

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BULANIK AKSİYOMATİK TASARIM VE HEDEF
PROGRAMLAMA İLE BİR ÜRÜN TASARIMI:
İÇECEK ÜRETİM TESİSİNDE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed KIR

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Özer UYGUN

Haziran 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BULANIK AKSİYOMATİK TASARIM VE HEDEF
PROGRAMLAMA İLE BİR ÜRÜN TASARIMI:
İÇECEK ÜRETİM TESİSİNDE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed KIR

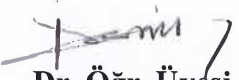
Enstitü Anabilim Dalı

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı

YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI

Bu tez 10.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Dr. Öğr. Üyesi
Halil İbrahim DEMİR
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Özer UYGUN
Üye


Dr. Öğr. Üyesi
Çağatay TEKE
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Muhammed KIR

10.06.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca göstermiş olduğu destek ve teşvikinden dolayı, değerli danışman hocam Doç. Dr. Özer UYGUN'a, İlk Mevsim Meyvesuları A.Ş. Başkan Yardımcısı Kürşat APAN'a ve bu projede görev alan Satınalma, Üretim Planlama, Kalite, Ar-Ge, Üretim, Satış ve Pazarlama Departmanlarındaki çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim. Bu süreçte yardım ve anlayışından dolayı kıymetli eşim Arş. Gör. Dr. Sena KIR'a, hayat ve enerji kaynağım biricik oğlum Ahmet Kerem KIR'a çok teşekkür ederim. Ayrıca, tüm hayatım boyunca üzerimde büyük emeği olan, varlıklarından her zaman büyük destek ve güç aldığım sevgili anne ve babama sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	vi
ÖZET.....	vii
SUMMARY	viii
 BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
 BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Aksiyomatik Tasarım ve Bulanık Aksiyomatik Tasarım İle İlgili	
Çalışmalar	4
2.1.1. Aksiyomatik tasarım ve bulanık aksiyomatik tasarım'ın ürün	
tasarımı alanında kullanımı ile ilgili çalışmalar	5
2.1.2. Aksiyomatik tasarım ve bulanık aksiyomatik tasarım'ın üretim	
sistemleri tasarımı alanında kullanımı ile ilgili çalışmalar	7
2.1.3. Aksiyomatik tasarım ve bulanık aksiyomatik tasarım'ın süreç	
tasarımı alanında kullanımı ile ilgili çalışmalar	8
2.1.4. Aksiyomatik tasarım ve bulanık aksiyomatik tasarım'ın karar	
destek amaçlı kullanımı ile ilgili çalışmalar.....	9

2.1.5. Aksiyomatik tasarım ve bulanık aksiyomatik tasarım'ın diğer alanlarda kullanımı ile ilgili çalışmalar	11
2.2. Hedef Programlama ile İlgili Çalışmalar	11
BÖLÜM 3.	
ÇÖZÜM METODU	20
3.1. Aksiyomatik Tasarım	20
3.2. Bulanık Aksiyomatik Tasarım.....	24
3.3. Hedef Programlama	26
BÖLÜM 4.	
UYGULAMA	29
BÖLÜM 5.	
SONUÇ	57
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ	67

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AT	: Aksiyomatik Tasarım
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci
ANP	: Analitik Ağ Süreci
BAT	: Bulanık Aksiyomatik Tasarım
Fİ	: Fonksiyonel İhtiyaç
I	: Bilgi içeriği
JPT	: Juice Prepration Tank- Meyve suyu hazırlama tankı
TOPSIS	: Technique for order preference by similarity to ideal solution
YBS	: Yamuk bulanık sayılar

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Ürün ömrü boyunca ortaya çıkan maliyetler ve karakteristikler	21
Şekil 3.2. Aksiyomatik tasarımdaki dört alan	22
Şekil 3.3. Bir Fİ'nin tasarım aralığı, sistem aralığı, ortak aralık ve olasılık yoğunluğu.....	23
Şekil 3.4. Bulanık ifadelerin beşli dönüşün skalaları	25
Şekil 3.5. Üçgensel ve YBS'lerin örtüşme alanı	25
Şekil 4.1. Ürün hazırlama süreci akış şeması.....	33
Şekil 4.2. Dolum öncesi sürece ait akış şeması.....	35
Şekil 4.3. Dolum ve paketleme sürecine ait akış şeması	36
Şekil 4.4. Referans şişenin teknik ve katı resmi	38
Şekil 4.5. Silme hacim ve müşteri beğenisi arasındaki ilişkiyi temsil eden üçgensel bulanık sayılar	41
Şekil 4.6. Üçgensel tasarım alanı	41
Şekil 4.7. Sapma değişkenlerinin üçgensel bulanık sayılar üzerinde gösterimi	47
Şekil 4.8. 1090,002 ml hacmindeki şişe tasarımının teknik resmi.....	56

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Silme hacimlere bağlı müşteri beğenisini temsil eden bulanık ifadeler	40
Tablo 4.2.Silme hacimlerin temsil ettiği bilgi içerikleri	42
Tablo 4.3.Silme hacimlerin temsil ettiği normalize bilgi içerikleri	43
Tablo 4.4. Tüm senaryolardan elde edilen sonuçlar	55

ÖZET

Anahtar kelimeler: Ürün tasarımı problemi, hedef programlama, bulanık aksiyomatik tasarım tekniği

Bu tez çalışmasında içecek sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın ürün tasarım problemi ele alınarak çözülmüştür. Firma başlangıçta bir parti olarak üreteceği ve sonrasında seri üretimine devam edip etmeyeceği belirsiz olan bir içeceğin şişesinin tasarım problemi ile karşı karşıya kalmıştır. Firma ilgili ürün için üretim hattında kalıp ve reçete yatırımı yapmak durumunda kalırsa, birim ürüne ait sabit maliyetler artacağı için proje kârlı bulunmayacaktır. Bu sebeple firma, mevcut üretim hattı spesifikasyonlarını değiştirmeden müşterisinin talebine cevap vermek istemektedir. Bunu yapabilmek için de üretimini yapacağı ürüne ait şişenin tasarım problemini mevcut bir şişe tasarımı üzerinden yola çıkarak çözmeye karar vermiştir. Yeni şişe tasarım problemi, mevcut hat spesifikasyonlarında değişikliğe neden olmaması, üretim hızını belirli bir seviyede tutması ve aynı zamanda müşteri beğenisine de hitap etmesi olmak üzere üç hedefe sahiptir. Bu hedeflerden müşteri beğenisi, insanın doğal karar verme süreçlerini daha iyi ifade edebilmesi bakımından bulanık verilerle ifade edilmiştir. Çalışmada müşteri beğenisine ait bulanık veriler bulanık aksiyomatik tasarım (BAT) tekniği ile ele alınmış ve elde edilen değerler, söz konusu üç hedefi de dikkate alan bir karma tamsayılı doğrusal olmayan hedef programlama modelinde kullanılmıştır.

Bu çalışmayı yapmadan önce, yeni şişe tasarım projeleri deneme yanılma yöntemi ile yapılmaktaydı. Kabaca hesaplanan şişe parametreleri tedarikçiye verilerek çizim yaptırılmakta, yaptırılan çizim onaylanırsa deneme kalıbı satın alınmaktaydı. Fabrikaya gelen deneme kalıbında preformlar şişirilmekte ve bunlara dolum hattında su doldurularak test edilmekteydi. Bu test sonucunda tedarikçinin tasarımına onay verilmekte veya düzeltmeler talep edilmekteydi. Söz konusu aşamalar onay alana kadar devam etmekteydi. Bu tezde önerilen çözüm yaklaşımı sayesinde, problem analitik olarak ele alınmış, deneme yanılma yöntemi terk edildiği için de zamandan, iş gücünden, enerji, kalıp ve preform maliyetlerinden tasarruf sağlanmıştır.

Ürün tasarımı problemi için aksiyomatik tasarım ve hedef programlama yaklaşımlarının ayrı ayrı kullanıldığı çalışmalara literatürde rastlamak mümkün olsa da bu çalışmada birlikte kullanılan BAT ve doğrusal olmayan hedef programlama yöntemlerinin literatürde daha önce hiç birlikte kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu açıdan çalışma, ürün tasarımı probleminin ele alınışı ve çözümüyle farklı bir bakış açısı sunmakta ve literatüre katkı sağlamaktadır.

A PRODUCT DESIGN WITH FUZZY AXIOMATIC DESIGN AND GOAL PROGRAMMING: AN APPLICATION IN A SOFT DRINK PLANT

SUMMARY

Keywords: Product design problem, goal programming, fuzzy axiomatic design technique

In this thesis, a product design problem of a company operating in the beverage sector was handled and solved. The firm was faced with a beverage bottle design problem, which is unclear whether it would continue mass production after the first batch of production. If the company has to make mold and recipe investments on the production line for the product concerned, the project will not be profitable as the fixed costs for the unit product will increase. Therefore, the company wants to respond to the customer's demand without changing the existing production line specifications. In order to do this, it decided to design the bottle of the product to be produced based on an existing bottle design. The new bottle design problem has three goals: not changing the current line specifications, keeping the production speed at a certain level, and also considering customer liking. Customer liking was expressed by fuzzy data to better express the natural decision-making processes of human. In this study, fuzzy data belonging to customer liking was defuzzified by the Fuzzy Axiomatic Design (FAD) technique and the obtained values were used in a mixed integer non-linear Goal Programming model which also took into consideration these three objectives.

Before doing this study, new bottle design projects had been carried out by trial and error method. Roughly determined bottle parameters had been given to the supplier. If the drawing was approved, the trial mold had been purchased. The preforms had been blowing by the test mold and they had been tested in the line filling with water. As a result of this test, the supplier's design had been approved or corrections had been requested. These stages continued until the approval had been received. Under favour of proposed solution approach in this thesis, the problem has been dealt with analytically, and since the trial and error method was abandoned, time, labor, energy, mold and preform costs were saved.

Although it is possible to find the studies which uses the Axiomatic Design and Goal Programming approaches separately in the literature, there is no study which uses FAD and non-linear Goal Programming approaches together in the literature. In this respect, this thesis presents a different perspective with the proposed solution approach of the product design problem and contributes to the literature.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve artan küreselleşme ile birlikte firmalar artık tüm dünya ile rekabet etmek zorunda kalmaktadır. Zorlaşan rekabet koşulları, işletmeleri bir taraftan piyasada farklılaşmaya zorlarken, diğer taraftan da maliyetlerini düşürmeye zorlamaktadır. Müşterilerin lehine oluşan bu rekabet ortamı, onların tedarikçilerinden aldığı ürün ve hizmetlerin kalite standartlarını her geçen gün artırmalarına sebep olmaktadır. Bu koşullarda işletmelerin, müşterilerinin beklentilerini karşılayacak olan ürünleri en özgün tasarımlarla, en uygun fiyatlardan, en kısa sürede müşterilerine ulaştırmak için çalışmalarını zorunlu kılmaktadır. Bu beklentileri karşılayabilmek için işletmeler birçok ürün tasarımı ve üretim problemleriyle karşı karşıya kalmaktadır.

Tasarım, piyasaya sürülecek olan yeni ürünün Ar-Ge sürecindeki en önemli adımlarından biridir. Tasarımı yapılan ürün, müşteri beğenisi, maliyet ve üretilebilirlik kısıtlarını da sağlamalıdır. Bu sebeple yeni ürün tasarımı yüksek maliyetli bir süreç olmasıyla birlikte, tasarımın başarılı olabilmesi için etkili pazar araştırmaları ve Ar-Ge çalışmalarının birlikte yürütülmesini zorunlu kılan süreçler bütünüdür.

Özellikle kâr marjlarının çok düşük, pazardaki ürün yaşam döngüsünün çok kısa, pazarlama ve ürün tutundurma maliyetlerinin çok yüksek, müşteri beğeni kriterlerinin değişken ve çok çeşitli, yatırım maliyetlerinin yüksek ve yatırımı hayata geçirme sürelerinin uzun olduğu içecek sektöründe ise yeni ürünler çıkarmak firmalar için alınması zor kararlardandır.

İçecek sektöründe pazara yeni sunulan ürünlerin büyük çoğunluğunun satış miktarları, ürünün piyasaya sürülmesi sürecindeki tasarım, pazarlama ve yatırım maliyetlerini karşılayamadan ürün yaşam döngüsü sürecini tamamlamaktadır. Bu sebeple firmalar, maliyetlerini düşürebilmek ve ürün yaşam döngüsündeki gelişme ve olgunluk

sürelerini uzatabilmek için birçok kriteri göz önüne alarak çok fazla hedef ve kısıtı sağlayabilmek için farklı yöntemler araştırmaktadırlar.

İçecek sektöründe ve birçok sektörde ambalaj, müşteri beğenisini ve tercihlerini etkileyen bir faktördür. Ambalajın ürün satışı üzerindeki etkisi her geçen gün artmaktadır. Ambalajın öneminin artmasına sebep olan bir diğer faktör de, müşterinin birçok satış kanalında (marketler, e-ticaret portalları v.b.) ürünün ambalajı ile karşı karşıya kalmasıdır. Bu da ambalajın satış üzerindeki etkisinin artmasına sebep olmuş ve ambalajı pazarlamanın ayrılmaz bir parçası haline getirmiştir. Firmalar yeni ürün çalışmaları yaparken en beğenilen ambalaj tasarımını oluşturmaya çalışmaktadırlar. Müşteri beğenisini ölçmek için anketler ve çeşitli istatistiksel metodlar kullanmaktadır. Tüm bu faktörler işletmelerin yeni ürün çalışmalarında ambalaj tasarımlarına verdikleri önemin artmasına ve ayırdıkları bütçeleri artırmalarına sebep olmaktadır.

Yapılan araştırmalar sonucu müşteri tarafından en çok beğenilen ambalajın tespit edilmesi, maalesef yeterli değildir. En çok beğenilen ambalajın aynı zamanda üretilebilir olması, maliyet ve üretim hatlarının kısıtlarını da sağlaması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, içecek sektöründe yaşanan bu problemlere farklı bir bakış açısı ile çözüm getirmektir. Çalışma, meyve suyu ve içecek sektöründe faaliyet gösteren bir firmada yapılmıştır. Firmaya bir müşterisi, firmanın aseptik pet hattında 1000 ml hacminde fason olarak üretim yaptırmak istemektedir. Firmaya fason üretim yaptırmak isteyen müşterisi ilk parti olarak küçük partide üretim yapılmasını talep etmekte, eğer ürünün pazardaki satış performansı beklentilerini karşılırsa üretimi devam ettirme, aksi takdirde üretimi durdurma seçeneklerini de göz önünde bulundurmaktadır. Bu sebeple de oluşacak olan sabit maliyetlere (kalıplar ve reçeteler) katlanmak istenmemektedir. Birim başına düşen sabit maliyetin artması durumunda da proje kârlı olmayacağından hayata geçirilemeyecektir. Bu sebeple firma, aseptik pet hattında üreteceği yeni 1000 ml içecek ürününü, mevcut üretim hattında yeni kalıp yatırımları yapmadan üretmek istemektedir. Bunun için de, mevcut olan 1000 ml içecek üretim kalıplarını kullanarak en düşük maliyetle, kabul edilebilir üretim hızı ve en fazla müşteri beğenisini sağlayacak olan şişe tasarımının belirlenmesine ihtiyaç

duymaktadır. Firmanın içinde bulunduğu bu durum ve çözmesi gereken ürün tasarımı problemi, bu tez çalışmasının motivasyonunu oluşturmaktadır.

Bu tez çalışmasında ele alınan ürün (ambalaj) tasarımı probleminin çözümü için bulanık aksiyomatik tasarım (BAT) ve hedef programlama teknikleri kullanılmış, müşteri beğenisi, üretim hızı ve mevcut üretim hattı spesifikasyonlarının değişmemesi hedeflerini sağlayacak olan en uygun tasarım spesifikasyonları belirlenmiştir. ‘Satış ve Pazarlama Departmanı’ tarafından yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bulanık müşteri beğenisi verileri, BAT tekniği ile ele alınmış ve problem buradan elde edilen değerlerle, söz konusu üç hedefi de dikkate alan bir karma tamsayılı doğrusal olmayan hedef programlama modeli ile çözülmüştür.

Bu tez çalışmasının ilerleyen bölümlerini kısaca ifade etmek gerekirse; ikinci bölümünde aksiyomatik tasarım (AT), BAT ve hedef programlamayla ilgili yapılan detaylı kaynak araştırması verilmiştir. Yapılan araştırmada ürün tasarımı problemi için AT ve hedef programlama yaklaşımlarının ayrı ayrı kullanıldığı çalışmalara literatürde rastlamak mümkün olsa da, bu çalışmada birlikte kullanılan BAT ve doğrusal olmayan hedef programlama yöntemlerinin literatürde daha önce hiç birlikte kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu açıdan çalışma, ürün tasarımı probleminin ele alınışı ve çözümüyle farklı bir bakış açısı sunmakta ve literatüre katkı sağlamaktadır. Çalışmanın üçüncü bölümünde, hedef programlama modelindeki bulanık parametrelerin BAT tekniği kullanılarak durulaştırılmış olması sebebiyle, öncelikle AT anlatılarak bir giriş yapılmış, daha sonra BAT ve hedef programlama yaklaşımlarından bahsedilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise bu tez çalışmasının motivasyonunu oluşturan içecek sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın şişe (ambalaj) tasarım parametrelerinin BAT ve hedef programlama yöntemleriyle nasıl belirlendiği detaylı olarak anlatılmıştır. Çalışmanın beşinci, yani sonuç bölümünde ise tüm çalışmayı kapsayan sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışmasında ele alınan şişe tasarım problemi bulanık veriler altında BAT ve hedef programlama tekniği ile çözülmektedir. Müşteri beğenisini ifade eden bulanık veriler, BAT tekniği ile durulaştırılarak hedef programlama yönteminde kullanılmakta ve nihai şişe tasarım parametreleri elde edilmektedir. Çalışmada söz konusu iki teknik de etkin olarak kullanıldığı için, kaynak araştırması başlığı altında bu iki tekniğe ait literatür detayları ayrı başlıklar altında sunulmaktadır.

2.1. Aksiyomatik Tasarım ve Bulanık Aksiyomatik Tasarım İle İlgili Çalışmalar

Günümüzde sadece fiyata bağlı rekabet politikalarının işe yaramadığını anlayan işletmeler; yüksek kalite, verimlilik, hız, çevre yönetimi, ürün çeşitliliği ve esneklik gibi kavramları önemli rekabet kriterleri olarak görmektedirler. Bu kriterlere göre rekabet avantajı sağlayabilmek için işletmelerin ürün ve süreçlerde yeni tasarımlara yönelmesi gerekliliği doğmaktadır. Tasarım süreci zor ve karmaşık bir karar alma sürecidir. Karar vericiler çoğu zaman doğru kriterleri seçmek ve birçok kriteri bir arada değerlendirmek zorundadırlar. Birden fazla kriterin, birden fazla karar verici tarafından değerlendirildiği düşünüldüğünde, tüm karar vericilerin kabul edeceği bir kararı vermenin ve bu kararın en uygun karar olmasının zorluğu ortadadır. Bilim insanları tarafından geliştirilmiş olan tasarım araçları, tasarımcıya izlemesi gereken yolu ve yöntemi göstererek hem zaman hem de emek açısından kolaylık sağlamıştır. Burada tasarımcıya düşen hangi aracı hangi adımda uygulaması gerektiğini bilmek ve bu araçları doğru bir şekilde kullanabilmektir. Çalışmamızdaki ürün tasarımı probleminin çözümü için, literatürde birçok farklı alandaki problemin çözümünde kullanılan sistematik tasarım yöntemlerinden AT'nin bulanık veriler altında çalışan türevi BAT kullanılmıştır.

AT, karmaşık ürünlerin veya sistemlerin tasarımındaki karar verme sürecine yardımcı olması amacıyla Suh (1990) tarafından geliştirilmiş bir bilimsel tasarım yöntemidir. Suh, tasarımı, “neyi gerçekleştirmek istiyoruz” ve “nasıl gerçekleştirebiliriz” sorularının etkileşimiyle tanımlar. Bu yöntemin temel amacı, tasarımlar için bilimsel bir temel oluşturmak ve tasarımcıyı, mantıklı düşünce süreçleri ve araçları ile destekleyerek tasarım faaliyetlerini geliştirmektir. Bu vesile ile tasarım yaratıcılığını artırır, rassal araştırma sürecini bir metodolojiye dayandırarak deneme yanılma faaliyetlerini azaltır ve tasarımcının hedeflenen fikirlere odaklanmasını sağlar.

AT yönteminin ilk çıkış noktası ürün tasarımıdır. Ürün tasarımının yanı sıra sistem, organizasyon ve yazılım gibi birçok alanda AT ile tasarım yapılırken, seçim problemlerinde de karar destek amaçlı kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların bazılarında kesin bilgi ve/veya sayılarla işlem yapılırken bazılarında bulanık sayılarla işlem yapılmaktadır. Bulanık sayılarla AT tekniğinin kullanılmasını mümkün kılan BAT tekniğini ilk kez Kulak ve Kahraman (2005) ileri imalat sistemlerinin çok kriterli karşılaştırılması probleminin çözümü için önermişlerdir.

