketiciler için kendi

markasına sahip değildir. Fason işletmeler, bitmiş ürün endüstrilerine kıyasla küçük bir kâr marjına sahiptir, bu sebeple iyi bir üretim planlama sistemine sahip olmalıdırlar (Uhlmann vd., 2018: 1059).

İşbirlikçi üretim olarak da adlandırılan fason üretim, modern üretim sistemlerinde işletmelerin operasyonel üretim üzerine parça tedarikini sağlayan küçük işletmelerin, büyük işletme taleplerine uygun üretim yapması olarak ifade edilmektedir. Fason üretimi yapan işletmeler, esnek üretim yapısına sahiptirler ve coğrafi olarak farklı yerlerde olabilirler (Rauch vd., 2016: 5).

Doğrusal programlama yaklaşımının temeli aynı anda çözülebilir eşitsizliklere dayanmaktadır. Bu yaklaşım belli doğrusal eşitsizliklerin amaç fonksiyonunda en uygun biçimde oluşturulması esasına dayanmaktadır. Amaç, belli bir amaca yönelik en düşük maliyeti veya eldeki kaynaklarla en yüksek getiriye sağlamaktır. Doğrusal programlama ile çözülen problemlerde değişkenler rakamlarla ifade edilmeli, değişkenler arasında alternatif seçenekler olmalıdır. Bu yaklaşım ile matematiksel hesaplamalara dayanan sonuçlar alınarak kesin sonuçlar elde edilmektedir. Doğrusal Programlamada 3 ana unsur vardır (Yalgın, 1984: 27):

- Amaç Fonksiyonu
- Kısıtlama Fonksiyonları
- Pozitif Kısıtlama

Doğrusal programlama yöntemi, belirlenen amaç doğrultusunda amacın karar değişkenleri ve karar değişkenlerinin kısıtları ile oluşturulan doğrusal bir karar modelidir. Doğrusal programlama modelinde; amaç fonksiyonu, karar değişkenleri, optimal alan, katsayılar, kısıtlar, doğrusallık ve negatif olmama gibi ortak birkaç yapı bulunmaktadır. Karar değişkeni, hedeflenen amaç fonksiyonunu oluşturan bileşenlerdir. Bileşenler, kesirli ve tamsayılar olacak şekilde kullanılabilir. Optimal bölge diye adlandırılan bölge tüm karar değişkenlerinin değerlendirildiği ve tüm kombinasyonların ele alındığı bir bölgedir. Doğrusallık, oransallık ve toplanabilirlik içerirken, amaç fonksiyonu katsayılar ve karar değişkenlerinden oluşmaktadır. Doğrusal programlama ile sistem kapasitesi durumu ve hammadde stokları durumu belirlenir (Deste ve Karabulut, 2021: 250).

Doğrusal programlamada değişkenler arasında kurulan ilişkilerin doğrusal olması yani modeldeki tüm eşitlik ve eşitsizlik durumlarının içerdiği değişkenlerin birinci dereceden olması gerekmektedir. Modeldeki değişkenler rakamlarla ifade edilmeli ve bölünebilir nitelikte olmalıdır. Alternatifi olan değişkenler olmalı, işletmenin üretim planlaması için kurulan değişkenler doğrusal yapıda olmalıdır (Kağncıoğlu, 1991: 70).

İhtiyaçların karşılanması, kıt kaynakların etkin dağılımının yapılması ve kullanımı ile mümkündür. Doğrusal programlama modeli işletmelerde büyüme odaklı yatırımların karar alma safhalarında işletmenin hangi bölüm ya da bölümlerine yatırım yapılmalı sorusuna kesin ve net cevaplar alınmasını sağlamaktadır. İşletmenin bölümlerine yapılacak yatırımlarda, yatırım seviyeleri yani kapasite artırımı kararlarında yatırımın işletmenin toplam kârına etkisi bu model ile belirlenebilir (Bircan ve Kartal, 2003: 214-215). İşletmeler, kısıtlı kaynakların yönetilmesini ve hızlı kararlar alınabilmesini isterler. Bilimsel karar alma süreçlerinde de matematiksel modeller net bilgiler vermektedir. Doğrusal programlama modeli bilimsel karar alma süreçlerindeki etkili modellerden biridir (Alan ve Yeşilyurt, 2004: 151-152).

Önemli kararlar almak birçok soruna neden olmaktadır. Karar verme süreci kontrol ve karar verme sistemi olarak kabul edilmektedir. Bir sorun çözüldüğünde bir başkası ortaya çıkar ve bu şekilde devam eder, bu nedenle karar verme süreci sürekli ve dinamiktir. Karar verme sürecinde etkili seçimler matematiksel modeller ile desteklenmektedir. Doğrusal programlama yöntemi ile karar verme süreci etkili ve net sonuçlar vermektedir. Bu yöntemin etkili olması için hedef fonksiyonu kurulmalıdır. Bu yöntem en çok kullanılan matematiksel yöntemlerdendir (Krynke ve Mielczarek, 2018: 183-184). Literatürde doğrusal programlama ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında birçok çalışma mevcuttur. Lee ve Aronofsky (1958), petrol kuyu sayısı, zaman dilimi, basınç ve çalışmadaki diğer kısıtların yardımıyla petrol üretim planlaması için doğrusal programlama yöntemi

kullanmışlardır. Petrol kuyularındaki üretim çizelgeleri üzerinden kuyuların hedeflenen zaman dilimindeki üretim ve birim kârlarına ulaşılmıştır.

Kağnıcıoğlu (1991), işletme hedef fonksiyonu için karar değişkenleri ve parametreler ile doğrusal programlama yöntemi uygulayarak optimal üretim stratejisi ve en düşük üretim maliyetine ulaşılan bir çalışma ortaya koymuştur. Belirlenen kısıtlara göre çalışmadaki ürünlerin en düşük maliyetlerine ulaşılmıştır.

Gül vd. (2000), ormancılıkta mekanizasyon seviyesi, doğrusal programlama yönteminin temellerini oluşturan amaç fonksiyonu ve kısıtlardan oluşan denklemler ile belirlenmiştir. Çalışma ile İnsan gücü ve makineli çalışmalara ait çalışma saatleri belirlenmiş, en uygun üretim yöntemi bulunmuştur.

Lahdelma ve Hakonen (2003) saatlik kombine ısı ve güç üretiminin bulunması için doğrusal programlama yöntemi ile modelleme yapılarak oluşturulan model üzerinden power simplex algoritmasının simplex algoritmasından daha hızlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çetindere vd. (2010), optimal üretim stratejisinin bulunması yoluyla kârın maksimizasyonu hedefine ulaşılmıştır. Çalışmada hedef fonksiyonlar parametreleri belirlenmiş kısıtlar ile formüle edilerek kısıtlara göre sonuçlar hesaplanmıştır.

Balogun vd. (2012), Coca-Cola üretiminde optimal üretimin hesaplanması için doğrusal programlama yöntemi kullanılarak çalışmada üretilmesi gereken kola çeşitleri ve maksimum kâr elde etmek için hedeflenen kola miktarlarına ulaşılmıştır.

Krynke ve Mielczarek (2018), Doğrusal programlama yöntemini kullanarak kısıtlayıcıların hedef fonksiyona dâhil edilmesi sonrasında elde edilen sonuçla makinelerdeki üretim maliyetlerinin en aza indirilmesi ve kârın maksimize edilmesi için karşılaştırma yapmışlar ve kâr maksimizasyonuna ek olarak üretim maliyetinin de en düşük olduğu makineye ulaşılmıştır.

