

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA
VE
ÜRETİM PLANLAMA ÜZERİNE BİR UYGULAMA**

Endüstri Mühendisi Özge KAYA

**FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Tufan DEMİREL

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	v
ÖNSÖZ	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ	1
2. BULANIK KÜMELERLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR	3
2.1 Üyelik Fonksiyonları	5
2.2 Bulanık Küme İşlemleri	7
2.2.1 Bulanık Kesişim Kümesi	8
2.2.2 Bulanık Birleşim Kümesi	8
2.2.3 Bulanık Tümlleyen Kümesi	9
2.3 Bulanık Küme Özellikleri	10
2.3.1 Eşitlik Kavramı	10
2.3.2 Kapsama	10
2.3.3 Bulanık Kümelerde Üs Alma	10
2.3.4 Kartezyen Çarpım Kümesi	10
2.3.5 Yükseklik	11
2.3.6 Normallik	11
2.3.7 Destek Kümesi	11
2.3.8 Kernel Kümesi	11
2.3.9 Sınır Kümesi	11
2.3.10 Merkez Kavramı	12
2.3.11 Kardinalite (Nicelik Sayısı) Kavramı	12
2.3.12 α -Kesim Kavramı	12
2.4 Bileşenlere Ayırma ve Betimleme Teoremi	12
2.5 Genişleme Kuralı	13
3 BULANIK SAYILAR	15
3.1 Üçgensel Bulanık Sayılar	15
3.2 Yamuksal Bulanık Sayılar	16
3.3 Gauss Bulanık Sayılar	17
3.4 Bulanık Sayılarda Cebirsel İşlemler	18
3.4.1 α -Kesim Yöntemi	18
3.4.2 Genişleme Kuralı	19
3.5 Bulanık Sayılarda Maksimum ve Minimum	19

4	BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ	20
4.1	Bulanık Doğrusal Programlama Problemlerinin Çözüm Yaklaşımları	21
4.1.1	Zimmermann Yaklaşımı	22
4.1.2	Diğer Yaklaşımlar	27
4.1.2.1	Chanas Yaklaşımı	28
4.1.2.2	Werners Yaklaşımı	28
4.1.2.3	Verdegay Yaklaşımı	29
4.1.2.4	Wang ve Liang Yaklaşımı	29
5	UYGULAMA	30
5.1	Uygulama Yapılan İşletmenin Tanıtımı Ve Üretim Akışı	30
5.2	Bulanık Doğrusal Programlama Modelinin Kurulması	32
5.2.1	Karar Değişkenleri	32
5.2.2	Kısıtlar	33
5.2.3	Amaç Fonksiyonu	50
5.3	Modelin Çözümü	52
5.4	Modelin Doğrusal Programlama ile Çözümü	63
5.5	Uygulamanın Doğrusal ve Bulanık Programlama Çözümlerinin Karşılaştırılması ve Yorumu	71
5.3	Duyarlılık Analizi	76
6.	SONUÇ	78
	KAYNAKLAR	80
	EKLER	81
Ek 1	Doğrusal Programlama Modeli Lindo ile Çözüm	81
Ek 2	Bulanık Doğrusal Programlama Modeli Lindo ile Çözüm	89
	ÖZGEÇMİŞ	99

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Bulanık küme üyelik fonksiyon grafiği.....	6
Şekil 2.2 Sıcaklık Bulanık Alt Kümeleri.....	7
Şekil 2.3 $\tilde{A} \cap \tilde{B}$ Kesişim kümesi üyelik fonksiyonu.....	8
Şekil 2.4 $\tilde{A} \cup \tilde{B}$ Birleşim kümesi üyelik fonksiyonu.....	9
Şekil 2.5 $\tilde{\bar{A}}$ Tümleneyen kümesinin üyelik fonksiyonu.....	9
Şekil 3.1 Üçgensel Yamuk Sayı.....	16
Şekil 3.2 Yamuksal bulanık sayı.....	16
Şekil 3.3 Gaussal Bulanık Sayılar.....	17
Şekil 4.1 $c^T x \leq b_0$ Eşitsizliğinin Üyelik Fonksiyonu.....	24
Şekil 4.2 $(Ax)_i \leq b_i$ Eşitsizliğinin Üyelik Fonksiyonu.....	24
Şekil 5.1 Üretim bölümü iş akış şeması.....	31

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1	Dönemlere ait yaklaşık talepler	33
Çizelge 5.2	Dönemlere ait talep toleransları	34
Çizelge 5.3	Dönemlere ait talep alt sınırı	34
Çizelge 5.4	Dönemlere ait talep üst sınırı	36
Çizelge 5.5	Dönemlere ait birim işçilik süreleri	41
Çizelge 5.6	Dönemlere ait işçilik kapasiteleri	42
Çizelge 5.7	Dönemlere ait birim makine çalışma süreleri	45
Çizelge 5.8	Ürünlere göre makine tipleri	45
Çizelge 5.9	Dönemlere ait makine kapasiteleri	46
Çizelge 5.10	Ürünlerin kapladıkları birim hacim	49
Çizelge 5.11	Amaç fonksiyonu katsayıları – Normal mesai birim maliyet	51
Çizelge 5.12	Amaç fonksiyonu katsayıları – Fazla mesai birim maliyet	51
Çizelge 5.13	Amaç fonksiyonu katsayıları – Envanter taşıma birim maliyeti	51
Çizelge 5.14	Amaç fonksiyonu katsayıları – İşe alma birim maliyeti	52
Çizelge 5.15	Doğrusal ve bulanık model amaç fonksiyonları karşılaştırma	71
Çizelge 5.16	Doğrusal ve bulanık model envanter kısıtları karşılaştırma	73-74
Çizelge 5.17	Doğrusal ve bulanık model max işçilik kapasite kısıtları karşılaştırma	74
Çizelge 5.18	Doğrusal ve bulanık model gerekli işçi sayısı kısıtları karşılaştırma	75
Çizelge 5.19	Doğrusal ve bulanık model max makine çalışma süresi kapasite kısıtları karşılaştırma	75
Çizelge 5.20	Alan Kısıtı	75

ÖNSÖZ

Küresel rekabetin yoğun olduğu günümüzde ileri teknolojiyi takip eden toplumlar her zaman diğerlerinden daha önde olmaktadır. İş hayatında her gün yeni kararlar almak zorundayız. Alacağımız kararların ise daha çok belirsizlik ve bulanıklık içinde alındığını görmekteyiz. Özellikle üretim sektöründe faaliyet gösteren işletmelerde belirsizliğin (bulanıklık) etkisi daha anlaşılır seviyededir. Malzemenin zamanında gelmemesi, herhangi bir kalite problemlerinin ortaya çıkması gibi nedenlerle üretimin durması gibi. Bu bulanık ortamda hızlı ve doğru karar verebilmek ve elimizdeki kaynakları en iyi şekilde yönetmek bizleri rakiplerimiz karşısında her zaman avantajlı konuma getirecektir. Bu nedenle etkili ve doğru karar verebilmek için klasik mantık teoremi yerine, belirsizliği baz alan bulanık mantık teoremi ile sonuca ulaşmanın önemi gün geçtikçe artmaktadır.

Günümüzde önemi gün geçtikçe daha da anlaşılan bu konuda çalışmama yardımcı olan değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Tufan Demirel'e teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul, 2007

Özge KAYA

ÖZET

Bu çalışma kapsamında bulanık ortamda karar vermeyi sağlayan modellerden biri olan bulanık doğrusal programlama modeli incelenmiş ve bir üretim işletmesine ait bütünleşik üretim planı bu model ile bulanık ortamda çözülmüştür.

Üretim planlamanın amacı yakın gelecekteki dalgalanan ve belirsizlik gösteren taleplerin karşılanması için üretim seviyelerini belirlemek, işten çıkarma, fazla mesai, stok seviyesi gibi konularda karar ve politikaların oluşturulması ve böylece kullanılacak uygun kaynakların belirlenmesidir.

Üretim planlama modellerinden herhangi biri kullanıldığında çoğu zaman amaçlar ve model girdilerini (kaynaklar ve talepler) sabit/ kesin kabul ederiz. Pratikte ise talepler, kaynaklar ve maliyetler genellikle belirsiz ve bulanıklardır. Bu çalışmada da üretim planlama problemi bulanık bir ortamdır.

Çalışmanın ilk bölümünde bulanık mantık kavramı incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise, bulanık kümelerde temel işlemler ve bulanık küme özellikleri verilmiştir.

Üçüncü bölümde, bulanık kümelerin özel bir alt kümesi olan bulanık sayılara değinilmiştir.

Dördüncü bölümde, bulanık doğrusal programlama problemlerinin çözüm yaklaşımları incelenmiştir.

Beşinci ve son bölümde ise bir üretim işletmesine ait üretim planlama probleminin bulanık doğrusal programlama ve doğrusal programlama ile çözümü yer almaktadır.

Anahtar kelimeler : bulanık mantık, bulanık sayılar, bulanık doğrusal programlama, üretim planlama

ABSTRACT

In this study one of the models of fuzzy decision making that is fuzzy linear programming model is examined.

The scope of the production planning is making decisions about determining the production levels, quantity of operators, stock levels to satisfy the uncertain order .

When one of the production planning model is used, objectives and model inputs (orders and sources) are supposed to be certain. But , practically orders, sources and costs are generally uncertain and fuzzy. And also , in this study production planning problem is in a fuzzy case.

In the first part of the study, the basic concepts of fuzzy logic is introduced.

In the second part, the basic operations in fuzzy sets and its features are given.

In the third part, it is tried to explain the solution approaches of the fuzzy linear programming problems.

In the fourth, the approach for solving the fuzzy linear programming problems are explained.

In the last part, linear and fuzzy linear programming solutions of a production planning problem belonging to a company are taken place.

Key words : fuzzy logic, fuzzy numbers, fuzzy linear programming, production planning

1. GİRİŞ

Bulanık Küme kuramı ilk kez 1964 yılında Berkeley’ de California Üniversitesi öğretim üyelerinden aslen Azerbaycanlı olan Prof. Lotfi Asker ZADEH tarafından ele alınmış ve hızla gelişerek, birçok bilim adamının ilgisini çeken, araştırmaya açık yeni bir dal olmuştur. Zadeh bir sistemdeki kontrol edilemeyen etkenlerin yarattığı belirsizliğin değişik yansımalarını ve bu sistem içindeki kişilerin algılarındaki farklılıkları 1965 yılında ‘ bulanık kümeler’ adı altında yayınlanan makalesinde ele almıştır. Zadeh’ e göre bir sistemdeki karmaşıklık arttıkça, sistemi tanımlayan ifadelerin anlamı azalmakta ve anlamlı ifadeler de belirsizliğe doğru gitmektedir. Bir kavramı, bir amacı ve bir sistemi tanımlayan ifadelerdeki belirsizliğe veya kesin olmama haline bulanıklık denir. İnsanların düşünce biçimlerindeki algılama farklılıkları, sübjektif davranışları ve hedeflerindeki belirsizlikler bulanıklık olgusu ile açıklanabilir. Belirsizlik ve bilgi eksikliğini gidermek için olasılık teorisi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Olasılık teorisindeki belirsizlik, olayların gerçekleşip gerçekleşmemesi ile ilgilidir. Bulanıklık kavramı ise bir olayın kendisindeki belirsizliği açıklar.

Geçmişte genel ve özel olarak belirsizlik ifade eden terimler ve kavramlar, gelişigüzel bir ayrıma tutulmuşlar ve iki değerli kümeler kuramıyla tanımlanmışlardır. Bu zorlama bazı kavram kargaşalarına neden olmakta ve tanımlamalarda oluşan belirsizlikler nedeniyle gelişmelerde olumsuz sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

Son yıllarda gelişen bulanık kümeler kuramı ile belirsizlik ifade eden terimlere belirlilik derecesi atayarak, böylece bunların ‘Çok Değerli Kümeler’ kapsamı içine alınmaları ve bu yolla tanımlanmış olmaları sağlanmıştır.

Geleneksel kümeler ile bulanık kümeler arasındaki en temel fark üyelik fonksiyonlarıdır. Geleneksel bir küme sadece bir üyelik fonksiyonu ile nitelenebilirken, bulanık küme teorik olarak sonsuz sayıda üyelik fonksiyonu ile nitelenebilir.

Bulanık mantık ile matematiğin gerçek dünyayı yorumlamasında daha geniş bir uyarlama alanı bulunmuştur. Artık sadece siyah ve beyaz yoktur. Bunların arasında, bütün renkler ve onların her tondaki nüansları da yer alabilmektedir. İki değerli mantığın keskin değerleri yerine daha gevşek değerlendirmeler gelmiş olmaktadır. Örneğin, [sıcak/soğuk] arasına ılık girebilmektedir. Uzak/yakın, hızlı/yavaş gibi ikili denetim değişkenlerinden oluşan keskin dünyayı, biraz hızlı/ biraz yavaş, serin/ılık, v.b. gibi gevşek niteleyicilere belli üyelik dereceleri atayarak gerçek dünyamıza yansıtmayı ve gerçek dünyayı daha yaklaşık olarak temsil eden bir sistem kurmayı başarmış olmaktadır.

Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarındaki çeşitlilik, yöneticilerin karar almadaki belirsizliklerini azaltır. Bulanık küme teorisi Zadeh' in yayınladığı tarihten bu yana başta yöneylem araştırması, yönetim bilimi, yapay zekâ/akıllı sistemler, insan davranışları olmak üzere pek çok uygulama sahası bulmuştur. Ve uygulamalar artarak yaygınlaşmaktadır.

Günümüzde bulanık mantık, hayatımızın içine iyice girmiştir. Kullandığımız birçok ürünün çalışma sisteminde bulanık mantığı görebiliriz. Örneğin; ABS fren sistemleri, araçların yol bilgisayarları, klimalar, çamaşır makineleri, buzdolapları, trafik kontrolleri, asansörler... Özellikle son yıllarda hızla artan yapay zekâ, robotik, sinirsel ağlar, uzman sistemler gibi çalışmalarda bulanık mantıktan da yararlanılmaktadır.

2. BULANIK KÜMELERLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

Bulanık kümeler kuramının amacı belirsizlik ifade eden, tanımlanması güç veya anlamı güç kavramlara üyelik derecesi atayarak onlara belirlilik getirmek istemesidir. Yani, iki değerli kümeler kuramından çok değerli kurama geçiştir. İstenilen özellikte elemanların oluşturduğu nesneler grubu veya topluluğuna küme, bu nesnelerin her birine eleman ve üzerinde çalıştığımız tüm kümeleri kapsayan en geniş kümeye de evrensel küme denir.

Klasik kümeleri, listeleme, ortak özellik belirtme ve üyelik fonksiyonu yöntemleri ile gösterebiliriz.(Özkan,2003) Örneğin A kümesi yaz mevsiminin aylarından oluşsun. Bu durumda;

$$A = \{Haziran, Temmuz, Ağustos\} \quad (2.1)$$

$$A = \{x \in U \mid x = ay \quad \text{ve} \quad x = 6,7,8\} \quad (2.2)$$

$$\mu_{A(x)} = \begin{cases} 1 & ; \text{ eger } x \in A \text{ ise} \\ 0 & ; \text{ eger } x \notin A \text{ ise} \end{cases} \quad (2.3)$$

Klasik kümelerde üyelik fonksiyonu;

$$\mu_{A(x)} \rightarrow \{0,1\} \quad (2.4)$$

olarak tanımlanır ve evrensel kümenin her bir elemanı (x), üyelik fonksiyonu $\mu_{A(x)}$ 'in 0 veya 1 değeriyle eşitlenir. Yani;

$$\mu_{A(1)}=0 \quad \mu_{A(7)}=1$$

$$\mu_{A(2)}=0 \quad \mu_{A(8)}=1$$

$$\mu_{A(3)}=0 \quad \mu_{A(9)}=0$$

$$\mu_{A(4)}=0 \quad \mu_{A(10)}=0$$

$$\mu_{A(5)}=0 \quad \mu_{A(11)}=0$$

$$\mu_{A(6)}=1 \quad \mu_{A(12)}=0$$

Çoğunlukla günlük hayatta kesin sayılar ve ifadeler yerine sınırları bulanık ‘sayılar, ifadeler ve nesne sınıfları’ kullanılır. Klasik mantık sistemleri ise, sadece belirli koşullarda oluşan, kesin doğruluk değerleri “doğru” ya da “yanlış”tan birisine sahip önermelerle ilgilenirler. Belirsizlikle ilgilenmezler.

Bulanık mantığın anlatmak istediği; bir önermenin “doğru”, “yanlış”, “çok doğru”, “çok yanlış”, “yaklaşık olarak doğru”, “yaklaşık olarak yanlış”, v.b. gibi olabileceğidir. Diğer bir deyişle doğruluk, önermelerle, klasik “yanlış” ve “doğru” arasındaki sonsuz sayıdaki doğruluk değerlerini içeren bir kümedeki değerler ya da sayısal olarak $[0, 1]$ gerçel sayı aralığıyla ilişkilendiren bir fonksiyondur. (Özbek,2004)

Bazı kümelerin kesin sınırlarla ifade edilmesi gerçekçilikten uzaklaşma anlamına gelebilir. Çünkü küme özelliğini belirleyen sınır koşullu net olarak ifade edilemeyebilir veya bu koşulun net olarak ifade edilmemesi daha doğru olabilir.(Özkan,2003) Örneğin; 25^0C ve üzerinde çalışan bir klima olduğunu düşünelim. Bu klima 25.1^0C ’de de çalışmaktadır. Ancak bizim için 25^0C ile 25.1^0C arasında çok büyük bir fark yoktur. Bu durumda klimanın çalışmamasının daha faydalı olacağı açıktır.

Bulanık küme kuramı, bir elemanın bir kümeye kısmi üyeliğine izin verir ve küme üyeliği için $[0,1]$ arasındaki herhangi bir değeri kabul eder. Eğer üyelik derecesi olarak adlandırılan üyelik fonksiyonunun değeri, 1’e eşitse x elemanının bulanık kümenin tam üyesi olduğu; eğer bu değer sıfır ise, x elemanının bulanık kümeye ait olmadığı; eğer üyelik derecesi sıfır ile 1 arasında ise x elemanının bulanık kümeye kısmen üye olduğu anlaşılır.

Bu durumda üyelik fonksiyonunu aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz.(Zhang, 2004)

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \rightarrow [0,1] \quad (2.5)$$

Bulanık bir küme ise, bir eleman ve bu elemanın kümeye üyelik derecesini gösteren sıralı çiftlerle ifade edilir.

$$\tilde{A} = (x, \mu_{\tilde{A}}(x)), \quad \forall x \in U \quad (2.6)$$

Yukarıda belirtilen $(x, \mu_{\tilde{A}}(x))$ çiftine bir bulanık teklik denir ve aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x} \quad (2.7)$$

Eğer evrensel küme; sayılabilir, sınırlı ve sonlu sayıda ise evrensel kümedeki A bulanık kümesi, listelenen herhangi bir eleman ve A kümesindeki üyelik derecesi tarafından tanımlanabilir. (Özkan,2003)

$$\tilde{A} = \sum_i^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \quad (2.8)$$

Evrensel kümenin sonsuz olması halinde ise, bir bulanık küme aşağıdaki gibi ifade edilir.(Özkan,2003)

$$\tilde{A} = \int \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (2.9)$$

Yukarıda verilen ifadelerde,

$\sum \rightarrow$ Toplam simgesi, Bulanık tekliklerin kesikli evrende bir araya getirilmesini,

$\int \rightarrow$ İntegral simgesi, bulanık tekliklerin sürekli evrende bir araya getirilmesini,

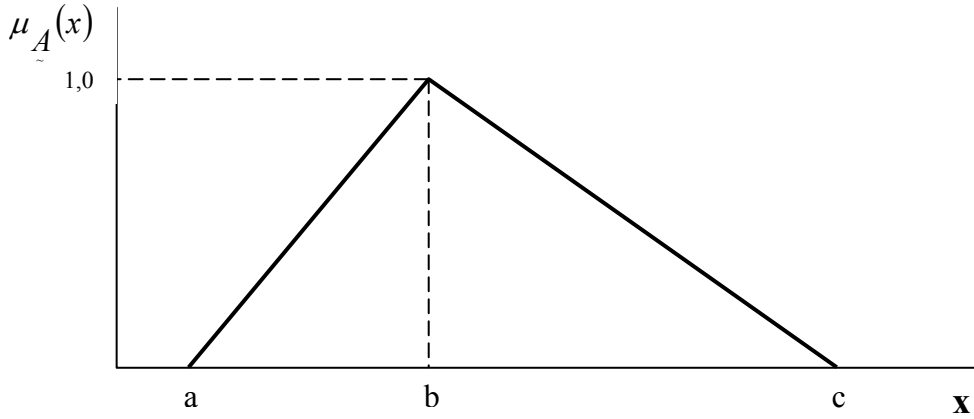
$/ \rightarrow$ Bu simge, matematiksel olarak $(x, \mu_A(x))$ tekliğini ifade etmek için kullanılan bir ayıraçtır.

$+ \rightarrow$ İşareti ise, bulanık tekliklerin birleşimini gösterir.

2.1 Üyelik Fonksiyonları

Bir bulanık ifadeye ait sayısal aralık o ifade hakkında bilgi ve tecrübesi olan kişiler tarafından belirlenebilir. Mesela Bursa ilindeki sıcaklık değişiminin -3 ile 38 derece arasında olduğunu düşünelim. -3 ile 38 derece aralığı Bursa ili sıcaklık kümesinin bulunabileceği aralığı belirtir. Böylece tüm sıcaklık uzayı belirlenmiştir. Fakat günlük hayatta bu sıcaklık uzayının da bir takım alt aralıklardan oluştuğu düşünülür. Mesela çok soğuk, soğuk, ılık, sıcak, çok sıcak gibi. Burada önce her bir terimin aralığının ne olduğuna karar vermek gerekmektedir. Bu alt kümelerin her birinin üst üste örtüşmeyen ancak birbirinin sınırdaki devamıymış gibi oldukları söylenebilir. Mesela çok soğukun -3 ile 0, soğukun 0 ile 10, ılığın 10 ile 18, sıcak 18 ile 27, çok sıcak 27° den başladığı söylenebilir. Burada dikkat edilirse aralık tahminlerinde bulunulmuş ve her bir alt aralıktan biri bitince diğeri başlamıştır. Ancak biraz daha makul düşünen birisi, bu aralıkların arasındaki geçiş kısımlarının böyle birbirinin devamı olmayacağını ve bir örtüşmenin söz konusu olabileceğini söylerse daha mantıklı ve günlük hayatta daha geçerli ve uzlaştırmacı çözümlere gitmiş olur. Çünkü herkesin ılık sınırını, 10 ile

18 derece arasını kabul edeceğini savunmak mümkün değildir. Böylece birinci olarak sıcaklık kümesinin alt aralıklarının birbiri ile örtüşmeli geçişlere sahip olacağı anlaşılır. Ayrıca dikkat edilecek diğer bir konu ise her alt aralığa örneğin ılık aralığına düşen sıcaklık derecelerinin hepsinin aynı önemde olup olmayacağıdır. Doğal olarak ılık aralığının alt ve üst uçlarına yaklaştıkça onun komşusu olan altta sıcak üstte ise soğuk alt kümelerine doğru geçişler beklendiği için, o geçiş bölgelerine rastlayan kısımların tam anlamı ile ılık vasfına sahip olacağı söylenemez. Böylece, her bir alt aralığa düşen sıcaklık derecelerinin o alt aralığın uçlarına yakın kısımlarında önemlerini göreceli olarak ortaya kıyasla kaybedeceği sonucuna, buradan da eğer bir alt aralıkta önem derecesi diye bir değer düşünülecek olursa, bunun en büyük değerlerinin ortalarda en düşüklerinin ise uçlarda olacağını anlayabiliriz. Bu düşünceler bizi Şekil 2.1 'de gösterilen bir geometrik gösterime sürükler ki bu da bir alt kümedeki küme öğelerinin her birinin o kümedeki önemini belirten bir değerin bulunduğudur.



Şekil 2.1 Bulanık küme üyelik fonksiyon grafiği.(Wang, Liang,2004)

Genel olarak küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren böyle bir eğriye önem eğrisi adı verilebilir. Bunun en önemli özellikleri alt küme sınırlarındaki değerlerinin orta öğelerinkine göre daha düşük olmasıdır. Ancak klasik kümelerle bir benzerlik teşkil etmesi açısından en büyük önem derecesine sahip olan ortaya yakın öğelere 1 değeri atanırsa, diğerlerinin 0 ile 1 arasında ondalık ve sürekli bir değişim gösterdiği sonucuna varılır. İşte bu şekilde 0 ile 1 arasındaki değişimin her bir öğe için değerine üyelik derecesi, bunun bir alt küme içindeki değişimine ise üyelik fonksiyonu adı verilir. Böylece üyelik fonksiyonunun semsiyesi altında toplanan öğeler önem derecelerine göre birer üyelik derecesine sahiptir.

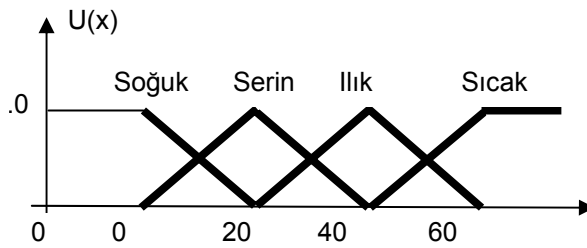
Bulanık kümelerin gerek üyelik derecelerinin gerekse bunların tümünü temsil edebilecek üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde ilk başlayanlar tarafından kişisel sezgi, mantık ve tecrübelerin kullanılmasına sıkça rastlanır. Zaten pratikte birçok sorunun üstesinden gelmek

için bu yaklaşımlar çoğu zaman yeterlidir. Öyle olmasa bile, ilk yaklaşım olarak bu esaslara göre alınmaları faydalıdır. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan başlıca yöntemler. (İlkaz,2002)

- a) Sezgi,
- b) Çıkarım,
- e) Mertebelendirme,
- d) Açılı bulanık kümeler,
- e) Yapay sinir ağları,
- f) Genetik algoritmalar,
- g) Çıkarımcı muhakeme

gibi değişik yaklaşımlardır.

Bunlardan sezgi fazlaca teknik bilgi gerektirmemektedir. Burada her kişinin kendi anlayış, görüş ve olaya bakışları önemli rol oynar. Buna en basit örnek herkesin hemen her gün karşı karşıya kalarak görüş belirttiği sıcaklık kelimesinin belirttiği belirsiz alt kümeleri düşünebiliriz. En azından soğuk, serin, ılık ve sıcak gibi dört tane alt küme belirlenebilir. Bu alt kümelerin her biri belirli bir geometrik şekil ile aşağıda görüldüğü gibi temsil edilebilir.



Şekil 2.2 Sıcaklık Bulanık Alt Kümeleri (İlkaz,2002)

Bu geometrik şekillerin konumları, doğal olarak o yörede yaşayan, kişilere göre değişir. Örneğin, kutuplarda yaşayan insanların soğuk kavramı ile tropikal bölgelerde yaşayanlarınki birbirinden oldukça farklıdır. Üyelik fonksiyonu atamalarında mertebelendirme yöntemi de kullanılır. Burada bulanık değişkene anketler, soruşturmalar veya seçimler sonucunda üyelik derecelerinin atanmasına çalışılır. Her zaman verilen iki seçenek arasındaki tercihler sayılır veya bu tercihlere verilen puanlandırmalarla işlemler görülür.

2.2 Bulanık Küme İşlemleri

Klasik kümelerde, kesişim, birleşim, ve tümlleme şeklinde üç temel işlem vardır. Bu işlemler bulanık kümelerde aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

2.2.1 Bulanık Kesişim Kümesi (Zhang, 2004)

Evrensel küme U 'da tanımlı $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ kümelerinin üyelik fonksiyonları $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ve $\mu_{\tilde{B}}(x)$ olsun. Bu durumda $\tilde{A} \cap \tilde{B}$ bulanık kümesi,

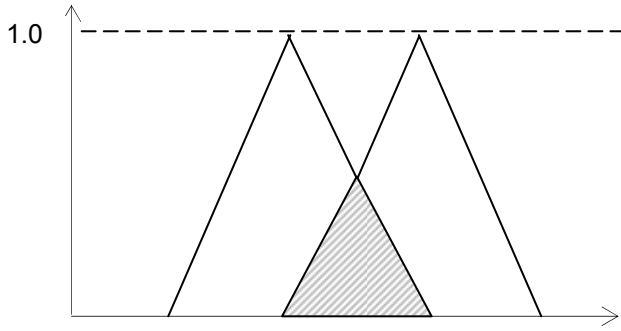
$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) \quad \forall x \in U \quad (2.10)$$

şeklinde tanımlanır.

Kesişim kümesi ayrıca,

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = (\mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x)) = A \text{ ve } B \quad \forall x \in U \quad (2.11)$$

şeklinde de gösterilebilir.



Şekil 2.3 $\tilde{A} \cap \tilde{B}$ Kesişim kümesi üyelik fonksiyonu (Cheetham A., 2003)

2.2.2 Bulanık Birleşim Kümesi (Zhang,2004)

Evrensel küme U 'da tanımlı $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ kümelerinin üyelik fonksiyonları $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ve $\mu_{\tilde{B}}(x)$ olsun. Bu durumda $\tilde{A} \cup \tilde{B}$ bulanık kümesi,

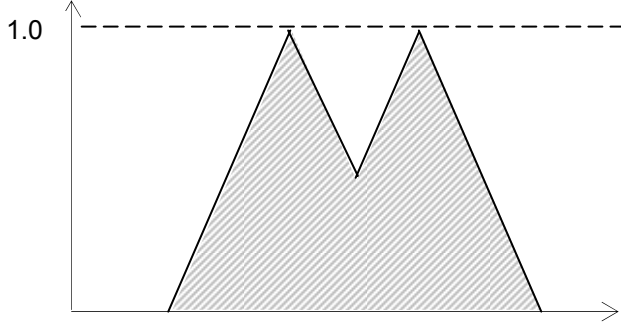
$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \max(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) \quad \forall x \in U \quad (2.12)$$

şeklinde tanımlanır.

Birleşim kümesi ayrıca,

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = (\mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x)) = A \text{ veya } B \quad \forall x \in U \quad (2.13)$$

şeklinde de gösterilebilir.