AT ve BAT tekniklerini kullandıkları alana göre incelersek aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz:

- Ürün tasarımı
- Üretim sistemleri tasarımı
- Süreç tasarımı
- Karar destek
- Diğer

2.1.1. Aksiyomatik tasarım ve bulanık aksiyomatik tasarım’ın ürün tasarımı alanında kullanımı ile ilgili çalışmalar

Ürün tasarımı probleminin çözümünde AT’yi kullanan çalışmalardan biri Lee ve arkadaşları tarafından sunulmuştur. Lee ve ark. (2001) çalışmalarında AT’nin sistematik tasarım mantığını makine kontrol sistemleri üzerinde uygulamışlar ve endüstriyel ölçüde kimyasal-mekanik parlatma makinesi geliştirmişlerdir.

Uygulama alanı anlamında literatürdeki diğer örneklerden farklı olarak Jang ve ark. (2002) da AT'nin denizcilik alanındaki uygulanabilirliğini göstermişlerdir. Bu alanda metal destek optimizasyon problemi, ana motor seçim problemi ve mavnalı tasarım problemi gibi çok farklı problemi AT tekniği ile araştırmışlardır. Bu örneklerle, tasarım aksiyomlarının denizcilik alanındaki tasarım problemlerinde uygulanabilirliğini göstermişlerdir.

Tasarım anlamında ergonominin dikkate alındığı Helander ve Lin (2002)'in sunduğu, çalışmada AT ergonomik tasarıma bir altyapı olarak gösterilmiş ve AT'nin el araçlarının biyomekaniksel tasarımı ve işyerlerinin antropometrik tasarımı için nasıl kullanıldığı farklı örneklerle anlatmıştır.

Fiziksel ürün tasarımını üretim sistemleri tasarımıyla bütünleştirerek problemi farklı bir boyuta taşıyan Kim (2004), yeni bir ürün geliştirilmesi sırasında karşılaşılan problemleri gidermek için, ürün tasarımı ve üretim sistemi tasarımını birleştirmeye yönelik aksiyomlarla tasarım ilkelerini kullanarak yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. Çalışmanın amacı, yeni ürün geliştirilmesi sürecini zora sokan, yeni ürünün üretim sistemine uygun olarak yeniden tasarlanması veya üretilmesine yönelik üretim sisteminde değişikliklerin yapılması gibi sorunları, tasarımın ilk evresinde ortadan kaldırarak yeni ürün tasarımındaki zahmetli aşamaları azaltmak ve önlemektir.

Fiziksel ürün tasarımı problemleri için AT tabanlı bir yöntem öneren Lee and Shin (2008), TFT ve LCD ekranların temizliği için kullanılacak bir su püskürtücü tasarımı yapmışlardır. Önerdikleri yöntem AT yönteminin bağımsızlık aksiyomu tabanlı bir ürün tasarım yöntemi olarak literatüre geçmiştir. Cavique ve Gonçalves-Coelho (2009) da AT'yi daha farklı ele alarak yeni tasarım geliştirmeye yardımcı olan ve tasarımın kalitesinin değerlendirilmesine olanak sağlayan bir teori olarak tanımlamışlardır. Bu yöntemi, konfor ve enerji tüketimini göz önüne alarak Güney Avrupa iklimindeki ofis binalarının havalandırma sistemlerinin tasarımında kullanmışlardır.

Janthong ve ark. (2010), AT prensiplerini durum tabanlı çıkarsama teknikleri ile birleştirerek, bilgi tabanlı yeni bir tasarım tekniği geliştirmişler ve bu tekniği spesifik

endüstriyel ürünlerin tasarımı için uygulamışlardır. Diğer çalışmalardan farklı olarak ürün tasarımında sürdürülebilirlik kavramını ele alan Beng ve Omar (2014), çalışmalarında sürdürülebilir ürün tasarımının karar verme sürecinde AT prensiplerinin kullanıldığı bir çerçeve önermektedir. Lu ve ark. (2016) da Janthong ve ark. (2010)'ın çalışmalarındaki gibi AT prensiplerini farklı bir yaklaşım olan etkileşimli tasarım ile birlikte kullanılarak bir tasarım metodu geliştirmişlerdir. Metodun geçerliliğini çocuk bisikleti tasarımı üzerinde uygulayarak göstermişlerdir.

2.1.2. Aksiyomatik tasarım ve bulanık aksiyomatik tasarım'ın üretim sistemleri tasarımı alanında kullanımı ile ilgili çalışmalar

Toyota üretim sistemi ve yalın üretim felsefesi üzerine temellendirilmiş bir çalışma yapan Cochran ve Reynal (1996), ele aldıkları imalat sistemlerini aksiyomlarla tasarlamışlardır. Bu çalışmada üretilen fonksiyonel ihtiyaçlar dört farklı üretim sisteminin performansını analiz etmek için de kullanılmıştır. Esnek imalat sistemlerinin tasarımı problemini ele alan Babic (1999) ise bir karar destek sistemi oluşturmuş, AT teorisi ile yeni esnek imalat sistemlerinin tasarım teorisi sunmuştur. Ayrıca, AT yardımıyla esnek imalat sistemlerini somutlaştırmıştır. Cochran ve ark. (2000) çalışmalarında önerdikleri yaklaşım sayesinde bir kompleks üretim sistemini küçük, esnek ve dağıtılmış üretim birimlerine dönüştürmüştür. Bu yaklaşımda, bölümlendirme ve AT ilkeleri ile birleşimde yalın üretim felsefesinin ilkeleri kullanılmıştır. Ele aldıkları üretim sistemi için bir performans değerlendirme sistemi de oluşturulmuştur.

Yalın imalat sistemi tasarımına başka bir örnek olarak da Houshmand and Jamshidnezhad (2002)'ın çalışmaları gösterilebilir. Çalışmada, AT yaklaşımını kullanarak üretim sistem tasarımına dayalı bir yalın imalat sistemi tasarlanmıştır. Önerilen model, temel olarak organizasyonel yetenekler ve değer akış analizine dayalı bir modeldir. Yine Houshmand and Jamshidnezhad (2006) farklı bir çalışmada yalın üretim sistemi tasarımı için proses değişkenlerini kullanarak aksiyomatik bir modelleme sunmuşlardır. AT metodolojisine göre, fonksiyonel ihtiyaçlar, tasarım

parametreleri ve proses değişkenlerini kapsayan yalın bir üretim sisteminin tasarım sürecini modellemek için hiyerarşik bir yapı geliştirmişlerdir.

Yine sistem tasarımı problemlerinde dikkat çekici bir örneği Heo ve Lee (2007) çalışmalarında sunmuşlardır. Çalışmada, AT yöntemini kullanarak nükleer enerji santrallerinde acil durum soğutma sistemlerinin tasarımını denetleyecek bir metodoloji önermişlerdir. Çebi ve ark. (2008) da çalışmalarında bulanık çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü için sıklıkla tercih edilen bulanık AHP ile BAT yöntemleri üzerine kurulan bir merkez yaklaşım geliştirmişlerdir. Çalışmalarında bu yöntem sayesinde gemi makine dairesindeki farklı nitelikteki sistemler için entegre bakım onarım yöntemlerinin saptanmasını hedeflemişlerdir.

Houshmand and Jamshidnezhad (2002, 2006) gibi yalın imalat sistemi tasarımı üzerine farklı bir çalışma da Vinodh ve Aravindraj (2012) tarafından yapılmıştır. Çalışmada bir imalat sisteminin, kavramsal yalın üretim modeline uygun olarak AT yöntemi ile nasıl tasarlanabileceğine dair bir model karşımıza çıkmaktadır.

Sistem tasarımı yapılırken sistem verimliliğinin de dikkate alındığı farklı bir çalışma Gabriel-Santos ve ark. (2015) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Bu çalışmada, AT'nin bir imalat sistemindeki verim düşüklüğünün temel sebebini belirlemede ve bu zayıf noktalara çözüm üreterek yeniden imalat sisteminin tasarımının yapılmasında kullanılabileceği savunulmuştur.

2.1.3. Aksiyomatik tasarım ve bulanık aksiyomatik tasarım'ın süreç tasarımı alanında kullanımı ile ilgili çalışmalar

Literatürde AT ve BAT'ın kullanıldığı diğer alanlardaki çalışmalara nazaran süreç tasarımı alanında daha az çalışma karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmalardan biri gerçek bir iş sürecini iyileştirme problemini ele alan Cotoia ve Johnson (2001)'nin sunduğu çalışmadır. Çalışmada, tüm sistem içerisinde sorun yaratan bir süreç ele alınmış ve bu sürecin AT ilkelerinden yararlanılarak nasıl daha etkin hale getirildiği anlatılmaktadır.

Kulak ve ark. (2005b) da çalışmalarında, geleneksel üretim sistemini süreç eğiliminden AT prensiplerine dayanan hücresel eğilime değiştirmeye hazır olanlar için bir çerçeve ve bir yol haritası önermişlerdir. Önerilen yöntemi alüminyum ray üreten bir işletmede uygulamışlar ve performans iyileştirmelerinden de söz etmişlerdir.

Hem ürün hem de ağırlıklı olarak süreç tasarımı alanında değerlendirilebilecek bir çalışma da Bang ve Heo (2009) tarafından sunulmuştur. Çalışmada, nano akışkanların tasarımının daha pratik yapılabilmesi amacıyla AT yöntemini kullanarak bir tasarım sistematigi önerilmiş ve bu sayede nano akışkan araştırmaları için standart bir iletişim protokolü oluşturulmuştur.

Geleneksel işleme, yüksek basınçlı jet ile desteklenmiş işleme ve kriyojenik işleme gibi imalat süreçlerinin tasarımı problemini ele alan Lee ve Badrul (2014), aynı zamanda bulanık sayıların da işlenebildiği AT prensiplerini temel alan adım adım işleyen bir optimizasyon prosedürü önermişlerdir. Yine Lee ve Badrul (2014)'un çalışmasına benzer şekilde imalat süreçleriyle ilgilenen Khandekar ve Chakraborty (2016), BAT prensiplerini, seramiklerde girinti, sertleştirilmiş çeliklerde ve titanyum malzemelerde mikro delikler oluşturma işlemleri için en uygun geleneksel olmayan işleme proseslerinin tasarımında kullanmışlardır.

2.1.4. Aksiyomatik tasarım ve bulanık aksiyomatik tasarım'ın karar destek amaçlı kullanımı ile ilgili çalışmalar

AT ve BAT tekniklerinin literatürde en sık rastlandığı problemler karar destek problemleridir. Özellikle bulanık verilerle AT'ın yani BAT'ın geliştirildiği çalışmalardan birini Kulak ve ark. (2005a) literatüre sunmuştur. Bu çalışmada bilgi aksiyomu kullanılarak maliyet ve teknik karakteristikler gibi önceden belirlenen kriterler altında uygun ekipmanın seçimi problemi ele alınmıştır. Geliştirilen ağırlıklandırılmış ve ağırlıklandırılmamış çok kriterli AT yaklaşımları hem kesin hem bulanık kriterleri içermektedir. Bu açıdan bu tez çalışmasında önerilen çözüm yaklaşımının geliştirilme aşamasında oldukça faydalanılan referanslardan biri olmuştur.

Eş zamanlı mühendislik uygulamalarının en kritik ayağı olan karar verme sürecinde Goçalkes-Coelho ve Mourao (2007) AT yöntemini kullanarak üretim süreçleri ve ürünler arasındaki ilişkinin nasıl göz önünde bulundurulacağını ifade etmişlerdir. Çalışmada önerilen yaklaşım, AT'nin bilgi aksiyomunun bir mekanik bileşenin detaylı tasarımı için en uygun üretim süreçlerinin seçiminde nasıl uygulanabileceği problemi üzerinden yola çıkılarak anlatılmıştır.

Literatürde çok sık karşımıza çıkan çok kriterli karar verme problemlerinden biri olan tedarikçi firma seçimi problemini ele alan Özel ve Özyörük (2007), çalışmalarında beyaz eşya üretimi yapan bir işletmenin tedarikçi firma seçim probleminin karar verme sürecindeki nicel ve nitel ölçütlerini göz önüne almışlardır. Bu ölçütlerin bazılarını sayısal verilerle ifade edemedikleri için de üçgensel bulanık sayılardan faydalanan yazarlar, çözüm için BAT yöntemini kullanmışlardır. Kahraman ve Çebi (2009), bir başka çok kriterli karar verme problemini, öğretim görevlisi seçimi problemini ele alarak hiyerarşik yapıları da göz önüne alabilme kabiliyetlerine sahip bir BAT tekniği prosedürü önermişlerdir. Jang ve ark. (2002)'in çalışmalarındaki gibi denizcilik alanındaki nadir örneklerden birini Çelik ve ark. (2009) literatüre sunmuşlardır. Çalışmada, teknik gemi yöneticileri için tersanelerin yerleştirme tesislerinde bir sistematik değerlendirme modeli, bir karar desteği oluşturmak ve etkili bir yöntem içinde bu sorumluluğu uygulamaya yönelik çalışılmıştır. Çalışmada BAT yöntemi, gemi tersaneleri arasındaki seçimler için ve denizcilik endüstrisindeki gerçek ortam koşulları ele alınarak, grup kararlarını yöneten şartların belirlenmesinde kullanılmıştır.

Büyüközkan ve ark. (2012), BAT tabanlı bir grup karar verme yöntemi geliştirmiş ve bu yöntemi önceden literatürde tanımlanmış bazı kriterlere göre bir mobil lojistik cihazının seçiminde uygulamışlardır. Kannan ve ark. (2015), Özel ve Özyörük (2007)'nin çalışmalarına benzer şekilde Singapur'da faaliyet gösteren bir plastik imalat işletmesi için en uygun tedarikçi seçimi problemini ele almışlardır. Farklı olarak BAT yönteminin son zamanlarda daha popüler olan çevreci yani yeşil tedarikçi seçimi alanında bir uygulamasını yapmışlardır.

2.1.5. Aksiyomatik tasarım ve bulanık aksiyomatik tasarım'ın diğer alanlarda kullanımı ile ilgili çalışmalar

Son olarak sınıflandıramadığımız diğer alanlarda da, Baxter ve ark. (2002), aksiyomlarla tasarım ilkelerini kullanarak tedarik zincirinin performansını değerlendirmek üzere bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, bir tedarik zincirinin çeşitli ürünlerde yer alan parçalarının maliyetleri ve temin sürelerine göre değerlendirilmesinde aksiyomlarla tasarım ilkeleri uygulanmıştır.

Yalın üretim kavramından yola çıkılarak ortaya atılmış yalın ofis kavramı üzerinde çalışan Durmuşoğlu ve Kulak (2008), AT prensipleri kullanılarak etkin işleyen bir ofis tasarımı için bir yöntem geliştirmişlerdir. Önerilen yöntem çok miktarda, katma değeri olmayan alternatifleri elimine etmekte ve sunulan bulgular yöntemin ofis işlemlerini geliştirmekte iyi çalıştığını göstermektedir. Peck ve Kim (2010) çalışmalarında hastanelerin acil departmanlarının triyaj bölümlerindeki hasta akışının düzenlenmesinde AT yönteminin nasıl kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Literatürdeki diğer çalışmalardan çok farklı olarak BAT'ın çok farklı alanda kullanıldığı bir çalışma Kır ve Yazgan (2016) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Çalışmada, sıra bağımlı hazırlık zamanlı tek makineli çizelgeleme problemlerinde belirli kriterlere bağlı ağırlık veya ceza maliyetlerinin hesaplanmasında BAT tekniğinin kullanılması önerilmiş ve gıda sektöründe bir uygulama yapılarak geçerliliği gösterilmiştir.

2.2. Hedef Programlama ile İlgili Çalışmalar

Doğrusal programlamanın çok amaçlı/hedefli problemlere karşı cevapsız kalması sebebiyle hedef programlama, çok hedefli ve esnek kısıtlı problemlerin çözümü için ilk olarak 1950'lerde Charnes ve Cooper tarafından ortaya atılmıştır. 1960'ların sonlarında da hedef programlama problemlerinin çözümü için bir algoritma ve bir yazılım geliştirilmiştir (Öztürk, 2014).

Genel olarak çok hedefli karar verme problemlerinin çözümü için literatürde tercih edildiğini görmekteyiz. Hedef programlamanın sıklıkla tercih edildiği problemleri sınıflandırmak oldukça zordur. Tedarikçi seçim problemlerinden üretim planlama problemlerine, iş gücü vb. kaynak tahsis problemlerinden araç rotalama problemlerine, ürün, sistem vb. tasarımı problemlerinden menü planlaması problemlerine kadar çok geniş bir yelpazede yer alan karar problemlerini çözmek için hedef programlama yaklaşımının kullanıldığını görmekteyiz. Bu çalışmalardan bazıları şöyledir:

Hedef programlama yaklaşımının yaygınlaşmaya başladığı zamanlardan bir örnek olarak Goodman (1974)'in toplam üretim ve iş gücü planlaması problemini ele alarak çözdüğü çalışması verilebilir. Bu çalışmada, önerilen hedef programlama yaklaşımı iki vaka uygulamasıyla gösterilmektedir ve hedef programlamanın bazı planlama modellerini çözmek için etkili bir yaklaşım olabileceği ileri sürülmektedir. Yine hedef programlama yaklaşımının yaygınlaşmaya başladığı zamanlarda sunulmuş, daha çok bir araştırma makalesi niteliğinde olan Ignizio (1978)'nin çalışmasında, çoklu ve birbiriyle çelişen hedefleri içeren sorunların analizi için önerilen hedef programlamanın, tarihçesi, çözüm yöntemleri incelemiş ve bazı son uygulamaları değerlendirmiştir.

Biraz daha günümüze doğru geldiğimizde son zamanların popüler konularından enerji yönetimi problemlerinin daha temel düzeyde ele alındığı Ramanathan ve Ganesh (1995)'in çalışması karşımıza çıkmaktadır. Çalışmada, Hindistan Madras'taki evler için enerji kaynağı tahsisi problemi ele alınarak çözülmüştür. Çözüm için hedef programlama yaklaşımı ve AHP kullanan entegre bir yaklaşım geliştirilmiştir. Çözümde değerlendirilen enerji türleri günümüzdeki çalışmalardan farklı olarak yenilenebilir enerjiler değil; doğalgaz, yakacak odun ve termal güneş enerjisidir.

İmalat problemlerinden örnek vermek gerekirse; Gökçen ve Erel (1997) karma model montaj hattı dengeleme problemi için 0-1 tamsayılı hedef programlama modeli geliştirmiştir. Önerilen model, karar vericilere ve uygulayıcılara önemli miktarda esneklik sağlamaktadır, çünkü bu alanda birbiriyle çelişen birkaç hedef aynı anda ele alınabilmektedir.

Yine doksanlı yılların sonuna doğru bir literatür araştıma çalışması niteliğinde Tamiz ve ark. (1998)'nin çalışması karşımıza çıkmaktadır. Çalışmada, gelişmelere genel bir bakış sağlamak, konudaki mevcut en son teknolojiyi değerlendirmek ve gelecekteki araştırmalar için umut verici görünen alanları vurgulamak amacıyla karar problemlerinin çözümü için hedef programlama yaklaşımının kullanıldığı çalışmalar değerlendirilmiştir. Bir başka önemli bir üretim yönetimi problemi olan tesis planlama probleminin genel anlamda ele alındığı ve çözüm sunulduğu Badri (1999)'nin çalışmasında, konum tahsis kararlarını vermede yardımcı olması amacıyla AHP ve hedef programlama yaklaşımının birlikte kullanılması önerilmektedir. Önerilen hibrit yaklaşım bir örnek olay probleminin çözümü için kullanılmış ve AHP yaklaşımının yer seçim sürecine tutarlılık getirebileceği gösterilmiştir. Bir başka üretim yönetimi problemlerinden olan bakım çizelgeleme problemini ele alan Moro ve Ramos (1999), ekonomik ve güvenilirlik kriterleri altındaki termal üretim birimlerinin bakım çizelgesini oluşturmak için bir hedef programlama modeli sunmuşlardır. Çalışmada, önerilen modelin avantajları, enerji santrallerinin bakım programlamasında maliyet ve güvenilirliğin birbirlerine olan etkileri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Literatürdeki mevcut bilişim sistemi proje seçim yöntemlerinin karar vericinin tercihleri ve önceliklerini, faydaları, donanım, yazılım, gerekli iş gücü ve diğer maliyetleri, proje riski, gerekli tamamlanma ve eğitim ve diğer kıt kaynakların mevcudiyeti gibi kriterleri bir karar modelinde içermemesinden yola çıkan Badri ve ark. (2001), gerçek hayattaki bilişim sistemi proje sistemlerinin seçimlerinde kullanılmak üzere karma tam sayılı bir hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. Ayrıca önerilen model, gerçek hayattaki bir bilişim sistemleri proje seçim verilerine uygulanarak doğrulandığından Ar-Ge, sermaye bütçelemesi, yatırım planları vb. gibi diğer disiplinlerdeki proje seçim modelleri ve tüm bu faktörleri açıkça içeren sağlık hizmeti kurumları için bir proje seçim modeli geliştirmek üzere de temel alınabilecektir.

Tedarikçi firma seçim probleminin AT ve BAT teknikleriyle çözümünden daha önce bahsedilmişti (Kannan ve ark., 2015, Özel ve Özyörük, 2007). Benzer şekilde Dağdeviren ve Eren (2001) tedarikçi firma seçim problemini ele alarak çözüm için

AHP yöntemi ile bu yöntemden elde edilen sonuçların kısıt kabul edildiği bir hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. Önerdikleri hiyerarşik çözüm yönteminin performansını bir örnek olay üzerinde göstermişlerdir.

