



**TÜRKİYE ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE OPTİMAL DAĞILIM  
ULAŞTIRMA PROBLEMİNİN BULANIK DOĞRUSAL  
PROGRAMLAMA İLE ÇİMENTO FABRİKALARINA  
UYGULANMASI**

**Levent ÜNALAN**

**2021  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İŞLETME**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr.Rehile ASKERBEYLİ**

**TÜRKİYE ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE OPTİMAL DAĞILIM  
ULAŞTIRMA PROBLEMİNİN BULANIK DOĞRUSAL  
PROGRAMLAMA İLE ÇİMENTO FABRİKALARINA  
UYGULANMASI**

**Levent ÜNALAN**

**T.C.**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**İşletme Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı**

**Doç. Dr.Rehile ASKERBEYLİ**

**KARABÜK**

**Şubat 2021**

# İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER .....	1
DOĞRULUK BEYANI .....	5
ÖNSÖZ .....	6
ÖZ.....	7
ABSTRACT.....	8
ARŞİV KAYIT BİLGİLERİ.....	9
ARCHIVE RECORD INFORMATION .....	10
KISALTMALAR .....	11
ARAŞTIRMANIN KONUSU .....	12
ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ.....	12
ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ.....	12
ARAŞTIRMA HİPOTEZLERİ / PROBLEM .....	12
EVREN VE ÖRNEKLEM (VARSA).....	13
KAPSAM VE SINIRLILIKLAR/KARŞILAŞILAN GÜÇLÜKLER .....	13
BİRİNCİ BÖLÜM .....	14
1.1. Çimento'nun Tanımı.....	14
1.2. Çimento'nun Tarihçesi .....	14
1.3. Çimento'nun Hammaddeleri.....	16
1.4. Kalker .....	16
1.5. Kil.....	17
1.6. Marn .....	18
1.7. Çimento Çeşitleri.....	19
1.8. Portland Çimentolar CEM I.....	19
1.9. Portland Kompoze Çimentolar CEM II.....	19
1.10. Yüksek Fırın Cürüflu Çimento .....	19
1.11. Pozzolanik Çimento .....	20
1.12. Kompoze Çimento.....	20
1.13. Çimento Üretim Aşamaları.....	20
1.13.1. Hammadde Hazırlama.....	20

1.13.2.	Farin Öğütme .....	21
1.13.3.	Piştirme.....	21
1.13.4.	Çimento Üretimi.....	21
1.13.5.	Paketleme .....	21
1.14.	Çimento Kullanım Alanları .....	22
1.15.	Dünya’da Çimento Sektörü .....	22
1.16.	Türkiye’de Çimento Sektörü .....	23
<b>İKİNCİ BÖLÜM.....</b>		<b>34</b>
2.	<b>ULAŞTIRMA MODELLERİ .....</b>	<b>34</b>
2.1.	Ulaştırma Modelinin Tanımı ve Tarihçesi .....	34
2.2.	Ulaştırma Modelinin Matematiksel Gösterimi .....	35
2.3.	Ulaştırma Modelinin Çözüm Tekniğı .....	37
2.4.	Ulaştırma Modelinin Çözüm Aşamaları .....	41
2.5.	Ulaştırma Modelinin Başlangıç Çözüm Yöntemleri .....	42
2.6.	Kuzeybatı Köşe Çözüm Yöntemi .....	42
2.7.	En Az Maliyetli Hücreler Yöntemi .....	43
2.7.1.	Satır Yaklaşımı.....	43
2.7.2.	Sütun Yaklaşımı.....	43
2.7.3.	Genel Yaklaşım .....	43
2.8.	Vogel Yaklaşımı (VAM).....	43
2.9.	Russell Yaklaşımı (RAM) .....	44
2.10.	Ulaştırma Modelinin Optimal Çözüm Yöntemi.....	45
2.11.	Atlama Taşı Yöntemi.....	45
2.12.	MODI Yöntemi .....	46
<b>ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....</b>		<b>49</b>
3.	<b>BULANIK MANTIK .....</b>	<b>49</b>
3.1.	Bulanık Mantığın Tanımı ve Tarihçesi.....	49
3.2.	Bulanık Mantığın Temel İlkeleri.....	50
3.3.	Bulanık Küme .....	51
3.4.	Üyelik Fonksiyonları .....	51
3.5.	Bulanık Sayılar .....	53
3.6.	Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemler .....	53
3.7.	Bulanık Mantığın Avantajları ve Dezavantajları.....	53

3.8.	Bulanık Ortamda Karar Verme.....	54
3.9.	Bulanık Karar ve Optimal Karar .....	54
3.10.	Bulanık Doğrusal Programlama Modeli ve Uygulama Alanları .....	55
3.11.	Bulanık Doğrusal Programlama Modelleri.....	55
3.11.1.	Zimmermann Yaklaşımı.....	55
3.11.2.	Werners Yaklaşımı.....	57
3.11.3.	Diğer Yaklaşımlar .....	58
<b>DÖRDÜNCÜ BÖLÜM.....</b>		<b>60</b>
4.	<b>Türkiye Çimento Sektörü Ulaştırma Problemine Bulanık Doğrusal Programlama Uygulaması.....</b>	<b>60</b>
4.1.	Türkiye Çimento Sektörü için Ulaştırma Probleminin Matematiksel İfadesi.....	60
4.2.	Türkiye Çimento Sektörüne Bulanık Doğrusal Programlama Modelinin Kurulması .....	61
4.3.	Problemin Werners Yöntemi ile Çözülmesi.....	64
Kaynakça .....		79
TABLOLAR LİSTESİ .....		83
ŞEKİLLER LİSTESİ .....		84
GRAFİK LİSTESİ.....		85
EKLER .....		86
ÖZGEÇMİŞ .....		90

## TEZ ONAY SAYFASI

Levent ÜNALAN tarafından hazırlanan “TÜRKİYE ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE OPTİMAL DAĞILIM ULAŞTIRMA PROBLEMİNİN BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE ÇİMENTO FABRİKALARINA UYGULANMASI ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Rehile ASKERBEYLİ .....

Tez Danışmanı, İşletme Anabilim Dalı

### Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

### İmzası

Başkan : Doç.Dr.Mehmet Serdar GÜZEL(A.Ü) .....

Üye : Doç.Dr.Rehile ASKERBEYLİ(KBÜ) .....

Üye : Doç.Dr.Hüseyin KARAMELİKLİ(KBÜ) .....

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İşletme Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 12/02/2021

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Programı Seçin derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ .....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

## **DOĞRULUK BEYANI**

Yüksek lisans/Doktora tezi olarak sunduğum bu çalışmayı bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı herhangi bir yola tevessül etmeden yazdığımı, araştırmamı yaparken hangi tür alıntılarım intihal kusuru sayılacağını bildiğimi, intihal kusuru sayılabilecek herhangi bir bölüme araştırmamda yer vermediğimi, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserlere metin içerisinde uygun şekilde atıf yapıldığını beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak ahlaki ve hukuki tüm sonuçlara katlanmayı kabul ederim.

**Adı Soyadı:** Levent ÜNALAN

**İmza** :

## ÖNSÖZ

Günümüz üreticileri yoğun rekabet ortamı içerisinde kar maksimizasyonu güdüsü ile yola çıkmaktadır. Kar maksimizasyonunu önemli derece etkileyen maliyetlerden bir tanesi de “Ulaştırma Maliyeti” dir. Üreticiler ulaşım maliyetlerini kontrol edebilmeleri için optimal bir dağıtım planına gereksinim duyar. Bu amaç doğrultusunda ulaştırma maliyetlerinin yüksek olduğu çimento sektörü bu tezde ele alınmış ve Türkiye’nin 7 ayrı bölgesinden örneklemeler oluşturularak bulanık doğrusal programlama modeli ile belirsizliğin hâkim olduğu ortamda en iyi çözüm için çalışılmıştır.

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinden sonlandırıldığı ana kadar fikirlerini, bilgi ve birikimlerini zaman kavramı olmadan yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Rehile ASKERBEYLİ ye saygı ve teşekkürlerimi sunarım

Destekleri ile bana güç veren sabrı ve hoşgörülerini ile her zaman yanımda olan annem Suzan ÜNALAN’ a, babam Cavit ÜNALAN’ a ve ağabeyim Bülent ÜNALAN’ a sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca bu dönemde teze başlamamdan bitirmeme kadar her aşamada yanımda olan desteğini esirgemeyen beni motive eden sevgili arkadaşım Arzu ÜNLÜ’ ye çok teşekkür ederim.



## ÖZ

Ulaştırma Maliyetleri, en önemli maliyet kalemlerinden bir tanesidir. Kâra katkı sağlaması amacıyla yola çıkılan bu tezde Türkiye 7 ayrı bölge üzerinden incelenmiş ve Bulanık Doğrusal Programlama Modeli çerçevesinde Werners Yaklaşımı kullanılarak en iyi çözüm ve dağıtım planını bulmak hedeflenmiştir.

Tez çalışmasının birinci bölümünde Dünya ve Türkiye Çimento Sektörü hakkında mevcut durum analizlerinden söz edilmiştir. İkinci bölümde, Ulaştırma Modelinin tarihsel gelişimi, çözüm yöntemleri ve türlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, bulanık mantık ve bulanık doğrusal programlamanın ortaya çıkışı, uygulama alanları, modelleri olan Zimmermann ve Werners yaklaşımları üzerinde durulmuştur, Son bölüm olan dördüncü bölümde ise Werners yaklaşımı ile Türkiye’de Çimento Sektöründe minimum maliyetle optimal dağıtım üzerine çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık doğrusal programlama, Ulaştırma modeli, Çimento sektörü, Bulanık mantık

## **ABSTRACT**

Transportation Costs are one of the most important cost items. Land examined for the purpose of contributing to the road leading out of 7 different regions in Turkey in the framework of this thesis and Fuzzy Linear Programming Model Approach using Werners aimed to find the best solutions and distribution plan.

Analysis of the current status of the thesis have been talking about the cement industry in the first part of Turkey and the world. In the second part, the historical development, solution methods and types of the Transportation Model are mentioned. The third part of fuzzy logic and fuzzy linear programming emergence applications, Zimmermann the model and focused on Werners approaches, the fourth and the last part in Turkey Werners approach has been studied at minimal cost optimal distribution in the cement industry.

**Keywords:** Fuzzy linear programming, Transport model, Cement industry, Fuzzy logic

## ARŞİV KAYIT BİLGİLERİ

<b>Tezin Adı</b>	Türkiye Çimento Sektöründe Optimal Dağılım: Ulaştırma Probleminin Bulanık Doğrusal Programlama İle Çimento Fabrikalarına Uygulanması
<b>Tezin Yazarı</b>	Levent ÜNALAN
<b>Tezin Danışmanı</b>	Doç. Dr. Rehile ASKERBEYLİ
<b>Tezin Derecesi</b>	Yüksek Lisans
<b>Tezin Tarihi</b>	12.02.2021
<b>Tezin Alanı</b>	İşletme
<b>Tezin Yeri</b>	KBÜ/LEE
<b>Tezin Sayfa Sayısı</b>	88
<b>Anahtar Kelimeler</b>	Çimento Sektörü, Bulanık Doğrusal Programlama, Bulanık Mantık, Ulaştırma Modeli

## ARCHIVE RECORD INFORMATION

<b>Name of the Thesis</b>	Optimal Distribution in Turkey Cement Sector: Application to Cement Factory of Transportation Problem with Fuzzy Linear Programming
<b>Author of the Thesis</b>	Levent ÜNALAN
<b>Advisor of the Thesis</b>	Doç. Dr. Rehile ASKERBEYLİ
<b>Status of the Thesis</b>	Master
<b>Date of the Thesis</b>	12.02.2021
<b>Field of the Thesis</b>	Business Administration
<b>Place of the Thesis</b>	KBU/LEE
<b>Total Page Number</b>	88
<b>Keywords</b>	Cement Industry, Fuzzy Linear Programming, Fuzzy Logic, Transportation Model

## **KISALTMALAR**

**Kısaltma1:**Br. (Birim)

**Kısaltma2:**Min (Minimum)

## **ARAŞTIRMANIN KONUSU**

Ulaşım maliyeti optimizasyonu problemini bulanık doğrusal programlama modeli aracılığı ile Türkiye Çimento Sektörü için örnek uygulaması yapılarak çözümlenmiştir.

## **ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ**

Bu araştırmada, Türkiye Çimento Sektöründe bölgelere göre faaliyetleri incelenerek üretim merkezlerinden dağıtım merkezlerine, dağıtım planı ve miktarlarının tespit edilmesi, bir başka deyişle ulaştırma probleminin optimal çözümüne ulaşılması hedeflenmiştir. Günümüz piyasalarında yaşanan yüksek rekabet sebebiyle, üreticilerin piyasada var olmaya devam edebilmesi için, kâr maksimizasyonunu sağlayacak üretim ve dağıtım planlamalarına sahip olmaları gerekmektedir. Bu noktada bulanık doğrusal programlama modeli ile belirsizliklerin var olduğu durumlarda, en iyi sonuca ulaşmak mümkündür.

## **ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ**

Araştırmaya konu olan problemin matematiksel modelinin kurulması, çözümde kullanılacak olan metotların analitik olarak ele alınması ve bunların birleştirilerek ulaştırma probleminin bulanık doğrusal programlama modeli ile çözümlenmesini kapsamaktadır.

## **ARAŞTIRMA HİPOTEZLERİ / PROBLEM**

Çalışmada Türkiye’de Çimento Sektörü faaliyetleri hakkında genel bilgiler çerçevesinde mevcut olan ulaştırma probleminin matematiksel modellenmesi bulanık doğrusal programlama yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Problemin çözümünde R/Simplex paket programı kullanılmıştır. Werners yaklaşımı ve bulanık programlama modeli ile elde edilen çözümlerle ilgili problemin sonunda mevcut arz ve talebe uygun bir şekilde minimum maliyet ve optimal bir dağıtım planı sunulmuştur.

## **EVREN VE ÖRNEKLEM (VARSA)**

Bu araştırmanın evreni Türkiye Çimento Sektörü kabul edilecek olursa, örnekleme Ankara, İstanbul, Antalya, İzmir, Van, Şanlıurfa, Samsun illerindeki üretim merkezleridir.

## **KAPSAM VE SINIRLILIKLAR/KARŞILAŞILAN GÜÇLÜKLER**

Türkiye Çimento Sektörü hakkındaki 2020 yılı verilerinin tamamının yayınlanmamış olması sektör hakkında bilgi verirken bazı zorluklar yaşanmasına sebep olmuştur.

# BİRİNCİ BÖLÜM

## 1. ÇİMENTO HAKKINDA

### 1.1. Çimento'nun Tanımı

Çimento su ile karıştırılarak hidrasyon tepkimesi oluşur, Bu tepkime sonucunda sertleşir. Buna bağlı olarak dayanıklılığını ve kararlılığını korur. Çimento öğütülmüş halde kullanılan inorganik yapı bağlayıcısıdır. Çimentonun temel bileşenleri klinker ve alçı taşıdır. Klinker ve alçı taşına çüruf, tras gibi maddelerin belirli oranlarda eklenmesinin akabinde katkılı çimento türleri elde edilir. Farin klinkerin hammaddesidir, kil ve kalkerden oluşur bazı hallerde demir cevheri, boksit gibi diğer katkı maddeleri de ilave edilebilir. Karışım ısı işleme maruz kaldıktan sonra çimentonun ana bileşenlerinden biri olan klinker elde edilmektedir (YILDIZ, 2012).

### 1.2. Çimento'nun Tarihçesi

Yontulmuş taş kırıntısını ifade eden “Çimento” kelimesinin kökeni Latincedeki "caementum'dan" gelmektedir, günümüzde “bağlayıcı” anlamında kullanılmaktadır.

Tarihte bilinen ilk betonarme yapıya 1852 yılında rastlanmıştır, Yapı inşasında bağlayıcı olarak kullanılan malzemeler çok eskilere dayanır; Yapı inşasında kullanıldığı bilinen kireç ilk bağlayıcı maddedir. Bağlayıcı madde olarak kullanılan kireç kesin bir bilgi olmamasıyla birlikte insanlığın erken dönemlerine M.Ö. 2000 yıllara dayanmaktadır. İnsanlığın kireci bağlayıcı bir yapı malzemesi olarak kullanması örneklerine Kıbrıs, Mezopotamya, Girit, Eski Mısır gibi çeşitli coğrafyalarda rastlanmıştır. Kireci hidrolik bağlayıcı amacıyla Eski Yunan ve Romalıların kullandığı bilinmektedir. M.Ö. 70-25 yılları arasında yaşamış olan Mimar – Mühendis Marcus Vitruvius Pollio, puzolan ve kireç karışımlarından yazmış olduğu 10 ciltlik Türkçe anlamı “Mimarlık Üzerine” adlı kitabında söz etmiş ve hidrolik özelliklerine dikkat çekmiştir. Yine bu kitabında nehir ve deniz kıyısı gibi bölgelerde yerleşim için inşa edilecek yapılar için kullanılacak harçların karışım oranlarından söz etmiştir. Anadolu'da Çatalhöyük'te bulunan evlerin yapımında kullanılan



sıvaların araştırmalar sonucu 7000 yıl öncesine dayandığı bilinmektedir. (Kul, 2015)

Mısır Piramitleri, Çin Seddi gibi tarihte yer edinmiş birçok mimari yapının inşasında, yapıldıkları döneme göre o dönemin medeniyetini sembolize edecek birden farklı bağlayıcı madde kullanıldığı bilinmektedir. 2000 yıl kadar önce, Romalılar tarafından kullanılan söndürölmüş kireç, volkanik küller ve pişirilmiş tuğladan elde edilmiş bir takım tozlarla oluşturdukları karışımın günümüzde kullanılan çimento ile benzediği ve hidrolik bağlayıcı özelliğe sahip olduğu görölmüştür. Santorini Adası'ndaki volkanik tüfleri, kireçle ya da killi kireç taşından elde ettikleri bir tür hidrolik kireç ile birleştiren Eski Yunanlılar harç elde etmişlerdir. Puzolan karışımının hidrolik özelliğini keşfeden Eski Yunanlılar ve Romalılar yapı inşasında kullanmışlardır, fakat bu kullanımları bilimsel olarak açıklayacak bilgi birikime sahip olamamışlardır. Romalı bilgin Gaius Plinius taşın ateşle yakılması sonucu elde edilen kirecin su ile teması durumunda hangi nedenden ötürü tekrar yandığını anlamlandırmadığını yazmıştır. 18. Yüzyılda bağlayıcı özellikteki malzemelerin kalitesi ve kullanımı hakkında kayda değer gelişmeler yaşanmıştır, Eddystone Lighthouse'u tekrar inşa edilmesi için görevlendirilen John Smeaton 1756 yılında kirecin kimyasal özelliklerini anlayabilen ilk kişidir. Akabinde Roma çimentosu ismiyle anılan bağlayıcı Joseph Parker tarafından keşfedilmiştir. Bir duvar ustası olduğu bilinen Joseph Aspdin İngiltere'nin Leeds şehrinde ince taneli yapıya sahip kil ve kalker karışımını pişirmiş ve arkasından öğüterek bağlayıcı bir ürün haline getirmiştir. BU bağlayıcı ürüne su ve kum katılması durumunda zamanla sertleşme olduğunu keşfetmiştir. Keşfettiği bu malzemenin İngiltere'nin Portland adasından elde edilen yapı taşlarıyla benzerliği sebebiyle Joseph Aspdin, bu malzeme için 21.10.1824 tarihinde "Portland Çimentosu" adı altında patent almıştır, Geçmişten günümüze bu malzeme birçok gelişim ve değişim yaşamış olsa da "Portland" ismini aynen korumuştur. Joseph Aspdin'nin keşfettiği bu bağlayıcı malzeme gerek duyulan yüksek sıcaklıklarda pişirme işleme maruz bırakılmadığı için günümüzde kullanılan Portland çimentosunun bütün özelliklerine sahip olamamıştır. İngiltere Kirkgate İstasyonu yakınında günümüzde hala mevcudiyetini koruyan "Wakefield Arms" binasının Joseph

Aspdin tarafından bulunan bu bağlayıcı madde ile inşa edildiği bilinmektedir. Hammaddenin ihtiyaç duyduğu sıcaklıklarda pişirilip öğütülmesi ilk kez Isaac Johnson isimli bir İngiliz tarafından 1845 yılında gerçekleştirilmiştir.

