

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**RULMAN ÜRETİMİ YAPAN BİR FİRMADA ORTA DÖNEM
KAPASİTE PLANLAMA UYGULAMASI**

HAZIRLAYAN

BEGÜM POLAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA - 2023

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**RULMAN ÜRETİMİ YAPAN BİR FİRMADA ORTA DÖNEM
KAPASİTE PLANLAMA UYGULAMASI**

**HAZIRLAYAN
BEGÜM POLAT**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ ESRA DİNLER**

ANKARA – 2023

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Begüm POLAT tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 05 / 09 / 2023

Tez Adı: Rulman Üretimi Yapan Bir Firmada Orta Dönem Kapasite Planlama Uygulaması

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)

İmza

Prof. Dr. Yusuf Tansel İÇ, Başkent Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Ayyüce AYDEMİR KARADAĞ, Gazi Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Esra DİNLER, Başkent Üniversitesi

.....

ONAY

Prof. Dr. Faruk ELALDI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih : ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 14 / 09 / 2023

Öğrencinin Adı, Soyadı : Begüm POLAT

Öğrencinin Numarası : 22010088

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Tezli Yüksek Lisans

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Dr. Öğr. Üyesi Esra DİNLER

Tez Başlığı : Rulman Üretimi Yapan Bir Firmada Orta Dönem Kapasite Planlama
Uygulaması

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans/Doktora tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 69 sayfalık kısmına ilişkin, 13 / 09 / 2023 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %8 'dir. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:.....

ONAY

Tarih: ... / ... / 20...

Öğrenci Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Esra DİNLER

TEŞEKKÜR

2020 yılında başladığım endüstri mühendisliği yüksek lisansımı tamamlamanın heyecanı ve gururunu yaşamaktayım. Bu bölümü, tezimi hazırlarken benden yardım ve desteklerini esirgemeyen, bu konuda beni teşvik eden kişilere teşekkür etmek için bir fırsat olarak kullanacağım.

Öncelikle danışmanlığımı üstlenen, tez konumun seçiminden araştırmanın yürütülmesine kadar olan tüm süreçlerde desteğini esirgemeyen, zorlandığımda destek olan ve beni her zaman yukarı taşımak için çaba gösteren sevgili hocam Dr. Öğr. Üyesi Esra Dinler'e tüm emeklerinden dolayı çok teşekkür ediyorum. Tez savunmama katılarak yapıcı eleştirilerle tezimin son şeklini almasını sağlayan değerli hocalarım Prof. Dr. Yusuf Tansel İç ve Doç. Dr. Ayyüce Aydemir Karadağ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez yazma sürecim boyunca hem konunun belirlenmesinde hem de gerekli verilere erişimimi sağlama ve sorularımı cevaplama konusunda desteklerini esirgemeyen, sanayii danışmanım Dr. Alptekin Demiray'a da teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Son olarak tez yazma sürecimde zorlandığım her an yanımda olan, bana destek veren ve bu süreci tamamlamamda çok büyük katkıları olan annem Betül Polat, babam Tarkan Polat, kardeşim Berkay Polat ve özellikle sevgili arkadaşım Haluk Çobanoğlu'na çok teşekkür ederim.

ÖZET

Begüm POLAT

RULMAN ÜRETİMİ YAPAN BİR FİRMADA ORTA DÖNEM KAPASİTE PLANLAMA UYGULAMASI

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

2023

İşletmeler üretim süreçlerini belirli bir program doğrultusunda gerçekleştirerek, sahip oldukları kaynakları verimli bir şekilde kullanmayı ve işletme gelirlerini arttırmayı hedeflemektedirler. Bu aşamada kapasite planlama konusu büyük önem taşımaktadır. Tedarik zincirindeki talebin karşılanması kapsamında, üretim kapasitesi ve işgücü ihtiyaçlarını belirlemek için kapasite planlama, sıkça kullanılan bir tekniktir. İşletmelerdeki iş akış süreçlerini sorunsuz hale getirerek, kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını sağlar. Bu sayede atıl durumdaki kapasitelerin kullanımını sağlayarak maliyetleri en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Kapasite planlama çalışmalarında kullanılan matematiksel tekniklerden biri de doğrusal programlamadır. Bu matematiksel teknik ile işletmelerin sahip olduğu sınırlı kaynakların yönetimi gerçekleştirilerek en iyi sonuçların elde edilmesi sağlanmaktadır.

Bu tez kapsamında, rulman üretimi yapılan bir firmada orta dönem kapasite planlaması için doğrusal programlama tekniği ile hatlarda üretilecek ürünlerin ve miktarlarının belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. İşletmenin sahip olduğu kaynaklar gözetilerek çok amaçlı matematiksel bir model oluşturulmuş ve pareto çözümler elde edilmiştir. Önerilen matematiksel model ile işletmelerin hangi ürünleri hangi hatta ne kadar üreteceğinin belirlenerek kapasite planlaması gerçekleştirilmiştir. Önerilen çok amaçlı matematiksel modelde ilk amaç çalışılan gün sayısının enküçüklenmesi, ikincisi ise ürünlerin özelliklerine göre parti büyüklüklerinin belirlenerek stok durumlarının etkin bir şekilde yönetiminin

gerçekleştirilmesidir. Önerilen modelde bu iki amaç ile sisteme özel kısıtlar gözönünde bulundurularak pareto çözümler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar performans kriterlerine göre karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Orta Dönem Kapasite Planlama, Çok Amaçlı Matematiksel Programlama, Pareto Çözüm



ABSTRACT

Begüm POLAT

MEDIUM TERM CAPACITY PLANNING IN A BEARING MANUFACTURING COMPANY

Başkent University, Institute of Science and Engineering

Department of Industrial Engineering

2023

Businesses aim to use their resources efficiently and increase business income by performing their production processes in line with a certain program. At this stage, capacity planning is of great importance. Capacity planning is a frequently used technique to determine production capacity and workforce needs as part of meeting demand in the supply chain. It streamlines the workflow in businesses and ensures the most efficient use of resources. In this way, it aims to minimize costs by ensuring the use of idle capacities. One of the mathematical techniques used in capacity planning studies is linear programming. With this mathematical technique, it is ensured that the best results are achieved by managing the limited resources of the enterprises.

Within the scope of this thesis, the determination of the products to be produced on the lines and their quantities were carried out with the linear programming technique for medium term capacity planning in a company that produces bearings. A multiobjective mathematical model was created by considering the resources of the enterprise and pareto solutions were obtained. With the proposed mathematical model, capacity planning has been carried out by determining which products the enterprises will produce on which line and how much. In the proposed multi-objective mathematical model, the first purpose is to minimize the number of working days, and the second is to determine the lot sizes according to the characteristics of the products and to manage the stock status effectively. In the proposed model, for these two purposes, pareto solutions are obtained by taking into account the

system-specific constraints. Obtained results were compared according to performance criteria.

Keywords: Medium Term Capacity Planning, Multiobjective Mathematical Programming, Pareto Solution



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAPASİTE PLANLAMA.....	4
2.1. Kapasite Kavramı.....	4
2.3. Kapasite Planlaması ve Önemi	7
2.4. Kapasite Planlama Süreci	8
2.4.1. Uzun dönem kapasite planlama.....	9
2.4.2. Orta dönem kapasite planlama.....	10
2.4.3. Kısa dönem kapasite planlama	11
2.5. Doğrusal Programlama Yöntemiyle Kapasite Planlama	12
2.5.1. Tek amaçlı doğrusal programlama	14
2.5.2. Çok amaçlı doğrusal programlama	15
2.5.2.1. Ağırlıklandırma metodu	15
2.5.2.2. Hedef programlama	16
2.5.2.3. E-Kısıt Tekniği	16
2.5.2.4. Pareto optimal.....	17
2.5.3. Çok amaçlı programlamada sonuçların değerlendirilmesi.....	17
2.5.3.1. Pareto optimal çözüm oranı (RPOS).....	18
2.5.3.2. Ortalama ideal uzaklık (MID).....	18
2.5.3.3. Aralık (SM)	18
2.5.3.4. Çeşitlendirme (DM)	19
2.5.3.5. Pareto cephesinin tekdüzeliği (NPF)	19
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	20
4. UYGULAMA.....	27
4.1. Mevcut Durum Analizi.....	27

4.2. Orta Dönem Kapasite Planlama için Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Modeli	33
.....	
4.2.1. Modele ilişkin varsayımlar	33
4.2.2. Önerilen modele ilişkin belirlenen amaçlar	35
4.3. Orta Dönem Kapasite Planlaması için Önerilen Matematiksel Model	41
5. DENEYSEL SONUÇLAR	44
6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR	58
EKLER	
EK-1: Rulman Talep Miktarları	
EK-2: Örnek Ürün – Hat Eşleşmesi	
EK-3: Örnek TOPSIS Kriter Puanları Tablosu	
EK-4: Örnek Model Sonuçları	
EK-5: Pareto Optimal Sonuçlar	

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1 – Örnek Rulman Tipi Tanımlamaları	27
Tablo 2 – Mevcut Durum Örnek Çalışma	31
Tablo 3 – Mevcut Durum Sonuçlar	32
Tablo 4 – Kriter Değerleri	37
Tablo 5 – Normalize Matris	38
Tablo 6 – Ağırlıklandırılmış Normalize Matris	39
Tablo 7 – Kriter Bazlı En İyi ve En Kötü Değerler	39
Tablo 8 – İdeal Çözümünden Uzaklıklar	40
Tablo 9 – Ürün Bazlı Kriter Puanları	40
Tablo 10 – Amaç Fonksiyonu Ağırlıkları	44
Tablo 11 – TOPSIS Ağırlıkları	45
Tablo 12 – Örnek Üretim Miktarı Değişimleri	47
Tablo 13 – Hesaplanan Metriklerin Sonuçları	48
Tablo 14 – Pareto Optimal Çözümler	54

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Kapasiteyi etkileyen ve sınırlayan faktörler[3]	5
Şekil 2. Optimal Kapasite Düzeyleri[6]	7
Şekil 3. Kapasite Planlama Hiyerarşik Yapısı [9,10].....	8
Şekil 4. Üretim Modeli Akış Diyagramı	13
Şekil 5. Rulman Üretim Prosesleri.....	28
Şekil 6. Kapasite Planlama Adımları	29
Şekil 7. Rpos Karşılaştırma Grafiği	49
Şekil 8. MID Karşılaştırma Grafiği.....	49
Şekil 9. SM Karşılaştırma Grafiği.....	50
Şekil 10. DM Karşılaştırma Grafikleri	50
Şekil 11. NPF Karşılaştırma Grafikleri	51

1. GİRİŞ

Üretim, insani ihtiyaçların karşılanması, mal ve hizmetlerin elde edilmesi için yapılan çalışmalar bütününe verilen addır. İşletmeler, mal ve hizmetleri üretebilmek için üretim fonksiyonlarını doğru bir şekilde planlamalı ve yönetimlerini gerçekleştirmelidirler. Bu nedenle üretim planlama, üretimdeki senaryoları eniyilemek amacıyla geliştirilmiştir. İşletmeler, mal ve hizmetlerin tasarlanması ve üretilmesi için kritik bir rol oynayan üretim planlaması yaklaşımından yararlanmaktadır.

Üretim planlama, müşteri ve organizasyonların ihtiyacına göre üretim için verimli bir süreç oluşturmayı hedeflemektedir. Teslimatların zamanında gerçekleşmesi gibi müşteriye bağlı süreçleri ve üretimin çevrim süresi gibi müşteriden bağımsız olan süreçleri eniyilemek için çalışmalar yürütülmektedir. İyi ve etkili bir üretim planının amacı, bir siparişin verilmesi ile o siparişin tamamlanması ve teslim edilmesi arasında geçen süreyi yani tedarik süresini en aza indirmektir. Firmaya ve üretim planlamasının tipine bağlı olarak, tedarik süresinin tanımı değişebilmektedir.

Kapasite planlama bir üretim planlama türüdür. Tedarik zincirinin talebinin karşılanması kapsamında, işgücü ihtiyaçlarını ve üretim kapasitesini belirlemek için kullanılmaktadır. Kapasite planlama, işletmelerde üretim verimliliğini en üst seviyeye çıkararak sorunsuz bir iş akışı sağlamayı hedefleyen temel bir araç olarak rol almaktadır. Bu şekilde, işletmelerin taleplerdeki değişikliklerin öngörülmesine ve planlanmasına, kaynakları eniyilenmesine, ürün eksikliklerinin önlenmesine ve darboğazların belirlenmesine yardımcı olmakta ve işletmeler tarafından sıklıkla kullanılmaktadır.

Firmada mevcut durumda kapasite planlama, herhangi bir eniyileme yapılmadan, daha önceden yapılan çalışmalar incelenerek mühendislerin tecrübeleri doğrultusunda ürün-hat eşleşmeleri ile üretim çizelgesi hazırlanmakta ve bu çalışma yaklaşık bir hafta kadar sürmektedir. Bu nedenle kapasite planlama için hedefler dikkate alınmadan ilk uygun çözüm planlama bölümünde uygulanmaktadır. Ancak işletmenin hem kaynakları etkin kullanma hem de ürün durumları gözetilerek parti büyüklerinin belirlenmesi gibi amaçları zaman kısıtı nedeni ile değerlendirememektedir. Bu aşamada matematiksel bir tekniğe ihtiyaç duyulmakta ve hedefler doğrultusunda bir kapasite planlamanın yapılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, rulman üretimi yapan firmada kaynakların etkin bir şekilde kullanılması ve ürünlerin parti büyüklüklerinin belirlenerek uzun dönemde stokta kalma durumlarını önlemek amacı ile orta dönem kapasite planlaması gerçekleştirilmiştir. Burada ilk amacımız firma için ürün-hat eşleşmesini yaparken çalışılan toplam gün sayısını en aza indirmektir. İkinci amaç ise ürünlerin tamamının tek seferde üretilmesinin önüne geçerek ürünlerin özelliklerine göre parti büyüklüklerinin belirlenmesi ve stok durumlarının etkin bir şekilde yönetiminin gerçekleştirilmesidir. Bu hedefler doğrultusunda çalışmada çok amaçlı matematiksel model önerisi yapılmıştır. Modelden elde edilen pareto çözümler ile sonuçlar incelenmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde, çalışmada kullanılan yöntemin amacı, önemi ve çalışmanın yönteminden bahsedilmiştir. İkinci bölümde kapasite ve kapasite planlama kavramları incelenmiş ve kapasite planlama sürecinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde çalışma kapsamında yapılan literatür araştırmasına yer verilmiştir. Literatürde doğrusal programlama ve sezgisel teknikler ile kapasite planlama problemlerinin incelendiği örneklere yer verilmiştir. Dördüncü bölümde çalışmanın gerçekleştirildiği firmada mevcut durum analizi verilmiş ve tez kapsamında önerilen çok amaçlı matematiksel model tanımlanmıştır. Beşinci bölümde ise önerilen çok amaçlı matematiksel modelin deneysel sonuçları tablolar ile verilmiştir. Sonuç ve değerlendirme olarak verilen son bölümde ise

oluşturulan çok amaçlı matematiksel modelleme için mevcut durum ile karşılaştırılarak çalışma hakkında genel bir değerlendirme yapılmış ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar önerilmiştir.



2. KAPASİTE PLANLAMA

2.1. Kapasite Kavramı

Kapasite kavramı, bir işletmede/tesiste belli bir dönem için mevcut kaynaklarını kullanarak, elde edilebilecek en fazla miktardaki üretim miktarını ifade etmektedir. Kapasite bir işletmenin elinde bulunan üretim faktörlerinin belirli bir ölçü ile ifade edilmesi anlamına gelmektedir. Kapasite, işletmelerin mal ve hizmetleri üretebilme yeteneği ve imkânları hakkında fikir vermektedir[1].

Bir başka kapasite tanımlamasında, farklı üretim koşulları altında üretilebilecek en fazla üretim miktarı olarak tanımlanmıştır. Burada belirtilen üretim koşullarının günlük vardiya sayısı, çalışılan gün sayısı, firmadaki işgücü düzeyi ve fazla mesainin uygulanıp uygulanmadığı gibi faktörler olduğundan söz edilebilmektedir[2].

Başka bir deyişle üretimde kapasite kavramı, işletmelerin belirli bir zaman dilimi içinde üretim faktörlerini en verimli şekilde kullanarak meydana getireceği üretim miktarı olarak tanımlanabilmektedir. Doğa koşulları, verilen emek ve sermaye olarak sıralanabilecek üretim faktörlerinde de bir kısıtlamanın bulunduğu açıktır. Bu sayede kapasiteyi etkileyen ve kapasiteyi sınırlayan faktörlerin karşı karşıya bulunduğu söylenebilmektedir[3]. Kapasiteyi etkileyen ve sınırlayan faktörler Şekil.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kapasiteyi etkileyen ve sınırlayan faktörler[3]

Kapasite çeşitleri, yaygın olarak teorik kapasite, pratik kapasite, fiili kapasite, atıl kapasite ve optimum kapasite olarak beş sınıfta incelenebilmektedir[4].

Teorik Kapasite: Belirli bir zaman dilimi içerisinde kesintisiz çalışan bir tesis veya makinenin üretebileceği en yüksek ürün miktarı teorik kapasite olarak adlandırılır. Maksimum kapasite veya teknik kapasite olarak da ifade edilebilmektedir. Teorik kapasite teknik olarak bir makine veya teçhizatın belirli bir zaman dilimi içerisinde kalifiye işçilerin sürekli çalışması ile gerçekleştirilebilecek azami üretim miktarıdır. Ancak, bir işletmenin yıl boyunca farklı nedenlerle (kalifiye eleman eksikliği, kalitesiz malzeme, enerji kesintileri, makinenin bozulmaları vb.) teorik kapasiteye ulaşması neredeyse olanaksızdır[5].

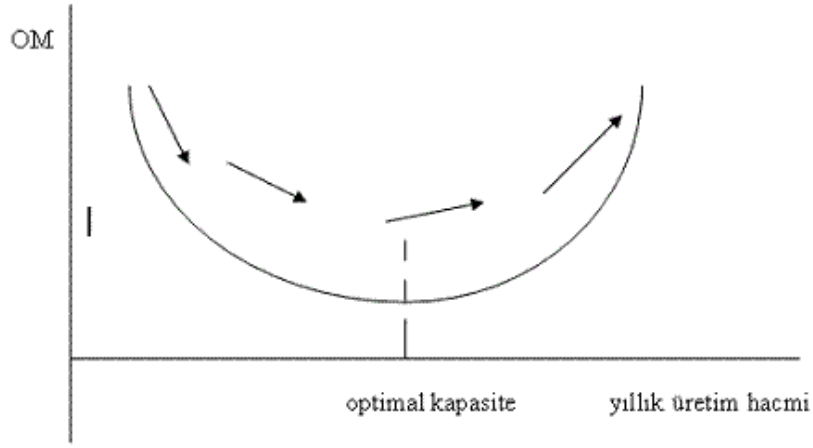
Pratik Kapasite: Makine, diğer teçhizatlar veya işgücünün hiçbir duraklama olmadan, tesis kapasitesi olarak en yüksek kapasitede çalışması mümkün değildir. Üretimde koruyucu bakımlar, makine hazırlıkları gibi çeşitli faaliyetler için zaman harcamak kaçınılmazdır. Bir işletme veya tesisin bahsedildiği gibi sürekli olarak teorik kapasitede kalması, çok zor, hatta olanaksızdır. Çünkü arızalar ve periyodik bakımlar, beklemler, makine duraklamaları, montaj ve ayarlamalar, çalışmaya hazır hale getirmeler, gecikmeler vb., makinelerin veya işletmelerin belirli çalışma sürelerinin %100'ünü doldurmalarına imkan vermemektedir.