Tablo 1. Doğrusal Programlama Literatürü Özet Tablosu

Yazar & Yıl	Konu	Yöntem	Sonuç
Lee ve Aro-nofsky (1958)	Beş ayrı kaynaktan ham petrol sağ-lanarak bir boru hattına teslim edildiği durumda belirli kısıtlamalar dahilinde maksimum kârı sağlayacak şekilde petrol üretiminin sekiz yıllık programını belirlemek amacıyla çalışma yürütülmüştür.	Doğrusal programlama	Çalışmada zaman diliminin artırılmasının daha iyi olacağı ve buna paralel olarak da kuyu basıncının doğruluğu ile daha net sonuçlara ulaşılabileceği elde edilmiştir.
Kağnıcıoğlu (1991)	İşletme için optimal üretim stratejisi ve en düşük üretim maliyetini hesaplamak için çalışma yapılmıştır.	İşletme için oluşturulan hedef fonksiyonu ve belirlenen kısıtlar Doğrusal programlama yöntemi ile modellenerek sonuca ulaşılmıştır.	Belirlenen kısıtlara göre hedef fonksiyonunda çalışmadaki ürünlerin en düşük maliyetlerine ulaşılmıştır.
Gül vd. (2000)	Ormancılıkta üretim çalışmalarında mekanizasyon ihtiyacının doğrusal programlama yoluyla belirlenmesi.	Doğrusal programlama	Çalışma sonucunda, insan gücü ve makineli çalışmalara ait çalışma saatleri belirlenerek mekanizasyon seviyesi bulunmuştur.
Lahdelma ve Hakonen (2003)	Saatlik kombine ısı ve güç üretiminin bulunması için çalışma yürütülmüştür.	Saatlik kombine ısı ve güç üretiminin bulunması için doğrusal programlama yöntemi ile modelleme yapılarak oluşturulan model üzerinden power simplex algoritması üzerinde çalışılmıştır.	Doğrusal programlama yöntemi ile Power Simplex algoritmasının TSimplex'ten ortalama 52 kat daha hızlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Çetindere vd. (2010)	Kâr maksimizasyonu hedefine ulaşılması için araştırma yapılmıştır.	Doğrusal programlama	Hammadde kullanımının her bir birim artışı ile kârın artacağı ancak işgücünün ilave bir saat çalışmasının kârı artırmadığı ve işletmenin en kârlı ürünü için üretimin artırılması ile atıl kapasitenin daha verimli kullanılarak kârın artırılacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 1 (Devamı). Doğrusal Programlama Literatürü Özet Tablosu

Balogun vd. (2012)	Nijerya Coca-Cola Şişeleme Şirketi Ilorin fabrikasının meşrubat üretiminden maksimum kâr elde etmesi için üretmesi gereken ürün miktarını belirlemeye yönelik çalışma yapılmıştır.	Doğrusal programlama, Simpleks yöntemi	Üretilmesi gereken meşrubat çeşitleri ve maksimum kâr elde etmek için hedeflenen meşrubat miktarları hesaplanmıştır.
Krynke ve Mielczarek (2018)	Makinelerdeki üretim maliyetlerini en aza indirilmesi ve kârın en yükseğe çıkarılmasını hedefleyen bir çalışma yürütülmüştür.	Doğrusal programlama	Kâr maksimizasyonu için makine verilerinde karşılaştırma yapılmış ve en düşük maliyetli makineye ulaşılmıştır.
Ünüçok (2019)	Nonwoven kumaş üretimi yapan Bayteks Teknik Tekstil A.Ş. firmasında etkin üretim planlama yapılabilmesi amacıyla araştırma yapılmıştır.	Doğrusal programlama	Firmanın kumaş üretim hatları dikkate alınarak doğrusal programlama yöntemi ile bir üretim planı geliştirilmiştir. LINGO paket programı kullanılarak elde edilen sonuçlarda üretilecek ürünlerin miktarı ve üretileceği zaman periyodu hesaplanarak ana üretim çizelgesindeki zaman skalasında gösterilmiştir.
Arık (2020)	Doktora tez çalışması kapsamında bazı doğrusal programlama modelleri çözümleri karşılaştırılarak yetenek ve hız açısından performanslarının analiz edilmesi amaçlanmıştır.	Matematiksel programlama, Doğrusal programlama	Literatürde yapılan çalışmalara paralel olarak ticari çözümlerin, çözüm süresi performansı açısından açık kaynak kodlu çözümlerden daha iyi sonuçlar elde ettiği tespit edilmiştir.
De Meyere (2020)	Teslimat gecikmelerini en aza indirmek için atölye yapısına sahip yüksek karma sipariş üzerine üretim yapan bir imalat şirketinde kullanılabilecek bir üretim planlama modeli geliştirmek amacı ile yürütülen bir yüksek lisans tez çalışmasıdır.	Karma tam sayılı doğrusal programlama	Üretim verimli şekilde planlanabilmesi için sipariş yönetimine ve kapasite yönetimine olanak tanıyan bir Karma tam sayılı doğrusal programlama yöntemi ile üretim planlama modeli (MILP) geliştirilmiştir. Model toplu bir üretim planlama modeli olarak kullanımının yanı sıra kapasite yönetimi ve darboğaz analizi için veya müşterilerin sipariş verme alışkanlıklarında bir değişiklik olması durumunda bunun genel sistem üzerindeki etkisinin ne olduğunu görmek için de kullanılabilir. Çalışma sonunda; sisteme duyarlı gerçekçi üretim hedefleri belirleyerek yüksek karmalı sipariş üzerine üretim yapan bir üretim şirketinin ihtiyaçlarına uyan ve sorunsuz ve öngörülebilir bir iş akışı sağlayan bir üretim planlama modeli oluşturuldu.
Sofuoğlu (2020)	Türkiye’de otomotiv yan sanayi sektöründe cam üreticisi olarak faaliyet gösteren bir firmanın, dışarıdan aldığı malzemelerin MİP tasarımı ve uygulamasını içeren bir yüksek lisans tez çalışması.	Verilecek malzeme sipariş miktarı ve tutulacak stok miktarlarının hesaplanması için oluşturulan Karma Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama optimizasyon modeli ile siparişlerin, elde bulundurma ve elde bulundurmama maliyetlerinden oluşan toplam maliyetin minimizasyonu amaçlanmıştır.	Model çözümü ve sipariş belirleme yöntemlerinden FOQ, EOQ ve FPQ yöntemlerinin toplam maliyetleri karşılaştırıldığında, tüm malzemeler için sırasıyla ortalama %64, %22 ve %46 model çözümü daha düşük maliyetli hesaplanmıştır. Ayrıca model çözümü ve sezgisel verilen siparişlerin toplam maliyeti karşılaştırıldığında ise modelin %75 daha düşük maliyetli sonuç verdiği sonucuna ulaşılmıştır.
Adriantantri ve Indriani (2021)	Oluşan üretim maliyetlerini ve kar düzeyini optimize etmek için üretim planlamasının kapsamlı bir optimizasyon sistem modelinin bulunması.	Tahmin yöntemi, Toplu Üretim Planlama yöntemi ve doğrusal programlama yöntemi kullanılarak toplu üretim planlaması yapmak üzere bir optimizasyon modeli elde edilmeye çalışılmıştır.	Araştırmanın sonucunda minimum toplam maliyeti elde etmek için doğrusal programlama yöntemi ile çeşitli üretim faktörlerini kapsayan bir toplu üretim planlama optimizasyon modeli ortaya konulmuştur.