Anadolu'da var olan Hitit kentlerinden olan Çorum, Tokat ve Malatya'da yapılan araştırmalar sonucu, magneziyen kireç ile karıştırılan puzolanik aktif doğal malzemelerle harç yapımına rastlanılmıştır. Tüm bunların yanı sıra Güneydoğu Anadolu'da Asurlulara ait olan tarihi kalıntılarda normal kireç ile bazalitik puzolanik maddelerin kullanılmış olduğuna dair örnekler, Anadolu'da Romalı ve Yunanlılardan öncede çimentonun kullanıldığına işaret etmektedir. Yapılan araştırmalara göre Teos, Efes, Afrodisias, Kinidas antik kentlerinde de çimento kullanıldığına dair bulgulara rastlanılmıştır. Dünya'da çimento üretim-satış faaliyetlerine 1878 yılında başladığına değinmiştik ancak, Türkiye'de çimento faaliyetleri 1912 yılında özel sektör girişimi ile başlamıştır. Türkiye'nin Çimentoyla geç tanışması su kireci imal edilmesinin yeteri seviyede olmaması ve bahsi geçen yıllarda Osmanlı İmparatorluğu'nun çöküş dönemini yaşıyor olmasından kaynaklanmaktadır. Dünya'da kurulduğu bilinen ilk çimento fabrikası İngiltere'de 1848 yılında faaliyete geçmiştir. Çimento hakkında oluşturulan ilk standart 1860 yılında Almanya'da aktifleştirilen Alman Çimento Standardı'dır, 1913 yılında ABD American Concrete Institute(ACI) ile Amerikan yönetmelikleri ile Almanya'yı takip etmiştir. (TCMA)

### **1.3. Çimento'nun Hammaddeleri**

#### **1.4. Kalker**

Kimyasal bileşiminde en az % 90 kalsiyum karbonat bulunan kayaç türlerine kalker ya da kireçtaşı adı verilir. Aynı zamanda mineralojik bileşiminde en az % 90 kalsit minerali olan kayaçlara da kalker adı verilir. Kalker saf halde kalsit ve içerisinde çok az miktarda aragonit kristallerinden oluşmaktadır. Kalsit ve aragonit kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli vardır, teorik olarak % 56 CaO ve % 44 CO<sub>2</sub> içerir. Ancak doğada hiçbir zaman saf olarak bulunmaz. İkincil derecede değişik madde ve bileşiklerin içinde yer alması nedeniyle orijinal hali sarı, kahverengi ve siyah renklerde var olabilir. Kalkerin sertlik derecesi 3, özgül ağırlığı 2.5-2.7 gr/cm<sup>3</sup> arasındadır. Yer altı sularında

travertenler olarak, deniz suyunda ya da tatlı sularda kimyasal organik veya mekanik çökelme ile birlikte kalker yatakları meydana gelmektedir. Oluşum süreçlerinden de görüleceği üzere kalkerin üç ana grup altında incelenmesi mümkündür. Yaygın olarak oluşan kireçtaşlarının içinde çoğunlukla organik, kırıntılı ve kimyasal materyaller mevcuttur. Kalsit (hegzagonal ve  $\text{CaCO}_3$ ) ve aragonit (ortorombik  $\text{CaCO}_3$ ) kristallerinin her ikisi de modern kireçtaşının oluşumunda yer alabilirler. Ancak Aragonit kristallerinin kalsit kristaline daha kolay dönüşebildiği bilinmektedir, Bu sebeptendir ki eski kireçtaşı oluşumlarında aragonit kristali bulunması bir hayli zordur. (H.W., 1976)

### 1.5. Kil

Kil kelimesi geniş bir tanıma sahiptir. Kil bir kayaç terimi olarak, aynı zamanda tane boyu ifadesi olarak kullanılmaktadır. Kayaç olarak bozunma ürünleri ya da hidrotermal olaylarla oluşmuş çökeller için kullanılan bir terimi ifade eder. Killerin kimyasal analizi; silisyum, alüminyum ve sudan oluştuğuna işaret eder. Demir, alkaliler ve alkali topraklarda değişik miktarlarda bulunmaktadır. Kil teriminin Kayaç olarak tanımına bakacak olursak doğal, topraklı, ince taneli ve su ile karışıklarında plastik özellikleri gelişen materyalleri ifade eder. Kayaç oluşturan kil mineralleri farklı miktarlarla bir kayaç içerisinde yer alabilirler. Ve bunlar killi kayaçların temel bileşenleridirler. Çoğunlukla kristalin formuna sahip olup ve küçük partiküller halinde bulunmaktadırlar. Yukarıda da bahsi geçen sulu alüminyum silikatlarıdır. Mineralojik bileşimine bakıldığında % 90'a kadar kil minerali içeren kayaçlara kil adı verilir. Killerin özelliklerinin değişmesi ancak (en az) 5 temel faktör tarafından değişiklik göstermesi mümkün olmaktadır. Bahsi geçen 5 temel faktör; kil minerallerinin ve kil minerali olmayan bileşenlerin bileşimi, organik materyaller, eriyebilir tuzlar ve değişebilen iyonlar ile yapı-doku'yu içerisine almaktadır. Bunlardan en mühim olan şey, kil minerallerinin bileşimidir. Bir kil mineralinin ekonomik olarak kullanımı kil mineral bileşimi ile ortaya çıkarılmaktadır. Örnek verecek olursak Seramik Sanayinde yüksek sıcaklıklara dayanıklılığı fazla olan bileşimler, Petrol Sektöründe ise sondaj çamurlarının yapılması için bentonit tipi bileşimlere gereksinim duyulmaktadır. Kil minerallerinin kesin bir

sınıflandırılması yapılamaz bununla beraber aşağıda ifade edilen sınıflama, uygulamalarda geçerlidir. (Taylor, 1990)

6 I- Amorf Allofan grubu II- Kristalin A- ki tabakalı A.1- Kaolinit grubu (Kaolinit, nakrit, dikit) A.2- Halloysit grubu B- Üç Tabakalı B.1.a- Montmorillonit grubu Montmorillonit, sausonit ve vermikülit B.1.b- Nontronit, saponit, hektorit B.2- İlit grubu C- Düzenli karışık tabakalı Klorit grubu D- Zincir yapılı Atapuljit Sepiyolit Paligorskit Kil minerallerinin çoğunluğu laboratuvar ortamında sentezlenmiştir. (Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001)

Bu deneylerden, minerallerin oluşması hakkında elde edilen bir bilgi de oluşum ortamları ve çevresel faktörlerin etkili olduğudur. Ortam sıcaklığı düşük ve asidik olduğu durumlarda kaolinit, alkali ortamda montmorillonit oluşabilmektedir. Çoğunlukla kil minerali hidrotermal kökenden gelmektedir. Bazı hidrotermal kökenli rezervler mono mineralli olmasına rağmen çoğu kil minerallerinin karışımından meydana gelir. Teknik olarak tipleri farklı kayaların bozunması da kil minerallerinin oluşmasında rol oynamaktadır. Kil minerallerinin oluşum yolları bir kaç farklı faktöre bağlıdır. Bahsedecek olursak ana kayaç tipi, iklim, topografya, bitki örtüsü ve zamandır. (Taylor, 1990)

#### **1.6. Marn**

Marn doğada %50-70 oranında kalker ve %30-50 oranında kil karışımından meydana gelen kayaç türüdür. Oluşum açısından tamamen sedimentler olup, diyajenez geçirmiş çoğunlukla düzenli tabakalı haldedirler. Tektonik ve orojenik hareketlerin durulduğu sakin ortamlar bu tip kayaç yani Marn oluşumu için, daha uygundur. Çimento klinkeri yaklaşık % 70 kalker ve % 30 kil içermekte olan hammadde karışımının öğütülüp ardından yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi sonucu elde edilir. Marn yapısı itibarıyla doğal olarak bu bileşimi taşıdığı bir başka deyişle bu bileşime çok yakın özellik gösterdiğinden ideal çimento hammaddesi olarak bilinmektedir. Bir başka özelliği ise kalkere kıyasla daha yumuşak yapıya sahip olması nedeniyle kolay üretilmesinin yanı

sıra, kırma-öğütme esnasında düşük enerji tüketimi sağlamaktadır. (H.W., 1976)

### **1.7. Çimento Çeşitleri**

### **1.8. Portland Çimentolar CEM I**

Dünya da üretilen tüm çimentoların %90'ı bu tip çimentodan oluşmaktadır. Her tür beton ve harç yapımı için uygun çimento türüdür.

Belirli oranlarda kalker taşı (CaO) ve kil (SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) gerekli durumlarda demir cevheri (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ile karıştırılıp döner fırında pişirildikten sonra yarı mamül olan klinker meydana gelir. Klinkerin bir miktar alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucunda Portland çimentosu elde edilir. Bu eklenen alçı taşıyla sertleşmenin geciktirilmesi hedeflenir. Portland Çimentosu, özel bir nitelik aranmayan beton yapılarda kullanılır.

### **1.9. Portland Kompoze Çimentolar CEM II**

Portland Çimentosu Klinkerinin ağırlıkça azami şekilde %35'inin farklı bileşenler ile karıştırılması ve alçı taşı ilave edilmesiyle elde edilir. Klinker ile birlikte ana bileşen olarak yüksek fırın cürufu, silis dumanı, uçucu kül, pişmiş şist ve kalker kullanılabilir. CEM II tipi çimentolar klinkere eklenen ana bileşene göre farklı isimler alır, İçerisinde yer alan katkı (cüruf) miktarına göre 2 ana sınıf altında inceleyebildiğimiz CEM II; A sınıfında, kütlece %6 – 20 arasında cüruf bulundurur, özellikle CEM II/A tipi çimentolar herhangi özel bir nitelik gereksinimi olmayan bütün yapılarda kullanılabilir. Kütlece % 21 – 35 arasında cüruf içerenler ise CEM II/B sınıfıdır. Bu çimento, 28 günlük basınç dayanımlarına göre 6 ayrı tip altında incelenebilir. Bu dayanımlar PCC 32.5, PCC 32.5R, PCC 42.5, PCC 42.5R, PCC 52.5, PCC 52.5R olarak gösterilmektedir. CEM II/B tipi çimentolar çoğunlukla çevresel etkilere daha dirençli bir beton ihtiyacı olduğunda ya da sıva imalatlarında kullanılırlar.

### **1.10. Yüksek Fırın Cürufllu Çimento**

Bu tür çimentolar, çelik endüstrisinde atık olan granül, yüksek fırın cürufu ile Portland çimentosu klinkeri karışımının az oranda alçı taşı ile öğütülmesi sonucu ortaya çıkan çimentolardır. Yüksek fırın cürufllu TS EN197-1 (2012)'de

CEM III/A, CEM III/B ve CEM III/C olmak üzere üç tip olarak sınıflandırılmıştır.

Yüksek fırın cürüflu çimentoların özellikleri, içerdikleri cüruf miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Portland çimentolarının aksine bu tür çimentolar deniz suyuna ve diğer sülfatlı ortamlarda daha dayanıklı çimentolardır. Hidratasyon ısı, Portland çimentosuna kıyasla daha düşüktür. Yüksek fırın cürüflu çimentolar dayanım gelişimleri uzun süren çimento türleri olup, Portland çimentosuna göre daha yavaş dayanım kazanan çimentolardır ve de betonda geçirimsizliği sağlamada önemli rol oynarlar.

### **1.11. Pozzolanik Çimento**

Tek başlarına bağlayıcı özelliğe sahip olmayan ancak, kireç veya çimento ile bir araya getirildiklerinde su ile reaksiyona girmesi sonucu bağlayıcı madde özelliği kazanan maddelere pozolan denir.

Bu çimentolar hidratasyon ısısının düşüktür, Bu sebeple genel itibariyle yüksek bina temellerinde, barajlarda çatlama riski olan büyük kütle betonlarda, sülfata karşı direnç gereksinimi duyulan toprak temaslı yapılarda ve sıva imalatında kullanılır.

### **1.12. Kompoze Çimento**

Kompoze Çimentolarda yine Pozzolanik Çimentolar gibi hidratasyon ısısının düşük olmasından kaynaklı olarak büyük kütle betonlarının üretilmesinde tercih edilirler.

### **1.13. Çimento Üretim Aşamaları**

#### **1.13.1. Hammadde Hazırlama**

Çimentonun asıl bileşenleri kireçtaşı ve kilden oluşmaktadır. Çimento ara bileşeni klinker'in üretiminde demir cevheri, boksit, kum gibi yardımcı malzemeler ek olarak kullanılmaktadır. Bahsi geçen yardımcı malzemeler bulunduğu yerden ocak işletmesi yöntemi aracılığı ile alınmaktadır. Bu malzemeler fabrikada stoklanma, ön karıştırma ve çeşitli kırma işlemlerine maruz bırakılarak malzeme boyutunun küçülmesi sağlanır. (Yeğinobalı & Ertün, ÇİMENTODA STANDARTLAR VE MİNERAL KATKILAR, 2009)

### 1.13.2. Farin Öğütme

Farin kelimesi Francızca'da un anlamına gelmektedir. Kırılan kalker ve kil üretilecek olan çimentonun türüne göre belli oranlarda karıştırılır, sonrasında ise değirmenlerde öğütülür ve stoklama depolarına aktarılır. Yani aslında bu un halindeki toz karışıma Farin adı verilmektedir. Elde edilen farinin iyi olabilmesi için klinker homojenize edilerek silolarda saklanır. (Yeğınobalı & Ertün, ÇİMENTODA STANDARTLAR VE MİNERAL KATKILAR, 2009)

### 1.13.3. Pişirme

Pişirme işlemi için farin silolardan sonra döner tamburlu fırınlara girer. Fırın içine giren farin yavaş yavaş pişerek 1400-1500 C'ye kadar ısınır, Farin içinde bulunan kil ve kalker, ulaştığı bu sıcaklık etkisiyle ekzotermik bir tepkimeye girer. Bu tepkime sonucu yüksek oranda C<sub>2</sub>O ortaya çıkar. Döner tamburda tepkimeye girmiş bu maddeler çıkışa yakın sıvılaşma başlar, ince taneler birleşip, büyük boy bilye şekline benzer yeni maddeler ortaya çıkar, fırın çıkışında oluşan bilye şeklindeki madde ani soğutulur ve taşlaşır (CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve bileşikleri) bu taşlaşmış malzemeye klinker denir. Fırında pişirilen malzeme ağırlığının %35'ni kaybeder, Sıcaklık yardımı ile iki madde tepkimeye girer ve yeni maddeler oluşur, bu maddelerde betonda bağlayıcı görevi üstlenecektir (Yeğınobalı, Çimento Yeni Bir Çağın Malzemesi, 2004).

### 1.13.4. Çimento Üretimi

Çimento türüne bağlı olarak Portland çimentosu klinkeri bir miktar alçı taşı ilave edildikten sonra puzolan, kalker, uçucu kül gibi katkı maddeleri ile öğütülür ve çimento elde edilmiş olur. Bu öğütülme esnasında genellikle bilyalı değirmen kullanılmaktadır. Öğütülme işlemi sonucu ince toz haline gelen çimento silolarda saklanır.

### 1.13.5. Paketleme

Çimento tiplerine göre silolarda depolanır, Piyasadan gelen talebe göre ya dökme ya da torbalı şekilde piyasaya arz edilir.

#### 1.14. Çimento Kullanım Alanları

Çimento Türlerine Göre Kullanım Alanları (TÇMB)

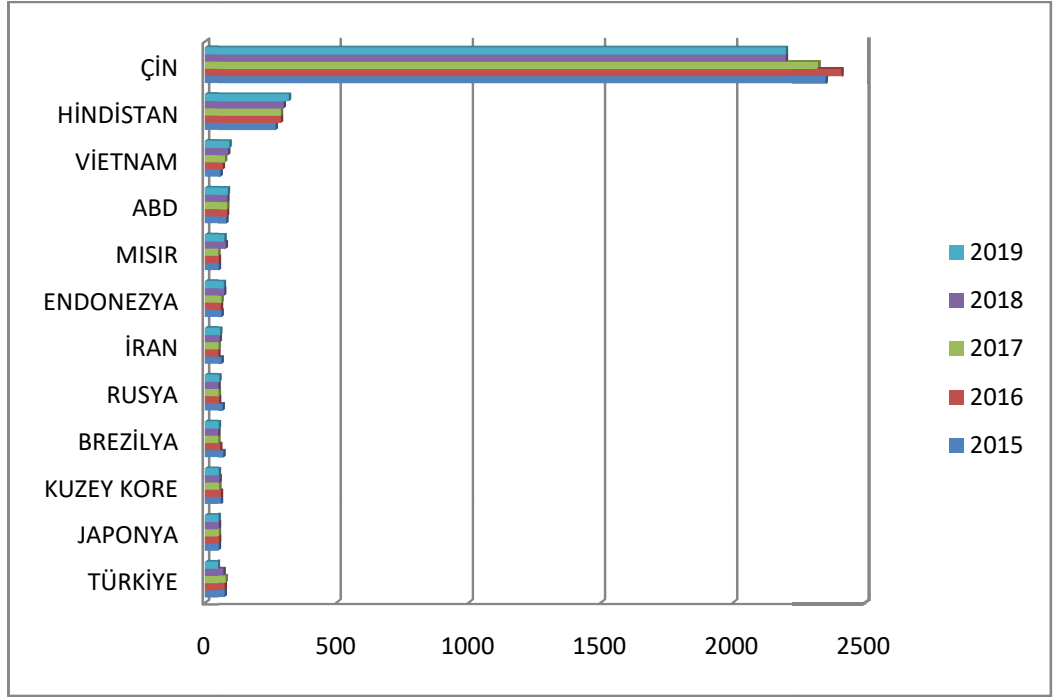
CEM I ve CEM II	CEM II	CEM IV	CEM V
Beton yollar	Kıyı ve liman	Baraj inşaatları	Genel amaç için
Betonarme yapılar ve borular	inşaatları	Sıva ve duvar harcı	kullanılabilir
Yol kaplamaları	Su tesisleri ve su kanaletleri	Su kanaletleri	Betonarme yapılar ve borular
Yüksek yapılar	Baraj inşaatları	Yol kaplama betonları	Su kanaletleri
Demiryolu traversleri	Açık deniz yapıları	Yapı kimyasalları	Baraj inşaatları
Köprüler ve viyadükler	Temel kazıkları	Arıtma tesisleri	Yol kaplama betonları
Tünel kalıp uygulamaları	Tüneller ve tünel kaplamaları	Kütle beton	Sıva ve duvar harcı
Su depoları	Beton ya da betonarme yeraltı su boruları		Arıtma tesisleri
Ön germeli betonlar	Sülfat etkisinde endüstriyel zeminler		
Beton briket			
Yapı kimyasalları	Arıtma tesisleri		

#### 1.15. Dünya’da Çimento Sektörü

Dünya’da çimento üretiminde başlıca yer alan ülkelerden aşağıdaki tabloda söz edilmiştir, Bu ülkelerin üretimleri milyon ton cinsinden ifade edilmektedir, Çin küresel pazarda çimento üretiminde lider konumdadır ve en çok üretimi 2016 yılında 2,4 Milyar ton olarak gerçekleştirmiştir, Yani bugün Çin küresel olarak bakıldığında toplam üretimin yarısından fazlasını tek başına piyasaya sürmektedir. Ancak Çin tüm üretimini yerli tüketimde kullanmaktadır. Çin’i ikinci sırada takip eden Hindistan incelendiğinde 2015 yılından 2019 yılına kadar olan çimento üretimi artış gösteren bir ivmeye işaret eder, en çok üretimi 2019 yılında 320 milyon ton olarak gerçekleştirmiştir.



**Grafik 1** Çimento Üretimi Milyon Ton Cinsinden (Statista)



#### 1.16. Türkiye’de Çimento Sektörü

Türkiye’de 52 adet çimento üretim tesisi yer almaktadır, hemen hemen her ilde bir üretim tesisi yer alır. İç pazarda yerli ve yabancı firmaların yer aldığı bir dinamîğe sahip olan bu sektörde, yüksek rekabet söz konusudur, bunu Üretim kapasiteleri ve toplam arz-talep arasındaki farkı göz önüne alarak söyleyebiliriz.

Türkiye’de rekabet açısından yerli ve yabancı firmalar eşit koşullara sahiptir, rekabet eden bu firmalar açısından sektör dengelidir, mevcut kapasite firmalar arasında neredeyse eşit bir dağılıma sahiptir.