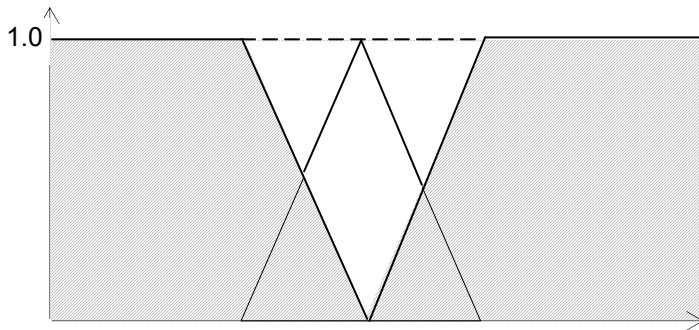
Şekil 2.4 $\tilde{A} \cup \tilde{B}$ Birleşim kümesi üyelik fonksiyonu (Cheetham,2003)

2.2.3 Bulanık Tümleyen Kümesi (Zhang,2004)

Evrensel kümede tanımlı $\tilde{A}$ kümesinin tümleyeni $\overline{\tilde{A}}$ kümesi olsun. $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ve $\mu_{\overline{\tilde{A}}}(x)$ sırasıyla $\tilde{A}$ ve $\overline{\tilde{A}}$ kümelerinin üyelik fonksiyonlarını gösterebilir. Bu durumda bulanık A tümleyen kümesi,

$$\overline{\tilde{A}} = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) \quad \forall x \in U \quad (2.14)$$

şeklinde tanımlanır.



Şekil 2.5 $\overline{\tilde{A}}$ Tümleyen kümesinin üyelik fonksiyonu (Cheetham, 2003)

2.3 Bulanık Küme Özellikleri

2.3.1 Eşitlik Kavramı

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ gibi iki bulanık kümenin eşit olabilmesi için (Özkan, 2003)

Bu iki küme aynı evrensel kümede tanımlı olmalı,

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ kümelerinin üyelik fonksiyonları, evrensel kümedeki her bir eleman için aynı üyelik derecesini almalıdır.

Bu durumda eşit iki bulanık küme,

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{B}}(x) \quad \forall x \in U \Leftrightarrow \tilde{A} \equiv \tilde{B} \quad (2.15)$$

şeklinde gösterilir.

2.3.2 Kapsama

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık iki küme olsun. $\tilde{B}$ kümesinin $\tilde{A}$ kümesini kapsaması için,

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x) \quad \forall x \in U \quad (2.16)$$

ilişkisinin olması gerekir. Bu durum,

$$\tilde{A} \subseteq \tilde{B} \quad (3.17)$$

şeklinde gösterilir. (Aksoy, Özkan, Karanfil, 2003)

2.3.3 Bulanık Kümelerde Üs Alma

Bulanık kümelerde $\tilde{A}$ 'nın β kuvveti yeni bir bulanık küme ile sonuçlanır ve aşağıdaki şekilde gösterilir. (Özkan, 2003)

$$\mu_{\tilde{A}^\beta}(x) = \left(\mu_{\tilde{A}}(x) \right)^\beta \quad ; \quad \forall x \in U \quad (2.18)$$

2.3.4 Kartezyen Çarpım Kümesi

$\tilde{A}$, $\tilde{B}$ ve $\tilde{C}$ bulanık kümeleri sırasıyla U , V ve W evrensel kümelerinde tanımlı olsun. Bu kümelerde yer alan her bir elemanı sırasıyla, x , y , z ile niteleyelim. Bu durumda $\tilde{A}$, $\tilde{B}$ ve $\tilde{C}$

kümelerinin kartezyen çarpımı $U \times V \times W$ çarpım uzayında aşağıda verilen üyelik fonksiyonu ile nitelenen bulanık bir kümedir .(Özkan,2003)

$$\mu_{U \times V \times W}(x, y, z) = \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y), \mu_{\tilde{C}}(z)) \quad x \in U, \quad y \in V, \quad z \in W \quad (2.19)$$

2.3.5 Yükseklik

Bulanık bir kümenin yüksekliği, üyelik fonksiyonunun aldığı en üst değerdir ve aşağıdaki şekilde gösterilir. (Aksoy, Özkan, Karanfil,2003)

$$yükseklik(\tilde{A}) = \sup[\mu_{\tilde{A}}(x)] \quad \forall x \in U \quad (2.20)$$

2.3.6 Normallik

Yüksekliği 1'e eşit olan kümelere normal bulanık küme, aksi takdirde normal olmayan bulanık küme denir. (Aksoy, Özkan, Karanfil,2003)

$$yükseklik(\tilde{A}) = \sup[\mu_{\tilde{A}}(x)] = 1 \quad ; \quad \exists x \in U \quad (2.21)$$

2.3.7 Destek Kümesi

Üyelik fonksiyonundaki üyelik derecesi sıfırdan büyük olan elemanların bir araya getirdiği kümeye denir ve aşağıdaki şekilde gösterilebilir.(Özkan,2003)

$$Destek(\tilde{A}) = \{x \in U \mid \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\} \quad (2.22)$$

2.3.8 Kernel Kümesi

Üyelik fonksiyonundaki tüm elemanların, üyelik derecesi 1 ise böyle kümelere Kernel kümesi denir ve aşağıdaki şekillerde gösterilebilir. (Özkan,2003)

$$Kernel(\tilde{A}) = \{x \in U \mid \mu_{\tilde{A}}(x) = 1\} \quad (2.23)$$

2.3.9 Sınır Kümesi

Bulanık bir kümeye kısmen üye olan elemanların bir araya getirildiği geleneksel kümeye sınır kümesi denir.

2.3.10 Merkez Kavramı

Bulanık bir kümeye ilişkin üyelik fonksiyonunun maksimum değeri sonlu bir sayı olduğunda, bu kümede yer alan elemanların üyelik derecelerinin ortalama değeri, bulanık kümenin merkezini verir. Ortalama değer negatif (veya pozitif) sonsuza eşitse, üyelik fonksiyonunun maksimum değerine ulaştığı noktalar arasından en büyük (veya en küçük) olan noktaya merkez denir. (Özkan,2003)

2.3.11 Kardinalite (Nicelik Sayısı) Kavramı

Geleneksel kümelerde kardinalite kavramı, bir kümede yer alan eleman sayısı anlamına gelmektedir.

Bu kavram bulanık kümelerde de geleneksel kümelerdeki anlamına benzemekle birlikte sonlu bir evrensel kümede tanımlı olan bulanık kümelerde ise aşağıdaki şekilde ifade edilir. (Özkan, 2003)

$$Card(\tilde{A}) = \sum_i^n \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (2.24)$$

2.3.12 α -Kesim Kavramı

Bulanık bir kümenin α - kesimi, üyelik fonksiyon değeri α ' ya eşit veya daha büyük olan elemanların yer aldığı klasik (bulanık olmayan) bir kümedir. Seçilen her bir α değeri ile farklı bir α -kesim kümesi oluşturulur. α değeri, $\alpha \in (0,1]$ koşuluyla tanımlanan gerçel bir sayıdır. Her bir α düzeyi ile üyelik fonksiyonunun farklı bir dilimi belirlenir. $\alpha_1 < \alpha_2$ olduğunda, $A_{\alpha_1} \subseteq A_{\alpha_2}$ şeklindeki kapsama ilişkisi geçerli hale gelir. Diğer bir ifade ile α değeri arttıkça, α -kesimiyle oluşturulan klasik kümedeki eleman sayısı azalır. α -kesim kümesi, matematiksel olarak aşağıdaki gibi bulunur.(Özkan, 2003)

$$A_{\alpha} = \{x \in U \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha \} \quad \text{ve} \quad \alpha \in [0,1] \quad (2.25)$$

2.4 Bileşenlere Ayırma ve Betimleme Teoremi

Bulanık bir küme, farklı α değerleri kullanılarak bulanık olmayan kümeler halinde ifade edilebilir. Dolayısıyla, bulanık bir küme, α -kesim kümelerinin bir dizisi olarak kısımlara ayrıştırılabilir. Evrensel küme U 'da tanımlı olan bulanık bir kümenin α -kesimlerine göre açıklanmasını sağlayan kurala, bileşenlere ayırma kuralı denir. Matematiksel olarak bileşenlere ayırma kuralı;

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \max_{\alpha \in [0,1]} [\min(\alpha, \mu_{A_\alpha})]; \quad \forall x \in U \quad (2.26)$$

ifadesiyle tanımlanır. Burada, α -kesim kümesi A_α 'nın üyelik fonksiyonu aşağıda verildiği gibidir. (Özkan, 2003)

$$\mu_{A_\alpha}(x) = \begin{cases} 1 & ; \text{ eger } x \in A_\alpha \text{ ise} \\ 0 & ; \text{ eger } x \notin A_\alpha \text{ ise} \end{cases} \quad (2.27)$$

Bazı uygulamalarda, üyelik fonksiyonu tam olarak bilinmez. Bu belirsizliği gidermek için betimleme teoremi, üyelik fonksiyonuna yaklaşmayı olası kılan bir çözüm aracı sağlar.

$\tilde{A}$ kümesinin üyelik fonksiyonunu $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ile, α -kesim kümesi de A_α ile gösterelim. Bu durumda α değerini A_α kesim kümesi ile çarparak, bulanık bir küme olan $\alpha\tilde{A}$ kümesini oluşturabiliriz.

$$\mu_{\alpha\tilde{A}} = \min[\alpha, \mu_{\tilde{A}}] \quad ; \quad \forall x \in U \quad (2.28)$$

üyelik fonksiyonuyla nitelenmesi halinde, $\tilde{A}$ kümesi betimleme teoremine göre aşağıdaki gibi tanımlanır. (Özkan, 2003)

$$\mu_{\tilde{A}} = \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \mu_{\alpha\tilde{A}}(x) \quad (2.29)$$

Burada, U terimi birleşim işlemini göstermektedir.

2.5 Genişleme Kuralı

Genişleme Kuralı, matematiksel kavram ve teorilerin bulanık ortamda da kullanılmasını sağlayan bir yöntemdir. (Özkan, 2003)

x ve y değişkenleri sırasıyla $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerindeki elemanları gösterebiliriz. Ayrıca $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ kümelerinin sırasıyla U ve V evrenlerinde tanımlı olduğunu kabul edelim. Yani $x \in \tilde{A}, y \in \tilde{B}, \tilde{A} \subset U, \tilde{B} \subset V$ olsun. $\tilde{A}$ kümesinin,

$$\tilde{A} = \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_n)}{x_n} \quad (2.30)$$

üyelik fonksiyonuyla nitelendiği bir durumda, x ve y değişkenleri arasında $y = f(x)$ şeklinde fonksiyonel bir ilişki varsa veya bu değişkenlerin tanımlı olduğu evrensel kümeler arasında $f: U \rightarrow V$ şeklinde bir eşleşme söz konusu ise, $\tilde{B}$ kümesinin üyelik fonksiyonu genişlene kuralına göre aşağıdaki gibi bulunur. (Özkan, 2003)

$$\tilde{B} = f(\tilde{A}) = f\left[\frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_n)}{x_n}\right] = \left[\frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{f(x_1)} + \dots + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_n)}{f(x_n)}\right] \quad (2.31)$$

Burada, $y = f(x)$ fonksiyonunun birebir örten olması gerekir. Burada dikkat edilirse, $\tilde{B}$ kümesindeki elemanların üyelik derecelerinin, $\tilde{A}$ kümesinde yer alan elemanların üyelik derecelerinden oluşmuştur.

3.BULANIK SAYILAR

Bulanık sayıların tanımlı olduğu evrensel küme, gerçel sayılar kümesi, tamsayılar kümesi veya doğal sayılar kümesidir.

Bulanık sayılar, bulanık kümelerin özel bir alt kümesidir. Bu tanımdan, her bulanık sayının bir bulanık küme olduğu sonucuna ulaşılabilir; fakat her bulanık küme bir bulanık sayı değildir. Bir bulanık kümenin, bulanık sayı olabilmesi için; (Wu, 2005)

- Bulanık kümedeki elemanlardan en az birinin üyelik derecesi 1 (normal bir bulanık küme olmalıdır) olmalıdır.

$$yükseklik(\underline{A}) = \sup[\mu_{\underline{A}}(x)] = 1 \quad ; \quad \exists x \in U \quad (3.1)$$

- Bulanık küme, dış bükey bir bulanık küme olmalıdır.

$$\mu_{\underline{A}}[\lambda x_1 + [1 - \lambda]x_2] \geq \min[\mu_{\underline{A}}(x_1), \mu_{\underline{A}}(x_2)] \quad \lambda \in [0,1] \quad (3.2)$$

- Bulanık kümenin, her bir α -kesimi, gerçel sayı doğrusunun kapalı bir aralığında tanımlı olmalıdır.

$$\left\{ x \in U \mid \mu_{\underline{A}}(x) \geq \alpha \right\} \quad ve \quad \alpha \in [0,1] \quad (3.3)$$

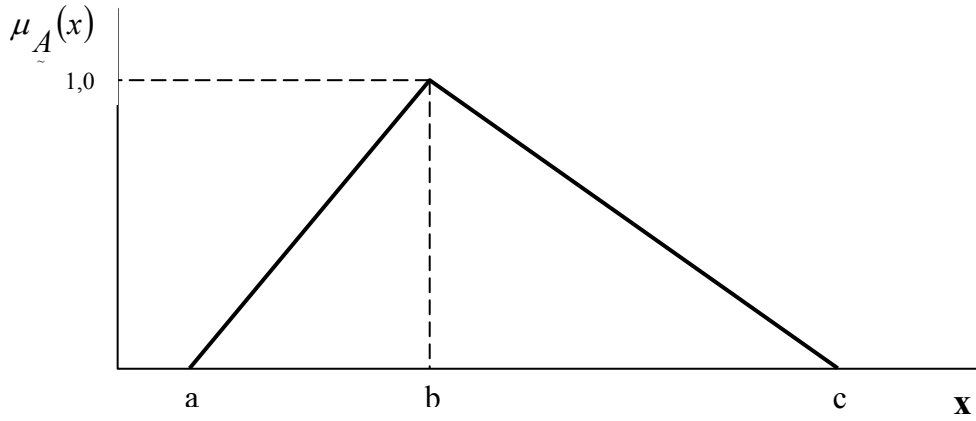
- Bulanık kümenin destek kümesi sınırlı olmalıdır.

$$\left\{ x \in U \mid 0 < \mu_{\underline{A}}(x) < 1 \right\} \quad (3.4)$$

Bulanık sayıların üç özel türü olan üçgensel, yamuksal ve gauss bulanık sayılardır. Bu sayılar isimlerini üyelik fonksiyonlarının şekillerinden alırlar. Şimdi bunları kısaca inceleyelim.

3.1 Üçgensel Bulanık Sayılar

Üçgensel bir bulanık sayı aşağıdaki üyelik fonksiyonlarıyla parametrik olarak ifade edilebilir.

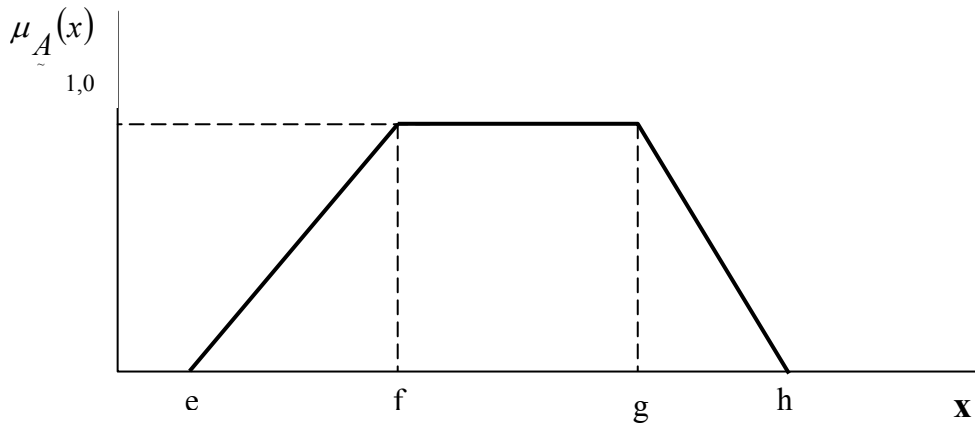


Şekil 3.1 Üçgensel Bulanık Sayı

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x; a, b, c) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{x-a}{b-a} & ; \quad a \leq x \leq b \quad \text{ise} \\ \frac{c-x}{c-b} & ; \quad b \leq x \leq c \quad \text{ise} \\ 0 & ; \quad x \geq c \text{ veya } x \leq a \quad \text{ise} \end{array} \right\} \quad (3.5)$$

3.2 Yamuksal Bulanık Sayılar

Yamuksal bir bulanık sayı, aşağıda verilen üyelik fonksiyonu ile parametrik olarak ifade edilebilir. (Özkan,2003)



Şekil 3.2 Yamuksal bulanık sayı

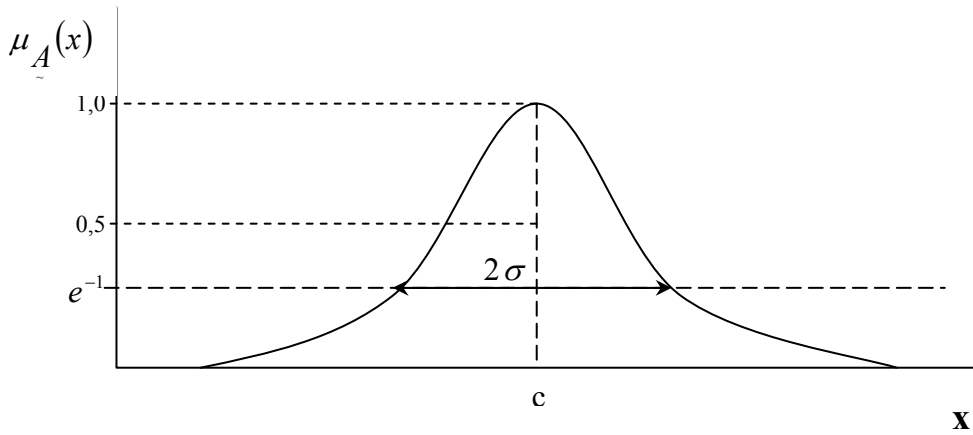
$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x; e, f, g, h) = \left\{ \begin{array}{lll} \frac{x-e}{f-e} & ; & e \leq x \leq f \quad \text{ise} \\ 1 & ; & f \leq x \leq g \quad \text{ise} \\ \frac{h-x}{h-g} & ; & g \leq x \leq h \quad \text{ise} \\ 0 & ; & x \geq h \text{ veya } x \leq e \quad \text{ise} \end{array} \right\} \quad (3.6)$$

Burada e ve h parametreleri yamuksal bir bulanık sayının kanat açıklıklarını veya üyelik derecesinin sıfır olduğu elemanları gösterir. f ve g parametreleri ise, bu sayının kernel kümesini gösterir. Önceki konuda da açıklandığı gibi kernel kümesi, üyelik fonksiyonunda 1 üyelik dereceli elemanların bir araya getirildiği bir kümedir. Şekil3.2 de grafik olarak gösterilmiştir.

3.3 Gauss Bulanık Sayılar

Gaussal bir bulanık sayı, aşağıda verilen üyelik fonksiyonu ile parametrik olarak ifade edilebilir,

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x; \sigma, c) = e^{-\left[\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)\right]^2} \quad (3.7)$$



Şekil 3.3 Gaussal Bulanık Sayılar

Parametrik olarak ifade edilen ifade edilen α -kesim kümeleri, seçilen farklı α değerleri için bir alt ve bir üst sınırla sonuçlanır. Bulanık bir sayının α -kesim kümesi aşağıdaki gibi bulunur.

$$A_\alpha = \left\{ x \in U \mid \mu_{\tilde{A}} \geq \alpha \right\} \quad \text{ve} \quad \alpha \in (0,1] \quad (3.8)$$

Bu α -kesim kümeleri aralıklar halinde aşağıdaki gibi ifade edilebilir. (Wu,2005)

$$A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}] \quad (3.9)$$

Burada $a_1^{(\alpha)}$, α -kesim kümesinin alt sınırını; $a_2^{(\alpha)}$ ise α -kesim kümesinin üst sınırını gösterir.

3.4 Bulanık Sayılarda Cebirsel İşlemler

Bulanık sayılarla yapılan cebirsel işlemlerde en çok, α -kesim ve genişleme kuralları uygulanmaktadır.

3.4.1 α -Kesim Yöntemi

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık sayıların α -kesimleri $A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}]$ ve $B_\alpha = [b_1^\alpha, b_2^\alpha]$ olarak belirlensin. Bu durumda aşağıdaki ilişkiler kurulabilir. (Wu, 2003)

$$\left. \begin{aligned} (A+B)_\alpha &= C_\alpha = [a_1^\alpha + b_1^\alpha, a_2^\alpha + b_2^\alpha] = [c_1^\alpha, c_2^\alpha] \\ (A-B)_\alpha &= D_\alpha = [a_1^\alpha - b_1^\alpha, a_2^\alpha - b_2^\alpha] = [d_1^\alpha, d_2^\alpha] \\ (A \times B)_\alpha &= E_\alpha = [a_1^\alpha \times b_1^\alpha, a_2^\alpha \times b_2^\alpha] = [e_1^\alpha, e_2^\alpha] \\ (A \div B)_\alpha &= F_\alpha = [a_1^\alpha \div b_1^\alpha, a_2^\alpha \div b_2^\alpha] = [f_1^\alpha, f_2^\alpha] \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

Buradan elde edilen C_α , D_α , E_α ve F_α bulanık sayıları betimleme teoremine göre bulanık kümelere dönüştürülebilir. (Özkan, 2003)

3.4.2 Genişleme Kuralı

İki bulanık sayı arasındaki cebirsel işlemler genişleme kuralına göre aşağıdaki gibi bulunur. (Özkan, 2003)

$$\left. \begin{aligned} \mu_{\tilde{C}}(z) &= \max_{z=x+y} \min \left(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y) \right) \\ \mu_{\tilde{D}}(z) &= \max_{z=x-y} \min \left(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y) \right) \\ \mu_{\tilde{E}}(z) &= \max_{z=x \times y} \min \left(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y) \right) \\ \mu_{\tilde{F}}(z) &= \max_{z=x \div y} \min \left(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y) \right) \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

3.5 Bulanık Sayılarda Maksimum ve Minimum

α -kesimlerine göre iki bulanık sayının maksimumu veya minimumu aşağıda gösterildiği gibi hesaplanabilir. (Watkins, 2004)

Minimumu :

$$A_{\alpha}(\wedge)B_{\alpha} = \left[\left\{ \min(a_1^{(\alpha)}, b_1^{(\alpha)}) \right\}, \left\{ \min(a_2^{(\alpha)}, b_2^{(\alpha)}) \right\} \right] \quad (3.12)$$

Maksimumu:

$$A_{\alpha}(\vee)B_{\alpha} = \left[\left\{ \max(a_1^{(\alpha)}, b_1^{(\alpha)}) \right\}, \left\{ \max(a_2^{(\alpha)}, b_2^{(\alpha)}) \right\} \right] \quad (3.13)$$

4. BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ

Doğrusal programlama, sınırlı kaynakların kullanımını optimum kılmak için tasarlanmış bir matematiksel modelleme yöntemidir. (Taha, 2002)

Doğrusal programlama modeli üç bileşenden oluşur;

- Belirlenecek karar değişkenleri ,
- Optimum kılacağımız amaç (hedef),
- İçinde bulunduğumuz kısıtlar.

Değişkenler sürekli kontrol edilebilir olduğu gibi negatif değerlerde alamazlar. (Taha, 2002)

Bu durumda klasik bir maksimizasyon modelini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz. (Gasimov, 2002)

$$\begin{array}{ll}
 \text{Amaç Fonk.} & \text{Max} Z = \sum_{j=1}^n c_j \times x_j \\
 \text{Kısıtlar} & \sum_{j=1}^n a_{ij} \times x_j \leq b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \\
 & x_j \geq 0
 \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Amaç Fonk.} \\ \text{Kısıtlar} \end{array}} \right\} \quad (4.1)$$

Doğrusal Programlama modellerindeki bazı varsayımları ise şöyle sıralayabiliriz. (Öztürk, 1997)

- *Doğrusallık* : Bu varsayım sistem içerisindeki girdi ve çıktılar arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğunu gösterir.
- *Toplanabilirlik*: Bu varsayım değişik üretim faaliyetlerine kaynak olan üretim girdilerinin toplamının her bir işlem için ayrı ayrı kullanılan girdilerinin toplamına eşit olduğunu gösterir.
- *Sınırlılık Varsayımı*: Kullanılan kaynaklar belli değerlerde sınırlandırılmıştır.
- *Negatif Olmama*: Değişkenlerin değeri sıfır veya sıfırdan başka bir değer almalıdır.
- Amaç fonksiyonu maksimizasyon veya minimizasyonu hedefler.

Doğrusal programlama problemlerinin başlıca çözüm yöntemleri şunlardır.(Hansen, 1996)

- Grafik çözüm yöntemi,
- Simpleks yöntemi,

Doğrusal programda bilinmeyen sayısı 3'ü aştığında geometrik yöntemle çözüme ulaşılamaz. Bu durumda daha farklı çözüm yöntemleri kullanılmalıdır. 1940' lardan bu yana bilgisayar teknolojisindeki hızlı değişiklikler, doğrusal programlamada çok bilinmeyenli denklemlerin çözümünü olanaklı kılmıştır. (Hansen, 1996) Bu çalışmada da doğrusal programlama çözüm programı olarak LINDO paket programı kullanılmıştır.

Bu yöntemlerin genel olarak işleyişini şöyle açıklayabiliriz. Amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcılardan oluşan doğrusal programlama modelinde, kısıtlayıcı kümesinden hareketle uygun çözüm alanında olası çözümler bulunur. Bu uygun çözüm alanının bulunmasında temel olarak kısıtlayıcıların kesişim kümesi alınır. Olası çözümler kümesinde bulunan noktalar aracılığı ile de amaç fonksiyonu en iyi hale getirilmeye çalışılır.

Doğrusal Programlama modellerindeki bulanıklık, amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı katsayılarının tam olarak bilinmediği ve modeldeki bazı eşitsizlikler (veya eşitlikler) için net olmayan sınırların tanımlanabileceği anlamına gelir. Bunlar, eksik bilgiden veya yapısal durumdan kaynaklanabilir. Örneğin; “maliyeti olabildiğince azaltmak” şeklindeki bir hedef, bulanık bir amacı niteler. Diğer bir değişle, amaç fonksiyonu için belirlenen erişim düzeyi bulanık olarak ifade edilir. Benzer olarak, $Ax \leq b$ şeklinde ifade edilen kısıtlayıcı kümesinde, $\leq$ işaretinin matematiksel anlamına belirli bir aralıkta tolerans gösterilebilir., c_j, b_i ve a_{ij} parametreleri ise sırasıyla aşağıda verilen anlamlarda bulanıklık içerebilir. Bir ürünün satış fiyatının, dolayısıyla elde edilebilecek birim karın (c_j), rekabet, maliyet vb. faktörler nedeniyle kesin olarak ifade edilmesi gerçekçi olmayabilir. Diğer yandan belli bir ürüne olan talep miktarı (b_i) çoğu durumda tam olarak bilinemez. Benzer olarak üretim için kullanılacak kaynakta olabilecek iyileşmeler (işgücünün uzmanlaşması gibi) nedeniyle ilgili parametrede bir bulanıklaşma olabilir. Dolayısıyla c_j, b_i ve a_{ij} katsayıları bulanık sayılarla veya bulanıklığı niteleyen tolerans aralıkları ile ifade edilir. (Özkan, 2003)

4.1 Bulanık Doğrusal Programlama Problemlerinin Çözüm Yaklaşımları

Literatürde bulanık doğrusal programlama modeliyle ilgili birçok yaklaşım vardır. Ancak bu modellerin çıkış noktası Zimmermann çözüm modelidir. Bu çalışmada Zimmermann çözüm modeli detaylı incelenecek, en çok kabul gören diğer yöntemlere ise kısaca değinilecektir.