Tablo 1 (Devamı). Doğrusal Programlama Literatürü Özet Tablosu

Ballouki vd. (2021)	Bir ürün ve ürüne ait tedarik zincirinin eşzamanlı tasarımına dair problemi inceleyen çalışmada, farklı unsurların işbirliğini sağlayan çok aralı bir sistem geliştirilmiştir.	Çok kriterli karar verme yöntemi, Tam sayılı doğrusal programlama	Bir ürünün seçiminde ve tedarik zinciri tasarımında maliyet ve çevresel etki kriterlerini içeren yeni bir metodoloji ile literatürde iyi bilinen iki karar verme yöntemi; doğrusal programlama modelleri ve çok kriterli analiz yöntemlerini birleştiren bu çalışma; hem ekolojik hem de ekonomik bir tasarım içeren yeni bir uygulama önermektedir. Bu yeni metodoloji önemli bir yatırım yaparken ürünlerin çevresel etkilerini sınırlamaya yardımcı olduğu için yeşil teknolojilere geçiş imkânı olmayan küçük ve orta ölçekli işletmeler için çok faydalı olacağı düşünülmektedir.
Bilgin ve Özçakar (2021)	Türkiye’de süt ve süt ürünleri üreten bir fabrikada, toplam üretim, dağıtım ve stok maliyetlerini en aza indirmek amacıyla birinden fazla bozulabilir ürünün üretilmesi ve birden fazla dağıtım merkezine birden fazla araç ile dağıtılmasını sağlayacak şekilde tüm bu unsurları birleşik olarak ele alan bir model geliştirilmesi için çalışma yürütülmüştür.	Karma tam sayılı doğrusal programlama	Karma tam sayılı programlama yöntemi kullanılarak bozulabilir ürünler için birleşik bir üretim ve dağıtım planlama modeli geliştirilmiştir. Bu model, GAMS paket programı ile firmanın mevcut durumu için çözülmüş ve “10 günlük planlama dönemi için” sabit üretim, değişken üretim, stok ve araçların sabit kullanım maliyetleri toplamı için en iyi maliyet 518.664 TL olarak hesaplanmıştır.
Güler ve Bircan (2021)	Yalıtımlı taş (BIMS) üretimi yapan bir işletmede üretilen 7 farklı ürün için doğrusal programlama ile çeşitli kısıtlar altında üretim planlaması yapılarak kâr maksimizasyonu modeli araştırılmıştır.	Çalışmada doğrusal programlama modeli oluşturulmuş ve daha sonra bu sonuçlar bulanık doğrusal programlama yöntemlerinden Werners Yaklaşımı ile değerlendirilmiştir.	İşletmenin kârını maksimum yapabilmek üzere üretilen 7 çeşit BIMS için üretim planlaması yapılmış ve BIMS çeşitlerinden; $x_2 = 421730$, $x_4 = 2981308$, $x_5 = 365654$, $x_6 = 365654$, $x_7 = 365654$ adet üretilmesi halinde maksimum kâr elde edileceği sonucuna ulaşılmıştır.
Yıldırım ve Güler (2022)	CNC (Computer numerical control) üretimi yapan bir işletme için alternatif üretim planı oluşturmak amacıyla çalışma yapılmıştır.	Doğrusal programlama, Bulanık hedef programlama	İlk değerlendirme işletme verileri kullanılarak doğrusal programlama ile yapılmış ve elde edilen sonuç gerçek piyasa taleplerini karşılamadığı için işletme verilerinin yanında yetkililerce belirlenen hedefler kısıtlar altında yeniden değerlendirilmiştir. 4 farklı CNC üretimi yapan işletmede bulanık hedef programlama ile; $x_1 = 18$, $x_2 = 36$, $x_3 = 4$, $x_4 = 2$ adet üretilmesi halinde işletmenin yıllık elde edebileceği kâr 15.484.800 TL olarak hesaplanmıştır. Böylece işletmenin hem kâr hem de üretim hedefi sağlanmıştır.
Pilar vd. (2023)	Çalışma, otomobil sektöründe faaliyet gösteren bir Portekiz firmasında gerçekleştirilen mekanik onarımlar için mevcut kaynakları ve mekaniği, gerekli müdahaleleri ve her bir onarım için gereken süreyi dikkate alan bir matematiksel model geliştirilerek müdahaleler arasında araçların hareketsiz kaldığı sürenin azaltılmasını amaçlamaktadır.	Amaca ulaşmak için, müdahaleleri planlamak, kaynakları tahsis etmek ve her araç için başlangıç zamanlarını belirlemek üzere çeşitli değişkenleri içeren bir karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP) modeli kullanıldı. Problem AMPL modelleme dili kullanılarak formüle edildi ve problemin şirket tarafından sağlanan verilerden elde edilen gerçek dünyadaki örnekleri Gurobi çözücü kullanılarak çözüldü.	Çalışma sonucunda geliştirilen modelin firmadaki araç onarımlarının zamanlamasını önemli ölçüde iyileştirdiği, araçların duruş sürelerinde ortalama %67 azalmaya yol açtığını ve mekanik müdahalelerin otomatik olarak doğru bir şekilde programlanmasını sağladığı görüldü. Ayrıca, geliştirilen modelden elde edilen çizelgeleme ile firma prosedürü kıyaslandığında, tamirhaneye gelen araçlara yapılan müdahalelerin çoğunlukla giriş gününde yapıldığı ve müşteriye daha hızlı teslim edildiği sonucuna ulaşıldı.

3. Yöntem ve Araçlar

Sakarya’da faaliyet gösteren bir otomotiv yan sanayi üretim işletmesinde yürütülen uygulama çalışması için doğrusal programlama yöntemleri içinde en yaygın kullanılan çözümlerden biri olarak simpleks algoritmasından faydalanılmıştır.

Doğrusal hedef programlama, bir hedef fonksiyonu altında doğrusal kısıtlarla modellenen bir optimizasyon problemini ifade eder. Simpleks yöntemi ise doğrusal programlama problemlerini çözmek için yaygın olarak kullanılan bir algoritmadır. Simpleks yöntemi, mevcut bir çözümü iteratif olarak iyileştirerek ve olası çözüm alanını gezerek en iyi olanı bulmaya çalışır (Arık, 2020: 1-2).

Doğrusal programlama problemlerinde değişken sayısı arttıkça çözümü bulmak zorlaşabilir. Bu durumda Simpleks yöntemi kullanılabilir. Simpleks algoritması, geçerli bölgenin köşe noktalarını sistematik olarak inceler ve amaç fonksiyonunun istenilen bölgedeki değerine cebirsel tekrarlamalarla yaklaşır. Simpleks yöntemi, eşitsizlikler sistemine ardışık işlemlerle çözüm kümesi arayan ve bu çözüm kümesinde her olası durum için olabilirlik kontrolü yapan bir süreçtir (Ünüçok, 2019: 20-21).

Alıntılarda da görüldüğü üzere üretim planlama gibi çok değişkenli ve değişkenlerin tekrar ederek farklı değerler ile amaç fonksiyonunun sonucunu belirlediği durumlarda simpleks yöntemi sıkça kullanılmakta ve sonuca ulaşılmaktadır. Çalışmanın amacı; üretim planlamada atölye işlem yerlerine iş yüklenerek farklı yüklerdeki kapasite ihtimallerine göre maksimum kâr ve depo kapasitesinin hesaplanması ve elde edilen bu sonuçlara göre fason üretim kararı verilmesidir. Diğer bir deyişle amaç; işletmenin fason üretim yapabilmesi için ihtiyaç duyulacak iş gücünün ve hedeflenen kârlılığın hesaplanmasıdır. Amaca ulaşılmasını mümkün kılması sebebiyle de çalışmada doğrusal programlama yöntemi ve simpleks metodu tercih edilmiştir.

İşletme fason imalat siparişleri almakta ve teslim tarihine uygun biçimde üretim operasyonlarını tamamlayıp sevkiyatını yapmaktadır. İşletme, fason üretim yapan bir işletme olsa da deneyimli AR-GE birimi ile kendi yedek parça ürünlerini geliştirebilecek ve üretebilecek teknik donanım ve mühendisliğe sahiptir. İşletmenin üretim hatları tam kapasite çalışmakta ve tedarikçisi olduğu firmaların üretim taleplerine yüksek oranda cevap verebilmektedir. Tedarikçisi olduğu işletmeler çoğu zaman anlık olarak üretim kapasitesini artırma talebinde bulunmakta ve işletme bu taleplere üretim planlamasında yetersiz üretim kapasitesine sahip olduğu için uzun termin tarihleri verebilmektedir. İşletme çalışmaya konu olan stoğa üretim yapabilmek için üretim planlama yöntemini belirleyerek hem anlık sipariş artışı olan ürünlerde sipariş öncesi stoğa üretim yapmayı hem de küçük çaplı fason üretim yapan firmalarla birlikte çalışarak sipariş taleplerini zamanında karşılamayı hedeflemektedir. Bunun başarılması kâr maksimizasyonunu da beraberinde getirecektir.

İşletme ayrıca fason üretim için küçük çaplı fason işletmelerden faydalanmak ve bu işletmelerde yapılan üretimler için depo kapasitesi ve maliyet konuları üzerinde de karar almak istemektedir. Fason işletmelerin toplam maliyetlerinin işletmeye maksimum kâr üzerinden %9 olarak yansımaları öngörülmektedir. İşletme fason üretim yapmak ve fason üretim ile kazanılacak maksimum kazancı öğrenmek ve bu doğrultuda üretim modeline karar vermek suretiyle ihtiyaç halinde yatırım kararı almak istemektedir.

Yürütülen çalışma ile doğrusal programlama yöntemi kullanılarak “işletmede fason üretim planlaması yapılabilir mi?” sorusu araştırılmış ve hali hazırda yapılan üretime ait veriler ve üretim kısıtları dikkate alınarak fason üretim planlaması için model geliştirilmiştir. Çalışmada yer alan verilerin tümü işletmenin kullanmış olduğu HarmonyERP adlı kurumsal kaynak planlama (KKP) sistemi üzerindeki ilgili ekranlardan ve rapor verilerinden alınmıştır. İşletmenin 1 Temmuz ile 1 Ağustos 2022 tarih aralığındaki sayısal verileri kullanılmıştır. Bu tarih aralığı; işletmenin üretim, maliyet ve diğer verileri açısından veri girişlerinin en doğru şekilde yapıldığı ve maliyet rakamlarının sistemde en güncel hali ile bulunduğu çalışma dönemi olduğu için seçilmiştir.