**Tablo 1** Türkiye’de Çimento Girişim Sayıları ve Üretim Miktarları Milyon Ton Cinsinden (T.C SANAYİ BAKANLIĞI , 2020)

YILLAR	FİRMA SAYISI ÖĞÜTME	FİRMA SAYISI ENTEGRE	ÇİMENTO ÜRETİM	KLİNKER ÜRETİM
2015	17	52	73,80	62
2016	18	54	78,50	67,9
2017	20	52	83,6	70,81
2018	20	52	72,54	70,34
2019	20	52	56,96	57,8

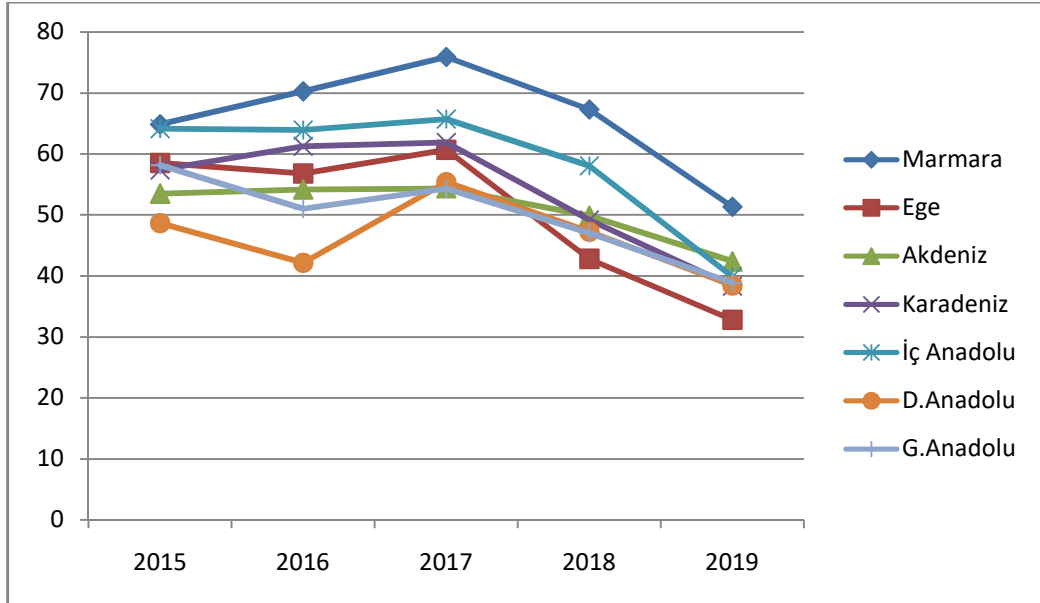
**Şekil 1** Türkiye’de Faaliyet Gösteren Çimento Fabrikaları (Türk Çimento)



**Tablo 2** Türkiye Bölgeler Toplam Kapasiteler Ton Cinsinden (Türk Çimento Müstahsilleri Birliği , 2020)

	KAPASİTE 2016	KAPASİTE 2017	KAPASİTE 2018	KAPASİTE 2019
<b>Marmara</b>	29.300.731	29.105.320	29.117.921	29.367.736
<b>Ege</b>	10.703.529	9.952.788	13.777.960	14.333.611
<b>Akdeniz</b>	35.530.619	35.247.965	33.964.430	34.124.430
<b>Karadeniz</b>	14.777.553	17.081.133	18.359.839	18.131.912
<b>İç Anadolu</b>	18.969.043	21.236.396	22.315.866	23.255.300
<b>Doğu Anadolu</b>	13.206.856	11.727.724	13.176.595	13.297.963
<b>G.D.Anadolu</b>	10.289.139	11.241.408	11.164.145	11.241.408
<b>TOPLAM</b>	<b>132.777.470</b>	<b>135.592.732</b>	<b>141.876.755</b>	<b>143.752.359</b>

**Grafik 2** Türkiye’de Çimento Üretim Kapasite Kullanımı Yıllara Göre %  
(Türk Çimento Müstahsilleri Birliği , 2020)



**Tablo 3** Türkiye Bölgeler Çimento Kapasite Ton Cinsinden % ifadesi (Türk Çimento Müstahsilleri Birliği, 2020)

	<b>KAPASİTE KULLANIM 2016</b>	<b>KAPASİTE KULLANIM 2017</b>	<b>KAPASİTE KULLANIM 2018</b>	<b>KAPASİTE KULLANIM 2019</b>
<b>Marmara</b>	70,25	75,87	67,28	51,32
<b>Ege</b>	56,79	60,66	42,79	32,78
<b>Akdeniz</b>	54,16	54,34	49,85	42,37
<b>Karadeniz</b>	61,25	61,88	49,19	38,32
<b>İç Anadolu</b>	63,91	65,71	58,04	39,90
<b>D.Anadolu</b>	42,13	55,35	47,23	38,40
<b>G.D.Anadolu</b>	51,00	54,31	47,01	38,84
<b>TOPLAM</b>	<b>58,55</b>	<b>62,16</b>	<b>53,39</b>	<b>41,55</b>

Türkiye’de 2019 yılı bölge bazlı üretim kapasiteleri incelendiğinde ilk sırada %51,32 ile Marmara bölgesi, ikinci olarak %42,37 oranla Akdeniz bölgesi ve üçüncü sırada % 39,9 kapasiteyle İç Anadolu bölgesi yer almaktadır. Son beş yıllık trendi incelediğimizde kapasite kullanımlarında ülke ekonomisine ve sektörel durgunluğa bağlı olarak düşüş gözlemlenmektedir.

**Tablo 4** Türkiye Bölgeler Çimento Üretimi Ton Cinsinden (Türk Çimento Müstahsilleri Birliği , 2020)

	<b>ÜRETİM 2016</b>	<b>ÜRETİM 2017</b>	<b>ÜRETİM 2018</b>	<b>ÜRETİM 2019</b>
<b>Marmara</b>	19.177.817	20.566.157	18.244.744	13.789.012
<b>Ege</b>	6.078.776	6.037.811	5.894.930	4.699.245
<b>Akdeniz</b>	18.159.749	18.065.630	15.933.693	13.544.374
<b>Karadeniz</b>	9.051.464	9.331.977	8.047.891	6.182.170
<b>İç Anadolu</b>	12.123.726	13.954.949	12.951.817	9.278.955
<b>D. Anadolu</b>	5.564.619	6.491.041	6.223.275	5.106.156
<b>G.D.Anadolu</b>	5.247.174	6.104.692	5.248.080	4.366.360
<b>TOPLAM</b>	<b>75.403.325</b>	<b>80.552.257</b>	<b>72.544.430</b>	<b>56.966.272</b>

**Tablo 5** Türkiye Bölgeler Çimento İç Satışı Ton Cinsinden (Türk Çimento Müstahsilleri Birliği , 2020)

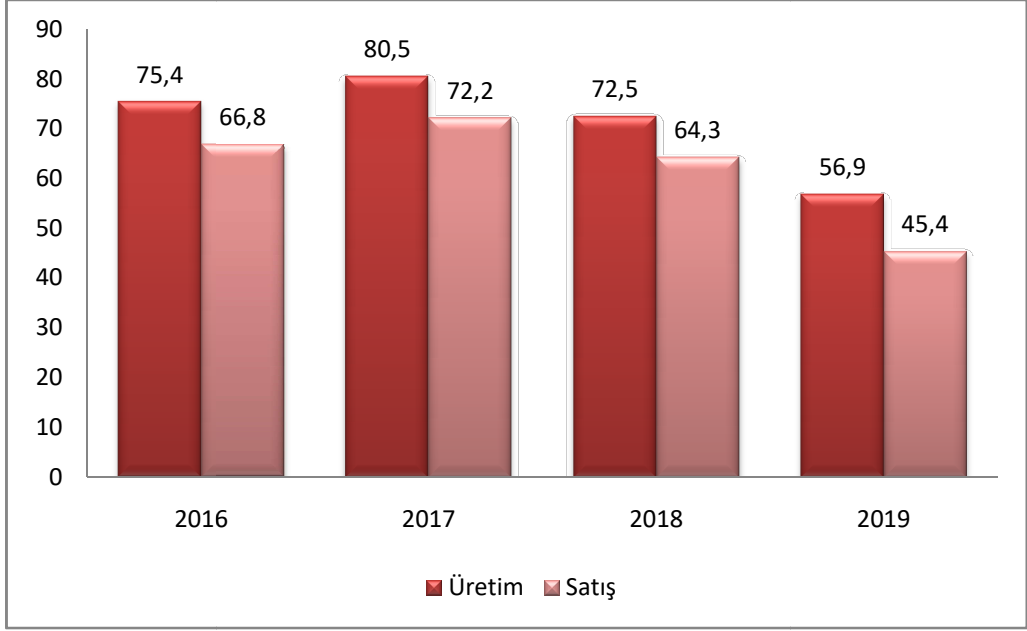
	SATIŞ 2016	SATIŞ 2017	SATIŞ 2018	SATIŞ 2019
<b>Marmara</b>	17.798.865	19.575.602	16.496.531	10.385.101
<b>Ege</b>	5.317.293	5.419.847	5.591.074	3.950.244
<b>Akdeniz</b>	12.583.743	12.172.100	10.402.520	6.862.814
<b>Karadeniz</b>	8.672.754	9.032.760	7.829.074	5.673.795
<b>İç Anadolu</b>	12.096.096	13.936.852	12.937.908	9.406.382
<b>D. Anadolu</b>	5.402.992	6.398.922	6.065.412	4.955.688
<b>G.D.Anadolu</b>	4.932.860	5.691.177	5.041.492	4.178.093
<b>TOPLAM</b>	<b>66.804.603</b>	<b>72.227.260</b>	<b>64.364.011</b>	<b>45.412.117</b>

**Tablo 6** Türkiye Çimento Sektörü 2020 Ekim ayına kadar olan veriler (Türk Çimento Müstahsilleri Birliği, 2020)

	Marmara	Ege	Akdeniz	Karadeniz	İç Anadolu	D. Anadolu	G.D. Anadolu	TOPLAM
<b>Üretim</b>	13.075.445	4.724.875	15.255.614	6.536.173	9.690.288	5.521.232	4.393.637	<b>59.197.265</b>
<b>İç Satış</b>	9.318.438	3.888.490	7.555.862	5.555.195	9.694.967	5.385.293	4.201.017	<b>45.599.261</b>
<b>Dış Satış</b>	3.843.322	959.873	7.330.694	943.340	104.115	98.508	207.048	<b>13.486.900</b>

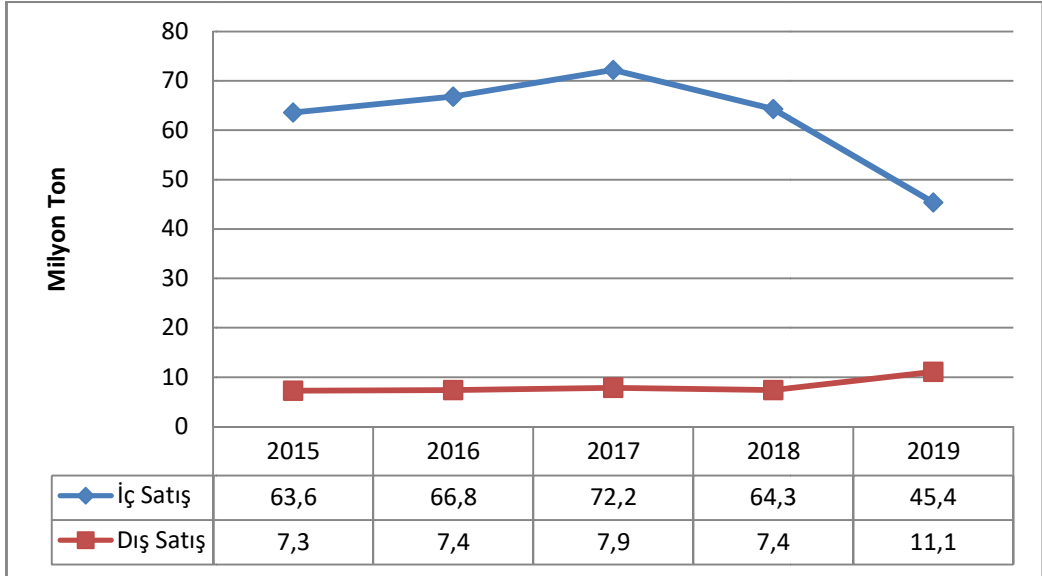
2020 Yılı küresel Covid-19 salgınının yaşandığı bir yıl olduğu için tüm sektörler için zor bir yıl olmuştur. Durguluğun hakim olduğu bu yılda Türkiye Ekim 2020 sonuna kadar 2019 yılı toplamını geçen bir çimento üretimi gerçekleştirmiştir, İç satışlar bir önceki yıllara kıyaslandığında aynı seviyededir, ancak henüz açıklanmamış olan yılın son çeyreği verileri eklendiğinde bir önceki yılı geçecektir. Dış satış Grafik 4 'te de bahsi geçtiği gibi 2019 yılında 11,1 milyon ton olarak yılı kapatmışken 2020 yılı Ekim sonuçlarında 13,4 milyon ton olarak gerçekleşmiştir ki burada bir önceki yıla göre büyümeden söz etmek doğru olacaktır.

**Grafik 3** Türkiye’de Çimento Üretim ve Satış Milyon Ton Cinsinden



Türkiye Çimento Üretim ve İç Satışı 2017 yılından beri düşüş seyrine geçtiği için kapasite kullanımları da bütün bölgelerde bu durumdan etkilenmiştir, tüm bunlara rağmen dış satışta bir büyüme eğilimi söz konusudur.

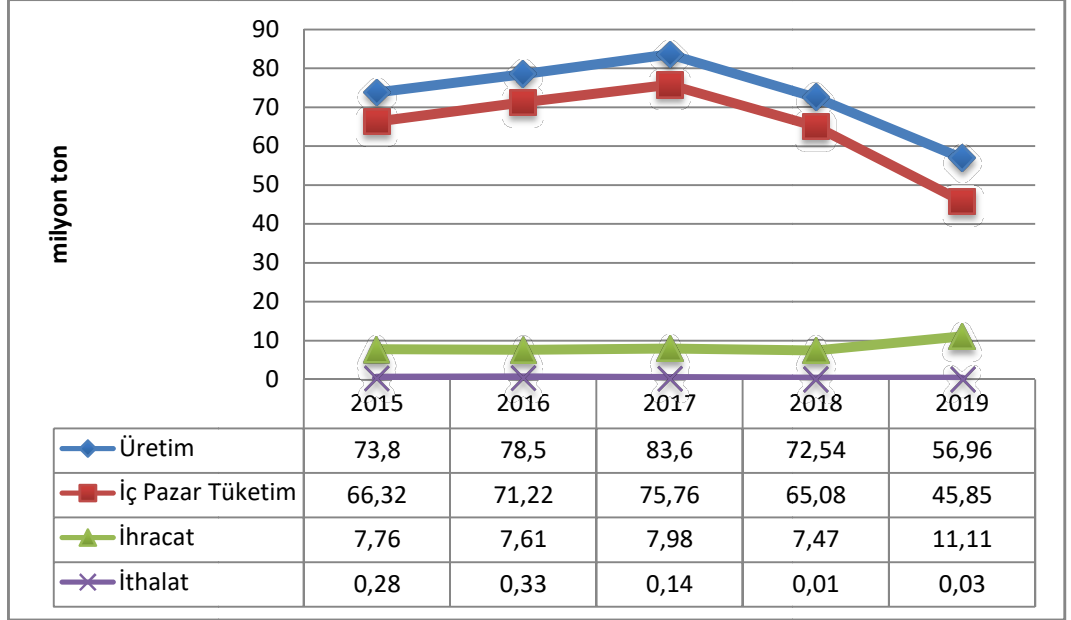
**Grafik 4** Türkiye’de Çimento İç Satış ve Dış Satışın Yıllara Göre Milyon Ton Cinsinden Değişimi (Türk Çimento Müstahsilleri Birliği)



Türkiye’de Çimento sektörü İç Satışı ve Dış Satışı arasında ters bir ilişki vardır, Grafik 4’de görüleceği üzere 2019 yılı haricinde kayda değer bir değişiklik Çimento İhracatı için söylenemez, bunun asıl nedeni Türkiye’de hızlı büyüyen

inşaat sektörünün artan talepleridir. Bu sebeptendir ki Çimento 2019 yılından önce Türkiye’de yerli tüketim için üretilen bir ürün haline gelmiştir.

**Grafik 5** Türkiye Çimento Pazarı, Milyon Ton Cinsinden (Türk Çimento Müstahsilleri Birliği)

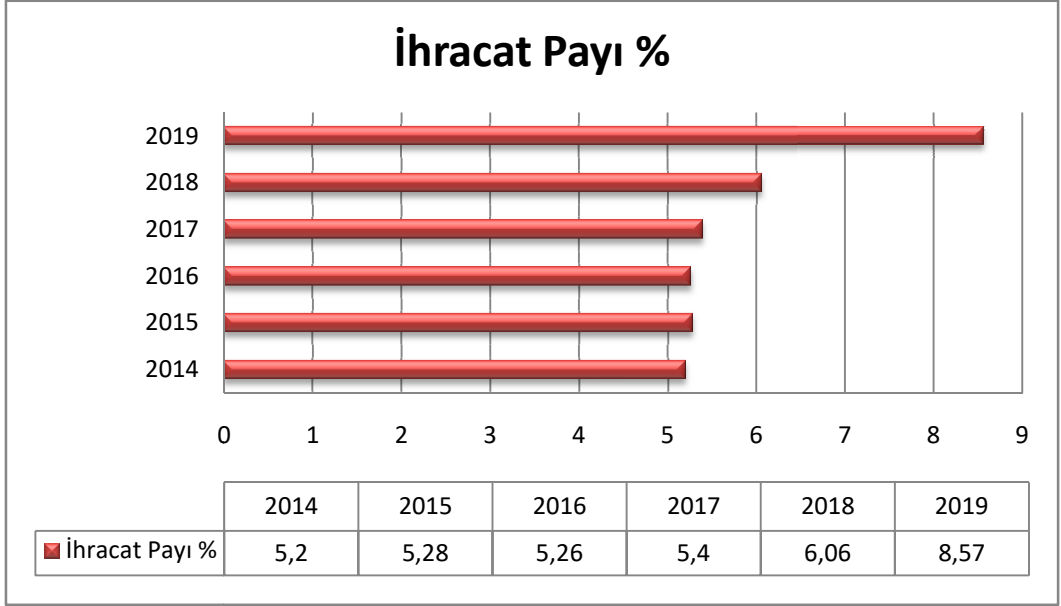


Çimento ihracatı Türkiye’nin en çok ihracat yaptığı inşaat malzemelerinden biri olma unvanına sahiptir,

2019 yılında önemli miktarda ihracatta artış gözlemlenmiştir, İç talepte yaşanan sert durgunluk nedeniyle üretim ve tüketim arasında oluşan farkın fazla olması, çimento satışlarının dış pazara odaklanmasına olanak sağlamıştır.

Türkiye çimento üretiminde ve ihracatında önemli bir ülkedir, buna karşın sınırlı ölçüde çimento ithalatı da yapmaktadır, Bu ithalat daha çok spesifik illerde meydana gelen bölgesel ihtiyaçlar veya özellikli ürünler üstüne kurulu bir dinamiğe sahiptir. Bu sebeptendir ki Türkiye ithalatı incelendiğinde görülecektir ki yıllara göre dalgalanmalar yaşanmaktadır.

**Grafik 6** Türkiye'nin Dünya Çimento Pazarındaki İhracat Payı % (Türkiye İMSAD, Temmuz 2020)



Türkiye’de Çimento ihracatı iç piyasadaki artan talepten ve büyüyen inşaat sektöründen dolayı 2018 yılına kadar düz bir grafik sergilerken, 2018 yılı itibariyle hareketlenmiş ve 2019 yılında inşaat sektörünün ülke içinde durulmasıyla ihracat payını arttırmıştır.

**Tablo 7** Türkiye'nin Dünya Çimento Pazarındaki İhracat Payı Milyon Dolar Cinsinden (Türkiye İMSAD, Temmuz 2020)

Yıllar	Türkiye İhracat Milyon Dolar	Dünya İhracat Milyon Dolar	Türkiye Pay %
2014	640,0	12,305	5,2
2015	549,0	10,390	5,28
2016	512,4	9,748	5,26
2017	551,4	10,220	5,4
2018	614,0	10,139	6,06
2019	876,0	10,228	8,57

Dünya İhracat Payı incelendiğinde görülecektir ki 2014-2016 yılları arasında Türkiye İhracat Payı ile aralarında paralel bir seyir söz konusudur, 2017 yılında Dünya Ülkeleri toplam ihracat payında toplamda önceki yıla göre büyüme trendi yaşamış ve Türkiye’yi incelediğimizde de aynı trend gözlemlenmiştir, 2018 yılı itibariylese Dünya ihracatı aynı seviyelerde kalmış ancak Türkiye



toplam ihracattaki payını büyütmiştir. Bunun sebebi Tablo 4’ü incelerken söylediğimiz iç pazarda başlayan durgunlukla dış pazarlara odaklanmanın başlamış olmasıdır.

**Tablo 8** 2018-2019 yılları Dünya Çimento İhracatı Dolar Cinsinden (Türkiye İMSAD, Temmuz 2020)

2018			2019		
Sıra	Ülke	İhracat(Dolar)	Sıra	Ülke	İhracat(Dolar)
1	Vietnam	1.124.645.000	1	Vietnam	1.354.983.000
2	Tayland	633.775.000	2	Türkiye	876.258.703
3	Türkiye	614.359.851	3	Tayland	677.410.000
4	Almanya	541.557.000	4	Almanya	549.107.227
5	Kanada	536.584.000	5	Kanada	542.722.936
6	Çin	491.676.000	6	İspanya	374.282.000
7	İspanya	437.780.000	7	Çin	347.282.000
8	Japonya	327.092.000	8	Japonya	340.969.546
9	Hindistan	295.791.000	9	Pakistan	260.494.872
10	Pakistan	264.415.000	10	Güney Kore	256.790.001
Toplam İhracat		10.138.711.000	Toplam İhracat		10.228.299.000

Türkiye Dünya’da Çimento ihracatında önemli bir role ve yere sahiptir. 2018 yılında 614.359.851 dolarlık gerçekleştirmiş olduğu ihracatla Dünya sıralamasında 3. Sıraya sahip olurken, 2019 yılında 876.258.703 dolar’la sıralamada 2. Sıraya yerleşmiştir. Birinci sırada yer alan Vietnam ise 2018 yılında 1.124.645.000 ve 2019 yılında 1.354.983.000 dolarlık ihracat yapmıştır. Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda Türkiye, Dünya Çimento ihracatında 1. Sırada yer alan Vietnam’dan 2018-2019 yılları arasındaki ihracat farkı hesaplandığında daha fazla ihracatını arttırmıştır.