4.1.1 Zimmermann Yaklaşımı (Özkan, 2003)

Zimmermann, bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılı doğrusal programlama problemleri için simetrik bir yaklaşım önermiştir. Zimmermann'a göre, bulanık amaç fonksiyonu karar vericiden sağlanan bulanık bir erişim düzeyi ile bulanık bir kısıtlayıcı olarak ifade edilebilir. Bu durumda, bulanık karar kümesi belirlenirken bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılar birbirinden farksız olarak ele alınır. 4.2 nolu denklem ile gösterilen bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılı bir doğrusal programlama problemi, aşağıda verilen kısıtlayıcı kümesinden çözüm vektörü x 'in bulanması şeklinde ifade edilir.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Min } z = c^T x \leq b_0 \\ (Ax)_i \leq b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x_i \geq 0 \end{array} \right\} \quad (4.2)$$

Burada kısıtlardaki $\leq$ işareti, $\leq$ işaretinin bulanıklaştırılmış halidir. $\leq$ işareti, “ $(A_x)_i$ kısıtlayıcısı b_i civarında veya daha azdır” şeklinde yorumlanır. Benzer olarak amaç fonksiyonundaki $\leq$ işareti de $\leq$ işaretinin bulanıklaştırılmış halidir. $\leq$ işareti, “ $c^T x$ amacı b_0 civarında veya daha azdır” şeklinde yorumlanır. Bulanık amaç fonksiyonunun her iki tarafı da (-1) ile çarpılırsa, bulanık doğrusal programlama problemi aşağıda verildiği gibi tamamen simetrik olarak ifade edilir.

$$\left. \begin{array}{l} -c^T x \geq -b_0 \\ (A_x)_i \leq b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x_i \geq 0 \end{array} \right\} \quad (4.3)$$

Burada $B = \begin{bmatrix} -c^T \\ A_i \end{bmatrix}$ ve $e = \begin{bmatrix} -b_0 \\ b_i \end{bmatrix}$ sütun vektörleri tanımlanırsa, bulanık doğrusal programlama problemi aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$\left. \begin{array}{l} Bx \geq e \\ x \geq 0 \end{array} \right\} \quad (4.4)$$

Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılar seçenekler kümesindeki bulanık kümeler olarak tanımlandığı için, bunlara ilişkin üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi gerekir. (4.4) nolu modelin i 'ninci satırı için, üyelik fonksiyonunun tek düze olarak artmayan bir yapıda olması gerekir. Yani, i 'ninci bulanık eşitsizlik tamamen doyuruluyorsa, üyelik derecesi 1 olmalı; i 'ninci bulanık eşitsizlik tamamen doyurulmuyorsa, üyelik derecesi 0 olmalı ve $[b_i, b_i + p_i]$ aralığında üyelik derecesi 1'den 0'a doğru tek düze olarak azalmalıdır. Burada, $e_i = b_i$ ($i = 0, 1, 2, \dots, m$) terimi i 'ninci bulanık eşitsizlik için karar vericinin ulaşmak istediği erişim düzeyini, p_i terimi ise i 'ninci erişim düzeyi için karar vericinin belirlediği maksimum tolerans miktarı gösterir. Diğer bir ifade ile, p_i 'ler amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcılardaki kabul edilebilir toleransları gösteren ve karar verici tarafından belirlenen sabitlerdir. Bu durumda, i 'ninci bulanık eşitsizliğin üyelik fonksiyonu matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

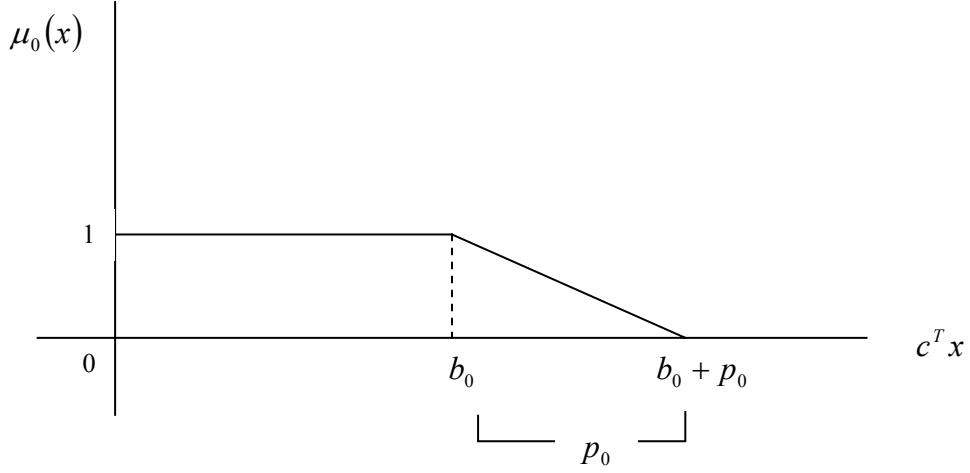
$$\mu_i[(Bx)_i] = \begin{cases} 0 & ; \text{ eger } (Bx)_i \geq b_i + p_i \text{ ise} \\ \in [0,1] & ; \text{ eger } b_i \leq (Bx)_i \leq b_i + p_i \text{ ise} \\ 1 & ; \text{ eger } (Bx)_i \leq b_i \text{ ise} \end{cases} \quad (4.5)$$

Buradan hareketle, bulanık amaç fonksiyonu ve bulanık kısıtlayıcıların parçalı doğrusal üyelik fonksiyonları aşağıda verildiği gibi tanımlanır.

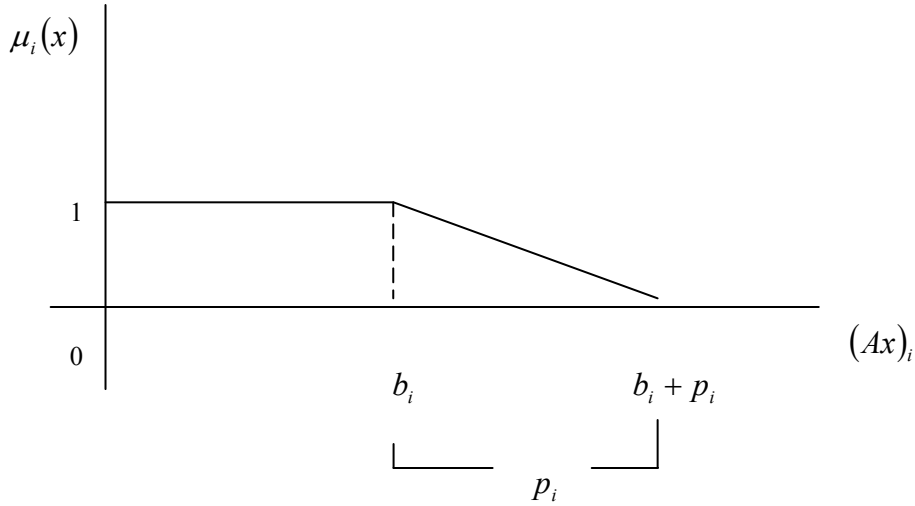
$$\mu_0(x) = \begin{cases} 0 & ; \text{ eger } c^T x \geq b_0 + p_0 \text{ ise} \\ 1 - \frac{c^T x - b_0}{p_0} & ; \text{ eger } b_0 \leq c^T x \leq b_0 + p_0 \text{ ise} \\ 1 & ; \text{ eger } c^T x \leq b_0 \text{ ise} \end{cases} \quad (4.6)$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0 & ; (Ax)_i \geq b_i + p_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i} & ; b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \text{ ise} \\ 1 & ; (Ax)_i \leq b_i \text{ ise} \end{cases} \quad (4.7)$$

Burada, örneğin $\mu_0(x)$ üyelik fonksiyonu, çözüm vektörü x 'in bulanık eşitsizlik $c^T x \leq b_0$ doyurma derecesi olarak yorumlanır. Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcıların üyelik fonksiyonları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Bu şekillerde, bulanık amaç fonksiyonu ve bulanık kısıtlayıcılara ilişkin üyelik fonksiyonlarının sırasıyla tek düze olarak artmayan fonksiyonlar olduğu görülebilmektedir.



Şekil 4.1 $c^T x \leq b_0$ Eşitsizliğinin Üyelik Fonksiyonu



Şekil 4.2 $(Ax)_i \leq b_i$ Eşitsizliğinin Üyelik Fonksiyonu.

Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcıların üyelik fonksiyonları belirlendiği için, bulanık karar kümesi aşağıda verilen ifadeden oluşturulabilir. Şöyle ki;

$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \min[\mu_0(x), \mu_i(x)] \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.8)$$

Bulanık karar kümesinin en yüksek üyelik dereceli elemanı ise,

$$\mu_{\tilde{D}}(x^M) = \max_{x \geq 0} (\min[\mu_0(x), \mu_i(x)]) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.9)$$

veya,

$$\mu_{\tilde{D}}(x^M) = \max_{x \geq 0} \left(\min \left[\left(1 - \frac{c^T x - b_0}{p_0} \right), \left(1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i} \right) \right] \right) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.10)$$

eşitliklerinden belirlenir.

Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılar için tolerans betimlemesi kullanıldığı zaman, bir minimizasyon kararı olan $\mu_{\tilde{D}}(x^M)$, geleneksel bir doğrusal programlama modelinin kurulması ile belirlenebilir. Diğer bir ifade ile simetrik bulanık doğrusal programlama problemleri, ek bir değişken olan λ 'nın kullanılması ile geleneksel bir doğrusal programlama modeli olarak ifade edilebilir. Bunun için, bulanık karar kümesinin λ değişkeni ile gösterilmesi gerekir.

$$\min_i [\mu_0(x), \mu_i(x)] = \mu_0(x) \wedge \mu_i(x) \geq \lambda \quad (4.11)$$

burada λ değişkeni, bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcıların çözüm vektörü x tarafından eşanlı olarak doyurulma derecesini gösterir. λ değişkeni, $\lambda \in [0,1]$ aralığında tanımlanır. Bu durumda, bulanık karar kümesinin eşitlik (4.8) ile verilen tanımı, aşağıda verilen ifadeye denktir.

$$\left. \begin{array}{l} \mu_0(x) \geq \lambda \\ \mu_i(x) \geq \lambda \end{array} \right\} \quad (4.12)$$

Buradan, $\mu_{\tilde{D}}(x^M)$ 'i belirleme problemi geleneksel bir doğrusal programlama problemi

olarak aşağıda verildiği gibi ifade edilir.

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Max } \lambda \\
 \text{Kısıtlayıcılar} \\
 \mu_0(x) \geq \lambda \\
 \mu_i(x) \geq \lambda \\
 \lambda \in [0,1]
 \end{array} \right\} \quad (4.13)$$

Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcıların üyelik fonksiyonları, 4.13 nolu modelde yerine konduğu zaman, aşağıdaki doğrusal programlama modeline ulaşılır.

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Max } \lambda \\
 \text{Kısıtlayıcılar} \\
 1 - \frac{c^T x - b_0}{p_0} \geq \lambda \\
 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i} \geq \lambda \quad ; \quad \forall i \\
 \lambda \in [0,1] \\
 x \geq 0
 \end{array} \right\} \quad (4.14)$$

Bu model $c^T x$ ve $(Ax)_i$ terimlerine göre düzenlendiğinde,

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Max } \lambda \\
 \text{Kısıtlayıcılar} \\
 c^T x \geq b_0 + (1-\lambda)p_0 \\
 (Ax)_i \leq b_i + (1-\lambda)p_i \quad ; \quad \forall i \\
 \lambda \in [0,1] \\
 x \geq 0
 \end{array} \right\} \equiv \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Max } \lambda \\
 \text{Kısıtlayıcılar} \\
 c^T x + \lambda p_0 \geq b_0 + p_0 \\
 (Ax)_i + \lambda p_i \leq b_i + p_i \quad ; \quad \forall i \\
 \lambda \in [0,1] \\
 x \geq 0
 \end{array} \right. \quad (4.15)$$

modeli elde edilir. Burada c_j , a_{ij} , b_0 , p_0 , b_i ve p_i parametrelerinin problemin çözümünden önce, karar verici tarafından belirlenmesi gerekmektedir.

Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcı doğrusal programlama modellerinde bazı kısıtlayıcılar bulanıklık içermeyebilir. Bu durumda, ilgili kısıtlayıcıların maksimum toleransları sıfır olarak kabul edilir. Diğer bir ifade ile bulanık olmayan kısıtlayıcılar herhangi bir dönüşüm işlemi yapılmadan, ilgili modele ilave edilir.

Bu modeli özetleyecek olursak, amaç fonksiyonundaki bulanıklık, karar vericinin ulaşmak istediği erişim düzeyinin bulanık olması ile ifade edilir. Ayrıca bu modelde amaç fonksiyonu parametreleri ve teknoloji katsayıları bulanık olmayan bir şekilde belirlenir. Bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcıları doğrusal programlama problemlerinin çözülebilmesi için, bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılara ilişkin erişim düzeyleri ile bu erişim düzeylerine tanınan maksimum toleransları belirlenmesi gerekir.

4.1.2 Diğer Yaklaşımlar

Bulanık doğrusal programlama modellerinin tasarımında göz önüne alınan 3 temel bulanıklılık vardır. (Sadegni, Hosseini, (2005)

Bunlar,

i) Sağ taraf sabitleri bulanık olabilir.

$$\left. \begin{array}{l} z = c^T x \\ \text{Kısıtlayıcılar} \\ (Ax)_i \leq \tilde{b}_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x \geq 0 \end{array} \right\} \quad (4.16)$$

ii) Amaç fonksiyonunun katsayısı bulanık olabilir.

$$\left. \begin{array}{l} z = \tilde{c}^T x \\ \text{Kısıtlayıcılar} \\ (Ax)_i \leq b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x \geq 0 \end{array} \right\} \quad (4.17)$$

iii) Teknoloji katsayısı bulanık olabilir.

$$\left. \begin{array}{l} z = c^T x \\ \text{Kısıtlayıcılar} \\ (\tilde{A}x)_i \leq b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x \geq 0 \end{array} \right\} \quad (4.18)$$

varolan bu üç farklı tip bulanık durumun kombinasyonu ile bulanık doğrusal programlama problemlerinin farklı tiplerine ulaşabiliriz.

Şimdi bu farklı bulanıklık durumlarının bazılarını inceleyelim.

4.1.2.1 Chanas Yaklaşımı

Chanas, bulanık kısıtlayıcıların belirlediği uygun çözüm alanının bilgi eksikliği yüzünden, amaç fonksiyonuna ilişkin erişim düzeyi ile tolerans miktarının karar verici tarafından başlangıçta belirlenemeyeceğini öne sürmüştür. Chanas, bulanık amaç fonksiyonlu ve bulanık kısıtlayıcıli doğrusal programlama problemleri için, parametrik programlama sonrası karar verici tercihini dikkate alan bir çözüm yaklaşımı önermiştir. (Chanas, 1983)

Chanas amaç fonksiyonundaki parametrelerin bulanık olabileceği varsayımı altında,

$$\left. \begin{array}{l} \text{Max} Z = \tilde{c}^T x \\ \text{Kısıtlayıcılar} \\ (Ax)_i \leq \tilde{b}_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x \geq 0 \end{array} \right\} \quad (4.19)$$

şeklinde gösterilebilir. Bu modelde, amaç fonksiyonundaki katsayıların bulanık sayılarla veya bulanıklığı belirten tolerans aralıkları ile tanımlanır.

4.1.2.2 Werners Yaklaşımı

Bir diğer yaklaşım Werners yaklaşımıdır. Werners'e göre, bulanık kısıtlayıcıli doğrusal programlama problemlerinde kısıtlayıcıların bulanık olması, amaç fonksiyonunda bulanık olmasını gerektirir. Werners'in bulanık doğrusal programlama yaklaşımı aşağıdaki gibi modellenir. (Özkan, 2003)

$$\left. \begin{array}{l} \text{Max} Z = c^T x \\ \text{Kısıtlayıcılar} \\ (Ax)_i \leq \tilde{b}_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x \geq 0 \end{array} \right\} \quad (4.20)$$

4.1.2.3 Verdegay Yaklaşımı

Verdegay, bulanık amaç katsayılı doğrusal programlama problemlerinin dualiteden dolayı, bulanık kısıtlayıcı doğrusal programlama problemi olarak çözülebileceğini öne sürmüştür.

Bulanık parametrelili doğrusal programlama problemleri şu şekilde ifade edilir. (Özkan, 2003)

$$\left. \begin{array}{l} \text{Max } Z = \sum_{j=1}^n \tilde{c}_j x_j \\ \text{Kısıtlar} \\ \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} x_j \leq \tilde{b}_i \quad i=1,2,\dots,m \\ x \geq 0 \end{array} \right\} \quad (4.21)$$

4.1.2.4 Wang ve Liang Yaklaşımı

Wang ve Liang da 2004 yılında yayınladıkları makalelerinde amaç, kısıtlar ve tüm katsayıların bulanıklaştırılarak doğrusal programlama probleminin çözüleceği yaklaşımını savunmuşlardır. Buna göre kurulan model şu şekildedir: (Wang, Liang, 2004)

$$\left. \begin{array}{l} \text{Max } Z = \sum_{j=1}^n \tilde{c}_j x_j \\ \text{Kısıtlar} \\ \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} x_j \leq \tilde{b}_i \quad i=1,2,\dots,m \\ x \geq 0 \end{array} \right\} \quad (4.22)$$

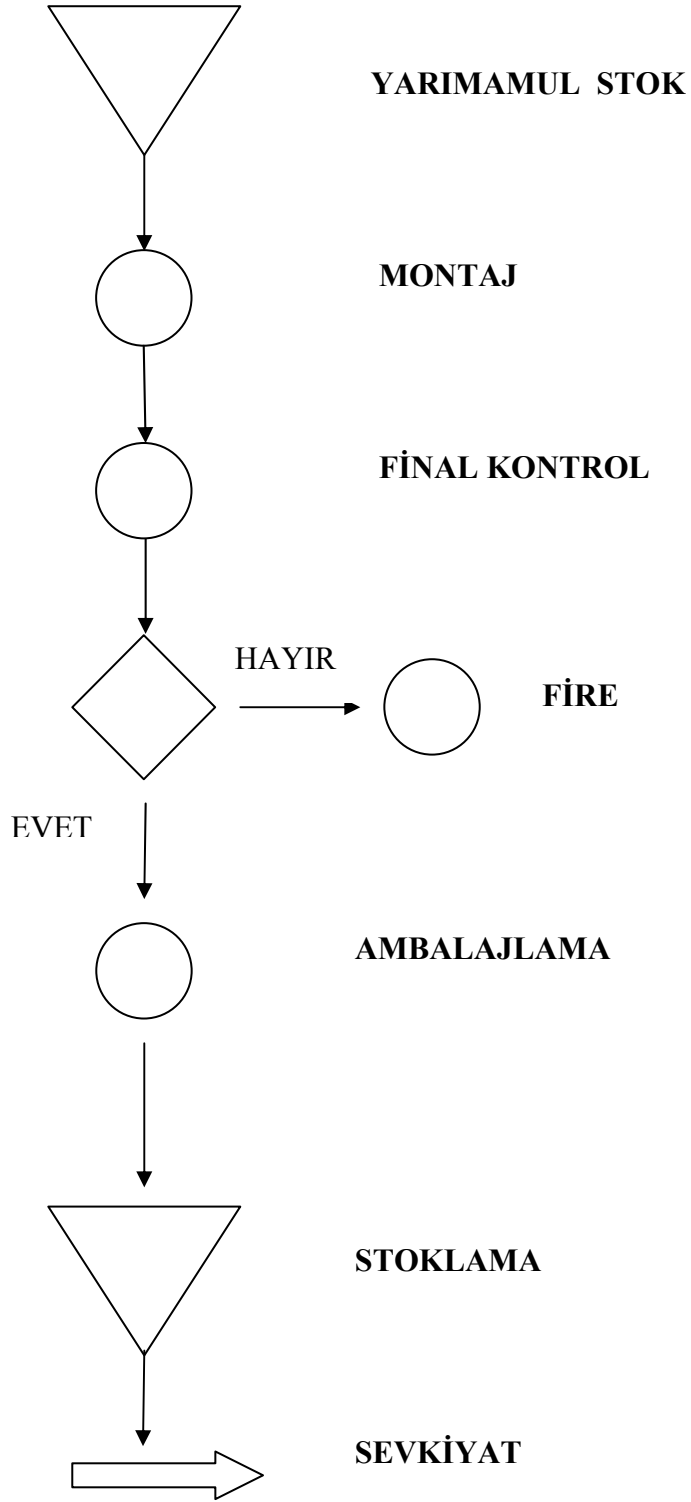
5. UYGULAMA

5.1 Uygulama Yapılan İşletmenin Tanıtımı Ve Üretim Akışı

Önceki bölümlerde anlatılan konularla ilgili olarak otomotiv sektöründe yakıt hortumu imalatı yapan bir firmada uygulama yapılmıştır. Firma gerek yurt içi gerekse yurt dışında ana sanayi ile çalışmakta ve üretilen ürünlerin birkaç ay önceden tahmini talepleri bilinmektedir.

Üretimi yapılan yakıt hortumu iki bileşenden oluşmaktadır. Yarı mamul halindeki şekillendirilmiş yakıt borusu ile ürünün fonksiyonelliğine göre müşteri tarafından belirlenmiş bağlantı parçalarının birbirine montajı yapılarak bitmiş ürün meydana getirilir. Düz, şekillendirilmemiş halde tedarikçiden temin edilen borular üretim hattında bulunan sıcak hava (Fac Tunnel) ve buhar (FV) proseslerinde şekillendirilir. Kalıba göre şekil alan boru araç üzerindeki yerine göre belirlenmiş bağlantı parçaları ile montaj ünitesi aracılığı ile birbirine monte edilir.

Üretimin genel iş akışı şöyle özetlenebilir:



Şekil 5.1 Üretim bölümü iş akış şeması

5.2 Bulanık Doğrusal Programlama Modelinin Kurulması

Model için 2006 ayına ait 4 aylık bir dönem ele alınmıştır. Uygulamada kullanılacak ürün ailesi belirli bir müşteriye ait 10 üründen oluşmaktadır. Günümüz endüstrisinde genel olarak bakıldığında çevresel katsayılar ve ilgili parametreler belirsizlik göstermektedir. Bu nedenle üretim planlamayı etkileyen tahmini talep, ilgili operasyon maliyetleri , işgücü ve makine kapasitesi planlama dönemi içinde belirsizlik gösterecektir. Bu belirsizliğin beraberinde getireceği riskleri elimine edebilmek için geçmiş verilere dayanarak gelecek dönemin planlamasını yapabiliriz.

Wang ve Liang 2004' te yayınladıkları çalışmalarında bütünleşik üretim planlama problemleri için çok ürünlü ve 3 ile 18 dönemi kapsayacak bir planlama ufku öngörerek envanter seviyesi, işgücü seviyesi, fazla mesai, bakiye ve fason üretim seviyeleri, işgücü, makine, stok alanı kısıtlarını dikkate alarak toplam üretim maliyetini minimize etmeyi hedefleyen detaylı bir model geliştirmiştir. Yapılan çalışma kapsamında Wang ve Liang (2004)' in geliştirdiği modelden yararlanılmıştır.

Belirli bir müşteriye ait 10 ürün üzerinden 2006 yılı içindeki belirli bir 4 aya ait talep, işgücü, makine kapasite, üretim miktarı, envanter seviyesi ve bunlar gibi kontrol edilebilir diğer değişkenlere ait verileri kullanarak bir çalışma gerçekleştirildi. Aşağıda modeli oluşturacak karar değişkenleri, kısıtlayıcılar ve amaç fonksiyonunu belirlenmiştir.

5.2.1 Karar Değişkenleri

Modelde kullanılan notasyonlar şu şekildedir:

N	Ürün tipleri
T	Planlama Ufku
$\tilde{Z}$	Toplam Maliyet
$\tilde{D}_{nt}$	t. periyot n. ürüne ait tahmini talep (adet)
a_{nt}	t. periyottaki n. ürüne ait birim normal mesai üretim maliyeti (ytl/adet)
Q_{nt}	t. periyottaki n. ürüne ait normal mesai üretim adedi (adet)
b_{nt}	t. periyottaki n. ürüne ait birim fazla mesai maliyeti (ytl/adet)
Y_{nt}	t. periyottaki n. ürüne ait fazla mesai üretim miktarı (adet)
d_{nt}	t. periyottaki n. ürüne ait birim envanter taşıma maliyeti (ytl/adet)
S_{nt}	t. periyottaki n. ürüne ait envanter seviyesi (adet)
k_t	t. periyottaki işe alma maliyeti (ytl/adam dak)
H_t	t. periyottaki işe alınan işçi miktarı (adam dak)

m_t	t. periyottaki işten çıkarma maliyeti (ytl/adam dak)
F_t	t. periyottaki işten çıkarılan işçi miktarı (adam dak)
i_{nt}	t. periyottaki n. ürüne ait işçilik saati (adam dak/adet)
r_{nt}	t. periyottaki n. ürüne ait birim işçilik saati (makine saat dak/ adet)
v_{nt}	t. periyottaki n. ürünün kapladığı ambar alanı (hacim/adet)
$\tilde{W}_{tmax}$	t. periyottaki elverişli maksimum işgücü seviyesi (adam saat)
$\tilde{M}_{tmax}$	t. periyottaki elverişli maksimum makine kapasitesi (makine saat)
V_{tmax}	t. periyottaki maksimum elverişli ambar alanı (hacim)

5.2.2 Kısıtlar

Modeldeki kısıtlar, envanter taşıma, işgücü, makine kapasitesi ve alan kısıtı olarak ele alınmıştır.

a)Envanter Taşıma

$$S_{nt-1} + Q_{nt} + Y_{nt} - S_{nt} = \tilde{D}_{nt} \quad (5.1)$$

Envanter taşıma kısıtı yukarıdaki şekilde ifade edilmiştir. $\tilde{D}_{nt}$ bu modelde t. periyottaki n. ürünün bulanık tahmini talebini göstermektedir. Gerçek dünyada bütünleşik üretim planlama problemlerinde tahmini talep, marketin dinamik olması nedeniyle değişkenlik göstermekte, kesin olarak bilinmemektedir. Normal ve fazla mesai üretim miktarı ve envanter seviyelerinin toplamı market talebine eşit seviyede olmalıdır. 4 aylık döneme ait 10 ürün için market talebi şöyledir:

Çizelge 5.1 Dönemlere ait yaklaşık talepler (adet)

	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	4.Dönem
7700 418 197	3000	3200	1600	2400
7700 418 200	2300	3000	1200	3300
8200 262 760	2600	2400	2400	9900
8200 262 764	2300	2700	2100	10200
7700 412 114	3600	4800	4500	7500
8200 116 407	4420	5040	4620	7350
8200 321 246	5700	7200	4700	1700
8200 418 848	2432	2448	2304	8712
8200 523 436	1100	900	800	4100
8200 523 437	490	490	630	2170

Çizelge 5.2 Dönemlere ait talep toleransları (adet)

Referans	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	4.Dönem
7700 418 197	400	400	200	200
7700 418 200	300	300	300	300
8200 262 760	300	300	300	450
8200 262 764	150	150	150	600
7700 412 114	300	300	300	450
8200 116 407	250	250	250	500
8200 321 246	200	400	200	100
8200 418 848	180	180	180	360
8200 523 436	100	100	100	200
8200 523 437	70	70	140	140

Çizelge 5.3 Dönemlere ait talep alt sınırı (Talep Alt Sınırı = Talep - Tolerans)

Referans	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	4.Dönem
7700 418 197	2600	2800	1400	2200
7700 418 200	2000	2700	900	3000
8200 262 760	2300	2100	2100	9450
8200 262 764	2150	2550	1950	9600
7700 412 114	3300	4500	4200	7050
8200 116 407	4170	4790	4370	6850
8200 321 246	5500	6800	4500	1600
8200 418 848	2252	2268	2124	8352
8200 523 436	1000	800	700	3900
8200 523 437	420	420	490	2030

Bu bilgilere göre modelde yer alan talep kısıtlayıcıları, aşağıdaki gibi bulanık eşitsizliklerle ifade edilmiştir. Tüm dönemler 10 ürün için dikkate alındığında envanter taşıma kısıtı şu şekilde kurulacaktır.

1.Dönem için Envanter Kısıtı

$$S_{10}+Q_{11}+Y_{11}-S_{11} = 3000 \quad (5.2)$$

$$S_{20}+Q_{21}+Y_{21}-S_{21} = 2300 \quad (5.3)$$

$$S_{30}+Q_{31}+Y_{31}-S_{31} = 2600 \quad (5.4)$$

$$S_{40}+Q_{41}+Y_{41}-S_{41} = 2300 \quad (5.5)$$

$$S_{50}+Q_{51}+Y_{51}-S_{51} = 3600 \quad (5.6)$$

$$S60+Q61+Y61-S61 \approx 4420 \quad (5.7)$$

$$S70+Q71+Y71-S71 \approx 5700 \quad (5.8)$$

$$S80+Q81+Y81-S81 \approx 2432 \quad (5.9)$$

$$S90+Q91+Y91-S91 \approx 1100 \quad (5.10)$$

$$S100+Q101+Y101-S101 \approx 490 \quad (5.11)$$

2. Dönem için Envanter Kısıtı

$$S11+Q11+Y12-S12 \approx 3200 \quad (5.12)$$

$$S21+Q22+Y22-S22 \approx 3000 \quad (5.13)$$

$$S31+Q32+Y32-S32 \approx 2400 \quad (5.14)$$

$$S41+Q42+Y42-S42 \approx 2700 \quad (5.15)$$

$$S51+Q52+Y5-S52 \approx 4800 \quad (5.16)$$

$$S61+Q62+Y62-S62 \approx 5040 \quad (5.17)$$

$$S71+Q72+Y72-S72 \approx 7200 \quad (5.18)$$

$$S81+Q82+Y82-S82 \approx 2448 \quad (5.19)$$

$$S91+Q92+Y92-S92 \approx 900 \quad (5.20)$$

$$S101+Q102+Y102-S102 \approx 490 \quad (5.21)$$

3. Dönem için Envanter Kısıtı

$$S12+Q13+Y13-S13 \approx 1600 \quad (5.22)$$

$$S22+Q23+Y23-S23 \approx 1200 \quad (5.23)$$

$$S32+Q33+Y33-S33 \approx 2400 \quad (5.24)$$

$$S42+Q43+Y43-S43 \approx 2100 \quad (5.25)$$

$$S52+Q53+Y53-S53 \approx 4500 \quad (5.26)$$

$$S62+Q63+Y63-S63 \approx 4620 \quad (5.27)$$

$$S72+Q73+Y73-S73 \approx 4700 \quad (5.28)$$

$$S82+Q83+Y83-S83 \approx 2304 \quad (5.29)$$

$$S92+Q93+Y93-S93 \approx 800 \quad (5.30)$$

$$S102+Q103+Y103-S103 \approx 630 \quad (5.31)$$

4. Dönem için Envanter Kısıtı

$$S13+Q14+Y14-S14 \approx 2400 \quad (5.32)$$

$$S23+Q24+Y24-S24 \approx 3300 \quad (5.33)$$

$$S33+Q34+Y34-S34 \approx 9900 \quad (5.34)$$

$$S43+Q44+Y44-S44 \approx 10200 \quad (5.35)$$

$$S53+Q54+Y54-S54 \approx 7500 \quad (5.36)$$

$$S63+Q64+Y64-S64 \approx 7350 \quad (5.37)$$

$$S73+Q74+Y74-S74 \approx 1700 \quad (5.38)$$

$$S83+Q84+Y84-S84 \approx 8712 \quad (5.39)$$

$$S93+Q94+Y94-S94 \approx 4100 \quad (5.40)$$

$$S103+Q104+Y104-S104 \approx 2170 \quad (5.41)$$

Elde edilen bilgilere göre çalışma yapılan dönemler içinde üretilmesi planlanan ürünlerin yaklaşık miktarları ve geçmiş dönemlere dayanarak oluşan sapmalar yani talep alt ve üst sınırları Çizelge 5.3, 5.4 ve 5.5 te belirtilmiştir.