Hizmet alanındaki spesifik ve son derece hayati problemlerden biri olan hastanelerde kaynak tahsisi problemini ele alan Blake and Carter (2002) çözüm için iki farklı doğrusal hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. Modellerden biri servis masraflarını sabit tutarken doktorlar için vaka karması ve hacmini belirler. Diğeri ise vaka karması kararlarını doktorlar için orantılı bir uygulama değişikliği kümesine dönüştürmektedir.

Bu tez çalışmasında ele alınan ürün tasarım problemini ele alan Karsak ve ark. (2003), çalışmalarında ürün teknik gereksinimlerinin önem düzeylerini belirlemek için ANP (Analitik Ağ Süreçleri), maliyet bütçesini, genişletilebilirlik seviyesini ve ürünün tasarımında göz önünde bulundurulacak ürün teknik gereksinimlerini belirlemek için üretilebilirlik düzeyi hedeflerini içeren 0-1 tam sayılı bir hedef programlama yaklaşımı sunmuşlardır. Çözüm mantığı açısından Karsak ve ark. (2003)'nın çalışması bu tezde savunulan çözüm mantığını ile benzerlik göstermektedir.

Çizelgeleme problemleri imalatda karşımıza çıktığı kadar hizmet alanında da karşımıza çıkmaktadır. Hastanelerde hemşirelerin görev çizelgeleme problemini ele alan Azaiez ve Al-Sharif (2005)'in çalışması buna örnek gösterilebilir. Çalışmada çözüm için bir 0-1 tam sayılı hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model literatürde önerilen bazı politikaları dikkate almanın yanı sıra, farklı olarak bu çalışmada hem hastane hedeflerini hem de hemşirelerin tercihlerini hesaba katmaktadır.

Hedef programlama yaklaşımının üretim yönetimi problemlerinin çözümünde kullanıldığı bir çalışma da Gülenç ve Karabulut (2005) tarafından sunulmuştur. Çalışmada bir lastik üretim tesinin üretim planlama problemi ele alınarak, kapasite kullanım oranı, iş gücü kullanım oranı, maksimum üretim ve stok miktarları gibi hedeflerini aynı anda değerlendirebilen bir hedef programlama modeli önerilmiştir. Yine bir başka üretim yönetimi problemlerinden biri olan U tipi üretim hattı dengeleme

problemi Gökçen ve Ağpak (2006)'ın çalışmalarında ele alınmıştır. Çözümü için bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Çalışmada, U tipi üretim hattı dengeleme problemleri için ilk çok amaçlı karar verme yaklaşımı olarak önerilen modelin, karar vericinin esnekliğini sağladığı ve birbiriyle çelişen birkaç hedefi aynı anda ele alabildiği ifade edilmiştir.

Literatürde lojistik alanında en çok ele alınan problemlerden biri olan araç rotalama problemlerinin çözümü için de hedef programlama yaklaşımının kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Bunlardan biri de Calvete ve ark. (2007)'nin esnek zaman pencereli araç rotalama problemlerinin çözümü için geliştirdikleri hedef programlama modelidir. Önerilen yaklaşımda çözüm, ilk önce uygun rotaları hesaplanması ve sonra en iyi olanların seçilmesi adımlarıyla gerçekleştirilmektedir.

Hedef programlama yaklaşımı ile çok kriterli karar verme tekniklerinden ANP ve Delphi yöntemlerinin birlikte kullanıldığı örnek çalışmalardan biri de Wey ve Wu (2007) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Çalışmada, bir 0-1 tam sayılı hedef programlama modeli ve ANP'nin kullanıldığı, değerlendirme kriterleri ve aday projeler arasındaki bağımlılıkları yansıtan bir ulaştırma altyapısı proje seçim metodolojisi önerilmiştir. Kriterler arasında önceliklerin belirlenmesi, hedefler arasında değişimin sağlanması ve sistematik bir yaklaşım elde edilmesi için ANP'nin 0-1 tam sayılı hedef programlama formülasyonundan önce uygulanması önerilmiştir. Ayrıca çalışmada karar vericilerin hedeflerinin ve önceliklerinin belirlenmesi sorununun üstesinden gelmek için bulanık Delphi de ANP ve 0-1 tam sayılı hedef programlama ile birlikte kullanılarak birbirine bağımlı ulaştırma altyapısı proje seçim problemleri için entegre bir yaklaşım önerilmiştir.

Tersine lojistik problemleri kapsamında değerlendirilebilecek bir çalışma da Pati ve ark. (2008) tarafından sunulmuştur. Çalışmada kâğıt geri dönüşümünde lojistik sisteminin doğru yönetimine yardımcı olmak için karma tam sayılı bir hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. Model, geri dönüştürülmüş bir kâğıt dağıtım ağının birden çok amacı (değişen öncelikleriyle) arasındaki ilişkileri incelemektedir. Ele alınan hedefler, tersine lojistik maliyetinde azalma; ürün kalitesinin iyileştirilmesi

ve artan atık su geri kazanımı yoluyla çevresel faydalar sağlamaktadır. Önerilen model ayrıca, çok kademeli ve çok tesisli karar verme çerçevesinde farklı geri dönüştürülebilir atık kağıt çeşitlerinin tesis yeri, güzergâhı ve akışının belirlenmesine de yardımcı olmaktadır.

Hedef programlama yaklaşımının literatüründe ender rastlanan bir problemi de Ediz ve Yağdır (2009) ele almıştır. Çalışmada, bir iş yerinde çalışanların performansına yönelik uygun bir beslenme planının oluşturulması düşüncesinden yola çıkılarak bir menü planlama problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü için menünün maliyet, enerji, besin öğeleri vb. parametrelerini dikkate alan hem zorunlu hem de esnek kısıtlar içeren bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Calvete ve ark. (2007)'nin çalışmasının yanı sıra Ghoseiri ve Ghannadpour (2010) çalışmalarında, karar vericinin hedeflere ve sapmalara yönelik istek düzeylerini asgariye indirdiği ve iyimser istek düzeylerini belirlediği, zaman pencereli çok amaçlı araç rotalama problemini ele alarak çözüm için bir hedef programlama modeli ve etkin bir Genetik Algoritma önermişlerdir.

Çok kriterli karar verme problemlerini askeri alanda çalışan Lee ve ark. (2010), hava kuvvetleri için silah seçimi problemini ele alarak, AHP ve ana bileşen analizini birleştiren ve bu seçim kararlarına giren faktörlere atanacak ağırlıkları belirlemek için karma bir yaklaşım önermişlerdir. Elde edilen bu ağırlıklar, silah sistemleri arasındaki en iyi alternatifini belirlemek için bir hedef programlama modelinin girdilerini oluşturmaktadır. Çalışmada, AHP, ana bileşen analizi ve hedef programlamadan oluşan bu hibrid çözüm yaklaşımının, AHP'deki belirsizlik ve keyfilik ile ortaya çıkan eksiklikleri gidererek karar vericilere daha mâkul ve gerçekçi karar kriterleri sağlayacağı iddia edilmiştir.

Tedarikçi firma seçim problemlerine bir örnek de Liao ve Kao (2010)'nın çalışmaları gösterilebilir. Bu çalışmada diğerlerinden farklı olarak, tedarikçi firma seçim problemini çözmek için Taguchi kayıp fonksiyonu, AHP ve bir hedef programlama modeli bütünleştirilmiştir. Önerilen bu bütünlük yöntemin avantajı, karar vericilere karar kriterleri için çoklu aspirasyon seviyeleri belirlemelerine izin vermesidir.

Büyüközkan ve Berkol (2011), çalışmalarında sürdürülebilir bir tedarik zincirinin elde edilmesinde etkili olan tasarım gereksinimlerinin belirlenmesi için ANP ile bütünleşik kalite fonksiyon göçerimi ve 0-1 tam sayılı bir hedef programlama modelinin kullanıldığı bir karar çerçevesi sunmuşlardır. Çalışmadaki bütünleşik ANP, müşteri gereksinimleri ve sürdürülebilir bir tedarik zincirinin tasarım gereklilikleri olarak adlandırılan sürdürülebilirlik gerekliliklerini belirlendikten sonra, kalite gereklilikleri ile tasarım gereklilikleri ve müşteri gereklilikleri arasındaki ilişkileri dikkate alarak önem düzeylerini belirlemek için kullanılmıştır.

Liao ve Kao (2010)'nın çalışmasına benzer şekilde Sharma ve Balan (2013) da uygun tedarikçi firma seçim probleminin çözümü için Taguchi'nin kayıp fonksiyonunu, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ve hedef programlamayı dikkate alan bütünleştirici bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen yaklaşım üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, kalite kayıpları Taguchi'nin kayıp fonksiyonu kullanılarak belirlenmiştir. İkinci aşamada, TOPSIS ile farklı ağırlıklarda uygun faktörler tanımlanmıştır ve üçüncü aşamada da hedef programlama modeli ile en iyi performans gösteren tedarikçi firma seçilmiştir. Choudhary ve Shankar (2014) da tedarikçi firma seçimi problemini daha geniş olarak ele aldıkları çalışmalarında, depolama alanı kısıtlı bir alıcının birden fazla tedarikçi firmadan, birden fazla dönemde tek bir ürün tedarik etmesi sorununu incelemişler ve envanter lot büyüklüğü, tedarikçi seçimi ve taşıyıcı seçimi probleminin ortak çözülebilmesi için bir hedef programlama modeli önermişlerdir. Jadidi ve ark. (2015) da tedarikçi firma seçim problemini ilk olarak fiyat, reddetme ve teslim süresi enküçükleme hedefleriyle çok amaçlı bir optimizasyon problemi olarak modellemişlerdir. Karar vericilerin tek bir hedef yerine her hedef için bir aralık hedefi veya istek seviyesi belirlemesine, bütçeyi önemli ölçüde aşmayan satın alma maliyeti gibi diğer tercihleri yapabilmesine olanak sağlayan çoktan seçmeli bir hedef programlama yaklaşımı önermişlerdir.

Azaiez ve Al-Sharif (2005)'in çalışmasına benzer şekilde Ünal ve Eren (2016) de, çalışmalarında bir devlet kurumunun çok kısıtlı personel çizelgeleme (nöbet çizelgeleme) problemini ele almışlar ve çözümü için bir hedef programlama modeli

geliştirmişlerdir. Önerilen modelde hem zorunlu sağlanması gereken, hem de esnek olarak sağlanması beklenen kısıtlar mevcuttur.

Hedef programlama yaklaşımının finans alanındaki problemlerin çözümü için kullanımına Chen ve ark. (2017)'nin çalışması örnek gösterilebilir. Çalışmada, Malezya'daki Kamu Bankası Berhad'ın çok sayıda hedefi göz önüne alarak aktif ve pasifleri planlamak ve finansal yönetimini optimize etmek için bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir. 2011-2015 dönemine ait toplam finansal beyanlardan; toplam varlık, toplam borç, toplam özkaynak, kâr, kazanç ve optimum yönetim kalemleri olmak üzere altı hedef incelenmiştir.

Hedef programlamanın çok kriterli bir karar verme tekniğiyle birlikte kullanılmasına bir başka örnek çalışma da Gür ve ark. (2017) tarafından sunulmuştur. Çalışmada, Ankara'da belirlenen güzergâhlara en uygun monoray ulaştırma projelerinin seçimi problemi ele alınmıştır. Çözüm için bütçe miktarı ve yolcu taşıma hedeflerini birlikte değerlendirebilecek bir 0-1 tam sayılı hedef programlama modeli önerilmiştir. Bu çalışmada AHP ve 0-1 tam sayılı hedef programlama teknikleri birlikte kullanılmıştır. Munoz ve ark. (2018) da çalışmalarında sağlık kuruluşları tarafından karşılaşılan en zorlu görevlerden biri olan örgütsel stratejilerin gerçekleştirilmesini destekleyen kaynakların uygun şekilde tahsis edilmesi problemini ele almışlardır. Çalışmada, bir akademik kurumdaki klinik ve çeviri bilimi enstitüsünde teklif seçim problemi için bir hedef programlama modeli önerilmiştir.

Hedef programlama yaklaşımının finans alanındaki en güncel örneklerinden biri de Amin ve ark. (2019) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Bu çalışmada, ticari birleşmelerde hedef belirleme sorununun çözümü için hedef programlama ve ters veri zarflama analizinin birlikte kullanılması önerilmiştir. Ters veri zarflama analizi geleneksel veri zarflamadan farklı olarak, verimlilik puanı bir hedef olarak verildiğinde, girdi ve çıktı miktarlarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada da karar vericilerin belirli girdileri kaydetmek veya belirli çıktıları mümkün olduğu kadar üretmek için bir ticari birleşmenin hedef belirleme tercihlerini dâhil etmelerini sağlayan etkili bir yöntem sunulmaktadır. Önerilen yöntem, bankacılık endüstrisindeki

bir örnek olay problemi üzerinde gösterilmiştir. Son olarak güncel bir çalışma olan Avrupa’da faaliyet gösteren işletmelerin sosyal sorumluluk bakımından değerlendirilmesini ele alan Garcia-Martinez ve ark. (2019)’ın çalışması, çözüm için hedef programlama yaklaşımının kullanıldığı farklı bir çalışma olarak ifade edilebilir.

AT, BAT ve hedef programlama tekniklerinin kullanıldığı çalışmalarla ilgili yapılan kaynak araştırmasının neticesinde, bu tez çalışmasında önerilen ve şişe tasarımının belirlenmesinde kullanılan çözüm yaklaşımı ile literatürde karşılaşılmamıştır. Herhangi bir tasarım probleminin çözümü için BAT tekniği ile durulaştırılan bulanık verilerin karma tamsayı doğrusal olmayan hedef programlama yönteminde kullanıldığı bir örneğe de literatürde rastlanmamıştır. Bu da gösteriyor ki; bu tez çalışması, önerilen çözüm yöntemi açısından literatüre katkı sağlamaktadır.

BÖLÜM 3. ÇÖZÜM METODU

Çalışmada şişe tasarımı için geliştirilen karma tamsayılı doğrusal olmayan hedef programlama modelindeki bulanık parametreler BAT tekniği kullanılarak durulaştırılmıştır. Bundan dolayı çözüm metodunun detaylı olarak verildiği bu bölümde, öncelikle AT ve BAT tekniklerinin ardından, hedef programlama yaklaşımı anlatılacaktır.

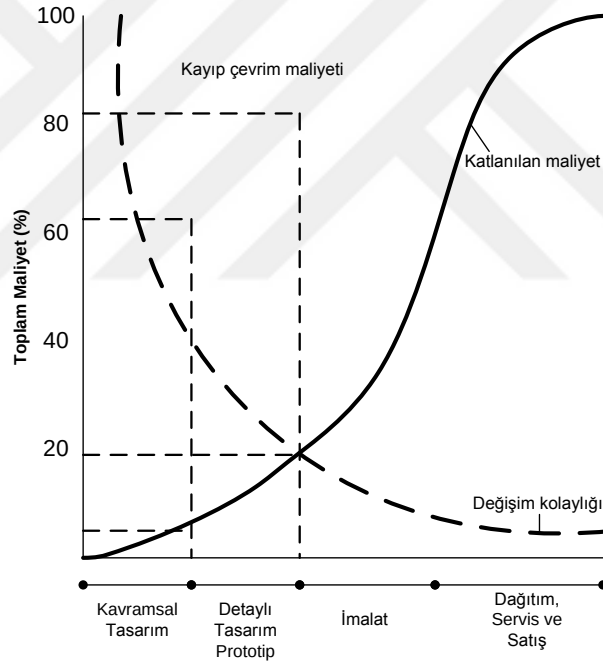
3.1. Aksiyomatik Tasarım

Tasarım, ürün geliştirmedeki en önemli adımlardan biridir. Tasarımcı, bu süreçte, bir bileşen, yazılım, ürün veya başka bir sistem olup, üretmeyi düşündüğü ürünün amaçlarını tanımlar ve kavramsallaştırır. Tasarım, uygulandığı alana bağlı olarak çeşitli şekillerde uygulanan genel bir kavramdır. Örneğin, bir elektrik mühendisine göre tasarım, elektrik ve elektronik devrelerin geliştirilmesi süreci olabilirken; benzer şekilde, bir imalat mühendisine göre tasarım, yeni imalat süreçleri ve sistemleri geliştirme sürecini içerir. Bu tezin konusu olan tasarım da, bir içecek ürününe ait şişenin tasarımıdır.

Ürün tasarım süreci, elektronik, mekanik ya da kimyasal yapı, hammadde ve malzeme, şekil ve boyut, paketleme gibi bir çok alana özgü spesifik bilgilerin dikkate alınması gereken bir süreçtir. Geleneksel olarak ürün tasarım süreci; kavramsal, işlevsel ve üretim olmak üzere üç ardışık fazdan oluşur. Kavramsal aşamada ürünün gerçekleştireceği işlev üzerine odaklanılır. İşlevsel aşamada ise ürünün üretimi için ayrıntılı bir tasarım ve plan geliştirilir. Son aşama olan üretim aşamasında da ürünün ekonomik olarak üretilmesi için malzeme, süreç vb. seçmeye odaklanılır. Bu üç fazdaki ürün tasarım faaliyetleri genel olarak; problemin tanımlanması, spesifik bilgilerin toplanması, problemlere çözümlerin geliştirilmesi, çeşitli analizlerin

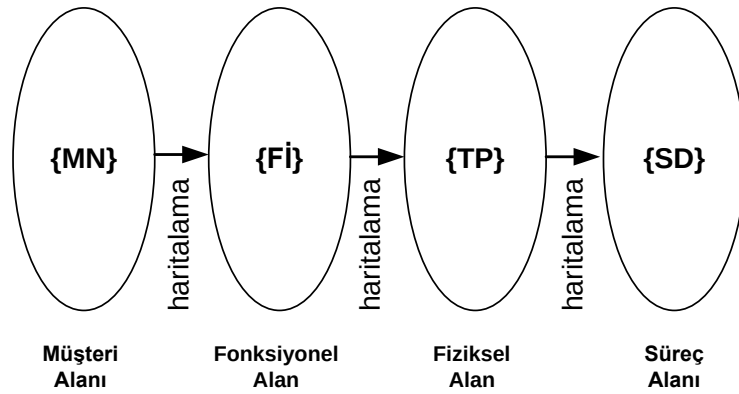
yapılması ve en uygun çözümün seçilmesi, prototip üzerinde ya da simülasyonla testlerin yapılarak tasarımın uygulanacağı son şekle getirilmesi adımlarını izler.

Mohammed ve Alavizadeh (2009) bir ürünün maliyetinin çoğunun, ürün tasarım döngüsü tamamlanmadan önceki yaşam döngüsü aşamasında sabitlendiğini belirtmişlerdir. Ürün yaşam döngüsü boyunca gerçekleşen ve işlenen maliyeti gösteren tipik bir karakteristik eğri, Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi, ürün geliştirme maliyetinin çoğunluğu kavramsal ve ayrıntılı tasarım aşamasında gerçekleşmektedir. Ayrıca, genel tasarım değişikliğinin önceki aşamalarda daha kolay olduğu dikkat çekmektedir. Buradan ürün tasarımı ve tasarım tekniğinin ne kadar önemli olduğu görülmektedir.



Şekil 3.1. Ürün ömrü boyunca ortaya çıkan maliyetler ve karakteristikler (Mohammed ve Alavizadeh, 2009)

Suh 1984 yılında, tasarımı sistematik bir temele oturtmak için geleneksel tasarım faaliyetlerinin zayıflıklarını da göz önüne alarak AT tekniğini literatüre kazandırmıştır. Tasarımı, tasarımcının neyi gerçekleştirmek istediği ile bunu nasıl gerçekleştirebileceği arasındaki etkileşimi içeren bir faaliyet olarak tanımlar. AT metodolojisinde, müşteri alanını, fonksiyonel alanı, fiziksel alanı ve süreç alanını içeren, Şekil 3.2'de gösterildiği gibi süreci yönlendiren dört alan tanımlar (Suh, 2001).



Şekil 3.2. Aksiyomatik tasarımdaki dört alan (Suh, 2001)

Müşteri nitelikleri (MN) olarak adlandırılan müşterinin ihtiyaçları, müşteri alanında belirlenir ve ardından fonksiyonel alanda, fonksiyonel ihtiyaçlar (Fİ) olarak belirtilir. Fİ'leri sağlamak için, bir fiziksel alanda tasarım parametreleri (TP) düşünülmelidir. Son olarak, yine Fİ'leri sağlamak için gereken işlemleri tanımlayan süreç değişkenleri (SD) süreç alanında geliştirilir. Bununla birlikte AT'nin iki temel aksiyomu ihlâl edilmemelidir:

- Bağımsızlık Aksiyomu: Fİ'lerin bağımsızlığının sürdürülmesi.
- Bilgi Aksiyomu: Tasarımın bilgi içeriği en aza indirgenmesi.