İşletme, kesin üretim planlamasını 1 aylık periyotlarda planlamaktadır. Veri seti olarak müşteri siparişleri, stok bakiyeleri, ürün maliyetleri, atölye işçilik giderleri, birim fiyat listeleri, standart

üretim süreleri, depo ve adres kapasite bilgileri ile çalışan sayısı ve süreleri gibi veri kalemlerinden faydalanılmıştır. Tüm müşteri siparişleri ve üretim adetleri yıl bazında karşılaştırılarak fason üretim yeterlilik analizi yapılmıştır. Tatil günleri, envanter sayımı, makine bakımı vb. duruşlar, işletmenin ilgili ay içerisinde gerekirse fazla mesai yapılarak 26 günlük çalışma saatini doldurması durumu dikkate alınarak göz ardı edilmiştir.

İşletme siparişe üretim yaptığı ve depodaki ürünler rezervli olduğu yani sevkiyata ayrıldığı için çalışmada stok bakiyeleri sıfır kabul edilmiştir. Depoların stok yükleme kapasiteleri için depo ve adres kapasitelerindeki ürün doluluk oranları referans alınmıştır. İşletmenin kullanmış olduğu KKP sistemi üzerinde yer alan üretim maliyet yönetimi modülü üzerinden malzeme birim maliyetleri, işlem yerlerindeki işçilik ve makine ücretleri ile hurda kârı ve genel gider verileri kullanılarak maliyet hesabı yapılmıştır. Bu maliyetlere göre müşteri siparişlerindeki birim fiyatlar üzerinden birim kâr değeri bulunmuştur.

3.1. İşletme Durum Analizi

Uygulamaya konu olan firma Sakarya 2.Organize Sanayi Bölgesinde faaliyetlerini sürdüren ve ondan fazla büyük işletmeye fason üretim yapan bir yan sanayi firmasıdır. İşletme otomotiv sektörüne fason parça tedariki sağlamakta, ticari ve askeri araçlar için far sistemi, far alt parçası ve havalandırma sistemleri üretimi yapmaktadır. Toplam fabrika alanı 10.000 m² olup bunun 7.000 m²'si aktif şekilde kullanılmaktadır. Fabrikada işletmelerden gelen birçok ürün siparişi için üretim yapılmaktadır. Çalışma kapsamında ürün grubu olarak sadece far aydınlatma ve havalandırma sistemleri gruplarındaki ürünler modele dâhil edilerek değerlendirme yapılmıştır. Firma üç vardiya sistemi ile çalışmaktadır. İşçiler ayda 26 gün (resmî tatil olan günlerde fazla mesai yapılarak) çalışmakta olup bunun sonucu olarak 37.440 dakikalık bir iş gücü elde edilmektedir. Kullanılabilir iş gücü =3 vardiya x 8 saat x 60 dk. x 26 gün =37.440 dk. olarak hesaplanmaktadır.

İşletme kullanmış olduğu HarmonyERP adlı KKP sistemini etkin bir şekilde kullanmakta ve tüm süreçlerini bu yazılım üzerinde planlamaktadır. İşletmedeki üretim süreci, fason üretim yaptığı firmaların ürün talepleri ile başlamaktadır. İşletmenin üretim ve satın alma ihtiyaçları işletme MRP periyoduna göre hesaplanmakta ve iş emri verilmektedir.

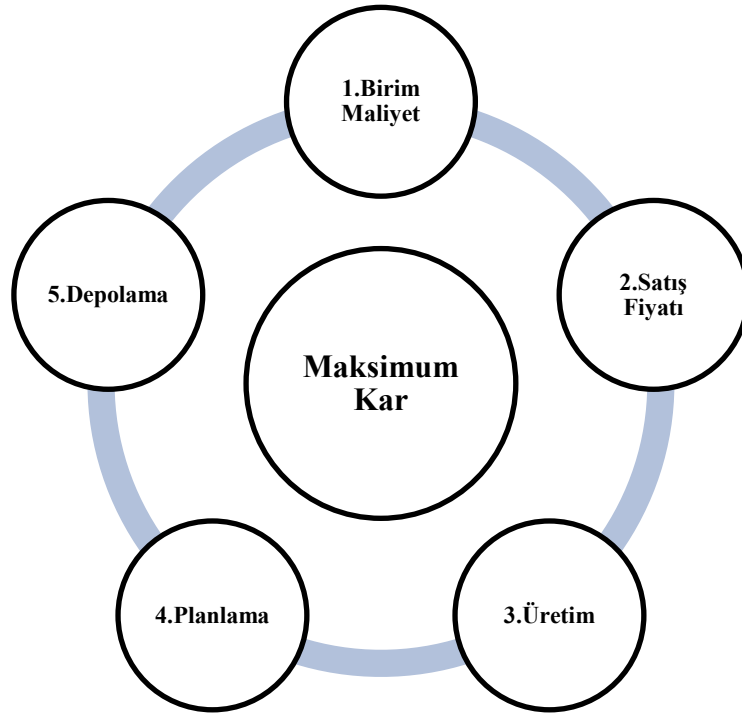
MRP periyodu işletmenin MRP hesabı yaptığı tarih periyotlarını ifade etmektedir. İşletme bazı durumlarda haftada bir ve ayda bir olmak üzere 2 periyotta MRP hesabı yapmaktadır. İşletme sipariş bazlı MRP hesabı yapmakta ve müşteri firmalar tarafından istenen ürünlere ait üretim ve satın alma ihtiyaçlarının belirlenmesi için MRP parametrelerinin sadece söz konusu sipariş ihtiyaçlarına yönelik hesaplanabilmesi ve ihtiyaç listesi çıkarması sağlanmaktadır. İşletmenin yoğun bir üretim takvimi olması nedeniyle bazı ürünler için farklı rotalar kullanılmaktadır. Bu rotalar işletme içinde üretime yetişemeyecek olan parçaların fason firmalara sipariş açılarak bu firmaların üretim yapması durumları için oluşturulmuştur. Genellikle fason firmalara belli operasyonlarda üretim yaptırılmaktadır. MRP hesaplamaları sonrası ortaya çıkan imalat ihtiyaçları üretim planlama birimi tarafından değerlendirilerek atölye ve işlem yerlerine iş emri verilmektedir. İşletmede üretim en az 2 hafta önden gidecek şekilde planlama yapılması sağlanmıştır. 2 haftalık süreye rağmen atölyeler tam kapasite çalışmakta ve zaman zaman fazla mesailer yapılmaktadır. Yine işletme MRP hesabı sonrası çıkan satın alma ihtiyaçlarına göre satın alma, depo yönetimi ve planlama birimleri ile koordineli çalışarak satın alma siparişlerini oluşturmaktadır. Satın alma işlemi sonrasında tesellümde kalite kontrolden geçen parçalar önce satın alma depoya ve sonrasında atölyelere ait depolara transfer edilmektedir.

Siparişe dayalı üretimde sipariş adetleri ve termin sürelerinin belli olması işletme için üretim planlama aşamasında net bilgiler vermekte ve bu sayede işletmedeki tedarik zinciri ağı sorunsuz ilerlemektedir. Ancak fason üretime ihtiyaç olduğunda durum değişmektedir.

Araştırmaya konu olan fason üretim için siparişe dayalı üretimde olduğu gibi planlı sonuç verileri bulunmamaktadır. Elde olan veriler geçmiş dönemlerdeki siparişler ve satış adetleri, fason

firma maliyetleri ve diğer standart verilerdir. Dönem bazlı siparişin artış ve azalış oranları da bilinmekte ancak yatırım kararı almak ve bu veriler ile üretim yapmak veya yaptırmak için kesin kararlar verilememektedir. İşletme bu aşamada kullanmış olduğu MRP verilerini KKP uygulamasından farklı bir uygulama/yöntem ile değerlendirerek ve KKP uygulaması üzerindeki ay bazında fason üretim planlaması verileri ile karşılaştırma yaparak net bir fason üretim planlaması yapmak istemektedir. Araştırmada, en çok üretim yapılan ve sipariş hareketliliği yüksek olan havalandırma sistemi ürünleri üzerinde çalışma yapılmıştır. İşletmenin atölye ve işlem yerleri tam kapasite çalışma durumu ve en az 3 aylık süre için tam kapasite ile üretim yapılacağı bilinmektedir. Araştırma kapsamında işletmenin KKP sistemine girilen veriler ile hedeflenen üretim miktarları ve maliyet tutarları karşılaştırılarak işletmenin fason üretim yapabilmesi için ihtiyaç duyacağı iş gücünün hesaplanması ve hedeflenen kârlılığa ulaşılması amaçlanmaktadır. Çalışmada, ham KKP verileri yani yorumlanmamış (analiz çıkarımları yapılmamış) veriler üzerinde çalışma yapılacaktır. Araştırmanın çıktısı olarak işletmede kullanılan model sonucuna göre maksimum kâr tutarı değerlendirilerek fason üretim yapılması veya yapılmaması kararının alınması sağlanacaktır.

