



BULANIK AKSİYOMATİK TASARIM VE HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMLARIYLA BİR ÜRÜN TASARIMI

Muhammed KIR, Özer UYGUN, Sena KIR*

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Ürün Tasarımı Problemi,
Hedef Programlama,
Bulanık Aksiyomatik
Tasarım.

Öz

Bu çalışmada, içecek sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın ürün tasarım problemi ele alınarak, literatürde ilk kez Bulanık Aksiyomatik Tasarım (BAT) ve Hedef Programlama yaklaşımlarının birlikte kullanılmasıyla çözülmüştür. Problemde tasarlanacak olan ürünün mevcut hat spesifikasyonlarında değişikliğe neden olmaması, üretim hızını belirli bir seviyede tutması ve aynı zamanda müşteri beğenisine de hitap etmesi hedeflenmektedir. Bu hedeflerden müşteri beğenisi, insanın doğal karar verme süreçlerini daha iyi ifade edebilmesi bakımından bulanık verilerle ifade edilmiştir. Çalışmada müşteri beğenisine ait bulanık veriler BAT tekniği ile durulaştırılmıştır ve elde edilen değerler, söz konusu üç hedefi de dikkate alan bir 0-1 karma tam sayılı doğrusal olmayan hedef programlama modeline parametre olarak girilmiştir. Modelin çözümünde nihai ürünün belirli parametrelerinin değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere göre tasarımı yapılan şişenin silme hacmi hesaplanmaktadır. Silme hacme göre de, yeni tasarımın üretim hattı spesifikasyonlarını sağlayıp sağlamadığı, üretim hızının ortalama değeri ve müşteri beğenisine hitap edip etmediği anlaşılabilir. Önerilen çözüm yaklaşımı sayesinde, problem analitik olarak ele alınmış, firmanın ürün tasarımında başvurduğu deneme yanılma yöntemi terk edildiği için de hem zamandan, hem iş gücünden, hem de kalıp ve preform maliyetlerinden tasarruf sağlanmıştır.

A PRODUCT DESIGN BY FUZZY AXIOMATIC DESIGN AND GOAL PROGRAMMING APPROACHES

Keywords

Product Design Problem,
Goal Programming,
Fuzzy Axiomatic Design.

Abstract

In this study, a product design problem of a company operating in the beverage sector was handled and solved for the first time in the literature by Fuzzy Axiomatic Design (BAT) and Goal Programming approaches. It was aimed at the product to be designed does not cause a change in the current line specifications, keep the production speed to a certain level and also address customer satisfaction at the same time. Customer satisfaction goal was expressed by fuzzy data in order to better express the natural decision-making processes of human. In the study, fuzzy data belonging to customer satisfaction were defuzzified by BAT technique and the obtained values were entered as a parameter to a mixed integer nonlinear goal programming model which considers three goals. The values of certain parameters of the final product were obtained from the solution of the model. The brimful capacity of the designed bottle was calculated according to these values. Depending on the brimful capacity, it can be understood whether the new design meets the specifications of the production line, the average value of the production speed and the satisfaction of the customer. Through the proposed solution approach, the problem was dealt with analytically. The trial and error method used by the company was abandoned to save both the labor force and the mold and preform costs.

Alıntı / Cite

Kır, M., Uygun, Ö., Kır, S., (2020). Bulanık Aksiyomatik Tasarım ve Hedef Programlama Yaklaşımlarıyla Bir Ürün Tasarımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 375-387.

* İlgili yazar / Corresponding author: senas@sakarya.edu.tr, +90-264-295-5965

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
M. Kır, 0000-0003-3143-4322	Başvuru Tarihi / Submission Date	07.05.2019
Ö. Uygun, 0000-0002-8437-7678	Revizyon Tarihi / Revision Date	11.04.2020
S. Kır, 0000-0002-5615-8814	Kabul Tarihi / Accepted Date	08.06.2020
	Yayın Tarihi / Published Date	25.06.2020

1. Giriş (Introduction)

Günümüz 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 beklentisini karşılayacak olan ürünleri en özgün tasarımlarla, müşterilerinin beklentisini karşılayacak olan fiyatlardan, en kısa sürede müşterilerine ulaştırmalarını zorunlu kılmıştır. Bu beklentileri karşılayabilmek için işletmeler birçok ürün tasarımı ve üretim problemleriyle karşı karşıya kalmıştır.

Özellikle kâr marjlarının çok düşük, pazardaki ürün yaşam döngüsünün çok kısa, pazarlama ve ürün tutundurma maliyetlerinin yüksek, müşteri beğeni kriterlerinin değişken ve çeşitli, yatırım maliyetlerinin yüksek ve yatırımı hayata geçirme sürelerinin de uzun olduğu içecek sektöründe 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 vb.) direk ürünün ambalajı ile karşı karşıya kalmasıdır. Bu da ambalajın satış üzerindeki etkisinin artmasına sebep olmuş ve ambalaj 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 metotlar kullanılmaktadır. Tüm bu faktörler işletmelerin yeni ürün çalışmalarında ambalaj tasarımlarına verdikleri önemin artmasına ve ayırdıkları bütçeleri artırmalarına sebep olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı içecek sektöründe yaşanan bu problemlere farklı bir bakış açısı ile çözüm getirmektir. Çalışmanın uygulama ayağı, meyve suyu ve içecek sektöründe faaliyet gösteren bir firmada yapılmıştır. Firmanın bir müşterisi aseptik pet hattında 1000 ml hacmindeki bir ürününün fason üretimini yaptırmak istemektedir. Müşteri, ilk parti olarak az miktarda bir 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 istememektedir. Birim başına düşen sabit maliyetin artması durumunda da proje olurlu olmayacağından hayata geçirilemeyecektir. Bu sebeple firma, yeni 1000 ml içecek ürününün, mevcut üretim hattında yeni kalıp yatırımları yapılmadan var olan 1000 ml içecek üretim kalıpları kullanılarak, en düşük maliyetlerle, makul üretim hızı ve en yüksek müşteri beğenisini sağlayacak şekilde üretilmesi mümkün olan şişe tasarımını belirleme çalışmasına ihtiyaç duymuştur. Firmanın içinde bulunduğu bu durum ve çözmesi gereken ürün tasarımı problemi, bu çalışmanın motivasyonunu oluşturmaktadır.