Bağımsızlık aksiyomu, birden fazla Fİ olduğunda bir Fİ sağlanırken bundan diğer Fİ'lerin etkilenmeyecek şekilde düzenlenmesini ifade eder. Fİ'lerin bağımsızlığı fiziksel bağımsızlık anlamına gelmez. Fonksiyonel ihtiyaçlar ile tasarım parametreleri arasındaki ilişki matematiksel olarak Denklem 3.1 ile ifade edilir (Suh, 1990) :

$$\{Fİ\} = [A]\{TP\} \quad (3.1)$$

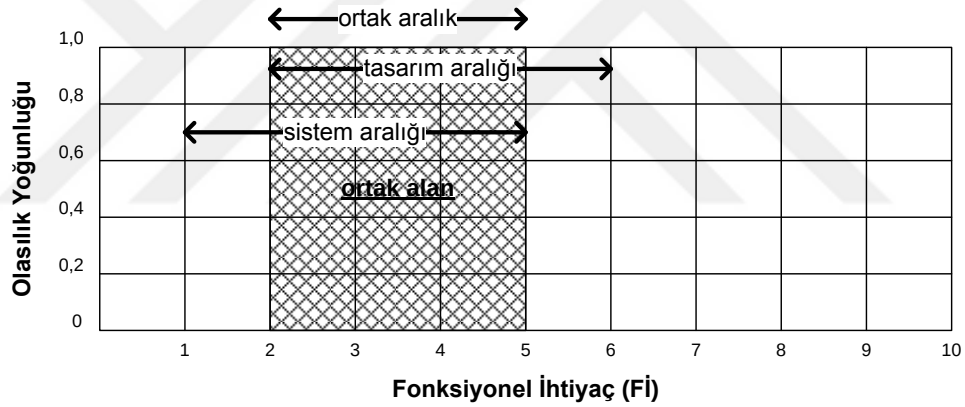
Denklem 3.1'de $\{Fİ\}$ fonksiyonel ihtiyaç vektörünü, $\{TP\}$ 'de tasarım parametreleri vektörünü ifade eder. $[A]$ matrisindeki her bir eleman $\{Fİ\}$ vektörünün ilgili elemanı ile $\{TP\}$ vektörünün ilgili elemanı arasındaki ilişkiyi ifade eder. A matrisinin yapısı

tasarımın çeşidini belirler. Bağlı tasarım, ayrılmış tasarım ve ayrık tasarım olmak üzere üç çeşit tasarım bulunmaktadır (Kabadurmuş ve Durmuşoğlu, 2007).

Bilgi aksiyomu da tasarım çözümleri arasından en az bilgi içeriğine sahip tasarımın en iyi tasarım olduğunu ifade eder. Bilgi içeriği (I), verilen bir Fİ'yi sağlama olasılığı (P) olarak tanımlanır ve ilgili Fİ'nin I değeri Denklem 3.2'e göre hesaplanır (Suh, 2001):

$$I_i = \log_2 \left(\frac{1}{P_i} \right) \quad (3.2)$$

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi tasarım ve sistem aralığı arasındaki etkileşime bağlı olarak bir seçim yapılır ve düzgün dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonuna göre P değeri Denklem 3.3'teki hesaplanır (Kulak ve Kahraman, 2005a).



Şekil 3.3. Bir Fİ'nin tasarım aralığı, sistem aralığı, ortak aralık ve olasılık yoğunluğu (Kulak ve Kahraman, 2005a)

$$P_i = \left(\frac{\text{ortak aralık}}{\text{sistem aralığı}} \right) \quad (3.3)$$

Buna göre I değeri de Denklem 3.4'teki hale dönüşür.

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{sistem aralığı}}{\text{ortak aralık}} \right) \quad (3.4)$$

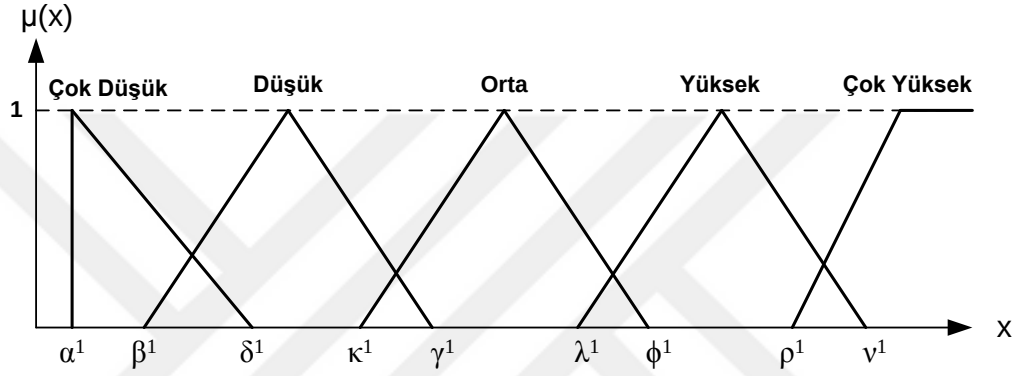
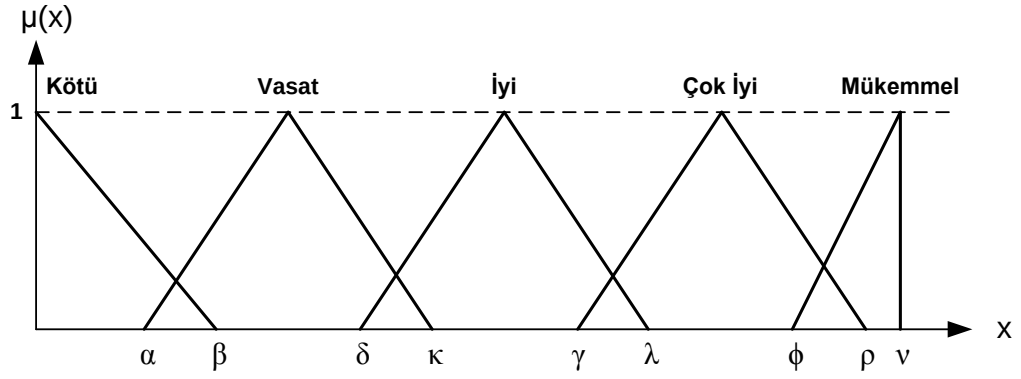
Örneğin; Şekil 3.3'te verilen bilgi içeriğini hesaplarken sistem aralığı= 4, tasarım aralığı=4 ortak aralık= 3 olarak bulunur. Buna göre $P=4/3$ olur. Yani buradaki $I=0,415$ olarak hesaplanır.

3.2. Bulanık Aksiyomatik Tasatım

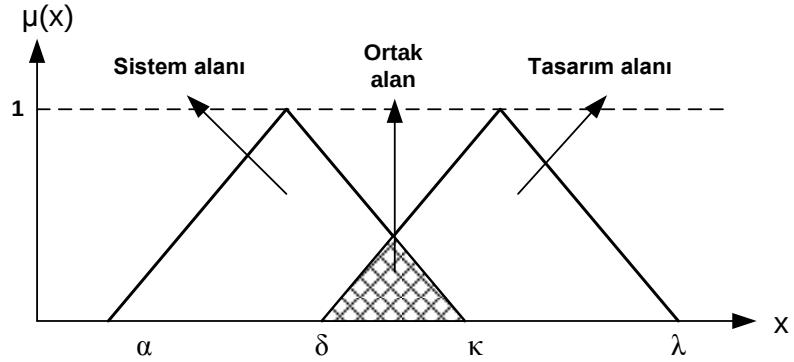
Bulanık mantık kavramı, ilk kez 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmıştır (Zadeh, 1965). Bulanık mantık sayesinde, makineler de insanların özel verilerini işleyebilme ve onların tecrübelerini ve önsezilerini dikkate alarak çalışabilme yeteneği kazanabilmektedir. Bu yeteneği kazandırırken sayısal ifadeler yerine sembolik ifadeler kullanır. Söz konusu sembolik ifadelerin makinelere aktarılması da bir matematiksel temele dayanmaktadır. (Elmas, 2003)

AT tekniği veriler kesin olmadığı zaman da kullanılabilir. Eğer veriler kesin değilse, değerler dilsel bir tür olarak tanımlanmalıdır. Bu dilsel veya bulanık değerler daha sonra belirlenmiş bir kural kullanılarak gerçek sayılara dönüştürülür. Bulanık değerlerin kullanılabilmesi için Kulak ve Kahraman (2005a, 2005b) tarafından yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda bulanık değerlerin, beşli dönüşüm skalaları üzerinde Şekil 3.4'teki gibi aktarılma durumlarından söz edilmektedir.

BAT tekniğinde, aralık değerleri dilsel değerler olarak verildiğinden, üçgen veya yamuk bulanık üyelik işlevleri karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, yaygın alan üçgensel veya yamuk bulanık sayıların (YBS) üst üste çakıştığı bölgedir. Şekil 3.5'te gösterildiği gibi ortak alan, YBS'lerin örtüşme alanıdır.



Şekil 3.4. Bulanık ifadelerin beşli dönüşün skalaları (Kulak ve Kahraman, 2005b)



Şekil 3.5. Üçgensel ve YBS'lerin örtüşme alanı

Dilsel ifadeler ya da ortak alanın, üçgensel veya YBS'lerle ifade edildiği durumlarda I değeri Denklem 3.5'e göre hesaplanır (Kulak ve Kahraman, 2005b):

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{sistem alanı}}{\text{ortak alan}} \right) \quad (3.5)$$

3.3. Hedef Programlama

Karar verme durumlarının çoğu tek bir bakış açısıyla ilerlemez veya tek bir amaca hizmet etmez. Böyle bir durumda karar vericinin en büyük sorunu, farklı hedeflerin hepsini kısmen tatmin edecek şekilde dengelemektir. Başka bir deyişle, bir uzlaşmaya varmaktır. Hedef programlama yaklaşımı, aynı anda birden fazla hedefle başa çıkmanın yollarını sunarak modelleme yeteneklerimizi genişletir. Yani, bir kerede birden fazla hedefi göz önünde bulundurmanın organize bir yolunu sağlar ve genellikle karar vericiler için kabul edilebilir, uzlaşmacı çözümler sunar.

Hedef programlama yaklaşımı, birden çok uyumlu ya da uyumsuz hedefin eş zamanlı olarak gerçekleştirilmeye çalışıldığı problemlerin çözümü için ortaya atılmıştır. Hedef programlama ile ilgili ilk çalışmalar 1960'lı yıllarda yayınlanmış olup, bu çalışmalar Charnes ve Cooper ile Ijiri'ye aittir (Coello, 1999). Hedef programlama yaklaşımında temel fikir, her amaç için belirli sayısal hedefler oluşturmak ve daha sonra belirtilen hedeflerden sapmaların toplamını en aza indirirken, tüm kısıtları sağlayan bir çözüm aramaktır. Her amacı gerçekleştirmek aynı derecede istenmediği durumlarda da, genellikle sapmalar her bir amaç fonksiyonunun nispi önemini yansıtacak şekilde ağırlıklandırılır.

Örneğin; bir karar vericinin kararını etkileyen n tane nitelik olduğunu düşünelim. $x_i(a)$ a alternatifinin i 'nci niteliğe göre olan değeri olsun. Bu durumda karar verici, a alternatifini için her bir niteliğe göre bir değer biçecektir ve bu değerlerin fonksiyonu da $v(x_1(a), x_2(a), \dots, x_n(a))$ olacaktır. Bu durumda karar verici, Denklem 3.6'yı sağlamak koşuluyla seçim yapacaktır (Winston, 1994).

$$\text{Ençok } v(x_1(a), x_2(a), \dots, x_n(a)) = v(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \quad (3.6)$$

Denklem 3.6'ya göre n tane değer fonksiyonu için toplamsal değer fonksiyonu Denklem 3.7'deki gibi olur (Winston, 1994).

$$v(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n v_i(x_i) \quad (3.7)$$

Diğer taraftan bir karar verici a alternatifi için $c(x_1(a), x_2(a), \dots, x_n(a))$ 'yi bir maliyet fonksiyonu olarak da belirleyebilir. Bu durumda da karar verici, Denklem 3.8'i sağlamak koşuluyla seçim yapacaktır (Winston, 1994).

$$\text{Enaz } c(x_1(a), x_2(a), \dots, x_n(a)) = c(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \quad (3.8)$$

Denklem 3.8'e göre n tane maliyet fonksiyonu için toplamsal maliyet fonksiyonu Denklem 3.9'deki gibi olur (Winston, 1994).

$$c(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n c_i(x_i) \quad (3.9)$$

Hedef programlama tekniğinin merkezindeki en önemli yapı, sapma değişkenleridir. S_i^+ i'ninci hedeften pozitif yönlü sapmayı, S_i^- de i'ninci hedeften negatif yönlü sapmayı gösteriyor olsun. G_i i'ninci hedefin değeri olmak üzere söz konusu değer ve maliyet fonksiyonlarının hedeflerden sapmaları Denklem 3.10 ve Denklem 3.11'deki gibi ölçülebilir.

$$\sum_{i=1}^n v_i(x_i) + S_i^- - S_i^+ = G_i \quad (3.10)$$

$$\sum_{i=1}^n c_i(x_i) + S_i^- - S_i^+ = G_i \quad (3.11)$$

Denklem 3.10'da verilen amaç, değer enbüyükleme olduğu için bu amaç için istenen sağ taraf değeri G_i 'ye eşit ve daha büyük bir değer olmasıdır. Yani bu denklemdeki negatif sapma değeri olan S_i^- değerinin en az, hatta mümkünse sıfır olması istenir. Denklem 3.11'de verilen amaç ise maliyet enküçükleme olduğu için bu amaç için istenen sağ taraf değeri G_i 'ye eşit veya daha küçük bir değer olmasıdır. Yani bu denklemdeki pozitif sapma değeri olan S_i^+ değerinin en az, hatta mümkünse sıfır olması istenir.

Bunların dışında eğer amaç fonksiyonunun bir G_i değerine eşit olması istenseydi bu durumda hem negatif hem de pozitif sapmaların ($S_i^- + S_i^+$) en az, hatta mümkünse sıfır olması istenirdi.

Hedef programlamanın genel formu literatürde Denklem 3.12, Denklem 3.13 ve Denklem 3.14 ile ifade edilmektedir (Hemaida, 1990). Bu denklemlerdeki m karar vericinin göz önüne aldığı nitelik sayısı, x_j , j 'ninci karar değişkeni a_{ij} karar j 'ninci değişkeninin i 'ninci kısıttaki kat sayısı, s_i^+ i 'ninci hedeften pozitif sapmayı, s_i^- de i 'ninci hedeften negatif sapmayı ve b_i i 'ninci kısıtın sağ taraf değerini göstermektedir. Denklem 3.13 hedeflerden dolayı oluşan kısıtları, Denklem 3.14'de sistem kısıtlarını ifade eder.

$$Z_{\text{enaz}} = \sum_{i=1}^m (s_i^+ + s_i^-) \quad (3.12)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j - s_i^+ + s_i^- = b_i \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (3.13)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \begin{cases} \leq \\ = \\ \geq \end{cases} b_i \quad (i=(m+1),\dots,p) \quad (3.14)$$

$$x_j, s_i^+, s_i^- \geq 0 \quad \text{ve} \quad s_i^+ \times s_i^- = 0$$

Amaç fonksiyonundaki sapmalar, belirlenen bir öncelik seviyesi ile ağırlıklandırılabilirler. Bu durumda p_i i 'ninci kısıta ait öncelik faktörü değeri olacak şekilde amaç fonksiyonu Denklem 3.15'deki gibi olur.

$$Z_{\text{enaz}} = \sum_{i=1}^m p_i (s_i^+ + s_i^-) \quad (3.15)$$

BÖLÜM 4. UYGULAMA

İlk Mevsim Meyve Suları A.Ş. Pamukova/Sakarya Fabrikasında meyve suyu ve içecek üretimi yapmaktadır. Firmanın üretimlerini yapmakta olduğu aseptik pet hattı üretimi en temel sınıflandırmayla iki hiyerarşik aşamaya ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi ürün hazırlama, diğeri ise dolum ve paketlenme üniteleridir.

Ürün hazırlama ünitesinde yapılan işlemleri kısaca meyve nektarı veya içeceklerinin standartlara ve speklere uygun bir şekilde hazırlanması olarak özetleyebiliriz. Ürün hazırlama süreci tamamen otomasyon sistemi üzerinden yürütölmektedir. Otomasyon programında ürünün hazırlanacağı JPT (Juice Prepration Tank- Meyve suyu hazırlama tankı) seçilir. İşletmede 3 adet JPT tankı bulunmaktadır. Bu tanklardan birinin kapasitesi 20 ton, diğeri ikisinininki de 30 tondur. Tank seçimi üretim planlama departmanının belirlediğı plana göre üretimi yapılacak olan parti miktarı göz önüne alınarak yapılır. Sonrasında otomasyon programında üretilecek olan ürüne ait reçete (ürün ağacı) seçimi yapılır ve üretilecek olan üretim miktarı girilir. Otomasyon sistemi otomatik olarak önceden sıralanmış reçete basamaklarını (ilk su girişi, flex mix çevrimi, şeker ve toz yükleme, varil konsantre yükleme, karıştırıcının devreye girişi, flex mix durdurma ve son su ayarlama) gerçekleştirir. Reçetenin basamak basamak ilerlemesi sırasında bir sonraki basamağı geçiş daima operatörün onayı ile gerçekleşir. Yani sistem başlanan basamağı otomatik olarak tamamlarken bir sonraki basamağı geçişte operatör onayını şart koşar. Herhangi bir reçetenin üretilmesine ait ayrıntılı açıklama adımları aşağıdaki gibidir:

- JPT tankına tanımlanmış reçete açıldığında ilk işlem tanımlanan reçetenin doğruluğunun kontrolüdür. Reçete kontrol edilir, doğru ise operatör tarafından onaylanır.

- İlk su giriş miktarı farklı ürün reçetelerine göre değişmektedir. İlk su girişi miktarı operatör tarafından kontrol edilir ve onaylanır.
- Sistem ilk su alma işlemini otomatik olarak bitirdikten sonra bir sonraki basamağa geçiş için operatör onayını bekler. Operatörün onayı ile bir sonraki aşama olan flex mix çevrimi adımına geçilir. Flex mix sistemi parçacıklı ürünleri, toz katkı maddelerini ve şekeri eritip homojenize hale getirmek amacı ile kullanılır.
- Reçetede bir sonraki aşama gerekli şeker miktarının girilmesidir. Bu aşamalar reçete üzerinde genellikle birden fazladır ve “Big Bag1 Yükleme”, “Big Bag2 Yükleme” gibi isimlerle belirtilmiştir. Bu işlemin birkaç basamakta yapılmasının sebebi ürün hazırlama operatörlerince doldurulan şeker haznelerinin sırasıyla çekilerek toplam şeker miktarına en kısa sürede ulaşılma gayesidir.
- Big Bag’lere basamak sırasına göre istenilen şeker miktarları ürün hazırlama operatörlerince beslenir ve basamak ilerler.
- Bu aşamadan sonra şayet üretilen ürün bileşiminde parçacıklı konsantre (şeftali-kayısı-muz püresi- bulanık limon) yok ise flex mix çevrimini durdurma basamağı gelir.
- Şayet üretilen ürün bileşiminde parçacıklı konsantre var ise parçacıklı konsantrelerin çektilirile basamağı ile reçeteye devam edilir. Bu esnada flex mix çevrimi devam etmektedir. Böyle bir durumda reçetede flex mix çevriminin sonlandırılması basamağı parçacıklı konsantrelerin çektilirile basamağından sonra gelir. (Reçeteler bu durum göz önüne alınarak basamaklandırılmaktadır.)
- Varil konsantre çektilirme istasyonunda ürün hazırlama operatörlerince, açılıp görsel kontrolü yapılan, girdi kontrol laboratuvarınca daha önceden kontrol

edilerek onaylanmış konsantre varilleri, varil konveyörüne beslenir. Bu istasyondaki pompalar vasıtasıyla çektilirerek reçetenin hazırlanmakta olduğu JPT tankına basılır.

- Paletler üzerinde bulunan variller, varil konveyörüne forklift ile beslenir ve konsantre çektilme istasyonuna kadar otomatik olarak palet konveyörüyle iletimi sağlanır.
- Varil konsantre çektilme basamağının tamamlanmasının ardından varil besleme istasyonu kumanda panosundan varil çektilme istasyonunun flex mix sistemi ile birlikte flaş yapması sağlanır. Flaş ürün, yarı mamul ve malzemelerin boru hatlarında kalmış olan miktarlarının su vasıtasıyla itilerek, ait olduğu tanka veya alana iletilmesi işlemidir. Flaş süreleri otomasyon sisteminin kurulumu sırasında hat uzunlukları göz önüne alınarak hesaplanmış ve sisteme tanımlanmıştır.
- Hem parçacıklı hemde parçacıksız konsantre içeren ürünlerin hazırlanmasında; ilk önce parçacıklı konsantreler çektilir, sonrasında varil çektilme istasyonu ve flex mix sisteminin flaş yapması sağlanır. Daha sonra ise parçacıksız konsantrelerin çektililmesi işlemi ile devam edilir. Arkasından tekrar varil çektilme istasyonunun flaş yapması sağlanır.
- Bir sonraki aşama ise ürünün son brix (ürünün içerisindeki kuru madde oranı) ve asitliğinin ayarlanması üzere son su ilavesidir.
- Sonraki aşamada ise kalite departmanı proses laborantları ürünün brix ve asitlik durumunu kontrol etmek için gerekli analizleri yaparlar. Analiz sonuçlarına göre, sürecin ilerleyeceğı aşama belirlenir. Eğer analiz sonuçlarındaki brix ve asitlik değlerleri reçeteye uygun ise işlem tamamlanır. Eğer değlerler ürüne su ilavesi gerektiriyorsa eklenecek olan su miktarı hesaplanır ve ilave edilir. Burada amaç reçete sapmalarından oluşabilecek standart dışı ürün hazırlanmasını engellemektir.