Çizelge 5.4 Dönemlere ait talep üst sınırı (Talep Üst Sınırı = Talep + Tolerans)

Referans	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	4.Dönem
7700 418 197	3400	3600	1800	2600
7700 418 200	2600	3300	1500	3600
8200 262 760	2900	2700	2700	10350
8200 262 764	2450	2850	2250	10800
7700 412 114	3900	5100	4800	7950
8200 116 407	4670	5290	4870	7850
8200 321 246	5900	7600	4900	1800
8200 418 848	2612	2628	2484	9072
8200 523 436	1200	1000	900	4300
8200 523 437	560	560	770	2310

Bulanık eşitlik halindeki kısıtlayıcılar modelde üçgensel üyelik fonksiyonları ile nitelendirilmiştir. Dolayısıyla çalışma yapılan dönemlerde üretilmesi gereken yaklaşık miktarlar b_{nt} ile, tolerans miktarları p_{nt} ile, talep alt sınırı $b_{nt} - p_{nt}$ ve talep üst sınırı $b_{nt} + p_{nt}$ ile ifade edilmiştir.

Bu durumda talep kısıtlayıcıları şöyle ifade edilir . İlgili döneme ait toplam üretim miktarı X_{nt} ile ifade edilmektedir.

$$\mu(X_{nt}) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & ; \text{ eğer } X_{nt} = < b_{nt} - p_{nt} \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_{nt} - X_{nt}}{p_{nt}} & ; \text{ eğer } b_{nt} - p_{nt} < X_{nt} < b_{nt} \text{ ise} \\ 1 & ; \text{ eğer } X_{nt} = b_{nt} \text{ ise} \\ 1 - \frac{X_{nt} - b_{nt}}{p_{nt}} & ; \text{ eğer } b_{nt} < X_{nt} < b_{nt} + p_{nt} \text{ ise} \\ 0 & ; \text{ eğer } X_{nt} \geq b_{nt} + p_{nt} \text{ ise} \end{array} \right\} \quad (5.42)$$

Burada örneğin 1. dönem 1. ürün için talep kısıtlayıcısının üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\mu(X_{11}) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & ; \text{ eğer } X_{11} = < 3000 - 400 \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_{11} - X_{11}}{p_{11}} & ; \text{ eğer } 3000 - 400 < X_{11} < 3000 \text{ ise} \\ 1 & ; \text{ eğer } X_{11} = 3000 \text{ ise} \\ 1 - \frac{X_{11} - b_{11}}{p_{11}} & ; \text{ eğer } 3000 < X_{11} < 3000 + 400 \text{ ise} \\ 0 & ; \text{ eğer } X_{11} \geq 3000 + 400 \text{ ise} \end{array} \right\} \quad (5.43)$$

yani,

$$\mu(X_{11}) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & ; \text{ eğer } X_{11} = < 2600 \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_{11} - X_{11}}{p_{11}} & ; \text{ eğer } 2600 < X_{11} < 3000 \text{ ise} \\ 1 & ; \text{ eğer } X_{11} = 3000 \text{ ise} \\ 1 - \frac{X_{11} - b_{11}}{p_{11}} & ; \text{ eğer } 3000 < X_{11} < 3400 \text{ ise} \\ 0 & ; \text{ eğer } X_{11} \geq 3400 \text{ ise} \end{array} \right\} \quad (5.44)$$

1. dönem başlangıcında firmanın stoğunun olmadığı varsayılmış ve bu değişken 0 olarak alınmıştır. Taleplerdeki toleranslar, siparişlerin kutu içi miktarları kadar verilmesi sebebi ile kutu içi miktarları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

Tüm dönemler ve tüm ürünler için sağ taraf değeri yani talepler bulanıklaştırılarak aşağıdaki kısıtlar elde edilmiştir.

1.Dönem Bulanık Envanter Kısıtı

$$Q_{11} + Y_{11} - S_{11} + 400 \lambda \leq 3400 \quad (5.45)$$

$$Q_{11} + Y_{11} - S_{11} - 400 \lambda \geq 2600 \quad (5.46)$$

$$Q_{21} + Y_{21} - S_{21} + 300 \lambda \leq 2600 \quad (5.47)$$

$$Q_{21} + Y_{21} - S_{21} - 300 \lambda \geq 2000 \quad (5.48)$$

$$Q_{31} + Y_{31} - S_{31} + 300 \lambda \leq 2900 \quad (5.49)$$

$$Q_{31} + Y_{31} - S_{31} - 300 \lambda \geq 2300 \quad (5.50)$$

$$Q_{41} + Y_{41} - S_{41} + 150 \lambda \leq 2450 \quad (5.51)$$

$$Q_{41} + Y_{41} - S_{41} - 150 \lambda \geq 2150 \quad (5.52)$$

$$Q_{51} + Y_{51} - S_{51} + 300 \lambda \leq 3900 \quad (5.53)$$

$$Q_{51} + Y_{51} - S_{51} - 300 \lambda \geq 3300 \quad (5.54)$$

$$Q_{61} + Y_{61} - S_{61} + 250 \lambda \leq 4670 \quad (5.55)$$

$$Q_{61} + Y_{61} - S_{61} - 250 \lambda \geq 4170 \quad (5.56)$$

$$Q_{71} + Y_{71} - S_{71} + 200 \lambda \leq 5900 \quad (5.57)$$

$$Q_{71} + Y_{71} - S_{71} - 200 \lambda \geq 5500 \quad (5.58)$$

$$Q_{81} + Y_{81} - S_{81} + 180 \lambda \leq 2612 \quad (5.59)$$

$$Q_{81} + Y_{81} - S_{81} - 180 \lambda \geq 2252 \quad (5.60)$$

$$Q91+Y91-S91+100 \lambda \leq 1200 \quad (5.61)$$

$$Q91+Y91-S91-100 \lambda \geq 1000 \quad (5.62)$$

$$Q101+Y101-S101+70 \lambda \leq 560 \quad (5.63)$$

$$Q101+Y101-S101-70 \lambda \geq 420 \quad (5.64)$$

2. Dönem Bulanık Envanter Kısıtı

$$S11+Q11+Y12-S12+400 \lambda \leq 3600 \quad (5.65)$$

$$S11+Q11+Y12-S12-400 \lambda \geq 2800 \quad (5.66)$$

$$S21+Q22+Y22-S22+300 \lambda \leq 3300 \quad (5.67)$$

$$S21+Q22+Y22-S22-300 \lambda \geq 2700 \quad (5.68)$$

$$S31+Q32+Y32-S32+300 \lambda \leq 2700 \quad (5.69)$$

$$S31+Q32+Y32-S32-300 \lambda \geq 2100 \quad (5.70)$$

$$S41+Q42+Y42-S42+150 \lambda \leq 2850 \quad (5.71)$$

$$S41+Q42+Y42-S42-150 \lambda \geq 2550 \quad (5.72)$$

$$S51+Q52+Y5-S52+300 \lambda \leq 5100 \quad (5.73)$$

$$S51+Q52+Y5-S52-300 \lambda \geq 4500 \quad (5.74)$$

$$S61+Q62+Y62-S62+250 \lambda \leq 5290 \quad (5.75)$$

$$S61+Q62+Y62-S62-250 \lambda \geq 4790 \quad (5.76)$$

$$S71+Q72+Y72-S72+400 \lambda \leq 7600 \quad (5.77)$$

$$S71+Q72+Y72-S72-400 \lambda \geq 6800 \quad (5.78)$$

$$S81+Q82+Y82-S82+180 \lambda \leq 2628 \quad (5.79)$$

$$S81+Q82+Y82-S82-180 \lambda \geq 2268 \quad (5.80)$$

$$S91+Q92+Y92-S92+100 \lambda \leq 1000 \quad (5.81)$$

$$S91+Q92+Y92-S92-100 \lambda \geq 800 \quad (5.82)$$

$$S101+Q102+Y102-S102+70 \lambda \leq 560 \quad (5.83)$$

$$S101+Q102+Y102-S102-70 \lambda \geq 420 \quad (5.84)$$

3. Dönem Bulanık Envanter Kısıtı

$$S12+Q13+Y13-S13+200 \lambda \leq 1800 \quad (5.85)$$

$$S12+Q13+Y13-S13-200 \lambda \geq 1400 \quad (5.86)$$

$$S22+Q23+Y23-S23+300 \lambda \leq 1500 \quad (5.87)$$

$$S22+Q23+Y23-S23-300 \lambda \geq 900 \quad (5.88)$$

$$S32+Q33+Y33-S33+300 \lambda \leq 2700 \quad (5.89)$$

$$S32+Q33+Y33-S33-300 \lambda \geq 2100 \quad (5.90)$$

$S42+Q43+Y43-S43+150 \lambda \leq 2250$	(5.91)
$S42+Q43+Y43-S43-150 \lambda \geq 1950$	(5.92)
$S52+Q53+Y53-S53+300 \lambda \leq 4800$	(5.93)
$S52+Q53+Y53-S53-300 \lambda \geq 4200$	(5.94)
$S62+Q63+Y63-S63+250 \lambda \leq 4870$	(5.95)
$S62+Q63+Y63-S63-250 \lambda \geq 4370$	(5.96)
$S72+Q73+Y73-S73+200 \lambda \leq 4900$	(5.97)
$S72+Q73+Y73-S73-200 \lambda \geq 4500$	(5.98)
$S82+Q83+Y83-S83+180 \lambda \leq 2484$	(5.99)
$S82+Q83+Y83-S83-180 \lambda \geq 2124$	(5.100)
$S92+Q93+Y93-S93+100 \lambda \leq 900$	(5.101)
$S92+Q93+Y93-S93-100 \lambda \geq 700$	(5.102)
$S102+Q103+Y103-S103+140 \lambda \leq 770$	(5.103)
$S102+Q103+Y103-S103-140 \lambda \geq 490$	(5.104)

4. Dönem Bulanık Envanter Kısıtı

$S13+Q14+Y14-S14+200 \lambda \leq 2600$	(5.105)
$S13+Q14+Y14-S14-200 \lambda \geq 2200$	(5.106)
$S23+Q24+Y24-S24+300 \lambda \leq 3600$	(5.107)
$S23+Q24+Y24-S24-300 \lambda \geq 3000$	(5.108)
$S33+Q34+Y34-S34+450 \lambda \leq 10350$	(5.109)
$S33+Q34+Y34-S34-450 \lambda \geq 9450$	(5.110)
$S43+Q44+Y44-S44+600 \lambda \leq 10800$	(5.111)
$S43+Q44+Y44-S44-600 \lambda \geq 9600$	(5.112)
$S53+Q54+Y54-S54+450 \lambda \leq 7950$	(5.113)
$S53+Q54+Y54-S54-450 \lambda \geq 7050$	(5.114)
$S63+Q64+Y64-S64+500 \lambda \leq 7850$	(5.115)
$S63+Q64+Y64-S64-500 \lambda \geq 6850$	(5.116)
$S73+Q74+Y74-S74+100 \lambda \leq 1800$	(5.117)
$S73+Q74+Y74-S74-100 \lambda \geq 1600$	(5.118)
$S83+Q84+Y84-S84+360 \lambda \leq 9072$	(5.119)
$S83+Q84+Y84-S84-360 \lambda \geq 8352$	(5.120)
$S93+Q94+Y94-S94+200 \lambda \leq 4300$	(5.121)
$S93+Q94+Y94-S94-200 \lambda \geq 3900$	(5.122)

$$S103+Q104+Y104-S104+140 \lambda \leq 2310 \quad (5.123)$$

$$S103+Q104+Y104-S104-140 \lambda \geq 2030 \quad (5.124)$$

b) İşgücü

İşgücünü iki şekilde kısıt olarak değerlendirebiliriz. Birinci kısıtta t. periyottaki işgücü seviyesi; t-1. periyottaki işgücü seviyesi ile yeni işe alımlar ve işten ayrılımların toplamına eşit olmalıdır.

$$\sum_{n=1}^N i_{nt-1} (Q_{nt-1} + Y_{nt-1}) + H_t - F_t - \sum_{n=1}^N i_{nt} (Q_{nt} + Y_{nt}) = 0 \quad \text{her } t \text{ için,} \quad (5.125)$$

Çizelge 5.5 Dönemlere ait birim işçilik süreleri (adamdak/adet)

Referans	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	4.Dönem
7700 418 197	1,95	2,05	1,93	1,92
7700 418 200	1,43	1,47	1,42	1,41
8200 262 760	1,62	1,69	1,61	1,61
8200 262 764	1,88	1,98	1,87	1,86
7700 412 114	1,28	1,31	1,28	1,28
8200 116 407	1,62	1,69	1,61	1,61
8200 321 246	2,71	2,89	2,68	2,65
8200 418 848	4,94	5,36	4,88	4,82
8200 523 436	3,22	3,46	3,19	3,16
8200 523 437	1,62	1,69	1,61	1,61

1. Dönem İşgücü seviyesi

$$H_1 - F_1 - 1.95 Q_{11} - 1.95 Y_{11} - 1.43 Q_{21} - 1.43 Y_{21} - 1.62 Q_{31} - 1.62 Y_{31} - 1.88 Q_{41} - 1.88 Y_{41} - 1.28 Q_{51} - 1.28 Y_{51} - 1.62 Q_{61} - 1.62 Y_{61} - 2.71 Q_{71} - 2.71 Y_{71} - 4.94 Q_{81} - 4.94 Y_{81} - 3.22 Q_{91} - 3.22 Y_{91} - 1.62 Q_{101} - 1.62 Y_{101} = 0 \quad (5.126)$$

2. Dönem İşgücü seviyesi

$$1.95 Q_{11} + 1.95 Y_{11} + 1.43 Q_{21} + 1.43 Y_{21} + 1.62 Q_{31} + 1.62 Y_{31} + 1.88 Q_{41} + 1.88 Y_{41} + 1.28 Q_{51} + 1.28 Y_{51} + 1.62 Q_{61} + 1.62 Y_{61} + 2.71 Q_{71} + 2.71 Y_{71} + 4.94 Q_{81} + 4.94 Y_{81} + 3.22 Q_{91} + 3.22 Y_{91} + 1.62 Q_{101} + 1.62 Y_{101} + H_2 - F_2 - 2.05 Q_{12} + 2.05 Y_{12} - 1.47 Q_{22} - 1.47 Y_{22} - 1.69 Q_{32} - 1.69 Y_{32} - 1.98 Q_{42} - 1.98 Y_{42} - 1.31 Q_{52} - 1.31 Y_{52} - 1.69 Q_{62} - 1.69 Y_{62} - 2.89 Q_{72} - 2.89 Y_{72} - 5.36 Q_{82} - 5.36 Y_{82} - 3.46 Q_{92} - 3.46 Y_{92} - 1.69 Q_{102} - 1.69 Y_{102} = 0 \quad (5.127)$$

3. Dönem İşgücü seviyesi

$$2.05 Q_{12} + 2.05 Y_{12} + 1.47 Q_{22} + 1.47 Y_{22} + 1.69 Q_{32} + 1.69 Y_{32} + 1.98 Q_{42} + 1.98 Y_{42} + 1.31 Q_{52} + 1.31 Y_{52} + 1.69 Q_{62} + 1.69 Y_{62} + 2.89 Q_{72} + 2.89 Y_{72} + 5.36 Q_{82} + 5.36 Y_{82} + 3.46 Q_{92} + 3.46 Y_{92} + 1.69 Q_{102} + 1.69 Y_{102} + H_3 - F_3 - 1.93 Q_{13} - 1.93 Y_{13} - 1.42 Q_{23} - 1.42 Y_{23} - 1.61 Q_{33} - 1.61 Y_{33} - 1.87 Q_{43} - 1.87 Y_{43} - 1.28 Q_{53} - 1.28 Y_{53} - 1.61 Q_{63} - 1.61 Y_{63} - 2.68 Q_{73} - 2.68 Y_{73} - 4.88 Q_{83} - 3.88 Y_{83} - 3.19 Q_{93} - 3.19 Y_{93} - 1.61 Q_{103} - 1.61 Y_{103} = 0 \quad (5.128)$$

4. Dönem İşgücü seviyesi

$$1.93 Q_{13} + 1.93 Y_{13} + 1.42 Q_{23} + 1.42 Y_{23} + 1.61 Q_{33} + 1.61 Y_{33} + 1.87 Q_{43} + 1.87 Y_{43} + 1.28 Q_{53} + 1.28 Y_{53} + 1.61 Q_{63} + 1.61 Y_{63} + 2.68 Q_{73} + 2.68 Y_{73} + 4.88 Q_{83} + 4.88 Y_{83} + 3.19 Q_{93} + 3.19 Y_{93} + 1.61 Q_{103} + 1.61 Y_{103} + H_4 - F_4 - 1.92 Q_{14} - 1.92 Y_{14} - 1.42 Q_{24} - 1.42 Y_{24} - 1.61 Q_{34} - 1.61 Y_{34} - 1.86 Q_{44} - 1.86 Y_{44} - 1.28 Q_{54} - 1.28 Y_{54} - 1.61 Q_{64} - 1.61 Y_{64} - 2.65 Q_{74} - 2.65 Y_{74} - 4.82 Q_{84} - 4.82 Y_{84} - 3.16 Q_{94} - 3.16 Y_{94} - 1.61 Q_{104} - 1.61 Y_{104} = 0 \quad (5.129)$$

İşgücü kaynaklı ikinci bir kısıt ise fiili işgücü seviyesinin her periyottaki maksimum elverişli işgücü seviyesinden fazla olamayacağıdır. Her periyottaki maksimum elverişli işgücü seviyesi market taleplerine göre belirsizlik gösterecektir. Bu nedenle maksimum işgücü seviyesi bulanık alınacaktır.

$$\sum_{n=1}^N i_{nt} (Q_{nt} + Y_{nt}) \leq \tilde{W}_{tmax} \quad \text{her } t \text{ için,} \quad (5.130)$$

Çizelge 5.6 Dönemlere ait işçilik kapasiteleri

(adamdak)	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	4.Dönem
Teorik İşçilik Kapasitesi	376100	400400	374500	360000
Fiili İşçilik Kapasitesi	319700	376400	314500	299000
İşçilik Kapasitesi Fark	56400	24000	60000	61000

Fiili işçilik kapasiteleri dikkate alındığında oluşturulan kısıtlar aşağıdaki gibidir :

1. Dönem Fiili İşgücü seviyesi

$$1.95 Q_{11} + 1.95 Y_{11} + 1.43 Q_{21} + 1.43 Y_{21} + 1.62 Q_{31} + 1.62 Y_{31} + 1.88 Q_{41} + 1.88 Y_{41} + 1.28 Q_{51} + 1.28 Y_{51} + 1.62 Q_{61} + 1.62 Y_{61} + 2.71 Q_{71} + 2.71 Y_{71} + 4.94 Q_{81} + 4.94 Y_{81} + 3.22 Q_{91} + 3.22 Y_{91} + 1.62 Q_{101} + 1.62 Y_{101} \leq 319700 \quad (5.131)$$

2. Dönem Fiili İşgücü seviyesi

$$2.05 Q_{12} + 2.05 Y_{12} + 1.47 Q_{22} + 1.47 Y_{22} + 1.69 Q_{32} + 1.69 Y_{32} + 1.98 Q_{42} + 1.98 Y_{42} + 1.31 Q_{52} + 1.31 Y_{52} + 1.69 Q_{62} + 1.69 Y_{62} + 2.89 Q_{72} + 2.89 Y_{72} + 5.36 Q_{82} + 5.36 Y_{82} + 3.46 Q_{92} + 3.46 Y_{92} + 1.69 Q_{102} + 1.69 Y_{102} \leq 376400 \quad (5.132)$$

3. Dönem Fiili İşgücü seviyesi

$$1.93 Q_{13} + 1.93 Y_{13} + 1.42 Q_{23} + 1.42 Y_{23} + 1.61 Q_{33} + 1.61 Y_{33} + 1.87 Q_{43} + 1.87 Y_{43} + 1.28 Q_{53} + 1.28 Y_{53} + 1.61 Q_{63} + 1.61 Y_{63} + 2.68 Q_{73} + 2.68 Y_{73} + 4.88 Q_{83} + 4.88 Y_{83} + 3.19 Q_{93} + 3.19 Y_{93} + 1.61 Q_{103} + 1.61 Y_{103} \leq 314500 \quad (5.133)$$

4. Dönem Fiili İşgücü seviyesi

$$1.92 Q_{14} + 1.92 Y_{14} + 1.42 Q_{24} + 1.42 Y_{24} + 1.61 Q_{34} + 1.61 Y_{34} + 1.86 Q_{44} + 1.86 Y_{44} + 1.28 Q_{54} + 1.28 Y_{54} + 1.61 Q_{64} + 1.61 Y_{64} + 2.65 Q_{74} + 2.65 Y_{74} + 4.82 Q_{84} + 4.82 Y_{84} + 3.16 Q_{94} + 3.16 Y_{94} + 1.61 Q_{104} + 1.61 Y_{104} \leq 299000 \quad (5.134)$$

Burada, istihdam edilen işçilerden üretime katılanların mümkün olduğunca çok olmasının veya diğer bir ifade ile, üretime katılmayanların mümkün olduğunca az olmasının isteneceği açıktır. Bu nedenle, ilgili kısıtlayıcıların sağ taraf sabitleri bulanık olarak tanımlanmıştır. Söz konusu kısıtlayıcıların sağ taraf sabitleri doğrusal olarak azalan üyelik fonksiyonları ile nitelenmiştir. Üyelik fonksiyonlarında fiili süreler b_{nt} ile, teorik süreler ise $b_{nt} + p_{nt}$ ile ifade edilmiştir. Bunlar arasındaki fark ise tolerans miktarını gösteren p_{nt} olarak kabul edilmiştir. Buna göre, işçilik kısıtlayıcılarına ilişkin üyelik fonksiyonları aşağıda verildiği gibi ifade edilebilir. Burada, işçilik kısıtlayıcılarının sağ tarafları dört dönem için sırasıyla (AX_1) , (AX_2) , (AX_3) , (AX_4) ile gösterilmiştir.

$$\mu(Ax_1) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & ; \text{ eğer } (Ax)_1 \geq 376100 \text{ ise} \\ 1 - \frac{(Ax)_1 - 319700}{56400} & ; \text{ eğer } 319500 < (Ax)_1 < 376100 \text{ ise} \\ 1 & ; \text{ eğer } (Ax)_1 \leq 319500 \text{ ise} \end{array} \right\} \quad (5.135)$$

Bu şekilde yukarıdaki kısıtların sağ tarafını bulanıklaştırdığımızda ise kısıtlar şu şekilde değişecektir.

1. Dönem Bulanıklaştırılmış Max İşgücü seviyesi

$$1.95 Q_{11} + 1.95 Y_{11} + 1.43 Q_{21} + 1.43 Y_{21} + 1.62 Q_{31} + 1.62 Y_{31} + 1.88 Q_{41} + 1.88 Y_{41} + 1.28 Q_{51} + 1.28 Y_{51} + 1.62 Q_{61} + 1.62 Y_{61} + 2.71 Q_{71} + 2.71 Y_{71} + 4.94 Q_{81} + 4.94 Y_{81} + 3.22 Q_{91} + 3.22 Y_{91} + 1.62 Q_{101} + 1.62 Y_{101} + 56400 \lambda \leq 376100 \quad (5.136)$$

2. Dönem Bulanıklaştırılmış Max İşgücü seviyesi

$$2.05 Q_{12} + 2.05 Y_{12} + 1.47 Q_{22} + 1.47 Y_{22} + 1.69 Q_{32} + 1.69 Y_{32} + 1.98 Q_{42} + 1.98 Y_{42} + 1.31 Q_{52} + 1.31 Y_{52} + 1.69 Q_{62} + 1.69 Y_{62} + 2.89 Q_{72} + 2.89 Y_{72} + 5.36 Q_{82} + 5.36 Y_{82} + 3.46 Q_{92} + 3.46 Y_{92} + 1.69 Q_{102} + 1.69 Y_{102} + 24000 \lambda \leq 400400 \quad (5.137)$$

3. Dönem Bulanıklaştırılmış Max İşgücü seviyesi

$$1.93 Q_{13} + 1.93 Y_{13} + 1.42 Q_{23} + 1.42 Y_{23} + 1.61 Q_{33} + 1.61 Y_{33} + 1.87 Q_{43} + 1.87 Y_{43} + 1.28 Q_{53} + 1.28 Y_{53} + 1.61 Q_{63} + 1.61 Y_{63} + 2.68 Q_{73} + 2.68 Y_{73} + 4.88 Q_{83} + 4.88 Y_{83} + 3.19 Q_{93} + 3.19 Y_{93} + 1.61 Q_{103} + 1.61 Y_{103} + 60000 \lambda \leq 374500 \quad (5.138)$$

4. Dönem Bulanıklaştırılmış Max İşgücü seviyesi

$$1.92 Q_{14} + 1.92 Y_{14} + 1.42 Q_{24} + 1.42 Y_{24} + 1.61 Q_{34} + 1.61 Y_{34} + 1.86 Q_{44} + 1.86 Y_{44} + 1.28 Q_{54} + 1.28 Y_{54} + 1.61 Q_{64} + 1.61 Y_{64} + 2.65 Q_{74} + 2.65 Y_{74} + 4.82 Q_{84} + 4.82 Y_{84} + 3.16 Q_{94} + 3.16 Y_{94} + 1.61 Q_{104} + 1.61 Y_{104} + 61000 \lambda \leq 360000 \quad (5.139)$$

c) Makine Kapasitesi

Bu çalışmada referans alınan ürünlere form verme işlemi iki tip makinede yapılmaktadır. Sıcak hava (Fac Tünel) ve buhar (FV) prosesleri kullanılmaktadır. Tüm dönemler için her ürüne ait makine kullanım süresine bağlı olarak her periyottaki maksimum elverişli makine

kapasitesi belirsizlik gösterecektir. Bu nedenle maksimum makine kullanım süreleri iki ayrı makine için bulanıklaştırılarak her periyot için makine kapasite kısıtları belirlenmiştir.

$$\sum_{n=1}^N r_{nt} (Q_{nt} + Y_{nt}) \leq \tilde{M}_{tmax} \quad \text{her } t \text{ için,} \quad (5.140)$$

Dönemlere ait her bir ürün için belirlenmiş birim makine çalışma süreleri aşağıdaki gibidir :

Çizelge 5.7 Dönemlere ait birim makine çalışma süreleri (mak dak/adet)

Referans	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	4.Dönem
7700 418 197	0,95	1,05	0,93	0,92
7700 418 200	0,43	0,47	0,42	0,41
8200 262 760	0,62	0,69	0,61	0,61
8200 262 764	0,88	0,98	0,87	0,86
7700 412 114	0,28	0,31	0,28	0,28
8200 116 407	0,62	0,69	0,61	0,61
8200 321 246	1,71	1,89	1,68	1,65
8200 418 848	3,94	4,36	3,88	3,82
8200 523 436	2,22	2,46	2,19	2,16
8200 523 437	0,62	0,69	0,61	0,61

Çizelge 5.8 Ürünlere göre makine tipleri

No	Ürün Referansları	Makine Tipi
1	7700 418 197	FV
2	7700 418 200	FV
3	8200 262 760	FV
4	8200 262 764	FV
5	7700 412 114	FV
6	8200 116 407	FV
7	8200 321 246	FTUNNEL
8	8200 418 848	FTUNNEL
9	8200 523 436	FTUNNEL
10	8200 523 437	FTUNNEL

Çizelge 5.9 Dönemlere ait makine kapasiteleri

(makine dak)	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	4.Dönem
Teorik FV Makine Kapasitesi	140400	140400	75600	140400
Fiili FV Makine Kapasitesi	120000	132000	63500	115000
FV Makine Kapasitesi Fark	20400	8400	12100	25400
Teorik Fac T. Makine Kapasitesi	450000	450000	242000	450000
Fiili Fac T. Makine Kapasitesi	382500	423000	203280	373500
Fac T. Makine Kapasitesi Fark	67500	27000	38720	76500

Yukarıda dönemlere göre belirlenen fiili makine kapasitelerine bağlı olarak aşağıdaki kısıtlar oluşturulmuştur. Aşağıdaki kısıtlar dönem bazında ilk olarak FV sonra FAC Tünel ünitesi olacak şekilde sıralanmıştır.