**Tablo 9** 2018-2019 Çimento Dünya İthalatı Dolar Cinsinden (Türkiye İMSAD, Temmuz 2020)

2018			2019		
Sıra	Ülke	İthalat(Dolar)	Sıra	Ülke	İthalat(Dolar)
1	ABD	1.365.448.000	1	ABD	1.417.350.652
2	Çin	652.068.000	2	Çin	1.154.474.000
3	Filipinler	540.607.000	3	Filipinler	543.941.000
4	Fransa	408.455.000	4	Fransa	420.629.000
5	Hollanda	376.693.000	5	Hollanda	328.431.000
6	Bangladeş	329.405.000	6	Bangladeş	262.193.000
7	Gana	323.382.000	7	İsrail	233.016.000
8	Hong Kong	316.322.000	8	Singapur	216.254.000
9	İsrail	235.324.000	9	Avusturalya	209.490.000
10	Sri Lanka	228.514.000	10	Almanya	173.012.039
139	Türkiye	6.835.006	130	Türkiye	6.861.152
Toplam İthalat		10.987.470.000	Toplam İthalat		10.639.253.000

Dünya’da çimento ithalat pazar fırsatlarının en büyük olduğu ülke ABD’dir. Çin çimento ithalatında Dünya’da ikinci sırada yer almaktadır ve 2018-2019 verileri göz önüne alındığında neredeyse bu zaman zarfı içinde ithal ettiği çimento miktarını dolar cinsinden iki katına çıkarmıştır, İthalatçı ülkeler incelendiğinde dağınık bir coğrafya yapısı olduğu görülecektir. Türkiye çimento ithalatında 2018’de 139. Sırada yer alırken 2019’da 130. Sıraya yükselmiştir

**Tablo 10** 2018-2019 Türkiye'nin Çimento İhracatı Yaptığı Ülkeler (Türkiye İMSAD, Temmuz 2020)

2018			2019		
Sıra	Ülke	İhracat(Dolar)	Sıra	Ülke	İhracat(Dolar)
1	ABD	102.931.139	1	ABD	179.604.735
2	İsrail	63.842.982	2	İsrail	93.369.026
3	Gana	62.057.186	3	Gana	88.969.926
4	Suriye	36.817.709	4	Fildişi Sahili	50.871.919
5	Haiti	23.076.312	5	Suriye	36.200.481
6	Kolombiya	19.846.102	6	Kolombiya	29.983.209
7	Gine	17.157.693	7	Gine	27.619.046
8	Senegal	17.069.873	8	Moritanya	19.939.924
9	Fildişi Sahili	16.363.114	9	Kamerun	19.069.168
10	Bulgaristan	15.780.224	10	Haiti	16.534.594
Toplam İhracat		614.359.851	Toplam İhracat		876.258.703

Tablo 10'da görüldüğü üzere tüm mesafelerdeki ülkelere ihracat yapılmaktadır. Türkiye'de yapılan toplam ihracat önemli ölçüde ABD ile yapılmaktadır, Tablo8' da bahsedilen ABD'nin önemli bir Pazar olması fırsatı Türkiye tarafından değerlendirilmektedir. ABD'yi takip eden İsrail ve Gana da önemli ihracat pazarlarındandır, Bunun yanı sıra Sahra Afrika ve Latin Amerika Türkiye için bir diğer önemli ihracat pazarıdır. 2018-2019 yılları arasındaki toplam ihracat miktarı dolar cinsinden incelendiğinde %40'lık bir artıştan söz etmek doğru olacaktır.

## İKİNCİ BÖLÜM

### 2. ULAŞTIRMA MODELLERİ

#### 2.1. Ulaştırma Modelinin Tanımı ve Tarihçesi

Ulaştırma model türlerinin temel amacı üretilen bir malın belli bir noktaya minimum maliyetle ulaştırılmasıdır.

Bu uygulamanın ilkinde 1947 yılında Hitchcock Petrol endüstrisinde rastlamak mümkündür.

Uygulanabildiği yerler;

- Üretim-Tüketim yerleri arasında optimal dağılımın sağlanması,
- Makineler arasında iş paylaşılmasında,
- Şebeke Problemlerinde,
- Üretim stratejisinde,
- Tesis temin edilmesinde kullanılabilir.

Modelin uygulanabilmesi için konu olan problemler, mal, hizmet saydığımız tüm bunlar üretim merkezleri ve tüketim merkezlerinin hepsinde aynı birimlerle ifade ediliyor olmalıdır.

Bir birim ürün taşınması durumunda bütün üretim merkezleri ve bütün tüketim merkezleri için ücreti bilinmelidir.

Bir üretim merkezinin toplam arz ettiği ürün miktarı ile toplam talep edilen mal miktarı bilinir olmalıdır.

Üretim merkezinin arz ettiği ürün toplam talebe modelin uygulanabilmesi için eşit olmalıdır, şayet bu eşitliğin sağlanamadığı hallerde problem dengesiz hale gelir, arz veya talep hangisinde eksiklik var ise kukla arz veyahut kukla talep eklenerek problem dengeye getirilir.

Rus bir matematikçi olan L.V. Kantorovich 1939 yılında üzerine çalıştığı bir araştırma taşıma modelinin temel yapısı oluşmuştur, bu çalışma üretim sırasında ürünlerin makinelere hangi zamanda dağıtıldığını planlıyordu ve maliyetler, makineler ile işler arasında kurulan dağıtımına göre değişiklik göstermekteydi.

1942 yılında matematikçi Kantorovich bu çalışmanın matematiksel bir modelini çıkarmıştır, 1948'de M.K. Gavurin ile birlikte yaptığı projede bu çalışmanın uygulamasını yayınlamıştır, Bu proje taşıma modelinin en basit hali yer almaktadır, Kantorovich tarihte yapılan ilk ulaştırma modeli çalışmasıdır. (Dantzig, 1963)

Frank L. Hitchcock 1941'de bir petrol enstitüsünde üretim kaynaklarından üretimlerin farklı merkezlere dağıtılması üstüne yaptığı çalışmada ilk kez formüle edildi, formül gereken önemi görmedi, formül ilk çözümünü hayata geçirdikten sonra bloke edildi. İkinci dünya savaşı yıllarında Tjalling C. Koopmans, savaşta edindiği tecrübelerle istinaden "Ulaşım Sisteminin Optimum Kullanımı" adlı bir makale yayınladı, bu makale Hitchcock çalışmasıyla örtüşüyordu, taşıma modelini bu sebeptendir ki yaygın olarak "Hitchcock - Koopmans Ulaştırma Problemi" ismiyle anılır. (Dantzig, 1963)

A. Henderson ve R. Schlaifer bu modeldeki bir takım noksanları 1954 yılında tamamlamışlardır, R.O. Ferguson ise bu modeli geliştirerek 1955 yılında "basitleştirilmiş dağıtım yöntemi-MODI" bulmuştur. W.R. Vogel, "Vogel yaklaşım yöntemini- VAM" ve Russel " Russel-RAM yaklaşım yöntemini-RAM" geliştirdiler. G.B. Dantzing , ünlü bir matematikçi olup, ulaştırma modelinde ortaya çıkabilecek bozulma durumlarına önlemek niyetiyle çözüm yolları geliştirmiştir. (Render, Stair, & Barry, 1992 )

## **2.2. Ulaştırma Modelinin Matematiksel Gösterimi**

Ulaştırma Modeli, Doğrusal programlama yönteminin özel bir türüdür, Doğrusal programlamanın şartları olan varsayımlar bu model içinde geçerlidir. (AKSOY, 1999) Ancak kendine özgü bazı farklı varsayımlar içermektedir, Bunlar;

- Faaliyetlerin ifade edildiği miktar türleri aynı olmalıdır,
- Üretim noktaları ve Tüketim noktalarının depolama kapasiteleri eşit olmalıdır,
- Tüketim noktalarından üretim noktalarına taşıma yapılamaz,
- Kısıtlardaki karar değişkenlerinin katsayıları bir veya sıfır olmalı veya buna indirgenmelidir. (TOR, 1991 )

Üretim noktası ve tüketim noktası bulunan bir ağ kurulduğunda bu ağa iki kısımlı ağ adı verilmektedir.

$m$ = Ulaştırma problemine konu olan toplam üretim merkezi sayısı

$n$ = Ulaştırma problemine konu olan toplam tüketim merkezi sayısı

$C_{ij}$ :  $i$ . Üretim yerinden  $j$ . Tüketim yerine birim ürün başına taşıma maliyeti

$a_i$ : Üretim yeri kapasitesi

$b_j$ : Tüketim yeri kapasitesi

$X_{ij}$ : Karar değişkeni,  $i$ . Üretim yerinden  $j$ . Tüketim yerine transferi yapılacak olan ürünün miktarı

$Z$ = toplam maliyet

Hedeflenen;

Minimum  $Z = \sum C_{ij} x_{ij}$

**Tablo 11** Ulaştırma Modeli

	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	Arz
$a_1$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$A_1$
$a_2$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$X_{24}$	$A_2$
$a_3$	$X_{31}$	$X_{32}$	$X_{33}$	$X_{34}$	$A_3$
$a_4$	$X_{41}$	$X_{42}$	$X_{43}$	$X_{44}$	$A_4$
Talep	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	

Bütün satırlar ve sütunlar için arz ve talep eşitliklerinin mevcut olması gereklidir, şayet eşitlik mevcutsa ulaştırma problemi dengeli haldedir, eşitlikten söz edemiyorsak tablo dengeli hale getirilir,

Talebin Arzdan küçük olduğu durumlarda yapay bir talep merkezi dâhil edilir ve ürün sevkinin gerçekleştirileceği kabul edilir, Talebin arzdan büyük olduğu durumlarda ise yapay bir üretim merkezi var olduğu ve bu eklenen üretim merkezinden talebin karşılanabileceği kabul edilir.

Burada üç aşama izlenmektedir;

1. Amaç

$$\text{Minimum } Z = \sum C_{ij} X_{ij}$$

2. Kısıtlılıklar

i kadar üretim noktası ve j kadar tüketim noktası olan bir problemde i+j kadar kısıt olmalıdır,

- Arz kısıtı

Arz kısıtı üretim noktasından tüketim noktasına gönderilecek ürünün üretim noktasının kapasitesini aşmaması gereklidir, yani i'yi aşmaması koşuludur.

- Talep kısıtı

Talep kısıtı mevcut olan tüm talebin karşılanması gerekliliğidir, j adet talep olmalıdır.

3. Pozitiflik Koşulu

Üretim noktasından tüketim noktasına transfer edilen ürün negatif bir değer almamalıdır, yani arzın talebe eşit veya büyük olması gereklidir.

### 2.3. Ulaştırma Modelinin Çözüm Tekniği

Bir ulaştırma probleminin çözülmesi için hangi yöntem seçilirse seçilsin, iki aşama uygulanır, çünkü yöntemler iki aşama üzerine kurulmuştur.

Hangi çözüm yöntemi tercih edilirse edilsin, öncelikle ulaştırma tablosu oluşturulur, seçilen yöntemin şartlarına uygun birim maliyet ve karar değişkenleri tabloya eklenir. (Ignizio, 1975)

Hazırlanan tabloda önemli olan iki koşul söz konusudur, daha öncede üzerinde durduğumuz gibi ulaştırma modelinin dengede olması ve  $m+n-1$  kuralına dikkat edilmesidir. Ulaştırma modelinde arz ve talebin birbirlerine eşit olduğu kabul edilir, bu durumda ulaştırma modeli dengelidir. Dengeli bir ulaştırma modelinin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir; (Öztürk A. , 2016)

$$\sum_{j=1}^n b_j = \sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^n X_{ij}) = \sum_{j=1}^n (\sum_{i=1}^m X_{ij}) = \sum_{i=1}^m a_i$$

Oluşturulan tabloda arz ve talep eşit değilse mevcut problemin çözülebilmesi için kukla arz veya kukla talep eklenerek eşitlik sağlanmalıdır.

- Eğer tablo içerisinde toplam arz fazla ise dengeye gelmesi için;

$(\sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j)$  kadar oluşan arz fazlası için kukla tüketim noktası fazladan bir sütun olarak tabloya eklenir. Eklenen kukla tüketim noktasına gerçekten ürün gönderilmeyeceği için ürün maliyetleri sıfır kabul edilir.

- Tam tersi durum olan talep fazlasını inceleyecek olursak;

$(\sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i)$  kadar oluşan talep fazlası için kukla üretim noktası tabloya fazladan bir satır olarak eklenir, tüketim noktası gerçekten üretim noktasından ürün alamayacağı için bu satırda yer alan ürünlerin maliyetleri sıfır kabul edilir.

Bir ulaştırma problemi çözlürken çözüm aşamasındaki dolu hücrelerin sayısı tabloda yer alan satır ve sütun sayısının toplamının bir eksiğine eşit olmalıdır, Şayet bu kurala bir çözüm söz konusuysa bozulma olarak adlandırılmaktadır. (Öztürk A. , 2016)

Tablo bu şartı sağlamıyorsa düzenlemelerle gözele dağıtım işlemi yeniden gerçekleştirilmelidir, çözüm aşamasında bir yerden sonra çözüm tabloları tekrarlanır ya da optimal çözüme kavuşmadan evvel sonuçlar defalarca tekrar eder, buna bozulma denmektedir. Bozulma matematiksel hata veyahut problemin türünden kaynaklı olabilir. Bu durumda işlemler yeniden incelenerek



hatanın düzeltilmesi yoluna gidilir, Eğer problem türünden kaynaklıysa hata problemin ilk aşamasında oluşan tabloda  $m+n-1$  kuralına uymamasından kaynaklıdır, Hata  $m+n-1$ 'den büyük ya da küçük olduğu iki durumda meydana gelir. (Kabak, 2000)

Kullanılan hücreler  $m+n-1$ 'den büyük olduğu durumda problem başlangıcında oluşturulan tabloda görülebilir, ilk aşamada çözümün yanlış kurulmasından kaynaklıdır, bu durumda optimal çözümün bulunması imkansızdır, kullanılan hücre eşit ya da daha az olacak şekilde tablonun baştan oluşturulması gereklidir.

Kullanılan hücrenin  $m+n-1$ 'den küçük olması durumunda ise hücre sayısı yetersiz kalmaktadır, bozulma yaşanır, ya dağıtım planında ya da çözümün başka bir aşamasında karşıya çıkabilir, hücreyi doldurma ihtiyacı söz konusudur, hücre C ile ifade edilecek olan sıfırdan farklı ama kısıtları değiştirmeyecek bir değer ile doldurulur.

Ulaştırma problemlerinde çözüm için doğrusal programlama sorunlarında uygulanan simpleks kullanıldığı takdirde  $m+n-1$  koşulunun sağlanmasına gerek yoktur.

Ulaştırma problemlerinde yöntemi kolaylaştırmak adına kavramlar ve çözüm aşamaları oluşturulmuştur, (Kabak, 2000)

- Kavramlar (Kabak, 2000)

Çözüm, Ulaştırma modelinde arz ve talep kısıtlarını sağlayan herhangi bir  $X_{ij} = X_{11}, X_{12}, \dots, \dots, X_{mn}$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) vektörünü ifade eder.

Kabul edilebilir çözüm, çözüm aşamasında problem arz ve talep kısıtlarının yanında pozitiflik şartının da sağlanmış olmasını ifade eder.

Temel kabul edilebilir çözüm, Eğer kabul edilebilir çözümdeki temel değişkenlerin (değer alan karar değişkenlerinin) sayısının arz ve talep kısıtlarının toplamından bir eksik göze ( $M + N - 1$ ) kullanıldığına ifadesidir. En iyi çözüm ise, temel kabul edilebilir çözümler arasında amaç fonksiyonunu optimalleştiren çözümü ifade eder.

- Çözüm aşamaları (Doğan, 1995)

İlk adım olarak ulaştırma tablosu oluşturulmalıdır ve probleme ait arz ve talep verileri başlangıç tablosuna işlenmelidir.

Optimal çözümün elde edilebilmesi için belirlenen başlangıç çözüm yöntemi kurallarına göre satır ve sütun gereklerini birer şart sayarak gerekli dağıtım işlemi yapılmalıdır.

Program işletilir ve başlangıç çözümü elde edilir.

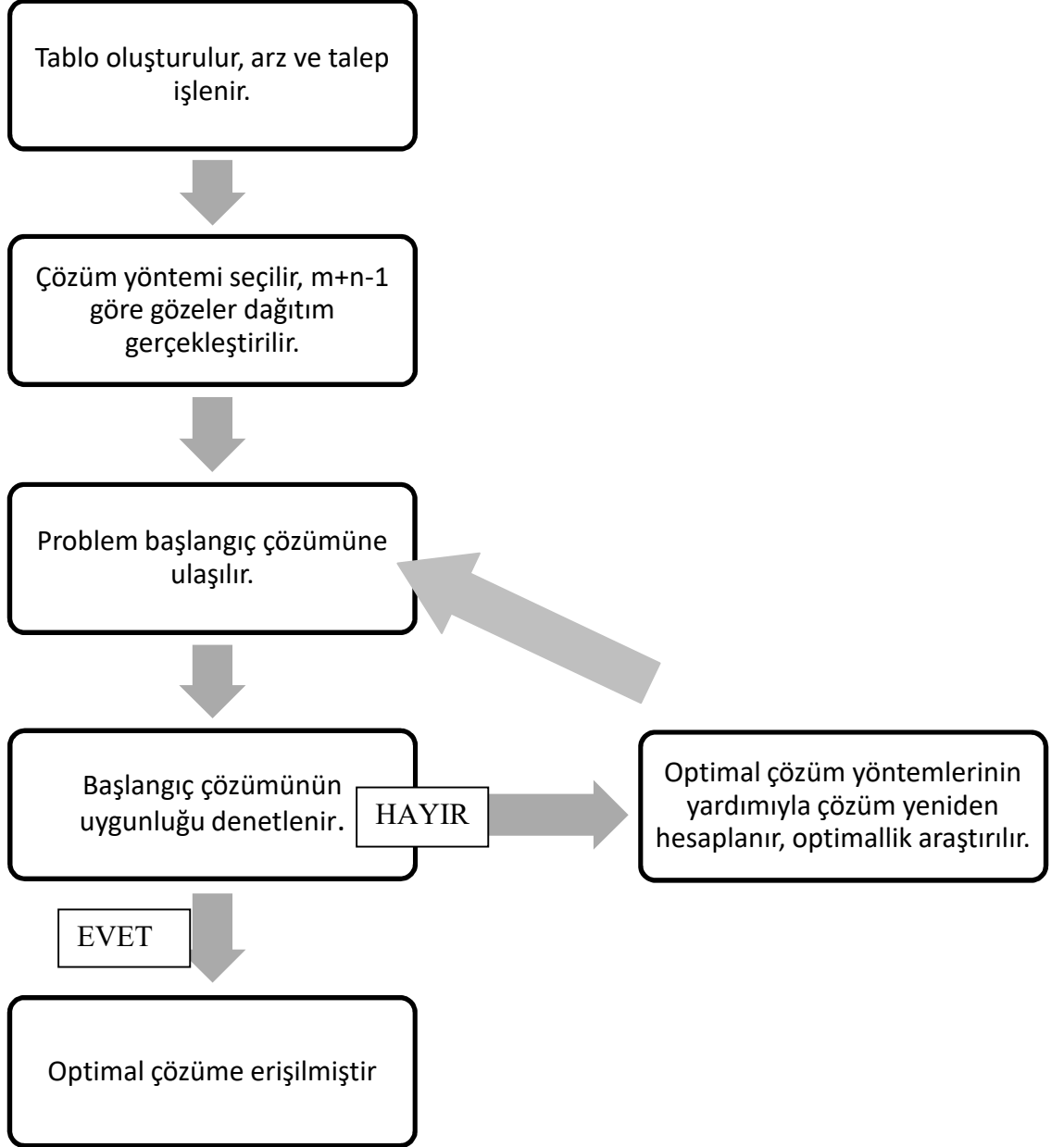
Üçüncü adımda elde edilen çözümün optimal olup olmadığı kontrol edilir. Temel olmayan değişkenler arasından temel değişken olarak girecek değişken belirlenir.

Çözüm optimal değilse optimal çözüm yöntemleriyle model geliştirilir yani temel değişkenler arasında çözümü bırakılacak olan değişkenler belirlenerek yeni temel çözüm bulunur.

Üçüncü ve dördüncü adımlar optimal çözüm bulununcaya dek tekrarlanır.

## 2.4. Ulaştırma Modelinin Çözüm Aşamaları

Şekil 2 Ulaştırma Modelinin Çözüm Aşamaları



## 2.5. Ulaştırma Modelinin Başlangıç Çözüm Yöntemleri

Ulaştırma problemleri uygulanırken, modelde  $m \times n$  değişken olmalıdır,  $m \times n$  kadar değişken uygulanması harcanan zamanı ve maliyetleri arttırmaktadır, bu sebeptendir ki ulaştırma probleminin çözümü için daha verimli yöntemler keşfedilmiştir. (Hallaç, 1978) Optimal çözümler için uygulanabilecek başlangıç yöntemlerinden bazıları;

1. Kuzeybatı Köşe Yöntemi (Nort-West Corner Rule)
2. En Az Maliyetli Hücreler Yöntemi
3. Vogel Yaklaşımı (VAM)
4. Russell Yaklaşımı (RAM)

## 2.6. Kuzeybatı Köşe Çözüm Yöntemi

Yöntem Danzig tarafından önerilmiş, Charnes ve Cooper tarafından geliştirilmiştir. (Kabak, 2000)

Çözüm aşamaları (Winston, 2004)

- İlk aşamada Ulaştırma tablosunun sol üst köşesinde yer alan  $X_{11}$  gözesinde arz ve talep'in en az olanları yerleştirilir.
- $X_{11}$  gözesinde arz talebi karşılamıyor ise ( $X_{11} = a_1$ ) ilk sütunda aşağıya geçilerek karşılaşılan gözeye arz ve talep kısıtları içindeki en az miktar işlenir.
- $X_{11}$  'e işlenen talep miktarı karşılanmış ve arz miktarı karşılanamamış ise ( $X_{11} = b_1$ ) birinci sütun çıkarılarak, birinci satırda sağa geçilerek karşılaşılan gözede arz ve talep'in en az miktarı işlenir,
- $X_{11}$  'e işlenen miktarla birinci arz noktasının arz miktarı kullanıldığında birinci talep noktasının talep ihtiyacı karşılanıyorsa ( $X_{11} = a_1 = b_1$ ) birinci satır ve sütun işleminden çıkartılır, İşlem yapılan sağ aşağısındaki gözede işleme sürdürülür.