- Son basamakta sistem JPT tankında %100 olan karıştırıcı hızını %40 seviyesine çekerek işlemi bitirir.
- Karıştırma işlemi tamamlanan JPT tankında yer alan üründen numune alınarak kalite kontrol laboratuvarına analiz için verilir. Ürüne ait kimyasal ve duyuşal niteliklerin spektine uygun olup olmadığı kalite laboratuvarınca kontrol edilir, uygun ise gerekli onay verilir. Ürün ısıtıl işlem ve ardından dolum için uygun hale gelmiştir.
- JPT tankında hazır olan yarı mamul ve kalite uygunluğu alınan ürün, reçeteye tanımlanmış olan ısıtıl işlem prosesinden geçer ve aseptik tanka gönderilir. Aseptik tankta son halini almış olan ürün artık doluma hazırdır.

Ürün hazırlama sürecine ait akış şeması Şekil 4.1’de verilmiştir.

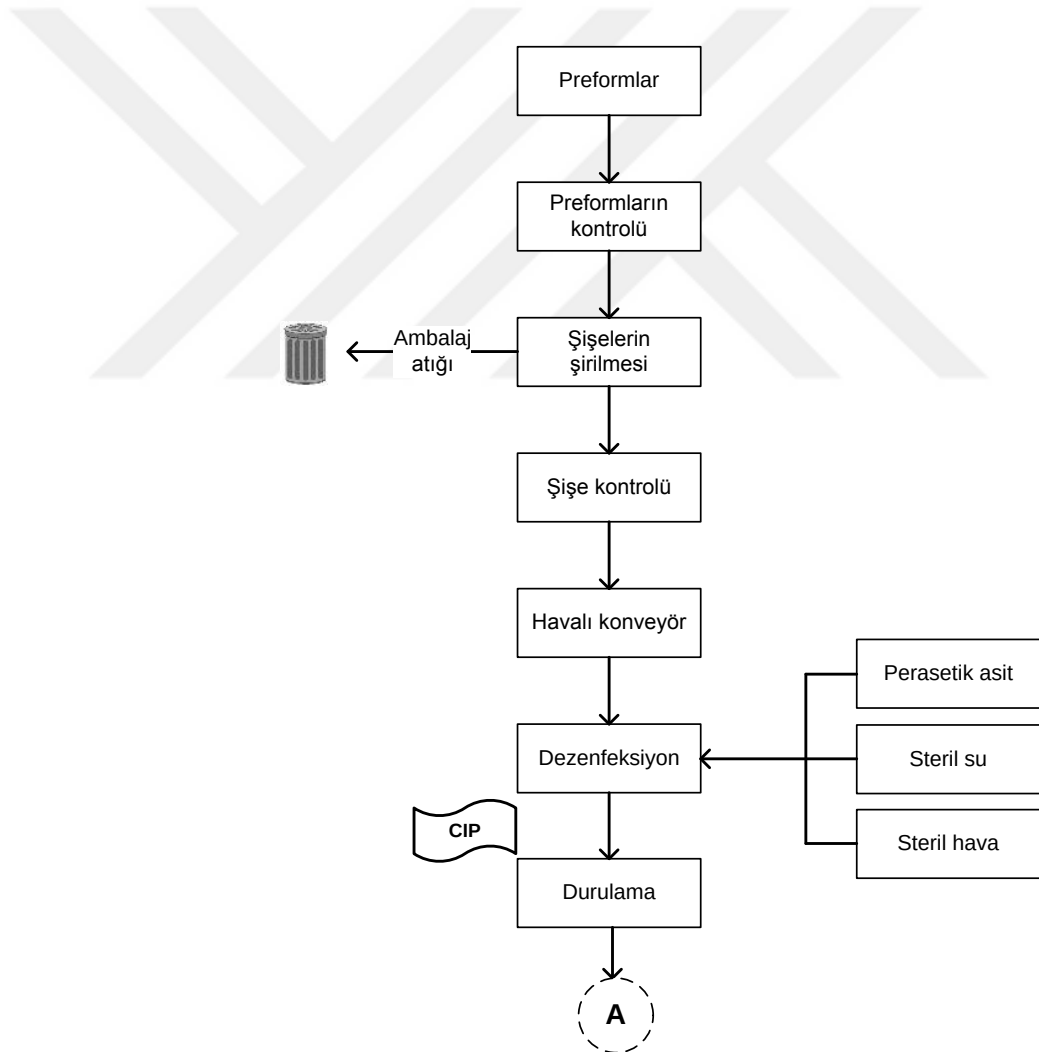
Dolum ve paketleme ünitesinde yapılan işlemleri kısaca ürün hazırlama ünitesinde hazırlanmış olan meyve nektarı veya içeceklerinin standartlara ve spektlere uygun bir şekilde dolumunun yapılması, paketlenmesi, paletlenmesi ve satışa hazır hale getirilmesi olarak özetleyebiliriz. Dolum ve paketleme süreci tamamen otomasyon sistemi üzerinden yürütölmektedir. Yapılan işlemler sırasıyla aşağıdaki gibidir.

- Preform şişirme makinesinde üretilecek olan ürünün doldurulacağı şişenin üretimi yapılır. Bu süreç üretim planlama departmanı tarafından üretimi yapılacak olan ürünlerin, üretim departmanına bildirilmesi ile başlar. Üretim departmanı daha önceki üretime ait preform şişirme makinesi, şişirme kalıplarının demontajını yapar, üretilecek olan ürüne ait şişirme kalıplarının üretim öncesinde şişirme makinesine montajlarını yapar. Makinede 20 takım şişe kalıbı mevcuttur.

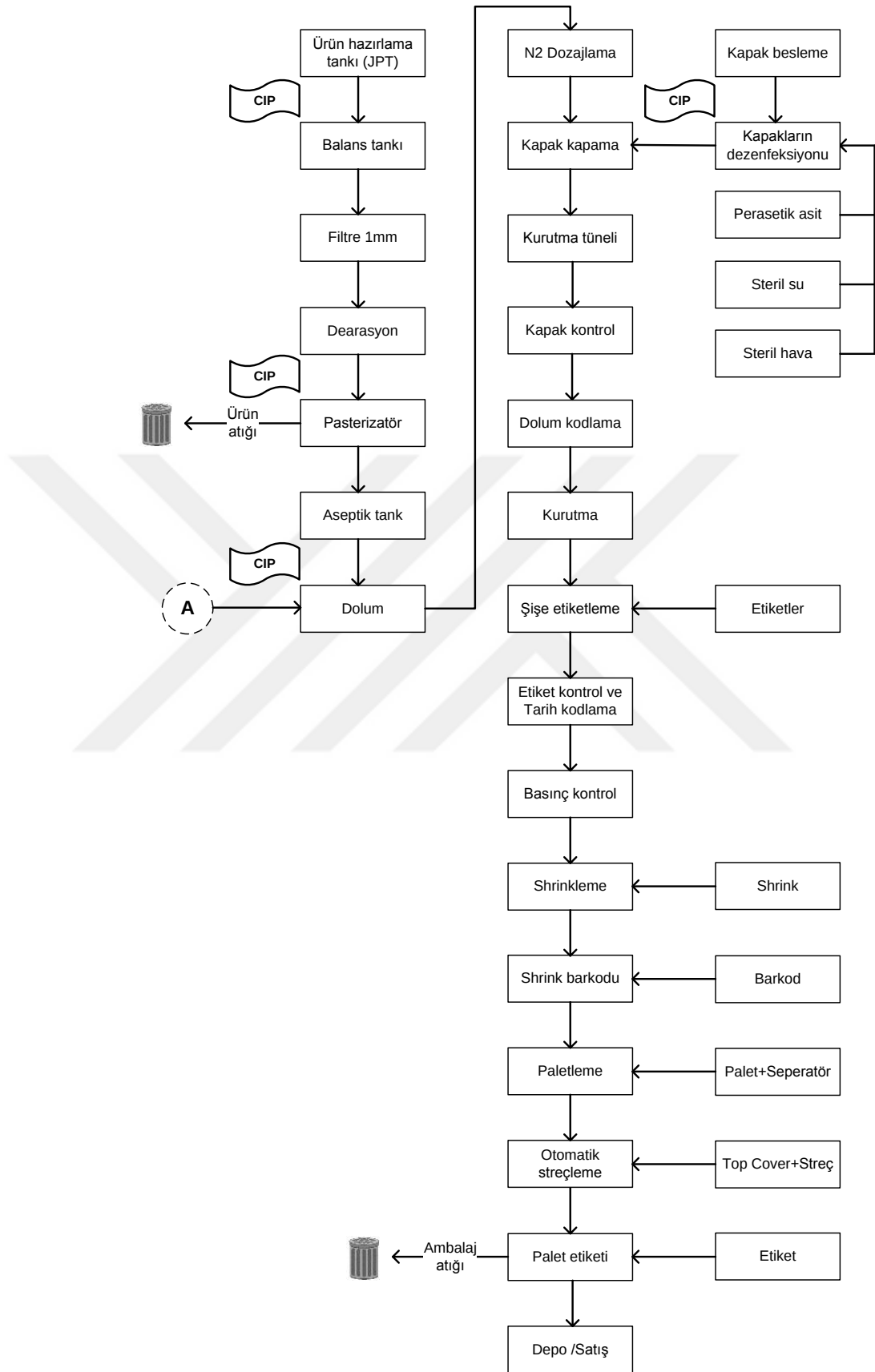
- Sonrasında şişirme makinesi operatörü üretimi yapılacak olan şişeye ait reçeteyi tanımlar ve şişe üretim sürecini başlatır. İlk çıkan şişelerden numune olarak üretilen şişelerin homojen dağılımını kontrol eder. Şişeler reçeteye uygunsa üretimi devam ettirir. Uygun değilse reçeteyi ve süreci tekrar kontrol ederek gerekli düzeltmeleri yapar. Üretilen şişeler havalı konveyör vasıtasıyla temiz oda içerisinde bulunan dolum makineleri ünitesine iletilir.
- Temiz odada şişirme makinesinde üretilmiş olan şişe, önce perasetik asitli suyla dezenfekte edilir ve sonra durulanır. Sonra aseptik tanktan dolum makinesinin haznesine gelmiş olan doluma hazır ürün, dolum makinesine ait 100 adet dolum nozulu ile bu şişelere doldurulur, azot basılır ve hemen şişelere kapaklar kapatılarak, aseptik olarak dolum tamamlanmış olur.
- Sonrasında, ürün doldurulmuş olan şişelerin üzerine üretim parti bilgileri kodlama makinesi ile yazılır kurutma tüneline girilir ve şişelerin üzerindeki nem kurutulur ve şişeler etiketlemeye hazır hale gelir.
- Etiketleme makinesinde, şişelerin üzerine üretim yapılmakta olan ürüne ait etiketler yapıştırılır. Etiket kontrolü yapılarak, eğer etiketi olmayan şişe olursa üretim hattından otomatik olarak ayrılır. Sonrasında üretim ve son kullanma tarihi bilgileri kodlama makinesi ile yazılır ve basınç kontrolü yapılır, reçetede belirlenmiş olan basınç aralığı dışındaki ürünler otomatik olarak basınç kontrol makinesi tarafından üretim hattından atılır.
- Sonrasında şişeler konveyör bandı ile shrinkleme (paketleme) makinesine iletilir. Makine operatörü tarafından üretim başlamadan önce üretimi yapılacak olan ürünlere ait reçete shrinkleme makinesine tanımlanır, kullanılacak olan özelliklerdeki shrink makineye takılır, shrink makinesi giriş yollarına üretilecek olan ürünün reçetesine uygun ekipmanların montajı yapılır. Şişeler shrink makinesinde reçeteye uygun olarak (3 x 2, 2 x 2 vb.) paketlenir. Paketlenmiş ürünlerin üzerine barkod etiketi yapıştırılır.

- Paketlenmiş olan ürünler konveyör bandı ile paletleme makinesine iletilir. Paletleme makinesinde daha önceden tanımlanmış olan ürüne ait dizilimi içeren reçete operatör tarafından seçilir ve ürünler paletlenir.
- Paletlenmiş ürünler streç makinesi ile streçlenir, palet etiketi yapıştırılır ve yük asansörü ile mamul depoya gider.

Dolum ve paketleme sürecine ait akış şemaları Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmiştir.



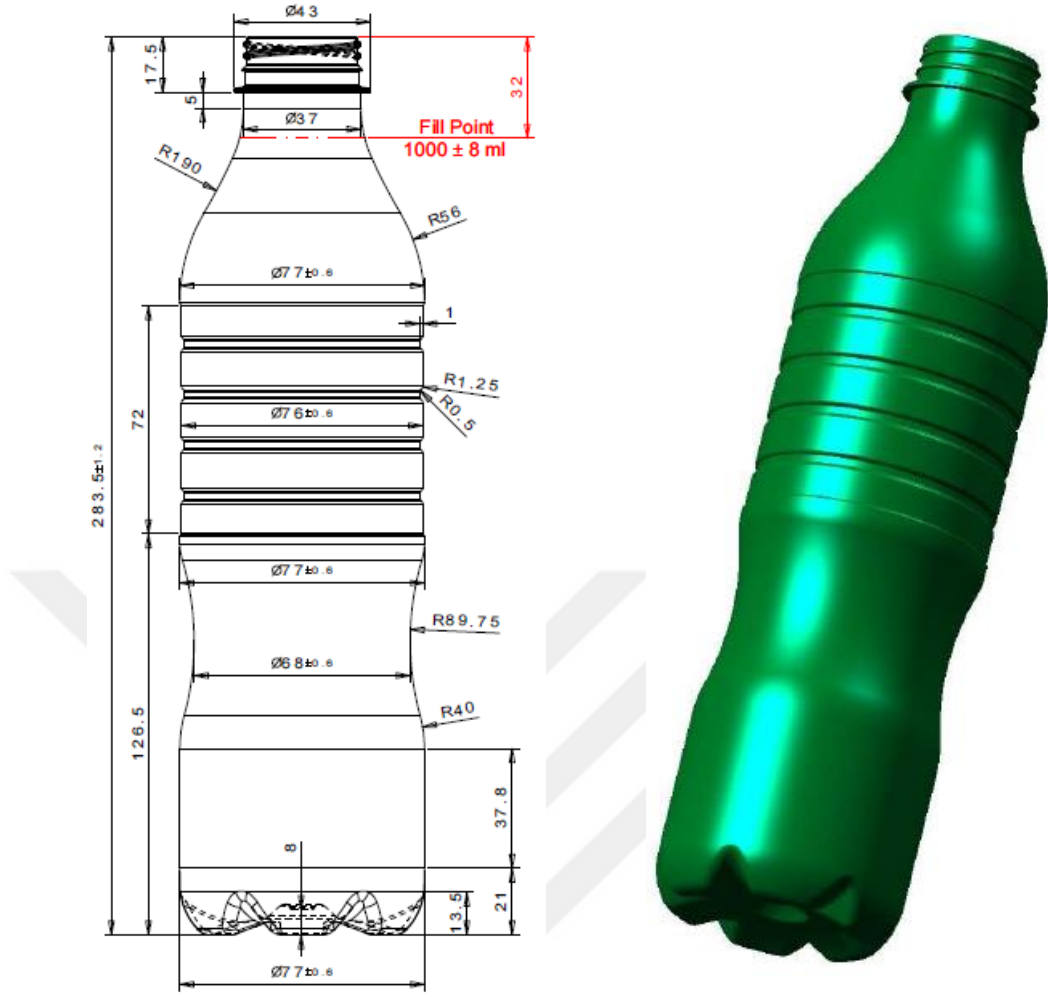
Şekil 4.2. Dolum öncesi sürece ait akış şeması



Şekil 4.3. Dolum ve paketleme sürecine ait akış şeması

İlk Mevsim Meyve Suları A.Ş. aseptik pet hattında müşterisi tarafından talep edilmiş olan yeni 1000 ml içecek ürününü, mevcut hattında yeni kalıp ve reçete yatırımları yapmadan var olan 1000 ml içecek üretim kalıplarını ve reçetelerini kullanarak, en düşük maliyetle ve en fazla müşteri beğenisini sağlayarak üretmek istemektedir. İşletmenin elindeki mevcut 1000 ml şişe tasarımı fason üretim yapmakta olduğu bir firmaya aittir. Bu sebeple bu şişe tasarımını kendi ürünlerinde ve yeni fason üretim yapacağı müşterilerine ait üretimlerde yasal olarak kullanamamaktadır. Söz konusu farklı ürünler için yeni şişe tasarımı yoluna gidilmesi, yeni kalıplar ve aseptik pet hattında yeni yatırımlar yapılmasına sebep olmaktadır. İşletme toplam maliyetini en küçükleme için yeni 1000 ml ürün tasarımını var olan 1000 ml şişe tasarımına ait kalıpları kullanabilecek şekilde tasarlamak istemektedir. Buna istinaden de mevcut şişe tasarımları üzerinde modifikasyon yapılma yoluna gidilmesi tercih edilmektedir. Üzerinde modifikasyon yapılacak referans şişenin teknik resmi ve katı resmi Şekil 4.4’de verilmiştir.

Bu referans şişe tasarımının taban çapı ve taban boyu üzerinde değişiklik yapılması kararlaştırılmıştır. Şişenin geometrik yapısından ötürü hacimsel hesaplamalar özel amaçlı, çizim için kullanılan yazılım üzerinden yapılmaktadır. Bu yazılım şirketin bünyesinde mevcut değildir ve şişe tasarımları için bir tedarikçi den hizmet alınmaktadır. Tedarikçi ile yapılan tasarım çalışmaları genel olarak deneme yanılma şeklindedir. Şöyle ki; verilen spesifikasyonlara göre tedarikçi yazılım üzerinden bir tasarım yapmakta ve bu tasarıma ait şişirme kalıplarını üretilip göndermektedir. Bu şişirme kalıplarında üretilen yüzlerce şişe, aseptik dolum hattına alınarak içerisine su dolumu yapılmak suretiyle tasarım test edilmektedir. Bu test sonucunda tedarikçinin tasarımına onay verilmekte veya düzeltmeler talep edilmektedir. Eğer onay verilmezse bahsedilen aşamalar tekrar edilmektedir. Bu hem zaman kaybı hem de maliyet oluşturmaktadır. Örnek şişirme kalıplarının üretiminin, şişelerin bu kalıplarda üretilmesi için harcanan preformların ve bu işlemler için gereken iş gücünün ve zamanın bir maliyeti vardır. Bu aşamada örnek tasarımın reddedilme ihtimalinin en aza indirilmesi için tedarikçi firmaya birçok açıdan uygun olması muhtemel yeni şişe spesifikasyonlarının verilebilmesi için bir ön tasarım çalışmasına ihtiyaç vardır.



Şekil 4.4. Referans şişenin teknik ve katı resmi

Ayrıca bu tasarımın üretim hattında minimum modifikasyon ve kalıp yatırımına sebep olması ve üretim kaynaklarının en uygun şekilde kullanılabilmesine imkân sağlaması gerekmektedir. Özellikle shrinkleme makinesinde yeni mekanik ekipman ve şişeye uygun program (reçete) ihtiyacı oluşmaması, shrink makinesinde var olan 1000 ml şişe programının kullanılabilmesi talep edilmektedir. Paletleme makinesinde ise yine mevcut olan 1000 ml şişeye ait program kullanılarak paletleme yapılmak istenmektedir. Yeni tasarıma ait paletleme reçetesi maliyetine katlanılmak istenmemektedir. Çünkü, yeni reçete için paletleme makinesinin yurt dışı servisinden program ve servis desteği alınması gerekmektedir. Bu süreç yaklaşık 8 -12 hafta ek süre ihtiyacına sebep olmaktadır.

Dolum makinesinde ise şişe tasarımından, üretim hızını en yüksek yapması beklenmektedir. Ancak, dolumu yapılacak ürünün köpürme problemi olması sebebiyle, ürünün şişeye doldurulması esnasında herhangi bir taşmaya sebep olmayacak şekilde hızının seçilmesi gerekmektedir.

Tüm bunlarla birlikte ‘Satış ve Pazarlama Departmanı’ şişe tasarımının müşterinin beklentilerini karşılamasını ve müşteri beğenisinin en üst seviyede sağlanmasını istemektedir. Ayrıca fason üretim yaptırmak isteyen müşteri, ilk parti olarak daha düşük sayıda üretim yapılmasını talep etmekte, eğer ürünün pazardaki satış performansı beklentilerini karşılarsa üretimi devam ettirme, aksi takdirde üretimi durdurma seçeneklerini de göz önünde bulundurmaktadır. Bu sebeple, oluşacak olan sabit maliyetlere (kalıplar ve reçeteler) katlanmak istememektedir. Birim başına düşen sabit maliyetin artması durumunda da proje kârlı olmayacağından hayata geçirilemeyecektir. Bu tezin çıkış noktası ve motivasyonu bu ihtiyaçlardan kaynaklanmıştır.