Pratik (normal) kapasite türünde normal düzeyde bir üretim belirtilmektedir. Bu kapasiteden işletmelerin ulaşmaya çalıştığı normal verimliliği belirten bir ölçü olarak da bahsedilmektedir[1].

Fiili Kapasite: Fiili kapasite, normal veya gerçek kapasite olarak da adlandırılmaktadır. Bu kapasite makinelerin belirli bir zaman dilimi içerisinde fiilen gerçekleştirdiği üretim miktarını ifade etmektedir. Diğer bir deyiş ile, işletmeler için uygulamada belirli bir dönemde yeterli sipariş alınmaması, iş akışındaki oluşan hatalar veya hammadde tedarikinde gecikmeler gibi nedenlerle ulaşabilecek üretim miktarını ifade etmektedir[5]. Yani işletmenin belirli bir zaman dilimi içinde elde ettiği üretim miktarına yeterli talep gelmediği durumda satılan kısma fiili kapasite denmektedir[1].

Atıl Kapasite: Atıl kapasite, pratik kapasite ile fiili kapasitenin farkı alınarak hesaplanan kapasite türüdür. İşletmelerin karlı olabilmesi için atıl kapasite yani boş kapasitenin olabildiğince düşük olması talep edilmektedir.

Optimum Kapasite: Belirli bir amacı gerçekleştiren üretim düzeyini ifade etmek için kullanılan kapasite türüdür. İşletmeye minimum ortalama birim maliyetle çalışma olanağı yaratan yıllık üretim hacmi, en iyi kapasite düzeyi olarak alınır. Şekil.2’de belli bir tesis için en uygun kapasite düzeyi gösterilmektedir. Şekilden görülebileceği gibi, belli bir işletme, üretime geçmesinin ardından, üretim hacmi yükseldikçe ortalama birim maliyetler düşmektedir[6]. En iyi faaliyet düzeyi, yani en iyi kapasite noktasından sonra, maliyetler artmaya başlamaktadır. Optimal kapasite düzeyinden uzaklaştıkça ise ölçek ekonomilerinden sağlanan avantajlar kaybedilmektedir[7].



Şekil 2. Optimal Kapasite Düzeyleri[6]

2.3. Kapasite Planlaması ve Önemi

Kapasite planlama yaklaşımı tedarik zincirlerine ait taleplerin karşılanması kapsamında, üretim kapasitesini ve işgücü ihtiyaçlarını belirlemek için sıklıkla kullanılan bir tekniktir. Kapasite planlama, işletmelerde üretim verimliliğini en yüksek seviyeye çıkararak sorunsuz bir iş akışı sağlamayı amaçlayan temel bir araçtır. Kapasite planlamasının asıl amacı, bir işletmenin müşteri talebini karşılamak için yeterli kapasiteye sahip olmasını ve kapasiteyi etkin ve verimli şekilde kullanmasını sağlarken, artan maliyetleri en aza indirmektir. Bu sayede, işletmelerin taleplerde meydana gelebilecek değişiklikleri öngörmesine ve bu senaryoları planlamasına, kaynakların kullanımını eniyilemesine ve darboğazları belirlemesine yardımcı olmaktadır. Bu nedenle, kapasite planlama işletmeler tarafından sık bir şekilde kullanılmaktadır.

Kapasite planlama uzun, orta ve kısa dönem kapasite planlama olmak üzere üç farklı düzeyde incelenmektedir. Uzun dönem planlama kapsamında, işletmelerin yatırım planlamaları ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Kısa dönem planlama kapsamında ise gereksinim planlamaları ve üretim çizelgeleme çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Yapılan

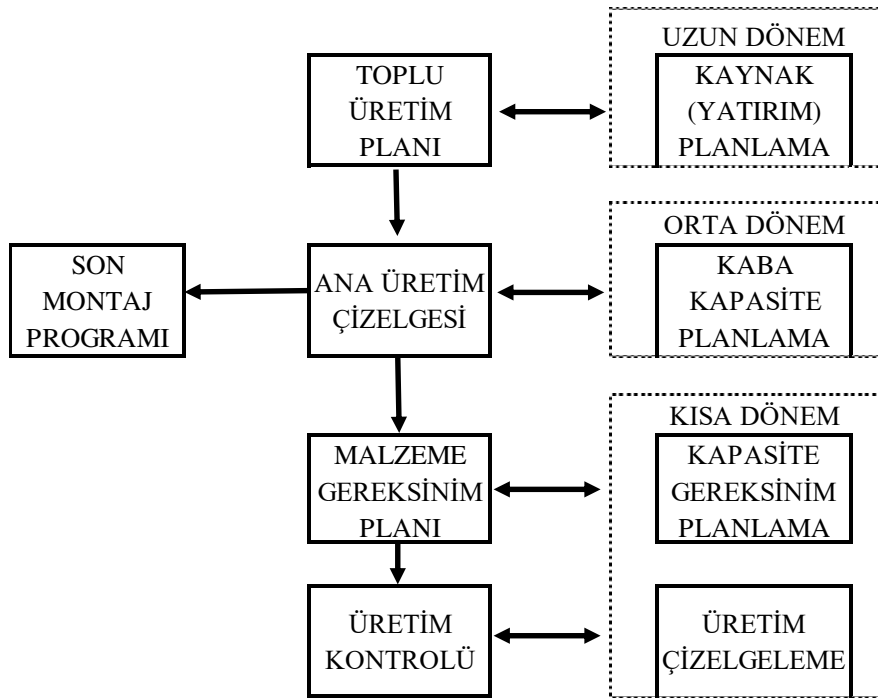
bu tez çalışması kapsamında kullanılan orta dönem kapasite planlamasında ise, işletmelere ait kaba kapasite planlaması yapılmaktadır. Orta dönem planlama kapsamında hammadde, işgücü, makine saati gibi kritik ve sınırlı kaynakların en iyi şekilde kullanımı sağlanarak, işletmelerin verimliliklerinin en iyi seviyeye çıkartılması amaçlanmaktadır[8].

2.4. Kapasite Planlama Süreci

Kapasite planlaması süreçleri hiyerarşik bir düzen içerisinde yürütüldüğünde firmalara iki kritik üstünlük sağlayacaktır.

1. Hiyerarşik düzey izlendiği durumda, otomasyon düzeyi arttırılacak ve böylece çok ayrıntılı alt kademe sorunlar yerine, önce üst düzeyde bulunan plan ve kapasite sorunlarını çözme olanağı doğacaktır.
2. Üst yönetim seviyesinde ayrıntılarla uğraşmaya gerek kalmadan stratejik karar verilmesi sağlanacaktır[8].

Kapasite planlaması hiyerarşik yapısı Şekil.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Kapasite Planlama Hiyerarşik Yapısı [9,10]

2.4.1. Uzun dönem kapasite planlama

Uzun dönem kapasite planlama, kapasite planlama hiyerarşisinde en üstte yer almaktadır. Uzun dönemli yatırım planlamalarının gerçekleştirilmesini sağlar ve sektör bazında farklılaşmakla birlikte 3-5 yıl civarında bir süreyi göz önüne almaktadır. Gerekli fonların, tesis ve donanımların tedarigi ancak verilen bu süre içerisinde gerçekleşebilmektedir. Bu aşamada planlama, ürün gruplarının satış planına göre yapılmakta ve kritik ve sınırlı kaynakların öngörülen dönem için gerek duyulacak miktarları belirlenmektedir[9].

Uzun dönem kapasite planlaması, işletmelerin üretim stratejilerini yansıtmamasından dolayı işletmelerin geleceklerini etkileyebilmektedir. Uzun dönem kapasite planlama, üst düzeyde sermaye yatırımı gerektirmekte ve üst düzey yöneticiler tarafından hazırlanmaktadır. Uzun dönemde hem işletme dışı hem de işletme içi faktörlere ait belirsizliklerin yüksek olması nedeniyle risk oranı oldukça fazla olan kararlardır. Genel olarak bu kararların orta ve kısa dönemli planlar üzerinde kısıtlayıcı etkileri ortaya çıkabilmektedir.

Uzun dönem kapasite planlamalarında kullanılan veriler aşağıdaki gibidir:

- Uzun dönem talep tahminleri,
- Ekonomik, teknolojik ve politik koşullarla rekabet olanaklarına ilişkin beklentiler,
- Sermaye kısıtlamaları.

Uzun dönem kapasite planlaması kapsamında verilebilecek kararlar aşağıda verilmiştir.

- İşletmenin tasarımı,
- Süreçlerin planlanması ve kullanılacak teknolojilerin seçimi,
- Ürün gruplarının belirlenmesi,
- Kaynakların üretim faaliyetlerine en iyi şekilde dağıtılması[11].

2.4.2. Orta dönem kapasite planlama

Orta dönem kapasite planlama, APICS (Association for Supply Chain Management) tarafından “Toplu Üretim Planını ve/veya Ana Üretim Çizelgesini; işgücü, makine saati, enerji, depolama, hammadde ve finansman gibi kritik kaynaklara olan gereksinime çevirme sürecidir.” şeklinde tanımlanır. Burada amaç, işletme tarafından oluşturulmuş olan Toplu Üretim Planının ve/veya Ana Üretim Çizelgesinin uygulanabilir olduğunun kontrolünün gerçekleştirilmesidir[8].

Orta dönem kapasite planlama yaklaşımının periyodu 1 yıla kadar olan kararları kapsamaktadır. Bu kapasite yaklaşımı, mevcut durumda üretilmekte olan ürünlerin stoklarını dikkate almasından dolayı kısa dönem kapasite gereksinimlerinin belirlenmesinde hata payı, kaynak planlama yaklaşımına göre çok daha düşüktür[8].

Orta dönem kapasite planlamasında kullanılan veriler aşağıdaki gibidir:

- Ürünlerin satış miktarlarına ve zamanlarına ilişkin tahminler,
- Belirlenen döneme ait şirket politikası ve kısıtlamalar,
- Uzun dönem planlamalarda verilen kararlar,
- Kapasite kullanım olanaklarına ilişkin maliyetler.

Orta dönem kapasite planlaması kapsamında verilebilecek kararlar aşağıda verilmiştir.

- Fason üretim planlamaları,
- Stokta tutma planlamaları,
- İstihdam planlamaları [11].

Orta dönem kapasite planlamada, kaynak kullanımları firmaların planlamasında etkin rol oynadığı için yüksek önem taşımaktadır. Kaynaklar aşağıdaki nedenlerden dolayı kritik rol oynayabilmektedir.

- Fason üretim pahalı ve yönetimi zordur.
- Yeni teknoloji alımları pahalıdır ve tedarik süreleri uzundur.
- Kalifiye elemanlar kolaylıkla yetiştirilemez.
- İlgili makineler, üretimde darboğaz oluşturduğu için çoğunlukla fazla mesai gerektirmektedir.
- Makine veya hatta özel bir operasyon bulunmaktadır ve bu operasyonun başka seçeneği yoktur[10].

2.4.3. Kısa dönem kapasite planlama

Kısa dönem kapasite planlaması, APICS tarafından “Toplu üretim planının uygulanabilmesi için kapasite düzeylerini/sınırlarını oluşturma, ölçme ve ayarlama işlevidir.” şeklinde tanımlanmıştır[8]. Orta ve uzun dönem kapasite planlamadan farklı olarak planlama ufku diğer iki kapasite planlama türüne göre oldukça kısadır. Gün ve vardiya bazında kapasite planlaması yapılmasına olanak vermektedir. Ayrıntı düzeyi oldukça yüksek olduğu için diğer kapasite planlama türlerine göre riski çok daha düşük olmaktadır. Detaylı olarak, iş rotaları ve iş önceliklerini dikkate alarak planlama yapılmaktadır.

Kısa dönem kapasite planlamasında kullanılan veriler aşağıdaki gibidir:

- Kısa dönem talep tahminleri,
- Siparişler,
- Toplu üretim planlarında belirlenen ana üretim programları.

Kısa dönem kapasite planlaması kapsamında verilebilecek kararlar aşağıda verilmiştir.

- Ürünlerin üretim zamanı ve miktarları,
- Üretim programlarının gerçekleştirilmesini sağlayacak malzeme tedarik programları,
- Departmanlar arasındaki parti hareketleri ve makineler üzerinde üretim değişiklikleri,
- Fazla mesai kararları[11].

Kapasite planlama kapsamında yapılan çalışmalar işletmenin tüm süreçlerini kapsamaktadır. Kapasite planlama çalışması yapılırken tüm kapasite planlama dönemlerinin birbiriyle etkileşim içinde olduğu görülmektedir. Bu sebeple kapasite planlama çalışmaları işletmeler için oldukça yüksek düzeyde önem arz etmektedir ve süreçlerde kritik bir rol oynamaktadır.

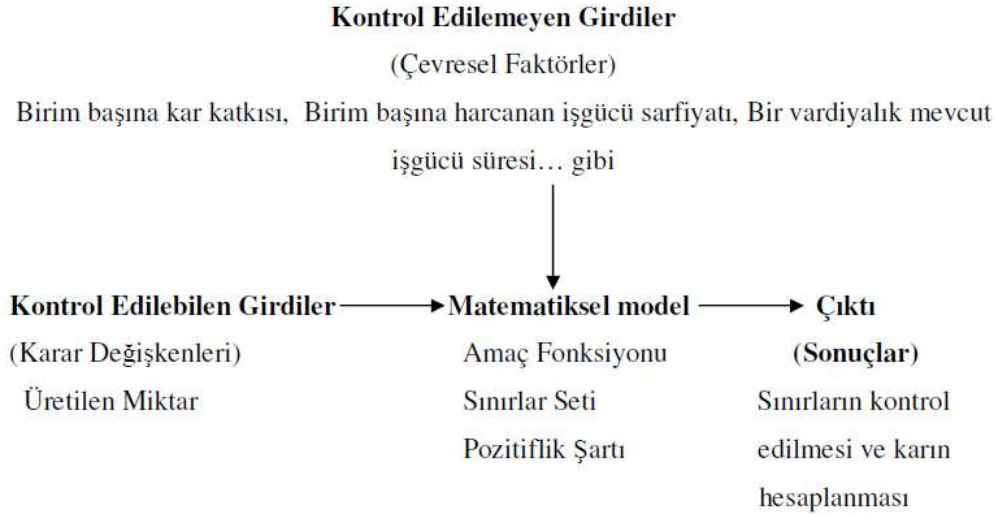
2.5. Doğrusal Programlama Yöntemiyle Kapasite Planlama

Kapasite planlaması işletmelerde işgücü ve kapasitenin planlamasında verimli yapılabilmesi için başvurulan en önemli araçlardan biri konumundadır. İşletmeler kapasite planlama çalışmalarını gerçekleştirirken çeşitli yöntemlerden yararlanmaktadır. Yapılan araştırmalar kapsamında en fazla yararlanılan yöntemler doğrusal programlama tekniği ve sezgisel tekniklerdir.

Doğrusal Programlama, karar vericilerin mevcutta bulunan sınırlı kaynaklardan en iyi şekilde yararlanmak istediği kapasite planlama ve karar verme gibi birçok alanda kullanılan matematiksel programlamanın bir alanıdır[12].

Doğrusal programlama problemleri, ihtiyaçları karşılamak için sınırlı kaynakların etkin dağılımı ya da kullanımı ile ilgilenmektedir[13]. Bu şekilde, sınırlı kaynakların kullanımı en iyi seviyede tutulmakta ve askerlik, endüstri, tarım, ulaştırma, ekonomi, sağlık sistemleri gibi alanlarda doğrusal programlamanın uygulamalarını görmek mümkündür[14]. Üretim

alanında doğrusal programlama girdilerinin çıktıya çevrilme süreci Şekil.4'te verilmiştir[15].



Şekil 4. Üretim Modeli Akış Diyagramı

Üretim yapılan tüm işletmelerde kapasite planlaması oldukça önemlidir. Bunun sebebi sınırlı kaynakların en iyi şekilde kullanımını sağlamaktır. İşletmelerin verimliliğinin en yüksek seviyede olabilmesi için kapasite planlama çalışmalarında kullanılabilecek yöntemlerden biri de doğrusal programlama tekniğidir.

Doğrusal programlama tekniğinde model kurulurken problem kapsamında incelenen durumlar matematiksel ilişkiler olarak ifade edilmektedir. Doğrusal programlama modeli geliştirilirken bu modelin üç temel elemanı bulunmaktadır.

1. Karar değişkenleri
2. Amaç fonksiyonu
3. Kısıtlar

Kapasite planlama problemleri kapsamında doğrusal programlama kullanılan çalışmalar tek amaç fonksiyonuna sahip modeller ve çok amaçlı doğrusal programlama modelleri olarak incelenmektedir.

2.5.1. Tek amaçlı doğrusal programlama

Doğrusal programlama modelleri, problemlerde kullanılırken tek bir amaç belirlenerek o amacın optimizasyonu için çalışma yapılmakta ve o amaca göre karar değişkenleri değer almaktaysa bu kapsamdaki modellere tek amaçlı doğrusal programlama modeli olarak adlandırılmaktadır.

Kapasite planlama problemlerinde kullanılan tek amaçlı doğrusal programlama modellerine ilişkin genel bir gösterim aşağıda verilmiştir.

Karar Değişkeni

X_j : j . ürünün üretim miktarı

Parametreler

C_j : j . ürünün karı

b_i : i . ürünün üretim kapasitesi

a : Ürünün üretim katsayısı

İndisler

$i \in I$ ürün kümesi

$j \in J$, ürün kümesi

Amaç Fonksiyonu

$$Z \max = \sum_j C_j X_j \quad (1)$$

Kısıtlar

$$\sum_j a_{ij} X_j \leq b_i, \forall i, j \quad (2)$$

$$\sum_j a_{ij} X_j \geq b_i, \forall i, j \quad (3)$$

$$X_j \geq 0, \forall j \quad (4)$$

2.5.2. Çok amaçlı doğrusal programlama

Optimizasyon problemleri doğası gereği birden çok amaca sahip olmaktadır. Bu amaçlar birbiriyle paralel ilerleyebileceği gibi çelişen amaçlar da olabilmektedir. Bu sebeple çok amaçlı programlamalarda kullanılmak üzere çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlardan başlıcaları ağırlıklandırma metodu, hedef programlama, pareto optimal ve e-kısıt tekniğidir. Bölümün devamında belirtilen yöntemler açıklanmıştır.