Bu yöntem uygulaması kolay bir yöntemdir, ancak sonuçları en iyiye yakın değildir (Kabak, 2000)

## **2.7. En Az Maliyetli Hücreler Yöntemi**

Bu yöntemde üç ayrı yaklaşım söz konusudur;

### **2.7.1. Satır Yaklaşımı**

Ulaştırma tablosunda en baştaki satırın en az maliyete sahip gözesine arz ve talep miktarları içinden en az miktar gözeye işlenir, bu işlemle talep karşılanıyor, ancak arzın tamamı kullanılamıyorsa aynı satır üzerinde ikinci en az maliyete sahip arz ve talep miktarlarına dikkat edilmesi koşulu ile işlenir, Arz miktarı sonlanana kadar bu işlem tekrarlanır ve arz miktarı sonlandığında alt satıra devam edilir.

### **2.7.2. Sütun Yaklaşımı**

Ulaştırma tablosunda yer alan ilk sütunun en az maliyetli gözesine arz ve talep miktarları incelenerek en az miktar işlenir, bu işlem sonrası talep karşılanmıyor ise ikinci en az maliyetli gözede arz ve talep miktarlarına dikkat edilmesi koşulu ile işlenir, Talep miktarı karşılanıyor ise sağdaki sütunlarda işlemler tekrar edilir.

### **2.7.3. Genel Yaklaşım**

Tabloda seçilecek olan en az maliyetli göze, tüm tablo dikkate alınarak tercihte bulunulur, En az maliyet ve arz ve talep'in en maksimumu işlenir, Sonrasında tabloda sırası ile düşük maliyetli gözelere arz ve talep miktarları göz önüne alınarak işleme yapılır.

## **2.8. Vogel Yaklaşımı (VAM)**

Bu yöntemde başlangıç çözümlerine en düşük maliyetli hücreler yöntemi ya da kuzeybatı köşe yöntemindeki kadar hızlı ulaşmak mümkün değildir, Sonuçlara göre kıyaslayacak olursak çözümü en iyiye yakın olandır (Kabak, 2000)

VAM yöntemi uygulanırsa izlenen aşamalar (Winston, 2004) (Kara, 1991);

- Ulaştırma tablosunun bütün satır ve sütunları için ayrı ayrı en az maliyetli iki hücre belirlenir.
- Küçük olan hücrenin maliyeti büyük olan hücrenin maliyetinden çıkarılır, Bütün satır ve sütunlar için hesaplanır, tabloya eklenecek olan

satır ve sütunlara işlenir, bu işlenen değerlere pişmanlık (ceza) değeri denir.

- Eklenen satır ve sütunlardaki en büyük ceza değerleri seçilir, Bu ceza değerlerinin karşısında yer alan satır ya da sütunda bulunan en az maliyetli hücreye arz ve talep kısıtları içinden en az miktar kadar dağıtım gerçekleştirilir, Talebi giderilen sütun veya arzı biten satır tablo içerisinden çıkartılır.
- Kalan sütun ve satırlar için sırasıyla aynı aşamalardan geçirilir, sütun ve satır sayısı bir olana kadar devam edilir, Son sütun ya da satırda en az maliyetli hücreden başlayarak dağıtım gerçekleştirilir ve başlangıç çözümüne ulaşılır. Ceza değeri satır ve sütunlarda hesaplanırken birden fazla en büyük ceza değerine rastlanabilir, Böyle bir durumla karşılaşıldığında çözüme hızlı ulaşılabilmesi için (Kabak, 2000); İlk olarak en fazla ceza değerine aynı anda bir satır ve sütunda karşılaşıldıysa ve kesiştiği hücre en az maliyete sahipse dağıtım bu hücreye yapılır. Kesişim hücresi en az maliyete sahip değilse konu olan satır ve sütundan maliyeti en az olan hücreye dağıtım gerçekleştirilir. En büyük ceza birden çok satır ve sütunda mevcutsa satır ya da sütun içerisinden en fazla talep ya da az miktarına sahip olan seçilir.

## 2.9. Russell Yaklaşımı (RAM)

Bu yöntem VAM yöntemi gibi en iyiye yakın sonucu vermektedir. Sonuca ulaşmak için izlenen aşamalar (Doğan, 1995)

- Üzerine çalışılacak olan problem başlangıç tablosuna işlenir, Bütün satır ve sütunlardaki en yüksek maliyet katsayıları belirlenerek tabloda satır ve sütunların maksimumu olduğu belirtilir.
- Yeni maliyet katsayıları için yeni bir tablo hazırlanır, her hücreye ait ilk tabloda yer alan birim maliyetler ilgili sütun ve satırlara ait maksimumlardan çıkartılıp, yeni birim maliyetler olarak işlenir, bu yeni tabloda yer alan en yüksek taşıma maliyetini barındıran hücreye dağıtım gerçekleştirilir.
- İhtiyacı giderilen sütun ve satır tablodan çıkar, yeni tablo işlemi tekrarlanır, satır ve sütun miktarı bire gelinceye denk işlem yinelenir.

## 2.10. Ulaştırma Modelinin Optimal Çözüm Yöntemi

Ulaştırma problemleri çözümlerken Başlangıç çözümleri yapıldıktan sonra çözümün en iyi yöntemin uygulanıp uygulanmadığının kontrol edilmesi gereklidir. Çözüm esnasında  $m+n-1$  hücreye işlem yapıldıysa, çözüm uygun ise işlemler bağımsız ise  $m$  adet talep noktası ve  $n$  adet arz noktası  $m*n$  boyutlu bir problemin en uygun yöntemin bulunması için test uygulanabilir. (AKSOY, 1999)

En iyi yöntemi bulmak için geliştirilmiş teknikler vardır, en uygun çözüm için sonuçta getireceği maliyet için en iyisine ulaştırıp ulaştırmadığı araştırılır, Burada amaç fonksiyonunda iyileştirme için temel olmayan değişkenlerin denetlenmesidir. Böylece temel olmayan değişkenler temel değişkenler olur ve amaç fonksiyonunda yarattığı değişim gözlenir. Temel değişken olacak değişken için başlangıç çözümünde yer almayan hücrelerden yola çıkılır (AKSOY, 1999)

Optimal çözümü bulmak için yapılacak test için iki ayrı yöntem söz konusudur;

- Atlama taşı yöntemi
- MODI Yöntemi

## 2.11. Atlama Taşı Yöntemi

Optimum çözüme kavuşması için, boş hücrelere yapılan dağıtım sonucunda toplam maliyetin nasıl değiştiğini gözlemlemekte kullanılır, Hangi değişkenlerin temel değişken olarak seçileceğini belirlemek adına, boş olan hücrede bir birlik ayrıştırma yapılması durumunda net maliyet değişimi veya test miktarı ( $d_{ij}$ ) hesaplanmış olur, bir diğer deyişle gizli maliyet hesaplanır. Hesaplama üç aşamadan geçer (Ozan, 1992)

- Temele girecek değişkenin belirlenmesi (Optimallik Testi)
- Temelden ayrılacak olan değişkenin belirlenmesi (Kabul edilebilirlik prensibi)
- Optimal çözüme ulaşana değin ardışık işlemlerin tekrarlanması.

Atlama taşı yöntemi ile boş hücrenin işlendiğinde dengede kalması için, bu hücreyi içinde barındıran bir döngü gerçekleştirilir, bu döngünün koşulları ise (Öztürk A. , 1994) (Taha, 1992 ) (Sariaslan & Karacabey, 2017)

- Birbirini izleyen iki eleman aynı sütun ve satırda bulunmalıdır.
- İki'den fazla birbirini izleyen eş eleman eş satır ya da sütunda bulunmamalıdır.
- Birbirini izleyen elemanlardan sonuncusu ilk elemanla eş satır ya da sütunda bulunur.

## 2.12. MODI Yöntemi

Atlama Taşı Yöntemi zahmetli ve uzun sürece sahip olması nedeniyle MODI yöntemi adı verilen basit yöntem geliştirilmiştir. (Karayağın, 1993)

MODI yöntemi bütün hücrelerin değerlendirmesini, problem çözümünden bağımsız olarak kaydeder ve değerlendirmelerin eş zamanlı yapılmasıyla birlikte optimumluğunu ölçmeye olanak sağlayan bir test yöntemidir (Serper, 1974). MODI yöntemi Atlama Taşı Yöntemine çok benzerlik gösteren bir yöntemdir, Aralarındaki fark ise optimal çözümü bulmaya çalışırken bir taşıma maliyeti tahsis derecesi pozitif ve negatif değerler olarak kapalı devreye istinaden bulunur, MODI yönteminde ise boş hücrelerin maliyet tahsis derecesi “gelişme indeksi” isimli bir endeksle bulunur. Bu endeks en uygun çözümü seçmek için kullanılacak temel bilgidir. (Karacabey & Sariaslan, 2003)

- Taşıma problemi tablosu oluşturulur, başlangıç yöntemi seçilir.
- Her bir satır ve sütunun gelişme katsayıları bulunur.
- $i$  arz noktasından  $j$  tüketim noktasına dağıtılacak olan ürünlerin ürün başına taşıma maliyeti  $C_{ij}$  ifade edecek,  $R_i$  satırları  $K_j$  sütunları ifade edecektir,  $K$  ve  $R$  katsayıları mevcutta dolu olan gözelerin değerlerine bağlı olarak,  $R_i + K_j = C_{ij}$  formülü ile gelişim indeksi bulunur. (Karacabey & Sariaslan, 2003) Bütün boş hücreler için tekrarlanan gelişme katsayısı bulma işleminden sonra  $G_i = C_{ij} - R_i - K_j$  gelişim indeksi formülü uygulanır.
- Bulunan gelişim indeksleri içerisinde negatif değerler bulunuyorsa bu boş hücrelere işleme yapılması maliyetleri düşürecektir, Birden çok



negatif değere sahip gelişme indeksi hücre si mevcutsa mutlak değerce en büyük olan hücre tercih edilir.

- İşleme yapılacak olan hücre seçildikten sonra atlama taşı yönteminde olduğu gibi kapalı döngüler oluşturulur, negatif değere sahip hücre en az işlem değerli boş hücreye yerleştirilir.
- Çömün optimum olup olmadığını anlamak için bu aşamaya kadar olan tüm işlemler tekrar edilir (Sarıaslan & Karacabey, 2017)



## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### 3. BULANIK MANTIK

#### 3.1. Bulanık Mantığın Tanımı ve Tarihçesi

Gerçek hayatta karşılaşılan bazı durumlar net ifade edilemeyecek kadar karmaşık bir yapıya sahip olabilirler, bu durumlar matematiksel olarak ifade edilemeyebilir ya da kontrol altına alınamayabilir (Erdoğan, 2003). Bulanıklık; bir kavram ya da amacın ifadesindeki belirsizliğe, kesin olmama durumuna verilen isimdir (Gülcan, 2012). Bu belirsiz durumların klasik mantık dışına çıkarak matematiksel olarak ifade edilebilmesi için kullanılan modele “Bulanık Mantık” denir.

Bulanık mantığın tarihsel gelişimi ele alınırken klasik mantığın ortaya çıktığı zaman itibariyle ele alınmalıdır, Eski dönem, modern dönem ve bulanık mantığı şeklinde üç ayrı dönem olarak incelemek doğru olacaktır. Bu mantığın düşünsel temellerini Üstad Mo, Platon, Sokrates, Aristoteles, Parmenides, Elalı Zenon gibi düşünürler atmıştır. Konfüçyüs ve Mohist akım okulu kurucusu olduğu kabul edilen Üstad Mo doğru muhakeme ile doğru sonuç çıkarımı için kurallar oluşturulması üzerine çalışmışlardır, bahsedilen çalışmaların tarihinin M.Ö 4. Yüzyıla kadar dayandığı düşünülmektedir. Sokrates kavram konusunu ilk kez ele almış ve tümevarım mantığının sisteminin temellerini oluşturmuştur, Platon ise tümevarım teknikleri ile bir ile varlığın kavramının oluşturulamayacağını savunmuştur ve gerçekliğin duyusal ve deneysel evren ardında yer alan idealar dünyası olduğunu söylemiştir. Modern dönemde hakim olan mantık kavramının temellerine önemli katkılarda bulunan isimlerden bazıları, Albertus Magnus (1193-1280), Francis Bacon (1561-1626), Immanuel Kant (1724-1804)’dır.

Bulanıklık kavramı Amerikalı filozof olan Black tarafından ilk kez kullanılmıştır. Ardından bilim insanlarının çalışmaları sonucu 20. yüzyılın ikinci yarısında Bulanık Mantık kavramı konuşulmuştur, bulanık kümelerle tanımlanmıştır.

Teorinin tanımına ilk olarak 1965 yılında Azeri bilim insanı Lofti A. Zadeh yayınladığı bir makalede yer vermiştir. Zadeh bu makalesinde insan zihninin

büyük bir kısmının bulanık olduğuna değinmiş ve bulanık mantık yöntemiyle kontrol edildiğinde bulanık mantığın, klasik mantığa göre çok daha iyi performans gösterdiğini savunmuştur. (Zadeh, 1965) 1972 yılında Sugeno bulanık mantığa yeni bir bakış açısı getirerek bulanık integral ve bulanık ölçüm kavramlarını ortaya koymuştur (Sugeno, 1972). Mamdani ise 1974 yılında bir buhar makinesinin kontrol evresinde bulanık mantığı uygulama olarak kullanmıştır (Mamdani, 1974) Zimmerman bulanık optimizasyonun temellerini yaptığı çalışmalarla atmıştır (Zimmermann, 1991 ). Tokyo Borsasında “Kara Pazar” olarak bilinen 1988 yılında yaşanan krizi Yamaichi Securities’in geliştirdiği temeli bulanık mantığa dayanan sistem tam olarak 18 gün evvel haberdar etmiştir. Gayet iyi sonuçlar veren bu çalışmalar akabinde bulanık mantık popülerlik kazanmıştır, IBM, Matsuhita, Omron, Thomson, SGS, Toshiba gibi bilinen markaların olduğu firmalar 1989 yılında Laboratory for Interchange Fuzzy Engineering (LIFE) adlı laboratuvarlarını kurulmuştur, önemli teknolojik gelişiminde bulanık mantık kullanılmıştır.

### **3.2. Bulanık Mantığın Temel İlkeleri**

Bir şeyi ifade ederken ya da açıklarken kullanılan kavramlar genel anlamda bulanık bir yapıdadır. Bu kavramlar sözel ya da sayısal ifadelerdir ve bulanıklık içerirler. Bunlara örnek olarak bir şeyi anlatırken az, biraz, çok, fazla olarak ifade edebiliriz, kesinlik ifade etmeyen bu söylemler insanın zihninde kesin olmayan ve belirsizlik içeren durumlara örnek gösterilebilir. Örneğin kişinin kilo durumu için çok zayıf, zayıf, kilolu, çok kilolu ifadeleri bulanık ve kesin olmayan söylemlerdir. Bulanık mantığın sonucudur. Bulanık mantıkta keskin ifadelerin tanımlaması mümkün olunan değerlerin yanı sıra ara değerlerle de tanımlama yapmak mümkündür.. Bulanık mantık dar ve geniş anlamda incelenebilir, Dar anlamda klasik iki değerli mantığın genele vurulmuş durumunu ifade eder, Geniş anlamda ise bulanık küme kullanılan bütün teori ve teknolojiyi kapsar.

Zadeh’e göre bulanık mantığın ilkeleri (Keskenler & Keskenler, 2017);

- Kesin değerler yerine yaklaşık değerler bulanık mantıkta kullanılır.

- Bulanık mantıkta bütün değerler [0-1] arasında üyelik derecesi ile ifade edilmektedir.
- Bütün mantıksal ifadelerin bulanık ifadeye dönüşmesi mümkündür.
- Bilgi çok az, az, çok, çok fazla gibi sözel ifadelerle tanımlanır.
- Matematiksel modeli kurulan sistemlerin çok karmaşık ve zor olması durumunda bulanık mantık uygun bir yöntem olarak kullanılabilir.

### 3.3. Bulanık Küme

Elemanları [0-1] arası farklı üyelik derecelerine sahip olabilen kümelere Bulanık Küme denir. Bulanık küme kuramının, klasik küme kuramından farkı elemanlara kümeye kısmı üyelik olanağı sağlamasıdır. Bulanık kümeler, klasik kümeleri kapsar, yani klasik küme bulanık kümenin alt kümesidir. İkili mantık kuramı der ki; bir eleman bir kümeye aittir ya da değildir, kümeye aitse 1 değerini, değilse 0 değerini alır. Bulanık kümedeyse böyle bir kesinlik yoktur. Bu durumda klasik mantıkta üçüncünün olmazlığı ve çelişmezlik ilkesi bulanık mantıkta geçerli değildir, Bulanık kümeler birleşme, kesişme evrik olma özelliği taşırlar. Üyelik değerleri nesnenin bulanık kümeye aitlik derecesini ifade etmektedir. Bulanık kümede nesnenin küme üyeliği, karakteristik fonksiyonu ile değil üyelik fonksiyonu ile ifade edilir.

### 3.4. Üyelik Fonksiyonları

Üyelik fonksiyonu bulanık kümede bu kümenin üyesi olan elemanların üyelik derecesini belirleyen fonksiyondur. Bulanık kümeyi grafikletirmeyi sağlayan şey üyelik fonksiyonudur. Grafikte X eksen, girdi evreni, Y eksen [0,1] aralığındaki üyelik derecesini ifade eder. Çoğunlukla  $\mu_A$  ile ifade edilen üyelik fonksiyonunda  $\mu_A(x)$  değeri x ögesinin üyelik derecesini ifade eder (Omar, Waveru, & Rimuru, 2015)

Klasik Mantıkta Üyelik Fonksiyonu;

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1; & x \in A \\ 0; & x \notin A \end{cases}$$

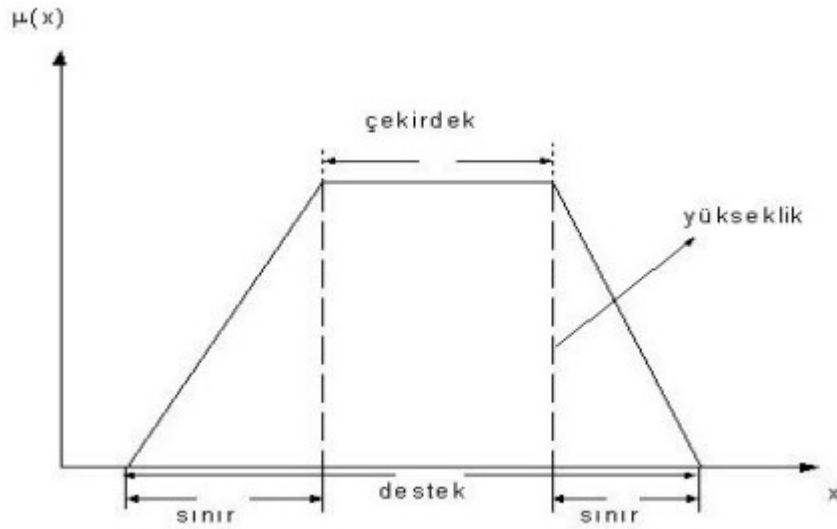
Bulanık Mantıkta Üyelik Fonksiyonu

$$\mu_A(x) = E [0,1]$$

### Bulanık Mantıkta Üyelik Fonksiyonun Bölümleri

- Çekirdek: Bu bölgede, üyelik fonksiyonu 1 değerini alır. Kümenin tam üyelik derecesine sahip elemanlarından ulaşmaktadır (Anderson ve diğerleri, 2016).  $\mu_A(x)=1$
- Destek: Üyelik fonksiyonu 0'dan büyük olduğu kısımdır.  $\mu_A(x) > 0$
- Sınır: Kümenin 0 ve 1 derecelerine sahip olmayan kısmi üye derecesine sahip olan elemanların bulunduğu kısımdır (Sivanandam, Sumathi, & Deeha, 2007).  $0 < \mu_A(x) < 1$
- Yükseklik: Kümenin en büyük üyelik derecesi kümenin yüksekliğidir (Anderson ve diğerleri, 2016).  $\max [\mu_A(x)]$

**Şekil 3** Bir Üyelik Fonksiyonun Bölümleri



**Kaynak:** (Ross, 2004)

Pratikte ve literatürde yaygın kullanılan üyelik fonksiyonları (Şen, 2004 );

- Üçgen Üyelik Fonksiyonu
- Yamuk Üyelik Fonksiyonu
- Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonu
- Gaussian Üyelik Fonksiyonu
- Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu

### 3.5. Bulanık Sayılar

Gerçek sayılar kümesi olan  $R$ 'de tanımlı  $\tilde{A}$  bulanık kümesi, bazı koşulları sağladığında bulanık sayı olabilmektedir (Özkan, Bulanık Hedef Programlama, 2003) Bunlar;

- Normal ve dışbükey bir üyelik fonksiyonuna sahip olursa,
- Destek kümesi sınırlı ise ( $\alpha \in (0,1]$ )
- Her bir  $\alpha$ -kesim kümesi gerçek sayı doğrusunun kapalı bir aralığında tanımlı olmalıdır.

Bulanık sayı bulanık kümelerin özer bir durumudur, bu yüzden bulanık kümelerde olduğu gibi üyelik fonksiyonuyla tanımlanırlar. Bu sebeptendir ki literatürde bulanık sayı çeşididir üyelik fonksiyonu tipi kadardır (Baykal & Beyan, 2004)

### 3.6. Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemler

Bulanık sayılarda uygulamada en çok tercih edilen üçgen bulanık sayılar aritmetik işlemleri iki pozitif bulanık sayı  $A$  ve  $B$ ,  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$  ve  $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$  olduğu durumda Tablo 12'deki gibidir.