Bu çalışmada ele alınan ürün tasarımı probleminin çözümü için bulanık aksiyomatik tasarım (BAT) ve hedef programlama yaklaşımları kullanılmış, müşteri beğenisi, üretim hızı ve üretim hattı kriterleri hedeflerini sağlayacak olan en uygun tasarım spesifikasyonları belirlenmiştir. 'Satış ve Pazarlama Departmanı' tarafından yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bulanık müşteri beğenisi verileri, öncelikle BAT yöntemiyle durulaştırılmış, üretim hızı ve üretim hattı spesifikasyonları ile birlikte hedef programlama yaklaşımıyla tüm hedefleri sağlayacak olan en uygun çözüm (tasarım spesifikasyonları) elde edilmiştir.

Bu makalenin ilerleyen bölümlerini kısaca ifade etmek gerekirse; ikinci bölümünde aksiyomatik tasarım (AT), BAT ve hedef programlamayla ilgili yapılan bilimsel yazın taraması verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde, ele alınan problemin detayları paylaşılmıştır. Dördüncü bölümde de BAT ve hedef programlama yaklaşımlarının problemin çözümü için nasıl kullanıldığı detaylı olarak verilmiştir. Çalışmanın beşinci bölümünde ise göz önüne alınan hedefler üzerinden farklı senaryolar üretilmiş, üretilen senaryolar önerilen çözüm yaklaşımıyla farklı bakış açılarına göre de çözülmüş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Çalışmanın altıncı, yani sonuç bölümünde ise

tüm çalışmayı kapsayan sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Bu çalışmada ele alınan ürün tasarımı probleminin çözümü için hem BAT hem de hedef programlama tekniği önerilmektedir. Ürün tasarımı konusunda AT ve BAT teknikleri ile yapılmış çalışmalar daha fazladır. Hedef programlama tekniği birden fazla hedefin bir arada düşünülerek çözüm arandığı problemler için çok sıklıkla tercih edilen bir tekniktir. Bu çalışmada ele alınan ürün tasarım problemi de birden fazla hedef içerdiğinden çözüm için BAT'ın yanı sıra hedef programlama tekniği de tercih edilmiştir. Bu yöntemlerle ilgili literatürdeki bazı çalışmalara ait incelemelere bu bölümde yer verilmiştir.

AT, karmaşık ürünlerin veya sistemlerin tasarımındaki karar verme sürecine yardımcı olması amacıyla Suh (1990) tarafından geliştirilmiş bir bilimsel tasarım yöntemidir. Bu yöntemin temel amacı, tasarımlar için bilimsel bir temel oluşturmak ve tasarımcıyı, mantıklı düşünce süreçleri ve araçları ile destekleyerek tasarım faaliyetlerini geliştirmektir. Ayrıca bu yöntem tasarım yaratıcılığını artırır, rassal araştırma sürecini bir metodolojiye dayandırarak deneme yanılma faaliyetlerini azaltır ve tasarımcının hedeflenen fikirlere odaklanmasını sağlamaktadır. AT yöntemi, başlangıçta ürün tasarım probleminin çözümü için geliştirilmiştir. Daha sonra ürün tasarımının yanı sıra sistem, organizasyon ve yazılım gibi birçok alanda tasarım yapılırken ve seçim problemlerinde karar destek amaçlı da kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmaların bazılarında kesin bilgi ve/veya sayılarla işlem yapılırken bazılarında bulanık veya kararsız bulanık sayılarla da işlem yapılmaktadır. BAT yöntemini ilk kez Kulak ve Kahraman (2005a) ileri imalat sistemlerinin çok kriterli karşılaştırılmasında kullanmışlardır.

Fiziksel tasarım alanında AT tekniğinin kullanıldığı çalışmalardan biri Lee vd. (2001) tarafından sunulmuştur. Çalışmada, AT'nin sistematik tasarım yaklaşımı makine kontrol sistemleri üzerinde uygulanmış ve endüstriyel ölçüde kimyasal-mekanik parlatma makinesi geliştirilmiştir. Jang vd. (2002), AT'nin denizcilik alanındaki uygulanabilirliğini, metal destek optimizasyon problemi, bir ana motor seçim problemi ve mavna tasarım problemi örnekleriyle araştırmışlardır. Bu örneklerle, tasarım aksiyomlarının denizcilik tasarımı gibi farklı bir alanda farklı tipteki problemler üzerinde uygulanabilirliğini göstermişlerdir. Helander ve Lin (2002) çalışmalarında, AT'yi ergonomik tasarıma bir altyapı olarak göstererek, AT'nin el araçlarının biyomekaniksel tasarımı ve işyerlerinin antropometrik tasarımı için nasıl kullanıldığını farklı örneklerle anlatmış ve tartışmışlardır. 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. Bu çalışmaya benzer şekilde, geliştirilen bu yaklaşımın 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. Houshmand ve Jamshidnezhad (2006) de 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. Lee ve Shin (2008), TFT ve LCD ekranların temizliği için kullanılacak bir su püskürtücü tasarımı için AT yönteminin bağımsızlık aksiyomu tabanlı bir ürün tasarım yöntemi önermişlerdir. Cavique ve Gonçalves-Coelho (2009), AT'yi yeni tasarım geliştirmeye yardımcı olan ve tasarımın kalitesinin değerlendirilmesine olanak sağlayan bir teori olarak tanımlamışlar ve bu yöntemi, konfor ve enerji tüketimini göz önüne alarak Güney Avrupa iklimindeki ofis binalarının havalandırma sistemlerinin tasarımında kullanmışlardır. Janthong vd. (2010) de AT prensiplerini durum tabanlı çıkarsama teknikleri ile birleştirerek, bilgi tabanlı yeni bir tasarım tekniği geliştirmişler ve bu tekniği spesifik endüstriyel ürünlerin tasarımı için uygulamışlardır. Beng ve Omar (2014) çalışmalarında, sürdürülebilir ürün tasarımının karar verme sürecinde AT prensiplerinin kullanıldığı bir çerçeve önermektedirler. Lu vd. (2016) ise etkileşimli tasarım ile AT prensiplerinin birlikte kullanıldığı bir tasarım metodu geliştirmişlerdir.