2.5.2.1. Ağırlıklandırma metodu

Çok amaçlı programlama problemlerinin çözüm teknikleri içinde en çok tercih edilen tekniklerden biri ağırlıklandırma metodudur. Amaç fonksiyonunda yer alan amaçlar için karar vericilerin tercihleri doğrultusunda farklı ağırlıklar (w_i) kullanılır[14,16]. Bu yöntemde kullanılan ağırlıklar yardımıyla çok amaçlı fonksiyondan tek bir çözüm oluşturulması sağlanmaktadır. Bu modelin genel bir gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$\min \sum_j w_i f_i(x) \quad (5)$$

$$x \in S \quad (6)$$

$$\sum_i w_i = 1 \quad (7)$$

2.5.2.2. Hedef programlama

Hedef programlama yöneylem araştırması kapsamında çok amaçlı problemlerin çözümü için yaygın olarak kullanılan ve en çok bilinen tekniklerden biridir. Karar vericiler için bu tekniğin en önemli özelliği, her amaca bir hedef değer atayabilmeleridir[17]. Hedef programlama, çok kriterli karar vermenin bir dalıdır ve çok amaçlı problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır[18]. Hedef programlama, karar verici tarafından tanımlanan birbirleriyle çelişen amaçların optimizasyonunun yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bunu yaparken hedef değerlerden sapmaları enküçükmeye çalışır. Hedef programlamanın örnek gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$\min Z \sum_i d_i^+ + d_i^- \quad (8)$$

$$x \in S \quad (9)$$

$$f_i(x) + d_i^+ - d_i^- = b_i \quad (10)$$

$$d_i^+ \cdot d_i^- = 0 \quad (11)$$

$$x, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad (12)$$

d_i^- : i. hedeften negatif yönde sapma

d_i^+ : i. hedeften pozitif yönde sapma

2.5.2.3. E-Kısıt Tekniği

e-kısıt tekniği uygulanırken amaç fonksiyonlarından biri amaç fonksiyonu olarak yazılırken, diğer amaç fonksiyonları kısıt olarak düzenlenmekte ve matematiksel modele eklenmektedir.

$$\min f_i(x) \quad (13)$$

$$f_j \leq e_j, i \neq j \quad (14)$$

$$x \in S$$

(15)

Kısıtta sağ taraf değeri olan e_j , sürekli olarak değiştirilir ve bu şekilde Pareto sınırı üzerinde farklı noktalar elde edebilir. Pareto sınırının uç noktaları hesaplanarak, farklı amaç fonksiyonları hesaplanabilmekte ve bunlara göre kısıt değerleri seçilebilmektedir. Bu yöntem, Pareto sınırı devam ettikçe, örneğin $f_j = e_j$ olmak üzere, bir Pareto çözümü olduğu sürece, Pareto sınırı üzerinde yayılmaya imkan bulmaktadır[19].

2.5.2.4. Pareto optimal

Çok amaçlı optimizasyon problemleri kimi zaman paralel kimi zamanda birbiriyle çelişen birden fazla amacın eş zamanlı en iyilenmesidir. Çok amaçlı optimizasyonda amaç fonksiyonları genellikle istenen bir sonucun farklı bir özelliğini dikkate almaktadır. Çoğu zaman bu amaçlar, tüm fonksiyonları eş zamanlı olarak eniyileyen tek bir sonucun bulunmadığı bir çelişki içerisindeyler. Bu sebeple bir optimal çözümler kümesi oluşturulur. Bu küme pareto optimallik kavramında, pareto optimal küme olarak adlandırılır[20].

2.5.3. Çok amaçlı programlamada sonuçların değerlendirilmesi

Birden fazla birbiriyle çelişen amaç fonksiyonuna sahip matematiksel modellerde pareto optimal çözümler elde edilir. Pareto optimal çözüm, diğer amaçlardan en az birinden ödün vermeden hedeflerin hiçbirinin iyileştirilemeyeceği bir sınırı tanımlayan, çözüm uzayındaki basılmamış çözümler kümesi olarak tanımlanır. Elde edilen bu çözümlerin karşılaştırılması için çeşitli performans değerlendirme kriterleri kullanılır.

2.5.3.1.Pareto optimal çözüm oranı (RPOS)

Bu metrik, her bir Pareto cephesi kapsamında sunulan çözümlerin sayısının toplam elde edilen çözüme oranını göz önüne almaktadır. Pareto çözüm oranı ne kadar yüksek olursa, çözüm yöntemi o kadar tercih edilebilir olacaktır.

2.5.3.2.Ortalama ideal uzaklık (MID)

Metrik Pareto çözümlerinin orijinden ortalama uzaklığını hesaplamak için kullanılmaktadır. Denklem 16’da pareto çözümünün ideal nokta olarak adlandırılan noktaya olan uzaklığı ve bu şekilde MID metriğinin sonuçları hesaplanmaktadır. Burada ideal nokta ilgili fonksiyonun en iyi amaç fonksiyonu değeridir. Bu ilişki göz önüne alındığında, bu metrik ne kadar az olursa, algoritmanın verimliliği de o kadar yüksek olacaktır[21].

$$MID = \sum_{i=1}^n \frac{\sqrt{\left(\frac{f_{1,i} - f_1^{best}}{f_{1,total}^{max} - f_{1,total}^{min}}\right)^2 + \left(\frac{f_{2,i} - f_2^{best}}{f_{2,total}^{max} - f_{2,total}^{min}}\right)^2}}{n} \quad (16)$$

2.5.3.3.Aralık (SM)

Bu metrik Pareto çözümlerinin çözüm uzayındaki dağılımını gösterir. Denklem 18’de gösterildiği gibi hesaplanır. Burada d_i çözüm uzayındaki iki pareto optimal çözüm arasındaki mesafe Öklid mesafesidir. $\bar{d}$ ise ortalama mesafeyi ve n toplam pareto optimal sayısını ifade etmektedir. SM değeri ne kadar küçük olursa algoritmanın performansı da o kadar iyi olmaktadır[22].

$$d_i = \sqrt{(f_{2,i+1} - f_{2,i})^2 + (f_{1,i+1} - f_{1,i})^2} \quad (17)$$

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} |\bar{d} - d_i|}{(n-1) \bar{d}} \quad (18)$$

2.5.3.4.Çeşitlendirme (DM)

Bu metrik problem kapsamındaki pareto optimal çözümlerinin çeşitliliğini göstermektedir. Değer ne kadar büyük elde edilirse çözümler o kadar çeşitlenir ve algoritma o kadar verimli olacaktır. Denklem 19’da bu metriğin hesaplama yönetimini göstermektedir. Burada m değeri amaç fonksiyonu sayısını ifade etmektedir[22].

$$DM = \sqrt{\sum_{m=1}^2 (\max f_m^i - \min f_m^i)^2} \quad (19)$$

2.5.3.5.Pareto cephesinin tekdüzeliği (NPF)

NPF metriği pareto cephesinin tekdüzeliği hakkında bilgi vermektedir. Pareto cephesinin düzensizliği ne kadar düşük olursa, tekdüzelik o kadar büyük olmakta ve dolayısıyla çözüm yönteminin daha fazla tercih edilir olmasına yol açmaktadır. Denklem 20’de pareto cephesinin tekdüzeliğinin hesaplanması gösterilmiştir[22].

$$NPF = \sqrt{\frac{\sum_i (\frac{d_i}{d} - 1)^2}{n-1}} \quad (20)$$

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde üretim planlama ve kapasite planlama kapsamında doğrusal programlamanın ve sezgisel tekniklerin kullanıldığı çok sayıda çalışma bulunmaktadır. İncelenen çalışmalarda pekçok farklı amaç fonksiyonunun incelendiği görülmüştür. Çoğunlukla karın enbüyüklenmesi, maliyetin enküçüklenmesi gibi ekonomik amaçlarla modeller önerilmiştir. Bu amaçların yanı sıra çevrim sürelerinin enküçüklenmesi, işçi atamalarının enküçüklenmesi ve problemde verilen üretim planına uyulması gibi amaç fonksiyonları ile de çalışılmıştır. Tez çalışması kapsamında incelenen örnek çalışmalardan bölümün devamında bahsedilmiştir.

Doğrusal programlama tekniği tek amaçlı ve çok amaçlı olarak çalışmalarda kullanılabilmektedir. Tek amaç fonksiyonu olan durumlarda doğrusal programlama kullanımının örnekleri aşağıda verilmiştir.

Bir elektronik üreticisinde yapılan çalışmada Tavaghof-Gigloo, Minner ve Sibelmayr [23] üretim planlama problemi için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli ele almıştır. Çok ürünlü, çok tesisli ve çok aşamalı talebin bilindiği bir sistemde sonlu kapasite planlaması çalışılmıştır. Çalışma kapsamında vardiyalar, fazla mesailer göz önünde bulundurularak tüm maliyetler enküçüklemek istenmiştir.

Üretim sektöründe sipariş üzerine üretim yapan bir firmada kısa dönem kapasite planlama problemi ele alınmıştır. Chen, Mestry, Damodaran ve Wang [24] tüm siparişlerin teslim tarihini geçirmeden üretilebilmesi için operasyonel karı en yüksek düzeye çıkaracak şekilde matematiksel model sunmuştur. Önerilen modelde normal mesai, fazla mesai ve dış kaynak kullanımları da dikkate alınmıştır. Bu kapsamda kullanılan programlama tekniği ile firmanın kapasite kullanımları ve karı arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.

Prefabrik evler için yapı elemanları üreten bir firmada karma model montaj hattının kapasite planlama çalışması, Huka, Grenzfurtnner, Zauner, Gronalt [25] tarafından Endüstri 4.0 uygulamalarından yararlanılarak yapılmıştır. Paralel üretim hatlarında belirli bir planlama dönemi için personel tahsisi ve iş yükü atamalarını gerçekleştirecek doğrusal programlama çalışması yapılmış ve çalışma sonucunda ürün çıktıları enbüyüklenmek istenmiştir.

Yapılan başka bir kaynak kapasite planlama çalışmasında Ojstersek, Buchmeister [26] üretim sistemi kısıtlamalarına bağlı olarak, yeni bir karar verme modeli geliştirmişlerdir. Orta ve kısa vadeli işçi dağılımı için matematiksel bir karar modeli geliştirilerek minimum işçi tahsisi yapmak amaçlanmıştır. Bu çalışmalara ek olarak bir simülasyon modeli geliştirilmiş ve üretimdeki dinamik olaylar ile oluşturulan karar modeline uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda üretim sistemlerinde karşılaşılan kısıtların kapasite planlama için büyük önem taşıdığı görülmüştür. Üretim sistemlerinin tam verimle çalışabilmesini sağlamak için kapasite planlamanın yüksek becerisinin olduğundan bahsedilmiştir.

Yapılan bir başka çalışmada güneş enerjisi ve yenilenebilir enerji sektöründe yer alan bir firmada 12 aylık üretim planlaması problemi Ekmekçi [27] tarafından ele alınmıştır. Çalışmada doğrusal programlamadan yararlanılarak kısıtlar oluşturulmuş ve amaç fonksiyonunda tüm karlar enbüyüklenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada karların enbüyüklenmesinin yanında üretim planlama sürecinde sezgilerle yapılan çalışmalar yerine doğrusal programlama ile bu çalışmaları yaparak hem sürecin hızlandırılması sağlanmış hem de kaynaklar en iyi şekilde kullanılmıştır.

Tekstil sektöründe yapılan bir çalışmada ise kar maksimizasyonunu sağlayan üretim miktarları hesaplanmıştır. Bunun için Deste, Karabulut [28] doğrusal programlamadan yararlanarak stoka çalışan ve çok farklı niteliklerde ürün üretimi gerçekleştiren işletmenin kısıtlı kaynakları sayısal verilerle ifade edilerek kısıtlar oluşturmuş ve matematiksel model

kurmuştur. Modelin sonuçlarına göre işletmenin en iyi üretim miktarları belirlenmiş ve işletmeye karı arttırabilecek önerilerde bulunulmuştur.

Konfeksiyon işletmesinde yapılan bir çalışmada, Çetindere, Sevim ve Duran [29] siparişe göre çalışan ve çok farklı niteliklerde ürün üretimi gerçekleştiren bir firmanın makine, işgücü ve hammadde olmak üzere kısıtlı kaynakları sayısal olarak ifade etmiş ve bu doğrultuda matematiksel model, doğrusal programlama yaklaşımı ile kurmuşlardır. İşletmenin kaynaklarında belirli değişimler olması halinde bu değişimlerin amaç fonksiyonunda nasıl bir katkısı olduğunu görebilmek için duyarlılık analizi yapılmıştır. İşletmenin sahip olduğu kaynakların verimli kullanımının sağlandığı takdirde karını arttırabileceği tespit edilmiştir.

Demircioğlu ve Demircioğlu [30] bir işletmede üretme ve satın alma kararlarında ilgili sistem için bir doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Bu model program aracılığıyla çözdürülerek etkisi incelenmiş ve mevcutta kullanılan sistemler ile kıyaslanmıştır. Çalışma kapsamında işletmedeki karlılığın arttırılması amaçlanmaktadır. Bu sebeple geliştirilen doğrusal model ile en yüksek kârlılığın elde edildiği tespit edilmiştir.

Gıda sektöründe tatlı üretimi yapan bir işletmede Kara ve Savaş [31] optimal üretim miktarlarının hesaplanması için doğrusal programlamadan yararlanmışlardır. Bu kapsamda doğrusal programlama modelinin çözüm yöntemlerinden simpleks metodundan yararlanılmıştır. Çalışmada asıl amaç, uygun üretim miktarlarının belirlenmesiyle işletmenin karını enbüyükmeye çalışmaktır. Yazarlar, tasarlanan model ile sektör kapsamında ileri dönemlerdeki istihdam ihtiyaçlarının öngörülebileceğinden bahsetmiştir. Bu sayede karlılık ve verimlilik arttırılırken işsizlik sorununun da azaltılması sağlanmıştır.

Tek amaçlı doğrusal programlamaya ek olarak çok amaçlı doğrusal programlama çözüm yöntemlerinden yararlanılarak bu kapsamda belirlenen farklı amaçların aynı anda

gerçekleşmesi koşulu üzerinden literatürde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Literatürde yer alan çok amaçlı doğrusal programlama modeli örneklerine aşağıda yer verilmiştir.

Özcan ve Erol [32] elektrik üretim planlaması kapsamında maliyetlerin enküçüklenmesi, CO₂ salınımının enküçüklenmesi, fosil yakıt kullanımının enküçüklenmesi ve sosyal kabulün enbüyüklenmesi amaçlarını aynı anda eniyileyen çok amaçlı bir karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli kurmuşlardır. Kurulan bu model ile çok amaçlı optimizasyon probleminin çözümünde minimum sapma yöntemi kullanılmıştır. Model elektrik üretiminde kullanılan bütün enerji kaynakları dikkate alınarak çözdürülmüş ve beklenen toplam elektrik enerjisi talebini karşılamak için kaynak bazında elektrik üretim planı elde edilmiştir.

Üretim işletmesinde yapılan bir çalışmada, Büyükkeklik [15] müşteri memnuniyeti ve termin süreleri dikkate alınarak mesai sürelerinin en iyi şekilde kullanılması, kalıpların mümkün olduğunca doluluğunun sağlanması gibi amaçlarını yerine getirecek çok amaçlı bir doğrusal programlama modeli önermiştir. Modelde, işletmenin önceliklerine uygun olarak amaçlar ağırlıklandırılmıştır. Paket program yardımıyla model çözdürülerek 15 günlük üretim çizelgesi elde edilmiştir.

Liu ve Papageorgiou [33] tedarik zinciri kapsamında üretim, dağıtım ve kapasite planlaması yaparken aynı anda maliyet, yanıt verebilirlik ve müşteri hizmet düzeylerini göz önüne almışlar ve karma tamsayılı doğrusal programlama modeli kurmuşlardır. Toplam maliyet, toplam akış süresi ve toplam satış kayıplarının enküçüklendiği çok amaçlı programlama modelinde e-kısıt tekniği kullanılarak model çözdürülmüştür. Çalışmada iki farklı kapasite genişletme stratejisi önerilmiş ve çalışmanın sonuçlarında bu iki strateji karşılaştırılmıştır.

Son yıllarda optimizasyon çalışmaları oldukça önem kazanmıştır. Optimizasyon problemlerinin ölçekleri büyüdükçe zorlukları artar ve buna bağlı olarak çözüm zamanları

problem boyutuna göre üstel olarak artış gösterir. Bu nedenle bu tür problemlerin çözümünde, en iyi sonucu bulmayı garanti etmeyen ancak çözüm zamanını polinomial sınırlar içinde tutan sezgisellerden yararlanılır. Sezgisel algoritmalar günümüzde pek çok alanda sıkça kullanıldığı gibi kapasite planlama alanında da fazlaca örnekleri mevcuttur. Bu kapsamdaki örneklere bölümün devamında yer verilmiştir.

Yapılan bir çalışmada Mhiri, Jacomino, Mangione, Vialletelle ve Lepelletier [34] düşük hacimli üretim, karmaşık süreçler, değişken çevrim süreleri ve tekrarlı akış özelliklerine sahip yarı iletken üretimi için bir sonlu kapasite planlama sezgiseli geliştirmişlerdir. Önerilen algoritma ile kalan süreç adımları için üretim partileri başlangıç ve bitiş tarihleri hesaplanmış, tüm makineler için beklenen işyükü tahmin edilmiş ve iş yükünü darboğaz araçlarının kapasitelerine karşı dengelenmiştir. Çalışma sonucunda firmanın üretim planlarını gerçekleştirebilmesi sağlanmıştır.

Kazakovtsev, Gudyma, Antamoshkin [35] üretim hatlarının optimal kapasite planlaması kapsamında ilgili problemi dökümhane için verilen bir çıktı planına uygun olarak, bir ağ üzerinde ayrık bir yerleşim problemi olarak ele almışlardır. Problem, her bir ürün çeşidi için çıktı planının tamamlanma koşullarını ve toplam günlük üretim hacminin kısıtlarını dikkate almaktadır. Problemi çözmek için açgözlü sezgisellere sahip genetik algoritmayı kullanmışlardır. Bu sayede kapasite planlama probleminin çalışma süresi mevcut algoritmanın çalışma süresinden daha düşük olarak gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, Chen, Chen, Lin, Chen ve Yang [36] düşük sipariş hacmi, yüksek sipariş çeşitliliğine sahip, karmaşık süreçleri ve belirsiz siparişleri olan, sık sipariş değişikliği yaşayan bir silah üretim sistemi (WPS) için bir kapasite planlama sezgiseli geliştirmişlerdir. Kurulan sezgisel kapasite planlama algoritması ile siparişleri kaynaklara tahsis ederek fabrikaya uygun sipariş tamamlama zamanı belirlenmiş ve tüm makinelerin beklenen işyükü

tahmin edilmiştir. Bu sayede darboğaza neden olan makineler belirlenebilmiş ve sipariş planlamasında değişikliklere gidilebilmiştir.

Yarı iletken ürün üretimi yapan bir firmada Iwata, Tajii ve Tamura [37] çok amaçlı bir kapasite planlama metodolojisi üzerinde çalışmıştır. Çalışmada kısa çevrim süresi ve düşük maliyetler amaç fonksiyonunda incelenmiştir. Çalışma kapsamında modelin doğrusallığını yitirmesi sebebiyle açgözlü sezgisel algoritma kullanılarak çalıştırılmıştır. Sonuçta incelenen ürün grupları bazında maliyet ve çevrim süreleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Çalışma kapsamında optimal otel kapasitesinin belirlenmesi için Khalili ve Khah [38] kuyruk teorisini kullanan yeni bir matematiksel optimizasyon modeli sunmuşlardır. Bu kapsamda, kuyruk modelleri yardımıyla ve sınırlı iki boyutlu bir Knapsack modeli kullanılarak bir otelin resepsiyon sistemi simüle edildikten sonra, kapasite ve en iyi oda sayısı elde edilmiştir. Çalışma kapsamındaki problem büyük ölçeklerde çok karmaşık olduğundan problemi çözmek için Taguchi yöntemi ile geliştirilmiş bir Genetik Algoritma yaklaşımı kullanılmıştır.