**Tablo 12** Üçgen Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemler

Toplama ( $\tilde{A} \oplus \tilde{B}$ )	$(a_1, a_2, a_3) + (b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3)$
Çıkarma ( $\tilde{A} - \tilde{B}$ )	$(a_1, a_2, a_3) - (b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1)$
Çarpım ( $\tilde{A} \otimes B$ )	$(a_1, a_2, a_3) \otimes (b_1, b_2, b_3) = (a_1 * b_1, a_2 * b_2, a_3 * b_3)$
Sayı ile çarpım ( $\tilde{A} \otimes k$ )	$(a_1, a_2, a_3) \otimes (k) = (a_1 * k, a_2 * k, a_3 * k)$
Bölme işlemi ( $\tilde{A} \div \tilde{B}$ )	$(a_1, a_2, a_3) \div (b_1, b_2, b_3) = (a_1 / b_3, a_2 / b_2, a_3 / b_1)$
Ters işlem ( $\tilde{A}^{-1}$ )	$(a_1, a_2, a_3)^{-1} \approx (1 / a_3, 1 / a_2, 1 / a_1)$

### 3.7. Bulanık Mantığın Avantajları ve Dezavantajları

Bulanık mantığın klasik mantığa kıyasla (Elmas, 2003);

- Denetim işlemlerinin dilsel değişkenlere bağlı ifade ediliyor olması,
- Matematiksel olarak modellenmesi mümkün olmayan veya zor olan, dinamik ve doğrusal olmayan sistemlerde bulanık mantıkta matematiksel modele gerek duyulmadığından başarılı sonuçlar vermesi,
- Belirsiz ve eksik verilerle işlem yapılabilmesi,
- Geniş kapsamlı verilerin kullanıldığı uygulamada az sayıda üyelik fonksiyonu ile hızlı sonuca ulaşılabilmesi,

- İnsanın düşünüş sistemini aktaran en uygun yaklaşım oluşu sayısal olarak klasik yaklaşımlardan daha üstün olması, avantajları içindedir.
- Sistemlerin gözlenebilirlik, denetlenebilirlik, kararlılık analizleri yapılırken evrensel bir yönteminin olmaması, uygulama için bulanık çıkarım kurallarını tanımlayabilmek için uzman görüşü ve deneyimlerine ihtiyaç duyulması,
- Üyelik fonksiyonları belirlenirken mutlak sonuçlu bir yöntemin olmaması nedeniyle deneme yanılma yöntemi kullanılması ve yöntemiz uzun zaman alması,
- Üyelik fonksiyonları oluşturulan sisteme özel olduğu için başka sisteme uyarlanmasının zor olması, dezavantajları içindedir.

### 3.8. Bulanık Ortamda Karar Verme

Hedefe ulaşabilmek için imkânı olan farklı fiillerden en uygun olanının seçilmesi, karar vermektir. Karar verme sürecinde bir ya da birden fazla faaliyet strateji, amaca yönelik tercih edilebilir. Bulanık ortamda karar verme; Karar verici, Amaç, Karar kriterleri, Seçenekler, Olaylar, Sonuçlardan oluşmaktadır. Amaç ve karar kriteri bulanık hedef olarak kabul edilmektedir. Olayları özelleştiren kısıtlamaların parametreleri ve/veya sağ taraf sabitleri bulanık hale getirilebilir. Bazı toleranslar  $\geq$ ,  $=$ ,  $\leq$  ilişkilerinde kısıtlamalara eklenebilir. Bu bileşen kısıtlayıcı olarak kabul edilir” (Özkan, Bulanık Hedef Programlama, 2003)

### 3.9. Bulanık Karar ve Optimal Karar

Bulanık hedef ve kısıtlayıcıların bir alt kümesi olan bulanık karar, bulanık kısıtlayıcıların doyumluk derecesi ve aynı zamanda karşıya çıkan bulanık hedef performansını ortaya koyar.  $\tilde{G}$  hedefine ulaşma ve  $\tilde{C}$  kısıtlayıcısını doyurma şeklinde ifade edilen kurala göre belirlenen bulanık karar kümesi matematiksel olarak  $\tilde{D}=\tilde{G}\cap\tilde{C}$  belirlenir (Özkan, Bulanık Hedef Programlama, 2003). Optimal karar içinse en büyük üyelik derecesine sahip bulanık karar seçilir (Tuş, 2006).



### 3.10. Bulanık Doğrusal Programlama Modeli ve Uygulama Alanları

Bulanık mantık ve doğrusal programlamanın bir birleşimi olan bulanık doğrusal programlama, klasik doğrusal programlamanın geniş çerçevesidir. Değişken ve kısıtlayıcılara bağlı olarak klasik doğrusal programlama amaç fonksiyonunu max. veya min.(en uygun) yapmaya çalışmaktadır, fakat gerçek koşullar altında kısıt ve amaç fonksiyonları klasik doğrusal programlamanın aksine kesin olarak belirlenmemektedir. Bulanık doğrusal programlama 1978 yılında Zimmermann tarafından ortaya atılmıştır ve doğrusal programlama yöntemlerinin uygulanabildiği problemlerde karar sürecinde karşılaşılan belirsizliklerin modele dahil edilmesini hedeflemiştir (B.K.Hansen, 1996). Bulanık doğrusal programlamada klasik doğrusal programlamadan farklı olarak parametre veya kısıtlamalarda bulanık simgesi “~” yer alır (Erdaş & Demir, 2016). Personel yönetimi, üretim, bankacılık, finans, tarımsal ekonomi gibi alanlardaki problemleri çözmek için bulanık doğrusal programlama uygulanabilmektedir.

Bulanık doğrusal programlama problemlerinin en yaygın gösterimi;

$$\text{Amaç Fonksiyonu- } Max Z = \sum_{j=1}^n c_j \cdot \tilde{x}_j$$

$$\text{Kısıtlar: } \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \cdot \tilde{x}_j (\leq, =, \geq) \tilde{b}_i \quad i=1,2,\dots,m$$

$$\text{Negatif olmama kısıtı: } \tilde{x}_j \geq 0 \quad j=1,2,\dots,n$$

### 3.11. Bulanık Doğrusal Programlama Modelleri

#### 3.11.1. Zimmermann Yaklaşımı

Bulanık doğrusal programlama modeli ilk defa Zimmermann kullanmıştır, Zimmermann'a göre karar vericiden elde edilen bulanık bir erişim düzeyiyle bulanık bir kısıtlayıcı bulanık amaç fonksiyonunu ifade eder, bu durumda ortaya çıkan model simetriktir (Wang, 1997). Yine Zimmermann, Hem amaç hem de kısıt direkt karar verici tarafından bulanık olarak tanımlandığını belirtmektedir, bu yüzden bulanık karar kümesi belirlenirken bulanık amaç ve kısıtlayıcılar birbirlerinden farksız olarak değerlendirilir (Kaymak ve Sousa, 2001). Zimmermann karar vericinin hedeflemiş olduğu amaç fonksiyonu değeri

için, Z istek seviyesi kurulmasının mümkün olduğunu ve kısıtların bir bulanık küme olarak ayrı ayrı modellenebileceğini söylemiştir (Zimmermann, 1991 ).

Zimmermann'ın önerdiği model genel gösterimi ise;

$$c^T .x \gtrsim b_0$$

$$(Ax)_i \lesssim b_i \forall i \text{ için,}$$

$$x \geq 0$$

Modelde bulunan  $\gtrsim$  ve  $\lesssim$  bulanık eşitsizlikleri,  $Ax$  ifadesi  $b$  civarında ya da daha az bir değeri  $c^T .x$  ifadesi ise  $b_0$  civarında veya daha fazla bir değeri taşıdığını ifade eder (Özkan, Bulanık Hedef Programlama, 2003). Bulanık amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcıların parçalı doğrusal fonksiyonları sırası ile ;

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1; & \text{eğer } c^T x > Z^1 \\ 1 - \frac{Z^1 - c^T x}{Z^1 - Z^0}; & \text{eğer } Z^0 \leq c^T x \leq Z^1 \\ 0; & \text{eğer } c^T x < Z^0 \end{cases}$$

$$\mu_{i1}(x) = \begin{cases} 1; & \text{eğer } (Ax)_i < b_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i}; & \text{eğer } b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \text{ ise} \\ 0; & \text{eğer } (Ax)_i > b_i + p_i \text{ ise} \end{cases}$$

$\lambda$  simetrik bulanık doğrusal programlama modellerinde ek bir değişken olarak kullanıldığında, bulanık amaç ve kısıtlayıcıların üyelik fonksiyonları değiştirilerek formları değişir;

$$\text{Max } \lambda$$

Kısıtlayıcılar:

$$c^T .x \geq b_0 - (1 - \lambda)p_0$$

$$(Ax)_i \leq b_i + (1 - \lambda)p_i$$

$$x_i \geq 0$$

### 3.11.2. Werners Yaklaşımı

Werners 1987 yılında bu yaklaşım için sağ taraftaki sabitlerin bulanık olması sebebiyle amaç fonksiyonunu bulanıklaştıracağını söylemiştir. Werners'e göre önce sağ tarafı sabit bulanık olan bulanık doğrusal programlama modelinin sonrasında amaç fonksiyonu bulanıklaştırılmalıdır. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda Werners Modeli simetrik bir modeldir, Orlovski'nin önermiş olduğu bulanık karar kümesi, Werners amaç fonksiyonunda üyelik fonksiyonunu belirlemek için kullanılır. Yine Orlovski bulanık kısıtlayıcılardan oluşan tanım kümesinin her bir  $\alpha$ -kesim kümesi için amaç fonksiyonuna ait optimal değerleri bularak, bu optimal değerlerle eşit üyelik dereceli çözüm uzayında  $\alpha$ -kesim kümesini bulanık karar kümesi olarak kabul etmeyi önermektedir. Werners bulanık doğrusal programla yaklaşımına göre model;

$$\text{Max } Z=c^T x$$

Kısıtlayıcılar

$$(Ax) \lesseqgtr b_i \quad i=1,2,\dots,m$$

$$x_i \geq 0$$

Optimal değer  $Z_0$  ve  $Z_1$  aralığında bulunacağından, bu aralıkta yer alan amaç fonksiyonu için yazılan üyelik fonksiyonu da sürekli artan doğrusal fonksiyon olacaktır. Amaç fonksiyonu ve Bulanık kısıtlamaların üyelik fonksiyonu gösterilecek olursa;

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1 & ; \text{eğer} \quad c^T x > Z^1 \text{ ise} \\ 1 - \frac{Z^1 - c^T x}{Z^1 - Z^0} & ; \text{eğer} \quad Z^0 \leq c^T x \leq Z^1 \text{ ise} \\ 0 & ; \text{eğer} \quad c^T x < Z^0 \text{ ise} \end{cases}$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & ;\text{eğer } (Ax)_i < b_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i} & ;\text{eğer } b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \text{ ise} \\ 0 & ;\text{eğer } (Ax)_i > b_i + p_i \text{ ise} \end{cases}$$

Optimal karar belirlenirken max (min) işlemcisi kullanıldığı için Werners'in yöntemi simetriktir. Bulanık doğrusal programlama modelinde amaç fonksiyonu ve kısıtların doymu beraber sağlanır. Optimal karara ulaşmak için Bellman ve Zadeh'in önerdiği min. işlemcisi kullanılır ve  $\mu_D$  üyelik fonksiyonu ile bulunan  $\tilde{D}$  karar alanı elde edilir;

$$\mu_D = \min (\mu_0, \mu_1 \dots \mu_m)$$

Werners modeli kolaylıkla klasik doğrusal programlama modeline dönüştürülebilir,  $\mu_D$  eşitliğinde optimal çözümün maksimumu karar olarak seçilmesi durumunda eşitlik şu şekilde olacaktır;

$$\text{Max } \lambda$$

$$\mu_0 \geq \lambda$$

$$\mu_i \geq \lambda$$

$$\lambda \in [0,1], \mu_0 \in [0,1], \mu_i \in [0,1], \forall i \text{ için } x \geq 0$$

### 3.11.3. Diğer Yaklaşımlar

Optimal karara ulaşmak için bulanık amaç fonksiyonu ve bulanık kısıtların birlikte sağlanması gerektiğine daha önce değinilmiştir, Bunun için Zadeh ve Bellman tarafından önerildiği gibi min işlemcisi kullanıldığı takdirde;

$$\mu_{\text{Karar}}:$$

$$\mu_{\text{Karar}} = \lambda = \min (\mu_{\text{Amaç}}, \mu_{\text{Kısıt}}) \text{ olur.}$$

$\mu_{\text{Karar}}$  artan bir üyelik fonksiyonunu tanımlamaktadır, klasik doğrusal programlama modeli ile aynı zamanda amaç fonksiyonu ve kısıtlamaları sağlayan üyelik derecelerinin ( $\lambda$ ) maksimize edilmesiyle bulunabilir.

$$\mu_{\text{Amaç}(X)} \geq \lambda$$

$$\mu_{\text{Kısıt}(X)} \geq \lambda$$

$$x \geq 0, \lambda \in [0,1]$$

Chanas'ın bulanık amaç ve kısıtlayıcı doğrusal programlama modeline getirdiği yeni bakış açısı ile karar vericinin hedef seviyesinin bir bilgi edinilmeden belirlenmesini gerçek dışı olduğu ortaya konmuştur. Chanas'ın görüşü Zimmermann ile burada ayrılmaktadır, Chanas simetrik olan bulanık doğrusal programlama problemlerinin çözümü için parametrik programlamayı temel kabul etmiştir (Kaya, 2007)

Vergeday yaklaşımında ise, betimleme teoremi ve parametrik programlamadan faydalanılarak, bulanık kısıtlayıcı doğrusal programlama modelinin çözümüne ulaşılır, Bulanık kısıtlayıcı bir doğrusal programlama modelinde bulanık çözüme ulaşılabilmesi için, bulanık kısıtlayıcının  $\alpha$ -kesim kümelerine ayrılması gereklidir. Parametrik programla ile hesaplanan çözümlerden hangisinin bulanık doğrusal programlama çözümü için seçileceği bütünüyle karar vericiye aittir (Özkan, Bulanık Hedef Programlama, 2003)

Carlsson&Korhonen'de bulanık parametrelili doğrusal programlama modelleri üzerine çalışmıştır. Carlsson&Korhonen bakış açısına göre amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcılarda görülen değişimler parametrik programlama ile analiz edilmelidir (Oliver & Tirantis, 1998). Carlsson&Korhonen, Chanas'ın yaklaşımında kısıt ihlal dereceleri arasındaki ödünleşmenin göz önüne alınmamasını eleştirmiş ve tam ödünleşme yaklaşımını savunmuştur (Paksoy, 2002).

Wang ve Liang amaç kısıtlar ve tüm katsayıların bulanıklaştırılması gerektiğini bu durumda doğrusal programlama problemlerinin çözümlenebileceğini savunmuşlardır (Wang ve Liang, 2004).

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### 4. Türkiye Çimento Sektörü Ulaştırma Problemine Bulanık Doğrusal Programlama Uygulaması

#### 4.1. Türkiye Çimento Sektörü için Ulaştırma Probleminin Matematiksel İfadesi

Bu bölümde öncelikle araştırmanın amacı, önemi, sınırlılıkları ve veri toplama sürecine kısaca değinilmiş, sonra oluşturulan modelde kullanılan değişkenler ve bunlara ilişkin veriler tablolar halinde sunulmuştur. Daha sonra da araştırmaya ilişkin model belirlenmiş ve model kapsamında elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Araştırmada, bulanık doğrusal programlama modeli kapsamında Türkiye Çimento Sektörü'nde faaliyet gösteren fabrikalarda üretilen çimentonun talep noktalarına optimal dağıtım problemi ele alınmıştır. Ulaştırma modeli oluşturulurken her bir bölgenin coğrafi olarak bir şehri merkez alınarak arz ve talep noktaları coğrafi bölgeler olarak tespit edilmiştir. Marmara Bölgesi-İstanbul, Ege Bölgesi-İzmir, Akdeniz Bölgesi-Antalya, İç Anadolu Bölgesi-Ankara, Karadeniz Bölgesi-Samsun, Doğu Anadolu Bölgesi-Van ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi-Şanlıurfa şehirleri ile temsil edilmiştir.

**Tablo 13** Bölgeler Arasın Mesafeler (Km)

	Ankara	İstanbul	İzmir	Antalya	Şanlıurfa	Van	Samsun
Ankara	0	449,9	585,3	483,5	842,5	1218,8	410,6
İstanbul	449,9	0	471,8	715	1289,9	1610,2	736,9
İzmir	585,3	471,8	0	455,2	1253,6	1776,3	1000,3
Antalya	483,5	715	455,2	0	966,2	1488,9	889,6
Şanlıurfa	842,5	1289,9	1253,6	966,2	0	543,3	839,5
Van	1218,8	1610,2	1776,3	1488,9	543,3	0	1010,8
Samsun	410,6	736,9	1000,3	889,6	839,5	1010,8	0

Çalışmada Coğrafi bölgeler için kurulan ulaştırma modelinden yararlanılarak optimum dağıtım planı elde edilmiştir. İkinci aşamada ise toplam maliyeti

minimize etmek ve arz merkezlerinden talep merkezlerine gönderilecek toplam çimento miktarının belirlenmesidir

Yoğun rekabet ortamında, işletmenin ayakta kalabilmesi için maksimum kârın sağlanabilmesinin önemi inkâr edilemez. Kar elde etmek amacıyla kurulan işletmeler, maliyetlerini olabilecek en düşük seviyeye çekerek karlarını mevcut düzeylerinin üzerine çıkarmak istemektedirler. Bu sebeple çalışmanın esas konusu olan, maliyet kalemlerinin en önemlilerinden biri olan ulaştırma maliyetleri optimize edilerek kara katkı sağlaması hedeflenmiştir.

#### **4.2. Türkiye Çimento Sektörüne Bulanık Doğrusal Programlama Modelinin Kurulması**

Belirsizliklerin olduğu bir ortamda bu problem, en iyi bulanık doğrusal programlama modeli ile gerçekleştirilebilir.

Problemin çözümünde Werners yaklaşımından yararlanılmıştır. Bu yaklaşımda kısıtlayıcıların üyelik fonksiyonları karar verici tarafından belirlenebilmesine rağmen, kısıtlayıcıların bulanık olmasından ötürü, bulanık olarak algılanan amaç fonksiyonuna ilişkin üyelik fonksiyonu, karar verici tarafından önceden belirlenemez. Uygulamada da amaç fonksiyonuna ilişkin üyelik fonksiyonu karar verici tarafından belirlenmemiştir. Bulanık sayılarının gösterimi için aşağıdaki matematiksel ifadeden yararlanılmaktadır. Uygulamada karar verici tarafından bulanık amacın hedefine yönelik bir bilgi verilmemiştir. Çözüm için öncelikle  $Z^0$  ve  $Z^1$  değerlerini belirlemek gerekmektedir.  $Z^0$ , toleransın 0 olduğu yani kullanılmadığı minimum amacı,  $Z^1$  ise toleransın tam olarak kullanıldığı maksimum amacı ifade eder.  $Z^0$  ve  $Z^1$  değerleri amaç fonksiyonunun alt ve üst sınırları şeklinde de ifade edilebilir.

**Tablo 14** Türkiye Çimento Üretim Kapasite Miktarı Ton ve Yüzde Cinsinden

<b>Bölgeler</b>	<b>Kapasite Miktarı (Ton)</b>	<b>Kapasite Kullanım Oranları (%)</b>
<b>Marmara</b>	29.367.736	51,32
<b>Ege</b>	14.333.611	32,78
<b>Akdeniz</b>	34.124.430	42,37
<b>Karadeniz</b>	18.131.912	38,32
<b>İç Anadolu</b>	23.255.300	39,9
<b>D.Anadolu</b>	13.297.963	38,4
<b>G.D.Anadolu</b>	11.241.408	38,84
<b>Toplam</b>	143.752.359	41,55

**Üretim Miktarı Kısıtları:** İşletmeler daima stoklu çalışmaktadırlar, Bu sebeple üretim yaparken mevcutta bulunan hazır siparişlerin yanı sıra geçmişte edindikleri tecrübeye dayanarak ne kadar üretim yapılması gerektiğine dair öngöründe bulunmaları gerekmektedir. Bu nedenle ürün arz ve talep miktarları bulanık olarak verilmektedir. Buna göre her işletme ve dağılım merkezinin arzı ve talebinin üst ve alt sınır değerleri tablo16’da verilmiştir.