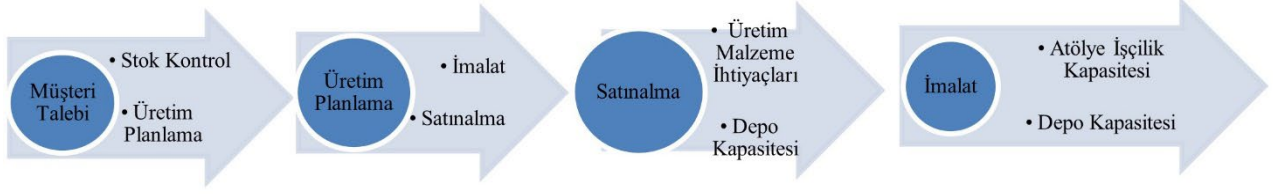
Çalışmada işletmenin fason üretim modellemesinde kullanılacak olan verilere ait iş akışı şeması Şekil 1'de gösterilmiştir. İşletmeye gelen müşteri talepleri için önce rezerve edilmeyen stoklara bakılmakta, bu yeterli geliyorsa sevkiyat yapılmaktadır. Çalışmaya konu firma fason üretim yapan bir işletme olmadığı için genelde rezerve edilmeyen ürünleri bulunmamakta ve üretim planlaması müşteri talepleri ve siparişler doğrultusunda gerçekleşmektedir. Müşterilerin işletmeden ürün talebi sonrası planlama süreci başlamakta ve şekildeki akış üzere hareket edilmektedir. Üretim planlama ihtiyaçları çıktısının iş emrine dönüşebilmesi için atölye ve işçilik kapasitelerinin yeterli olması ve depo kapasitesinin de üretilecek miktarı karşılıyor olması gerekmektedir. Sonraki aşamada iş emirleri açılarak atölyelere kapasitelerini geçmeyecek kadar iş emri gönderimi yapılmaktadır. İş emri gönderim miktarına göre de üretim planlama sonrası çıkan hammadde satın alma ihtiyaç miktarları belirlenerek üretimde kullanılacak malzemelerin satın alma planlaması da yapılmaktadır. İşletmenin iş emri açarken dikkat ettiği kısıtlar üretim planlama için önem arz etmektedir.



Şekil 1. Talep Karşılama Döngüsü (Üretim Planlamaya Konu Olan Döngü)

İşletmenin müşterilerden gelen talepler ve tahminlere göre üretim yapması gerekmektedir. Şekil 2'de çalışmada kullanılan doğrusal hedef programlama yöntemindeki simpleks modelinin hedef fonksiyonu olan maksimum kâr bileşenini etkileyen göstergeler verilmiştir. Birim maliyet göstergesi;

hammadde maliyeti üzerinden nihai ürün maliyetini, satış fiyatı; ürünün fiyatlandırılması ile maliyet üzerinden ortaya çıkacak kâr hesaplamasını göstermektedir. Ek olarak üretim; üretim maliyetleri ile fiili üretim miktarını, planlama; üretim miktarı hesabına bağlı olarak atölye işleme yerleri üzerindeki kapasite ve üretim tarihleri planlamasını, depolama; üretimden çıkacak stokların depolara yerleştirilme planlaması ve depo kapasitesi hesaplamalarını ifade etmektedir.



Şekil 2. Maksimum Kâr Anahtar Göstergeleri

Şekil 2 genel olarak kârlı bir satışa etki eden temel yapı taşlarını göstermektedir. Maksimum kâra etki eden unsurların belirlenebilmesi için ürünlerin detaylı maliyetlerinin bilinmesi ve tüm süreçlerdeki maliyetlerin birim maliyet kalemi içinde değerlendirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Bu maliyetler sonrasında belirlenen kâr oranı, piyasa şartları ve işletme menfaatlerine göre analiz edilerek satış fiyatı belirlenmelidir. İşletme, taleplere göre üretim yapmalıdır. Bu sayede talebe göre üretim sonrasında çalışmaya konu olan fason üretim için planlama yapmak mümkün olacaktır. Üretim planlaması sonrasında depo planlaması da önemli bir kısıttır. Depo adres kapasitelerinin doluluk ve sevkiyat planlarına göre kapasite durumları ve üretim sonrası kapasite yeterlilik durumları da ayrıca önem arz etmektedir.

3.2. Model

Veriler sonucunda oluşturulan model aşağıdaki gibidir.

X_j : Üretilecek havalandırma sistemi ürünü miktarı

C_j : Üretilecek havalandırma sisteminin birim kârı

k_i : Üretilecek havalandırma sistemi kapasitesi

p : Üretilecek havalandırma sistemi üretim katsayısı

$$Z_{\max} \sum_{j=1}^n c_j x_j, \quad j=1,2,\dots; n \quad (1)$$

Kısıtlayıcılar;

$$\sum_{j=1}^n p x_j \leq k_j, \quad i=1,2,\dots; m \quad j=1, 2,\dots; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n p x_j \geq k_j, \quad i=1,2,\dots; m \quad j=1, 2,\dots; n \quad (3)$$

Pozitif Kısıtlama;

$$x_j \geq 0 \quad j=1,2,\dots,n \quad (4)$$

Çalışmada tercih edilen kısıtların doğrusal hedef programlama yöntemi ile yapılan çeşitli çalışmalarda kullanıldığı görülmüş ve kısıt formülasyonu Alan ve Yeşilyurt (2004) çalışmasından alınmıştır. Ünüçok (2019) ve Arık (2020) çalışmalarında da aynı yaklaşım ile kısıtların kullanımı ve sonucuna dair benzer bilgiler verildiği görülmektedir. İşletme için maksimum kârın bulunması ve bu kârı sağlayan üretim miktarı ile ürün birim kârları (satış fiyatı- birim maliyet), üretim kapasitesi

ve depo kapasitesi kısıtlarının bulunabilmesi ve bunun sonucunda da fason üretim kapasite artırım kararı alınabilmesi için ilgili kısıtlar kullanılmıştır. Modele dâhil edilen kısıtlar üretim planlama süreçlerinde de kullanılan temel unsurlardır.

Modelde karar kontrol değişkenlerinin tanımlanması gerekmektedir. Eşitlik 1,2,3,4 modelin sonuç formülü ve kısıt denklemlerini içermektedir. Her bir ürünün üretim planlama yaparken nasıl gösterileceği Tablo 2’de yer almaktadır.

Tablo 2. Üretilen Havalandırma Sistemi Ürünleri

Ürün Adı	Modeldeki Karar Değişkeni
A	Y_1
B	Y_2
C	Y_3
D	Y_4
E	Y_5
F	Y_6

İşletmenin üretim planlama sürecinde, geçmişe ait veriler gelecekteki üretim bilgileri için önemli bir veri kaynağıdır. Bu veriler gelecekteki talepler ve üretim adetlerini tahmin için önemli bir göstergedir. İşletmenin belirlenen tarih aralığına ait veriler Tablo 3’de gösterilmiştir. İşletme üretim planlaması kararında bu veriler kullanılmıştır.

Tablo 3. Havalandırma Sistemleri Ürünleri ve Üretim-Maliyet-Talep Bilgileri (Aylık)

Ürünler	Satış Fiyatı (TL/Adet)	Birim Maliyet (TL)	Birim İşçilik (Dk/Adet)	Fiili Üretim (Adet)	Maksimum Sipariş Talebi (Adet)
Y_1	120,50	97,50	10,80	620	1.100
Y_2	110,40	74,40	9,80	650	800
Y_3	130,50	110,20	11,70	680	900
Y_4	145,65	120,15	11,90	740	1.200
Y_5	175,80	147,60	12,50	800	900
Y_6	136	116,80	10,50	560	700
Toplam				4.050	5.600

Tablo 3’te ürünlerin satış fiyatı, birim maliyetleri, birim işçilik maliyetleri 1 Temmuz ile 1 Ağustos 2022 tarihleri arasındaki üretim adetleri ve müşteri firma talepleri gösterilmektedir. Satış fiyatları belirtilen aydaki fiyat listesi üzerinden alınmış, birim maliyetler ve birim işçilik için yine ürünlerin detaylı maliyet hesapları dikkate alınmıştır. Fiili toplam üretim ve maksimum sipariş talepleri de yine üretim miktarları ve sipariş miktarları verileri üzerinden alınmıştır. Tablodaki tüm veriler işletmenin kullandığı KKP sisteminden çekilmiştir.