Literatürdeki örneklerden görüldüğü üzere kapasite planlama kapsamında doğrusal programlama ve sezgisel tekniklerin kullanımlarına sıkça rastlanılmaktadır. Ayrıca çalışmalar incelendiğinde çoğunlukla maliyet enküçüklemesi veya karın enbüyüklenmesi gibi amaçlar ele alınmıştır. Bu çalışmada literatürden farklı olarak ürünler farklı kriterlere göre özellikleri değerlendirilmiş ve ürünlerin elde atıl olarak kalmasının engellenmesi hedeflenmiştir. Böylelikle riskli ürünlerin üretimi az sayıda partiler halinde üretilecek, ürünün talep edilmemesi durumunda stokta kalması engellenebilecektir. Ancak talep durumu belirli ve riskli olmayan ürünler tek seferde üretilerek talep karşılanacak ve diğer yandan hazırlık süresi ve toplam gün sayısı enküçüklenebilecektir. Bu amaç sayesinde

sadece üretim ve hazırlık maliyetleri değerlendirmemiş olacak ve ayrıca ürünlerin riskli olmalarından kaynaklanacak maliyetlerinde önüne geçilmiş olunacaktır.



4. UYGULAMA

Bu tez rulman üretim yapılan bir firmada gerçekleştirilmiş ve gerçek hayat uygulaması yapılmıştır. Tez kapsamında orta dönem kapasite planlaması için çok amaçlı matematiksel model önerisi yapılmıştır. Aşağıdaki bölümlerde firmada mevcut durum analizi verilmiş ve kapasite planlama için önerilen çok amaçlı matematiksel model açıklanmıştır.

4.1. Mevcut Durum Analizi

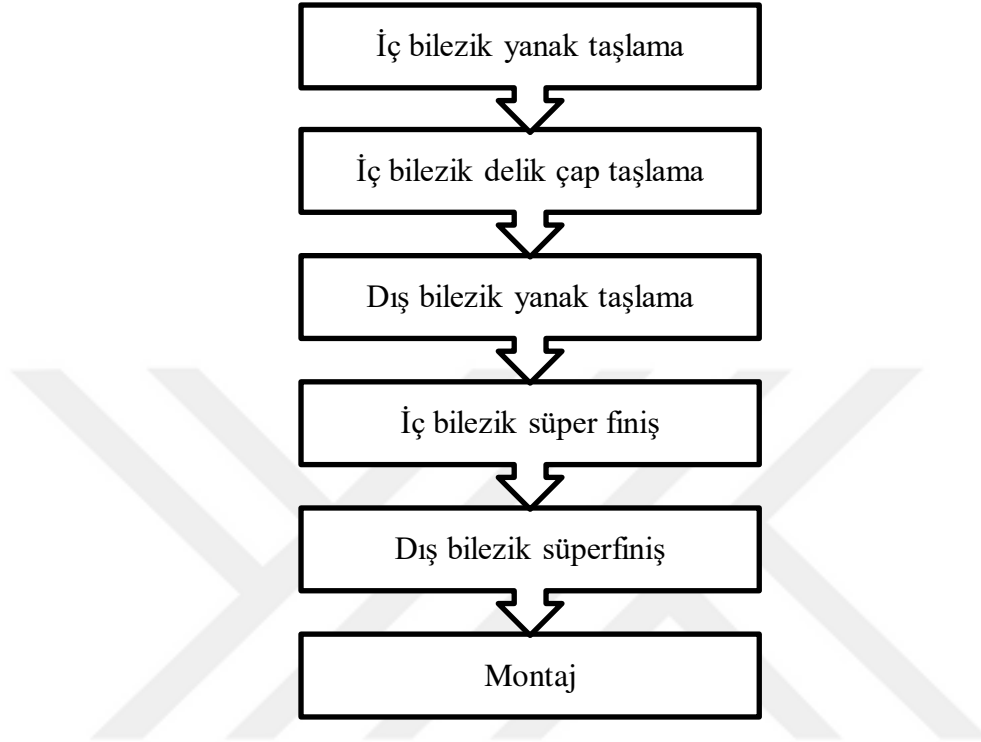
Tez çalışmasının gerçekleştirildiği firmada rulman üretim yapılmaktadır. Rulman, hareketli mekanik parçaları yataklayan, parçalar arasındaki sürtünmeyi azaltan bir makine elemanıdır. İşletmede 750 tip rulman üretimi yapılmaktadır. Örnek rulman tipi tanımlamaları Tablo.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1 – Örnek Rulman Tipi Tanımlamaları

PARÇA TANIMI	
6807	Dış Bilezik
6807	İç Bilezik
6808	İç Bilezik
680106	Dış Bilezik - İç Bilezik
680206	İç Bilezik
680306	Dış Bilezik - İç Bilezik
680406	Dış Bilezik - İç Bilezik
680606	Dış Bilezik
680606	İç Bilezik

Rulmanı oluşturan başlıca bileşenler iç bilezik, dış bilezik, bilya, kafes, gres ve kapak olarak sınıflandırılabilir. İşletme rulman üretimi yaparken iç bilezik, dış bilezik, bilya, ve

kafes bileşenlerini fabrikasında üretmekte, gres ve kapak bileşenlerini ise dışarıdan tedarik etmektedir. Bu bileşenlerden oluşan rulmanın üretim prosesleri Şekil.5'te gösterilmektedir.

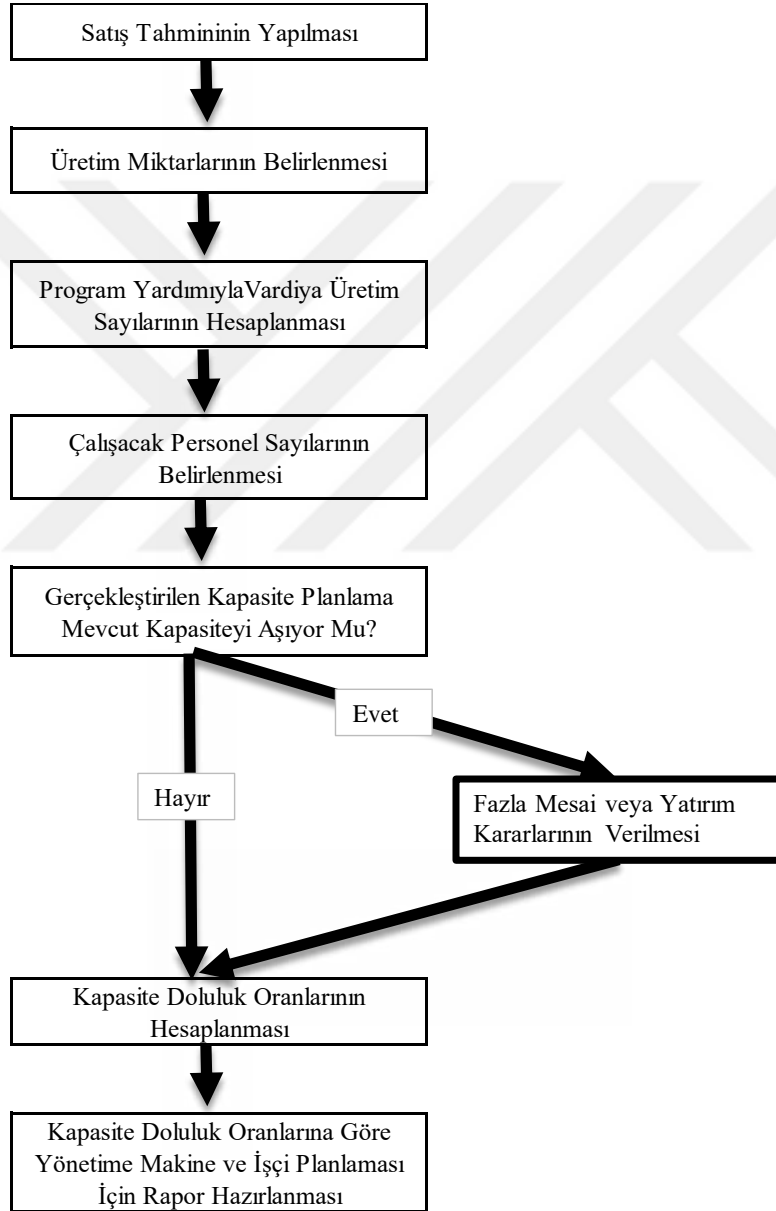


Şekil 5. Rulman Üretim Prosesleri

Üretilen rulman tiplerinin iç bilezik ve dış bilezikleri farklı çaplardadır ve rulmanların özellikleri tiplerine göre farklılık göstermektedir. Bu sebeple her bir rulman tipinin üretimi için ilgili üretim hatlarında gerekli hazırlık işlemlerinin yapılması ve bu işlem sürelerinin model geliştirilirken dikkate alınması gerekmektedir.

Mevcut durumda, rulman üretimi yapılan işletmede, yıllık olarak müşteri talepleri doğrultusunda satış planı için ürün bazında üretim planları yapılmaktadır. Yapılan bu planlar ile her bir ürün için bir yıllık üretim miktarları belirlenmektedir. Üretim miktarlarının belirlenmesinden sonra ana imalat programı üzerinde çalışmalar yapılarak bir program yardımıyla her bir hat için, hattın bir günde kaç vardiya çalışarak gerekli üretimleri karşılayabileceği hesaplanmaktadır. Bu aşamadan sonra gerektiği takdirde yönetimsel

kararlar verilebilmektedir. Örneğin, normal mesainin yetmediği durumlarda fazla mesai kullanımı devreye girmektedir. Ancak fazla mesai ücretlerinin yüksek olması ve normal mesaiye dönülememesi durumunda firma yatırım kararları da verebilmektedir. Mevcut durumda kapasite planlaması yapılırken işletmede birbirini takip eden çalışmalar Şekil.6’da gösterilmiştir.



Şekil 6. Kapasite Planlama Adımları

İşletmede mevcut durumda ana imalat programında yıllık kapasite planlaması, yılda iki defa olmak üzere altı ayda bir gerçekleştirilmektedir. Ürünlerin talep miktarları önceki senelerde gerçekleşen üretim miktarlarına göre yıllık olarak satış planında tahmin edilebilmektedir. Tez çalışması kapsamında firma tarafından paylaşılan ürün bazında talep miktarları Ek-1’de verilmiştir.

Firmada çalışan mühendisler tahmin edilen talep miktarlarını baz alarak, program yardımıyla manuel olarak ürün-hat eşleştirmelerini yapmaktadır. Bu işlem yaklaşık bir hafta kadar sürmektedir. Bu sebeple yapılan kapasite planlama çalışmaları bir yılda iki defadan fazla yapılamamaktadır. Ancak firma bu hesaplamaları belli dönemlerde yaparak kapasite planlamasını daha etkili kullanmak istemektedir. Ek olarak işlem manuel olarak gerçekleştirildiği için en iyi ürün-hat eşleşmesinin yapılıp yapılamadığı bilinmemekte ve yapılan kapasite planlama, çalışanların tecrübesine ve yorumuna göre farklılık gösterebilmektedir.

İşletmede sekiz saat olmak üzere günde üç vardiya aralıksız üretim gerçekleştirilmektedir. İşletmenin kurumsal kaynak planlaması programından alınan verilerle ve program yardımıyla her bir hattın günde kaç vardiya çalışarak yıllık ihtiyacı karşılayabileceği hesaplanmaktadır. Bu sebeple yapılan bu çalışmalarda tezgah verimliliği, üretilecek miktar ve bir vardiyada üretilen miktarlar çalışanlar tarafından bilinmekte ve bu veriler ile ilgili hattın bir yılda kaç gün çalışması gerektiği, toplam kapasitesi ve günlük çalışması gereken vardiya sayısı bulunmaktadır.

İşletmede amaç ilk olarak fazla mesai yapılmadan, normal mesai süresinde tüm ürünlerin taleplerinin karşılanmasıdır. Bunun sebebi fazla mesai ücretlerinin normal mesai ücretlerinden yüksek olmasıdır. Normal mesai süresinin talebi karşılamaya yetmediği

durumlarda fazla mesai sürelerinden yararlanılmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan 1 numaralı hat için örnek bir kesit Tablo.2’de verilmiştir.

Tablo 2 – Mevcut Durum Örnek Çalışma

HAT NO	PARÇA TANIMI	Vardiya Üretim Miktarı (VÜM)	YILLIK ÜRT.MİKT.	TEZGAH VERİMLİLİĞİ	İŞ GÜNÜ	YILLIK ÜRETİM MİKTARI	İHTİYAÇ İŞ GÜNÜ	YILLIK KAPASİTE	TOPLAM İŞ GÜNÜ	İHTİYAÇ VARDİYA
1	Ürün 15	3600	2.750.000	91%	279,8	2.750.750	280	2.751.840	280	3,0
	Ürün 51	3600	750	91%	0,1					

Her bir hat için hangi ürünlerin o hatta üretilebileceği bilinmektedir. Aynı şekilde, vardiya üretim miktarları daha önce yapılan çalışmalardan yararlanılarak Vardiya Üretim Miktarı Listesi’nden alınmaktadır. Bir iş günü üç vardiyadan oluşmaktadır. Bu sebeple vardiya üretim miktarı üç ile çarpıldığında günlük üretim miktarı elde edilebilmektedir. Yıllık üretim miktarları ise her bir hattın ilgili üründen bir yılda kaç adet üretebildiğini göstermekte ve İmalat Programı’ndan bu veri elde edilebilmektedir. Tezgah verimliliği verisi ise işletme kapsamında kullanılan kurumsal kaynak planlaması programı sayesinde önceki yıllarda yapılan üretim ve kapasitelere göre hesaplanarak kullanılabilmektedir. Bu veriler ile program yardımıyla yıllık üretim miktarı, iş günü ve ihtiyaç vardiya sayıları hesaplanmaktadır.

Yıllık üretim miktarının, verimlilik ve günlük üretim miktarının çarpımına bölünmesiyle ilgili hattın bir yılda çalışması gereken iş günü sayısına ulaşılmaktadır. Hat bazında, o hattaki her bir ürünün üretimi için çalışması gereken iş günü sayıları toplanır ve toplam ihtiyaç iş günü hesaplanır. Yıllık üretim kapasitesinin hesaplanması için bir yılda çalışılabilecek toplam iş günü sayısı ihtiyaç iş gününe bölünür ve çıkan sonuç yıllık üretim miktarı ile çarpılır. Bu sayede ilgili hattın bir yıl içerisinde üretimini yapabileceği toplam ürün sayısı bulunmaktadır. İhtiyaç vardiyası, ilgili hattın o yıl içerisinde günde kaç vardiya çalışması gerektiğini gösteren veridir. İhtiyaç iş gününün toplam iş gününe bölünüp üç vardiya ile

çarpılması sonucu hesaplanır. Bu sayede ilgili hat için normal mesainin karşılanmak istenen talep için yeterli olup olmadığı, yetersiz ise o hattın ne kadar fazla mesai yapması gerektiği hesaplanabilmektedir.

Firmada mevcut durumda yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçların çıktısı Tablo.3'te paylaşılmıştır.

Tablo 3 – Mevcut Durum Sonuçlar

HAT NO	SORUMLU & TEZGAH NO	YILLIK ÜRETİM MİKTARI	ÇALIŞILACAK İŞ GÜNÜ	YILLIK KAPASİTE	TOPLAM İŞ GÜNÜ	İHTİYAÇ VARDIYA	SONUÇ VARDIYA	ORT. SONUÇ VARDIYA
1	OTO.MON.VE SONK.HATTI 401 (030 213)	2.750.750	280	2.751.840	280	3,0	3,0	2,3
2	OTO.MON.VE SONK.HATTI 402 (030 233)	2.214.000	253	2.453.899	280	2,7	3,0	
3	OTO.MON.VE SONK.HATTI 403 (030 221)	1.400.000	169	2.318.400	280	1,8	2,0	
4	OTO.MON.VE SONK.HATTI 404 (030 235)	1.158.000	317	1.024.297	280	3,4	3,0	
5	OTO.MON.VE SONK.HATTI 405 (030 226)	0	0	2.782.080	280	0,0	0,0	
6	OTO.MON.VE SONK.HATTI 406 (030 234)	755.000	102	2.077.584	280	1,1	1,0	
7	OTO.MON.VE SONK.HATTI 407 (030 222)	1.605.000	280	1.603.371	280	3,0	3,0	
8	OTO.MON.VE SONK.HATTI 408 (030 231)	1.970.000	243	2.270.896	280	2,6	3,0	
9	OTO.MON.VE SONK.HATTI 409 (030 220)	1.840.000	222	2.318.612	280	2,4	2,0	
10	OTO.MON.VE SONK.HATTI 410 (030 238)	125.000	13	2.681.280	280	0,1	0,0	
11	OTO.MON.VE SONK.HATTI 411 (030 230)	1.890.000	285	1.855.768	280	3,1	3,0	
12	OTO.MON.VE SONK.HATTI 412 (030 237)	2.740.000	280	2.741.760	280	3,0	3,0	
13	OTO.MON.VE SONK.HATTI 413 (030 205)	2.170.000	280	2.167.200	280	3,0	3,0	
14	OTO.MON.VE SONK.HATTI 414 (030 239)	1.936.000	263	2.063.333	280	2,8	3,0	
15	OTO.MON.VE SONK.HATTI 415 (030 211)	840.000	97	2.427.600	280	1,0	1,0	
16	OTO.MON.VE SONK.HATTI 416 (030 240)	2.400.000	280	2.399.040	280	3,0	3,0	
17	OTO.MON.VE SONK.HATTI 417 (030 210)	1.860.000	190	2.745.120	280	2,0	2,0	
18	OTO.MON.VE SONK.HATTI 418 (030 236)	1.285.000	315	1.141.080	280	3,4	3,0	
19	OTO.MON.VE SONK.HATTI 419 (030 229)	2.070.000	280	2.069.760	280	3,0	3,0	
20	OTO.MON.VE SONK.HATTI 420 (030 245)	2.515.000	280	2.513.280	280	3,0	3,0	
21	OTO.MON.VE SONK.HATTI 421 (030 262)	2.285.000	280	2.284.800	280	3,0	3,0	
22	OTO.MON.VE SONK.HATTI 422 (030 217)	1.600.000	203	2.201.954	280	2,2	2,0	
23	OTO.MON.VE SONK.HATTI 423 (030 261)	440.000	126	977.760	280	1,4	2,0	
24	OTO.MON.VE SONK.HATTI 424 (030 216)	1.646.000	214	2.150.400	280	2,3	2,0	
25	OTO.MON.VE SONK.HATTI 425 (030 207)	2.450.000	280	2.446.080	280	3,0	3,0	
26	OTO.MON.VE SONK.HATTI 426 (030 218)	1.525.000	280	1.527.192	280	3,0	3,0	
27	OTO.MON.VE SONK.HATTI 427 (030 260)	778.000	251	869.364	280	2,7	3,0	
28	OTO.MON.VE SONK.HATTI 428 (030 107)	0	0	2.730.000	280	0,0	0,0	
30	OTO.MON.VE SONK.HATTI 430 (030 257)	260.000	183	398.580	280	2,0	2,0	
31	OTO.MON.VE SONK.HATTI 431 (030 242)	1.065.000	311	957.417	280	3,3	3,0	
32	OTO.MON.VE SONK.HATTI 432 (030 108)	933.000	123	2.116.800	280	1,3	1,0	
33	OTO.MON.VE SONK.HATTI 433 (030 256)	845.000	279	846.720	280	3,0	3,0	
34	OTO.MON.VE SONK.HATTI 434 (030 206)	2.970.000	280	2.968.560	280	3,0	3,0	
35	OTO.MON.VE SONK.HATTI 435 (030 212)	1.382.000	191	2.029.346	280	2,0	2,0	
36	OTO.MON.VE SONK.HATTI 436 (030 219)	1.905.000	280	1.904.524	280	3,0	3,0	
37	OTO.MON.VE SONK.HATTI 437 (030 203)	3.195.000	280	3.192.000	280	3,0	3,0	
38	OTO.MON.VE SONK.HATTI 438 (030 243)	95.000	30	873.600	280	0,3	0,0	
39	OTO.MON.VE SONK.HATTI 439 (030 247)	2.290.000	280	2.293.200	280	3,0	3,0	
40	OTO.MON.VE SONK.HATTI 440 (030 228)	1.320.000	278	1.330.560	280	3	3	

Mevcut durumda şekilde görüldüğü gibi üretilecek toplam ürün miktarı 60507750 adettir ve hat bazında çalışılacak toplam gün sayısı 8579 makine/gün olarak hesaplanmıştır. Bu ürünlerin üretilebilmesi için günlük çalışılması gereken ortalama vardiya sayısı 2.3 vardiya/gün olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmalar belirtildiği gibi mühendisler tarafından yaklaşık bir hafta süren bir çalışma sonucunda bulunmaktadır.