Özetle, firma shrink ve paletleme makinelerinde yeni kalıp ve program yatırımları yapmamak için elindeki mevcut 1000 ml içecek şişesinin kalıp ve programlarını kullanmak istemektedir. Bu sebeple mevcut 1000 ml şişesine ait aşağıdaki hat ve müşteri beğenisi kısıtlarını göz önüne alarak yeni şişe tasarımını yapmak istemektedir:

- Şişe boyu 275 mm’den büyük, 300 mm’den küçük olmalıdır. Aksi halde paletleme makinesinde var olan 1000 ml şişeye ait program kullanılamayacaktır. Böyle bir durumda da yeni paletleme programı için ilave 56.775 TL + KDV kadar bir yatırıma ihtiyaç duyulacaktır.
- Şişe taban çapı 70 mm’den büyük, 80 mm’den küçük olmalıdır. Aksi halde shrink makinesinde var olan 1000 ml şişe programı kullanılamayacaktır. Böyle bir durumda da yeni shrink programı ve mekanik ekipman için ilave 110.000 TL + KDV kadar bir yatırıma ihtiyaç duyulacaktır.

- Silme hacim, bir şişenin kapak (ağız) kısmına kadar doldurulduğunda almış olacağı ürünün hacmine verilen isimdir. Tasarımı yapılan şişenin silme hacmi 1114 ml ve üzerinde olursa makine dolum hızı 30.000 şişe/saat olmaktadır. Silme hacim 1064,16 ml ve altında olursa da makine dolum hızı 18.000 şişe/saat in altında olmakta ve üretim hızı yavaşlamaktadır ki bu istenmeyen bir durumdur. Ayrıca silme hacim en az 1028,5 ml olmalıdır, çünkü daha düşük hacimlerde dolum 1000 ml olarak yapılamamaktadır.

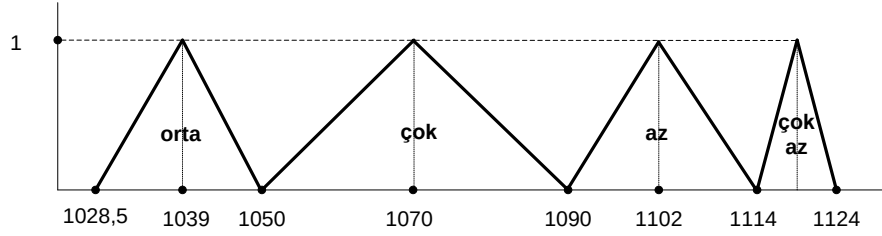
Yeni şişe tasarımında bu amaçların yanı sıra dikkate alınması gereken önemli bir nokta da, şişenin doluluk görüntüsünün müşteri üzerindeki etkisidir. Şöyle ki; şişe içerisindeki içecek tam 1000 ml bile olsa, kapak kısmının çok altında bir doluluk görüntüsüne sahip ise bu durum, müşteride olumsuz bir etki yapacak, şişenin az dolu olduğunu düşünmesine sebep olacaktır. Tam tersi, şişe kapak noktasına kadar dolu ise, müşteri şişeyi açtığında içecek dökülecek ve bu da olumsuz bir etki bırakacaktır. Bu noktada görüntünün müşteri beğenisi ile olan bağlantısının önemini de dikkate almak gerekmektedir. ‘Satış ve Pazarlama Departmanı’ ile yapılan ortak çalışmada şişenin silme hacminin değişimine göre müşteri beğenisinin ne olabileceği belirlenmiş ve Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Silme hacimlere bağlı müşteri beğenisini temsil eden bulanık ifadeler

Silme Hacim	Müşteri Beğenisi
1028,5 ml - 1050 ml	Orta
1050 ml - 1090 ml	Çok
1090 ml - 1114 ml	Az
1114 ml - 1124 ml	Çok Az

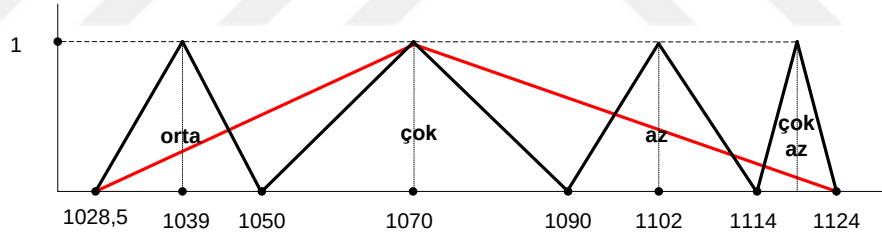
Bu durumda, müşteri beğenisini de şişe tasarım amaçları içerisinde değerlendirmek gerekmektedir. Fakat veriler, şişe tasarımı için geliştirilen matematiksel programlama modeline direkt olarak yazmaya uygun formatta değildir. Müşteri beğenisini gerçek anlamda temsil edebilecek verilerin elde edilebilmesi için, literatürde ürün tasarımında tercih edilen bir yöntem olan AT yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem kullanılırken, müşteri beğenisinin dilsel olarak tespit edilebilmesinden dolayı BAT yöntemi ile bu veriler geliştirilen matematiksel modele uygun formata dönüştürülmüş, durulaştırılmıştır.

Öncelikle ‘Satış ve Pazarlama Departmanı’ ile yapılan ortak çalışma neticesinde silme hacim ve müşteri beğenisi arasındaki ilişki Şekil 4.5’teki gibi üçgensel bulanık sayılar ile ifade edilmiştir.



Şekil 4.5. Silme hacim ve müşteri beğenisi arasındaki ilişkiyi temsil eden üçgensel bulanık sayılar

Daha sonra, istenen en düşük silme hacim değerinin 1028,5 ml ve en yüksek değerinin de 1124 ml olabilmesi göz önünde bulundurularak, tasarım alanı 1028,5 ml ile 1124 ml arasında üçgensel olarak belirlenmiştir. Tasarım alanı müşteri beğenisinin “çok” olduğu 1050 ml ile 1090 ml arasındaki orta nokta olan 1070 ml’de en üst noktaya ulaşacak şekilde Şekil 4.6’daki gibi ifade edilmiştir.



Şekil 4.6. Üçgensel tasarım alanı

Buna göre her bir üçgensel alanın (beğeni ifadesinin) bilgi içeriğini hesaplamamız gerekmektedir. Öncelikle 1028,5 ml ile 1050 ml arasındaki ‘Orta’ ile ifade edilmiş olan alanın bilgi içeriği Denklem 4.1 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$I_{\text{orta}} = \log_2 \left(\frac{\text{sistem alanı}}{\text{ortak alan}} \right) = \log_2 \left(\frac{10,75}{4,945} \right) = 1,12 \quad (4.1)$$

1050 ml ile 1090 ml arasındaki ‘Çok’ ile ifade edilmiş olan alanın bilgi içeriği Denklem 4.2 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$I_{\text{çok}} = \log_2 \left(\frac{\text{sistem alanı}}{\text{ortak alan}} \right) = \log_2 \left(\frac{20}{20} \right) = 0 \quad (4.2)$$

1090 ml ile 1114 ml arasındaki ‘Az’ ile ifade edilmiş olan alanın bilgi içeriği Denklem 4.3 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$I_{\text{az}} = \log_2 \left(\frac{\text{sistem alanı}}{\text{ortak alan}} \right) = \log_2 \left(\frac{12}{7,67} \right) = 0,632 \quad (4.3)$$

1114 ml ile 1124 ml arasındaki ‘Çok Az’ ile ifade edilmiş olan alanın bilgi içeriği Denklem 4.4 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$I_{\text{çok az}} = \log_2 \left(\frac{\text{sistem alanı}}{\text{ortak alan}} \right) = \log_2 \left(\frac{5}{0,75} \right) = 2,74 \quad (4.4)$$

Sonuç olarak silme hacimlerin temsil ettiği üçgensel alanların bilgi içerikleri Tablo 4.2’deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 4.2. Silme hacimlerin temsil ettiği bilgi içerikleri

Silme Hacim	Mevcut Bilgi İçeriği
1028,5 ml - 1050 ml	1,12
1050 ml - 1090 ml	0
1090 ml - 1114 ml	0,632
1114 ml - 1124 ml	2,74

Yapılan bu işlemler sayesinde belirli silme hacimlere göre değişen müşteri beğenisini, geliştirilen matematiksel modelde temsil edebilecek değerlere ulaşılmıştır. Örneğin; 1028,5 ml – 1050 ml silme hacmin temsil ettiği üçgensel bölgenin bilgi içeriği, tasarım alanıyla olan kesişim değerine göre ‘1,12’ olarak bulunmuştur. Ya da; 1050 ml -1090 ml silme hacmin temsil ettiği üçgensel bölgenin bilgi içeriği, tasarım alanıyla olan tam kesişim değerine göre ‘0’ olarak bulunmuştur.

AT tekniğinde, bilgi içeriği düşük olan alternatif seçilir. Ya da bir başka deyişle, bir ifadenin sistem alanıyla, tasarım alanının en yüksek kesişim değerini sağlaması o ifadeyi temsil eden durumun ne kadar tercih edilebileceğini gösterir. AT’deki logaritma işleminden dolayı sistem alanı ve tasarım alanı arasındaki en yüksek uyumluluğu

sağlayan ifadenin bilgi içeriği en düşük çıkar. Dolayısıyla, bilgi içeriğinin yüksek olması olumsuz etki yapar. Geliştirilen matematiksel modelde ise, müşteri tarafından beğenilmeyen bir silme hacim değerinin sapmasının çözümde en yüksek değeri alması gerekir. Burada AT ve önerilen matematiksel modelin amaç fonksiyonu arasında ters bir ilişki söz konusudur. Buna bağlı olarak, bilgi içerikleri önerilen matematiksel modelin amaç fonksiyonuna yazılırken çarpma işlemine göre tersleri alınmıştır. Bu işlem yapıldıktan sonra da elde edilen içerikler 0-1 arasına çekilerek normalize edilmiştir.

Örneğin; 1028,5 ml – 1050 ml ve 1114 ml – 1124 ml silme hacim aralıklarını karşılaştıralım. Bilgi içeriklerine göre 1028,5 ml - 1050 ml silme hacim aralığı diğerine göre daha tercih edilebilir bir alternatiftir. Dolayısıyla matematiksel modelin sonucunda da beklenen, bu değerden sapmaların diğerinden daha az olmasıdır. Eğer 1028,5 ml-1050 ml silme hacim değerine ait sapma değişkenlerini (S_1^+ ve S_1^-) temsil eden 0-1 tam sayılı değişkenlerin (Sy_1^+ ve Sy_1^-) katsayısı olarak 1,12, diğer 1114 ml-1124 ml silme hacim değerine ait sapma değişkenlerini (S_4^+ ve S_4^-) temsil eden 0-1 tam sayılı değişkenlerin (Sy_4^+ ve Sy_4^-) katsayısı olarak 2,74 yazarsak; amaç fonksiyonu minimum olduğundan 1114 ml - 1124 ml silme hacim değerinden sapmaların sayısını en küçükler. Oysaki beklenen 1028,5 ml – 1050 ml silme hacim değerinden sapmaların sayısının en küçüklenmesidir. Burada zıt bir ilişki söz konusu olduğundan, ilgili bilgi içeriklerinin çarpma işlemine göre tersi matematiksel modelin amaç fonksiyonuna ilgili sapmaları temsil eden 0-1 tam sayılı değişkenlerin katsayısı olarak düşünülmüştür. Bu değerler en büyük bilgi içeriğinin tersine bölünerek de 0-1 arasına çekilmek suretiyle normalize edilmiştir. Buna göre sapmaları temsil eden 0-1 değişkenlerin katsayısı amaç fonksiyonunda Tablo 4.3'deki gibi bulunmuştur:

Tablo 4.3.Silme hacimlerin temsil ettiği normalize bilgi içerikleri

Silme Hacim	Mevcut Bilgi İçeriği	Bilgi İçeriklerinin Çarpmaya Göre Ters	Normalize Değerler
1028,5 ml - 1050 ml	1,12	0,893	0,565
1050 ml - 1090 ml	0	Tanımsız* (∞ olarak alınmıştır)	M
1090 ml - 1114 ml	0,632	1,582	1
1114 ml - 1124 ml	2,74	0,35	0,221

Yeni tasarımda dikkat edilmesi gereken bir başka husus da müşteri beğenisinin yanı sıra, yeni şişeye ait bazı ölçülerin aseptik dolum hattında modifikasyon maliyeti oluşturup oluşturmamasıdır. Referans alınan silme hacmi 1028,5 ml olan şişenin silindirik bölgesinin çapı 77 mm, boyu da 283,5 mm'dir. Aseptik hatta 70 mm'nin altında 80 mm'nin üzerinde çapa sahip, 275 mm'nin altında 300 mm'nin üzerinde boya sahip şişe dolumu yapılması durumunda oluşacak maliyetlerden daha önce söz etmiştik. Buna istinaden, referans şişenin silindirik bölgesinin çapı 3 mm'den daha fazla azaltılıp, 7 mm'den daha fazla artırılmaz. Boyu da 8,5 mm'den daha fazla azaltılıp, 16,5 mm'den daha fazla artırılmaz. Bu sınırların dışına çıkılmak gerekirse hatta modifikasyon yapılması gerekir. Bu sınırlar ve aşılması halinde bir maliyetinin olacağı da matematiksel modelde ifade edilmiştir.

Müşteri beğenisi, hat spesifikasyonlarının dışında bir de üretim hızı parametresi şişe tasarımını etkilemektedir. Yapılan denemeler sonucunda silme hacmin hattın üretim hızına etki ettiği tespit edilmiştir. 1064,16 ml ve 1114 ml'lik silme hacimler üretim hızı için kritik değerlerdir. Yeni tasarlanan şişenin silme hacminin, mümkünse bu iki değer arasında olması istenmektedir. Bu durum da matematiksel modelde ayrıca dikkate alınmıştır.

Bu bilgilere göre şişe tasarımı yapılırken üç farklı amaca uygun şekilde karar vermek gerekmektedir. Bunlar:

- Aseptik dolum hattı en ve boy ölçü kısıtlarını aşmayan bir şişe tasarımı yapmak.
- Üretim hızını 18.000 şişe/saat ve 30.000 şişe/saat arasında tutabilmek için en az 1064,16 ml, en fazla 1114 ml silme hacme sahip şişe tasarımı yapmak.
- Müşterinin en fazla düzeyde beğenebileceği bir şişe tasarımı yapmak.

Görülüyor ki bu üç farklı amacın birimleri baz alındığında birbirinden farklı ve birbirinden bağımsız olmasına rağmen, aynı anda düşünülmesi gerekmektedir.

Herhangi bir metot veya yaklaşım kullanmadan bu hedefleri en uygun şekilde sağlayabilen, ya da yakınsayabilen tasarımı yapmak oldukça zordur. Bu sebeple söz konusu hedeflere en uygun tasarımı elde edebilmek için karma tam sayılı doğrusal olmayan bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Bu modelin amaç fonksiyonu bu üç hedefe de eşit oranda yakınsamayı temel almaktadır.

Geliştirilen hedef programlama modelinin amaç fonksiyonları tamamen 0-1 tam sayılı değişkenlerden oluşacak şekilde düzenlenmiştir. Bu karar değişkenleri birimlerden bağımsız olduğundan birbiriyle toplanma yoluna gidilmiştir. Amaç fonksiyonundaki tüm karar değişkenleri ilgili yerlerde sapma olup olmadığının birer göstergesi olarak düşünüldüğünden, matematiksel modelin amaç fonksiyonunun çözüm değeri sapma miktarını değil sapma sayısını göstermektedir. Bu durumu pratik olarak yorumlamak mümkün değilse bile, burada yapılan işlemin sapma sayısını enküçüklemek olduğundan kısıtlardaki bağlantılı sapma değerlerini de mümkün olduğunca aşağı çekeceği söylenebilir. Geliştirilen matematiksel modeli anlatmadan önce, modeldeki değişkenlerin anlamları şöyledir:

Δ_1 : Yeni şişe tasarımının boyunun referans şişe tasarımının boyundan farkı (serbest değişken)

Δ_2 : Yeni şişe tasarımının çapının referans şişe tasarımının çapından farkı (serbest değişken)

$S_{max_1}^-$: Boydaki artışın olabilecek en büyük değerden negatif yönlü sapması

$S_{max_1}^+$: Boydaki artışın olabilecek en büyük değerden pozitif yönlü sapması

$y_1 = \begin{cases} 1 & \text{Tasarımın boyundaki artış en büyük değerden pozitif yönlü saptıysa} \\ 0 & \text{pozitif yönlü sapma yoksa} \end{cases}$

$S_{min_1}^-$: Boydaki azalışın olabilecek en küçük değerden negatif yönlü sapması

$S_{min_1}^+$: Boydaki azalışın olabilecek en küçük değerden pozitif yönlü sapması

$$z_1 = \begin{cases} 1 & \text{Tasarımın boyundaki azalış en küçük değerden negatif yönlü saptıysa} \\ 0 & \text{pozitif yönlü sapma yoksa} \end{cases}$$

$S_{\max_2^-}$: Çaptaki artışın olabilecek en büyük değerden negatif yönlü sapması

$S_{\max_2^+}$: Çaptaki artışın olabilecek en büyük değerden pozitif yönlü sapması

$$y_2 = \begin{cases} 1 & \text{Tasarımın çapındaki artış en büyük değerden pozitif yönlü saptıysa} \\ 0 & \text{pozitif yönlü sapma yoksa} \end{cases}$$

$S_{\min_2^-}$: Çaptaki azalışın olabilecek en küçük değerden negatif yönlü sapması

$S_{\min_2^+}$: Çaptaki azalışın olabilecek en küçük değerden pozitif yönlü sapması

$$z_2 = \begin{cases} 1 & \text{Tasarımın çapındaki azalış en küçük değerden negatif yönlü saptıysa} \\ 0 & \text{pozitif yönlü sapma yoksa} \end{cases}$$

$$H_1 = \begin{cases} 1 & \text{Tasarımın silme hacmi hattın hızını saatte 18.000 şişeye düşürüyorsa} \\ 0 & \text{aksi durumda} \end{cases}$$

$$H_2 = \begin{cases} 1 & \text{Tasarımın silme hacmi hattın hızını saatte 30.000 şişeye çıkarıyorsa} \\ 0 & \text{aksi durumda} \end{cases}$$

S_1^+ : Tasarımın 'orta' müşteri beğenisinin alt sınırından pozitif yönlü sapması

$$S_{y_1}^+ = \begin{cases} 1 & \text{Tasarım 'orta' müşteri beğenisinin alt sınırından pozitif yönlü saptıysa} \\ 0 & \text{aksi durumda} \end{cases}$$

S_1^- : Tasarımın 'orta' müşteri beğenisinin üst sınırından negatif yönlü sapması

$$S_{y_1}^- = \begin{cases} 1 & \text{Tasarım 'orta' müşteri beğenisinin üst sınırından negatif yönlü saptıysa} \\ 0 & \text{aksi durumda} \end{cases}$$

S_2^+ : Tasarımın 'çok' müşteri beğenisinin alt sınırından pozitif yönlü sapması

$$S_{y_2}^+ = \begin{cases} 1 & \text{Tasarım 'çok' müşteri beğenisinin alt sınırından pozitif yönlü saptıysa} \\ 0 & \text{aksi durumda} \end{cases}$$

$$Z_{enaz} = G_1 + G_2 + G_3 \quad (4.5)$$

$$G_1 - (0,5161(y_1 + z_1) + y_2 + z_2) = 0 \quad (4.6)$$

$$G_2 - (H_1 + H_2) = 0 \quad (4.7)$$

$$G_3 - (0,565(Sy_1^+ + Sy_1^-) + M(Sy_2^+ + Sy_2^-) + 1(Sy_3^+ + Sy_3^-) + 0,221(Sy_4^+ + Sy_4^-)) \quad (4.8)$$

Denklem 4.5 amaç fonksiyonu denklemdir ve Denklem 4.6, 4.7 ve 4.8’de ayrı ayrı yazılmış olan amaçları enküçükler. G_1 ile sembolize amaç, aseptik dolum hattında dolumu yapılabilecek bir şişe tasarımının çap ve boy ölçülerine göre ağırlıklı yeni yatırım ihtiyacını ifade eder. Buradaki y_1 ve z_1 değişkenleri diğer değişkenlere göre 0,5161 (1,18(56.775)TL/1,18(110.000)TL) ile ağırlıklandırılmıştır. Çünkü y_1 ve z_1 ’in 1 değerini alması halinde yapılması gereken yatırım ile y_2 ve z_2 ’nin 1 değerini alması halinde yapılması gereken yatırım değerleri eşit değildir. Buna göre aralarında, yatırım oranlarına göre bir ağırlıklandırma söz konusudur. G_2 ile sembolize edilen amaç, bir şişe tasarımının aseptik dolum hattında 30.000 şişe/saat dolum hızının üzerinde ya da 18.000 şişe/saat dolum hızının altında çalışıp çalışmayacağını ifade eder. G_3 ile sembolize edilen amaç ise, bir şişenin silme hacmiyle ilişkili olarak müşteri beğenisinin belirlenen ifadelerden ağırlıklı sapma sayısını ifade eder. Burada bulanık olarak ifade edilen müşteri beğenileri, BAT tekniği kullanılarak durulaştırılmış ve elde edilen bilgi içerikleri matematiksel modelin amaç fonksiyonu ile zıt ilişkili olması sebebiyle, çarpmaya göre tersleri alınarak ilgili sapmaya bağlı 0-1 tam sayılı değişkenlere ağırlık olarak yazılmıştır.

$$\Delta_1 + Smax_1^- - Smax_1^+ = 16,5 \quad (4.9)$$

$$Smax_1^+ - My_1 \leq 0 \quad (4.10)$$

Denklem 4.9 ve 4.10, Δ_1 ’in yani yeni tasarımının boyunda yapılacak olan pozitif yönlü değişimin 16,5’ten büyük olması durumunu amaç fonksiyonuna yansıtır.