1. Dönem FV & Fac Tünel Fiili Makine Kapasite Kısıtları

$$0.95 Q11 + 0.95 Y11 + 0.43 Q21 + 0.43 Y21 + 0.62 Q31 + 0.62 Y31 + 0.88 Q41 + 0.88 Y41 + 0.28 Q51 + 0.28 Y51 + 0.62 Q61 + 0.62 Y61 \leq 120000 \quad (5.141)$$

$$1.71 Q71 + 1.71 Y71 + 3.94 Q81 + 3.94 Y81 + 2.22 Q91 + 2.22 Y91 + 0.62 Q101 + 0.62 Y101 \leq 382500 \quad (5.142)$$

2. Dönem FV & Fac Tünel Fiili Makine Kapasite Kısıtları

$$1.05 Q12 + 1.05 Y12 + 0.47 Q22 + 0.47 Y22 + 0.69 Q32 + 0.69 Y32 + 0.98 Q42 + 0.98 Y42 + 0.31 Q52 + 0.31 Y52 + 0.69 Q62 + 0.69 Y62 \leq 132000 \quad (5.143)$$

$$1.89 Q72 + 1.89 Y72 + 4.36 Q82 + 4.36 Y82 + 2.46 Q92 + 4.36 Y92 + 0.69 Q102 + 0.69 Y102 \leq 423000 \quad (5.144)$$

3. Dönem FV & Fac Tünel Fiili Makine Kapasite Kısıtları

$$0.93 Q13 + 0.93 Y13 + 0.42 Q23 + 0.42 Y23 + 0.61 Q33 + 0.61 Y33 + 0.87 Q43 + 0.87 Y43 + 0.28 Q53 + 0.28 Y53 + 0.61 Q63 + 0.61 Y63 \leq 63500 \quad (5.145)$$

$$1.68 Q73 + 1.68 Y73 + 3.88 Q83 + 3.88 Y83 + 2.19 Q93 + 2.19 Y93 + 0.61 Q103 + 0.61 Y103 \leq 203800 \quad (5.146)$$

4. Dönem FV & Fac Tünel Fiili Makine Kapasite Kısıtları

$$0.92 Q_{14} + 0.92 Y_{14} + 0.42 Q_{24} + 0.42 Y_{24} + 0.61 Q_{34} + 0.61 Y_{34} + 0.86 Q_{44} + 0.86 Y_{44} + 0.28 Q_{54} + 0.28 Y_{54} + 0.61 Q_{64} + 0.61 Y_{64} \leq 115000 \quad (5.147)$$

$$1.65 Q_{74} + 1.65 Y_{74} + 3.82 Q_{84} + 3.82 Y_{84} + 2.16 Q_{94} + 2.16 Y_{94} + 0.61 Q_{104} + 0.61 Y_{104} \leq 373500 \quad (5.148)$$

Burada, makine kapasitesinin dönemler bazında belirsizlik göstereceği açıktır. Bu nedenle, ilgili kısıtlayıcıların sağ taraf sabitleri bulanık olarak tanımlanmıştır. Söz konusu kısıtlayıcıların sağ taraf sabitleri doğrusal olarak azalan üyelik fonksiyonları ile nitelenmiştir. Üyelik fonksiyonlarında fiili süreler b_{nt} ile, teorik süreler ise $b_{nt} + p_{nt}$ ile ifade edilmiştir. Bunlar arasındaki fark ise tolerans miktarını gösteren p_{nt} olarak kabul edilmiştir. Buna göre, makine kapasite kısıtlayıcılarına ilişkin üyelik fonksiyonları aşağıda verildiği gibi ifade edilebilir. Burada, makine kapasite kısıtlayıcılarından FV ünitesine ait kısıtların sağ tarafları sırasıyla $(BX)_1$, $(BX)_2$, $(BX)_3$, $(BX)_4$ ile Fac Tünel ünitesine ait makine kapasite kısıtlayıcılarının sağ tarafları ise $(CX)_1$, $(CX)_2$, $(CX)_3$, $(CX)_4$ gösterilmiştir. İki makine için de 1 döneme ait makine kapasitelerine ait üyelik fonksiyonlarını şu şekilde yazabiliriz.

$$\mu(BX)_1 = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & ; \text{ eğer } (BX)_1 \geq 140400 \text{ ise} \\ 1 - \frac{(BX)_1 - 120000}{20400} & ; \text{ eğer } 120000 < (BX)_1 < 140400 \text{ ise} \\ 1 & ; \text{ eğer } (BX)_1 \leq 120000 \text{ ise} \end{array} \right\} \quad (5.149)$$

$$\mu(CX)_1 = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & ; \text{ eğer } (CX)_1 \geq 450000 \text{ ise} \\ 1 - \frac{(CX)_1 - 382500}{67500} & ; \text{ eğer } 382500 < (CX)_1 < 450000 \text{ ise} \\ 1 & ; \text{ eğer } (CX)_1 \leq 382500 \text{ ise} \end{array} \right\} \quad (5.150)$$

Dönemlik fiili makine kapasitelerine göre oluşturulan kısıtların sağ tarafları bulanıklaştırılarak kısıtlar aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

1. Dönem Bulanıklaştırılmış Fv & Fac Tunnel Max Makine Kapasitesi

$$0.95 Q_{11} + 0.95 Y_{11} + 0.43 Q_{21} + 0.43 Y_{21} + 0.62 Q_{31} + 0.62 Y_{31} + 0.88 Q_{41} + 0.88 Y_{41} + 0.28 Q_{51} + 0.28 Y_{51} + 0.62 Q_{61} + 0.62 Y_{61} + 20400 \lambda \leq 140400 \quad (5.151)$$

$$1.71 Q_{71} + 1.71 Y_{71} + 3.94 Q_{81} + 3.94 Y_{81} + 2.22 Q_{91} + 2.22 Y_{91} + 0.62 Q_{101} + 0.62 Y_{101} + 67500 \lambda \leq 450000 \quad (5.152)$$

2. Dönem Bulanıklaştırılmış Fv & Fac Tunnel Max Makine Kapasitesi

$$1.05 Q_{12} + 1.05 Y_{12} + 0.47 Q_{22} + 0.47 Y_{22} + 0.69 Q_{32} + 0.69 Y_{32} + 0.98 Q_{42} + 0.98 Y_{42} + 0.31 Q_{52} + 0.31 Y_{52} + 0.69 Q_{62} + 0.69 Y_{62} + 8400 \lambda \leq 140400 \quad (5.153)$$

$$1.89 Q_{72} + 1.89 Y_{72} + 4.36 Q_{82} + 4.36 Y_{82} + 2.46 Q_{92} + 4.36 Y_{92} + 0.69 Q_{102} + 0.69 Y_{102} + 27000 \lambda \leq 450000 \quad (5.154)$$

3. Dönem Bulanıklaştırılmış Fv & Fac Tunnel Max Makine Kapasitesi

$$0.93 Q_{13} + 0.93 Y_{13} + 0.42 Q_{23} + 0.42 Y_{23} + 0.61 Q_{33} + 0.61 Y_{33} + 0.87 Q_{43} + 0.87 Y_{43} + 0.28 Q_{53} + 0.28 Y_{53} + 0.61 Q_{63} + 0.61 Y_{63} + 12100 \lambda \leq 75600 \quad (5.155)$$

$$1.68 Q_{73} + 1.68 Y_{73} + 3.88 Q_{83} + 3.88 Y_{83} + 2.19 Q_{93} + 2.19 Y_{93} + 0.61 Q_{103} + 0.61 Y_{103} + 38720 \lambda \leq 242000 \quad (5.156)$$

4. Dönem Bulanıklaştırılmış Fv & Fac Tunnel Max Makine Kapasitesi

$$0.92 Q_{14} + 0.92 Y_{14} + 0.42 Q_{24} + 0.42 Y_{24} + 0.61 Q_{34} + 0.61 Y_{34} + 0.86 Q_{44} + 0.86 Y_{44} + 0.28 Q_{54} + 0.28 Y_{54} + 0.61 Q_{64} + 0.61 Y_{64} + 25400 \lambda \leq 140400 \quad (5.157)$$

$$1.65 Q_{74} + 1.65 Y_{74} + 3.82 Q_{84} + 3.82 Y_{84} + 2.16 Q_{94} + 2.16 Y_{94} + 0.61 Q_{104} + 0.61 Y_{104} + 76500 \lambda \leq 450000 \quad (5.158)$$

d) Ambar Stok Alanı

Firma içerisinde bitmiş mamul stok alanı için belli bir alan tanımlanmıştır. İstenilenden fazla stok yapılması durumunda ürünlerin kendileri için ayrılan alana sığmaları mümkün olmayacaktır. Bu nedenle tüm ürünlerin kaplayacağı birim alan dikkate alınarak maksimum ambar alanını karşılayacak şekilde alan kısıtı oluşturulmuştur. Ürün başına birim alan hesabı fizibl olmayacağı gerekçesiyle kısıt oluştururken hacim üzerinden gidilmiştir.

$$\sum_{n=1}^N v_{nt} S_{nt} \leq V_{tmax} \quad \text{her } t \text{ için,} \quad (5.159)$$

Çizelge 5.10 Ürünlerin kapladıkları birim hacim (dm³)

No	Referans No	Kutu Tipi (mm ³)	Miktar	Kutu Hacmi (dm ³)	Birim Hacim (dm ³)
1	7700 418 197	1600*550*210	200	184,8	0,92
2	7700 418 200	1600*550*210	300	184,8	0,62
3	8200 262 760	1200*500*300	150	180	1,20
4	8200 262 764	1200*500*300	150	180	1,20
5	7700 412 114	1600*300*200	300	96	0,32
6	8200 116 407	1200*500*300	125	180	1,44
7	8200 321 246	600*400*220	100	52,8	0,53
8	8200 418 848	600*400*300	12	72	6,00
9	8200 523 436	600*400*300	100	72	0,72
10	8200 523 437	600*400*300	70	72	1,03

Yukarıdaki her ürün için birim kapladıkları hacim dikkate alınarak oluşturulan dönemsel hacim kısıtları şöyledir :

$$0.92S_{11}+0.62S_{21}+1.2S_{31}+1.2S_{41}+0.32S_{51}+1.44S_{61}+0.53S_{71}+6S_{81}+0.72S_{91}+1.03S_{101} \leq 5500 \quad (5.160)$$

$$0.92S_{12}+0.62S_{22}+1.2S_{32}+1.2S_{42}+0.32S_{52}+1.44S_{62}+0.53S_{72}+6S_{82}+0.72S_{92}+1.03S_{102} \leq 5500 \quad (5.161)$$

$$0.92S_{13}+0.62S_{23}+1.2S_{33}+1.2S_{43}+0.32S_{53}+1.44S_{63}+0.53S_{73}+6S_{83}+0.72S_{93}+1.03S_{103} \leq 5500 \quad (5.162)$$

$$0.92S_{14}+0.62S_{24}+1.2S_{34}+1.2S_{44}+0.32S_{54}+1.44S_{64}+0.53S_{74}+6S_{84}+0.72S_{94}+1.03S_{104} \leq 5500 \quad (5.163)$$

Tüm dönemler için çalışmada ürünleri referans alınan müşteriye ait ambar hacmi sabit kabul edilmiştir.

e) Negatif olmama koşulu

$$Q_{nt}, Y_{nt}, S_{nt}, H_t, F_t \geq 0 \quad \text{her } n, \text{ her } t \text{ için} . \quad (5.164)$$

5.2.3 Amaç Fonksiyonu

Modelimizin amaç fonksiyonu birçok bütünleşik üretim planlama modellerinde olduğu gibi maliyetlerin minimizasyonu şeklindedir. Toplam maliyet; 4 dönemlik planlama ufku süresince karşılaşılan üretim maliyetlerinin ve işgücü seviyesindeki değişikliğin neden olduğu maliyetlerin toplamıdır. Önerilen modele ait amaç fonksiyonunu şöyle ifade edebiliriz.

$$\text{Min} \tilde{Z} = \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (a_{nt} Q_{nt} + b_{nt} Y_{nt} + d_{nt} S_{nt}) + \sum_{t=1}^T (k_t H_t + m_t F_t) \quad (5.165)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (a_{nt} Q_{nt} + b_{nt} Y_{nt} + d_{nt} S_{nt}) \text{ ile gösterilen amaç fonksiyonunun ilk bölümü} \quad (5.166)$$

toplam üretim maliyetini ifade etmektedir. Toplam üretim maliyeti ise 3 bileşenden oluşmaktadır.

$$1. \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (a_{nt} Q_{nt}) \text{ ----- Normal Mesai Maliyeti} \quad (5.166)$$

$$2. \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (b_{nt} Y_{nt}) \text{ ----- Fazla Mesai Maliyeti} \quad (5.167)$$

$$3. \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (d_{nt} S_{nt}) \text{ ----- Envanter Taşıma Maliyeti} \quad (5.168)$$

$$\sum_{t=1}^T (k_t H_t + m_t F_t) \text{ ile ifade edilen amaç fonksiyonunun ikinci bölümü ise işgücü}$$

seviyesindeki değişikliği ifade etmektedir. İşgücü seviyesindeki değişikliği işe alma ve işten çıkarma maliyetleri etkilemektedir.

Çizelge 5.11 Amaç fonksiyonu katsayıları – Normal mesai birim maliyet (ytl/adet)

Referans No	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	4.Dönem
7700 418 197	1,64	1,36	2,47	1,85
7700 418 200	1,81	2	2,42	1,93
8200 262 760	1,24	1,99	1,48	1,23
8200 262 764	2,41	2,26	2,35	2,4
7700 412 114	2,12	1,8	3,36	2,19
8200 116 407	32,33	19,81	30,27	31,45
8200 321 246	1,57	1,32	1,42	1,86
8200 418 848	1,88	1,54	2,38	2,11
8200 523 436	2,18	1,87	2,28	2,4
8200 523 437	2,02	1,78	2,14	2,34

Çizelge 5.12 Amaç fonksiyonu katsayıları – Fazla mesai birim maliyet (ytl/adet)

Referans No	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	4.Dönem
7700 418 197	2,46	2,04	3,71	2,77
7700 418 200	2,72	3	3,63	2,9
8200 262 760	1,86	2,98	2,21	1,84
8200 262 764	3,61	3,39	3,53	3,6
7700 412 114	3,19	2,7	5,04	3,29
8200 116 407	48,5	29,71	45,41	47,17
8200 321 246	2,35	1,97	2,13	2,78
8200 418 848	2,82	2,3	3,57	3,17
8200 523 436	3,27	2,81	3,42	3,61
8200 523 437	3,03	2,67	3,2	3,51

Çizelge 5.13 Amaç fonksiyonu katsayıları – Envanter taşıma birim maliyeti (ytl/adet)

Referans No	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	4.Dönem
7700 418 197	2,05	1,7	3,09	2,31
7700 418 200	2,27	2,5	3,03	2,42
8200 262 760	1,55	2,49	1,84	1,53
8200 262 764	3,01	2,82	2,94	3
7700 412 114	2,66	2,25	4,2	2,74
8200 116 407	40,41	24,76	37,84	39,31
8200 321 246	1,96	1,65	1,78	2,32
8200 418 848	2,35	1,92	2,97	2,64
8200 523 436	2,73	2,34	2,85	3
8200 523 437	2,52	2,23	2,67	2,93

Çizelge 5.14 Amaç fonksiyonu katsayıları – İşe alma birim maliyeti (ytl/adamdak)

	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	4.Dönem
k_t İşe alma	4,23	4,55	2,65	4,14
m_t İşten Çıkarma	0,7	0,7	0,7	0,7

Yukarıdaki veriler dikkate alındığında 4 dönem, 10 ürün için amaç fonksiyonumuz şu şekilde olacaktır.

$$\begin{aligned} \min \tilde{Z} = & 1.64 Q_{11} + 1.81 Q_{21} + 1.24 Q_{31} + 2.41 Q_{41} + 2.12 Q_{51} + 32.33 Q_{61} + 1.57 Q_{71} + \\ & 1.88 Q_{81} + 2.18 Q_{91} + 2.02 Q_{101} + 1.36 Q_{12} + 2 Q_{22} + 1.99 Q_{32} + 2.26 Q_{42} + 1.8 Q_{52} + \\ & 19.81 Q_{62} + 1.32 Q_{72} + 1.54 Q_{82} + 1.87 Q_{92} + 1.78 Q_{102} + 2.47 Q_{13} + 2.42 Q_{23} + 1.48 \\ & Q_{33} + 2.35 Q_{43} + 3.36 Q_{53} + 30.27 Q_{63} + 1.42 Q_{73} + 2.38 Q_{83} + 2.28 Q_{93} + 2.14 Q_{103} + \\ & 1.85 Q_{14} + 1.93 Q_{24} + 1.23 Q_{34} + 2.4 Q_{44} + 2.19 Q_{54} + 31.45 Q_{64} + 1.86 Q_{74} + 2.11 Q_{84} \\ & + 2.1 Q_{94} + 2.34 Q_{104} + 1.83 Q_{15} + 1.99 Q_{25} + 1.38 Q_{35} + 2.48 Q_{45} + 2.29 Q_{55} + 31.2 \\ & Q_{65} + 1.93 Q_{75} + 2.19 Q_{85} + 2.47 Q_{95} + 2.29 Q_{105} + 2.46 Y_{11} + 2.72 Y_{21} + 1.86 Y_{31} + \\ & 3.61 Y_{41} + 3.19 Y_{51} + 48.5 Y_{61} + 2.35 Y_{71} + 2.82 Y_{81} + 3.27 Y_{91} + 3.03 Y_{101} + 2.04 Y_{12} \\ & + 3 Y_{22} + 2.98 Y_{32} + 3.39 Y_{42} + 2.7 Y_{52} + 29.71 Y_{62} + 1.97 Y_{72} + 2.3 Y_{82} + 2.81 Y_{92} + \\ & 2.67 Y_{102} + 3.71 Y_{13} + 3.63 Y_{23} + 2.21 Y_{33} + 3.53 Y_{43} + 5.04 Y_{53} + 45.41 Y_{63} + 2.13 \\ & Y_{73} + 3.57 Y_{83} + 3.42 Y_{93} + 3.2 Y_{103} + 2.77 Y_{14} + 2.9 Y_{24} + 1.84 Y_{34} + 3.6 Y_{44} + 3.29 \\ & Y_{54} + 47.17 Y_{64} + 2.78 Y_{74} + 3.17 Y_{84} + 3.61 Y_{94} + 3.51 Y_{104} + 2.05 S_{11} + 2.27 S_{21} + \\ & 1.55 S_{31} + 3.01 S_{41} + 2.66 S_{51} + 40.41 S_{61} + 1.96 S_{71} + 2.35 S_{81} + 2.73 S_{91} + 2.52 S_{101} + \\ & 1.7 S_{12} + 2.5 S_{22} + 2.49 S_{32} + 2.82 S_{42} + 2.25 S_{52} + 24.76 S_{62} + 1.65 S_{72} + 1.92 S_{82} + \\ & 2.34 S_{92} + 2.23 S_{102} + 3.09 S_{13} + 3.03 S_{23} + 1.84 S_{33} + 2.94 S_{43} + 4.2 S_{53} + 37.84 S_{63} + \\ & 1.78 S_{73} + 2.97 S_{83} + 2.85 S_{93} + 2.67 S_{103} + 2.31 S_{14} + 2.42 S_{24} + 1.53 S_{34} + 3 S_{44} + \\ & 2.74 S_{54} + 39.31 S_{64} + 2.32 S_{74} + 2.64 S_{84} + 3 S_{94} + 2.93 S_{104} + 4.23 H_1 + 0.7 F_1 + 4.55 \\ & H_2 + 0.7 F_2 + 2.65 H_3 + 0.7 F_3 + 4.14 H_4 + 0.7 F_4 \end{aligned} \quad (5.169)$$

5.3 Modelin Çözümü

Kurulan doğrusal programlama modelinin Zimmermann yaklaşımıyla çözüm değerleri belirlenmeye çalışılacaktır. Modelimizde yer alan bulanık eşitlik halindeki kısıtlayıcılar, iki adet bulanık eşitsizlik kısıtlayıcısı olarak düzenlenmiştir. Yani, $(AX)_{nt} \lesseqgtr b_{nt}$ ve $(AX)_{nt} \gtrless b_{nt}$ olarak ifade edilmiştir. Modelimizde yer alan $(AX)_{nt} \lesseqgtr b_{nt}$ ve $(AX)_{nt} \gtrless b_{nt}$ şeklindeki bulanık kısıtlayıcılar, üyelik fonksiyonlarına dayanarak sırasıyla $(AX)_{nt} \lesseqgtr b_{nt} + (1-\lambda)p_{nt}$ ve $(AX)_{nt} \gtrless b_{nt} - (1-\lambda)p_{nt}$ ile gösterilecektir. Burada, bulanık doğrusal programlama modelinin geleneksel doğrusal programlama problemi olarak çözülmesine bir zemin hazırlamak için,

kısıtlayıcıların sağ taraf sabitleri yalnız bırakılarak, $(AX)_{nt} \leq b_{nt} + (1-\lambda)p_{nt}$ ve $(AX)_{nt} \geq b_{nt} - (1-\lambda)p_{nt}$ ifadeleri, sırasıyla $(AX)_{nt} + \lambda p_{nt} \leq b_{nt} + p_{nt}$ ve $(AX)_{nt} - \lambda p_{nt} \leq b_{nt} - p_{nt}$ olarak düzenlenmiştir.

Zimmermann yaklaşımında amaç fonksiyonu katsayıları ile kısıtlayıcı katsayıları bulanık olmayan bir şekilde belirlenmektedir. Bu yaklaşımda, modelin amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcıların sağ taraf sabitleri bulanık olarak ifade edilmektedir. Buna göre, modeli aşağıdaki gibi ifade edebiliriz. Burada, bulanık eşitlik halindeki kısıtlayıcılar, bulanık eşitsizlik olarak ifade edilmiştir.

Zimmermann yaklaşımında, amaç fonksiyonundaki bulanıklık, sübjektif olarak belirlenebilen erişim düzeyi (b_{nt}) ve bu erişim düzeyine ilişkin tolerans miktarı (p_{nt}) ile belirtilmektedir. Oluşturduğumuz modelde, firma yönetiminin 4 dönemlik planlama için *1150000 YTL civarı veya daha az* şeklinde bir üretim maliyetini hedeflediği kabul edilmiştir. Belirlenen bu 4 dönemlik erişim düzeyi için tanımlanan tolerans miktarı ise 150000YTL olarak kabul edilmiştir. Burada, bulanık amaç fonksiyonu, bulanık eşitsizlik kısıtlayıcılarına benzer şekilde, parçalı doğrusal üyelik fonksiyonu ile nitelenmiştir. Buna göre, amaç fonksiyonumuza ilişkin üyelik fonksiyonu aşağıda verildiği gibidir.

$$\mu(Z_0) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & ; \text{ eğer } c^T x \geq 1300000 \text{ ise} \\ 1 - \frac{c^T x - 1150000}{150000} & ; \text{ eğer } 1150000 < c^T x < 1300000 \text{ ise} \\ 1 & ; \text{ eğer } c^T x \leq 1150000 \text{ ise} \end{array} \right\} \quad (5.170)$$

Bilindiği üzere, Zimmermann yaklaşımında bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcıların eşanlı olarak doyurulma derecesi λ ile gösterilmektedir. Bulanık karar kümesinin en yüksek üyelik dereceli elemanı (veya λ^* 'yı) belirleyebilmek için aşağıda verilen doğrusal programlama probleminin çözülmesi gerekir. Doğrusal model şu şekilde formüle edilir:

Max λ

Kısıtlayıcılar

- 1) $1.64 Q_{11} + 1.81 Q_{21} + 1.24 Q_{31} + 2.41 Q_{41} + 2.12 Q_{51} + 32.33 Q_{61} + 1.57 Q_{71} + 1.88 Q_{81} + 2.18 Q_{91} + 2.02 Q_{101} + 1.36 Q_{12} + 2 Q_{22} + 1.99 Q_{32} + 2.26 Q_{42} + 1.8 Q_{52} + 19.81 Q_{62} + 1.32 Q_{72} + 1.54 Q_{82} + 1.87 Q_{92} + 1.78 Q_{102} + 2.47 Q_{13} + 2.42 Q_{23} + 1.48 Q_{33} + 2.35 Q_{43} + 3.36 Q_{53} + 30.27 Q_{63} + 1.42 Q_{73} + 2.38 Q_{83} + 2.28 Q_{93} + 2.14 Q_{103} + 1.85 Q_{14} + 1.93 Q_{24} + 1.23 Q_{34} + 2.4 Q_{44} + 2.19 Q_{54} + 31.45 Q_{64} + 1.86 Q_{74} + 2.11 Q_{84} + 2.1 Q_{94} + 2.34 Q_{104} + 1.83 Q_{15} + 1.99 Q_{25} + 1.38 Q_{35} + 2.48 Q_{45} + 2.29 Q_{55} + 31.2 Q_{65} + 1.93 Q_{75} + 2.19 Q_{85} + 2.47 Q_{95} + 2.29 Q_{105} + 2.46 Y_{11} + 2.72 Y_{21} + 1.86 Y_{31} + 3.61 Y_{41} + 3.19 Y_{51} + 48.5 Y_{61} + 2.35 Y_{71} + 2.82 Y_{81} + 3.27 Y_{91} + 3.03 Y_{101} + 2.04 Y_{12} + 3 Y_{22} + 2.98 Y_{32} + 3.39 Y_{42} + 2.7 Y_{52} + 29.71 Y_{62} + 1.97 Y_{72} + 2.3 Y_{82} + 2.81 Y_{92} + 2.67 Y_{102} + 3.71 Y_{13} + 3.63 Y_{23} + 2.21 Y_{33} + 3.53 Y_{43} + 5.04 Y_{53} + 45.41 Y_{63} + 2.13 Y_{73} + 3.57 Y_{83} + 3.42 Y_{93} + 3.2 Y_{103} + 2.77 Y_{14} + 2.9 Y_{24} + 1.84 Y_{34} + 3.6 Y_{44} + 3.29 Y_{54} + 47.17 Y_{64} + 2.78 Y_{74} + 3.17 Y_{84} + 3.61 Y_{94} + 3.51 Y_{104} + 2.05 S_{11} + 2.27 S_{21} + 1.55 S_{31} + 3.01 S_{41} + 2.66 S_{51} + 40.41 S_{61} + 1.96 S_{71} + 2.35 S_{81} + 2.73 S_{91} + 2.52 S_{101} + 1.7 S_{12} + 2.5 S_{22} + 2.49 S_{32} + 2.82 S_{42} + 2.25 S_{52} + 24.76 S_{62} + 1.65 S_{72} + 1.92 S_{82} + 2.34 S_{92} + 2.23 S_{102} + 3.09 S_{13} + 3.03 S_{23} + 1.84 S_{33} + 2.94 S_{43} + 4.2 S_{53} + 37.84 S_{63} + 1.78 S_{73} + 2.97 S_{83} + 2.85 S_{93} + 2.67 S_{103} + 2.31 S_{14} + 2.42 S_{24} + 1.53 S_{34} + 3 S_{44} + 2.74 S_{54} + 39.31 S_{64} + 2.32 S_{74} + 2.64 S_{84} + 3 S_{94} + 2.93 S_{104} + 4.23 H_1 + 0.7 F_1 + 4.55 H_2 + 0.7 F_2 + 2.65 H_3 + 0.7 F_3 + 4.14 H_4 + 0.7 F_4 + 150000 \lambda \leq 1300000$
- 2) $Q_{11} + Y_{11} - S_{11} + 400 \lambda \leq 3400$
- 3) $Q_{11} + Y_{11} - S_{11} - 400 \lambda \geq 2600$
- 4) $Q_{21} + Y_{21} - S_{21} + 300 \lambda \leq 2600$
- 5) $Q_{21} + Y_{21} - S_{21} - 300 \lambda \geq 2000$
- 6) $Q_{31} + Y_{31} - S_{31} + 300 \lambda \leq 2900$
- 7) $Q_{31} + Y_{31} - S_{31} - 300 \lambda \geq 2300$
- 8) $Q_{41} + Y_{41} - S_{41} + 150 \lambda \leq 2450$
- 9) $Q_{41} + Y_{41} - S_{41} - 150 \lambda \geq 2150$
- 10) $Q_{51} + Y_{51} - S_{51} + 300 \lambda \leq 3900$
- 11) $Q_{51} + Y_{51} - S_{51} - 300 \lambda \geq 3300$

- 12) $Q_{61}+Y_{61}-S_{61}+250 \lambda \leq 4670$
- 13) $Q_{61}+Y_{61}-S_{61}-250 \lambda \geq 4170$
- 14) $Q_{71}+Y_{71}-S_{71}+200 \lambda \leq 5900$
- 15) $Q_{71}+Y_{71}-S_{71}-200 \lambda \geq 5500$
- 16) $Q_{81}+Y_{81}-S_{81}+180 \lambda \leq 2612$
- 17) $Q_{81}+Y_{81}-S_{81}-180 \lambda \geq 2252$
- 18) $Q_{91}+Y_{91}-S_{91}+100 \lambda \leq 1200$
- 19) $Q_{91}+Y_{91}-S_{91}-100 \lambda \geq 1000$
- 20) $Q_{101}+Y_{101}-S_{101}+70 \lambda \leq 560$
- 21) $Q_{101}+Y_{101}-S_{101}-70 \lambda \geq 420$
- 22) $S_{11}+Q_{11}+Y_{12}-S_{12}+400 \lambda \leq 3600$
- 23) $S_{11}+Q_{11}+Y_{12}-S_{12}-400 \lambda \geq 2800$
- 24) $S_{21}+Q_{22}+Y_{22}-S_{22}+300 \lambda \leq 3300$
- 25) $S_{21}+Q_{22}+Y_{22}-S_{22}-300 \lambda \geq 2700$
- 26) $S_{31}+Q_{32}+Y_{32}-S_{32}+300 \lambda \leq 2700$
- 27) $S_{31}+Q_{32}+Y_{32}-S_{32}-300 \lambda \geq 2100$
- 28) $S_{41}+Q_{42}+Y_{42}-S_{42}+150 \lambda \leq 2850$
- 29) $S_{41}+Q_{42}+Y_{42}-S_{42}-150 \lambda \geq 2550$
- 30) $S_{51}+Q_{52}+Y_{52}-S_{52}+300 \lambda \leq 5100$
- 31) $S_{51}+Q_{52}+Y_{52}-S_{52}-300 \lambda \geq 4500$
- 32) $S_{61}+Q_{62}+Y_{62}-S_{62}+250 \lambda \leq 5290$
- 33) $S_{61}+Q_{62}+Y_{62}-S_{62}-250 \lambda \geq 4790$
- 34) $S_{71}+Q_{72}+Y_{72}-S_{72}+400 \lambda \leq 7600$
- 35) $S_{71}+Q_{72}+Y_{72}-S_{72}-400 \lambda \geq 6800$
- 36) $S_{81}+Q_{82}+Y_{82}-S_{82}+180 \lambda \leq 2628$
- 37) $S_{81}+Q_{82}+Y_{82}-S_{82}-180 \lambda \geq 2268$
- 38) $S_{91}+Q_{92}+Y_{92}-S_{92}+100 \lambda \leq 1000$
- 39) $S_{91}+Q_{92}+Y_{92}-S_{92}-100 \lambda \geq 800$
- 40) $S_{101}+Q_{102}+Y_{102}-S_{102}+70 \lambda \leq 560$
- 41) $S_{101}+Q_{102}+Y_{102}-S_{102}-70 \lambda \geq 420$
- 42) $S_{12}+Q_{13}+Y_{13}-S_{13}+200 \lambda \leq 1800$
- 43) $S_{12}+Q_{13}+Y_{13}-S_{13}-200 \lambda \geq 1400$
- 44) $S_{22}+Q_{23}+Y_{23}-S_{23}+300 \lambda \leq 1500$
- 45) $S_{22}+Q_{23}+Y_{23}-S_{23}-300 \lambda \geq 900$