Bu kapsamda firmanın ihtiyacı gereği, ürün-hat eşleştirmelerinin hem en iyi değerlerinin bulunabilmesi hem de bu işlemlerin mühendisler tarafından daha kısa sürede yapılabilmesi için doğrusal programlama tekniğinden yararlanılarak matematiksel model oluşturulmuştur.

4.2. Orta Dönem Kapasite Planlama için Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Modeli

Tez kapsamında, firmada mevcut durumda gerçekleştirilen orta dönem kapasite planlamasının farklı amaçlar göz önüne alınarak yapılması için çok amaçlı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Önerilen çok amaçlı matematiksel modelde ilk amaç çalışılan gün sayısının enküçüklenmesi, ikinci amaç ise ürünlerin özelliklerine göre parti büyüklüklerinin belirlenmesi ve stok durumlarının etkin bir şekilde yönetiminin gerçekleştirilmesidir. Bu amaçlar doğrultusunda matematiksel model kurulmuştur.

4.2.1. Modele ilişkin varsayımlar

Rulman üretim fabrikasında yapılan çalışma kapsamında kurulan doğrusal programlama modelinde çalışmaların yapılabilmesi için bazı varsayımlar kabul edilmiştir. Bu varsayımlar aşağıda belirtildiği gibidir:

1. Ana imalat programı kapsamında kapasite planlama yılda iki defa yapılmaktadır.
2. Yıllık çalışan gün sayısı 280 gün olarak alınmaktadır.
3. Her bir hat bazında fazla mesai 50 günü aşmayacaktır.
4. Ürün-hat eşleştirmeleri yapılırken hangi hatlarda hangi ürünlerin üretilebildiği bilinmektedir.
5. Ürünler belirtilen talep miktarlarından daha az üretilmeyecektir.

6. Vardiya üretim miktarı (VÜM), bir vardiyada (8 saat) %100 verimle ilgili hattın ilgili üründen üretebilme miktarıdır ve önceki çalışmalardan bu miktarlar hat bazında bilinmektedir.
7. Tezgah verimlilikleri işletmede kullanılan kurumsal kaynak planlaması programı sayesinde önceki yıllardaki performanslara bakılarak hesaplanabilmektedir.
8. Hatlara ürün atamaları yapılırken hazırlık süreleri de dikkate alınacak ve her ürün değişiminde hazırlık süresi 1 vardiya olarak toplam süreye eklenecektir. Eğer ilgili hatta tek bir ürün üretimi yapılıyorsa o hatta hazırlık süresi hesaplanmayacaktır.
9. Çalışma kapsamında montaj aşamasındaki ürün-hat eşleşmeleri ile ilgili çalışılacaktır.

Belirtilen varsayımlar kapsamında kapasite planlamanın gerçekleştirilmesi için doğrusal programlama modeli kurulmuştur. Tez çalışması kapsamında, montaj aşamasında seçilen 72 ürün ve 40 hat için ürün-hat eşleşmeleri üzerinde çalışılmıştır. 72 ürün ve 40 hat için örnek eşleştirmeler Ek-2'de verilmiştir. Önerilen modelde, firmaya ait genel kısıtlar talep ve kapasite kısıtlarıdır. Buna ek olarak modelde parti büyüklüklerinin belirlenerek bu partilerin üretim sıralarının bulunması amacı ile ek kısıtlar bulunmaktadır. Çok amaçlı matematiksel model için iki amaç bulunmaktadır. Bu amaç fonksiyonları aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

Önerilen matematiksel modelde kullanılan indisler, parametreler ve karar değişkenlerine ilişkin tanımlamalar aşağıda verilmektedir.

İndisler

i, k ürünler $i, k \in \{1, \dots, n\}$

j hatlar $j \in \{1, \dots, m\}$

t üretim sırası $t \in \{1, \dots, p\}$

Parametreler

A_i i .ürünün bir yıllık talep miktarı

M Çok büyük bir sayı

N_m Her bir hat için normal mesai süresi

F_m Her bir hat için fazla mesai süresi

C Fazla mesai katsayısı

k_i i .ürün için hesaplanan kriter puanı

a_{ij} i .ürünün j .hattaki birim üretim süresi

Karar Değişkenleri

Z_{ijt} i .ürünün j .hatta t .sıradaki üretim parti miktarı

X_j j .hatta üretim yapılan toplam gün sayısı

Y_j j .hattın yıllık çalıştığı fazla mesai gün sayısı

$A_{ijt} \begin{cases} i \text{ .ürün } j \text{ .hatta } t \text{ .sırada üretilirse } 1, \\ \text{Diğer durumlarda } 0. \end{cases}$

$W_{ikjt} \begin{cases} i \text{ .üründen } k \text{ .ürüne } j \text{ .hatta } t \text{ .sırada geçiş yapılıyorsa } 1, \\ \text{Diğer durumlarda } 0. \end{cases}$

$P_{ijt} \in \{0,1\}$, yardımcı değişken

4.2.2. Önerilen modele ilişkin belirlenen amaçlar

Çok amaçlı matematiksel model için iki amaç belirlenmiştir. Bunlardan birinci amaç fonksiyonu toplam çalışılan gün sayısının enküçüklenmesidir.

İkinci amaç fonksiyonu ise ürünlerin belirli kriterler gözününe alınarak ürün özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklere göre parti büyüklerinin belirlenerek üretimlerinin gerçekleştirilmesidir. Buradaki amaç, ürünlerin müşteriler tarafından talep edilmemesi durumunda elde kalma riskini azaltmak ve stokların etkinliğini artırmaktır.

Bu çalışmada ürünler farklı kriterlere göre özellikleri değerlendirilmiş ve ürünlerin elde atıl olarak kalmasının engellenmesi hedeflenmiştir. Böylelikle riskli ürünlerin üretimi az sayıda partiler halinde üretilecek, ürünün talep edilmemesi durumunda stokta kalması engellenebilecektir. Ancak talep durumu belirli ve riskli olmayan ürünler tek seferde üretilerek talep karşılanacak ve diğer yandan hazırlık süresi ve toplam gün sayısı enküçüklenebilecektir. Bu amaç sayesinde sadece üretim ve hazırlık maliyetleri değerlendirmemiş olacak ve ayrıca ürünlerin riskli olmalarından kaynaklanacak maliyetlerinde önüne geçilmiş olunacaktır.

İkinci amaç fonksiyonu için öncelikle ürünlere ilişkin risk durumlarını belirten katsayıların belirlenmesi gerekmektedir. Bu ürün bazlı kriter puanlarının belirlenmesinde TOPSIS yönteminden yararlanılmıştır. TOPSIS yönteminin uygulanması sonucunda elde edilen kriter puanları ikinci amaç fonksiyonu için kullanılmıştır. TOPSIS yöntemi için öncelikle ürünlerin özelliklerini yansıtacak kriterler belirlenmiştir. Belirlenen kriterler aşağı açıklanmaktadır.

- Frekans (Süreklilik): İlgili ürünün son bir yıldaki alım miktarını ifade eder. 0-12 ay arasında bir değerdir. Frekansın yüksek olması ürünü alacak olan müşterinin talebinin yüksek olduğu ve ürünün stokta kalma riskinin düşük olduğu anlamına gelmektedir.
- Görünürlük (Planlama Ufku): İlgili ürün için gelecekteki talep tahminine göre elde edilen değerdir. 0-6 ay arasında değer almaktadır. Talep tahmininin yüksek olması ilgili ürünün bölünerek üretilmesine gerek olmadığı, müşteri tarafından ilgili talep tahmini döneminde alınacağını ifade etmektedir.
- Ürün Durumu: İlgili ürünün standart veya özel bir ürün olduğunu ifade eder. Standart ürün tüm müşteriler tarafından talep edilebilirken, özel ürünler müşteri bazlı olarak üretilir. Standart ürün 1 olarak, özel ürün ise 0 olarak ifade edilmiştir. Ürünün standart olması, stokta kalsa bile başka bir müşteri tarafından satın alabileceğini

göstermektedir. Ürünün özel olması ise, müşteriye özel üretim olduğunu ve müşteri almazsa stokta kalacağı anlamına gelmektedir.

Bu kriterler, ürünler bazında değerlendirilirken frekansı ve görünürlüğü yüksek ve standart bir ürün ise ideal ürün olarak değerlendirilebilir. İlgili ürünün hem önceden çok talep gördüğü hem de ilgili talep tahmini döneminde de talep edileceğini göstermektedir. Ancak frekans ve görünürlük düştükçe ilgili ürünün talebi hakkında yapılacak tahminlerin doğruluğu azalmaktadır. Bu sebeple bu ürünün bölünerek üretilmesi sağlanmalı ve stokta atıl bir şekilde bekleme riski azaltılmalıdır.

TOPSIS, çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biridir. Bu çalışma kapsamında kriter puanları hesaplanırken aşağıdaki TOPSIS adımları takip edilmiştir. İlk olarak performans kriterlerinin değerleri belirlenir. Frekans 0.50 , planlama ufku 0.20 ve ürün durumu 0.30 olan TOPSIS ağırlıkları için verilen örnek değerler Tablo.4'te verilmiştir.

Tablo 4 – Kriter Değerleri

Parça Tanımı	Talep Miktarı	Frekans	Planlama Ufku	Ürün Durumu
Ürün 30	720000	11	6	0
Ürün 31	420000	6	2	0
Ürün 32	78000	12	2	1
Ürün 33	510000	12	6	1
Ürün 34	130000	12	6	1
Ürün 35	0	12	6	1
Ürün 36	190000	12	6	1
Ürün 37	440000	12	6	1
Ürün 38	190000	7	2	1
Ürün 39	190000	8	2	1
Ürün 40	370000	12	4	1

Performans kriterlerinin değerleri ürün bazlı belirlendikten sonra bu verilen değerler denklem 21'e göre normalize edilerek normalize matris elde edilir. Normalize matris için örnek değerler Tablo.5'te verilmiştir.

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2}} \quad (21)$$

Tablo 5 – Normalize Matris

Normalize Matris			
PARÇA TANIMI	FREKANS	PLANLAMA UFKU	ÜRÜN DURUMU
Ürün 30	1.5313	0.9409	0.0015617
Ürün 31	0.4556	0.1045	0.0015617
Ürün 32	1.8223	0.1045	0.1561738
Ürün 33	1.8223	0.9409	0.1561738
Ürün 34	1.8223	0.9409	0.1561738
Ürün 35	1.8223	0.9409	0.1561738
Ürün 36	1.8223	0.9409	0.1561738
Ürün 37	1.8223	0.9409	0.1561738
Ürün 38	0.6201	0.1045	0.1561738
Ürün 39	0.8099	0.1045	0.1561738
Ürün 40	1.8223	0.4182	0.1561738

Normalize edilen değerler belirlenen TOPSIS ağırlıkları ile çarpılır ve Tablo.6'daki gibi ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilir.

Tablo 6 – Ağırlıklandırılmış Normalize Matris

KRİTER AĞIRLIKLARI	0,5	0,2	0,3
PARÇA TANIMI	FREKANS	PLANLAMA UFKU	ÜRÜN DURUMU
Ürün 30	0.7656	0.1882	0.00046852
Ürün 31	0.2278	0.0209	0.00046852
Ürün 32	0.9112	0.0209	0.04685213
Ürün 33	0.9112	0.1882	0.04685213
Ürün 34	0.9112	0.1882	0.04685213
Ürün 35	0.9112	0.1882	0.04685213
Ürün 36	0.9112	0.1882	0.04685213
Ürün 37	0.9112	0.1882	0.04685213
Ürün 38	0.3101	0.0209	0.04685213
Ürün 39	0.4050	0.0209	0.04685213
Ürün 40	0.9112	0.0836	0.04685213

Bir sonraki aşamada her bir kriter için en iyi ve en kötü değer bulunur. Örnek olarak bulunan değerler Tablo.7’de verilmiştir.

V_j^+ : En iyi değer

V_j^- : En kötü değer

Tablo 7 – Kriter Bazlı En İyi ve En Kötü Değerler

DEĞER	FREKANS	PLANLAMA UFKU	ÜRÜN DURUMU
V_j^+	0.0569	0.0052	0.04685213
V_j^-	0.9112	0.1882	0.00046852

Bu değerlere göre her bir ürün için aşağıda yer alan denklem 22 ve denklem 23’e göre ideal çözümden uzaklık değerleri hesaplanır. Örnek hesaplamalar Tablo.8’de verilmiştir.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (22)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (23)$$

Tablo 8 – İdeal Çözümünden Uzaklıklar

PARÇA TANIMI	S_i^+	S_i^-
Ürün 30	0.7334	0.1455
Ürün 31	0.1777	0.7036
Ürün 32	0.8544	0.1736
Ürün 33	0.8736	0.0464
Ürün 34	0.8736	0.0464
Ürün 35	0.8736	0.0464
Ürün 36	0.8736	0.0464
Ürün 37	0.8736	0.0464
Ürün 38	0.2536	0.6257
Ürün 39	0.3484	0.5351
Ürün 40	0.8578	0.1144

Bulunan uzaklık değerleri denklem 24’te verildiği gibi ürün bazlı kriter puanlarını hesaplamak için kullanılır. Tablo.9’da örnek ürünler için hesaplanan kriter puanları verilmiştir.

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (24)$$

Tablo 9 – Ürün Bazlı Kriter Puanları

PARÇA TANIMI	Performans Kriter Puanı
Ürün 30	0.1656
Ürün 31	0.7983
Ürün 32	0.1689
Ürün 33	0.0504
Ürün 34	0.0504
Ürün 35	0.0504
Ürün 36	0.0504
Ürün 37	0.0504
Ürün 38	0.7116
Ürün 39	0.6057
Ürün 40	0.1176

Elde edilen TOPSIS ağırlıklarına göre yüksek çıkan kriter puanlarına sahip ürünler bölünerek üretilmek istenirken, düşük kriter puanına sahip ürünler ideal ürün olmaya yakındır ve bölünmeden üretilbilirler. Yukarıda verilen TOPSIS çalışması tüm ağırlıklar için uygulanmış ve elde edilen değerler ikinci amaç fonksiyonunda kullanılmıştır. Buna göre amaç fonksiyonları ve kısıtlar çerçevesinde bu çalışmada önerilen çok amaçlı doğrusal programlama modeli çalışmanın devamında verilmiştir.

4.3. Orta Dönem Kapasite Planlaması için Önerilen Matematiksel Model

Yapılan tez çalışması kapsamında orta dönem kapasite planlama problemi için çok amaçlı matematiksel bir model önerilmiştir. Model kapsamında kapasite planlama kısıtlarına ek olarak yeni kısıtlar ve farklı amaç fonksiyonları belirlenmiştir. Kurulan modele ilişkin amaç fonksiyonları, kısıtlar ve açıklamaları bölümün devamında yer almaktadır.

Amaç Fonksiyonları

$$Z \min = \sum_j X_j + C \sum_j Y_j + 0.33 \sum_i \sum_k \sum_j \sum_t W_{ikjt} \quad (25)$$

$$Z \max = \sum_i \sum_j \sum_t k_i A_{ijt} \quad (26)$$

Kısıtlar

$$\sum_j \sum_t Z_{ijt} \geq A_i, \forall i \quad (27)$$

$$\sum_i \sum_t a_{ij} Z_{ijt} \leq Nm + Fm, \forall j \quad (28)$$

$$X_j \leq Nm, \forall j \quad (29)$$

$$Y_j \leq Fm, \forall j \quad (30)$$

$$\sum_i \sum_k W_{ikjt} \leq 1, i \neq k; \forall j, t \quad (31)$$

$$\sum_i A_{ijt} + \sum_k A_{kjt} - \sum_i \sum_k W_{ikjt} \leq 1, i \neq k; \forall j, t \quad (32)$$

$$\sum_i A_{ijt} + \sum_k A_{kjt} \leq 1, i \neq k; \forall j, t \quad (33)$$

$$\sum_i A_{ijt} - \sum_i A_{ij(t+1)} \geq 0, \forall j, t \quad (34)$$

$$Z_{ijt} + M P_{ijt} \leq M, \forall i, j, t \quad (35)$$

$$A_{ijt} + M P_{ijt} \geq 1, \forall i, j, t \quad (36)$$

$$A_{ijt} \leq Z_{ijt}, \forall i, j, t \quad (37)$$

$$Z_{ijt} \geq 0, \forall i, j, t \quad (38)$$

$$A_{ijt} \in \{0,1\}, \forall i, j, t \quad (39)$$

$$W_{ikjt} \in \{0,1\}, \forall i, k, j, t \quad (40)$$

$$P_{ijt} \in \{0,1\}, \forall i, j, t \quad (41)$$

25 numaralı amaç fonksiyonunda hatların çalışması gereken toplam gün sayısı enküçüklemeye çalışılmıştır. Burada fazla mesai için ayrılan sürenin enküçüklenmesi için bir ceza katsayısı bulunmaktadır. Böylelikle hatların doluluk oranlarının artırılarak fazla mesai süresine ihtiyaç duyulması durumunda en az sürenin kullanılması sağlanmaktadır. 26 numaralı amaç fonksiyonunda normalizasyon sonucu elde edilen ürün bazında performans puanları ile ürünün hatta atanması durumunda düşük performans değerlerine sahip ürünlerin üretiminin bölünmeden tamamlanması, yüksek performans puanına sahip ürünlerin ise bölünerek üretilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Kısıt 27 talep kısıtıdır ve bu kısıt kapsamında ürün bazında hatlarda üretilecek toplam miktar talep edilen miktarın altında kalmayacaktır. 28 numaralı kapasite kısıtında hat bazında üretilen ürünlerin toplam üretim günü, normal mesai ve fazla mesai günlerinin toplamından fazla olmayacaktır. 29 numaralı kısıtta çalışılabilecek gün sayısının belirtilen normal mesai gün sayısını aşamayacağı ve 30 numaralı kısıtta ise çalışılabilecek fazla mesainin belirtilen gün sayısını aşamayacağı belirtilmiştir. 31 numaralı kısıtta hat içerisinde aynı sıraya aynı anda birden fazla ürünün atanmasını engelleyen kısıttır. 32 numaralı kısıt A_{ijt} ile W_{ikjt} değişkenleri arasındaki tutarlılığı garanti etmektedir. Hat bazında atanacak ürünlerin her bir sıra için 1'den az olması 33 numaralı kısıt ile garanti edilmiştir. 34 numaralı kısıt kapsamında hatta atanan ürünlerin sıralamasının düzgün bir şekilde ilerlemesini sağlar. Eğer hat boş kalacaksa bunu planlama ufkunun sonuna yerleştirmeye zorlar. 35 , 36 ve 37 numaralı kısıtlarda i. ürün için j. hatta t.

sırada üretim yapılıyorsa ilgili parti üretimi değişkenine 1, i. ürün için j. hatta t. sırada üretim yapılmıyorsa ilgili parti üretimi değişkenine 0 değerinin atanması sağlanmıştır. Bu sayede A_{ijt} ve Z_{ijt} değişkenleri arasındaki ilişkiyi sağlamaktadır. 38 numaralı kısıt kapsamında üretilecek ürün miktarlarının pozitif tam sayı olması garanti altına alınmıştır. 39 , 40 ve 41 numaralı kısıtlarda ise sırasıyla atama , hatlar arası geçiş ve yardımcı değişkenlerinin (0,1) değişken olması sağlanmıştır.