Karsak vd. (2003), çalışmalarında bir ürün tasarım problemini ele almışlar ve elde edilen ürün teknik gereksinimlerinin önem düzeylerini belirlemek için Analitik Ağ Süreçlerini (ANP) kullanmışlardır. Maliyeti, genişletilebilirlik seviyesini ve ürünün tasarımında göz önünde bulundurulacak ürün teknik gereksinimlerini belirlemek için üretilebilirlik düzeyi hedeflerini de içeren 0-1 tam sayılı bir hedef programlama modeli önermişlerdir. Büyüközkan ve Berkol (2011) çalışmalarında, sürdürülebilir bir tedarik zincirinin tasarım gereksinimlerini belirlemek için ANP, Kalite Fonksiyon Göçerimi ve 0-1 tam sayılı hedef programlama modellerini kullanarak bir çerçeve sunmuşlardır. Tyagi vd. (2012) toplam faydayı en üst düzeye çıkarmak ve toplam üretim maliyetini en aza indirmek amacıyla cep telefonu ürün ailesi tasarımı ve çoklu platform mimarisinin keşfedilmesi problemini ele alarak çözüm için bir bulanık hedef programlama yaklaşımı önermişlerdir. Brandenburg (2015) de çalışmasında ekonomik ve çevresel kriterler göz önünde bulundurularak yeni bir tüketici ürünü için tedarik zinciri yapılandırmasını optimize eden bir hedef programlama yaklaşımı önermiştir.

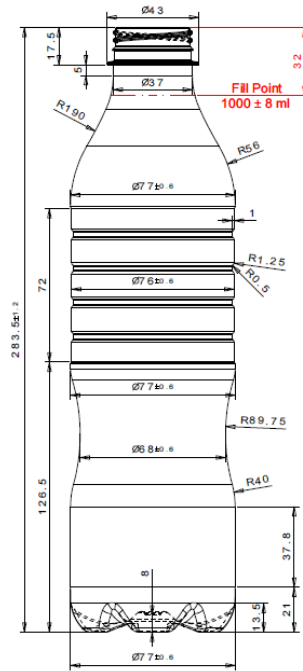
Yapılan bilimsel yazın taramasına göre çözüm mantığı açısından bu çalışmada savunulan çözüm mantığına en yakın çalışma, Karsak ve vd. (2003)'nin çalışması olarak gösterilebilir. Ayrıca fiziksel bir ürün ya da sistem tasarımı problemini ele alan araştırmacıların AT veya BAT ile hedef programlama yaklaşımını bir arada kullandıkları herhangi bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Bu bağlamda, bu çalışma iki yöntemin birlikte ele alındığında bulanık veriler içeren ürün tasarım problemlerinde pratik olarak kullanılabileceğini ve başarı ile sonuç verebileceğini gösteren tek çalışma olarak literatüre katkı sağlamaktadır.

3. Problemin Tanımı (Definition of the Problem)

Bu çalışmanın motivasyonunu oluşturan içecek sektöründe Türkiye'nin önde gelen firmalarından birinin dışarıya fason olarak üreteceği, sonrasında seri üretime devam edip etmeyeceği belli olmayan bir ürün için karşı karşıya kaldığı ürün tasarımı probleminin çözümü için önerilen yaklaşımı anlatmadan önce, problemin detaylarını incelemek faydalı olacaktır.

Firma aseptik pet hattında müşterisi tarafından talep edilmiş olan yeni 1000 ml içecek ürününü, mevcut hattında yeni kalıp yatırımları yapmadan var olan 1000 ml içecek üretim kalıplarını kullanarak, en düşük maliyetlerle ve en fazla müşteri beğenisini sağlayarak üretmek istemektedir. İşletmenin elindeki mevcut 1000 ml şişe tasarımı fason üretim yapmakta olduğu bir başka müşteriye ait olduğundan, bu şişe tasarımını kendi ürünlerinde ve yeni müşterileri için yapacağı fason üretimlerde yasal olarak kullanamamaktadır. Söz konusu yeni ürün için yeni şişe tasarımı yoluna gidilmesi, yeni kalıplar ve aseptik pet hattında yeni yatırımlar yapılmasına sebep olabilecektir. 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 Şekil 1'de verilmiştir. Bu referans şişe tasarımının taban çapı ve taban boyu üzerinde değişiklik yapılması kararlaştırılmıştır. Şişe tasarımları için bir tedarikçiden hizmet alınmaktadır. Tedarikçi ile yapılan tasarım çalışmaları genel olarak deneme yanılma şeklindedir. 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.

Yeni tasarımın üretim hattında en az modifikasyon ve kalıp yatırımına sebep olması ve üretim kaynaklarının en uygun şekilde kullanılabilmesine imkân sağlaması gerekmektedir. Özellikle shrink (paketleme) makinesinde yeni mekanik donanım ve şişeye uygun program ihtiyacı oluşmaması, shrink makinesinde var olan 1000 ml şişe programının kullanılabilmesi talep edilmektedir. Paletleme makinesinde ise mevcut olan 1000 ml şişeye ait program kullanılarak paletleme yapılmak istenmektedir. Yeni tasarıma ait paletleme programı maliyetine katlanılmak istenmemektedir.



Şekil 1. Referans şişenin teknik resmi (Technical drawing of the reference bottle)

Yeni program için paletleme makinesinin yurt dışı servisinden program ve servis desteği alınması gerekmektedir.

Dolum makinesinde ise şişe tasarımından dolayı dolumu yapılacak üründe köpürme problemi olması sebebiyle üretim hızının belirli bir seviyede tutulması hedefinin sağlanması istenmektedir.