- 46) $S_{32}+Q_{33}+Y_{33}-S_{33}+300 \lambda \leq 2700$
- 47) $S_{32}+Q_{33}+Y_{33}-S_{33}-300 \lambda \geq 2100$
- 48) $S_{42}+Q_{43}+Y_{43}-S_{43}+150 \lambda \leq 2250$
- 49) $S_{42}+Q_{43}+Y_{43}-S_{43}-150 \lambda \geq 1950$
- 50) $S_{52}+Q_{53}+Y_{53}-S_{53}+300 \lambda \leq 4800$
- 51) $S_{52}+Q_{53}+Y_{53}-S_{53}-300 \lambda \geq 4200$
- 52) $S_{62}+Q_{63}+Y_{63}-S_{63}+250 \lambda \leq 4870$
- 53) $S_{62}+Q_{63}+Y_{63}-S_{63}-250 \lambda \geq 4370$
- 54) $S_{72}+Q_{73}+Y_{73}-S_{73}+200 \lambda \leq 4900$
- 55) $S_{72}+Q_{73}+Y_{73}-S_{73}-200 \lambda \geq 4500$
- 56) $S_{82}+Q_{83}+Y_{83}-S_{83}+180 \lambda \leq 2484$
- 57) $S_{82}+Q_{83}+Y_{83}-S_{83}-180 \lambda \geq 2124$
- 58) $S_{92}+Q_{93}+Y_{93}-S_{93}+100 \lambda \leq 900$
- 59) $S_{92}+Q_{93}+Y_{93}-S_{93}-100 \lambda \geq 700$
- 60) $S_{102}+Q_{103}+Y_{103}-S_{103}+140 \lambda \leq 770$
- 61) $S_{102}+Q_{103}+Y_{103}-S_{103}-140 \lambda \geq 490$
- 62) $S_{13}+Q_{14}+Y_{14}-S_{14}+200 \lambda \leq 2600$
- 63) $S_{13}+Q_{14}+Y_{14}-S_{14}-200 \lambda \geq 2200$
- 64) $S_{23}+Q_{24}+Y_{24}-S_{24}+300 \lambda \leq 3600$
- 65) $S_{23}+Q_{24}+Y_{24}-S_{24}-300 \lambda \geq 3000$
- 66) $S_{33}+Q_{34}+Y_{34}-S_{34}+450 \lambda \leq 10350$
- 67) $S_{33}+Q_{34}+Y_{34}-S_{34}-450 \lambda \geq 9450$
- 68) $S_{43}+Q_{44}+Y_{44}-S_{44}+600 \lambda \leq 10800$
- 69) $S_{43}+Q_{44}+Y_{44}-S_{44}-600 \lambda \geq 9600$
- 70) $S_{53}+Q_{54}+Y_{54}-S_{54}+450 \lambda \leq 7950$
- 71) $S_{53}+Q_{54}+Y_{54}-S_{54}-450 \lambda \geq 7050$
- 72) $S_{63}+Q_{64}+Y_{64}-S_{64}+500 \lambda \leq 7850$
- 73) $S_{63}+Q_{64}+Y_{64}-S_{64}-500 \lambda \geq 6850$
- 74) $S_{73}+Q_{74}+Y_{74}-S_{74}+100 \lambda \leq 1800$
- 75) $S_{73}+Q_{74}+Y_{74}-S_{74}-100 \lambda \geq 1600$
- 76) $S_{83}+Q_{84}+Y_{84}-S_{84}+360 \lambda \leq 9072$
- 77) $S_{83}+Q_{84}+Y_{84}-S_{84}-360 \lambda \geq 8352$
- 78) $S_{93}+Q_{94}+Y_{94}-S_{94}+200 \lambda \leq 4300$
- 79) $S_{93}+Q_{94}+Y_{94}-S_{94}-200 \lambda \geq 3900$

$$80) S103+Q104+Y104-S104+140 \lambda \leq 2310$$

$$81) S103+Q104+Y104-S104-140 \lambda \geq 2030$$

$$82) H1 - F1 - 1.95 Q11 - 1.95 Y11 - 1.43 Q21 - 1.43 Y21 - 1.62 Q31 - 1.62 Y31 - 1.88 Q41 - 1.88 Y41 - 1.28 Q51 - 1.28 Y51 - 1.62 Q61 - 1.62 Y61 - 2.71 Q71 - 2.71 Y71 - 4.94 Q81 - 4.94 Y81 - 3.22 Q91 - 3.22 Y91 - 1.62 Q101 - 1.62 Y101 = 0$$

$$83) 1.95 Q11 + 1.95 Y11 + 1.43 Q21 + 1.43 Y21 + 1.62 Q31 + 1.62 Y31 + 1.88 Q41 + 1.88 Y41 + 1.28 Q51 + 1.28 Y51 + 1.62 Q61 + 1.62 Y61 + 2.71 Q71 + 2.71 Y71 + 4.94 Q81 + 4.94 Y81 + 3.22 Q91 + 3.22 Y91 + 1.62 Q101 + 1.62 Y101 + H2 - F2 - 2.05 Q12 + 2.05 Y12 - 1.47 Q22 - 1.47 Y22 - 1.69 Q32 - 1.69 Y32 - 1.98 Q42 - 1.98 Y42 - 1.31 Q52 - 1.31 Y52 - 1.69 Q62 - 1.69 Y62 - 2.89 Q72 - 2.89 Y72 - 5.36 Q82 - 5.36 Y82 - 3.46 Q92 - 3.46 Y92 - 1.69 Q102 - 1.69 Y102 = 0$$

$$84) 2.05 Q12 + 2.05 Y12 + 1.47 Q22 + 1.47 Y22 + 1.69 Q32 + 1.69 Y32 + 1.98 Q42 + 1.98 Y42 + 1.31 Q52 + 1.31 Y52 + 1.69 Q62 + 1.69 Y62 + 2.89 Q72 + 2.89 Y72 + 5.36 Q82 + 5.36 Y82 + 3.46 Q92 + 3.46 Y92 + 1.69 Q102 + 1.69 Y102 + H3 - F3 - 1.93 Q13 - 1.93 Y13 - 1.42 Q23 - 1.42 Y23 - 1.61 Q33 - 1.61 Y33 - 1.87 Q43 - 1.87 Y43 - 1.28 Q53 - 1.28 Y53 - 1.61 Q63 - 1.61 Y63 - 2.68 Q73 - 2.68 Y73 - 4.88 Q83 - 4.88 Y83 - 3.19 Q93 - 3.19 Y93 - 1.61 Q103 - 1.61 Y103 = 0$$

$$85) 1.93 Q13 + 1.93 Y13 + 1.42 Q23 + 1.42 Y23 + 1.61 Q33 + 1.61 Y33 + 1.87 Q43 + 1.87 Y43 + 1.28 Q53 + 1.28 Y53 + 1.61 Q63 + 1.61 Y63 + 2.68 Q73 + 2.68 Y73 + 4.88 Q83 + 4.88 Y83 + 3.19 Q93 + 3.19 Y93 + 1.61 Q103 + 1.61 Y103 + H4 - F4 - 1.92 Q14 - 1.92 Y14 - 1.42 Q24 - 1.42 Y24 - 1.61 Q34 - 1.61 Y34 - 1.86 Q44 - 1.86 Y44 - 1.28 Q54 - 1.28 Y54 - 1.61 Q64 - 1.61 Y64 - 2.65 Q74 - 2.65 Y74 - 4.82 Q84 - 4.82 Y84 - 3.16 Q94 - 3.16 Y94 - 1.61 Q104 - 1.61 Y104 = 0$$

$$86) 1.95 Q11 + 1.95 Y11 + 1.43 Q21 + 1.43 Y21 + 1.62 Q31 + 1.62 Y31 + 1.88 Q41 + 1.88 Y41 + 1.28 Q51 + 1.28 Y51 + 1.62 Q61 + 1.62 Y61 + 2.71 Q71 + 2.71 Y71 + 4.94 Q81 + 4.94 Y81 + 3.22 Q91 + 3.22 Y91 + 1.62 Q101 + 1.62 Y101 + 56400 \lambda \leq 376100$$

$$87) 2.05 Q12 + 2.05 Y12 + 1.47 Q22 + 1.47 Y22 + 1.69 Q32 + 1.69 Y32 + 1.98 Q42 + 1.98 Y42 + 1.31 Q52 + 1.31 Y52 + 1.69 Q62 + 1.69 Y62 + 2.89 Q72 + 2.89 Y72 + 5.36 Q82 + 5.36 Y82 + 3.46 Q92 + 3.46 Y92 + 1.69 Q102 + 1.69 Y102 + 24000 \lambda \leq 400400$$

$$88) 1.93 Q13 + 1.93 Y13 + 1.42 Q23 + 1.42 Y23 + 1.61 Q33 + 1.61 Y33 + 1.87 Q43 + 1.87 Y43 + 1.28 Q53 + 1.28 Y53 + 1.61 Q63 + 1.61 Y63 + 2.68 Q73 + 2.68 Y73 +$$

- $$4.88 Q_{83} + 4.88 Y_{83} + 3.19 Q_{93} + 3.19 Y_{93} + 1.61 Q_{103} + 1.61 Y_{103} + 60000 \lambda \leq 374500$$
- 89) $1.92 Q_{14} + 1.92 Y_{14} + 1.42 Q_{24} + 1.42 Y_{24} + 1.61 Q_{34} + 1.61 Y_{34} + 1.86 Q_{44} + 1.86 Y_{44} + 1.28 Q_{54} + 1.28 Y_{54} + 1.61 Q_{64} + 1.61 Y_{64} + 2.65 Q_{74} + 2.65 Y_{74} + 4.82 Q_{84} + 4.82 Y_{84} + 3.16 Q_{94} + 3.16 Y_{94} + 1.61 Q_{104} + 1.61 Y_{104} + 61000 \lambda \leq 360000$
- 90) $0.95 Q_{11} + 0.95 Y_{11} + 0.43 Q_{21} + 0.43 Y_{21} + 0.62 Q_{31} + 0.62 Y_{31} + 0.88 Q_{41} + 0.88 Y_{41} + 0.28 Q_{51} + 0.28 Y_{51} + 0.62 Q_{61} + 0.62 Y_{61} + 20400 \lambda \leq 140400$
- 91) $1.71 Q_{71} + 1.71 Y_{71} + 3.94 Q_{81} + 3.94 Y_{81} + 2.22 Q_{91} + 2.22 Y_{91} + 0.62 Q_{101} + 0.62 Y_{101} + 67500 \lambda \leq 450000$
- 92) $1.05 Q_{12} + 1.05 Y_{12} + 0.47 Q_{22} + 0.47 Y_{22} + 0.69 Q_{32} + 0.69 Y_{32} + 0.98 Q_{42} + 0.98 Y_{42} + 0.31 Q_{52} + 0.31 Y_{52} + 0.69 Q_{62} + 0.69 Y_{62} + 8400 \lambda \leq 140400$
- 93) $1.89 Q_{72} + 1.89 Y_{72} + 4.36 Q_{82} + 4.36 Y_{82} + 2.46 Q_{92} + 4.36 Y_{92} + 0.69 Q_{102} + 0.69 Y_{102} + 27000 \lambda \leq 450000$
- 94) $0.93 Q_{13} + 0.93 Y_{13} + 0.42 Q_{23} + 0.42 Y_{23} + 0.61 Q_{33} + 0.61 Y_{33} + 0.87 Q_{43} + 0.87 Y_{43} + 0.28 Q_{53} + 0.28 Y_{53} + 0.61 Q_{63} + 0.61 Y_{63} + 12100 \lambda \leq 75600$
- 95) $1.68 Q_{73} + 1.68 Y_{73} + 3.88 Q_{83} + 3.88 Y_{83} + 2.19 Q_{93} + 2.19 Y_{93} + 0.61 Q_{103} + 0.61 Y_{103} + 38720 \lambda \leq 242000$
- 96) $0.92 Q_{14} + 0.92 Y_{14} + 0.42 Q_{24} + 0.42 Y_{24} + 0.61 Q_{34} + 0.61 Y_{34} + 0.86 Q_{44} + 0.86 Y_{44} + 0.28 Q_{54} + 0.28 Y_{54} + 0.61 Q_{64} + 0.61 Y_{64} + 25400 \lambda \leq 140400$
- 97) $1.65 Q_{74} + 1.65 Y_{74} + 3.82 Q_{84} + 3.82 Y_{84} + 2.16 Q_{94} + 2.16 Y_{94} + 0.61 Q_{104} + 0.61 Y_{104} + 76500 \lambda \leq 450000$
- 98) $0.92S_{11} + 0.62S_{21} + 1.2S_{31} + 1.2S_{41} + 0.32S_{51} + 1.44S_{61} + 0.53S_{71} + 6S_{81} + 0.72S_{91} + 1.03S_{101} \leq 5500$
- 99) $0.92S_{12} + 0.62S_{22} + 1.2S_{32} + 1.2S_{42} + 0.32S_{52} + 1.44S_{62} + 0.53S_{72} + 6S_{82} + 0.72S_{92} + 1.03S_{102} \leq 5500$
- 100) $0.92S_{13} + 0.62S_{23} + 1.2S_{33} + 1.2S_{43} + 0.32S_{53} + 1.44S_{63} + 0.53S_{73} + 6S_{83} + 0.72S_{93} + 1.03S_{103} \leq 5500$
- 101) $0.92S_{14} + 0.62S_{24} + 1.2S_{34} + 1.2S_{44} + 0.32S_{54} + 1.44S_{64} + 0.53S_{74} + 6S_{84} + 0.72S_{94} + 1.03S_{104} \leq 5500$
- 102) $Q_{nt}, Y_{nt}, S_{nt}, H_t, F_t \geq 0$ her n, t için
- $$\lambda \in [0, 1]$$

Bu problemin LINDO paket programıyla bulunan optimal çözüm değerleri aşağıdadır.

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
(λ) A	0.309741	0.000000
Q11	2723.896240	0.000000
Q21	2092.922119	0.000000
Q31	2392.922119	0.000000
Q41	2196.461182	0.000000
Q51	3392.922119	0.000000
Q61	4247.435059	0.000000
Q71	5944.034180	0.000000
Q81	3190.668945	0.000000
Q91	1030.973999	0.000000
Q101	441.681854	0.000000
Q12	2923.896240	0.000000
Q22	2792.922119	0.000000
Q32	2192.922119	0.000000
Q42	2596.461182	0.000000
Q52	4592.922363	0.000000
Q62	4867.435059	0.000000
Q72	6541.810059	0.000000
Q82	1440.837524	0.000000
Q92	830.974060	0.000000
Q102	441.681854	0.000000
Q13	3676.074707	0.000000
Q23	992.922180	0.000000
Q33	2607.077881	0.000000
Q43	2203.538818	0.000000
Q53	4292.922363	0.000000
Q63	4447.435059	0.000000
Q73	6469.025879	0.000000
Q83	2428.246582	0.000000
Q93	4830.974121	0.000000
Q103	726.636292	0.000000
Q14	323.925171	0.000000

Q24	3092.922119	0.000000
Q34	9589.382812	0.000000
Q44	9785.844727	0.000000
Q54	7189.383301	0.000000
Q64	7004.870117	0.000000
Q74	0.000000	0.000040
Q84	8463.506836	0.000000
Q94	0.000000	0.000041
Q104	2073.363770	0.000000
Y11	0.000000	0.000003
Y21	0.000000	0.000004
Y31	0.000000	0.000003
Y41	0.000000	0.000005
Y51	0.000000	0.000005
Y61	0.000000	0.000069
Y71	0.000000	0.000003
Y81	0.000000	0.000004
Y91	0.000000	0.000005
Y101	0.000000	0.000004
Y12	0.000000	0.000003
Y22	0.000000	0.000004
Y32	0.000000	0.000004
Y42	0.000000	0.000005
Y52	0.000000	0.000004
Y62	0.000000	0.000042
Y72	0.000000	0.000003
Y82	0.000000	0.000003
Y92	0.000000	0.000004
Y102	0.000000	0.000004
Y13	0.000000	0.000005
Y23	0.000000	0.000005
Y33	0.000000	0.000003
Y43	0.000000	0.000005
Y53	0.000000	0.000007

Y63	0.000000	0.000064
Y73	0.000000	0.000003
Y83	0.000000	0.000005
Y93	0.000000	0.000005
Y103	0.000000	0.000005
Y14	0.000000	0.000004
Y24	0.000000	0.000004
Y34	0.000000	0.000003
Y44	0.000000	0.000005
Y54	0.000000	0.000005
Y64	0.000000	0.000067
Y74	0.000000	0.000044
Y84	0.000000	0.000005
Y94	0.000000	0.000046
Y104	0.000000	0.000005
S11	0.000000	0.000004
S21	0.000000	0.000005
S31	0.000000	-0.000001
S41	0.000000	0.000008
S51	0.000000	0.000009
S61	0.000000	0.000221
S71	382.086060	0.000000
S81	882.915710	0.000000
S91	0.000000	0.000002
S101	0.000000	0.000007
S12	0.000000	0.000025
S22	0.000000	0.000025
S32	0.000000	0.000031
S42	0.000000	0.000033
S52	0.000000	0.000018
S62	0.000000	0.000079
S72	0.000000	0.000038
S82	0.000000	0.000063
S92	0.000000	0.000046

S102	0.000000	0.000027
S13	1938.022949	0.000000
S23	0.000000	0.000001
S33	0.000000	0.000010
S43	0.000000	0.000007
S53	0.000000	0.000003
S63	0.000000	0.000165
S73	1630.973999	0.000000
S83	0.000000	0.000095
S93	3961.947998	0.000000
S103	0.000000	0.000006
S14	0.000000	0.000051
S24	0.000000	0.000043
S34	0.000000	0.000040
S44	0.000000	0.000056
S54	0.000000	0.000043
S64	0.000000	0.000329
S74	0.000000	0.000024
S84	0.000000	0.000105
S94	0.000000	0.000038
S104	0.000000	0.000051
H1	63439.640625	0.000000
F1	0.000000	0.000021
H2	0.000000	0.000003
F2	0.000000	0.000019
H3	11805.981445	0.000000
F3	0.000000	0.000014
H4	28021.308594	0.000000
F4	0.000000	0.000021

Amaç Fonksiyonu

Oluşturduğumuz modeli Zimmermann yaklaşımı ile çözümlerken, 1150000 YTL'lik maliyet hedefine gösterilen tolerans miktarının 150000 YTL olduğu kabul edilmiştir. “1300000 YTL civarı veya daha az” şeklinde [1150000, 1300000] aralığında bulanık olarak ifade edilen amaç fonksiyonu (maliyetin minimizasyonu), çözüm değerlerine göre 1251038 YTL'dir. $\lambda=0,3097406$ düzeyinde gösterilen tolerans miktarı 46461 (150000x0,3097) YTL'dir. Kullanılmayan kaynak ise, 2500 [1300000-(1251038+46461)] YTL'dir.

5.4 Modelin Doğrusal Programlama ile Çözümü

Modelin bulanıklaştırmadan fiili verilerle oluşturduğumuzda oluşacak model ve çözümü şu şekildedir :

$$\begin{aligned} \min Z = & 1.64 Q_{11} + 1.81 Q_{21} + 1.24 Q_{31} + 2.41 Q_{41} + 2.12 Q_{51} + 32.33 Q_{61} + 1.57 Q_{71} + \\ & 1.88 Q_{81} + 2.18 Q_{91} + 2.02 Q_{101} + 1.36 Q_{12} + 2 Q_{22} + 1.99 Q_{32} + 2.26 Q_{42} + 1.8 Q_{52} + \\ & 19.81 Q_{62} + 1.32 Q_{72} + 1.54 Q_{82} + 1.87 Q_{92} + 1.78 Q_{102} + 2.47 Q_{13} + 2.42 Q_{23} + 1.48 \\ & Q_{33} + 2.35 Q_{43} + 3.36 Q_{53} + 30.27 Q_{63} + 1.42 Q_{73} + 2.38 Q_{83} + 2.28 Q_{93} + 2.14 Q_{103} + \\ & 1.85 Q_{14} + 1.93 Q_{24} + 1.23 Q_{34} + 2.4 Q_{44} + 2.19 Q_{54} + 31.45 Q_{64} + 1.86 Q_{74} + 2.11 Q_{84} \\ & + 2.1 Q_{94} + 2.34 Q_{104} + 1.83 Q_{15} + 1.99 Q_{25} + 1.38 Q_{35} + 2.48 Q_{45} + 2.29 Q_{55} + 31.2 \\ & Q_{65} + 1.93 Q_{75} + 2.19 Q_{85} + 2.47 Q_{95} + 2.29 Q_{105} + 2.46 Y_{11} + 2.72 Y_{21} + 1.86 Y_{31} + \\ & 3.61 Y_{41} + 3.19 Y_{51} + 48.5 Y_{61} + 2.35 Y_{71} + 2.82 Y_{81} + 3.27 Y_{91} + 3.03 Y_{101} + 2.04 Y_{12} \\ & + 3 Y_{22} + 2.98 Y_{32} + 3.39 Y_{42} + 2.7 Y_{52} + 29.71 Y_{62} + 1.97 Y_{72} + 2.3 Y_{82} + 2.81 Y_{92} + \\ & 2.67 Y_{102} + 3.71 Y_{13} + 3.63 Y_{23} + 2.21 Y_{33} + 3.53 Y_{43} + 5.04 Y_{53} + 45.41 Y_{63} + 2.13 \\ & Y_{73} + 3.57 Y_{83} + 3.42 Y_{93} + 3.2 Y_{103} + 2.77 Y_{14} + 2.9 Y_{24} + 1.84 Y_{34} + 3.6 Y_{44} + 3.29 \\ & Y_{54} + 47.17 Y_{64} + 2.78 Y_{74} + 3.17 Y_{84} + 3.61 Y_{94} + 3.51 Y_{104} + 2.05 S_{11} + 2.27 S_{21} + \\ & 1.55 S_{31} + 3.01 S_{41} + 2.66 S_{51} + 40.41 S_{61} + 1.96 S_{71} + 2.35 S_{81} + 2.73 S_{91} + 2.52 S_{101} + \\ & 1.7 S_{12} + 2.5 S_{22} + 2.49 S_{32} + 2.82 S_{42} + 2.25 S_{52} + 24.76 S_{62} + 1.65 S_{72} + 1.92 S_{82} + \\ & 2.34 S_{92} + 2.23 S_{102} + 3.09 S_{13} + 3.03 S_{23} + 1.84 S_{33} + 2.94 S_{43} + 4.2 S_{53} + 37.84 S_{63} + \\ & 1.78 S_{73} + 2.97 S_{83} + 2.85 S_{93} + 2.67 S_{103} + 2.31 S_{14} + 2.42 S_{24} + 1.53 S_{34} + 3 S_{44} + \\ & 2.74 S_{54} + 39.31 S_{64} + 2.32 S_{74} + 2.64 S_{84} + 3 S_{94} + 2.93 S_{104} + 4.23 H_1 + 0.7 F_1 + 4.55 \\ & H_2 + 0.7 F_2 + 2.65 H_3 + 0.7 F_3 + 4.14 H_4 + 0.7 F_4 \end{aligned}$$

- 1) $Q_{11}+Y_{11}-S_{11}=3000$
- 2) $Q_{21}+Y_{21}-S_{21}=2300$
- 3) $Q_{31}+Y_{31}-S_{31}=2600$
- 4) $Q_{41}+Y_{41}-S_{41}=2300$

- 5) $Q51+Y51-S51=3600$
- 6) $Q61+Y61-S61=4420$
- 7) $Q71+Y71-S71=5700$
- 8) $Q81+Y81-S81=2432$
- 9) $Q91+Y91-S91=1100$
- 10) $Q101+Y101-S101=490$
- 11) $S11+Q11+Y12-S12=3200$
- 12) $S21+Q22+Y22-S22=3000$
- 13) $S31+Q32+Y32-S32=2400$
- 14) $S41+Q42+Y42-S42=2700$
- 15) $S51+Q52+Y5-S52=4800$
- 16) $S61+Q62+Y62-S62=5040$
- 17) $S71+Q72+Y72-S72=7200$
- 18) $S81+Q82+Y82-S82=2448$
- 19) $S91+Q92+Y92-S92=900$
- 20) $S101+Q102+Y102-S102=490$
- 21) $S12+Q13+Y13-S13=1600$
- 22) $S22+Q23+Y23-S23=1200$
- 23) $S32+Q33+Y33-S33=2400$
- 24) $S42+Q43+Y43-S43=2100$
- 25) $S52+Q53+Y53-S53=4500$
- 26) $S62+Q63+Y63-S63=4620$
- 27) $S72+Q73+Y73-S73=4700$
- 28) $S82+Q83+Y83-S83=2304$
- 29) $S92+Q93+Y93-S93=800$
- 30) $S102+Q103+Y103-S103=630$
- 31) $S13+Q14+Y14-S14=2400$
- 32) $S23+Q24+Y24-S24=3300$
- 33) $S33+Q34+Y34-S34=9900$
- 34) $S43+Q44+Y44-S44=10200$
- 35) $S53+Q54+Y54-S54=7500$
- 36) $S63+Q64+Y64-S64=7350$
- 37) $S73+Q74+Y74-S74=1700$
- 38) $S83+Q84+Y84-S84=8712$

$$39) S93+Q94+Y94-S94=4100$$

$$40) S103+Q104+Y104-S104=2170$$

$$41) S14+Q15+Y15-S15=1205$$

$$42) S24+Q25+Y25-S25=1805$$

$$43) S34+Q35+Y35-S35=12600$$

$$44) S44+Q45+Y45-S45=10800$$

$$45) S54+Q55+Y55-S55=5700$$

$$46) S64+Q65+Y65-S65=4830$$

$$47) S74+Q75+Y75-S75=3900$$

$$48) S84+Q85+Y85-S85=15636$$

$$49) S94+Q95+Y95-S95=3400$$

$$50) S104+Q105+Y105-S105=3150$$

$$51) S15+Q16+Y16-S16=1000$$

$$52) S25+Q26+Y26-S26=900$$

$$53) S35+Q36+Y36-S36=12600$$

$$54) S45+Q46+Y46-S46=10800$$

$$55) S55+Q56+Y56-S56=5700$$

$$56) S65+Q66+Y66-S66=4830$$

$$57) S75+Q76+Y76-S76=3900$$

$$58) S85+Q86+Y86-S86=15636$$

$$59) S95+Q96+Y96-S96=3400$$

$$60) S105+Q106+Y106-S106=3150$$

$$61) H1 - F1 - 1.95 Q11 - 1.95 Y11 - 1.43 Q21 - 1.43 Y21 - 1.62 Q31 - 1.62 Y31 - 1.88 Q41 - 1.88 Y41 - 1.28 Q51 - 1.28 Y51 - 1.62 Q61 - 1.62 Y61 - 2.71 Q71 - 2.71 Y71 - 4.94 Q81 - 4.94 Y81 - 3.22 Q91 - 3.22 Y91 - 1.62 Q101 - 1.62 Y101 = 0$$

$$62) 1.95 Q11 + 1.95 Y11 + 1.43 Q21 + 1.43 Y21 + 1.62 Q31 + 1.62 Y31 + 1.88 Q41 + 1.88 Y41 + 1.28 Q51 + 1.28 Y51 + 1.62 Q61 + 1.62 Y61 + 2.71 Q71 + 2.71 Y71 + 4.94 Q81 + 4.94 Y81 + 3.22 Q91 + 3.22 Y91 + 1.62 Q101 + 1.62 Y101 + H2 - F2 - 2.05 Q12 + 2.05 Y12 - 1.47 Q22 - 1.47 Y22 - 1.69 Q32 - 1.69 Y32 - 1.98 Q42 - 1.98 Y42 - 1.31 Q52 - 1.31 Y52 - 1.69 Q62 - 1.69 Y62 - 2.89 Q72 - 2.89 Y72 - 5.36 Q82 - 5.36 Y82 - 3.46 Q92 - 3.46 Y92 - 1.69 Q102 - 1.69 Y102 = 0$$

$$63) 2.05 Q12 + 2.05 Y12 + 1.47 Q22 + 1.47 Y22 + 1.69 Q32 + 1.69 Y32 + 1.98 Q42 + 1.98 Y42 + 1.31 Q52 + 1.31 Y52 + 1.69 Q62 + 1.69 Y62 + 2.89 Q72 + 2.89 Y72 + 5.36 Q82 + 5.36 Y82 + 3.46 Q92 + 3.46 Y92 + 1.69 Q102 + 1.69 Y102 + H3 - F3 -$$

- $$1.93 Q13 - 1.93 Y13 - 1.42 Q23 - 1.42 Y23 - 1.61 Q33 - 1.61 Y33 - 1.87 Q43 - 1.87 Y43 - 1.28 Q53 - 1.28 Y53 - 1.61 Q63 - 1.61 Y63 - 2.68 Q73 - 2.68 Y73 - 4.88 Q83 - 3.88 Y83 - 3.19 Q93 - 3.19 Y93 - 1.61 Q103 - 1.61 Y103 = 0$$
- 64) $1.93 Q13 + 1.93 Y13 + 1.42 Q23 + 1.42 Y23 + 1.61 Q33 + 1.61 Y33 + 1.87 Q43 + 1.87 Y43 + 1.28 Q53 + 1.28 Y53 + 1.61 Q63 + 1.61 Y63 + 2.68 Q73 + 2.68 Y73 + 4.88 Q83 + 4.88 Y83 + 3.19 Q93 + 3.19 Y93 + 1.61 Q103 + 1.61 Y103 + H4 - F4 - 1.92 Q14 - 1.92 Y14 - 1.42 Q24 - 1.42 Y24 - 1.61 Q34 - 1.61 Y34 - 1.86 Q44 - 1.86 Y44 - 1.28 Q54 - 1.28 Y54 - 1.61 Q64 - 1.61 Y64 - 2.65 Q74 - 2.65 Y74 - 4.82 Q84 - 4.82 Y84 - 3.16 Q94 - 3.16 Y94 - 1.61 Q104 - 1.61 Y104 = 0$
- 65) $1.95 Q11 + 1.95 Y11 + 1.43 Q21 + 1.43 Y21 + 1.62 Q31 + 1.62 Y31 + 1.88 Q41 + 1.88 Y41 + 1.28 Q51 + 1.28 Y51 + 1.62 Q61 + 1.62 Y61 + 2.71 Q71 + 2.71 Y71 + 4.94 Q81 + 4.94 Y81 + 3.22 Q91 + 3.22 Y91 + 1.62 Q101 + 1.62 Y101 \leq 319700$
- 66) $2.05 Q12 + 2.05 Y12 + 1.47 Q22 + 1.47 Y22 + 1.69 Q32 + 1.69 Y32 + 1.98 Q42 + 1.98 Y42 + 1.31 Q52 + 1.31 Y52 + 1.69 Q62 + 1.69 Y62 + 2.89 Q72 + 2.89 Y72 + 5.36 Q82 + 5.36 Y82 + 3.46 Q92 + 3.46 Y92 + 1.69 Q102 + 1.69 Y102 \leq 376400$
- 67) $1.93 Q13 + 1.93 Y13 + 1.42 Q23 + 1.42 Y23 + 1.61 Q33 + 1.61 Y33 + 1.87 Q43 + 1.87 Y43 + 1.28 Q53 + 1.28 Y53 + 1.61 Q63 + 1.61 Y63 + 2.68 Q73 + 2.68 Y73 + 4.88 Q83 + 4.88 Y83 + 3.19 Q93 + 3.19 Y93 + 1.61 Q103 + 1.61 Y103 \leq 314500$
- 68) $1.92 Q14 + 1.92 Y14 + 1.42 Q24 + 1.42 Y24 + 1.61 Q34 + 1.61 Y34 + 1.86 Q44 + 1.86 Y44 + 1.28 Q54 + 1.28 Y54 + 1.61 Q64 + 1.61 Y64 + 2.65 Q74 + 2.65 Y74 + 4.82 Q84 + 4.82 Y84 + 3.16 Q94 + 3.16 Y94 + 1.61 Q104 + 1.61 Y104 \leq 299000$
- 69) $0.95 Q11 + 0.95 Y11 + 0.43 Q21 + 0.43 Y21 + 0.62 Q31 + 0.62 Y31 + 0.88 Q41 + 0.88 Y41 + 0.28 Q51 + 0.28 Y51 + 0.62 Q61 + 0.62 Y61 \leq 120000$
- 70) $135) 1.71 Q71 + 1.71 Y71 + 3.94 Q81 + 3.94 Y81 + 2.22 Q91 + 2.22 Y91 + 0.62 Q101 + 0.62 Y101 \leq 382500$
- 71) $1.05 Q12 + 1.05 Y12 + 0.47 Q22 + 0.47 Y22 + 0.69 Q32 + 0.69 Y32 + 0.98 Q42 + 0.98 Y42 + 0.31 Q52 + 0.31 Y52 + 0.69 Q62 + 0.69 Y62 \leq 132000$
- 72) $1.89 Q72 + 1.89 Y72 + 4.36 Q82 + 4.36 Y82 + 2.46 Q92 + 4.36 Y92 + 0.69 Q102 + 0.69 Y102 \leq 423000$
- 73) $0.93 Q13 + 0.93 Y13 + 0.42 Q23 + 0.42 Y23 + 0.61 Q33 + 0.61 Y33 + 0.87 Q43 + 0.87 Y43 + 0.28 Q53 + 0.28 Y53 + 0.61 Q63 + 0.61 Y63 \leq 63500$
- 74) $139) 1.68 Q73 + 1.68 Y73 + 3.88 Q83 + 3.88 Y83 + 2.19 Q93 + 2.19 Y93 + 0.61 Q103 + 0.61 Y103 \leq 203800$

$$75) 0.92 Q14 + 0.92 Y14 + 0.42 Q24 + 0.42 Y24 + 0.61 Q34 + 0.61 Y34 + 0.86 Q44 + 0.86 Y44 + 0.28 Q54 + 0.28 Y54 + 0.61 Q64 + 0.61 Y64 \leq 115000$$

$$76) 1.65 Q74 + 1.65 Y74 + 3.82 Q84 + 3.82 Y84 + 2.16 Q94 + 2.16 Y94 + 0.61 Q104 + 0.61 Y104 \leq 373500$$

$$77) 0.92S11+0.62S21+1.2S31+1.2S41+0.32S51+1.44S61+0.53S71+6S81+0.72S91+1.03S101 \leq 5500$$

$$78) 0.92S12+0.62S22+1.2S32+1.2S42+0.32S52+1.44S62+0.53S72+6S82+0.72S92+1.03S102 \leq 5500$$

$$79) 0.92S13+0.62S23+1.2S33+1.2S43+0.32S53+1.44S63+0.53S73+6S83+0.72S93+1.03S103 \leq 5500$$

$$80) 0.92S14+0.62S24+1.2S34+1.2S44+0.32S54+1.44S64+0.53S74+6S84+0.72S94+1.03S104 \leq 5500$$

Problemin LINDO paket programıyla bulunan optimal çözüm değerleri aşağıdadır.