Önerilen çok amaçlı doğrusal programlama modelinin çözümü için ağırlıklandırma metodu kullanılmıştır ve belirlenen amaçların tek bir amaç fonksiyonuna dönüştürülmesi için 42 numaralı denklem kullanılmıştır.

$$Min = \omega_1 \left(\frac{f_1(x) - f_{1min}}{f_{1max} - f_{1min}} \right) + \omega_2 \left(\frac{f_2max - f_2(x)}{f_2max - f_2min} \right) \quad (42)$$

Önerilen modelin program yardımıyla çözümü gerçekleştirilmiş ve kapasite planlama kapsamında sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve analizler ilerleyen bölümde verilmektedir.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

Önerilen çok amaçlı matematiksel modelin çözümü için CPLEX 22.1.1 kullanılmıştır. Kullanılan ağırlıklandırma metodunda farklı ağırlıklar ile çözümler elde edilmiştir. 19 farklı ağırlık ile model çalıştırılmış ve pareto optimal çözümler elde edilmiştir. Kullanılan amaç fonksiyonu ağırlıkları Tablo.10’da belirtilmiştir.

Tablo 10 – Amaç Fonksiyonu Ağırlıkları

Amaç Fonksiyonu-1	Amaç Fonksiyonu-2
0.95	0.05
0.90	0.10
0.85	0.15
0.80	0.20
0.75	0.25
0.70	0.30
0.65	0.35
0.60	0.40
0.55	0.45
0.50	0.50
0.45	0.55
0.40	0.60
0.35	0.65
0.30	0.70
0.25	0.75
0.20	0.80
0.15	0.85
0.10	0.90
0.05	0.95

Ayrıca kriterlere ilişkin uygun ağırlıkların elde edilmesi ve önerilmesi için farklı TOPSIS ağırlıkları verilerek çözümler elde edilmiştir. Böylelikle hem amaç fonksiyonu ağırlıklarının değişimi hem de TOPSIS ağırlıklarının değişimi ile toplamda 684 problemin çözümü gerçekleştirilmiştir. TOPSIS çalışmasında kullanılan ağırlıklar Tablo.11’de verilmiştir.

Tablo 11 – TOPSIS Ağırlıkları

No	Süreklilik	Ürün Durumu	Görünürlük
1	0.80	0.10	0.10
2	0.70	0.20	0.10
3	0.60	0.20	0.20
4	0.60	0.30	0.10
5	0.50	0.30	0.20
6	0.50	0.40	0.10
7	0.40	0.40	0.20
8	0.40	0.30	0.30
9	0.10	0.40	0.50
10	0.10	0.30	0.60
11	0.10	0.20	0.70
12	0.10	0.10	0.80
13	0.10	0.50	0.40
14	0.10	0.60	0.30
15	0.10	0.70	0.20
16	0.10	0.80	0.10
17	0.20	0.40	0.40
18	0.20	0.30	0.50
19	0.20	0.20	0.60
20	0.20	0.70	0.10
21	0.20	0.50	0.30
22	0.20	0.60	0.20
23	0.20	0.10	0.70
24	0.30	0.30	0.40
25	0.30	0.50	0.20
26	0.30	0.60	0.10
27	0.30	0.40	0.30
28	0.30	0.20	0.50
29	0.30	0.10	0.60
30	0.40	0.20	0.40
31	0.40	0.50	0.10
32	0.40	0.10	0.50
33	0.50	0.20	0.30
34	0.50	0.10	0.40
35	0.60	0.10	0.30
36	0.70	0.10	0.20

Verilen ağırlıklar ile normalize matris elde edilmiş ve ağırlıklandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler ile TOPSIS çalışması gerçekleştirilmiş ve ürün bazlı kriter

puanları elde edilmiştir. Frekans kriteri 0.10 , planlama ufku 0.50 ve ürün durumu kriter için 0,40 değerleri için TOPSIS sonucu hesaplanan örnek kriter puanları Ek-3'te paylaşılmıştır.

Örnek olarak paylaşılan kriter puanlarındaki gibi tüm ağırlıklar için hesaplanılarak matematiksel modelde verilen ikinci amaç fonksiyonunda katsayı olarak kullanılmış ve matematiksel modeller program yardımıyla çözdürülmüştür. Ek-4'te TOPSIS ağırlığı frekans için 0.40 , ürün durumu için 0.40 ve görünürlük kriteri için 0.30 ve amaç fonksiyonu ağırlığı birinci amaç fonksiyonu için 0.95 ve ikinci amaç fonksiyonu için 0.05 olan modelde hangi ürünün hangi hatta kaç adet üretileceği sonuçları verilmektedir. Ekteki tabloda olduğu gibi tüm ağırlıklar için değerler hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre yüksek ağırlıkta olan amaç fonksiyonuna göre ürünlerin parti büyüklüklerinin değiştiği görülmüştür. Örneğin birinci amaç fonksiyonunun 0.95, ikinci amaç fonksiyonunun 0.05 olduğu bir durumda 14. ürün 13. hatta 2170000 adet bölünmeden üretilmiştir. Ancak birinci amaç fonksiyonunun 0.05, ikinci amaç fonksiyonunun 0.95 olduğu durumda ise 14. ürünün 13 ve 19. hatlara sırasıyla 944833 ve 1225167 adet olmak üzere iki parti şeklinde üretildiği görülmüştür. Katsayı değişimi ile elde edilen bazı parti büyüklüğü değişiklikleri Tablo.12'de örnek olarak paylaşılmıştır.

Tablo 12 – Örnek Üretim Miktarı Değişimleri

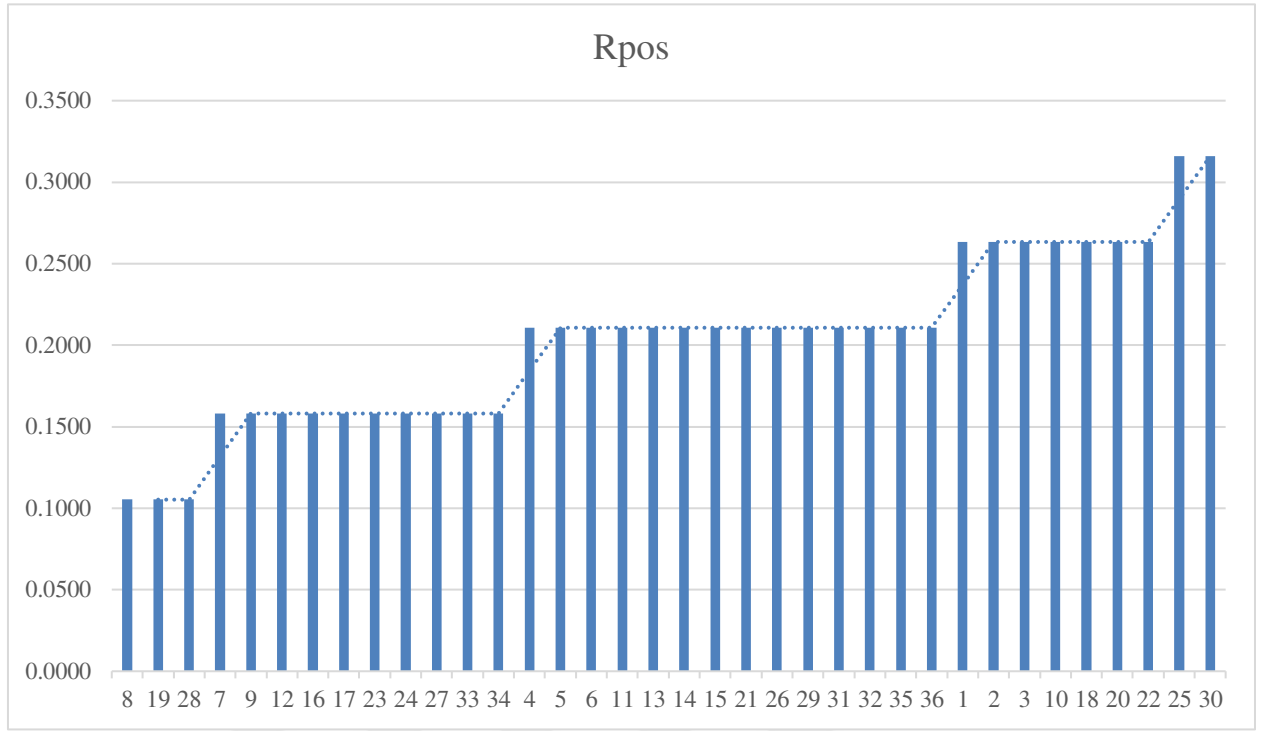
Amaç Fonk-1	Amaç Fonk-2	Ürün	Hat	Üretim Miktarı
0.95	0.05	21	18	570000
0.05	0.95	21	4	467700
0.05	0.95	21	18	102300
0.95	0.05	31	4	420000
0.05	0.95	31	4	210850
0.05	0.95	31	18	209150
0.95	0.05	41	20	2522522
0.95	0.05	41	28	2767478
0.05	0.95	41	6	55450
0,05	0.95	41	20	2522522
0,05	0.95	41	28	2712028

Farklı amaç fonksiyonu ağırlıkları ve farklı TOPSIS ağırlıkları ile elde edilen pareto optimal çözümler Ek-5’te verilmiştir.

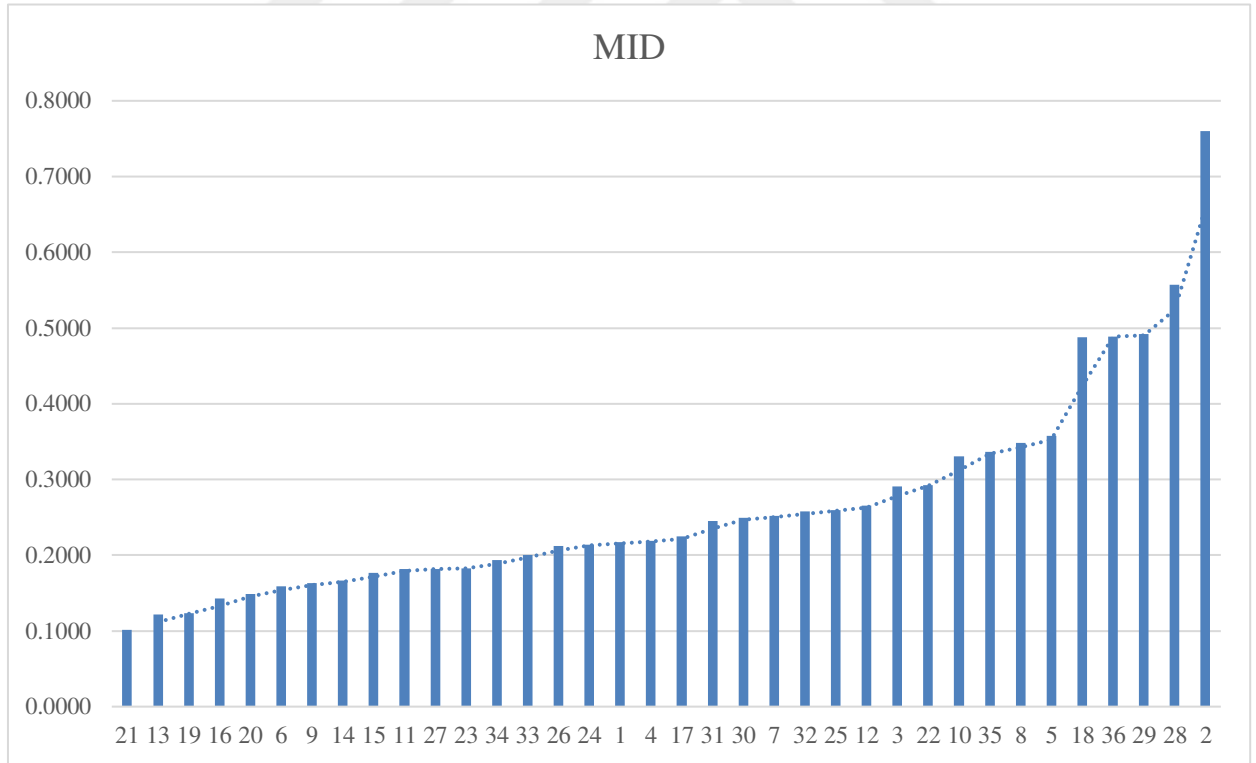
Elde edilen 684 adet çözüm sonucunda farklı performans kriterleri ile çözümler karşılaştırılmıştır. Buradaki amaç karar vericinin hangi amaca yönelmek istediğine bağlı olarak uygun kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve karar vericiye sunulması hedeflenmiştir. Tablo.13’te her bir ağırlık değerine ilişkin belirtilen metriklerden elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Bu tabloda her satır, mevcut problem için kullanılan TOPSIS ağırlıklarını temsil etmektedir. Sütunlarda ise kullanılan performans değerlendirme metriklerinin sonuçları yer almaktadır. Performans değerlendirmesinde kullanılan metriklerin sonuçlarının incelenebilmesi için her bir metrik için ayrı olmak üzere beş adet farklı çubuk grafik aşağıdaki şekillerde paylaşılmıştır.

Tablo 13 – Hesaplanan Metriklerin Sonuçları

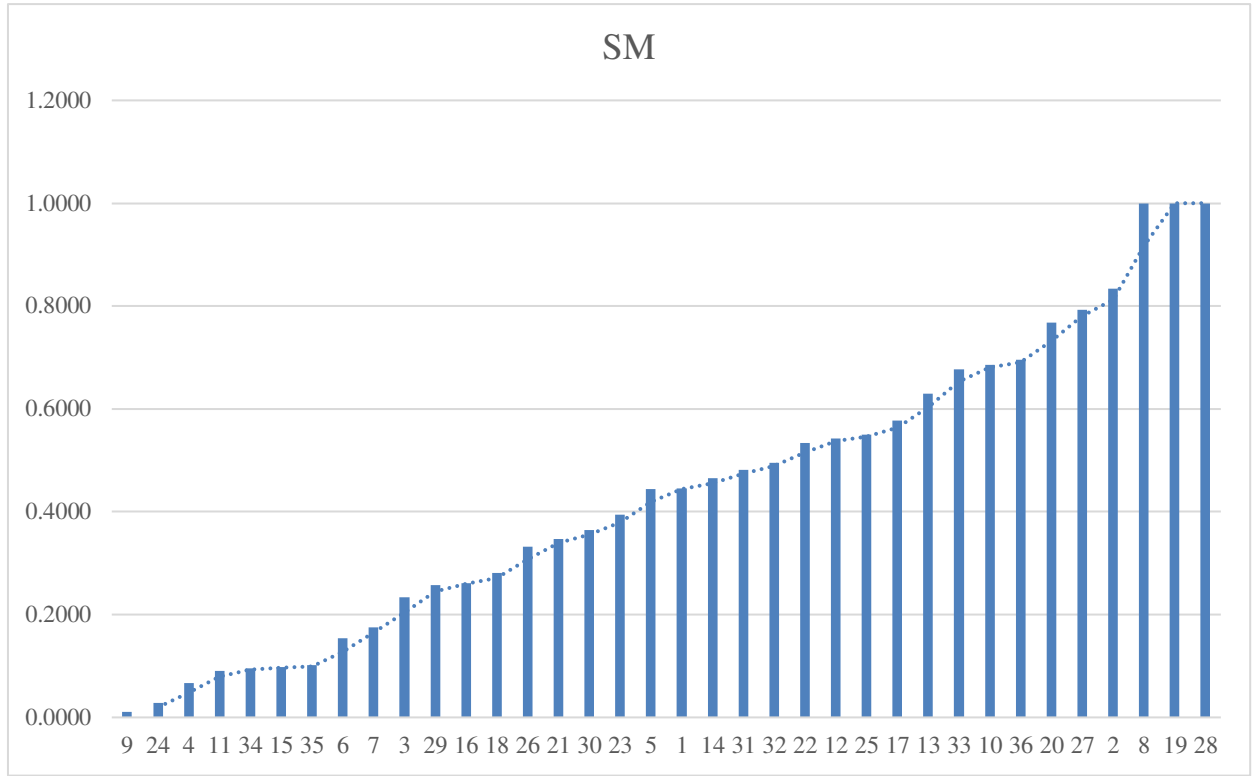
Ağırlık	Rpos	MID	SM	DM	NPF
1	0.2632	0.2176	0.4451	5709.22	0.2659
2	0.2632	0.7603	0.8334	9550.20	1.0219
3	0.2632	0.2907	0.2330	12172.00	0.0713
4	0.2105	0.2190	0.0674	6012.04	0.0057
5	0.2105	0.3573	0.4435	5947.01	0.2402
6	0.2105	0.1592	0.1538	10118.00	0.0282
7	0.1579	0.2517	0.1755	4220.09	0.0308
8	0.1053	0.3481	1.0000	907.32	0.0000
9	0.1579	0.1627	0.0110	4005.00	0.0001
10	0.2632	0.3307	0.6857	9965.05	0.4908
11	0.2105	0.1815	0.0900	5345.11	0.0097
12	0.1579	0.2658	0.5418	6411.21	0.2936
13	0.2105	0.1218	0.6295	4212.01	0.4462
14	0.2105	0.1667	0.4653	5631.00	0.2626
15	0.2105	0.1768	0.0982	6440.01	0.0109
16	0.1579	0.1426	0.2613	6460.00	0.0683
17	0.1579	0.2247	0.5776	13058.00	0.3336
18	0.2632	0.4881	0.2808	7135.14	0.1201
19	0.1053	0.1230	1.0000	2248.04	0.0000
20	0.2632	0.1488	0.7673	5897.12	0.6557
21	0.2105	0.1013	0.3472	4400.01	0.1645
22	0.2632	0.2923	0.5334	7527.14	0.4349
23	0.1579	0.1828	0.3948	6923.00	0.1559
24	0.1579	0.2141	0.0281	2258.32	0.0008
25	0.3158	0.2598	0.5503	16140.00	0.3468
26	0.2105	0.2119	0.3324	12400.00	0.1257
27	0.1579	0.1821	0.7926	4580.10	0.6283
28	0.1053	0.5573	1.0000	1954.00	0.0000
29	0.2105	0.4917	0.2571	17523.00	0.0744
30	0.3158	0.2492	0.3643	6412.07	0.2373
31	0.2105	0.2451	0.4819	7071.24	0.2839
32	0.2105	0.2579	0.4956	3385.20	0.2924
33	0.1579	0.2000	0.6766	2208.00	0.4578
34	0.1579	0.1939	0.0949	4044.07	0.0090
35	0.2105	0.3368	0.1011	8822.00	0.0115
36	0.2105	0.4890	0.6952	14910.00	0.5591