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 tasarımı yapmak istemektedir:

-Şişe boyu 275 mm'den büyük, 300 mm'den küçük olmalıdır. Aksi halde paletleme makinesinde var olan 1000 ml şişeye ait program (reçete) kullanılamayacaktır. Böyle bir durumda da yeni paletleme programı için ilave 56.775 TL + KDV kadar bir yatırıma ihtiyaç duyulacaktır. Buna göre, mevcut hattın yatırım yapılmadan kullanılabilmesi için yeni tasarımın boyundaki artış referans şişeden en fazla 16,5 mm, azalış en fazla 8,5 mm olabilir.

-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. Buna göre, mevcut hattın yatırım yapılmadan kullanılabilmesi için yeni tasarımın çapındaki artış referans şişeden en fazla 3 mm, azalış en fazla 7 mm olabilir.

-Silme hacim, bir şişe kapak (ağız) kısmına kadar doldurulduğunda almış olacağı ürünün hacmine verilen isimdir. Tasarımı yapılan şişenin silme hacmi 1114,16 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 olmakta ve üretim hızı yavaşlamaktadır. Yine bu da istenmeyen bir durumdur. Ayrıca silme hacim en az 1028,5 ml olmalıdır çünkü daha alt hacimlerde dolum 1000 ml olarak yapılamamaktadır.

Mevcut üretim hattının kullanılabilmesi için yapılacak 1000 ml şişe tasarımının parametrelerini Tablo 1'deki gibi özetleyebiliriz:

Tablo 1. Mevcut hattın kullanılabilmesi için tasarım limitleri (Design limits for using the existing line)

Tasarım Parametresi	≥	≤
Şişe Boyu (mm)	275	300
Şişe Taban Çapı (mm)	70	80
Silme Hacim (ml)	1028,5	1124

Yeni şişe tasarımında bu parametrelerin 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 bulanık olarak tespit edilmiştir ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Silme hacimlere bağlı müşteri beğenisini temsil eden bulanık ifadeler (Fuzzy expressions representing customer tastes based on brimful capacity)

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

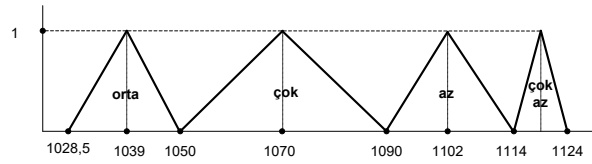
Bu durumda, müşteri beğenisini de şişe tasarım parametreleri içerisinde değerlendirmek gerekmektedir. Fakat veriler, şişe tasarımı için geliştirilen matematiksel programlama modeline direkt olarak yazmaya uygun formatta değildir. Müşteri beğenisini gerçek anlamda temsil edebilecek verilerin elde edilebilmesi için, literatürde ürün tasarımında tercih edilen bir yöntem olan BAT yöntemi kullanılmıştır. BAT tekniği ile bu veriler, geliştirilen matematiksel modele uygun formata dönüştürülmüştür.

4. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışmada ürün tasarımı için göz önüne alınan hedeflerden biri olan müşteri beğenisi, bulanık veriler içermektedir. Bunun için öncelikle BAT tekniği kullanılarak bu veriler durulaştırılmıştır. Durulaştırılan müşteri beğenisi hedefine ait veriler, hat spesifikasyonları ve hat hızı hedeflerine ait verilerle birlikte önerilen bir 0-1 karma tam sayılı doğrusal olmayan hedef programlama modeline girilerek nihai tasarım spesifikasyonları elde edilmiştir.

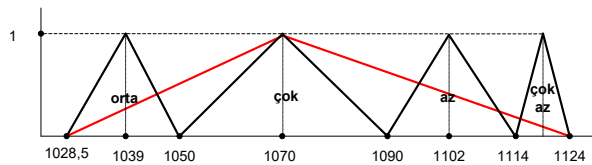
4.1. Bulanık Aksiyomatik Tasarım ile Durulaştırma (Defuzzification with Fuzzy Axiomatic Design)

Öncelikle 'Satış ve Pazarlama Departmanı' ile yapılan ortak çalışma neticesinde silme hacim ve müşteri beğenisi arasındaki ilişki, Kulak ve Kahraman'ın (2005a, 2005b) çalışmalarından esinlenilerek Şekil 2'deki gibi üçgensel bulanık sayılar ile ifade edilmiştir.



Şekil 2. Silme hacim ve müşteri beğenisi arasındaki ilişkiyi temsil eden üçgensel bulanık sayılar (Triangular fuzzy numbers representing the relationship between brimful capacity and customer satisfaction)

Daha sonra da istenen en düşük silme hacim değerinin 1028,5 ml ve en yüksek değerinin de 1124 ml olabilmesi göz önünde bulundurularak, üçgensel tasarım alanı 1028,5 ml ile 1124 ml arasında ve müşteri beğenisinin çok olduğu 1050 ml ile 1090 ml arasındaki orta olan 1070 ml'de en üst noktaya ulaşacak şekilde Şekil 3'teki gibi ifade edilmiştir.



Şekil 3. Üçgensel tasarım alanı (Triangular design area)

Buna göre her bir üçgensel alanın (beğeni ifadesinin) bilgi içeriğini hesaplamamız gerekmektedir. 1028,5 ml ile 1050 ml arasındaki 'Orta' ile ifade edilmiş olan alanın bilgi içeriği Eşitlik 1'deki gibi hesaplanmıştır (Kulak ve Kahraman, 2005b).