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Q11	3000.000000	0.000000
Q21	2300.000000	0.000000
Q31	5000.000000	0.000000
Q41	2300.000000	0.000000
Q51	3600.000000	0.000000
Q61	4420.000000	0.000000
Q71	5700.000000	0.000000
Q81	2807.213623	0.000000
Q91	1100.000000	0.000000
Q101	490.000000	0.000000
Q12	3200.000000	0.000000
Q22	3000.000000	0.000000
Q32	0.000000	0.013129
Q42	2700.000000	0.000000
Q52	4800.000000	0.000000
Q62	5040.000000	0.000000
Q72	7200.000000	0.000000
Q82	2072.786377	0.000000
Q92	900.000000	0.000000

Q102	490.000000	0.000000
Q13	3390.217285	0.000000
Q23	1200.000000	0.000000
Q33	2400.000000	0.000000
Q43	2100.000000	0.000000
Q53	4500.000000	0.000000
Q63	4620.000000	0.000000
Q73	6400.000000	0.000000
Q83	2304.000000	0.000000
Q93	4900.000000	0.000000
Q103	630.000000	0.000000
Q14	609.782593	0.000000
Q24	3300.000000	0.000000
Q34	9900.000000	0.000000
Q44	10200.000000	0.000000
Q54	7500.000000	0.000000
Q64	7350.000000	0.000000
Q74	0.000000	9.525630
Q84	8712.000000	0.000000
Q94	0.000000	9.537631
Q104	2170.000000	0.000000
Y11	0.000000	0.820000
Y21	0.000000	0.910000
Y31	0.000000	0.620000
Y41	0.000000	1.200000
Y51	0.000000	1.070000
Y61	0.000000	16.170000
Y71	0.000000	0.780000
Y81	0.000000	0.940000
Y91	0.000000	1.090000
Y101	0.000000	1.010000
Y12	0.000000	0.680000
Y22	0.000000	1.000000
Y32	0.000000	1.003129

Y42	0.000000	1.130000
Y52	0.000000	0.900000
Y62	0.000000	9.900000
Y72	0.000000	0.650000
Y82	0.000000	0.760000
Y92	0.000000	0.940000
Y102	0.000000	0.890000
Y13	0.000000	1.240000
Y23	0.000000	1.210000
Y33	0.000000	0.730000
Y43	0.000000	1.180000
Y53	0.000000	1.680000
Y63	0.000000	15.139999
Y73	0.000000	0.710000
Y83	0.000000	1.190000
Y93	0.000000	1.140000
Y103	0.000000	1.060000
Y14	0.000000	0.920000
Y24	0.000000	0.970000
Y34	0.000000	0.610000
Y44	0.000000	1.200000
Y54	0.000000	1.100000
Y64	0.000000	15.719998
Y74	0.000000	10.445630
Y84	0.000000	1.060001
Y94	0.000000	10.747631
Y104	0.000000	1.170000
S11	0.000000	1.335194
S21	0.000000	1.384441
S31	2400.000000	0.000000
S41	0.000000	2.197247
S51	0.000000	2.363316
S61	0.000000	52.116871
S71	0.000000	0.785672

S81	375.213593	0.000000
S91	0.000000	1.321004
S101	0.000000	1.946871
S12	0.000000	5.554551
S22	0.000000	5.693659
S32	0.000000	7.107799
S42	0.000000	7.533824
S52	0.000000	3.932026
S62	0.000000	18.420929
S72	0.000000	8.487969
S82	0.000000	13.812779
S92	0.000000	10.208672
S102	0.000000	5.990928
S13	1790.217407	0.000000
S23	0.000000	0.319954
S33	0.000000	2.305483
S43	0.000000	1.683083
S53	0.000000	0.638208
S63	0.000000	38.731441
S73	1700.000000	0.000000
S83	0.000000	22.412912
S93	4100.000000	0.000000
S103	0.000000	1.370847
S14	0.000000	12.108800
S24	0.000000	10.228800
S34	0.000000	9.425400
S44	0.000000	13.100400
S54	0.000000	10.229200
S64	0.000000	77.425400
S74	0.000000	5.625371
S84	0.000000	24.704800
S94	0.000000	8.944770
S104	0.000000	11.935400
H1	66981.835938	0.000000

F1	0.000000	4.930000
H2	0.000000	0.881049
F2	0.000000	4.368951
H3	7295.304199	0.000000
F3	0.000000	3.350000
H4	33409.683594	0.000000
F4	0.000000	4.840000

Amaç Fonksiyonu

Yukarıdaki doğrusal programlama modelini Lindo paket programı ile çözdüğümüzde Zmin amaç fonksiyonunu yani ulaşmak istediğimiz minimum maliyeti 1312006 YTL olarak buluruz.

5.5 Uygulamanın Doğrusal ve Bulanık Programlama Çözümlerinin Karşılaştırılması ve Yorumu

Bir otomotiv yan sanayi firmasındaki yakıt hortumu üretimine ait 4 dönemlik planlama ufkunu kapsayan çalışma sonucunda amaç fonksiyonu ve kısıtların sağ taraf değerleri bulanıklaştırılarak bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama aynı amaç ve kısıtlar kullanılarak doğrusal programlama yöntemi ile çözülmüş ve sonuçları aşağıda karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.15 Doğrusal ve bulanık model amaç fonksiyonları karşılaştırma

(YTL)	MODEL	DOĞRUSAL	BULANIK
Üretim Maliyeti	(1150000;1300000)	1312006,00	(1251038;1297500)

Bu uygulama ile bulanık ortamda karar verici için kabul edilebilir derecede bir tatmin sağlanarak bir üretim planlama modeli geliştirilmiştir. Oluşturduğumuz modeli Zimmermann yaklaşımı ile çözümlerken, 1150000 YTL’lik maliyet hedefine gösterilen tolerans miktarının 150000 YTL olduğu kabul edilmiştir. “1150000 YTL civarı veya daha az” şeklinde [1150000, 1300000] aralığında bulanık olarak ifade edilen amaç fonksiyonu (maliyetin minimizasyonu), çözüm değerlerine göre 1251038 YTL’dir. $\lambda=0,3097406$ düzeyinde gösterilen tolerans miktarı 46461 $(150000 \times 0,3097406)$ YTL’dir. Kullanılmayan kaynak ise, 2500 $[1300000 - (1251038 + 46461)]$ YTL’dir. Yani demek istenen şudur:

4 aylık dönem için 1150000 ytl lik bir bütçe öngörüyoruz. Ve bu bütçenin en fazla 150000 ytl artmasını kabul edeceğimizi düşünerek bir bütçe planı hazırlıyoruz. Bu 4 dönem boyunca otomotiv sektöründe taleplerde bir dalgalanma olması, yada ilgili müşteride bir talep artışının meydana gelmesi, mevcut makinelerimizde bir arızanın sözkonusu olması gibi senaryoların gerçekleşme olasılığı her zaman vardır. Bu nedenle gerek amaç gerek mevcut kısıtlarımız için belirlediğimiz toleranslar bizim ilgili hedefe ne kadar tatminle ulaşabileceğimizi gösterecektir. Yukarıda açıklanan senaryoda ise ilgili müşterinin 10 ürününe ait 4 dönemlik bütçe için 150000 YTL lik bir sapma payı öngörülmüş, fakat kurulan modelde belirtilen şartlarla (talep, makine, işçilik v.b.) $\lambda = 0,3097406$ ile ayrılan 150000 YTL nin tamamının kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır.

Önerilen model ile ulaşılan hedefin belirsiz olduğu unutulmamalıdır. Bilindiği gibi güncel hayatta ilgili veri ve model parametreleri farklılık gösterebilecektir. Önerilen BLP yaklaşımı, maliyet minimizasyon hedefini sağlayabilmek için karar vericiye bir tatmin derecesi belirler. Model çözümü ile elde edilen λ değerinin, yani karar verici tatmin derecesinin, bulanıklaştırdığımız sağ taraf değişkenlerinin değiştirilmesi ile arttırılabiliriz. Elde ettiğimiz sonuçlar mevcut değişkenler ve bulanıklaştırdığımız kısıtların sağ taraf değişkenleri ile sağlanmıştır. Kıt kaynakların arttırılması ile amacı daha da iyileştirebilir, karar verici tatmin seviyesini λ de arttırabiliriz. Bu nedenle tatmin edici bir çözüm buluncaya kadar mevcut belirsiz data ve ilgili model parametreleri modifiye edilmelidir. Bulanık model karar vericiye böyle bir imkan sunar. Doğrusal modelde ise güncel hayatta yaşanan belirsizliğin etkilerini göremeyiz. Deterministik olarak ifade edilen problemler için en iyi çözümü ararız ki, bu da bizim için her zaman fiili hayatı yansıtmayacak, böylesi planlama problemlerini çözmemizde yetersiz kalacaktır. Bu yaklaşımda optimal hedef değerleri, talepler, ilgili makine ve işçilik kısıtlarının belirsiz olması nedeni ile güncel hayatta her zaman belirsizlik gösterecektir. Aynı zamanda çözümün karar vericiyi doyurup doyurmadığı doğrusal programlama modellerinde ele alınamaz.

Çizelge 5.16 Doğrusal ve bulanık model envanter kısıtları karşılaştırma

ENVANTER KISITI						
	Model	Lineer	Bulanık Programlama			
Kısıt No	Talep	Talep	Talep	Tolerans	Alt Tolerans	Üst Tolerans
D11	3000	3000	2724	124	2600	2848
D21	2300	2300	2093	93	2000	2186
D31	2600	2600	2393	93	2300	2486
D41	2300	2300	2196	46	2150	2243
D51	3600	3600	3393	93	3300	3486
D61	4420	4420	4247	77	4170	4325
D71	5700	5652	5562	62	5500	5624
D81	2432	2432	2308	56	2252	2364
D91	1100	1100	1031	31	1000	1062
D101	490	490	442	22	420	463
D121	3200	3200	2924	124	2800	3048
D22	3000	3000	2793	93	2700	2886
D32	2400	2400	2193	93	2100	2286
D42	2700	2700	2596	46	2550	2643
D52	4800	4800	4593	93	4500	4686
D62	5040	5040	4867	77	4790	4945
D72	7200	7248	6924	124	6800	7048
D82	2448	3182	4074	56	4018	4129
D92	900	900	831	31	800	862
D102	490	490	442	22	420	463
D13	1600	1600	1738	62	1676	1800
D23	1200	1200	993	93	900	1086
D33	2400	2400	2607	93	2514	2700
D43	2100	2100	2204	46	2157	2250
D53	4500	4500	4293	93	4200	4386
D63	4620	4620	4447	77	4370	4525
D73	4700	4700	4838	62	4776	4900
D83	2304	2304	2428	56	2372	2484
D93	800	800	869	31	838	900
D103	630	0	0	0	0	43
D14	2400	2399	2262	62	2200	2324
D24	3300	3300	3093	93	3000	3186

ENVANTER KISITI						
	Model	Lineer	Bulanık Programlama			
Kısıt No	Talep	Talep	Talep	Tolerans	Alt Tolerans	Üst Tolerans
D34	9900	9900	9589	139	9450	9729
D44	10200	10200	9786	186	9600	9972
D54	7500	7500	7189	139	7050	7329
D64	7350	7350	7005	155	6850	7160
D74	1700	1700	1631	31	1600	1662
D84	8712	8712	8464	112	8352	8575
D94	4100	4100	3962	62	3900	4024
D104	2170	2170	2073	43	2030	2117

Çizelge 5.16 da $\lambda = 0.31$ seviyesinde karşılanacak talep miktar aralığı verilmiştir.

Çizelge 5.17 Doğrusal ve bulanık model max işçilik kapasite kısıtları karşılaştırma

MAX İŞÇİLİK KAPASİTE KISITI				
	Lineer	Bulanık Programlama		
Kısıt No	Max İşçilik	Max İşçilik	Tolerans	Üst Sınır
W1	66.980,78	63.438,54	17.469,37	80.907,91
W2	66.977,62	63.439,55	7.433,77	70.873,32
W3	74.276,72	75.245,50	18.584,44	93.829,94
W4	107.685,32	103.266,83	18.894,18	122.161,01

İşçilik kapasiteleri göz önüne alındığında her dönem için gerekli işçi sayısı aşağıda hesaplanmıştır. Uygulamada konu alınan müşterinin 10 ürünü için gerekli olan işçi sayısı I.dönem için $\lambda = 0,31$ seviyesinde 7 adettir.

Çizelge 5.18 Doğrusal ve bulanık model gerekli işçi sayısı kısıtları karşılaştırma

DÖNEMSEL İŞÇİ SAYISI			
	Lineer	Bulanık Programlama	
Kısıt No	Max İşçi	Max İşçi	Üst Sınır (+tolerans)
W1	6	6	7
W2	6	6	6
W3	7	7	8
W4	9	9	11

Çizelge 5.19 Doğrusal ve bulanık model max makine çalışma süresi kapasite kısıtları karşılaştırma

MAX MAKİNE KAPASİTE KISITI				
	Lineer	Bulanık Programlama		
Kısıt No	Max Makine	Max Makine	Tolerans	Üst Sınır (+tolerans)
FV M1	12711,4	10487,6	6318,7	16806,3
FT M1	23552,4	25297,4	20907,5	46204,9
FV M2	12381,6	13222,7	2601,8	15824,6
FT M2	25194,0	20995,0	8363,0	29358,0
FV M3	11025,9	11258,1	3747,9	15006,0
FT M3	30806,8	31312,6	11993,2	43305,7
FV M4	23340,8	22148,4	7867,4	30015,8
FT M4	34603,5	33595,3	23695,2	57290,5

Yukarıdaki tabloda her makine için 4 döneme ait gerekli makine kapasiteleri belirtilmiştir.

FV ile gösterilen FV buhar prosesini, FT ise Sıcak Hava Fac Tünel prosesini ifade etmektedir.

Çizelge 20 Alan Kısıtı

ALAN KISITI (br³)	
V1	5500
V2	0,0
V3	5500
V4	0,0

Alan kısıtı incelendiğinde görülmektedir ki; 1. ve 3 . dönemlerde stoklu çalışılmış 2. ve 4. dönemlerde ise hiç stok yapılmamıştır.

5.3 Duyarlılık Analizi

Karar verme sürecinde ele aldığımız bir problemin parametrelerini yönetebiliyor olmak yani parametreler değiştiğinde optimal çözümün nasıl değiştiğini bilmek bize her zaman avantaj sağlar. Bu amaçla önerilen modelin amaç katsayıları ve sağ taraf parametrelerindeki değişimin etkilerini görebilmek, hangi aralıklarda aynı optimal çözümün sağlanacağını belirlemek amacıyla çalışmanın son aşamasında duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizi sonucu bulanık model için katsayı ve sağ taraf değerlerine ait elde edilen çözümlerden birkaç örnek aşağıda verilmiştir.

Bulanık ve doğrusal modellerin Lindo ile çözümleri ve duyarlılık analizlerine ekler bölümünden ulaşılabilir.

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

OBJ COEFFICIENT RANGES			
VARIABLE	CURRENT	ALLOWABLE	ALLOWABLE
	COEF	INCREASE	DECREASE
A	1.000000	0.000000	1.000000
Q11	0.000000	0.000000	0.000003
Q21	0.000000	0.000000	0.000004
Q31	0.000000	0.000000	0.000003

RIGHTHAND SIDE RANGES			
ROW	CURRENT	ALLOWABLE	ALLOWABLE
	RHS	INCREASE	DECREASE
1	1300000.000000	162433.671875	72888.984375
2	3400.000000	INFINITY	552.207520
3	2600.000000	556.764160	2735.088379
4	2600.000000	INFINITY	414.155640

Yukarıdaki tabloyu yorumlarsak; 1300000 YTL olan maliyet minimizasyon hedefiyle yine aynı optimal sonucu sağlamak için kabul edilebilir artış 162433.7 YTL ve kabul edilebilir

azalış miktarı 72888.9 YTL dir. Yani; toplam maliyet 1462433 ile 57111.1 YTL arasında değiştiği sürece aynı optimal sonuç sağlanacaktır şeklinde ifade edilebilir.

Ya da I. dönem I. ürüne ait talep düşünüldüğünde aynı optimal çözümün sağlanabilmesi için 3400 adetlik talebin artışı sonsuz olduğu için istenildiği kadar arttırılabilirken, azalış ancak 552 adet olacaktır.

6. SONUÇ

Bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için kurulmuş matematiksel bir düzen olarak tanımlanabilir. İstatistikte ve olasılık kuramında, belirsizliklerle değil kesinliklerle çalışılır ama insanın yaşadığı ortam daha çok belirsizliklerle doludur. Bu yüzden insanoğlunun sonuç çıkarabilme yeteneğini anlayabilmek için belirsizliklerle çalışmak gereklidir. Bulanık mantık bu belirsizlikleri sayısallaştırılması ile ilgilenir.

Bulanık Mantık, günlük hayatta kullanılan ılık, soğuk, uzun, kısa gibi ifadeleri sayısallaştırarak gerçek hayat problemlerinin çözümünde ve simülasyonunda doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlar.

Bulanık doğrusal programlama modeli, belirsizlik altında optimal sonuçlara ulaşma ve uygun çözümü bulmada etkili bir yöntemdir. Burada belirsizlik; amaç katsayıları, teknoloji katsayıları veya sağ taraf sabitlerinde veya bunların kombinasyonunu oluşturan farklı biçimlerde olabilir.

Bulanık doğrusal programlama modelleri için Zimmermann'ın sunduğu yöntemin az sayıda varsayım ve işlemsel kolaylık sağlama gibi avantajları vardır. Bununla birlikte Zimmermann'ın sunduğu yaklaşım literatürde genel olarak iki açıdan eleştirilmektedir. Bunlardan ilki, amaç fonksiyonunun erişim düzeyi ile maksimum tolerans miktarının karar vericiden başlangıçta istenmesidir. bu durumda karar verici söz konusu değerleri doğru belirleyemeyebilir yada karar vercinin bu değerler hakkında herhangi bir bilgisi olmayabilir. Bir diğer eleştiri, p_0 yani tolerans miktarı çok büyük verilirse, bu durumda üyelik fonksiyonu anlamını yitirecektir. Bulanık doğrusal programlama modellerinin geleneksel bir çözümünün araştırılması, Zimmermann yaklaşımına getirilen ikinci bir eleştiridir. Çünkü, Zimmerman yaklaşımı ile bulanık karar kümesi tamamen belirlenememektedir. Bunun yerine, bulanık karar kümesinin en büyük üyelik dereceli elamanı belirlenmektedir.

Önerilen yaklaşım ise çok periyodlu ve çok ürünlü bir bütünleşik üretim planlama problemini kapsamaktadır. Bu yaklaşım minimum maliyet hedefini en optimum düzeyde sağlamaya çalışırken fazla mesai, envanter, işçi alma, işçi çıkarma, talepteki dalgalanmaya cevap verebilme gibi konularda alternatif stratejiler geliştirmekte ve işgücü, makine ve stok alanı kısıtları için gerçek sınırları belirlemektedir. Örneğin bir bölüm için yıllık bütçe planı yaparken belirlenecek, yani katlanılabilecek tolerans günlük hayattaki belirsizliklere karşı hazırlıklı olunmasını sağlayacaktır.

Önerilen yaklaşım ile de görülmektedir ki, bulanık doğrusal programlama modeli esnek bir modeldir. Mevcut tolerans kısıtlarını kullanarak, model kısıtlarının uyumunu sağlamakta ve modelin çözümünü olanaklı kılmaktadır. Aynı zamanda bulanık model karar vericiye istediği tatmin seviyesine ulaşabilmesi için alternatifler sunmaktadır. Doğrusal programlama yöntemi ise katı bir model kurar ve kısıtların uyumu şarttır. Ayrıca Doğrusal Programlama modeli, kısıtların civarındaki noktalarda optimal çözüm aramazlar. Küçüklük veya büyüklük anlamında tek bir yönde çözüm ararlar.

Yüksek belirsizlik altında, kaynaklarını etkin kullanımı, ileriye yönelik planlamalarda çeşitli senaryolar üretme, yüksek esneklik kazanma Bulanık Mantık teorisiyle gerçekleştirilebilecek faaliyetlerdir.

KAYNAKLAR

Aksoy Y., Özkan M., Karanfil S, (2003), Bulanık Mantığa Giriş, YTÜ Vakıf Yayınları , İstanbul.

Chanas, S. (1983), The Use of Parametric programming in Fuzzy Linear Programming, Fuzzy Sets and Systems, Vol.11, Issue.3

Cheetham A., (2003), Fuzzy Control Systems- Fuzzy Set Theory, Assoc.

Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, www.abo.fi, Erişim: 22.12.2004

Gasimov N.R., Yenilmez K, (2002), Solving Fuzzy Linear Programming Problems with Linear Membership Functions, Tübitak.

Guu, Sy-Ming, WU Yan-Kuen (1996), Two-phase approach for solving the fuzzy linear programming problems, Fuzzy Sets and Systems, Vol.101, Issue.1

Hansen, B. (1996), Fuzzy Logic and Linear Programming Find Optimal Solutions for Meteorological Problems, www.bjarne.ca, Erişim:26.12.2004

İlkaz S., (2002), CNC Tornalama İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Fuzzy Mantığı ile İncelenmesi , Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta .

Özbek, L (2004), Bulanık Mantık, [http:// eros.science.ankara.edu.tr](http://eros.science.ankara.edu.tr), Erişim:20.11.2004

Özkan, M., (2003), Bulanık Hedef Programlama, Ekin Kitabevi, Bursa

Öztürk A., (1997), Yöneylem Araştırması, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa.

Sadegni M., Hosseini M., Energy supply planning in Iran by using fuzzy linear programming approach (regarding uncertainties of investment costs), Energy policy, www.elsevier.com, Erişim:25.02.2005

Şenol F. (2004), Bulanık Mantık Kontrolcüsü, Gazi Üniversitesi Tek.Eğit.Fak. Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Bitirme Çalışması, Ankara

Taha H.A., (2002), Operation Research an Introduction, Literatür Yayınları, İstanbul.

Watkins, T., Fuzzy Sets, www.sjsu.edu.tr, Erişim:25.12.2004

Whang, R, Liang, T., (2004), ‘Applying possibilistic linear programming to aggregate production planning’, Int J. Production Economics 98, 328-341.

Wu Hsien-Chung, Duality Theory in Fuzzy Linear Programming with Fuzzy Coefficients, www.im.nctu.edu.tw, Erişim: 05.01.2005

Zhang, H. (2004), Fuzzy Sets And Fuzzy Neurons, www.engr.usask.ca, Erişim:12.12.2004

Ek 1 Doğrusal Programlama Modeli Lindo ile Çözüm

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 107

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 1312006.