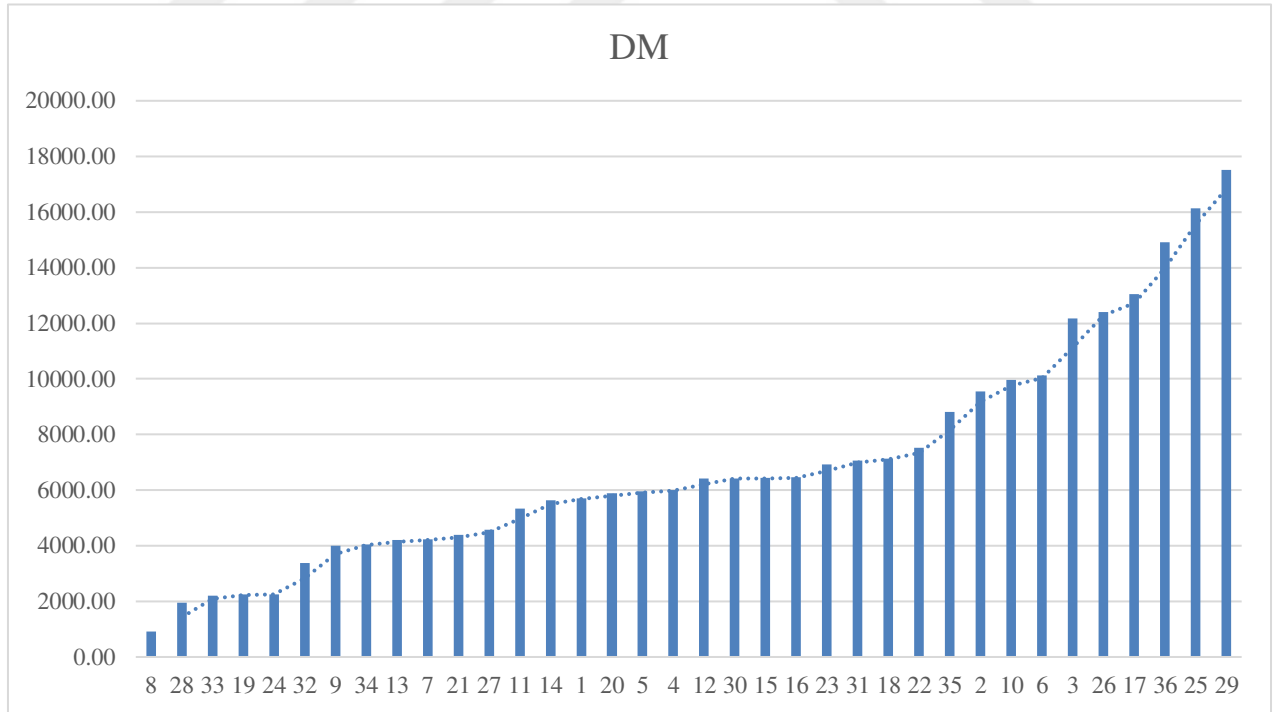
Şekil 7. Rpos Karşılaştırma Grafiği



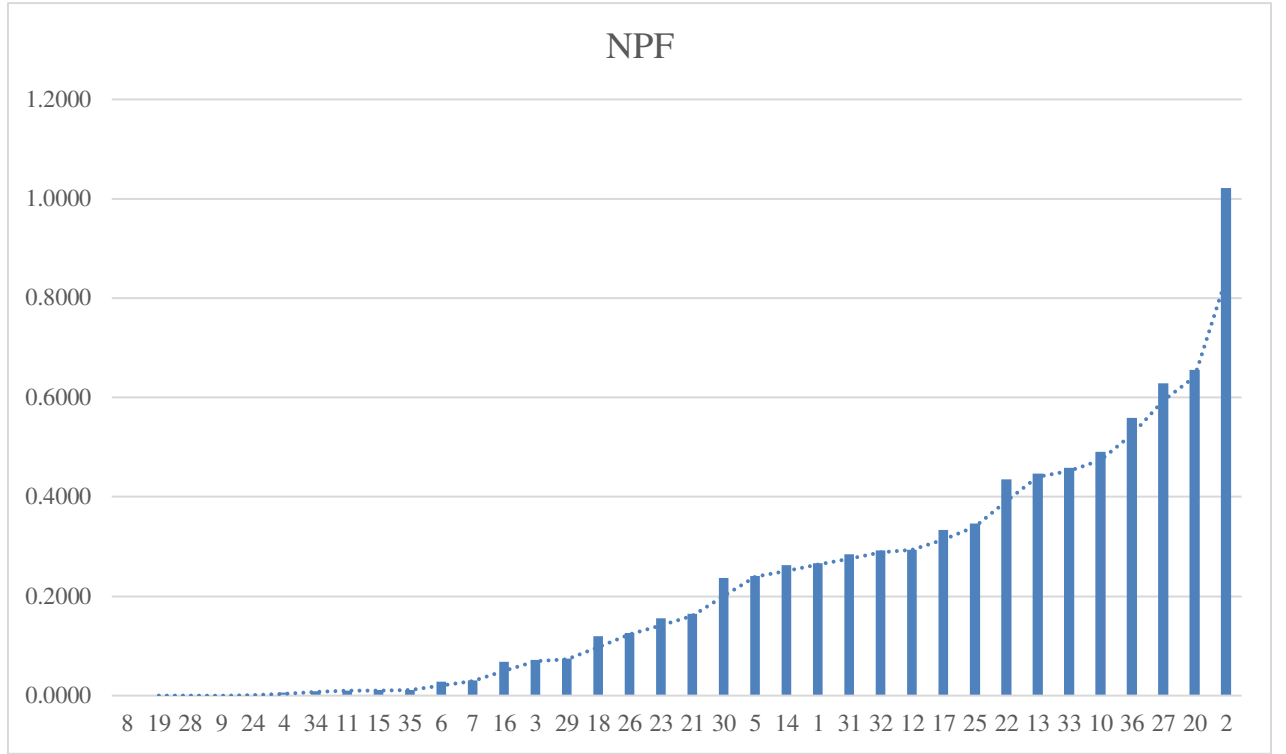
Şekil 8. MID Karşılaştırma Grafiği



Şekil 9. SM Karşılaştırma Grafiği



Şekil 10. DM Karşılaştırma Grafikleri



Şekil 11. NPF Karşılaştırma Grafikleri

Kapasite planlama problemi kapsamında çok amaçlı bir model ile çalışılmıştır. İlk amaç toplam çalışılan gün sayısını enküçükleme isterken, ikinci amaç fonksiyonunda ise belirlenen frekans, görünürlük ve ürün durumu olmak üzere üç adet performans kriteri doğrultusunda, kriter puanı yüksek olan ürünlerin bölünerek üretilmesi sağlanmıştır. Bu durumda ürünler bölünerek üretildiğinde hazırlık süreleri artacağı için çalışılan gün sayısı da arttırılmış olacaktır ve amaç fonksiyonları arasında bir ödünleşme söz konusudur.

Problem kapsamında çözdürülen modelde elde edilen pareto optimal sonuçlar ve karşılaştırmalı grafikleri paylaşılmıştır. Paylaşılan metriklerden pareto çözüm oranı için oransal olarak daha yüksek olan ağırlıklar tercih edilebilir olacaktır. Bu kapsamda TOPSIS ağırlıkları süreklilik kriterinin 0.30 , ürün durumu kriterinin 0.50 , görünürlük kriterinin 0.20 ve süreklilik kriterinin 0.40 , ürün durumu kriterinin 0.20 , görünürlük kriterinin 0.40 olduğu iki durum diğer ağırlıklara göre daha çok tercih edilebilir konumdadır. Genel olarak pareto

optimal çözüm grafiği incelendiğinde, karar vericiler için süreklilik ve ürün durumu kriterlerinin daha yüksek ağırlık değerlerine sahip olduğu durumlarda ilgili metriğin daha yüksek değerler aldığı görülmektedir.

MID metriğinde her bir pareto optimal çözüm grubu için ideal noktaya yani en iyi amaç fonksiyonu değerine olan uzaklıklar hesaplanmıştır. Metrik ne kadar az olursa, algoritmanın verimliliğinin de o kadar artacağı görülmektedir. Bu durumda TOPSIS ağırlıkları süreklilik kriterinin 0.20 , ürün durumu kriterinin 0.50 , görünürlük kriterinin 0.30 ve süreklilik kriterinin 0.10 , ürün durumu kriterinin 0.50 , görünürlük kriterinin 0.40 olduğu iki durum diğer ağırlıklara göre daha çok tercih edilebilir olmaktadır. Karar vericiler kriterler için ilgili ağırlıkları belirlerken ürün durumu kriterinin daha yüksek ve süreklilik kriterinin daha düşük öneme sahip olduğu durumlarda ilgili metrik daha iyi sonuçlar vermektedir.

SM metriği kapsamında pareto optimal çözümlerin çözüm uzayındaki dağılımları hesaplanmıştır. Metrik ne kadar düşük olursa algoritmanın performansı da o kadar iyi olmaktadır. Bu durumda TOPSIS ağırlıkları süreklilik kriterinin 0.10 , ürün durumu kriterinin 0.40 , görünürlük kriterinin 0.50 ve süreklilik kriterinin 0.30 , ürün durumu kriterinin 0.30 , görünürlük kriterinin 0.40 olduğu iki durum diğer ağırlıklara göre daha çok tercih edilebilir konumdadır. SM metriğinin ağırlıklar bazında verdiği değerleri gösteren grafik incelendiğinde, ürün durumu ve görünürlük kriterlerinin daha yüksek öneme sahip olduğu durumlarda metriğin daha iyi sonuçlar verdiği yorumlanabilmektedir.

DM metriği problem kapsamındaki pareto optimal çözümlerinin çeşitliliği ile ilgili bilgi vermektedir. Metrik büyüdükçe çözümler çeşitlenmekte ve algoritmanın performansı daha verimli hale gelmektedir. Bu kapsamda TOPSIS ağırlıkları süreklilik kriterinin 0.30 , ürün durumu kriterinin 0.10 , görünürlük kriterinin 0.60 ve süreklilik kriterinin 0.30 , ürün durumu kriterinin 0.50 , görünürlük kriterinin 0.20 olduğu iki durum diğer ağırlıklara göre daha çok

tercih edilebilir durumdadır. DM metriğinin genel olarak grafiğine bakıldığında, ürün durumu kriterinin daha az önemli olduğu durumlarda ilgili metriğin daha yüksek değerler aldığı ve daha çok tercih edilebilir olduğu görülmektedir.

Son olarak hesaplanan NPF metriği, problemde pareto cephesinin tekdüzeliğini hesaplamaktadır. Pareto cephesinin düzensizliğinin düşük olması, tekdüzeliği arttırmakta ve dolayısıyla çözüm yönteminin daha fazla tercih edilir olmasını sağlamaktadır. Bu durumda NPF grafiği incelendiğinde, karar vericiler tarafından süreklilik ve ürün durumu kriterlerinin daha önemli olması durumunda ilgili metriğin daha yüksek değer aldığı ve daha tercih edilebilir sonuçlar verdiği görülebilmektedir. Her bir metrik için elde edilen en iyi sonuçlar için hangi kriterlerin ne değerler alması gerektiği tablo ve grafiklerde sunulmuştur. Bu sonuçlara bakılarak hangi ağırlıkların daha iyi sonuç verdikleri analiz edilebilmektedir.

Kriterlerin 36 farklı ağırlıkta aldığı değerler tablo ve grafik olarak çalışmada paylaşılmıştır. Sonuç olarak karar verici durumundaki firma çalışanları, firma için önemli olan kriterleri ve ağırlıkları belirledikten sonra ilgili üretim planını elde edebileceklerdir. Genel olarak kriterlerin aldıkları değerlere göre çıkan sonuçlar incelendiğinde süreklilik ve ürün durumu kriterlerinin daha yüksek değer almasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu sayede çalışılan gün sayısının en aza indirilmesinin yanında ilgili ürünlerin de stokta kalma riskleri en aza indirilerek kapasite planlama çalışmasının yapılabileceği görülmüştür. Bu aşamada firma çalışanları firmanın menfaatleri doğrultusunda ağırlık seçimi yapabileceklerdir.

Elde edilen bu sonuçlara ek olarak her bir TOPSIS ağırlığından elde edilen çözüm kümesindeki pareto optimal çözümlerin kendi aralarındaki baskınlıkları kontrol edilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu hesaplanan 139 pareto optimal çözümden 9 tanesinin de kendi aralarında pareto çözümler olduğu ortaya çıkmıştır. Çözüm kümesinden elde edilen bu sonuçlar TOPSIS ağırlıkları ile birlikte Tablo.14'te paylaşılmıştır.

Tablo 14 – Pareto Optimal Çözümler

Süreklilik	Ürün Durumu	Görünürlük	1. Amaç Fonksiyonu	2. Amaç Fonksiyonu
0.10	0.30	0.60	13446	199
0.10	0.80	0.10	21357	247
0.10	0.80	0.10	17574	246
0.10	0.80	0.10	14897	244
0.20	0.70	0.10	14348	241
0.20	0.70	0.10	13481	205
0.20	0.50	0.30	13730	239
0.20	0.10	0.70	13506	236
0.30	0.50	0.20	13483	233

Hesaplanan sonuçlar doğrultusunda bazı ağırlık değerlerinin diğerlerine göre hem metrikler bazında hem de genel bir pareto analizi yapıldığında daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu durumda karar verici durumundaki firma çalışanları hem amaç fonksiyonları hem de TOPSIS kriterleri bazında hangi ağırlıklar şirket politikasına daha uygun ise ona göre seçerek ilgili model sonuçlarını elde edebileceklerdir. Bu sayede en iyi ürün-hat eşleşmesi elde edilecek ve bölünmesi gereken ürünler parti şeklinde üretilebilecektir. Buna ek olarak firmada bu çalışmanın yapılmasının mühendislerin bir haftadan fazla süresini aldığı bilinmektedir. Bu şekilde aynı çalışma için, gerekli parametreler ayarlandıktan sonra, dakikalar içinde sonuç alınabilecektir ve zaman açısından büyük bir iyileştirme sağlanacaktır.

6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Kapasite planlama firmaların rekabetinde büyük bir öneme sahiptir. Firmalar kapasite planlamalarını ne kadar doğru yapabilirse diğer firmalarla rekabette o kadar öne çıkabilmektedirler. Bu çalışma kapsamında rulman üretimi yapılan bir firmada orta dönem kapasite planlama çalışması yapılmıştır. Firmada mevcut durumda kapasite planlama çalışması program yardımıyla manuel olarak yapılmaktadır. Bu durumda yapılan kapasite planlama, mühendisin deneyimine bağlı olarak değişiklik göstermektedir ve en iyi sonucun elde edilip edilemediği bilinmemektedir. Ayrıca program ile yapılan bu çalışma mühendislerin yaklaşık bir haftalık süresini almaktadır. Bu sebeple yapılan kapasite planlama çalışmaları bir yılda iki defadan fazla yapılamamaktadır.

Çalışma kapsamında orta dönem kapasite planlama problemi doğrusal programlama yaklaşımıyla çözülmüştür. Gerçek hayatın doğası gereği aynı anda birbiriyle çelişen birden çok amaç olabileceği göz önünde bulundurularak, çalışmada çok amaçlı bir programlama yapılmıştır. Birinci amaç fonksiyonu üretim için gereken toplam çalışılacak gün sayısını enküçüklerken , ikinci amaç fonksiyonu ise müşterilerin güvenilirlikleri, ürünlerin gelecekteki üretim öngörülebilirlikleri ve üretilecek ürünlerin standart ve özel olmasına göre üretim planlarını belirlemek için kullanılmıştır.

Çalışmada her bir ürün için farklı kriter puanları belirlenmiş ve ürünlerin özellikleri değerlendirilerek elde atıl olarak kalmasının engellenmesi hedeflenmiştir. Böylelikle kriter puanı yüksek olan ürünlerin üretimi az sayıda partiler halinde üretilecek, ürünün talep edilmemesi durumunda stokta kalması engellenebilecektir. Ancak talep durumu belirli ve kriter puanı düşük olan ürünler tek seferde üretilerek talep karşılanacak ve öte yandan hazırlık süresi ve toplam gün sayısı enküçüklenilebilecektir. Bu amaç sayesinde sadece üretim

ve hazırlık maliyetleri değerlendirmemiş olacak ve ayrıca ürünlerin riskli olmalarından kaynaklanacak maliyetlerinde önüne geçilmiş olunacaktır.

Çalışmada genel kapasite planlama kısıtlarına ek olarak bazı kısıtlar belirlenmiş ve matematiksel model çok amaçlı olarak oluşturulmuştur. Belirlenen performans kriterleri TOPSIS metoduyla çeşitli ağırlıklar bazında ve amaç fonksiyonları da kendi aralarında ağırlıklandırılarak modelin 684 defa çalıştırılması gerçekleştirilmiştir. Modelin çözdürülmesi sonucunda pareto optimal çözümler elde edilmiş ve bu çözümler pareto çözüm oranı, ortalama ideal uzaklık, aralık, çeşitlendirme ve pareto cephesinin tekdüzeliği olmak üzere beş farklı metrik ile performansları açısından değerlendirilmiştir. Her bir kriter için hangi TOPSIS aralığındaki değerlerin en iyi sonuçları verdiği analiz edilmiştir. Bu aşamadan sonra firmadaki mühendisler firmanın menfaatlerine ve prensiplerine en uygun olan ağırlıkları seçerek kapasite planlama kapsamında sonuçları elde edebileceklerdir.

Yapılan değerlendirmeler doğrultusunda bazı ağırlıkların diğerlerine göre hem metrikler bazında hem de genel bir pareto analizi yapıldığında daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu durumda karar verici durumunda olan firma çalışanları hem amaç fonksiyonları hem de TOPSIS kriterleri bazında hangi ağırlıklar şirket politikasına daha uygun ise ona göre seçerek ilgili model sonuçlarını elde edebileceklerdir. Bu sayede en iyi ürün-hat eşleşmesi elde edilecek ve bölünerek üretilmesi stokta kalma riskini azaltacak olan ürünler parti halinde üretilebilecektir. Buna ek olarak firmada kapasite planlama çalışmasının yapılma süresi mühendislerin bir haftadan fazla zamanını aldığı bilinmektedir. Bu şekilde aynı çalışma için, gerekli parametreler ayarlandıktan sonra, dakikalar içinde sonuç alınabilecektir ve zaman açısından büyük bir iyileştirme sağlanmış olacaktır.

Gelecek çalışmalarda, çalışmadaki problemin geliştirilmesi kapsamında mevcut durumda kurulmuş olan modele maliyet, karlılık gibi ek amaç fonksiyonları eklenebilir ve modelin

vereceği sonuçlar değeriendirilebilir. Buna ek olarak, belirlenen performans kriterleri genişletilebilir ve doğrusal programlamanın yetersiz kaldığı düşünölen bir durumla karşı karşıya kalınırsa sezgisel yöntemlerden destek alınarak kapasite planlama problemi çözdürölebilir.