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

1050 ml ile 1090 ml arasındaki 'Çok' ile ifade edilmiş olan alanın bilgi içeriği Eşitlik 2'deki gibi hesaplanmıştır.

$$I_{\text{çok}} = \log_2 \left(\frac{\text{sistem alanı}}{\text{ortak alan}} \right) = \log_2 \left(\frac{20}{20} \right) = 0 \quad (2)$$

1090 ml ile 1114 ml arasındaki 'Az' ile ifade edilmiş olan alanın bilgi içeriği Eşitlik 3'teki gibi hesaplanmıştır.

$$I_{\text{az}} = \log_2 \left(\frac{\text{sistem alanı}}{\text{ortak alan}} \right) = \log_2 \left(\frac{12}{7,67} \right) = 0,632 \quad (3)$$

1114 ml ile 1124 ml arasındaki 'Çok Az' ile ifade edilmiş olan alanın bilgi içeriği Eşitlik 4'teki gibi hesaplanmıştır.

$$I_{\text{çok az}} = \log_2 \left(\frac{\text{sistem alanı}}{\text{ortak alan}} \right) = \log_2 \left(\frac{5}{0,75} \right) = 2,74 \quad (4)$$

Sonuç olarak silme hacimlerin temsil ettiği üçgensel alanların bilgi içerikleri Tablo 3'teki gibi elde edilmiştir.

Tablo 3. Silme hacimlerin temsil ettiği bilgi içerikleri (Information contents represented by brimful capacities)

Silme Hacim	Mevcut I
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 I değeri, tasarım alanıyla olan kesişim değerine göre '1,12' olarak bulunmuştur. Ya da; 1050 ml -1090 ml silme hacmin temsil ettiği üçgensel bölgenin I değeri, tasarım alanıyla olan tam kesişim değerine göre '0' olarak

bulunmuştur.

AT yönteminde, I değeri 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 işlemlerden dolayı sistem alanı ve tasarım alanı arasındaki en yüksek uyumluluğu sağlayan ifadenin bilgi içeriği en düşük olur. Dolayısıyla, I değerinin yüksek olması olumsuz etki yapar. Geliştirilen matematiksel modelde ise, müşteri tarafından beğenilmeyen bir silme hacim değerinin sapmasının çözümde en çok değeri alması gerekir. Burada BAT ve önerilen matematiksel modelin amaç fonksiyonu arasında ters bir ilişki söz konusudur. Buna bağlı olarak, I değerleri önerilen matematiksel modelin amaç fonksiyonuna yazılırken çarpma işlemine göre tersleri alınmıştır. Bu işlem yapıldıktan sonra da elde edilen I'ler 0-1 arasına çekilerek normalize edilmiştir. Buna göre normalize I değerleri Tablo 4'deki gibi bulunmuştur.

Tablo 4. Silme hacimlerin temsil ettiği normalize bilgi içerikleri (Normalized information contents represented by brimful capacity)

Silme Hacim	I'ların Çarpmaya Göre Tersleri	Normalize Değerler
1028,5 ml - 1050 ml	0,893	0,565
1050 ml - 1090 ml	Tanımsız*	M
1090 ml - 1114 ml	1,582	1
1114 ml - 1124 ml	0,35	0,221

*(∞ olarak alınmıştır)

4.2. 0-1 Karma Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Hedef Programlama Modeli ile Tasarım (Design with 0-1 Mixed Integer Nonlinear Goal Programming Model)

Yeni tasarımda dikkat edilmesi gereken bir başka husus da müşteri beğenisinin yanı sıra, yeni şişeye ait bazı ölçülerin aseptik dolun 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 dolunu yapılması durumunda oluşacak maliyetlerden daha önce söz edilmiştir. Buna istinaden, referans şişenin silindirik bölgesinin çapı 3 mm'den daha fazla artırılıp, 7 mm'den daha fazla azaltılamaz. Boyu da 8,5 mm'den daha fazla azaltılıp, 16,5 mm'den daha fazla artırılmaz. Bu sınırların dışına çıkılması durumunda dolun hattında modifikasyon yapılması gerekir. Bu sınırların aşılması durumunda ortaya çıkacak ek maliyet matematiksel modelde ifade edilmiştir.

Müşteri beğenisi ve hat spesifikasyonlarının dışında, bir de üretim hızı parametresi şişe tasarımını etkilemektedir. Yapılan denemeler sonucunda silme hacminin üretim hızına etki ettiği tespit edilmiştir. 1064,16 ml ve 1114,16 ml'lik silme hacimleri 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 hedefe uygun şekilde karar vermek gerekmektedir. Bunlar:

-Aseptik dolun 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 1114,16 ml silme hacme sahip şişe tasarımı yapmak.

-Müşterinin en fazla düzeyde beğenebileceği bir şişe tasarımı yapmak.

Görülüyor ki bu üç farklı hedefin özellikleri temel 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 0-1 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, birbirleriyle 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 en küçükmek olduğundan kısıtlardaki bağlantılı sapma değerlerini de mümkün olduğunca aşağı çekeceği söylenebilir. Geliştirilen 0-1 karma tam sayılı doğrusal olmayan hedef programlama modelinin amaç fonksiyonu ve kısıt denklemleri şöyledir:

$$Z_{enaz} = G_1 + G_2 + G_3 \quad (5)$$

$$G_1 - \sum_1^2 P_i^1 (y_i + z_i) = 0 \quad (6)$$

$$G_2 - (H_1 + H_2) = 0 \quad (7)$$

$$G_3 - \sum_1^4 P_i^3 (Sy_i^+ + Sy_i^-) = 0 \quad (8)$$

$$\Delta_i + Smax_i^- - Smax_i^+ = \Delta_i^+ \quad i=1,2 \quad (9)$$

$$\Delta_i + Smin_i^- - Smin_i^+ = \Delta_i^- \quad i=1,2 \quad (10)$$

$$Smax_i^+ - My_i \leq 0 \quad i=1,2 \quad (11)$$

$$Smax_i^+ - y_i \geq 0 \quad i=1,2 \quad (12)$$

$$Smin_i^- - Mz_i \leq 0 \quad i=1,2 \quad (13)$$

$$Smin_i^- - z_i \geq 0 \quad i=1,2 \quad (14)$$

$$\theta - \left((0,5(77 + \Delta_2))^2 (\pi(45,3 + \Delta_1)) \right) - (\pi(1482,5)(45,3)) = 0 \quad (15)$$