Firmanın kullanmış olduğu KKP yazılımı olan HarmonyERP uygulaması firmada, satın alma, satış, stok takip, üretim, kalite kontrol, bakım-onarım, muhasebe-finans, CRM ve İK dâhil firmanın tüm süreçlerini yönetmesini sağlamaktadır. Çalışma kapsamında model için gerekli olan tüm bilgiler HarmonyERP rapor ekranlarından alınmıştır. HarmonyERP uygulaması modeldeki verilerin doğruluğunun teyidi ve hızlı ulaşılabilir olması sayesinde model için net bilgiler sağlamıştır. Firma HarmonyERP uygulamasını 7 yıldır kullanmakta ve ihtiyaç duyulan noktalarda firmaya özel geliştirmeler yapılmaya devam etmektedir.

Tablo 4’te ürün maliyetleri ve satış rakamları üzerinden yapılan hesaplama ile ürünlerin birim kâr oranları verilmiştir.

Tablo 4. Havalandırma Sistemi Ürünleri Birim Kâr Tablosu

Ürünler	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
Birim Kâr (TL)	23	36	20,3	25,5	28,2	19,2

3.2.1. Model Kısıtları

İşletmenin planlama dönemi 1 ay seçilmiş ve bu ay içindeki çalışan sayıları ve stok bakiyeleri ile makine sayılarının ilerleyen dönemlerde aynı olduğu varsayılmıştır. İşletmenin havalandırma sistemi ürünlerine ait stokların siparişe rezerve olması nedeniyle stok bakiyeleri de sıfır kabul edilmiştir. İşletmede mevcutta toplam 130 üzerinde personel bulunmakta, çalışmaya konu ürün grubunun üretildiği makinelerde 30 kişi çalışmaktadır. Haftada 6 gün (resmî tatil olan günlerde fazla mesai yapılarak) ve günde 8 saat çalışılmaktadır. Çalışan sayılarını makine ve süreçler üzerinde böldüğümüzde Y₁ ürününde 7, Y₂ ürününde 5, Y₃ ürününde 4, Y₄ ürününde 6, Y₅ ürününde 3, Y₆ ürününde 5 kişi çalışmaktadır. Y₁, Y₂, Y₃ ürünleri ile Y₄, Y₅, Y₆ ürünleri aynı üretim hattında üretilmektedir. Bu bilgiler; işletmenin KKP sistemindeki üretim yönetim modülünde yer alan işlem yerlerindeki ve üretim raporundaki personel tanımlarından alınmıştır. Tablo 3'e bakıldığında işletmenin 1 aylık zaman diliminde 4.050 adet havalandırma sistemi ürettiği görülmektedir. Y₅ ürünü eski tip araçlarda kullanılması sebebi ile stoğa üretim planı yapılmamaktadır. Talep miktarının üretim adedinden yüksek olması durumunda da devamlılık öngörülmediğinden üretilen en yüksek adet olan 800 adetten fazla üretilmemesi planlanmaktadır. Müşteri firma talebinde 5600 adet ürün istendiği için 1550 adet üretim kapasitesi açığı ortaya çıkmakta ve stoksuz çalışılması nedeniyle talebin karşılanamadığı görülmektedir. Aslında bu siparişlerin aylar önceden verildiği ve zamanında üretim yapılarak stoklanması durumunda sipariş edilen taleplerin karşılanabileceği görünmektedir. İşletmede sürekli siparişi olan ürünler ile en az 3 ay önceden verilen siparişler için stok tutma ihtiyacı bulunmaktadır. Bu stoklar siparişlerdeki ürün artışlarının karşılanması ve müşteri memnuniyeti sağlanması açısından önemlidir.

Tablo 5. Havalandırma Sistemi Ürünleri Bölümü Çalışma Saati Tablosu (dk.)

Ürünler	Çalışan sayısı	Günlük Çalışma Saati (dk.)	Toplam Günlük Çalışma (dk.)	Aylık Çalışma (dk.)
Y ₁	7	480	3.360	84.000
Y ₂	5	480	2.400	60.000
Y ₃	4	480	1.920	48.000
Y ₄	6	480	2.880	72.000
Y ₅	3	480	1.440	36.000
Y ₆	5	480	2.400	60.000

30 günlük üretim takvimine göre; işçilik süreleri ile haftalık 6 gün ve aylık 26 gün çalışma programı için ilgili üretim takvimi hesaplama sonuçları Tablo 5'de gösterilmiştir.

3.2.2. Doğrusal Programlama Modeli Oluşturulması

Amaç Fonksiyonu,

$$Z_{max} = Y_1 C_j + Y_2 C_j + Y_3 C_j + Y_4 C_j + Y_5 C_j + Y_6 C_j \quad (5)$$

$$Z_{max} = 23Y_1 + 36Y_2 + 20,3Y_3 + 25,5Y_4 + 28,2Y_5 + 19,2Y_6 \quad (6)$$

Eşitlik 5 ve 6'da amaç fonksiyonunun sonuç çıktısı için ürünler denklemin ilgili alanlarına yazılmıştır.

İşçilik Kısıtı,

$$10,80Y_1 \leq 84000 \quad (7)$$

$$9,80Y_2 \leq 60000 \quad (8)$$

$$11,70Y_3 \leq 48000 \quad (9)$$

$$10,80Y_1 + 9,80Y_2 + 11,70Y_3 \leq 192000 \quad (10)$$

$$11,90Y_4 \leq 72000 \quad (11)$$

$$12,50Y_5 \leq 36000 \quad (12)$$

$$10,50Y_6 \leq 60000 \quad (13)$$

$$11,90Y_4 + 12,50Y_5 + 10,50Y_6 \leq 168000 \quad (14)$$

İşletmedeki verilere göre işçilik kısıtları denklemde eşitlik 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14'de gösterilmiştir.

Talep Kısıtları,

$$Y_1 \leq 1100 \quad (15)$$

$$Y_2 \leq 800 \quad (16)$$

$$Y_3 \leq 900 \quad (17)$$

$$Y_4 \leq 1200 \quad (18)$$

$$Y_5 \geq 800 \quad (19)$$

$$Y_6 \leq 700 \quad (20)$$

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 \leq 5600 \quad (21)$$

İşletmedeki verilere göre talep kısıtları denklemde eşitlik 15, 16, 17, 18, 19, 20'de gösterilmiştir.

Depolama Kısıtları,

$$Y_1 \leq 750 \quad (22)$$

$$Y_2 \leq 900 \quad (23)$$

$$Y_3 \leq 950 \quad (24)$$

$$Y_4 \leq 1100 \quad (25)$$

$$Y_5 \leq 900 \quad (26)$$

$$Y_6 \leq 800 \quad (27)$$

İşletmedeki verilere göre depolama kısıtları denklemde eşitlik 22, 23, 24, 25, 26, 27' de gösterilmiştir. Pozitiflik Kısıtı;

$$Y_i \geq 0 \quad i=1,2,3...6 \quad (28)$$

sırasında giden pozitif tamsayıları ifade etmektedir. Pozitif tamsayı kısıtı eşitlik 28'de gösterilmiştir.

4. Bulgular

Amaç fonksiyonu ve kısıtlar POM-QM for Windows 3 programı ile hesaplanmıştır. Doğrusal programlama yöntemi ile gerçekleştirilen modelin çözümüne dair sonuçlar Tablo 6'da gösterilmiştir. Bu tablo, Tablo 3'teki fiili üretim ve maksimum sipariş talebi ile karşılaştırıldığında A(Y₁) ürününün fiili üretim miktarının üstünde olduğu ve maksimum sipariş talebinin de altında olduğu anlaşılmaktadır. D(Y₄) ürününün fiili üretimin üzerinde olduğu ve maksimum sipariş talebinin altında olduğu gözükmektedir. E(Y₅), B(Y), F(Y₆) ve C(Y₃) ürünleri için de maksimum sipariş talebinin karşılandığı görülmektedir.