$$\Delta_1 + S_{min_1^-} - S_{min_1^+} = -8,5 \quad (4.11)$$

$$S_{min_1^-} - Mz_1 \leq 0 \quad (4.12)$$

Denklem 4.11 ve 4.12, Δ_1 'in yani yeni tasarımının boyunda yapılacak olan negatif yönlü değişimin 8,5'ten büyük olması durumunu amaç fonksiyonuna yansıtır.

$$\Delta_2 + S_{max_2^-} - S_{max_2^+} = 3 \quad (4.13)$$

$$S_{max_2^+} - My_2 \leq 0 \quad (4.14)$$

Denklem 4.13 ve 4.14, Δ_2 'nin yani yeni tasarımının çapında yapılacak olan pozitif yönlü değişimin 3'ten büyük olması durumunu amaç fonksiyonuna yansıtır.

$$\Delta_2 + S_{min_2^-} + S_{min_2^+} = -7 \quad (4.15)$$

$$S_{min_2^-} - Mz_2 \leq 0 \quad (4.16)$$

Denklem 4.15 ve 4.16, Δ_2 'nin yani yeni tasarımının çapında yapılacak olan negatif yönlü değişimin 7'den büyük olması durumunu amaç fonksiyonuna yansıtır.

$$\left((0,5(77 + \Delta_2))^2 (\pi(45,3 + \Delta_1)) \right) - (\pi(1482,5)(45,3)) \leq 95500 \quad (4.17)$$

Denklem 4.17, silme hacmin 1124 ml'yi aşamayacağını ifade eder.

$$\left((0,5(77 + \Delta_2))^2 (\pi(45,3 + \Delta_1)) \right) - (\pi(1482,5)(45,3)) \geq 0 \quad (4.18)$$

Denklem 4.18, silme hacmin 1028,5 ml'nin altına düşmeyeceğini ifade eder.

$$35660 - \left((0,5(77 + \Delta_2))^2 (\pi(45,3 + \Delta_1)) \right) - (\pi(1482,5)(45,3)) - MH_1 \leq 0 \quad (4.19)$$

Denklem 4.19, silme hacim 1064,16 ml'nin altına düşerse üretim hızının 18.000 şişe/saat olacağını ifade eder.

$$\left((0,5(77 + \Delta_2))^2 (\pi(45,3 + \Delta_1)) \right) - (\pi(1482,5)(45,3)) - 85500 - MH_2 \leq 0 \quad (4.20)$$

Denklem 4.20, silme hacim 1114 ml'nin üzerine çıkarsa üretim hızının 30.000 şişe/saat olacağını ifade eder.

$$\left((0,5(77 + \Delta_2))^2 (\pi(45,3 + \Delta_1)) \right) - (\pi(1482,5)(45,3)) - S_1^+ = 0 \quad (4.21)$$

$$S_1^+ - MSy_1^+ \leq 0 \quad (4.22)$$

Denklem 4.21, 'orta' müşteri beğenisinin alt sınırından, yani 1028,5 ml'lik silme hacim noktasından pozitif yönlü sapmayı temsil etmektedir. Buradaki sapma değişkeni sadece yukarı yönlü olmak zorundadır zira 1028,5 ml'lik silme hacmin altında dolum yapılamamaktadır. Denklem 4.22 da bu sapmayı amaç fonksiyonunda temsil edecek 0-1 tam sayılı değişkenin alacağı değeri hesaplamaktadır.

$$\left((0,5(77 + \Delta_2))^2 (\pi(45,3 + \Delta_1)) \right) - (\pi(1482,5)(45,3)) + S_1^- - S_2^+ = 21500 \quad (4.23)$$

$$S_1^- - MSy_1^- \leq 0 \quad (4.24)$$

$$S_2^+ - MSy_2^+ \leq 0 \quad (4.25)$$

Denklem 4.23 'orta' müşteri beğenisinin üst sınırından, yani 1050 ml'lik silme hacimden negatif yönlü sapma ile 'çok' müşteri beğenisinin alt sınırından yani 1050 ml'lik silme hacimden pozitif yönlü sapmayı temsil etmektedir. Denklem 4.24 ve 4.25 de 1050 ml'lik silme hacim değerinden negatif ve pozitif yönlü sapmaları amaç fonksiyonunda temsil edecek 0-1 tam sayılı değişkenlerin alacağı değerleri hesaplamaktadır.

$$\left((0,5(77 + \Delta_2))^2(\pi(45,3 + \Delta_1))\right) - (\pi(1482,5)(45,3)) + S_2^- - S_3^+ = 61500 \quad (4.26)$$

$$S_2^- - MSy_2^- \leq 0 \quad (4.27)$$

$$S_3^+ - MSy_3^+ \leq 0 \quad (4.28)$$

Denklem 4.26 ‘çok’ müşteri beğenisinin üst sınırından, yani 1090 ml’lik silme hacimden negatif yönlü sapma ile ‘az’ müşteri beğenisinin alt sınırından yani 1090 ml’lik silme hacimden pozitif yönlü sapmayı temsil etmektedir. Denklem 4.27 ve 4.28 de 1090 ml’lik silme hacim değerinden negatif ve pozitif yönlü sapmaları amaç fonksiyonunda temsil edecek 0-1 tam sayılı değişkenlerin alacağı değerleri hesaplamaktadır.

$$\left((0,5(77 + \Delta_2))^2(\pi(45,3 + \Delta_1))\right) - (\pi(1482,5)(45,3)) + S_3^- - S_4^+ = 85500 \quad (4.29)$$

$$S_3^- - MSy_3^- \leq 0 \quad (4.30)$$

$$S_4^+ - MSy_4^+ \leq 0 \quad (4.31)$$

Denklem 4.29 ‘az’ müşteri beğenisinin üst sınırından, yani 1114 ml’lik silme hacimden negatif yönlü sapma ile ‘çok az’ müşteri beğenisinin alt sınırından yani 1114 ml’lik silme hacimden pozitif yönlü sapmayı temsil etmektedir. Denklem 4.30 ve 4.31 de 1114 ml’lik silme hacim değerinden negatif ve pozitif yönlü sapmaları amaç fonksiyonunda temsil edecek 0-1 tam sayılı değişkenlerin alacağı değerleri hesaplamaktadır.

$$\left((0,5(77 + \Delta_2))^2(\pi(45,3 + \Delta_1))\right) - (\pi(1482,5)(45,3)) + S_4^- = 95500 \quad (4.32)$$

$$S_4^- - MSy_4^- \leq 0 \quad (4.33)$$

Denklem 4.32 ‘çok az’ müşteri beğenisinin üst sınırından, yani 1124 ml’lik silme hacimden negatif yönlü sapmayı temsil etmektedir. Denklem 4.33 de bu sapmayı amaç fonksiyonunda temsil edecek 0-1 tam sayılı değişkenin alacağı değeri hesaplamaktadır.

$$S_1^+, S_1^-, S_2^+, S_2^-, S_3^+, S_3^-, S_4^+, S_4^-, S_{max1}^+, S_{max1}^-, S_{min1}^-, S_{min1}^+, S_{max2}^-, S_{max2}^+, S_{min2}^-, S_{min2}^+ \geq 0 \quad (4.34)$$

$$y_1, z_1, y_2, z_2, H_1, H_2, Sy_1^+, Sy_1^-, Sy_2^+, Sy_2^-, Sy_3^+, Sy_3^-, Sy_4^+, Sy_4^- \in \{0,1\} \quad (4.35)$$

$$\Delta_1, \Delta_2 \in R \quad (4.36)$$

Denklem 4.34, negatif ve pozitif yönlü sapmaların 0 veya pozitif değer almasını belirtir. Denklem 4.35, hat spesifikasyonlarının aşılması durumu, hattın hız faktörü ve negatif ve pozitif yönlü sapmaların amaç fonksiyonunda temsil edildiği değişkenlerin 0-1 tam sayılı olduğunu belirtir. Denklem 4.36 da şişe tasarımının boyunda ve çapında yapılacak olan değişimin negatif ve pozitif yönlü olabilmesinden dolayı tüm reel sayıları alabileceğini ifade eder.

Geliştirilen karma tam sayılı doğrusal olmayan hedef programlama modeli, verilen parametreler altında çalıştırıldığında elde edilen yeni şişe tasarımında $\Delta_1 = 10,114$ mm, $\Delta_2 = 2,12$ mm ve Silme Hacim= 1090,002 ml olacaktır. Bu tasarım hem hat spesifikasyonlarına, hem üretim hızı açısından istenilen niteliklere, hem de müşteri beğenisi olarak ‘çok’ olarak ifade edilen tanım aralığına uygundur.

Ayrıca optimize edilen üç amacı birbirinden bağımsız olarak dikkate alıp geliştirilen modelin bize önereceği şişe tasarımlarını karşılaştırarak aradaki farkları görebilir, istediğimiz ifadeleri matematiksel modeldeki denklemlerin doğru temsil edip edemediklerini de değerlendirebiliriz.

Senaryo 1: Sadece hat spesifikasyonlarının dikkate alındığı durum

Geliştirilen matematiksel modelde sadece hat spesifikasyonları dikkate alınır, yani sadece G_1 amacı enküçüklendiği takdirde (hat hızı ve müşteri beğenisi dikkate alınmaz ise) modelin amaç fonksiyon değeri Denklem 4.5' deki gibi olacaktır:

$$Z_{enaz} = 0,5161(y_1+z_1)+y_2+z_2 \quad (4.5')$$

Bunun yanı sıra Denklem 4.9 ve Denklem 4.18 ile bunların arasındaki tüm denklemler kullanılacaktır.

Ek olarak Denklem 4.35' ile Denklem 4.36'ya göre çözüm yapılacaktır.

$$y_1, z_1, y_2, z_2 \in \{0,1\} \quad (4.35')$$

Sonuçta elde edilen yeni şişe tasarımında $\Delta_1 = 1,235$ mm, $\Delta_2 = 1,235$ mm ve Silme Hacim= 1041,258 ml olacaktır. Bu durumda hat hızı 18.000 şişe/ saat'in altına düşecek ve silme hacme bağlı müşteri beğenisi de 'orta' olacaktır.

Senaryo 2: Hat spesifikasyonlarının yanı sıra üretim hızının da dikkate alındığı durum

Geliştirilen matematiksel modelde hat spesifikasyonlarının yanı sıra üretim hızı da dikkate alınır, yani $G_1 + G_2$ amacı enküçüklendiği takdirde (müşteri beğenisi dikkate alınmaz ise) modelin amaç fonksiyon değeri Denklem 4.5'' deki gibi olacaktır:

$$Z_{enaz} = (0,5161(y_1+z_1)+y_2+z_2)+(H_1+H_2) \quad (4.5'')$$

Bunun yanı sıra Denklem 4.9 ve Denklem 4.20 ile aradaki tüm denklemler kullanılacaktır.

Ek olarak Denklem 4.35'' ile Denklem 4.36'a göre çözüm yapılacaktır.

$$y_1, z_1, y_2, z_2, H_1, H_2 \in \{0,1\} \quad (4.35'')$$

Sonuçta elde edilen yeni şişe tasarımında $\Delta_1 = 3,785$ mm, $\Delta_2 = 2,981$ mm ve Silme Hacim= 1064,16 ml olacaktır. Bu durumda hat hızı 18.000 şişe/ saat'in altına düşmeyecek ve silme hacme bağlı müşteri beğenisi de 'çok' olacaktır. Burada müşteri beğenisinin artması, hız kısıtının alt sınırının müşteri beğenisinin 'çok' olduğu tanım aralığında olmasından kaynaklanmaktadır. Sonuç yorumlandığında iyi bir çözüm elde edildiği söylenebilir.

Senaryo 3: Hat spesifikasyonlarının yanı sıra müşteri beğenisinin de dikkate alındığı durum

Geliştirilen matematiksel modelde hat spesifikasyonlarının yanı sıra müşteri beğenisi de dikkate alınır, yani $G_1 + G_3$ amacı enküçüklendiği takdirde (hat üretim hızı dikkate alınmaz ise) modelin amaç fonksiyon değeri Denklem 4.5''' deki gibi olacaktır:

$$Z_{\text{enaz}} = (0,5161(y_1 + z_1) + y_2 + z_2)(0,565(Sy_1^+ + Sy_1^-) + M(Sy_2^+ + Sy_2^-) + 1(Sy_3^+ + Sy_3^-) + 0,221(Sy_4^+ + Sy_4^-)) \quad (4.5''')$$

Bunun yanı sıra, Denklem 4.9 ve Denklem 4.18 ile bunların arasındaki tüm denklemler ve Denklem 4.21 ve Denklem 4.33 ile bunların arasındaki tüm denklemler kullanılacaktır.

Ek olarak Denklem 4.34, 4.35''' ve 4.36'ya göre çözüm yapılacaktır.

$$y_1, z_1, y_2, z_2, Sy_1^+, Sy_1^-, Sy_2^+, Sy_2^-, Sy_3^+, Sy_3^-, Sy_4^+, Sy_4^- \in \{0,1\} \quad (4.35''')$$

Sonuçta elde edilen yeni şişe tasarımında $\Delta_1 = 10,114$ mm, $\Delta_2 = 2,12$ mm ve Silme Hacim= 1090,002 ml olacaktır. Bu tasarım parametreleri tüm amaçların birlikte sağlandığı matematiksel modelin ürettiği tasarım parametreleri ile aynıdır. Hem hat spesifikasyonlarına uygun, hem üretim hızı açısından istenilen niteliklere uygun hem de müşteri beğenisi olarak 'çok' olarak ifade edilen tanım aralığına uygundur.

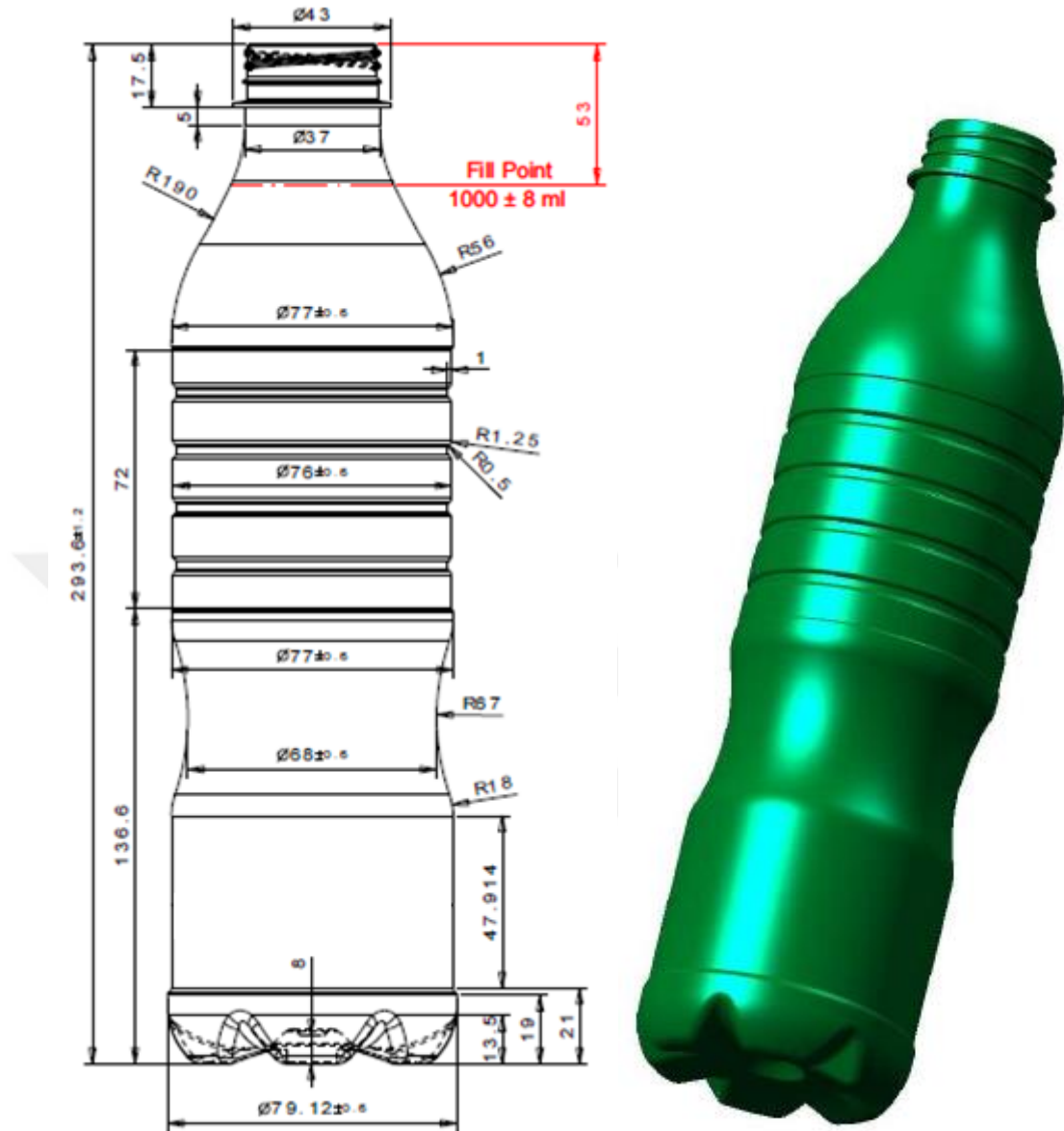
Amaçlar üzerinde geliştirilen tüm senaryolardan elde edilen sonuçlar Tablo 4.4'te özetlenmiştir.

Tablo 4.4. Tüm senaryolardan elde edilen sonuçlar

	Δ_1 (mm)	Δ_2 (mm)	Silme Hacim (ml)	Yorum
Tüm Amaçlar: $Z_{enaz}=G_1+G_2+G_3$	10,114	2,12	1090,002	Hat Spesifikasyonları: Uygun Üretim Hızı: 18.000-30.000 Müşteri Beğenisi: Çok
Senaryo 1: $Z_{enaz}=G_1$	1,235	1,235	1041,258	Hat Spesifikasyonları: Uygun Üretim Hızı: 18.000 altı Müşteri Beğenisi: Orta
Senaryo 2: $Z_{enaz}=G_1+G_2$	3,785	2,981	1064,16	Hat Spesifikasyonları: Uygun Üretim Hızı: 18.000-30.000 Müşteri Beğenisi: Çok
Senaryo 3: $Z_{enaz}=G_1+G_3$	10,114	2,12	1090,002	Hat Spesifikasyonları: Uygun Üretim Hızı: 18.000-30.000 Müşteri Beğenisi: Çok

Sonuç olarak Senaryo 3'de elde edilen şişe tasarım parametreleri ile tüm amaçların düşünülerek elde edilen tasarım parametreleri aynı bulunmuştur. Bunun sebebi müşteri beğenisini sağlayan girdilerin aynı zamanda istenen üretim hattı hızı girdilerini sağlamasıdır. Bu durumun tersinin de mümkün olduğunu Senaryo 2'de görmekteyiz. Müşteri beğenisinin dikkate alınmadığı Senaryo 2'de elde edilen tasarımda müşteri beğenisinin 'çok' olarak ifade edilen tanıma uygun bulunmasının da aynı sebepten dolayı gerçekleştiğini söyleyebiliriz.

Üretim hattı hızı konusu bu problemde bir aralık olarak tanımlanmıştır. Çalışmayı daha da derinleştirerek, hızı etkileyen parametrelerin ayrıca araştırılıp modelde temsil edilmesi mümkündür. Böylece tüm amaçların dikkate alındığı durum ile Senaryo 3 arasında çözüm anlamında fark olması da muhtemel olacaktır. Ayrıca burada sonuçlara bakılarak kabaca, 1090,002 ml'lik silme hacmin 1064,16 ml'lik silme hacme göre hatta daha hızlı çalıştırılabileceğinden (üretim hızı faktörü bakımından) dolayı tercih edilebileceği söylenebilir. 1090,002 ml hacmindeki şişe tasarımının teknik resmi Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. 1090,002 ml hacmindeki şişe tasarımının teknik resmi

BÖLÜM 5. SONUÇ

Bu çalışmada içecek sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin şişe tasarımı problemi ele alınmıştır. Ele alınan ürün tasarımı probleminde birden fazla hedefin bir arada düşünülmesi gerektiğinden çözüm için hedef programlama yaklaşımı tercih edilmiştir. Bu hedefler mevcut üretim hattı spesifikasyonlarının değişmemesi, üretim hızının belirli değerler arasında kalması ve müşteri beğenisinin sağlanması olarak belirlenmiştir. Müşteri beğenisi hedefi, insanın doğal karar verme süreçlerini daha iyi ifade edebilmesi bakımından bulanık veriler altında dikkate alınmıştır. Bulanık veriler, hedef programlama modelinde kullanılmadan önce literatürde ürün ve sistem tasarımı problemlerinin çözümü için sıklıkla tercih edilen AT tekniğinden türetilmiş olan BAT tekniği bu çalışmada tercih edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada, müşteri beğenisi hedefine ait bulanık veriler BAT tekniği ile ele alınmış ve elde edilen değerler, söz konusu üç hedefi de dikkate alan karma tamsayılı doğrusal olmayan bir hedef programlama modeli üzerinden değerlendirilerek bir şişe tasarım problemi çözülmüştür.