$$\theta \leq 95500 \quad (16)$$

$$\theta \geq 0 \quad (17)$$

$$35660 - \theta - MH_1 \leq 0 \quad (18)$$

$$\theta - 85660 - MH_2 \leq 0 \quad (19)$$

$$\theta - S_1^+ = \Delta V_1 \quad (20)$$

$$\theta + S_{(i-1)}^- - S_i^+ = \Delta V_i \quad i=2,3,4 \quad (21)$$

$$\theta - S_4^- = \Delta V_5 \quad (22)$$

$$S_i^+ - MSy_i^+ \leq 0 \quad i=1,2,3,4 \quad (23)$$

$$S_i^- - MSy_i^- \leq 0 \quad i=1,2,3,4 \quad (24)$$

$$S_i^+, S_i^- \geq 0 \quad i=1,2,3,4 \quad (25)$$

$$Smax_i^+, Smax_i^-, Smin_i^+, Smin_i^- \geq 0 \quad i=1,2 \quad (26)$$

$$y_i, z_i, H_i, Sy_i^+, Sy_i^- \in \{0,1\} \quad i=1,2 \quad (27)$$

$$Sy_i^+, Sy_i^- \in \{0,1\} \quad i=1,2,3,4 \quad (28)$$

Geliştirilen matematiksel modeldeki değişken ve parametrelerin anlamları tüm detaylarıyla şöyledir:

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

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

G_1 : Yeni şişe tasarımının çap ve boy ölçülerine göre mevcut hatta yatırım yapılıp yapılmayacağını gösteren hedef #1

G_2 : Yeni şişe tasarımının aseptik dolum hattında 30.000 şişe/saat dolum hızının üzerinde ya da 18.000 şişe/saat dolum hızının altında çalışıp çalışmayacağını gösteren hedef #2

G_3 : Yeni şişe tasarımının silme hacmiyle ilişkili olarak müşteri beğenisinin belirlenen ifadelerden ağırlıklı sapma sayısını gösteren hedef #3

Δ_1^+ : Hat spesifikasyonlarına göre yeni şişe tasarımının boyunda yapılabilecek en büyük artış

Δ_2^+ : Hat spesifikasyonlarına göre yeni şişe tasarımının çapında yapılabilecek en büyük artış

Δ_1^- : Hat spesifikasyonlarına göre yeni şişe tasarımının boyunda yapılabilecek en büyük azalış

Δ_2^- : Hat spesifikasyonlarına göre yeni şişe tasarımının çapında yapılabilecek en büyük azalış

$Smax_i^-$: Yeni şişe tasarımının boyundaki artışın olabilecek en büyük değerden negatif yönlü sapması

$Smax_i^+$: Yeni şişe tasarımının boyundaki artışın olabilecek en büyük değerden pozitif yönlü sapması

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

$Smin_i^-$: Yeni şişe tasarımının boyundaki azalışın olabilecek en küçük değerden negatif yönlü sapması

$S_{min_1^+}$: Yeni şişe tasarımının boyundaki azalışın olabilecek en küçük değerden pozitif yönlü sapması

$$z_1 = \begin{cases} 1 & \text{Yeni şişe tasarımının boyundaki azalış en küçük değerden negatif yönlü saptıysa} \\ 0 & \text{Negatif yönlü sapma yoksa} \end{cases}$$

$S_{max_2^-}$: Yeni şişe tasarımının çapındaki artışın olabilecek en büyük değerden negatif yönlü sapması

$S_{max_2^+}$: Yeni şişe tasarımının çapındaki artışın olabilecek en büyük değerden pozitif yönlü sapması

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

$S_{min_2^-}$: Yeni şişe tasarımının çapındaki azalışın olabilecek en küçük değerden negatif yönlü sapması

$S_{min_2^+}$: Yeni şişe tasarımının çapındaki azalışın olabilecek en küçük değerden pozitif yönlü sapması

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

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

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

S_1^+ : Yeni şişe tasarımının 'orta' müşteri beğenisinin alt sınırından pozitif yönlü sapması

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

S_1^- : Yeni şişe tasarımının 'orta' müşteri beğenisinin üst sınırından negatif yönlü sapması

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

S_2^+ : Yeni şişe tasarımının 'çok' müşteri beğenisinin alt sınırından pozitif yönlü sapması

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

S_2^- : Yeni şişe tasarımının 'çok' müşteri beğenisinin üst sınırından negatif yönlü sapması

$$S_{y_2^-} = \begin{cases} 1 & \text{Yeni şişe tasarımının 'çok' müşteri beğenisinin üst sınırından negatif yönlü saptıysa} \\ 0 & \text{aksi durumda} \end{cases}$$

S_3^+ : Yeni şişe tasarımının 'az' müşteri beğenisinin alt sınırından pozitif yönlü sapması

$$S_{y_3^+} = \begin{cases} 1 & \text{Yeni şişe tasarımının 'az' müşteri beğenisinin alt sınırından pozitif yönlü saptıysa} \\ 0 & \text{aksi durumda} \end{cases}$$

S_3^- : Yeni şişe tasarımının 'az' müşteri beğenisinin üst sınırından negatif yönlü sapması

$$S_{y_3^-} = \begin{cases} 1 & \text{Yeni şişe tasarımının 'az' müşteri beğenisinin üst sınırından negatif yönlü saptıysa} \\ 0 & \text{aksi durumda} \end{cases}$$

S_4^+ : Yeni şişe tasarımının 'çok az' müşteri beğenisinin alt sınırından pozitif yönlü sapması

$$S_{y_4^+} = \begin{cases} 1 & \text{Yeni şişe tasarımının 'çok az' müşteri beğenisinin alt sınırından pozitif yönlü saptıysa} \\ 0 & \text{aksi durumda} \end{cases}$$

S_4^- : Yeni şişe tasarımının 'çok az' müşteri beğenisinin üst sınırından negatif yönlü sapması

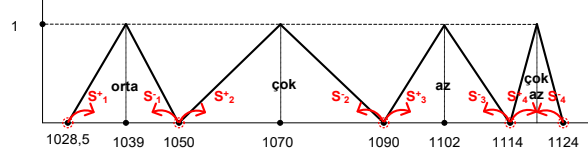
$$S_{y_4^-} = \begin{cases} 1 & \text{Yeni şişe tasarımının 'çok az' müşteri beğenisinin üst sınırından negatif yönlü saptıysa} \\ 0 & \text{aksi durumda} \end{cases}$$

ΔV_i : Silme hacim ve müşteri beğenisi arasındaki ilişkiyi temsil eden sınır değerler ($i=1,2,3,4,5$)

M: Yeterince büyük bir sayı

θ : Referans ve yeni tasarım şişelerin silme hacimleri arasındaki farkı gösteren değer

$S_1^+, S_1^-, S_2^+, S_2^-, S_3^+, S_3^-, S_4^+, S_4^-$ değişkenlerinin bulanık ifadeler üzerinden gösterimi Şekil 4'teki gibidir.