**Tablo 15** Ulaştırma Modeli 2019

	Ankara	İstanbul	İzmir	Antalya	Şanlıurfa	Van	Samsun	Üretim Miktarı
Ankara	0 $X_{11}$	449,9 $X_{12}$	585,3 $X_{13}$	483,5 $X_{14}$	842,5 $X_{15}$	1.218,8 $X_{16}$	410,6 $X_{17}$	6.689.781- 9.243.155
İstanbul	449,9 $X_{21}$	0 $X_{22}$	471,8 $X_{23}$	715 $X_{24}$	1.289,9 $X_{25}$	1.610,2 $X_{26}$	736,9 $X_{27}$	7.629.819- 10.432.620
İzmir	585,3 $X_{31}$	471,8 $X_{32}$	0 $X_{33}$	455,2 $X_{34}$	1.253,6 $X_{35}$	1.776,3 $X_{36}$	1.000,3 $X_{37}$	2.998.271- 3.975.294
Antalya	483,5 $X_{41}$	715 $X_{42}$	455,2 $X_{43}$	0 $X_{44}$	966,2 $X_{45}$	1.488,9 $X_{46}$	889,6 $X_{47}$	5.281.085- 7.288.883
Şanlıurfa	842,5 $X_{51}$	1.289,9 $X_{52}$	1.253,6 $X_{53}$	966,2 $X_{54}$	0 $X_{55}$	543,3 $X_{56}$	839,5 $X_{57}$	3.736.576- 4.178.738
Van	1.218,8 $X_{61}$	1.610,2 $X_{62}$	1.776,3 $X_{63}$	1.488,9 $X_{64}$	543,3 $X_{65}$	0 $X_{66}$	1.010,8 $X_{67}$	3.012.990- 4.985.013
Samsun	410,6 $X_{71}$	736,9 $X_{72}$	1.000,3 $X_{73}$	889,6 $X_{74}$	839,5 $X_{75}$	1.010,8 $X_{76}$	0 $X_{77}$	4.061.882 5.746.450
Talep	6.794.031- 9.406.382	7.597.687 - 10.385.101	2.973.15- 3.950.244	5.043.583- 6.862.814	3.719.267- 4.178.093	3.016.46 - 4.955.688	4.045.836- 5.673.795	

Bu tablo incelendiği takdir'de Ankara'da görülecektir ki üretilen çimento miktarı (ton cinsinden) 6.689.781 olmasına rağmen, talep olması durumunda üretim 9.243.155'na kadar (ton cinsinden) çıkarılabilmektedir. İstanbul fabrikalarında üretilen çimento miktarı 7.629.819'dan (ton cinsinden) 10.432.620'ye (ton cinsinden) kadar arttırılabilmektedir. İzmir fabrikalarında üretilen ürün miktarı 2.998.271 – 3.975.294 arasında değişiklik gösterebilirken, Şanlıurfa fabrikalarında kapasite 3.736.576 – 4.178.738 arasında değişebilmektedir. Tüketim merkezleri talepleri Tablo 15'da belirtilen aralıklarda yer almaktadır. Alt ve üst sınırlarda amaç fonksiyonunun değerleri bulunacak olursa, bu uygulama için R/ SIMPLEX program paketli yazılım kullanıldığında önce alt sınır değerlerinde Amaç fonksiyonunun minimum  $Z^0$  değerini bulalım. Probleme dair ulaştırma bilgileri, ulaştırma tablosu ve matematiksel formu şöyle olacaktır;

### 4.3. Problemin Werners Yöntemi ile Çözülmesi

Söz konusu problemin R / SIMPLEX program paketli yazılım ile çözüldüğünde sonuçlar aşağıdaki gibidir;

**Kısıtlar:** Arz ve talep olmak üzere iki kısma ayrılmıştır.

**Amaç Fonksiyonu:**

$$Z_{min} = \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 C_{ij} X_{ij} \quad (i = \text{üretim merkezi}) , \quad (j = \text{talep merkezleri})$$

$$\begin{aligned} Z_{min} = & 0 * X_{11} + 449.9 * X_{12} + 585.3 * X_{13} + 483.5 * X_{14} + 842.5 * X_{15} + \\ & 1218.8 * X_{16} + X_{17} * 410.6 + 449.9 * X_{21} + 0 * X_{22} + 471.8 * X_{23} + 715 * \\ & X_{24} + 1289.9 * X_{25} + 1610.2 * X_{26} + 736.9 * X_{27} + 585.3 * X_{31} + 471.8 * \\ & X_{32} + 0 * X_{33} + 455.2 * X_{34} + 1253.6 * X_{35} + 1776.3 * X_{36} + 1000.3 * \\ & X_{37} + 483.5 * X_{41} + 715 * X_{42} + 455.2 * X_{43} + 0 * X_{44} + 966.2 * X_{45} + \\ & 1488.9 * X_{46} + 889.6 * X_{47} + 842.5 * X_{51} + 1289.9 * X_{52} + 1253.6 * X_{53} + \\ & 966.2 * X_{54} + 0 * X_{55} + 543.3 * X_{56} + 839.5 * X_{57} + 1218.8 * X_{61} + \\ & 1610.2 * X_{62} + 1776.3 * X_{63} + 1488.9 * X_{64} + 543.3 * X_{65} + 0 * X_{66} + \\ & 1010.8 * X_{67} + 410.6 * X_{71} + 736.9 * X_{72} + 1000.3 * X_{73} + 889.6 * X_{74} + \\ & 839.5 * X_{75} + 1010.8 * X_{76} + 0 * X_{77} \end{aligned}$$

**Kısıtlar:** Arz, talep ve pozitiflik olmak üzere üç kısma ayrılmıştır.

**Arz Kısıtı:**

$$\sum_{j=1}^7 X_{ij} \leq a_i \quad (i - \text{üretimmerkezi})$$

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} \leq 6.689.781;$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} \leq 7.629.819 ;$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} \leq 2.998.271;$$

$$X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} + X_{47} \leq 5.281.085$$

$$X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} + X_{57} \leq 3.012.990;$$

$$X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{66} + X_{67} \leq 3.736.576;$$

$$X_{71} + X_{72} + X_{73} + X_{74} + X_{75} + X_{76} + X_{77} \leq 4.061.882;$$

**Talep Kısıtı:**

$$\sum_{i=1}^7 X_{ij} \geq b_j (j = \text{talep merkezleri})$$

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} + X_{71} \geq 6.794.031$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} + X_{72} \geq 7.597.687$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} + X_{53} + X_{63} + X_{73} \geq 2.973.153$$

$$X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} + X_{54} + X_{64} + X_{74} \geq 5.043.583$$

$$X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} + X_{55} + X_{65} + X_{75} \geq 3.016.468$$

$$X_{16} + X_{26} + X_{36} + X_{46} + X_{56} + X_{66} + X_{76} \geq 13.719.267$$

$$X_{17} + X_{27} + X_{37} + X_{47} + X_{57} + X_{67} + X_{77} \geq 4.045.836$$

Bu uygulamanın R/SİMPLEX paket programıyla elde edilen sonuçları Tablo 16 ve Tablo 17' de görülmektedir.

**Tablo 16** Taşıma Tablosu R/ Simplex Çözüm Sonuçları 2019 Yılı İçin

Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer
X11	<b>6.689.781</b>	X34	0	X57	0
X12	0	X35	0	X61	0
X13	0	X36	0	X62	0
X14	0	X37	0	X63	0
X15	0	X41	<b>56.072</b>	X64	0
X16	0	X42	0	X65	<b>3.478</b>
X17	0	X43	0	X66	<b>3.719.267</b>
X21	<b>32.132</b>	X44	<b>5.043.583</b>	X67	0
X22	<b>7.597.687</b>	X45	0	X71	<b>16.046</b>
X23	0	X46	0	X72	0
X24	0	X47	0	X73	0
X25	0	X51	0	X74	0
X26	0	X52	0	X75	0
X27	0	X53	0	X76	0
X31	0	X54	0	X77	<b>4.045.836</b>
X32	0	X55	<b>3.012.990</b>		
X33	<b>2.973.153</b>	X56	<b>0</b>		

**Tablo 17** Taşıma Tablosu 2019 Yılı İçin

	Ankara	İstanbul	İzmir	Antalya	Şanlıurfa	Van	Samsun	Üretim Miktarı
Ankara	0 6.689.781	449,9 0	585,3 0	483,5 0	842,5 0	1.218,8 0	410,6 0	6.689.781
İstanbul	449,9 32.132	0 7.597.687	471,8 0	715 0	1.289,9 0	1.610,2 0	736,9 0	7.629.819
İzmir	585,3 0	471,8 0	0 2.973.153	455,2 0	1.253,6 0	1.776,3 0	1.000,3 0	2.998.271
Antalya	483,5 56.072	715 0	455,2 0	0 5.043.583	966,2 0	1.488,9 0	889,6 0	5.281.085
Şanlıurfa	842,5 0	1.289,9 0	1.253,6 0	966,2 0	0 3.012.990	543,3 0	839,5 0	3.012.990
Van	1.218,8 0	1.610,2 0	1.776,3 0	1.488,9 0	543,3 3.478	0 3.719.267	1.010,8 0	3.736.576
Samsun	410,6 16.046	736,9 0	1.000,3 0	889,6 0	839,5 0	1.010,8 0	0 4.045.836	4.061.882
Talep	6.794.031	7.597.687	2.973.153	5.043.583	3.016.468	3.719.267	4.045.836	

Toplam Maliyet =  $0 \cdot 6.689.781 + 449,9 \cdot 32.132 + 0 \cdot 7.597.687 + 2.973.153 \cdot 0 + 483,5 \cdot 56.072 + 0 \cdot 3.012.990 + 543,3 \cdot 3.478 + 0 \cdot 3.719.267 + 0 \cdot 3.719.267 + 0 \cdot 3.012.990 + 410,6 \cdot 16.046 + 0 \cdot 4.045.836 = 50.045.083,8$  (km)

**$Z^0 = 50.045.083,8$  (km)**

Arz ve talep kısıtları için üst sınırlar aşağıdaki gibi ifade olunur.

**Arz Kısıtı:**

$$\sum_{j=1}^7 X_{ij} \leq a_i \quad (i - \text{üretimmerkezi})$$

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} \leq 9.243.155;$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} \leq 10.432.620 ;$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} \leq 3.975.294;$$

$$X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} + X_{47} \leq 7.288.883$$

$$X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} + X_{57} \leq 4.178.738;$$

$$X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{66} + X_{67} \leq 4.985.013;$$

$$X_{71} + X_{72} + X_{73} + X_{74} + X_{75} + X_{76} + X_{77} \leq 5.746.450;$$

**Talep Kısıtı:**

$$\sum_{i=1}^7 X_{ij} \geq b_j (j = \text{talepmerkezleri})$$

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} + X_{71} \geq 9.406382$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} + X_{72} \geq 10.385.101$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} + X_{53} + X_{63} + X_{73} \geq 3.950.244$$

$$X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} + X_{54} + X_{64} + X_{74} \geq 6.862.814$$

$$X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} + X_{55} + X_{65} + X_{75} \geq 4.178.093$$

$$X_{16} + X_{26} + X_{36} + X_{46} + X_{56} + X_{66} + X_{76} \geq 4.955.688$$

$$X_{17} + X_{27} + X_{37} + X_{47} + X_{57} + X_{67} + X_{77} \geq 5.673.$$

R/Simplex Çözüm Sonuçları Tablo 18 ve Tablo 19' de verilmiştir.

**Tablo 18** Taşıma Tablosu R/Simplex Çözüm Sonuçları 2019 Yılı İçin Üst Sınır

Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer
X11	<b>9.243.155</b>	X34	0	X57	0
X12	0	X35	0	X61	0
X13	0	X36	0	X62	0
X14	0	X37	0	X63	0
X15	0	X41	<b>43.053</b>	X64	0
X16	0	X42	0	X65	
X17	0	X43	0	X66	<b>4.955.688</b>
X21	<b>47.519</b>	X44	<b>6.862.814</b>	X67	0
X22	<b>10.385.101</b>	X45	0	X71	<b>72.655</b>
X23	0	X46	0	X72	0
X24	0	X47	0	X73	0
X25	0	X51	0	X74	0
X26	0	X52	0	X75	0
X27	0	X53	0	X76	0
X31	0	X54	0	X77	<b>5.673.795</b>
X32	0	X55	<b>4.178.093</b>		
X33	<b>3.950.244</b>	X56	<b>0</b>		

**Tablo 19** Taşıma Tablosu 2019 Yılı İçin Üst Sınır

	Ankara	İstanbul	İzmir	Antalya	Şanlıurfa	Van	Samsun	Üretim Miktarı
Ankara	0 9.243.155	449,9 0	585,3 0	483,5 0	842,5 0	1.218,8 0	410,6 0	9.243.155
İstanbul	449,9 47.519	0 10.385.101	471,8 0	715 0	1.289,9 0	1.610,2 0	736,9 0	10.432.620
İzmir	585,3 0	471,8 0	0 9.950.244	455,2 0	1.253,6 0	1.776,3 0	1.000,3 0	3.975.294
Antalya	483,5 43.053	715 0	455,2 0	0 6.862.814	966,2 0	1.488,9 0	889,6 0	7.288.883
Şanlıurfa	842,5 0	1.289,9 0	1.253,6 0	966,2 0	0 4.178.093	543,3 0	839,5 0	4.178.738
Van	1.218,8 0	1.610,2 0	1.776,3 0	1.488,9 0	543,3 0	0 4.955.688	1.010,8 0	4.985.013
Samsun	410,6 72.655	736,9 0	1.000,3 0	889,6 0	839,5 0	1.010,8 0	0 5.673.795	5.746.450
Talep	9.406.382	10.385.101	3.950.244	6.862.814	4.178.093	4.955.688	5.673.795	

Tablo 19' a göre Toplam taşıma maliyeti =72.027.066,6 (km),yani Amaç Fonksiyonunun üst değeri eşittir

$$Z^1 = 72.027.066,6(\text{km})$$

Şimdi Amaç fonksiyonunun üyelik fonksiyonu yazalım:

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1; & \text{eğer } c^T x > Z^1 \\ 1 - \frac{Z^1 - c^T x}{Z^1 - Z^0}; & \text{eğer } Z^0 \leq c^T x \leq Z^1 \\ 0; & \text{eğer } c^T x < Z^0 \end{cases}$$



$$\mu_{i1(x)} = \begin{cases} 1; & \text{eğer } (Ax)_i < b_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i}; & \text{eğer } b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \text{ ise} \\ 0; & \text{eğer } (Ax)_i > b_i + p_i \text{ ise} \end{cases}$$

Burada  $Z^0=50.045.083,8$ ,

$Z^1=72.027.066,6$

Fark ise  $p_0=Z^1 - Z^0 = 21.981.982,8$

Yukarıda ki ifadeye göre Amaç fonksiyonunun üyelik fonksiyonu bu şekilde yazılır:

$$\mu_0 = \begin{cases} 1; & \text{eğer } c^T x > 72.027.066,6 \\ 1 - \frac{72.027.066,6 - c^T x}{21.981.982,8}; & \text{eğer } 50.045.083,8 < c^T x < 72.027.066,6 \\ 0; & \text{eğer } c^T x < 50.045.083,8 \end{cases}$$

Kısıtlayıcıların üyelik fonksiyonu:

$$\mu_{i1(x)} = \begin{cases} 1; & \text{eğer } (Ax)_i < b_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i}; & \text{eğer } b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \text{ ise} \\ 0; & \text{eğer } (Ax)_i > b_i + p_i \text{ ise} \end{cases}$$

$$\mu_{i2(x)} = \begin{cases} 1; & \text{eğer } (Bx)_i > c_i + p_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{(Bx)_i - c_i}{p_i}; & \text{eğer } c_i \leq (Bx)_i \leq c_i + p_i \text{ ise} \\ 0; & \text{eğer } (Bx)_i < c_i \text{ ise} \end{cases}$$

Bölüm 3.11.2'de belirtildiği gibi, Werners yaklaşımı yöntemi simetrik bir yöntemdir ve hem amaç fonksiyonun hem de kısıtların birlikte doyumunu

sağlayan bir bulanık doğrusal programlama modelidir. Werners modelini klasik doğrusal programlama modeline dönüştürmek için  $\lambda$  değişkenini kullanalım.

$$C^T X \geq b_0 - (1 - \lambda) p_0$$

$$(AX)_i \leq b_i + (1 - \lambda) p_i$$

$$(BX)_i \geq c_i + (1 - \lambda) p_i$$

$$X_i \geq 0$$

Burada bulanık doğrusal programlama probleminin klasik doğrusal programlama modeli gibi çözümlenebilir için sağ taraf sabitleri yalnız bırakılır. Son olarak aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$\begin{aligned} &0 \cdot X_{11} + 449.9 \cdot X_{12} + 585.3 \cdot X_{13} + 483.5 \cdot X_{14} + 842.5 \cdot X_{15} + 1218.8 \cdot X_{16} + 410.6 \cdot X_{17} \\ &+ 449.9 \cdot X_{21} + 0 \cdot X_{22} + 471.8 \cdot X_{23} + 715 \cdot X_{24} + 1289.9 \cdot X_{25} + 1610.2 \cdot X_{26} + 736.9 \cdot X_{27} \\ &+ 585.3 \cdot X_{31} + 471.8 \cdot X_{32} + 0 \cdot X_{33} + 455.2 \cdot X_{34} + 1253.6 \cdot X_{35} + 17776.3 \cdot X_{36} + \\ &1000.3 \cdot X_{37} + 48.5 \cdot X_{41} + 715 \cdot X_{42} + 455.2 \cdot X_{43} + 0 \cdot X_{44} + 966.2 \cdot X_{45} + 1488.9 \cdot X_{46} + \\ &889.6 \cdot X_{47} + 842.5 \cdot X_{51} + 1289 \cdot X_{52} + 1253.6 \cdot X_{62} + 1776.3 \cdot X_{63} + 1488.9 \cdot X_{64} + \\ &543.3 \cdot X_{65} + 0 \cdot X_{66} + 1010.8 \cdot X_{67} + 410.6 \cdot X_{71} + 736.9 \cdot X_{72} + 1000.3 \cdot X_{73} + 889.6 \cdot X_{74} + \\ &839.5 \cdot X_{75} + 1010.8 \cdot X_{76} + 0 \cdot X_{77} - 21.981.982,8\lambda \geq 50.045.083,8 \end{aligned}$$

Arz ve Talep Kısıtları için ise:

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + 2.553.374\lambda \leq 9.243.155;$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + 2.802.801\lambda \leq 10.432.620 ;$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + 977.023\lambda \leq 3.975.294;$$

$$X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} + X_{47} + 2.007.798\lambda \leq 7.288.883$$

$$X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} + X_{57} + 1.165.748\lambda \leq 4.178.738;$$

$$X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{66} + X_{67} + 1.248.437\lambda \leq 4.985.013;$$

$$X_{71} + X_{72} + X_{73} + X_{74} + X_{75} + X_{76} + X_{77} + 1.684.568\lambda \leq 5.746.450;$$

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} + X_{71} + 2.612.351\lambda \geq 9.406382$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} + X_{72} + 2.787.414\lambda \geq 10.385.101$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} + X_{53} + X_{63} + X_{73} + 977.091\lambda \geq 3.950.244$$

$$X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} + X_{54} + X_{64} + X_{74} + 1.819.231\lambda \geq 6.862.814$$

$$X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} + X_{55} + X_{65} + X_{75} + 1.161.625\lambda \geq 4.178.093$$

$$X_{16} + X_{26} + X_{36} + X_{46} + X_{56} + X_{66} + X_{76} + 1.236.421\lambda \geq 4.955.688$$

$$X_{17} + X_{27} + X_{37} + X_{47} + X_{57} + X_{67} + X_{77} + 1.627.959\lambda \geq 5.673.795$$

Werners yaklaşımına göre optimal sonuca ulaşmak için eşit üyelik dereceli olan çözüm uzayının  $\alpha$  – kesim kümesinin, bulanık karar kümesi olarak ele alınması gerekmektedir.Eşit üyelik dereceli çözüm uzayında  $\lambda=0,5$  değerinde olur.Buna göre model aşağıdaki halini alır.

$$\begin{aligned}
&0*X_{11}+449.9*X_{12}+585.3*X_{13}+483.5*X_{14}+842.5*X_{15}+1218.8*X_{16}+410.6*X_{17} \\
&+449.9*X_{21}+0*X_{22}+471.8*X_{23}+715*X_{24}+1289.9*X_{25}+1610.2*X_{26}+736.9*X_{27} \\
&+585.3*X_{31}+471.8*X_{32}+0*X_{33}+455.2*X_{34}+1253.6*X_{35}+17776.3*X_{36}+ \\
&1000.3*X_{37}+48.5X_{41}+715*X_{42}+455.2*X_{43}+0*X_{44}+966.2*X_{45}+1488.9*X_{46}+ \\
&889.6*X_{47}+842.5*X_{51}+1289*X_{52}+1253.6*X_{62}+1776.3*X_{63}+1488.9*X_{64}+ \\
&543.3*X_{65}+0*X_{66}+1010.8*X_{67}+410.6*X_{71}+736.9X_{72}+1000.3*X_{73}+889.6*X_{74}+ \\
&839.5*X_{75}+1010.8*X_{76}+0*X_{77} \geq 61.036.075,2
\end{aligned}$$

$\lambda$ 'nın değerini son eşitsizlikler sisteminde dikkate aldığımızda Arz ve Talep Kısıtları aşağıdaki şekli alır:

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} \leq 7.966.468$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} \leq 9.031.219,5$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} \leq 3.486.782,5$$

$$X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} + X_{47} \leq 6.284.984$$

$$X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} + X_{57} \leq 3.595.864$$

$$X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{66} + X_{67} \leq 4.360.794,5$$

$$X_{71} + X_{72} + X_{73} + X_{74} + X_{75} + X_{76} + X_{77} \leq 4.904.166$$

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} + X_{71} \geq 8.100.568,9$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} + X_{72} \geq 8.991.394$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} + X_{53} + X_{63} + X_{73} \geq 3.461.698,5$$

$$X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} + X_{54} + X_{64} + X_{74} \geq 5.953.198,5$$

$$X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} + X_{55} + X_{65} + X_{75} \geq 3.597.280,5$$

$$X_{16} + X_{26} + X_{36} + X_{46} + X_{56} + X_{66} + X_{76} \geq 4.337.477,5$$

$$X_{17} + X_{27} + X_{37} + X_{47} + X_{57} + X_{67} + X_{77} \geq 4.859.815,5.$$

Bu uygulamanın R/SİMPLEX paket programıyla elde edilen sonuçlar Tablo 20 ve 21’de görülmektedir.