Ürün tasarımı problemi için AT ve hedef programlama yaklaşımlarının ayrı ayrı kullanıldığı çalışmalara literatürde rastlamak mümkün olsa da, bu çalışmada birlikte kullanılan BAT ve doğrusal olmayan hedef programlama yöntemlerinin literatürde daha önce hiç birlikte kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu açıdan çalışma, ürün tasarımı probleminin ele alınışı ve çözümüyle farklı bir bakış açısı sunmakta ve literatüre katkı sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasının motivasyonunu oluşturan İlk Mevsim Meyvesuları A.Ş.'nin dışarıya fason olarak üreteceği, sonrasında seri üretime devam edip etmeyeceği belli olmayan bir ürün için karşı karşıya kaldığı şişe tasarım probleminin çözümü başarılı bir şekilde gerçekleştirilerek proje en düşük maliyetle tamamlanmıştır. Önerilen

çözüm sonucunda hat spesifikasyonları değişim maliyetlerinden kurtulmanın yanı sıra, klasik deneme yanılma yönteminden kaynaklanabilecek tekrarların sonucunda doğabilecek motivasyon, zaman, iş gücü kaybı, preform, enerji, deneme kalıbı maliyeti, vs. gibi tüm detay maliyetlerden de kaçınılmıştır.

Sonuç olarak tüm detaylı ölçüleri Şekil 4.8’de verilen üretim hızını istenen ölçüde tutabilecek, üretim hattı spesifikasyonlarını sağlayan ve müşteri memnuniyetini de ‘çok’ ifadesi ile sağlayabilen 1090,002 ml’lik silme hacimdeki şişe tasarımı elde edilerek üretim hattında deneme yapılmış ve onay almıştır.

Ayrıca optimize edilen üç hedef birbirinden bağımsız olarak dikkate alınıp geliştirilen modelin önerdiği şişe tasarımları karşılaştırılarak aradaki farklar incelenip, istediğimiz ifadelerin matematiksel modeldeki denklemleri doğru temsil edip edemedikleri de değerlendirilmiştir. Hedefler üzerinde geliştirilen tüm senaryolardan elde edilen sonuçlar Tablo 4.4’te özetlenmiştir.

Sadece mevcut üretim hattı spesifikasyonlarının değişmemesi hedefinin dikkate alındığı durum olan Senaryo 1’de elde edilen yeni şişe tasarımına ait sonuçlar $\Delta_1 = 1,235$ mm, $\Delta_2 = 1,235$ mm ve Silme Hacmi= 1041,258 ml olarak bulunmuştur. Bu durumda hat hızı 18.000 şişe/saat’in altına düşmüştür ve silme hacme bağlı müşteri beğenisi de ‘orta’ olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuç mevcut üretim hattı spesifikasyonlarını değiştirmeden yeni kalıp ve reçete yatırımı ihtiyacı oluşturmadan üretim yapma imkânı sağlamaktadır. Ancak üretim hızı için kabul edilebilir olarak belirlenen hedef aralığı sağlanmamaktadır. Üretim hızı hedefinin sağlanması birim ürün başına düşen sabit ve değişken maliyetler üzerinde etkilidir. Ayrıca müşteri beğenisi hedefini de ‘orta’ olarak sağlamış olması sebebiyle ürünün pazarda beklenen satış rakamlarına ulaşılabilirliği konusunda istenilen sonuçların alınabileceğine dair kesin bir kanaat oluşmamıştır. Bu sonuçlara göre projenin hayata geçirilmesi uygun olmayacaktır.

Mevcut üretim hattı spesifikasyonlarının değişmemesi ve üretim hızı hedeflerinin birlikte dikkate alındığı durum olan Senaryo 2’de elde edilen yeni şişe tasarımına ait

sonuçlar $\Delta_1 = 3,785$ mm, $\Delta_2 = 2,981$ mm ve Silme Hacim= 1064,16 ml olarak bulunmuştur. Bu durumda hat hızı 18.000 şişe/saat' in altına düşmemiştir. Silme hacme bağlı müşteri beğenisi de 'çok' olarak gerçekleşmiştir. Bu senaryoda müşteri beğenisinin artması, hız kısıtının alt sınırının müşteri beğenisinin 'çok' olduğu tanım aralığında olmasından kaynaklanmıştır. Elde edilen sonuç iyi bir çözüm olarak değerlendirilebilir ve projenin hayata geçirilmesi için uygun bulunabilir.

Mevcut üretim hattı spesifikasyonlarının değişmemesi ve müşteri beğenisi hedeflerinin birlikte dikkate alındığı durum olan Senaryo 3'te elde edilen yeni şişe tasarımına ait sonuçlar $\Delta_1 = 10,114$ mm, $\Delta_2 = 2,12$ mm ve Silme Hacim= 1090,002 ml olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar tüm hedeflerin birlikte sağlandığı tasarıma ait sonuçlarla aynıdır. Hem mevcut üretim hattı spesifikasyonlarının değişmemesi, hem üretim hızı açısından istenilen hedef aralığına uygun, hem de müşteri beğenisi olarak 'çok' olarak ifade edilen tanım aralığına uygundur.

Senaryo 3'te elde edilen şişe tasarım değerleri ile tüm hedeflerin dikkate alınmasıyla elde edilen tasarım değerleri aynı bulunmuştur. Bunun sebebi müşteri beğenisi hedefini sağlayan girdilerin aynı zamanda istenen üretim hattı hızı hedefi girdilerini sağlamasıdır. Bu durumu Senaryo 2'de de görmekteyiz. Senaryo 2'de müşteri beğenisi hedefi dikkate alınmamasına rağmen müşteri beğenisi 'çok' olarak ifade edilen tanım aralığında bulunmuştur.

Üretim hattı hızı hedefi bu problemde bir aralık olarak tanımlanmıştır. Çalışmayı daha da derinleştirerek, hızı etkileyen parametrelerin ayrıca araştırılıp modelde temsil edilmesi mümkün olabilir. Böylece tüm hedeflerin dikkate alındığı durum ile Senaryo 3 arasında çözüm anlamında fark olması da muhtemel olacaktır. Ayrıca burada sonuçlara bakılarak, 1090,002 ml'lik silme hacmin 1064,16 ml'lik silme hacme göre üretim hattının daha hızlı çalışmasını sağlayacağı tespiti yapılmıştır. Bu sebeple 1090,002 ml'lik silme hacme ait şişe tasarımı tercih edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Amin, G. R., Al-Muharrami, S., Toloo, M. 2019. A combined goal programming and inverse DEA method for target setting in mergers. *Expert Systems with Applications*, 115:412-417.
- Azaiez, M. N., Al-Sharif, S. S. 2005. A 0-1 goal programming model for nurse scheduling. *Computers & Operations Research*, 32(3):491-507.
- Babic, B., 1999. Axiomatic design of flexible manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 37(5): 1159–1173.
- Badri, M. A. 1999. Combining the analytic hierarchy process and goal programming for global facility location-allocation problem. *International Journal of Production Economics*, 62(3):237-248.
- Badri, M. A., Davis, D., Davis, D. 2001. A comprehensive 0-1 goal programming model for Project selection. *International Journal of Project Management*, 19(4):243-252.
- Bang, I. C., Heo, G. 2009. An axiomatic design approach in development of nanofluid coolants. *Applied Thermal Engineering*, 29:75-90.
- Baxter, J. E., McKay, A., Agouridas, V., Pennington, A. 2002. Supply chain design: an application of axiomatic design, *Proceeding of Second International Conference on Axiomatic Design*, June 10-11, Cambridge.
- Beng, L. G., Omar, B. 2014. Integrating aximatic design principles into sustainable product development. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 1(2):107-117.
- Blake, J. T., Carter, M. W. 2002. A goal programming approach to strategic resource allocation in acute care hospitals. *European Journal of Operational Research*, 140(3):541-561.
- Büyüközkan, G., Berkol, Ç. 2011. Designing a sustainable supply chain using an integrated analytic network process and goal programming approach in quality fuction deployment. *Expert System with Applications*, 38(11):13731-13748.

- Büyüközkan, G., Arsenyan, J., Ruan, D. 2012. Logistics tool selection with two-phase fuzzy multi criteria decision making: A case study for personel digital assistant selection. *Expert System with Applications*, 39:142-153.
- Calvete, H. I, Gale, C., Oliveros, M.-J., Sanchez-Valverde, B. 2007. A goal programming approach to vehicle routing problems with soft time windows. *European Journal of Operational Research*, 177(3):1720-1733.
- Cavique, M., Gonçalves-Coelho, A. M. 2009. Axiomatic design and HVAC systems: An efficient design decision-making criterion. *Energy and Buildings*, 41:146-153.
- Chen, J. W., Lam, W. S., Lam, W. H. 2017. Optimization on the financial management of the bank with goal programming model. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(6S):442-451.
- Choudhary, D., Shankar, R. 2014. A goal programming model for joint decision making of inventory lot-size, supplier selection and carrier selection. *Computers & Industrial Engineering*, 71:1-9.
- Cochran, D. S., Reynal, V. A. 1996. Axiomatic design of manufacturing systems. The Lean Aircraft Initiative Report Series.
- Cochran, D. S., Kim, Y. S., Kim, J. 2000. The alignment of performance measurement with the manufacturing system design, *Proceedings of ICAD2000, First International Conference on Axiomatic Design*, Cambridge, 115–122.
- Coello, C. A. C. 1999. A comprehensive survey of evolutionary-based multiobjective optimization techniques. *Knowledge and Information Systems*, 1:269-308.
- Cotoia, M., Johnson S. 2001. Applying the axiomatic approach to business process redesign. *Business Process Management Journal*, 7(4), 304 – 322.
- Çebi, S., Çelik, M., Kahraman, C. 2008. Gemi sistemleri için entegre bakım-onarım yönetimi gereksiniminin analizi. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 3(4):17-24.
- Çelik, M., Kahraman, C., Çebi, S., Er, I. D. 2009. Fuzzy axiomatic design-based performance evaluation model for docking facilities in shipbuilding industry: The case of Turkish shipyards. *Expert systems with Applications*, 36:599-615.
- Dağdeviren, M., Eren, T. 2001. tedarikçi firma seçiminde analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemlerinin kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16(2):41-52.
- Durmuşoğlu, M. B., Kulak, O. 2008. A methodology for the design of Office cells using axiomatic design principles. *Omega*, 36(4): 633-652.

- Ediz, A., Yağdır, Y. 2009. Hedef programlama tekniği ile menü planlaması. Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11(1):45-74.
- Elmas, Ç. 2003. Bulanık mantık denetleyiciler: Kuram uygulama, sinirsel bulanık mantık. Seçkin Yayıncılık.
- Gabriel-santos, A., Gonçalves-Coelho, A. M., Santos, P., Fradinho, J., Mourao, A. 2015. Redesigning a manufacturing system based on functional independence: the case of a tree nursery. 9th International Conference on Axiomatic Design-ICAD'15, 34:206-211.
- Garcia-Martinez, G., Guijjaro, F., Poyatos, J. A. 2019. Measuring the social responsibility of European companies: a goal programming approach. International Transactions in Operational Research, 26: 1074-1095.
- Ghoseiri, K., Ghannadpour, S. F. 2010. Multi-objective vehicle routing problem with time windows using goal programming and genetic algorithm. Applied Soft Computing, 10(4): 1096-1107.
- Gonçalves-Coelho, A. M., Mourao, A. J. F. 2007. Axiomatic design as support for decision-making in a design for manufacturing context: A case study. Int. J. Production Economics, 109:81-89.
- Goodman, D. A. 1974. A goal programming approach to aggregate planning of production and work force. Management Science, 20(12): 1569-1575.
- Gökçen, H., Erel, E. 1997. A goal programming approach to mixed-model assembly line balancing problem. International Journal of Production Economics, 48: 177-185.
- Gökçen, H., Ağpak, K. 2006. A goal programming approach to simple U-line balancing problem. European Journal of Operational Research, 171(2): 577-585.
- Gülenç, İ. F., Karabulut, B. 2005. Doğrusal hedef programlama ile bir üretim planlama probleminin çözümü. Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 9(1): 55-68.
- Gür, Ş., Hamurcu, M., Eren T. 2017. Ankara'da Monoray projelerinin analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemleri ile seçimi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(4): 437-443.
- Helander, M. G., Lin, L. 2002. Axiomatic design in ergonomics and an extension of the information axiom. Journal of Engineering Design, 13(4): 321-339.
- Hemaida, R. S. 1990. A goal programming model for transshipment problem. Saint Louis University, Doktora Tezi.

- Heo, G., Lee, S. K. 2007. Design evaluation of emergency core cooling system using axiomatic design. *Nuclear Engineering and Design*, 237:38-46.
- Houshmand, M., Jamshidnezhad, B. 2002. Conceptual design of lean production systems through an axiomatic design, *Proceedings of ICAD2002, Second International Conference on Axiomatic Design, Cambridge*, 78-86.
- Houshmand, M., Jamshidnezhad, B. 2006. An extended model of design process of lean production systems by means of process variables. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22: 1–16.
- Ignizio, J. P. 1978. A review of goal programming: A tool for multiobjective analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 29(11):1109-1119.
- Jadidi, O., Cavalieri, S., Zolfaghari, S. 2015. An improved multi-choice goal programming approach for supplier selection problems. *Applied Mathematical Modelling*, 39(14):4213-4222.
- Jang, B. S. ,Yang, Y. S. ,Song, Y. S. ,Yeun,Y. S. Heedo, S. 2002. Axiomatic design approach for marine design problems. *Marine Structures*, 15: 35–56.
- Janthong, N., Brissaud, D., Butdee, S. 2010. Combining axiomatic design and case-based reasoning in an innovative design methodology of mechatronics products. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2:226-239.
- Kabadurmuş, Ö., Durmuşoğlu, M. B. 2007. Aksiyomlarla tasarım ilkelerini kullanarak çekme/kanban üretim sistemlerinin tasarımı. *TMMOB Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 18(2):2-28.
- Kahraman, C., Çebi, S. 2009. A new multi-attribute decision making method: Hierarchical fuzzy axiomatic design. *Expert System with Applications*, 36:4848-4861.
- Kannan, D., Govindan, K., Rajendran, S. 2015. Fuzzy axiomatic design approach based green supplier selection: a case study from Singapore. *Journal of Cleaner Production*, 96:194-208.
- Karsak, E. E., Sozer, S., Alptekin, S. E. 2003. Product planning in quality function deployment using a combined analytic network process and goal programming approach. *Computers & Industrial Engineering*, 44(1):171-190.
- Khandekar, A. V., Chakraborty, S. 2016. Application of fuzzy axiomatic design principles for selection of non-traditional machining processes. *Int. J. Adv. Technol.*, 83:529-543.
- Kır, S., Yazgan, H. R. 2016. A sequence dependent single machine scheduling problem with fuzzy axiomatic design for the penalty costs, *Computers & Industrial Engineering*, 92:95-104.

- Kim, Y. 2004. A decomposition based approach to integrate product design and manufacturing system design, Proceeding of Third International Conference on Axiomatic Design, June 11 – 24, Seoul.
- Kulak, O., Kahraman, C. 2005a. Multi-attribute comparison of advanced manufacturing systems using fuzzy vs. crisp axiomatic design approach, *International Journal of Production Economics*, 95: 415-424 (2005).
- Kulak, O., Kahraman, C. 2005b. Fuzzy multi-attribute selection among transportation companies using axiomatic design and analytic hierarchy process. *Information Science*, 170:191-210.
- Kulak, O., Durmuşoğlu, M. B., Kahraman, C. 2005a. Fuzzy multi-attribute equipment selection based on information axiom. *Journal of Materials Processing Technology*, 169:337-345.
- Kulak, O., Durmuşoğlu, M. B., Tüfekçi, S. 2005b. A complete cellular manufacturing system design methodology based on axiomatic design principles. *Computers and Industrial Engineering*, 48, 765–787.
- Lee, K. D., Suh, N. P., Oh, S.-H. 2001. Axiomatic design of machine control systems. *Annals of the CRIP*, 50(1):109-114.
- Lee, J., Shin, H. 2008. Parameter design of water jet nozzle utilizing independence axiom. *Journal of Process Mechanical Engineering Part E*, 202: 157-168.
- Lee, J., Kang, S.-H., Rosenberger, J., Kim, S. B. 2010. A hybrid approach of goal programming for weapon systems selection. *Computers & Industrial Engineering*, 58(3):521-527.
- Lee, G. B., Badrul, O. 2014. Optimization for sustainable manufacturing based on axiomatic design principles: a case study of machining process. *Advanced in Production Engineering & Management*, 9(1): 31-43.
- Liao, C.-N., Kao, H.-P. 2010. Supplier selection model using Taguchi loss function, analytical hierarchy process and multi-choice goal programming. *Computers & Industrial Engineering*, 58(4):571-577.
- Lu, R.-J., Feng, Y.-X., Zheng, H., Tan, J.-R. 2016. A product design based on interaction design and axiomatic design theory, 10th International Conference on Axiomatic Design (ICAD'16), 53:125-129.
- Mohammed, J., Alavizadeh, A. *Handbook of Reserach on Technology Project Management, Planning and Operations*, Information Science Reference, Hershey, New York, 2009.

- Moro, L. M., Ramos, A. 1999. Goal programming approach to maintenance scheduling of generating units in large scale power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 14(3):1021-1028.
- Munoz, D. A., Nembhard, H. B., Camargo, K. 2018. A goal programming approach to address the proposal selection problem: a case study of a clinical and translational science institute. *International Transactions in Operational Research*, 25:405-423.
- Narsimhan, R. (1980). Goal programming in a fuzzy environment. *Decision Sciences*, 11, 325–336.
- Özel, B., Özyörük, B. 2007. Bulanık aksiyomatik tasarım ile tedarikçi firma seçimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(3):415-423.
- Öztürk, A. 2014. Yöneylem Araştırması. Ekin Yayınevi, Bursa.
- Pati, R. K., Vrat, P., Kumar, P. 2008. A goal programming model for paper recycling system. *Omega*, 36(3):405-417.
- Peck, J. S., Kim, S.-G. 2010. Improving patient flow through axiomatic design of hospital emergency departments. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2:255-260.
- Ramanathan, R., Ganesh, L. S. 1995. Energy resource allocation incorporating qualitative and quantitative criteria: An integrated model using goal programming and AHP. *Socio-Economic Planning Sciences*, 29(3):197-218.
- Sel, A., Bircan, H. 2018. Bir Kimya firması hedeflerinin bulanık hedef programlama ile değerlendirilmesinde Kim & Wang yaklaşımı, *International Journal of Economic and Administrative Studies*, 18. EYİ Özel Sayısı:497-510.
- Sharma, S., Balan, S. 2013. An integrative supplier selection model using Taguchi loss function, TOPSIS and multi-criteria goal programming, 24(6):1123-1130.
- Suh, N.P., 1984. Development of the science base for the manufacturing field through the axiomatic approach. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 1: 397–415.
- Suh, N. P. 1990. *The principles of design*. Oxford University Press, New York, 67-90.
- Suh, N.P. 2001. *Axiomatic Design: Advances and Applications*. Oxford University Press, New York, 39-51.
- Tamiz, M., Jones, D., Romero, C. 1998. Goal programming for decision making: An overview of the current state-of-the-art. *European Journal of Operational Research*, 111(3):569-581.

- Ünal, F. M, Eren, T. 2016. Hedef programlama ile nöbet çizelgeleme probleminin çözümü. Akademik Platform (APJES) 4(1):28-37.
- Vinodh, S., Aravindraj, S. 2012. Axiomatic modeling of lean manufacturing system. Journal of Engineering Design and Technology, 10(2):199-216.
- Wey, W.-M., Wu, K.-Y. 2007. Using ANP priorities with goal programming in resource allocation in transportation. Mathematical and Computer Modelling, 46(7-8):985-1000.
- Winston, W. L. 1994. Operations research: application and algorithms. Duxbury Press, California.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control, 8, 338–353.
- Zimmermann, H. J. (1976). Description and optimization of fuzzy systems. International Journal of General Systems, 2, 209–215.
- Zimmermann, H. J. (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. Fuzzy Sets and Systems, 1, 45–56.

ÖZGEÇMİŞ

Muhammed Kır, 08.10.1984'te Ordu'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ordu'da tamamladı. 2002 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 2006 yılında mezun oldu. 2006 – 2007 yıllarında Özlem Çelik Büro Mobilyaları firmasında Satınalma Sorumlusu olarak çalıştı. 2008 – 2014 yıllarında Ak Gıda San. ve Tic. A.Ş. de Teknik ve Hizmet Satınalma Uzmanı olarak çalıştı. Bu dönemde firmanın Lüleburgaz, Aydın, Aktül Kağıt ve Kahramanmaraş fabrikalarının kurulumlarında aktif görev aldı. 2014 yılında İlk Mevsim Meyve Suları A.Ş. de Satınalma Yöneticisi olarak çalıştı. 2015 – 2017 yıllarında Teknik ve Hizmet Satınalma Yöneticiliği, Yedek Parça Depo Yöneticiliği, Proje ve Yatırımlar Yöneticiliği görevlerini yürüttü. 2017 - 2019 Yılları arasında Dydo Grup (İlk Mevsim Meyve Suları Pazarlama A.Ş., Bahar Su A.Ş., Della Gıda A.Ş., Dydo Drinco Turkey İçecek A.Ş.) Teknik ve Hizmet Satınalma Yöneticiliği görevlerini yürüttü, 2019 yılından itibaren Dydo Grup şirketlerinde Yatırımlar, Teknik ve Hizmet Satınalma Müdürlüğü görevini yürütmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.