Şekil 4. Sapma değişkenlerinin üçgensel bulanık sayılar üzerinde gösterimi (Representation of deviation variables on triangular fuzzy numbers)

Eşitlik 5 amaç fonksiyonu denklemdir ve Eşitlik 6, 7 ve 8'de ayrı ayrı yazılmış olan hedefleri enküçükler. G_1 ile sembolize hedef, aseptik dolum hattında, dolumu yapılacak bir şişe tasarımının çap ve boy ölçülerine göre yeni yatırım yapılıp yapılmayacağını ağırlıklı olarak 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 hedef, 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 hedef 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 değişkenlere ağırlık olarak yazılmıştır.

Eşitlik 9, Eşitlik 14 ve arasındaki tüm eşitlikler de dâhil olmak üzere, yeni tasarımın ölçülerinin hat spesifikasyonlarının sınır değerlerini aşıp aşmama durumunu kontrol ederek birinci hedefin dikkate alınmasını sağlamaktadır. Eşitlik 15 referans ve yeni tasarım şişelerin silme hacimleri arasındaki farkın hesaplanmasını sağlamaktadır. Eşitlik 16 ve Eşitlik 17 silme hacminin 1028,5 ml'nin altında ve 1124 ml'nin üzerinde olmamasını sağlamaktadır. Eşitlik 18 ve eşitlik 19 yeni tasarımın silme hacimlerine göre hat hızının istenen sınırlar içerisinde kalıp kalmadığını bularak ikinci hedefin dikkate alınmasını sağlar. Eşitlik 20 ve eşitlik 24 arasındaki tüm eşitlikler dâhil olmak üzere, Şekil 4'te de ifade edilen müşteri beğenisinin silme hacimlere göre üçgensel sayılarla ifade edildiği her bir değerine göre yeni şişe tasarımının değerlendirilmesini ve üçüncü hedefin dikkate alınmasını sağlamaktadır.

Eşitlik 25, yeni şişe tasarımına ait silme hacim değerinin müşteri beğenisi ifadelerinin alt ve üst sınırlarından negatif ve pozitif sapmalarının sıfır veya sıfırdan büyük olmasını sağlamaktadır. Eşitlik 26, yeni şişe tasarımının boyundaki değişimin olabilecek en küçük veya en büyük değerlerden negatif ve pozitif yönlü sapmalarının sıfır veya sıfırdan büyük olmasını sağlamaktadır. Eşitlik 27 ve 28'de mevcut hattın kullanılabilmesi için belirlenen limitlerin aşılması ya da müşteri beğeni ifadesi sınırlarının aşılması gibi durumların tespit edilmesinin sağlayacak tüm ikili değişkenler tanımlanmıştır.

5. Araştırma Bulguları (Findings)

Geliştirilen 0-1 karma tam sayılı doğrusal olmayan hedef programlama modeli, verilen parametreler altında çalıştırıldığında elde edilen yeni şişe tasarımına ait değişim değerleri $\Delta_1= 10,114$ mm, $\Delta_2= 2,12$ mm bulunduğu için şişe boyu 293,614 mm, şişe taban çapı 79,12 mm ve Silme Hacim= 1090,002 ml olacaktır. Bu tasarım hem hat spesifikasyonlarına uygun, hem üretim hızı açısından istenilen niteliklere uygun hem de müşteri beğenisi olarak 'çok' olarak ifade edilen tanım aralığına uygundur.

Optimize edilen üç hedef birbirinden bağımsız olarak dikkate alındığında, geliştirilen modelin önereceği şişe tasarımlarının karşılaştırılması ile aradaki farklar da görülebilmektedir. Bu araştırma, istenilen ifadelerin, matematikselde modeldeki denklemlerle doğru temsil edilip edilmediklerini değerlendirmeye de olanak sağlayacaktır.

Senaryo 1: Sadece hat spesifikasyonlarının dikkate alındığı durum

Geliştirilen matematiksel modelde sadece hat spesifikasyonları dikkate alınır, yani sadece G_1 hedefi enküçüklendiği takdirde (hat hızı ve müşteri beğenisi dikkate alınmaz ise) modelin amaç fonksiyon değeri Eşitlik 29'daki gibi olacaktır:

$$Z_{enaz} = \sum_1^2 P_1^1 (y_i + z_i) \quad (29)$$

Bunun yanı sıra Eşitlik 9 ve Eşitlik 17 ile bunların arasındaki tüm eşitlikler kullanılacaktır.

Sonuçta elde edilen yeni şişe tasarımına ait değişim değerleri $\Delta_1= 1,235$ mm, $\Delta_2= 1,235$ mm bulunduğu için şişe boyu 284,735 mm, şişe taban çapı 78,235 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 $G_1 + G_2$ hedefleri enküçüklendiği takdirde (müşteri beğenisi dikkate alınmaz ise) modelin amaç fonksiyon değeri Eşitlik 30'daki gibi olacaktır:

$$Z_{enaz} = \sum_1^2 P_1^1 (y_i + z_i) + (H_1 + H_2) \quad (30)$$

Bunun yanı sıra Eşitlik 9 ve Eşitlik 19 ile aradaki tüm eşitlikler kullanılacaktır.