KAYNAKLAR

- [1] A. Karakaş, *Modern İşletme Bilimi*, Ekin Yayınevi, Bursa, 2019.
- [2] M.P. Groover, *Automation, Production Systems and Computer Integrated Manufacturing*, Prentice-Hall International Editions, 808 s., 1987.
- [3] A. Gülerman, *Mühendislik Ekonomisi Ve İşletme Yönetimi*, İzmir, Ege Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Yayınları No: 4, 1976.
- [4] H. Özgen, A. Öztürk, A. Yalçın, *Temel İşletmecilik Bilgileri*, 2. Baskı, Adana, Nobel Kitabevi, 2005, s.194.
- [5] N. Kurgan, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Üretim Yönetimi ve Organizasyon Ders Notları.
- [6] S. Üreten, *Üretim İşlemler Yönetimi Stratejik Kararlar ve Karar Modelleri*, 1. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara, 1997.
- [7] Z.A. Bulut , *İşletmeler Açısından Kapasite Planlaması Ve Kapasite Planlamasına Etki Eden Faktörler*, 2004.
- [8] M. Tanyaş, M. Baskak, *Üretim Planlama ve Kontrol*, İrfan Yayıncılık, 7. Baskı, İstanbul, 2017.
- [9] J.W. Toomey, *MRP II: Planning for Manufacturing Excellence*, Chapman & Hall Basımevi, 1996.
- [10] D.W. Fogarty, *Production & Inventory Management*, 1991.
- [11] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, *Giyim Üretim Teknolojisi*, Ankara, 2015.
- [12] K. Şimşek Alan, “Doğrusal Tamsayılı Programlama Problemlerinin Çözümü İçin Yeni Alternatif Bir Algoritma,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 29, pp. 93-98, 2021.
- [13] S.I. Gass, *Linear Programming*, McGraw-Hill, New York, 1982.

- [14] A.H. Taha, *Yöneylem Araştırması*, 6. Basımdan Çeviri, Çev. Ş. Alp Baray – Şakir Esnaf, İstanbul, 900s., 2007.
- [15] M. Büyükkeklik, “Üretim Planlama Problemlerinde Doğrusal Programlama Modellerinin Kullanımı: Bir Üretim İşletmesinde Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Niğde, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* , vol.35, pp. 271-300, 2007.
- [16] E.A. Youness, “A direct approach for finding all efficient solutions for multiobjective programming problems”, *European journal of operation research*, vol. 81, no. 2, pp. 440-444, 1995, doi: 10.1016/0377-2217(93)E0360-A.
- [17] A. Öztürk, “Yöneylem Araştırması,” Genişletilmiş 11. Baskı, Ekin kitabevi, Bursa, 877s., 2007.
- [18] U. Özcan, B. Toklu, “Multiple-criteria decision-making in two-sided assembly line balancing: A goal programming and a fuzzy goal programming models,” *Computers ve Operations Research*, 36, pp. 1955-1965, 2009, doi: 10.1016/j.cor.2008.06.009.
- [19] M. Atlas, “Çok Amaçlı Programlama Çözüm Tekniklerinin Sınıflandırılması”, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 8 , no. 1, pp. 47–68, 2008.
- [20] S. Kaya, N. Fırlalı, “Çok Amaçlı Optimizasyon Problemlerinde Pareto Optimal Kullanımı,” *Social Sciences Research Journal*, 2016.
- [21] E.B. Tirkolaee, A. Goli, A. Faridnia, M. Soltani, G. Weber, “Multi-objective optimization for the reliable pollution-routing problem with cross-dock selection using Pareto-based algorithms,” *Journal of Cleaner Production*, 276, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122927.
- [22] R. Alinezhad, R. Ansari, M. Mahdikhani, S.A. Banihashemi, “Multi-phase Projects Selection and Scheduling Problem: A Multi-objective Optimization Approach,” *Iranian Journal of Science and Technology*, 2021, doi: 10.1007/s40996-021-00721-9.

- [23] D. Tavaghhof-Gigloo, S. Minner, L. Sibelmayr, “Mixed integer linear programming formulation for flexibility instruments in capacity planning problems”, *Computers Industrial Engineering*, pp. 101-110, 2016, doi: 10.1016/j.cie.2016.04.013.
- [24] C. Chen, S. Mestry, P. Damodaran, C. Wang, “The Capacity Planning Problem in Make-To-Order Enterprises”, *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 50, pp. 1461-1473, 2009, doi: 10.1016/j.mcm.2009.07.010.
- [25] M.A. Huka, W. Grenzfurtnr, B. Zauner, M. Gronalt, “Capacity planning of a mixed-model assembly line for prefabricated housebuilding elements”, *Procedia Computer Science* vol. 280, pp. 706-713, 2021, doi: 10.1016/j.procs.2021.01.293.
- [26] R. Ojstersek, B. Buchmeister, “Simulation Based Resource Capacity Planning With Constraints”, *International Journal of Simulation Modelling* , vol. 4, pp. 672-683, 2021, doi: 10.2507/IJSIMM20-4-578.
- [27] N. Ekmekçi, “Sanayi İşletmelerinde Üretim Planlaması Ve Doğrusal Programlama İle Bir Sanayi İşletmesinde Optimizasyon Uygulaması”, Selçuk Üniversitesi, Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, 2015.
- [28] M. Deste, M. Karabulut, “Doğrusal Programlama Tekniğiyle Üretim Planlama Yaklaşımı Ve Tekstil Sektöründe Bir Uygulama”, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 26, no. 3, pp. 247-258, 2021.
- [29] A. Çetindere, Ş. Sevim, C. Duran, “Üretim Planlama Problemlerinde Doğrusal Programlama Tekniğinin Kullanımı Bir Konfeksiyon İşletmesinde Uygulama” , *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 35, pp. 271-300, 2010.
- [30] E.N. Demircioğlu, M. Demircioğlu, “Üretim Satın Alma Kararlarında Faaliyete Dayalı Maliyet Sistemi ve Kısıtlar Teorisi: Doğrusal Programlama ile Örnek Uygulama” , *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, vol. 13, no.33 , pp. 316-333, 2016.

- [31] H. Kara, H. Savaş, “Doğrusal Programlama Metoduyla Diyarbakır İli Gıda Sektöründe Bir Üretim Planlama Uygulaması”, *Electronic Turkish Studies*, vol. 10, no.2, 2015.
- [32] E. C. Özcan and S. Erol , "TÜRKİYE’DE ELEKTRİK ÜRETİM PLANLAMASI İÇİN ÇOK AMAÇLI BİR KARIŞIK TAM SAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ", *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 41-54, Mar. 2013.
- [33] S. Liu, L.G. Papageorgiou, “Multiobjective optimisation of production, distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry”, *Omega*, vol. 41, pp. 369-382, 2013, doi: 10.1016/j.omega.2012.03.007.
- [34] E. Mhiri, M. Jacomino, F. Mangione, P. Vialletelle, G. Lepelletier, “Finite capacity planning algorithm for semiconductor industry considering lots priority” *IFAC-PapersOnLine* vol. 48, no. 3, pp. 1598-1603, 2015, doi: 10.1016/j.ifacol.2015.06.314.
- [35] L.A. Kazakovtsev, M.N. Gudyma, A.N. Antamoshkin, "Genetic algorithm with greedy heuristic for capacity planning," *6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*, St. Petersburg, Russia, pp. 607-613, 2014, doi: 10.1109/ICUMT.2014.7002170.
- [36] J.C. Chen, K.H. Chen, C.H. Lin, C.W. Chen, C.L. Yang, “A Study Of A Heuristic Capacity Planning Algorithm For Weapon Production System”, *International Journal of Electronic Business Management*, Hschinchu, vol.9, no.1, pp. 46-57, 2011.
- [37] Y. Iwata, K. Tajii, H. Tamura, “Multi-objective capacity planning for agile semiconductor manufacturing,” *Production Planning & Control*, vol.14, no.3, pp. 244-254, 2003, doi: 10.1080/09537280310000102586.
- [38] S. Khalili, M.M. Khah, “A New Queuing-Based Mathematical Model for Hotel Capacity Planning: A Genetic Algorithm Solution,” *Journal of Applied Research on*

Industrial Engineering, vol.7, no.3, pp. 203–220, 2020, doi:
10.22105/jarie.2020.229872.1163.



EKLER

EK-1: Rulman Talep Miktarları

PARÇA TANIMI	TALEP
Ürün 1	610000
Ürün 10	240000
Ürün 11	0
Ürün 12	200000
Ürün 13	1270000
Ürün 14	2170000
Ürün 15	5450000
Ürün 16	3510000
Ürün 17	6360000
Ürün 18	4210000
Ürün 19	1000000
Ürün 2	790000
Ürün 20	1250000
Ürün 21	570000
Ürün 22	390000
Ürün 23	0
Ürün 24	250000
Ürün 25	1380000
Ürün 26	320000
Ürün 27	2910000
Ürün 28	3130000
Ürün 29	450000
Ürün 3	560000
Ürün 30	720000
Ürün 31	420000
Ürün 32	78000
Ürün 33	510000
Ürün 34	130000
Ürün 35	0
Ürün 36	190000

Ürün 37	440000
Ürün 38	190000
Ürün 39	190000
Ürün 4	420000
Ürün 40	370000
Ürün 41	5290000
Ürün 42	0
Ürün 43	260000
Ürün 44	34000
Ürün 45	0
Ürün 46	0
Ürün 47	0
Ürün 48	0
Ürün 49	50000
Ürün 5	1190000
Ürün 50	0
Ürün 51	750
Ürün 52	3000
Ürün 53	221000
Ürün 54	73000
Ürün 55	0
Ürün 56	410000
Ürün 57	270000
Ürün 58	16000
Ürün 59	410000
Ürün 6	380000
Ürün 60	2150000
Ürün 61	23000
Ürün 62	64000
Ürün 63	2410000
Ürün 64	910000
Ürün 65	0
Ürün 66	1320000
Ürün 67	660000

Ürün 68	340000
Ürün 69	34000
Ürün 7	1400000
Ürün 70	31000
Ürün 71	940000
Ürün 72	0
Ürün 8	530000
Ürün 9	410000
Genel Toplam	60507750



EK-2: Örnek Ürün – Hat Eşleşmesi

HAT NO	PARÇA TANIMI
1	Ürün 15
	Ürün 51
2	Ürün 60
	Ürün 62
	Ürün 4
	Ürün 44
	Ürün 49
3	Ürün 7
	Ürün 45
	Ürün 47
4	Ürün 48
	Ürün 9
	Ürün 19
	Ürün 53
	Ürün 20
	Ürün 21
	Ürün 29
	Ürün 30
	Ürün 31
	Ürün 54
5	Ürün 57
	Ürün 60
6	Ürün 63
	Ürün 6
	Ürün 41
6	Ürün 42

EK-3: Örnek TOPSIS Kriter Puanları Tablosu

Parça Tanımı	Kriter Puanı
Ürün 1	0.2280
Ürün 2	0.7556
Ürün 3	0.8098
Ürün 4	0.7391
Ürün 5	0.8098
Ürün 6	0.7043
Ürün 7	0.2280
Ürün 8	0.8554
Ürün 9	0.8098
Ürün 10	0.5761
Ürün 11	0.7570
Ürün 12	0.8448
Ürün 13	0.7391
Ürün 14	0.5636
Ürün 15	0.0000
Ürün 16	0.2840
Ürün 17	0.2840
Ürün 18	0.0000
Ürün 19	0.6273
Ürün 20	0.7043
Ürün 21	0.5761
Ürün 22	0.8540
Ürün 23	0.7499
Ürün 24	0.5761
Ürün 25	0.0000
Ürün 26	0.5314
Ürün 27	0.0000
Ürün 28	0.0000
Ürün 29	0.0000
Ürün 30	0.0569
Ürün 31	0.8448
Ürün 32	0.7069
Ürün 33	0.1124
Ürün 34	0.1124
Ürün 35	0.1124
Ürün 36	0.1124
Ürün 37	0.1124
Ürün 38	0.8728
Ürün 39	0.8448
Ürün 40	0.5081
Ürün 41	0.1124

Ürün 42	1.0000
Ürün 43	0.1124
Ürün 44	0.6152
Ürün 45	0.7915
Ürün 46	0.9208
Ürün 47	0.6189
Ürün 48	0.4249
Ürün 49	0.8952
Ürün 50	0.6189
Ürün 51	0.9600
Ürün 52	0.8448
Ürün 53	0.8126
Ürün 54	0.3497
Ürün 55	0.2465
Ürün 56	0.6414
Ürün 57	0.7649
Ürün 58	0.7771
Ürün 59	0.6414
Ürün 60	0.1779
Ürün 61	0.1500
Ürün 62	0.1249
Ürün 63	0.2041
Ürün 64	0.1500
Ürün 65	0.7771
Ürün 66	0.1124
Ürün 67	0.1124
Ürün 68	0.1124
Ürün 69	0.1124
Ürün 70	0.1124
Ürün 71	0.1124
Ürün 72	0.1124

EK-4: Örnek Model Sonuçları

Ürün No	Hat No	Üretim Miktarı
1	22	610000
2	22	790000
3	35	560000
4	2	420000
5	9	1190000
6	6	380000
7	3	1400000
8	7	321370
8	36	208630
9	7	410000
10	7	240000
12	22	200000
13	8	1270000
14	13	849325
14	14	1320675
15	1	2745100
15	17	2704900
16	35	328193
16	37	3181807
17	9	636179
17	12	2745087
17	34	2978734
18	11	1712637
18	25	2497363
19	14	1000000
20	36	1250000
21	18	570000
22	18	390000
24	24	250000
25	24	1380000
26	7	320000
27	19	2069177
27	26	751627
27	39	89196
28	16	761294
28	27	181677
28	39	2187029
29	36	450000
30	4	367921
30	18	352079
31	4	420000

32	27	78000
33	27	510000
34	11	130000
36	27	190000
37	23	440000
38	8	190000
39	8	190000
40	8	370000
41	6	1978646
41	20	2522512
41	28	788842
43	30	260000
44	2	34000
49	2	50000
51	15	750
52	35	3000
53	7	221000
54	4	73000
56	26	410000
57	4	270000
58	8	16000
59	26	410000
60	2	1800755
60	5	349245
61	32	23000
62	32	64000
63	5	2410000
64	32	910000
66	40	1320000
67	31	660000
68	31	340000
69	31	34000
70	31	31000
71	38	940000

EK-5: Pareto Optimal Sonuçlar

Sürekliлик	Ürün Durumu	Görünürlük	1. Amaç Fonksiyonu	2. Amaç Fonksiyonu
0.80	0.10	0.10	14841	197
0.80	0.10	0.10	13604	167
0.80	0.10	0.10	14916	215
0.80	0.10	0.10	16030	216
0.80	0.10	0.10	19313	217
0.70	0.20	0.10	15469	158
0.70	0.20	0.10	16144	165
0.70	0.20	0.10	16404	213
0.70	0.20	0.10	18649	218
0.70	0.20	0.10	25019	220
0.60	0.20	0.20	13701	215
0.60	0.20	0.20	19064	218
0.60	0.20	0.20	14962	217
0.60	0.20	0.20	22161	219
0.60	0.20	0.20	25873	221
0.60	0.30	0.10	20610	216
0.60	0.30	0.10	15610	200
0.60	0.30	0.10	21622	221
0.60	0.30	0.10	15948	214
0.50	0.30	0.20	16031	217
0.50	0.30	0.20	13734	210
0.50	0.30	0.20	18310	220
0.50	0.30	0.20	19681	221
0.50	0.40	0.10	14675	220
0.50	0.40	0.10	21543	221
0.50	0.40	0.10	13864	219
0.50	0.40	0.10	23982	223
0.40	0.40	0.20	19162	217
0.40	0.40	0.20	16202	191
0.40	0.40	0.20	20422	219
0.40	0.30	0.30	16203	172
0.40	0.30	0.30	17109	221
0.10	0.40	0.50	17801	228
0.10	0.40	0.50	13883	227
0.10	0.40	0.50	17888	231
0.10	0.30	0.60	20863	227
0.10	0.30	0.60	13446	199
0.10	0.30	0.60	15323	226
0.10	0.30	0.60	14077	216
0.10	0.30	0.60	23411	229
0.10	0.20	0.70	13702	193

0.10	0.20	0.70	16070	224
0.10	0.20	0.70	19047	228
0.10	0.20	0.70	16523	227
0.10	0.10	0.80	13466	174
0.10	0.10	0.80	14934	223
0.10	0.10	0.80	19877	226
0.10	0.50	0.40	18372	232
0.10	0.50	0.40	14186	225
0.10	0.50	0.40	14342	226
0.10	0.50	0.40	18398	234
0.10	0.60	0.30	16322	232
0.10	0.60	0.30	17227	234
0.10	0.60	0.30	18766	235
0.10	0.60	0.30	21953	236
0.10	0.70	0.20	18775	236
0.10	0.70	0.20	15205	229
0.10	0.70	0.20	18800	238
0.10	0.70	0.20	21645	239
0.10	0.80	0.10	17574	246
0.10	0.80	0.10	21357	247
0.10	0.80	0.10	14897	244
0.20	0.40	0.40	15429	223
0.20	0.40	0.40	18187	225
0.20	0.40	0.40	28487	226
0.20	0.30	0.50	13761	179
0.20	0.30	0.50	18708	216
0.20	0.30	0.50	15018	213
0.20	0.30	0.50	19305	223
0.20	0.30	0.50	20896	224
0.20	0.20	0.60	14504	212
0.20	0.20	0.60	16752	225
0.20	0.70	0.10	13924	239
0.20	0.70	0.10	14348	241
0.20	0.70	0.10	13481	205
0.20	0.70	0.10	19378	243
0.20	0.70	0.10	15463	242
0.20	0.50	0.30	13730	239
0.20	0.50	0.30	15267	240
0.20	0.50	0.30	18010	242
0.20	0.50	0.30	13610	233
0.20	0.60	0.20	13455	197
0.20	0.60	0.20	14863	198
0.20	0.60	0.20	16863	241
0.20	0.60	0.20	17211	242

0.20	0.60	0.20	20982	243
0.20	0.10	0.70	13506	236
0.20	0.10	0.70	20429	240
0.20	0.10	0.70	17425	239
0.30	0.30	0.40	15843	199
0.30	0.30	0.40	18101	237
0.30	0.30	0.40	15966	236
0.30	0.50	0.20	13483	233
0.30	0.50	0.20	15133	235
0.30	0.50	0.20	17874	237
0.30	0.50	0.20	26728	239
0.30	0.50	0.20	17210	236
0.30	0.50	0.20	29623	241
0.30	0.60	0.10	14710	227
0.30	0.60	0.10	16413	233
0.30	0.60	0.10	20500	236
0.30	0.60	0.10	27110	237
0.30	0.40	0.30	13645	208
0.30	0.40	0.30	14119	238
0.30	0.40	0.30	18225	239
0.30	0.20	0.50	16546	234
0.30	0.20	0.50	18500	237
0.30	0.10	0.60	18490	234
0.30	0.10	0.60	13978	232
0.30	0.10	0.60	22708	235
0.30	0.10	0.60	31501	236
0.40	0.20	0.40	18082	233
0.40	0.20	0.40	14581	205
0.40	0.20	0.40	15072	215
0.40	0.20	0.40	17342	232
0.40	0.20	0.40	19186	234
0.40	0.20	0.40	20993	235
0.40	0.50	0.10	13740	173
0.40	0.50	0.10	14814	228
0.40	0.50	0.10	20811	231
0.40	0.50	0.10	16244	229
0.40	0.10	0.50	17498	198
0.40	0.10	0.50	18789	233
0.40	0.10	0.50	18009	231
0.40	0.10	0.50	20883	235
0.50	0.20	0.30	18470	224
0.50	0.20	0.30	18827	226
0.50	0.20	0.30	20678	227
0.50	0.10	0.40	14920	202

0.50	0.10	0.40	16750	219
0.50	0.10	0.40	18964	226
0.60	0.10	0.30	14163	219
0.60	0.10	0.30	18543	224
0.60	0.10	0.30	22985	227
0.60	0.10	0.30	19507	225
0.70	0.10	0.20	30142	224
0.70	0.10	0.20	17285	220
0.70	0.10	0.20	15232	217
0.70	0.10	0.20	19204	223