**Tablo 20** Taşıma Tablosu R/ Simplex Çözüm Sonuçları

Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer
X11	<b>7.966.468</b>	X34	0	X57	0
X12	0	X35	0	X61	0
X13	0	X36	0	X62	0
X14	0	X37	0	X63	0
X15	0	X41	<b>49.924,9</b>	X64	0
X16	0	X42	0	X65	<b>1.416,5</b>
X17	0	X43	0	X66	<b>4.337.477,5</b>
X21	<b>39.825,5</b>	X44	<b>5.953.198,5</b>	X67	0
X22	<b>8.991.394</b>	X45	0	X71	<b>44.350,5</b>
X23	0	X46	0	X72	0
X24	0	X47	0	X73	0
X25	0	X51	0	X74	0
X26	0	X52	0	X75	0
X27	0	X53	0	X76	0
X31	0	X54	0	X77	<b>4.859.815,5</b>
X32	0	X55	<b>3.595.864</b>		
X33	<b>3.461.698,5</b>	X56	0		

**Tablo 21** Ulaştırma Modeli 2019

	Ankara	İstanbul	İzmir	Antalya	Şanlıurfa	Van	Samsun	ÜretimMikt arı
Ankara	0 7.966.468	449,9 0	585,3 0	483,5 0	842,5 0	1.218,8 0	410,6 0	7.966.468
İstanbul	449,9 39.825,5	0 8.991.394	471,8 0	715 0	1.289,9 0	1.610,2 0	736,9 0	9.031.219,5
İzmir	585,3 0	471,8 0	0 3.461.698,5	455,2 0	1.253,6 0	1.776,3 0	1.000,3 0	3.486.782,5
Antalya	483,5 49.924,9	715 0	455,2 0	0 5.953.198,5	966,2 0	1.488,9 0	889,6 0	6.284.984
Şanlıurfa	842,5 0	1.289,9 0	1.253,6 0	966,2 0	0 3.595.864	543,3 0	839,5 0	3.595.864
Van	1.218,8 0	1.610,2 0	1.776,3 0	1.488,9 0	543,3 1.416,5	0 4.337.477,5	1.010,8 0	4.360.794,5
Samsun	410,6 44.350,5	736,9 0	1.000,3 0	889,6 0	839,5 0	1.010,8 0	0 4.859.815,5	4.904.166
Talep	8.100.568,9	8.991.394	3.461.698,5	5.953.198,5	3.597.280,5	4.337.477,5	4.859.815,5	

$$Z=449,9*39.825,5+483,5*49.924,9+543,3*1.416,5+410,6*44.350,5=61.036.0$$

81.35

## SONUÇ

Günümüz üreticileri yoğun rekabet ortamı içerisinde kar maksimizasyonu güdüsü ile yola çıkmaktadır. Kar maksimizasyonunu önemli derece etkileyen maliyetlerden bir tanesi de “Ulaştırma Maliyeti” dir. Üreticiler ulaşım maliyetlerini kontrol edebilmeleri için optimal bir dağıtım planına gereksinim duyar. Diğer taraftan, güncel hayattaki karmaşıklıklar, belirsizlik ve bilgi eksikliklerini beraberinde getirmektedir. Karar alma süreçlerinde var olan bu belirsizlik durumları, klasik mantıkla çözümlenmek istendiğinde objektif bir sonuç elde edilememektedir. Bu tür durumlarda 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık küme teorisi ile doğrusal programlamanın birleşimi olan bulanık doğrusal programlama yaklaşımının kullanımı amaca uygundur.

Genel olarak bulanık doğrusal programlama belirsizliklerin ve bilgi eksikliklerinin olduğu durumlarda, daha hızlı ve esnek çözümler üreterek en doğru kararın verilmesini sağlamaktadır.

Bu amaç doğrultusunda ulaştırma maliyetlerinin yüksek olduğu çimento sektörü bu tezde ele alınmış ve Türkiye'nin 7 ayrı bölgesinden örneklerle oluşturularak bulanık doğrusal programlama modeli ile belirsizliğin hakim olduğu ortamda en optimal dağılım planı ve amaç fonksiyonunu en optimal çözümü bulunmuştur.

Araştırmada, bulanık doğrusal programlama modeli kapsamında Türkiye Çimento Sektörü'nde faaliyet gösteren fabrikalarda üretilen çimentonun talep noktalarına optimal dağıtım problemi ele alınmıştır. Ulaştırma modeli oluşturulurken her bir bölgenin coğrafi olarak bir şehri merkez alınarak arz ve talep noktaları coğrafi bölgeler olarak tespit edilmiştir. Marmara Bölgesi-İstanbul, Ege Bölgesi-İzmir, Akdeniz Bölgesi-Antalya, İç Anadolu Bölgesi-Ankara, Karadeniz Bölgesi-Samsun, Doğu Anadolu Bölgesi-Van ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi-Şanlıurfa şehirleri ile temsil edilmiştir.

Tez çalışmasının birinci bölümünde Dünya ve Türkiye Çimento Sektörü hakkında mevcut durum analizlerinden söz edilmiştir. İkinci bölümde ise Ulaştırma Modelinin tarihsel gelişimi, çözüm yöntemleri ve türlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde ise bulanık mantık ve bulanık doğrusal programlamanın ortaya çıkışı, uygulama alanları, modelleri olan Zimmermann

ve Werners yaklaşımları üzerinde durulmuştur, son bölüm olan dördüncü bölümde ise Werners yaklaşımı ile Türkiye’de Çimento Sektöründe minimum maliyetle optimal dağıtım üzerine çalışılmıştır.

Söz konusu olan ulaştırma probleminin bulanık programlama kapsamında matematiksel modellemesi yapılmıştır. Problemin çözümünde R/Simplex paket programı kullanılmıştır. Werner yaklaşımı ile Bulanık programlama modeli çerçevesinde elde edilen çözümlere dayanarak mevcut olan arz ve talebe uygun olarak minimum maliyetli optimal bir dağıtım planı önerilmiştir.

Bu çalışmada uygulamanın yapıldığı Türkiye çimento sektörü için amaç fonksiyonuna yönelik bir tolerans verilmemiş, sadece kısıtlarla ilgili tolerans değerleri verilmiştir. Bu nedenle işletme verilerinden hareketle oluşturulan modelin çözümünde, doğrusal programlama çözüm yaklaşımlarından Werners yaklaşımı kullanılmıştır. Werners yaklaşımına göre, optimal sonuca ulaşmak için eşit üyelik dereceli olan çözüm uzayının  $\alpha$  –kesim kümesinin, bulanık karar kümesi olarak ele alınması gerekmektedir. Buna göre optimal çözüm değerleri  $\alpha$  nın 0,5 olduğu değere denk gelmektedir. Bu durum göz önüne alınarak Amaç Fonksiyonunun alt ve üst sınırları yani minimum ve maksimum değerleri elde edilmiş ve Amaç Fonksiyonunun optimal değeri ve tüketim merkezlerine optimal dağılım planı bulunmuştur.

Bu dağılım planına göre 7.966.468 ton çimento Ankara’dan Ankara’ya, , 39.825,5 ton çimento İstanbul’dan Ankara’ya, 8.991.394 ton İstanbul’dan İstanbul’a, 3.461.698,5 ton İzmir’den İzmir’e, 5.953.198,5 Antalya’dan Antalya’ya, 3.595.864 Şanlıurfa’dan Şanlıurfa’ya, 49.924,9 ton Antalya’dan Ankara’ya, 4.337.477,5 ton, Van’dan Van’a 1.416,5 ton, Van’dan Şanlıurfa’ya 44.350,5 ton Samsun’dan Ankara’ya çimento Samsun’a 4.859.815,5 ton gönderildiğinde ulaşım maliyetinin değeri en düşük seviyededir ve eşittir.  $Z_{min} = 61.036.075,2$  (km).



## KAYNAKÇA

- AKSOY, C. (1999). Ulaştırma Modeli ile İşletmelerde Dağıtım Sistemi Optimizasyonu ve Türkiye Petrol Ofisi Kurumunda Uygulaması. Ankara: Gazi Üniversitesi.
- B.K.Hansen. (1996). *Fuzzy Logic and Linear Programming Find Optimal Solutions for Meteorological Problems*. Term Paper for Fuzzy Coursa at Technical University of Nova Scotia.
- Baykal, N., & Beyan, T. (2004). *Bulanık Mantık İlke ve Temelleri*. Ankara: Bıçaklar Kitabevi.
- Dantzig, G. B. (1963). *Linear Programming and Extensions*. Princeton University Press.
- Doğan, İ. (1995). Yöneylem Araştırma Teknikleri ve İşletme Uygulamaları. İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi.
- Elmas, Ç. (2003). *Bulanık Mantık Denetleyiciler*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Erdaş, M., & Demir, Y. (2016). Developing A Portfolio Optimization Model By Fuzzy Linear Programming . *The Journal of International Social Research* .
- Erdoğan, T. Y. (2003). *Beton*. Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.
- Gülcan, B. (2012). Bulanık doğrusal programlama ve bir bisküvi işletmesinde optimum ürün formülü oluşturma. *Yüksek Lisans Tezi* . Karaman: Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi .
- H.W., D. (1976). *Cement Dada Book*. Berlin.
- Hallaç, O. (1978). Kantitatif Karar Verme Teknikleri (Yöneylem Araştırması). İstanbul: Arpaz Matbaacılık.
- Ignizio, J. P. (1975). *Operations Research in Decisions*. Crane, Russak.
- İMSAD. (2020). *Türkiye İMSAD Yapı Sektörü Raporu 2019*. İstanbul: Murat Ofset Matbaacılık.
- Kabak, M. (2000). Kara Kuvvetleri Akaryakıt İkmal Sistemlerinde Ulaştırma Modelleri Yardımıyla Maliyet Optimizasyonu . *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi* . İstanbul: Marmara Üniversitesi.
- Kara, İ. (1991). Doğrusal Programlama. Bilm Teknik Yayınevi.
- Karacabey, A., & Sarıaslan, H. (2003). *İşletmelerde Sayısal Analizler*. Ankara: Turhan Kitabevi.

- Karayağın, İ. (1993). *Yöneylem 'Harekat' Araştırması*. Menteş Kitabevi.
- Kaya, Ö. (2007). *Bulanık Doğrusal Programlama ve Üretim Planlama Üzerine Bir Uygulama. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi* . İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Keskenler, M., & Keskenler, E. (2017). *Bulanık Mantığın Tarihi Gelişimi . Takvim-i Vekayi* .
- Kul, M. (2015, 1 12). *Çimento Üretimini Tarihi*. 11 2020, 14 tarihinde <https://gucaktarim.com/cimento-uretiminin-tarihcesi/> adresinden alındı
- Mamdani, E. (1974). Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers* .
- Oliver, G., & Tirantis, K. (1998). A Mathematical Programming Approach for Measuring Technical Efficiency in A Fuzzy Environment. *Journal of Productivity Analysis* .
- Omar, S., Waveru, M., & Rimuru, R. (2015). Fuzzy Logic and Qualitative Performance Evaluation of Supply Chain Management. *The International Journal of Engineering and Science* .
- Ozan, T. (1992). *Applied Mathematical Programming for Engineering and Production Management*. New Jersey : A Reston Book Prentice.
- Özkan, M. (2003). *Bulanık Hedef Programlama*. İstanbul: Ekin Kitabevi.
- Özkan, M. (2003). *Bulanık Hedef Programlama*. Bursa: Ekin Kitabevi.
- Öztürk, A. (1994). *Yöneylem Araştırması*. Ekin Kitabevi.
- Öztürk, A. (2016). *Yöneylem Araştırması*. Bursa : Ekin Basım Dağıtım.
- Paksoy, T. (2002). *Bulanık Küme Teorisi ve Doğrusal Programlamada Kullanımı* . *Selçuk Üniversitesi Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Dergisi* .
- Render, Stair, & Barry. (1992 ). *Introduction to Management Science*. Allyn & Bacon.
- Sarıaslan, H., & Karacabey, A. (2017). *Nitel Karar Yöntemleri*. Remzi Kitabevi.
- Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı. (2001). *Madencilik Endüstriyel Hammaddeler: Toprak Sanayi Hammaddeleri*. Ankara: Özel İhtisas Komisyonu Raporu.
- Sivanandam, S., Sumathi, S., & Deeba, S. (2007). *Introduction to Fuzzy Logic Using Matlab*. Berlin: Springer.

- Statista. (tarih yok). *Statista*. 12 26, 2020 tarihinde Statista: <https://www.statista.com/statistics/267364/world-cement-production-by-country> adresinden alındı
- STATİSTA. (2020). *STATİSTA*. 10 24, 2020 tarihinde <https://www.statista.com/statistics/267364/world-cement-production-by-country> adresinden alındı
- Sugeno, M. (1972). Fuzzy Measures and Fuzzy İntegrals. *Trans of the Soc.of Instruments and Control Engineers* .
- Şen, Z. (2004 ). *Mühendislikte Bulanık Mantık ve Modelleme Prensipleri* . İstanbul: Su Vakfı Yayınları.
- T.C SANAYİ BAKANLIĞI . (2020). *Çimento Sektör Raporu*. Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü.
- Taha, H. (1992 ). *Operation Research An Introduction*. Prentice Hall.
- Taylor, H. (1990). *Cement Chemistry*. London.
- TCMA. (tarih yok). 10 24, 2020 tarihinde [https://www.turkcimento.org.tr/tr/cimento\\_uretiminin\\_tarihcesi](https://www.turkcimento.org.tr/tr/cimento_uretiminin_tarihcesi) adresinden alındı
- TCMA. (tarih yok). *Türk Çimento Müstahsilleri Birliği*. 11 1, 2020 tarihinde [https://www.tcma.org.tr/tr/cimento\\_nerelerde\\_kullanilir](https://www.tcma.org.tr/tr/cimento_nerelerde_kullanilir) adresinden alındı
- TÇMB. (tarih yok). *Çimento Nerelerde Kullanılır*. 11 1, 2020 tarihinde TÇMB: <https://www.tcma.org.tr/tr> adresinden alındı
- TOR, F. (1991 ). Doğrusal Programlama ve Benzin Dağıtımının Ulaştırma Modeli Yardımı ile Optimizasyonu. *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi* . Ankara : Gazi Üniversitesi .
- Tuş, A. (2006). Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Üretim Planlamasında Uygulama Örneği . *Yüksek Lisans Tezi* . Denizli: Pamukkale Üniversitesi.
- Türk Çimento. (tarih yok). 12 12, 2020 tarihinde [https://www.turkcimento.org.tr/tr/uye\\_fabrikalar](https://www.turkcimento.org.tr/tr/uye_fabrikalar) adresinden alındı
- Türk Çimento Birliği. (2020). 12 12, 2020 tarihinde [https://www.turkcimento.org.tr/tr/uye\\_fabrikalar](https://www.turkcimento.org.tr/tr/uye_fabrikalar) adresinden alındı
- Türk Çimento Müstahsilleri Birliği . (2020). *Türkiye Bölgeler Çimento Üretimi*. Türk Çimento Müstahsilleri Birliği .
- Türk Çimento Müstahsilleri Birliği . (2020). *Türkiye Çimento İç Satış Raporu*. Türk Çimento Müstahsilleri Birliği .

Türk Çimento Müstahsilleri Birliği . (2020). *Türkiye Çimento Kapasite Kullanımları*. Türk Çimento Müstahsilleri Birliği .

Türk Çimento Müstahsilleri Birliği . (2020). *Türkiye Çimento Kapasite Kullanımları*. Türk Çimento Müstahsilleri Birliği .

Türk Çimento Müstahsilleri Birliği. (tarih yok). *Türk Çimento Müstahsilleri Birliği*. 11 08, 2020 tarihinde Türk Çimento Müstahsilleri Birliği: [https://www.turkcimento.org.tr/tr/cimento\\_uretiminin\\_tarihcesi](https://www.turkcimento.org.tr/tr/cimento_uretiminin_tarihcesi) adresinden alındı

Türk Çimento Müstahsilleri Birliği. (2020). *Türkiye Bölgelere Göre Kapasite Kullanımları*. Türk Çimento Müstahsilleri Birliği.

Türk Çimento Müstahsilleri Birliği. (2020). *Türkiye Çimento Üretim ve Satış*. Türk Çimento Müstahsilleri Birliği.

Türkiye İMSAD. (Temmuz 2020). *Yapı Sektör Raporu*. Türkiye İMSAD.

Wang, D. (1997). *An inexact approach for linear programming problems with fuzzy objective and resources*.

Winston, W. L. (2004). *Operation Research*. USA: Duxbury Yayınları.

Yeğınobalı. (2004). *Çimento Yeni Bir Çağın Malzemesi*. TÇMB.

Yeğınobalı, & Ertün. (2009). *ÇİMENTODA STANDARTLAR VE MİNERAL KATKILAR*. TÇMB.

YILDIZ, N. (2012). *ÇİMENTO ÜRETİMİ*. Ankara: ERTEM BASIM LTD.ŞTİ.

Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control* .

Zimmermann, H. (1991 ). *Fuzzy Set Theory and Its Applications*. Massachusetts: Kluwer Academic.

## TABLULAR LİSTESİ

<b>Tablo 1:</b> Türkiye’de Çimento Girişim Sayıları ve Üretim Miktarları Milyon Ton Cinsinden (T.C SANAYİ BAKANLIĞI , 2020).....	24
<b>Tablo 2:</b> Türkiye Bölgeler Toplam Kapasiteler Ton Cinsinden (Türk Çimento Müstahsilleri Birliği , 2020).....	25
<b>Tablo 3:</b> Türkiye Bölgeler Çimento Kapasite Ton Cinsinden % ifadesi (Türk Çimento Müstahsilleri Birliği, 2020).....	26
<b>Tablo 4:</b> Türkiye Bölgeler Çimento Üretimi Ton Cinsinden (Türk Çimento Müstahsilleri Birliği , 2020).....	26
<b>Tablo 5:</b> Türkiye Bölgeler Çimento İç Satışı Ton Cinsinden (Türk Çimento Müstahsilleri Birliği , 2020).....	27
<b>Tablo 6:</b> Türkiye Çimento Sektörü 2020 Ekim ayına kadar olan veriler (Türk Çimento Müstahsilleri Birliği, 2020).....	27
<b>Tablo 7:</b> Türkiye’nin Dünya Çimento Pazarındaki İhracat Payı Milyon Dolar Cinsinden (Türkiye İMSAD, Temmuz 2020).....	30
<b>Tablo 8:</b> 2018-2019 yılları Dünya Çimento İhracatı Dolar Cinsinden (Türkiye İMSAD, Temmuz 2020).....	31
<b>Tablo 9:</b> 2018-2019 Çimento Dünya İthalatı Dolar Cinsinden (Türkiye İMSAD, Temmuz 2020).....	32
<b>Tablo 10:</b> 2018-2019 Türkiye’nin Çimento İhracatı Yaptığı Ülkeler (Türkiye İMSAD, Temmuz 2020).....	33
<b>Tablo 11:</b> Ulaştırma Modeli.....	36
<b>Tablo 12:</b> Üçgen Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemler.....	53
<b>Tablo 13:</b> Bölgeler Arasın Mesafeler (Km).....	60
<b>Tablo 14:</b> Türkiye Çimento Üretim Kapasite Miktarı Ton ve Yüzde Cinsinden.....	62
<b>Tablo 15:</b> Ulaştırma Modeli 2019.....	63
<b>Tablo 16:</b> Taşıma Tablosu R/ Simplex Çözüm Sonuçları 2019 Yılı İçin.....	66
<b>Tablo 17:</b> Taşıma Tablosu 2019 Yılı İçin.....	67
<b>Tablo 18:</b> Taşıma Tablosu R/Simplex Çözüm Sonuçları 2019 Yılı İçin Üst Sınır.....	69
<b>Tablo 19:</b> Taşıma Tablosu 2019 Yılı İçin Üst Sınır.....	70
<b>Tablo 20:</b> Taşıma Tablosu R/ Simplex Çözüm Sonuçları.....	75
<b>Tablo 21:</b> Ulaştırma Modeli 2019.....	76

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<b>Şekil 1:</b> Türkiye’de Faaliyet Gösteren Çimento Fabrikaları (Türk Çimento) ..	24
<b>Şekil 2:</b> Ulaştırma Modelinin Çözüm Aşamaları .....	41
<b>Şekil 3:</b> Bir Üyelik Fonksiyonun Bölümleri.....	52

## GRAFİK LİSTESİ

<b>Grafik 1:</b> Çimento Üretimi Milyon Ton Cinsinden (Statista).....	23
<b>Grafik 2:</b> Türkiye’de Çimento Üretim Kapasite Kullanımı Yıllara Göre % (Türk Çimento Müstahsilleri Birliği , 2020).....	25
<b>Grafik 3:</b> Türkiye’de Çimento Üretim ve Satış Milyon Ton Cinsinden.....	28
<b>Grafik 4:</b> Türkiye’de Çimento İç Satış ve Dış Satışın Yıllara Göre Milyon Ton Cinsinden Değişimi (Türk Çimento Müstahsilleri Birliği).....	28
<b>Grafik 5:</b> Türkiye Çimento Pazarı, Milyon Ton Cinsinden (Türk Çimento Müstahsilleri Birliği).....	29
<b>Grafik 6:</b> Türkiye’nin Dünya Çimento Pazarındaki İhracat Payı % (Türkiye İMSAD, Temmuz 2020) .....	30









4337477.5 0.0 44350.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

x49

4859815.5

The optimal value of the objective function is 61036081.3500038

## ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Ankara'da doğdu, Mimar Kemal Lisesinden mezun olduktan sonra Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İstatistik bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsüne bağlı olan İşletme Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.