Tablo 6. Model Çözüm Tablosu

Değişken	Değer
Y_1	750
Y_2	800
Y_3	900
Y_4	1.100
Y_5	900
Y_6	700
Optimal Değer (Z)	132.600

Tablo 6'daki miktarlar ile üretim yapıldığında, elde edilecek maksimum kâr 132.600 TL olarak bulunmuştur. Bu kârdan %9 fason üretim maliyeti çıkarıldığında, 120.666 TL maksimum kâr elde edildiği görülmektedir. İşletme A ve D ürünlerinde fiili üretim kapasitesini artırsa da müşteri sipariş taleplerini karşılayamamaktadır. İşletmenin üretebilme kabiliyeti olmasına rağmen maksimum sipariş miktarına ulaşamamasındaki ana etkenin iki ürün için de depo kapasitesinin yetersiz kalmasından kaynaklı olduğu görülmektedir. İşletmenin mevcut depo kapasitesini artırma veya depo kiralama yöntemlerinden birini tercih edeceği durum için A ve D ürünlerine ait depo kapasitelerinin en fazla maksimum sipariş miktarına eşit olduğu bir model kısıtı eklendiğinde aşağıdaki tablo oluşmaktadır. Bu modelde depo kısıtları olarak A ürünü için 350 ve D ürünü için de 100 adetlik kapasite artırımı yapılmıştır. Kiralama veya kapasite artırımı ile ortaya çıkacak ek depo maliyeti, işletmenin gelecek senelerde rahatlıkla amorti edeceği bir masraf kalemi olduğu için göz ardı edilmiştir.

Tablo 7. Model Çözüm Tablosu (Kapasite Artırmalı)

Değişken	Değer
Y_1	1100
Y_2	800
Y_3	900
Y_4	1200
Y_5	900
Y_6	700
Optimal Değer (Z)	141.790

A ve D ürünlerine ait depo adreslerinde kapasite artırımı yapıldığında, elde edilecek maksimum kâr 141.790 TL olarak bulunmuş yani kâr artışı sağlanmıştır. Bu kârdan %9 fason üretim maliyeti çıkarıldığında, net 129.028 TL maksimum kâr artışı sağlanabileceği Tablo 7'de görülmektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

İşletmelerde üretim planlama faaliyeti; işletmenin tüm süreçleri ile ilişkili olduğu için tüm birimler ile koordineli olarak yürütülen bir süreçtir. İşletme, müşteri taleplerine göre üretim planlaması yapmakta ve planlama süreci diğer tüm birimlerin süreçlerine etki etmektedir. Sektörde devamlılığını sağlamak isteyen işletmeler, müşteri taleplerini karşılamalı ve taleplere karşılık verebilmek için tedarik zincirindeki yüklerini imalat sektörü dinamiklerine dağıtmalıdır (Arslan vd., 2019: 103-104). İşletmeler ürün satışlarına göre uyguladıkları üretim planlama yöntemlerinde, duruma göre siparişe dayalı üretim planlama ve stoğa dayalı üretim planlama yöntemlerinden birini veya her ikisini de tercih etmektedirler. Uygulama yapılan işletmede siparişe dayalı üretim planlama yapılmakta olup bu araştırma stoğa dayalı üretim ihtiyacı dikkate alınarak yürütülmüştür. Çalışmanın gerçekleştirildiği işletmenin ilgili üretim bölümünde tam kapasite üretim yapılmakta ve işletmenin anlık sipariş artışları ile makine arızaları ve personel kaynaklı hatalarda taleplere karşılık verebilmesi için fason üretim planlaması yapılması bir zorunluluk olmaktadır.

Çalışmada, işletmenin tam kapasite çalışması nedeniyle değişken müşteri taleplerini karşılamak için küçük çaplı fason üretim yapan işletmelere fason üretim yaptırarak müşteri taleplerini karşılaması odaklı bir çalışma yapılmıştır. Fason üretim yapan işletmelerin rekabetçi üretim yapıları ve üretim

kapasitelerinin her geçen yıl arttığı bir sektörde üretim artışı yapamayan işletmeler büyük çaplı üretim firmaları tarafından tercih edilmemektedirler. Bu işletmeler ürünleri için fason üretim yapacak işletmelerden talep ettikleri ürünlerin zamanında ve yeterli miktarda gelmesini istemektedirler. Bu nedenle fason üretim yapan işletmeler üretim yaptıkları firmaların büyümesine paralel olarak büyümeli ve firma taleplerine cevap verebilmelidirler.

Çalışma dâhilinde firmanın kapasite artırımı üzerine bir model kurularak büyük çaplı işletmelere hızlı, zamanında ve talep edilen miktarlar üzerinde dönüş yapılabilmesi için fason üretim ile üretim kapasitesi artırma üzerine bir doğrusal programlama modeli kurgulanmıştır.

Sonuç verilerine göre; A ürününden 750, B ürününden 800, C ürününden 900, D ürününden 1100, E ürününden 900, F ürününden 700 adet üretilerek işletmenin mevcut şartlarda (kısıtlarda) 120.666 TL kâr elde ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Matematiksel model ve kısıtlardan çıkan sonuca göre A ve D ürünlerinin (talep miktarları A:1100 ve D:1200 olduğundan) mevcut şartlarda müşteri talep miktarının altında kaldığı yani fason üretim yapıldığında dahi bazı ürünlerde müşteri taleplerinin karşılanamadığı görülmektedir. Yani modele ait taleplerin tamamı karşılansa dahi hedeflenen maksimum kâr tutarını vermediği anlaşılmaktadır. Müşteri talepleri doğrultusunda maksimum kâr elde edilememesinin nedeni analiz edildiğinde, depo kapasitesindeki yetersizlik kaynaklı olduğu saptanmıştır. Maksimum kâra ulaşılabilmesi için matematiksel modeldeki kısıtlar da revize işlemleri yapılarak A ve D ürünlerinin depolandığı adreslerde kapasite artışı yapılmıştır.

A ve D ürünlerine ait depo adres kapasiteleri sipariş taleplerine paralel olarak artırıldığında, A 1.100 ve D 1.200 adet üretim miktarları ile kârın 129.028 TL'ye yükseldiği görülmektedir. A ve D ürünlerinde talep edilen üretim miktarına ulaşılması halinde maksimum kârın da arttığı görülmektedir. Böylece doğrusal programlama modeli uygulanan işletmede model çıktısında maksimum kâr elde edilmiştir. Çalışma ile işletmede depo kapasitesi artırımı ihtiyacı olduğu ve tam kapasitedeki üretim hatlarına ek olarak fason işletmelere müşteri talep miktarlarının karşılanması için A, B, C, D, E, F ürünleri için fason üretim yaptırılarak müşteri taleplerinin karşılanabileceği üretim miktarları ve maksimum kâr tutarı sonuçları elde edilmiştir. Çalışma işletmenin üretim kapasitesini fason üretim yaptırarak artırması durumunda ek depo kapasitesine ihtiyaç duyacağı sonucunu da ortaya çıkarmıştır. Literatürdeki benzer çalışmalara bakıldığında, üretim planlamanın genel çerçevede değerlendirildiği, üretim planlama için seçilen ürün veya ürün grupları için işletmenin tüm ürün adetleri ve bütün imalat operasyonları dâhil edilerek işletme kısıtlarına göre çeşitli çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Örnek verecek olursak Balogun vd. (2012), çalışmada üretilmesi gereken meşrubat çeşitleri ve maksimum kâr elde etmek için hedeflenen kola üretim miktarlarına (cl) ulaşılmış ve tüm ürünler ve tüm operasyonlar doğrusal programlama yöntemi içindeki hesaplama kısıtlarına ve sonuç çıktısına dâhil edilmiştir.

Söz konusu çalışmalarda seçilen ürün veya ürün grupları üzerinden kâr maksimizasyonu sağlanmaya çalışılmış, işletmenin kâr maksimizasyonuna göre seçilen ürün veya ürün grubu için değerlendirme yapması beklenmiştir. Bazı çalışmalarda da kâr maksimizasyonu için yapılması gereken üretim adetlerine yönelik bir takım sonuç tabloları verilmiş, işletmenin ilgili tabloda yer alan üretim adetlerine göre elde edebileceği kâr değerleri sunulmuştur. Ayrıca ürünlerin belirlenen kısıtlara göre üretim miktarlarının ve kâr maksimizasyon değerinin bulunması da örnek olarak verilebilir (Deste ve Karabulut, 2021).