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Q11	3000.000000	0.000000
Q21	2300.000000	0.000000
Q31	5000.000000	0.000000
Q41	2300.000000	0.000000
Q51	3600.000000	0.000000
Q61	4420.000000	0.000000
Q71	5700.000000	0.000000
Q81	2807.213623	0.000000
Q91	1100.000000	0.000000
Q101	490.000000	0.000000
Q12	3200.000000	0.000000
Q22	3000.000000	0.000000
Q32	0.000000	0.013129
Q42	2700.000000	0.000000
Q52	4800.000000	0.000000
Q62	5040.000000	0.000000
Q72	7200.000000	0.000000
Q82	2072.786377	0.000000
Q92	900.000000	0.000000
Q102	490.000000	0.000000
Q13	3390.217285	0.000000
Q23	1200.000000	0.000000
Q33	2400.000000	0.000000
Q43	2100.000000	0.000000
Q53	4500.000000	0.000000
Q63	4620.000000	0.000000
Q73	6400.000000	0.000000
Q83	2304.000000	0.000000
Q93	4900.000000	0.000000
Q103	630.000000	0.000000
Q14	609.782593	0.000000
Q24	3300.000000	0.000000
Q34	9900.000000	0.000000
Q44	10200.000000	0.000000
Q54	7500.000000	0.000000
Q64	7350.000000	0.000000
Q74	0.000000	9.525630
Q84	8712.000000	0.000000
Q94	0.000000	9.537631
Q104	2170.000000	0.000000
Y11	0.000000	0.820000

Y21	0.000000	0.910000
Y31	0.000000	0.620000
Y41	0.000000	1.200000
Y51	0.000000	1.070000
Y61	0.000000	16.170000
Y71	0.000000	0.780000
Y81	0.000000	0.940000
Y91	0.000000	1.090000
Y101	0.000000	1.010000
Y12	0.000000	0.680000
Y22	0.000000	1.000000
Y32	0.000000	1.003129
Y42	0.000000	1.130000
Y52	0.000000	0.900000
Y62	0.000000	9.900000
Y72	0.000000	0.650000
Y82	0.000000	0.760000
Y92	0.000000	0.940000
Y102	0.000000	0.890000
Y13	0.000000	1.240000
Y23	0.000000	1.210000
Y33	0.000000	0.730000
Y43	0.000000	1.180000
Y53	0.000000	1.680000
Y63	0.000000	15.139999
Y73	0.000000	0.710000
Y83	0.000000	1.190000
Y93	0.000000	1.140000
Y103	0.000000	1.060000
Y14	0.000000	0.920000
Y24	0.000000	0.970000
Y34	0.000000	0.610000
Y44	0.000000	1.200000
Y54	0.000000	1.100000
Y64	0.000000	15.719998
Y74	0.000000	10.445630
Y84	0.000000	1.060001
Y94	0.000000	10.747631
Y104	0.000000	1.170000
S11	0.000000	1.335194
S21	0.000000	1.384441
S31	2400.000000	0.000000
S41	0.000000	2.197247
S51	0.000000	2.363316
S61	0.000000	52.116871
S71	0.000000	0.785672
S81	375.213593	0.000000
S91	0.000000	1.321004
S101	0.000000	1.946871
S12	0.000000	5.554551
S22	0.000000	5.693659

S32	0.000000	7.107799
S42	0.000000	7.533824
S52	0.000000	3.932026
S62	0.000000	18.420929
S72	0.000000	8.487969
S82	0.000000	13.812779
S92	0.000000	10.208672
S102	0.000000	5.990928
S13	1790.217407	0.000000
S23	0.000000	0.319954
S33	0.000000	2.305483
S43	0.000000	1.683083
S53	0.000000	0.638208
S63	0.000000	38.731441
S73	1700.000000	0.000000
S83	0.000000	22.412912
S93	4100.000000	0.000000
S103	0.000000	1.370847
S14	0.000000	12.108800
S24	0.000000	10.228800
S34	0.000000	9.425400
S44	0.000000	13.100400
S54	0.000000	10.229200
S64	0.000000	77.425400
S74	0.000000	5.625371
S84	0.000000	24.704800
S94	0.000000	8.944770
S104	0.000000	11.935400
H1	66981.835938	0.000000
F1	0.000000	4.930000
H2	0.000000	0.881049
F2	0.000000	4.368951
H3	7295.304199	0.000000
F3	0.000000	3.350000
H4	33409.683594	0.000000
F4	0.000000	4.840000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	-2.734045
3)	0.000000	-2.612299
4)	0.000000	-2.148899
5)	0.000000	-3.464771
6)	0.000000	-2.838142
7)	0.000000	-33.238899
8)	0.000000	-3.090441
9)	0.000000	-4.651580
10)	0.000000	-3.986576
11)	0.000000	-2.928899
18)	0.000000	-3.448850
19)	0.000000	-3.497859

20)	0.000000	-3.698899
21)	0.000000	-4.277524
22)	0.000000	-3.134826
23)	0.000000	-21.532028
24)	0.000000	-4.264770
25)	0.000000	-7.001580
26)	0.000000	-5.395572
27)	0.000000	-3.502028
34)	0.000000	0.405700
35)	0.000000	-0.304200
36)	0.000000	0.918900
37)	0.000000	0.436300
38)	0.000000	-1.452800
39)	0.000000	-27.871099
40)	0.000000	2.573200
41)	0.000000	4.891200
42)	0.000000	2.473100
43)	0.000000	0.258900
50)	0.000000	-9.798800
51)	0.000000	-7.808800
52)	0.000000	-7.895400
53)	0.000000	-10.100400
54)	0.000000	-7.489200
55)	0.000000	-38.115398
56)	0.000000	-3.305371
57)	0.000000	-22.064800
58)	0.000000	-5.944769
59)	0.000000	-9.005400
122)	0.000000	-4.230000
123)	0.000000	-3.668952
124)	0.000000	-2.650000
125)	0.000000	-4.140000
128)	252718.171875	0.000000
129)	309418.156250	0.000000
130)	240222.859375	0.000000
131)	191313.171875	0.000000
134)	107288.601562	0.000000
135)	358946.781250	0.000000
136)	119618.398438	0.000000
137)	397802.562500	0.000000
138)	52473.898438	0.000000
139)	172473.187500	0.000000
140)	91658.500000	0.000000
141)	338896.468750	0.000000
142)	368.718445	0.000000
143)	5500.000000	0.000000
144)	0.000000	7.733152
145)	5500.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 107

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	OBJ COEFFICIENT RANGES			ALLOWABLE
	CURRENT COEF	INCREASE	DECREASE	
Q11	1.640000	0.820000	1.335194	
Q21	1.810000	0.910000	1.384441	
Q31	1.240000	0.013129	7.107799	
Q41	2.410000	1.200000	2.197247	
Q51	2.120000	1.070000	2.363316	
Q61	32.330002	16.170000	52.116867	
Q71	1.570000	0.780000	0.785672	
Q81	1.880000	0.939999	0.040856	
Q91	2.180000	1.090000	1.321004	
Q101	2.020000	1.010000	1.946871	
Q12	1.360000	0.680000	5.554550	
Q22	2.000000	1.000000	5.693658	
Q32	1.990000	INFINITY	0.013129	
Q42	2.260000	1.130000	7.533824	
Q52	1.800000	0.900000	3.932027	
Q62	19.809999	9.899999	18.420929	
Q72	1.320000	0.650001	8.487969	
Q82	1.540000	0.040856	1.445075	
Q92	1.870000	0.940000	10.208672	
Q102	1.780000	0.890000	5.990928	
Q13	2.470000	0.474771	12.186972	
Q23	2.420000	1.210001	0.319954	
Q33	1.480000	0.730000	2.305483	
Q43	2.350000	1.180001	1.683084	
Q53	3.360000	1.680000	0.638209	
Q63	30.270000	15.140001	38.731441	
Q73	1.420000	0.710000	5.625371	
Q83	2.380000	1.190001	22.412912	
Q93	2.280000	1.140001	8.944769	
Q103	2.140000	1.060000	1.370847	
Q14	1.850000	0.919999	0.474771	
Q24	1.930000	0.319954	10.228800	
Q34	1.230000	0.610000	9.425400	
Q44	2.400000	1.200000	13.100400	
Q54	2.190000	0.638209	10.229200	
Q64	31.450001	15.719999	77.425400	
Q74	1.860000	INFINITY	9.525629	
Q84	2.110000	1.059999	24.704800	
Q94	2.400000	INFINITY	9.537631	
Q104	2.340000	1.170000	11.935400	
Y11	2.460000	INFINITY	0.820000	
Y21	2.720000	INFINITY	0.910000	
Y31	1.860000	INFINITY	0.620000	
Y41	3.610000	INFINITY	1.200000	
Y51	3.190000	INFINITY	1.070000	

Y61	48.500000	INFINITY	16.170000
Y71	2.350000	INFINITY	0.780000
Y81	2.820000	INFINITY	0.940000
Y91	3.270000	INFINITY	1.090000
Y101	3.030000	INFINITY	1.010000
Y12	2.040000	INFINITY	0.680000
Y22	3.000000	INFINITY	1.000000
Y32	2.980000	INFINITY	1.003129
Y42	3.390000	INFINITY	1.130000
Y52	2.700000	INFINITY	0.900000
Y62	29.709999	INFINITY	9.899999
Y72	1.970000	INFINITY	0.650000
Y82	2.300000	INFINITY	0.760000
Y92	2.810000	INFINITY	0.940000
Y102	2.670000	INFINITY	0.890000
Y13	3.710000	INFINITY	1.240001
Y23	3.630000	INFINITY	1.210001
Y33	2.210000	INFINITY	0.730000
Y43	3.530000	INFINITY	1.180000
Y53	5.040000	INFINITY	1.680000
Y63	45.410000	INFINITY	15.140000
Y73	2.130000	INFINITY	0.710001
Y83	3.570000	INFINITY	1.190001
Y93	3.420000	INFINITY	1.140001
Y103	3.200000	INFINITY	1.060000
Y14	2.770000	INFINITY	0.919999
Y24	2.900000	INFINITY	0.969999
Y34	1.840000	INFINITY	0.610000
Y44	3.600000	INFINITY	1.200000
Y54	3.290000	INFINITY	1.100000
Y64	47.169998	INFINITY	15.719999
Y74	2.780000	INFINITY	10.445629
Y84	3.170000	INFINITY	1.060000
Y94	3.610000	INFINITY	10.747630
Y104	3.510000	INFINITY	1.170000
S11	2.050000	INFINITY	1.335194
S21	2.270000	INFINITY	1.384441
S31	1.550000	0.013129	7.107799
S41	3.010000	INFINITY	2.197247
S51	2.660000	INFINITY	2.363316
S61	40.410000	INFINITY	52.116871
S71	1.960000	INFINITY	0.785672
S81	2.350000	1.445075	0.040856
S91	2.730000	INFINITY	1.321004
S101	2.520000	INFINITY	1.946871
S12	1.700000	INFINITY	5.554551
S22	2.500000	INFINITY	5.693658
S32	2.490000	INFINITY	7.107799
S42	2.820000	INFINITY	7.533824
S52	2.250000	INFINITY	3.932026
S62	24.760000	INFINITY	18.420929

S72	1.650000	INFINITY	8.487969
S82	1.920000	INFINITY	13.812779
S92	2.340000	INFINITY	10.208672
S102	2.230000	INFINITY	5.990928
S13	3.090000	0.474771	12.186972
S23	3.030000	INFINITY	0.319954
S33	1.840000	INFINITY	2.305483
S43	2.940000	INFINITY	1.683083
S53	4.200000	INFINITY	0.638208
S63	37.840000	INFINITY	38.731441
S73	1.780000	9.525629	5.625371
S83	2.970000	INFINITY	22.412914
S93	2.850000	9.537630	8.944769
S103	2.670000	INFINITY	1.370847
S14	2.310000	INFINITY	12.108801
S24	2.420000	INFINITY	10.228800
S34	1.530000	INFINITY	9.425400
S44	3.000000	INFINITY	13.100400
S54	2.740000	INFINITY	10.229200
S64	39.310001	INFINITY	77.425400
S74	2.320000	INFINITY	5.625371
S84	2.640000	INFINITY	24.704800
S94	3.000000	INFINITY	8.944769
S104	2.930000	INFINITY	11.935400
H1	4.230000	0.404165	4.930000
F1	0.700000	INFINITY	4.930000
H2	4.550000	INFINITY	0.881049
F2	0.700000	INFINITY	4.368951
H3	2.650000	1.693060	0.404165
F3	0.700000	INFINITY	3.350000
H4	4.140000	0.522749	1.257282
F4	0.700000	INFINITY	4.840000

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	3000.000000	1981.897461	324.598297
3	2300.000000	2702.587402	442.634033
4	2600.000000	2385.617432	390.720154
5	2300.000000	2055.691406	336.684418
6	3600.000000	3019.296875	494.505219
7	4420.000000	2385.617432	390.720154
8	5700.000000	1426.088623	233.567032
9	2432.000000	782.327942	128.130905
10	1100.000000	1200.217407	196.573502
11	490.000000	2385.617432	390.720154
18	3200.000000	308.764221	1885.219482
19	3000.000000	430.589569	2629.047607
20	2400.000000	1438.560669	2400.000000
21	2700.000000	319.680145	1951.868652
22	4800.000000	483.180634	2950.152588

23	5040.000000	374.536499	2286.804688
24	7200.000000	219.019608	1337.266479
25	2448.000000	118.090790	721.026123
26	900.000000	182.938354	900.000000
27	490.000000	374.536499	490.000000
34	1600.000000	17310.716797	3390.217285
35	1200.000000	23527.947266	1200.000000
36	2400.000000	20751.355469	2400.000000
37	2100.000000	17866.140625	2100.000000
38	4500.000000	26101.316406	4500.000000
39	4620.000000	20751.355469	4531.244629
40	4700.000000	12466.299805	2722.128418
41	2304.000000	6846.246582	1494.939331
42	800.000000	10473.254883	2286.929199
43	630.000000	20751.355469	630.000000
50	2400.000000	99628.804688	609.782593
51	3300.000000	134727.593750	3300.000000
52	9900.000000	118828.054688	9900.000000
53	10200.000000	102856.546875	10200.000000
54	7500.000000	149463.421875	7500.000000
55	7350.000000	118828.054688	7350.000000
56	1700.000000	3107.547363	1058.490601
57	8712.000000	39691.527344	6931.469238
58	4100.000000	2287.500000	779.166626
59	2170.000000	118828.054688	2170.000000
122	0.000000	INFINITY	66981.835938
123	0.000000	632.966614	3864.700195
124	0.000000	INFINITY	7295.304199
125	0.000000	INFINITY	33409.683594
128	319700.000000	INFINITY	252718.171875
129	376400.000000	INFINITY	309418.156250
130	314500.000000	INFINITY	240222.859375
131	299000.000000	INFINITY	191313.171875
134	120000.000000	INFINITY	107288.601562
135	382500.000000	INFINITY	358946.781250
136	132000.000000	INFINITY	119618.398438
137	423000.000000	INFINITY	397802.562500
138	63500.000000	INFINITY	52473.898438
139	203280.000000	INFINITY	172473.187500
140	115000.000000	INFINITY	91658.500000
141	373500.000000	INFINITY	338896.468750
142	5500.000000	INFINITY	368.718445
143	5500.000000	INFINITY	5500.000000
144	5500.000000	561.000000	1647.000000
145	5500.000000	INFINITY	5500.000000

Ek 2 Bulanık Doğrusal Programlama Modeli Lindo ile Çözüm

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 1

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 0.3097406

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
A	0.309741	0.000000
Q11	2723.896240	0.000000
Q21	2092.922119	0.000000
Q31	2392.922119	0.000000
Q41	2196.461182	0.000000
Q51	3392.922119	0.000000
Q61	4247.435059	0.000000
Q71	5944.034180	0.000000
Q81	3190.668945	0.000000
Q91	1030.973999	0.000000
Q101	441.681854	0.000000
Q12	2923.896240	0.000000
Q22	2792.922119	0.000000
Q32	2192.922119	0.000000
Q42	2596.461182	0.000000
Q52	4592.922363	0.000000
Q62	4867.435059	0.000000
Q72	6541.810059	0.000000
Q82	1440.837524	0.000000
Q92	830.974060	0.000000
Q102	441.681854	0.000000
Q13	3676.074707	0.000000
Q23	992.922180	0.000000
Q33	2607.077881	0.000000
Q43	2203.538818	0.000000
Q53	4292.922363	0.000000
Q63	4447.435059	0.000000
Q73	6469.025879	0.000000
Q83	2428.246582	0.000000
Q93	4830.974121	0.000000
Q103	726.636292	0.000000
Q14	323.925171	0.000000
Q24	3092.922119	0.000000
Q34	9589.382812	0.000000
Q44	9785.844727	0.000000
Q54	7189.383301	0.000000
Q64	7004.870117	0.000000
Q74	0.000000	0.000040
Q84	8463.506836	0.000000
Q94	0.000000	0.000041
Q104	2073.363770	0.000000
Y11	0.000000	0.000003

Y21	0.000000	0.000004
Y31	0.000000	0.000003
Y41	0.000000	0.000005
Y51	0.000000	0.000005
Y61	0.000000	0.000069
Y71	0.000000	0.000003
Y81	0.000000	0.000004
Y91	0.000000	0.000005
Y101	0.000000	0.000004
Y12	0.000000	0.000003
Y22	0.000000	0.000004
Y32	0.000000	0.000004
Y42	0.000000	0.000005
Y52	0.000000	0.000004
Y62	0.000000	0.000042
Y72	0.000000	0.000003
Y82	0.000000	0.000003
Y92	0.000000	0.000004
Y102	0.000000	0.000004
Y13	0.000000	0.000005
Y23	0.000000	0.000005
Y33	0.000000	0.000003
Y43	0.000000	0.000005
Y53	0.000000	0.000007
Y63	0.000000	0.000064
Y73	0.000000	0.000003
Y83	0.000000	0.000005
Y93	0.000000	0.000005
Y103	0.000000	0.000005
Y14	0.000000	0.000004
Y24	0.000000	0.000004
Y34	0.000000	0.000003
Y44	0.000000	0.000005
Y54	0.000000	0.000005
Y64	0.000000	0.000067
Y74	0.000000	0.000044
Y84	0.000000	0.000005
Y94	0.000000	0.000046
Y104	0.000000	0.000005
S11	0.000000	0.000004
S21	0.000000	0.000005
S31	0.000000	-0.000001
S41	0.000000	0.000008
S51	0.000000	0.000009
S61	0.000000	0.000221
S71	382.086060	0.000000
S81	882.915710	0.000000
S91	0.000000	0.000002
S101	0.000000	0.000007
S12	0.000000	0.000025
S22	0.000000	0.000025

S32	0.000000	0.000031
S42	0.000000	0.000033
S52	0.000000	0.000018
S62	0.000000	0.000079
S72	0.000000	0.000038
S82	0.000000	0.000063
S92	0.000000	0.000046
S102	0.000000	0.000027
S13	1938.022949	0.000000
S23	0.000000	0.000001
S33	0.000000	0.000010
S43	0.000000	0.000007
S53	0.000000	0.000003
S63	0.000000	0.000165
S73	1630.973999	0.000000
S83	0.000000	0.000095
S93	3961.947998	0.000000
S103	0.000000	0.000006
S14	0.000000	0.000051
S24	0.000000	0.000043
S34	0.000000	0.000040
S44	0.000000	0.000056
S54	0.000000	0.000043
S64	0.000000	0.000329
S74	0.000000	0.000024
S84	0.000000	0.000105
S94	0.000000	0.000038
S104	0.000000	0.000051
H1	63439.640625	0.000000
F1	0.000000	0.000021
H2	0.000000	0.000003
F2	0.000000	0.000019
H3	11805.981445	0.000000
F3	0.000000	0.000014
H4	28021.308594	0.000000
F4	0.000000	0.000021

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
1)	0.000000	0.000004
2)	552.207520	0.000000
3)	0.000000	-0.000010
4)	414.155640	0.000000
5)	0.000000	-0.000010
6)	414.155640	0.000000
7)	0.000000	-0.000008
8)	207.077820	0.000000
9)	0.000000	-0.000013
10)	414.155640	0.000000
11)	0.000000	-0.000011
12)	345.129700	0.000000

13)	0.000000	-0.000140
14)	276.103760	0.000000
15)	0.000000	-0.000011
16)	248.493393	0.000000
17)	0.000000	-0.000016
18)	138.051880	0.000000
19)	0.000000	-0.000015
20)	96.636314	0.000000
21)	0.000000	-0.000011
22)	552.207520	0.000000
23)	0.000000	-0.000016
24)	414.155640	0.000000
25)	0.000000	-0.000016
26)	414.155640	0.000000
27)	0.000000	-0.000017
28)	207.077820	0.000000
29)	0.000000	-0.000020
30)	414.155640	0.000000
31)	0.000000	-0.000014
32)	345.129700	0.000000
33)	0.000000	-0.000093
34)	552.207520	0.000000
35)	0.000000	-0.000020
36)	248.493393	0.000000
37)	0.000000	-0.000034
38)	138.051880	0.000000
39)	0.000000	-0.000025
40)	96.636314	0.000000
41)	0.000000	-0.000016
42)	0.000000	0.000002
43)	276.103760	0.000000
44)	414.155640	0.000000
45)	0.000000	-0.000001
46)	0.000000	0.000004
47)	414.155640	0.000000
48)	0.000000	0.000002
49)	207.077820	0.000000
50)	414.155640	0.000000
51)	0.000000	-0.000006
52)	345.129700	0.000000
53)	0.000000	-0.000118
54)	0.000000	0.000011
55)	276.103760	0.000000
56)	0.000000	0.000021
57)	248.493393	0.000000
58)	0.000000	0.000011
59)	138.051880	0.000000
60)	0.000000	0.000001
61)	193.272629	0.000000
62)	276.103760	0.000000
63)	0.000000	-0.000042

64)	414.155640	0.000000
65)	0.000000	-0.000033
66)	621.233459	0.000000
67)	0.000000	-0.000034
68)	828.311279	0.000000
69)	0.000000	-0.000043
70)	621.233459	0.000000
71)	0.000000	-0.000032
72)	690.259399	0.000000
73)	0.000000	-0.000162
74)	138.051880	0.000000
75)	0.000000	-0.000014
76)	496.986786	0.000000
77)	0.000000	-0.000094
78)	276.103760	0.000000
79)	0.000000	-0.000025
80)	193.272629	0.000000
81)	0.000000	-0.000038
122)	0.000000	-0.000018
123)	0.000000	-0.000016
124)	0.000000	-0.000011
125)	0.000000	-0.000018
128)	295191.000000	0.000000
129)	329526.593750	0.000000
130)	280669.937500	0.000000
131)	237838.890625	0.000000
134)	123593.710938	0.000000
135)	403794.375000	0.000000
136)	124575.429688	0.000000
137)	420641.968750	0.000000
138)	60594.011719	0.000000
139)	198694.203125	0.000000
140)	110384.203125	0.000000
141)	392709.500000	0.000000
146)	0.000000	0.000001
147)	5500.000000	0.000000
148)	0.000000	0.000033
149)	5500.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 1

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	OBJ COEFFICIENT RANGES			ALLOWABLE
	CURRENT	ALLOWABLE	ALLOWABLE	
	COEF	INCREASE	DECREASE	
A	1.000000	0.000000	1.000000	
Q11	0.000000	0.000000	0.000003	
Q21	0.000000	0.000000	0.000004	
Q31	0.000000	0.000000	0.000003	

Q41	0.000000	0.000000	0.000005
Q51	0.000000	0.000000	0.000005
Q61	0.000000	0.000000	0.000068
Q71	0.000000	0.000003	0.000000
Q81	0.000000	0.000015	0.000000
Q91	0.000000	0.000000	0.000005
Q101	0.000000	0.000000	0.000004
Q12	0.000000	0.000000	0.000003
Q22	0.000000	0.000000	0.000004
Q32	0.000000	0.000017	0.000000
Q42	0.000000	0.000000	0.000005
Q52	0.000000	0.000000	0.000004
Q62	0.000000	0.000000	0.000042
Q72	0.000000	0.000000	0.000003
Q82	0.000000	0.000000	0.000003
Q92	0.000000	0.000000	0.000002
Q102	0.000000	0.000000	0.000004
Q13	0.000000	0.000051	0.000000
Q23	0.000000	0.000000	0.000005
Q33	0.000000	0.000010	0.000000
Q43	0.000000	0.000007	0.000000
Q53	0.000000	0.000000	0.000007
Q63	0.000000	0.000000	0.000063
Q73	0.000000	0.000014	0.000000
Q83	0.000000	0.000094	0.000000
Q93	0.000000	0.000000	0.000005
Q103	0.000000	0.000006	0.000000
Q14	0.000000	0.000000	0.000004
Q24	0.000000	0.000000	0.000001
Q34	0.000000	0.000000	0.000003
Q44	0.000000	0.000000	0.000005
Q54	0.000000	0.000000	0.000003
Q64	0.000000	0.000000	0.000065
Q74	0.000000	0.000040	INFINITY
Q84	0.000000	0.000000	0.000004
Q94	0.000000	0.000041	INFINITY
Q104	0.000000	0.000000	0.000005
Y11	0.000000	0.000003	INFINITY
Y21	0.000000	0.000004	INFINITY
Y31	0.000000	0.000003	INFINITY
Y41	0.000000	0.000005	INFINITY
Y51	0.000000	0.000005	INFINITY
Y61	0.000000	0.000069	INFINITY
Y71	0.000000	0.000003	INFINITY
Y81	0.000000	0.000004	INFINITY
Y91	0.000000	0.000005	INFINITY
Y101	0.000000	0.000004	INFINITY
Y12	0.000000	0.000003	INFINITY
Y22	0.000000	0.000004	INFINITY
Y32	0.000000	0.000004	INFINITY
Y42	0.000000	0.000005	INFINITY

Y52	0.000000	0.000004	INFINITY
Y62	0.000000	0.000042	INFINITY
Y72	0.000000	0.000003	INFINITY
Y82	0.000000	0.000003	INFINITY
Y92	0.000000	0.000004	INFINITY
Y102	0.000000	0.000004	INFINITY
Y13	0.000000	0.000005	INFINITY
Y23	0.000000	0.000005	INFINITY
Y33	0.000000	0.000003	INFINITY
Y43	0.000000	0.000005	INFINITY
Y53	0.000000	0.000007	INFINITY
Y63	0.000000	0.000064	INFINITY
Y73	0.000000	0.000003	INFINITY
Y83	0.000000	0.000005	INFINITY
Y93	0.000000	0.000005	INFINITY
Y103	0.000000	0.000005	INFINITY
Y14	0.000000	0.000004	INFINITY
Y24	0.000000	0.000004	INFINITY
Y34	0.000000	0.000003	INFINITY
Y44	0.000000	0.000005	INFINITY
Y54	0.000000	0.000005	INFINITY
Y64	0.000000	0.000067	INFINITY
Y74	0.000000	0.000044	INFINITY
Y84	0.000000	0.000005	INFINITY
Y94	0.000000	0.000046	INFINITY
Y104	0.000000	0.000005	INFINITY
S11	0.000000	0.000004	INFINITY
S21	0.000000	0.000005	INFINITY
S31	0.000000	0.000000	INFINITY
S41	0.000000	0.000008	INFINITY
S51	0.000000	0.000009	INFINITY
S61	0.000000	0.000221	INFINITY
S71	0.000000	0.000003	0.000000
S81	0.000000	0.000161	0.000000
S91	0.000000	0.000002	INFINITY
S101	0.000000	0.000007	INFINITY
S12	0.000000	0.000025	INFINITY
S22	0.000000	0.000025	INFINITY
S32	0.000000	0.000031	INFINITY
S42	0.000000	0.000033	INFINITY
S52	0.000000	0.000018	INFINITY
S62	0.000000	0.000079	INFINITY
S72	0.000000	0.000038	INFINITY
S82	0.000000	0.000063	INFINITY
S92	0.000000	0.000046	INFINITY
S102	0.000000	0.000027	INFINITY
S13	0.000000	0.000051	0.000000
S23	0.000000	0.000001	INFINITY
S33	0.000000	0.000010	INFINITY
S43	0.000000	0.000007	INFINITY
S53	0.000000	0.000003	INFINITY

S63	0.000000	0.000165	INFINITY
S73	0.000000	0.000000	0.000040
S83	0.000000	0.000095	INFINITY
S93	0.000000	0.000000	0.000040
S103	0.000000	0.000006	INFINITY
S14	0.000000	0.000051	INFINITY
S24	0.000000	0.000043	INFINITY
S34	0.000000	0.000040	INFINITY
S44	0.000000	0.000056	INFINITY
S54	0.000000	0.000043	INFINITY
S64	0.000000	0.000329	INFINITY
S74	0.000000	0.000024	INFINITY
S84	0.000000	0.000105	INFINITY
S94	0.000000	0.000038	INFINITY
S104	0.000000	0.000051	INFINITY
H1	0.000000	0.000000	0.000006
F1	0.000000	0.000021	INFINITY
H2	0.000000	0.000003	INFINITY
F2	0.000000	0.000019	INFINITY
H3	0.000000	0.000001	0.000000
F3	0.000000	0.000014	INFINITY
H4	0.000000	0.000000	0.000001
F4	0.000000	0.000021	INFINITY

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
1	1300000.000000	162433.671875	72888.984375
2	3400.000000	INFINITY	552.207520
3	2600.000000	556.764160	2735.088379
4	2600.000000	INFINITY	414.155640
5	2000.000000	416.676453	2099.272217
6	2900.000000	INFINITY	414.155640
7	2300.000000	416.147766	2398.663330
8	2450.000000	INFINITY	207.077820
9	2150.000000	207.912704	2200.880127
10	3900.000000	INFINITY	414.155640
11	3300.000000	416.944855	3404.309082
12	4670.000000	INFINITY	345.129700
13	4170.000000	371.126160	4401.595215
14	5900.000000	INFINITY	276.103760
15	5500.000000	277.346680	11370.872070
16	2612.000000	INFINITY	248.493393
17	2252.000000	249.955658	2926.229980
18	1200.000000	INFINITY	138.051880
19	1000.000000	138.457520	1032.486450
20	560.000000	INFINITY	96.636314
21	420.000000	96.789337	442.031311
22	3600.000000	INFINITY	552.207520
23	2800.000000	559.419617	879.931396
24	3300.000000	INFINITY	414.155640

25	2700.000000	418.147430	1230.171021
26	2700.000000	INFINITY	414.155640
27	2100.000000	418.417786	1069.331299
28	2850.000000	INFINITY	207.077820
29	2550.000000	208.301804	912.594421
30	5100.000000	INFINITY	414.155640
31	4500.000000	417.728210	1380.487427
32	5290.000000	INFINITY	345.129700
33	4790.000000	361.904541	1111.155396
34	7600.000000	INFINITY	552.207520
35	6800.000000	561.268799	623.713501
36	2628.000000	INFINITY	248.493393
37	2268.000000	251.533096	336.090546
38	1000.000000	INFINITY	138.051880
39	800.000000	138.756516	521.118347
40	560.000000	INFINITY	96.636314
41	420.000000	96.854416	442.179718
42	1800.000000	14620.765625	276.294312
43	1400.000000	276.103760	INFINITY
44	1500.000000	INFINITY	414.155640
45	900.000000	414.477112	993.307373
46	2700.000000	17740.421875	415.128265
47	2100.000000	414.155640	INFINITY
48	2250.000000	15101.539062	207.193069
49	1950.000000	207.077820	INFINITY
50	4800.000000	INFINITY	414.155640
51	4200.000000	415.695465	4300.888184
52	4870.000000	INFINITY	345.129700
53	4370.000000	366.854401	4583.139160
54	4900.000000	10799.691406	277.316711
55	4500.000000	276.103760	INFINITY
56	2484.000000	5939.555176	250.366806
57	2124.000000	248.493393	INFINITY
58	900.000000	9015.979492	138.342667
59	700.000000	138.051880	INFINITY
60	770.000000	17497.880859	193.332184
61	490.000000	193.272629	INFINITY
62	2600.000000	INFINITY	276.103760
63	2200.000000	280.780426	329.609070
64	3600.000000	INFINITY	414.155640
65	3000.000000	422.569000	3124.021729
66	10350.000000	INFINITY	621.233459
67	9450.000000	640.576477	9736.383789
68	10800.000000	INFINITY	828.311279
69	9600.000000	873.290833	10044.520508
70	7950.000000	INFINITY	621.233459
71	7050.000000	639.551941	7293.841309
72	7850.000000	INFINITY	690.259399
73	6850.000000	823.669861	4261.628418
74	1800.000000	INFINITY	138.051880
75	1600.000000	138.440796	568.020691

76	9072.000000	INFINITY	496.986786
77	8352.000000	532.967468	6854.443848
78	4300.000000	INFINITY	276.103760
79	3900.000000	278.922241	419.512421
80	2310.000000	INFINITY	193.272629
81	2030.000000	195.365997	2084.531738
122	0.000000	17231.439453	38400.394531
123	0.000000	18998.990234	1816.718994
124	0.000000	27505.275391	11007.745117
125	0.000000	17606.035156	32482.269531
128	376100.000000	INFINITY	295191.000000
129	400400.000000	INFINITY	329526.593750
130	374500.000000	INFINITY	280669.937500
131	360000.000000	INFINITY	237838.890625
134	140400.000000	INFINITY	123593.710938
135	450000.000000	INFINITY	403794.375000
136	140400.000000	INFINITY	124575.429688
137	450000.000000	INFINITY	420641.968750
138	75600.000000	INFINITY	60594.011719
139	242000.000000	INFINITY	198694.203125
140	140400.000000	INFINITY	110384.203125
141	450000.000000	INFINITY	392709.500000
146	5500.000000	1044.530518	4437.236328
147	5500.000000	INFINITY	5500.000000
148	5500.000000	301.789673	1794.598877
149	5500.000000	INFINITY	5500.000000

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 12.08.1981

Doğum yeri Bursa

Lise 1992-1999 Bursa Anadolu Lisesi

Lisans 1999-2003 Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fak.
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

2004-Devam ediyor. Nobel Teknik OtoYan Sanayi A.Ş. Bursa