Sonuçta elde edilen yeni şişe tasarımına ait değişim değerleri $\Delta_1= 3,785$ mm, $\Delta_2= 2,981$ mm bulunduğu için şişe boyu 287,285 mm, şişe taban çapı 79,981 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 $G_1 + G_3$ hedefleri enküçüklendiği takdirde (hat üretim hızı dikkate alınmaz ise) modelin amaç fonksiyon değeri Eşitlik 31'deki gibi olacaktır:

$$Z_{enaz} = \sum_1^2 P_1^1 (y_i + z_i) + \sum_1^4 P_1^3 (Sy_1^+ + Sy_1^-) \quad (31)$$

Bunun yanı sıra, Eşitlik 9 ve Eşitlik 17 ile bunların arasındaki tüm eşitlikler ve Eşitlik 20 ve Eşitlik 24 ile bunların arasındaki tüm eşitlikler kullanılacaktır.

Sonuçta elde edilen yeni şişe tasarımına ait değişim değerleri $\Delta_1= 10,114$ mm, $\Delta_2=2,12$ mm bulunduğu için şişe boyu 293,614 mm, şişe taban çapı 79,12 mm ve Silme Hacim= 1090,002 ml olacaktır. Bu tasarım parametreleri tüm hedeflerin birlikte sağlandığı matematiksel modelin ürettiği tasarım parametreleri ile aynıdır. Hem hat spesifikasyonlarına uygun, hem üretim hızı açısından istenilen niteliklere uygun hem de müşteri beğenisinin 'çok' olarak ifade edilen tanım aralığına uygundur. Hedefler üzerinde geliştirilen tüm senaryolardan elde edilen sonuçlar Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5. Tüm senaryolardan elde edilen sonuçlar (Results from all scenarios)

	Şişe Boyu (mm)	Taban Çapı (mm)	Silme Hacim (ml)	Yorum
Tüm Hedefler: $Z_{enaz}=G_1+G_2+G_3$	293,614	79,12	1090,002	Hat Spesifikasyonları: Uygun Üretim Hızı: 18.000-30.000 Müşteri Beğenisi: Çok
Senaryo 1: $Z_{enaz}=G_1$	284,735	78,235	1041,258	Hat Spesifikasyonları: Uygun Üretim Hızı: 18.000 altı Müşteri Beğenisi: Orta
Senaryo 2: $Z_{enaz}= G_1+G_2$	287,285	79,981	1064,16	Hat Spesifikasyonları: Uygun Üretim Hızı: 18.000-30.000 Müşteri Beğenisi: Çok
Senaryo 3: $Z_{enaz}= G_1+G_3$	293,614	79,12	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 hedeflerin 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.

6. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada içecek sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin şişe tasarımı problemi ele alınmıştır. Ele alınan tasarım probleminde birden fazla hedefin bir arada düşünülmesi gerektiğinden nihai çözüm için hedef programlama yaklaşımı tercih edilmiştir. Bu hedefler üretim hattı spesifikasyonlarının değişmemesi, üretim hızının belirli bir seviyede tutulması ve mümkün olan en yüksek müşteri beğenisinin sağlanması olarak belirlenmiştir. İnsanın doğal karar verme süreçlerini daha iyi ifade edebilmesi bakımından müşteri beğenisi hedefi 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 ile durulaştırılmıştır. Özetlemek gerekirse bu çalışmada, müşteri beğenisi hedefine ait bulanık veriler BAT ile durulaştırıldıktan sonra, üretim hızı ve üretim hattı spesifikasyonları hedefleri ile bir arada bir 0-1 karma tam sayılı bir doğrusal olmayan hedef programlama modeli üzerinden değerlendirilerek 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 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 ve literatüre katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmanın motivasyonunu oluşturan içecek sektöründe faaliyet gösteren firmanın, dışarıya fason olarak üreteceği, sonrasında seri üretime devam edip etmeyeceği belli olmayan yeni bir ürün için karşı karşıya kaldığı şişe tasarım problemi başarılı bir şekilde çözülerek 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 maliyeti, deneme kalıbı maliyeti, vs. gibi tüm detay maliyetlerden de kaçınılmıştır. Sonuç olarak verilen üretim hızını istenen ölçüde tutabilecek, üretim hattı spesifikasyonlarını sağlayan ve müşteri beğenisini de 'çok' ifadesi ile sağlayabilen 1090,002 ml'lik silme hacimdeki şişe tasarımı elde edilerek üretim hattında deneme yapılmış ve tasarım yetkililerden onay almıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Beng, L. G., Omar, B., 2014. Integrating Axiomatic Design Principles into Sustainable Product Development. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 1(2),107-117.
- Büyükoçkan, G., Berkol, Ç., 2011. Designing A Sustainable Supply Chain Using An Integrated Analytic Network Process and Goal Programming Approach in Quality Function Deployment. *Expert Systems with Applications*, 38, 13731-13748.
- Cavique, M., Gonçalves-Coelho, A. M., 2009. Axiomatic Design and HVAC Systems: An Efficient Design Decision-Making Criterion. *Energy and Buildings*, 41, 146-153.
- 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.
- 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.
- 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.
- Karsak, E. E., Sozer, S., Alptekin, S. E., 2003. Product Planning in Quality Fuction Deoployment Using A Combined Analytic Network Process and Goal Programming Approach. *Computers & Industrial Engineering*, 44(1), 171-190.
- 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, Seul.
- 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.
- Kulak, O., Kahraman, C., 2005b. Fuzzy Multi-Attribute Selection Among Transportation Companies Using Axiomatic Design and Analytic Hierarchy Process. *Information Science*, 170, 191-210.
- 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, K. D., Suh, N. P., Oh, S.-H., 2001. Axiomatic Design of Machine Control Systems. *Annals of the CRIP*, 50(1), 109-114.
- 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.
- Brandenburg, M., 2015. Low Carbon Supply Chain Configuration for a New Product – A Goal Programming Approach. *International Journal of Production Research*, 53(21), 6588-6610.
- Suh, N. P., 1990. *The Principles of Design*. Oxford University Press, New York, 67-90.
- Tyagi, S., Yang, K., Tyagi, A., Verma, A., 2012. A Fuzzy Goal Programming Approach for Optimal Product Family Design of Mobile Phones and Multiple-Platform Architecture. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews*, 42(6), 1519-1530.