6. Tartışma

Yürütülen çalışmada, literatürdeki benzer çalışmalarda olduğu gibi işletme üretim kısıtlarına göre en yüksek kâr maksimizasyonunun sağlanması amacı ile üretilebilecek maksimum üretim adetleri bulunmuştur. Ayrıca literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak uygulama yapılan işletmede tüm işletme içinde operasyona uğrayan ürün veya ürün grubu seçilmemiş fason üretim yaptırılan ürün grubu için üretim planlama yapılmıştır. Yine farklı olarak işletme üretim planlama kısıtlarına ve sonuç çıktısına depo kısıtları da eklenmiştir. İşletmenin depo kısıtları da katılarak fason üretim

planlaması için kâr maksimizasyonunun yakalanacağı seviye bulunmuş ve kâr maksimizasyonunda en yüksek seviyeye ulaşılabilmesi için yakalanması gereken üretim adetleri sonuç tabloları olarak verilmiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak söz konusu sonuç tablosunun çalışma içinde bulunan sonuçlardan hareketle, bazı depoların kapasitesinin artırılması ile kâr maksimizasyonunu en yüksek seviyeye çıkaracağı sonucuna ulaşılmıştır.

İşletmelerde kapasite planlaması üretim ihtiyaçlarının artması ile her geçen gün daha önemli bir parametre haline gelirken, bu çalışmanın üretim kapasitesini artırmak isteyen ancak iç kaynakları yetersiz olan firmalar için fason üretim ile kapasite ve kâr artışı sağlanabileceğini göstermesi bakımından önemli olduğu düşünülmektedir. Üretim kapasitesi artırımının iç kaynaklar yetmediğinde de mümkün olabileceğinin gösterildiği çalışmada; gerçekleştirilen matematiksel modelleme ile atölye, makine, depo, personel sayısı ve diğer üretim parametreleri için kapasite planlaması yapılabileceği ortaya konulmaktadır. Çalışma, işletmelere üretim kapasitesini arttırabilmeleri noktasında yol gösterici olabilir, özellikle siparişe yönelik üretim dışında ileride oluşacak talebe yönelik stoğa üretim ve depo kapasitesi uyumluluğu için MRP hesaplamasında bu yaklaşımın dikkate alınması düşünülebilir. Çalışmanın yol gösterici yönüyle literatüre özgün katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Araştırmanın daha anlamlı ve etkin olması için benzer çalışmaların daha kurumsal firmalarda ve daha uzun zamana yayılarak yapılması gerektiği düşünülmektedir. Diğer yandan farklı bölge ve uluslararası karşılaştırmaların yapılması da önerilmektedir. Çalışmanın sektörel açıdan bir farklılığa neden olup olmadığı da araştırılması gereken önemli konular arasında yer almaktadır.

Kaynaklar

- Adriantantri, E., ve Indriani, S. (2021). Optimization of production planning using linear programming optimization. *International Journal of Software & Hardware Research in Engineering (IJSHRE)*, 9(11), 41-46. <https://doi.org/10.26821/IJSHRE.9.11.2021.91116>
- Alan, M. A. ve Yeşilyurt, C. (2004). Doğrusal programlama problemlerinin excel ile çözümü. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(1), 152-155.
- Arık, M. C. (2020). *Doğrusal programlama çözücülerinin performans analizi* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Bursa.
- Arslan, A., Naughton, S., Tabas, A. M., and Puhakka, V. (2019). Outward internationalisation of emerging market small and medium sized enterprises: Contract manufacturing relationship with developed market multinational enterprise(s) and capabilities development. M. Y. Haddoud, P. Jones ve A.-K. E. Onjewu (Ed.), *International entrepreneurship in emerging markets: Nature, drivers, Barriers and Determinants* içinde (s. 99-113). Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/S2040-724620190000010010>
- Ballouki, I., Douimi, M., ve Ouzizi, L. (2021). A distributed and collaborative model for product design selection considering its supply chain costs and environmental footprint. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 10(1), 1-25. <https://doi.org/10.1080/23302674.2021.1958949>
- Balogun, O.S., Jolayemi, E.T., Akingbade, T.J. ve Muazu, H. G. (2012). Use of linear programming for optimal production in a production line in Coca-Cola bottling company, Ilorin. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(5), 2004-2007. <https://www.ijera.com/>
- Bilgin, E., ve Özçakar, N. (2021). Bozulabilir ürünler için birleşik üretim ve dağıtım planlama. *Öneri Dergisi*, 16(55), 159-184. <https://doi.org/10.14783/maruoneri.757298>
- Bircan, H. ve Kartal, Z. (2003). Doğrusal programlama tekniği ile kapasite planlaması yaklaşımı ve çimento işletmesinde bir uygulaması. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(1), 213-232. https://acikerisim.uludag.edu.tr/bitstream/11452/17827/1/22_1_11.pdf

- Çetindere, A., Sevim, Ş. ve Duran, C. (2010). Üretim planlama problemlerinde doğrusal programlama tekniğinin kullanımı: bir konfeksiyon işletmesinde uygulama. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (35), 271-300. <https://dergipark.org.tr/en/pub/erciyesiibd>
- De Meyere, J. (2020). Production planning and capacity management of a job shop type smart manufacturing system using linear optimization. *Master's thesis*, Eindhoven University of Technology. https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/164238590/Master_Thesis_Julie_De_Meyere.pdf
- Deste, M. ve Karabulut, M. (2021). Doğrusal programlama tekniğiyle üretim planlama yaklaşımı ve tekstil sektöründe bir uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 26(3), 247-258. <https://dergipark.org.tr/en/pub/sduiibfd>
- Durak, İ. (2006). Denizli tekstil işletmeleri neden fason üretim yapıyor? Bir şebeke organizasyon çeşidi olarak fason üretim ve Denizli tekstil işletmeleri uygulaması. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (27), 101-118. <https://dergipark.org.tr/en/pub/erciyesiibd>
- Gül, A. U., Acar, H. H. ve Topalak, Ö. (2000). Ormancılıkta üretim çalışmalarında mekanizasyon ihtiyacının doğrusal programlama yoluyla belirlenmesi. *TÜBİTAK Doğa Dergisi*, 23, 375-382.
- Güler, A., ve Bircan, H. (2021). Bulanık Doğrusal Programlama ve BIMS üretim işletmesinde bir uygulama. *Turkish Studies-Economics, Finance, Politics*, 16(2), 823-837. Kağnıcıoğlu, C. H. (1991). Ana üretim planlamasına doğrusal programlama yaklaşımı ve bir uygulama. *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi.
- Krynke, M. ve Mielczarek, K. (2018, 18-20 Haziran). Applications of linear programming to optimize the cost-benefit criterion in production processes. *MATEC Web of Conferences, 12th International Conference Quality Production Improvement 183(04004)* içinde (s. 1-6). Zaborze-Poland. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818304004>
- Lahdelma, R. ve Hakonen, H. (2003). An efficient linear programming algorithm for combined heat and power production. *European Journal of Operational Research*, 148(1), 141-151. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00460-5](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00460-5)
- Lee, A.S. ve Aronofsky, J.S. (1958). A linear programming model for scheduling crude oil production. *Journal of Petroleum Technology*, 10(07), 51-54. <https://doi.org/10.2118/862-G>
- Pilar, F., Costa e Silva, E., ve Borges, A. (2023). Optimizing vehicle repairs scheduling using mixed integer linear programming: A case study in the Portuguese automobile sector. *Mathematics*, 11(11), 2575, 1-23. <https://doi.org/10.3390/math11112575>
- Rauch, E., Seidenstricker, S., Dallasega, P. ve Hämmerl, R. (2016). Collaborative cloud manufacturing: design of business model innovations enabled by cyberphysical systems in distributed manufacturing systems. *Journal of Engineering*, 0(12), 5. <https://doi.org/10.1155/2016/1308639>
- Sofuoğlu, Ö. (2020). *Otomotiv camı üretiminde malzeme ihtiyaç planlama optimizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi.
- Türk, E. ve Kiani, F. (2019). Yapay sinir ağları ile talep tahmini yapma: Beyaz eşya üretim planlaması örneği. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 1, 30-37. <https://dergipark.org.tr/en/pub/izufbed>
- Uhlmann, I.R., Santos, P.P.P., de Souza Silva, C.A. ve Frazzon, E.M. (2018). Production rescheduling for contract manufacturing industry based on delivery risks. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1059-1064. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.467>
- Ünüçok, S. (2019). *Doğrusal programlama yöntemi ile üretim planlama bir nonwoven kumaş fabrikasında uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). Hasan Kalyoncu Üniversitesi.
- Yalçın, A.O. (1984). Doğrusal programlama ve madencilğe ilişkin iki basit örnek. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 23(3), 25-40. <http://www.mining.org.tr/en/download/article-file/376380>
- Yıldırım, M. ve Güler, A. (2022). CNC makineleri satış firması hedeflerinin bulanık hedef programlama ile değerlendirilmesi. *International Social Sciences Studies Journal*, 8(99), 1917-1929.