



Brass alloy blending problem from quality and cost perspectives: A multi-objective optimization approach

Burak Birgören^{ID}, Ümit Sami Sakallı*^{ID}

Department of Industrial Engineering, Kirikkale University, Kirikkale, 71450, Turkey

Highlights:

- Evaluating quality and cost simultaneously
- Multi-objective stochastic mathematical model and fuzzy programming
- A solution procedure to implement in real life casting processes

Keywords:

- Process capability index
- Cost
- Blending problem
- Multi-objective optimization
- Fuzzy programming

Article Info:

Research Article
Received: 06.05.2020
Accepted: 19.09.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.732960

Correspondence:

Author: Ümit Sami Sakallı
e-mail: ssakalli@kku.edu.tr
phone: +90 318 357 4242 / 1047

Graphical/Tabular Abstract

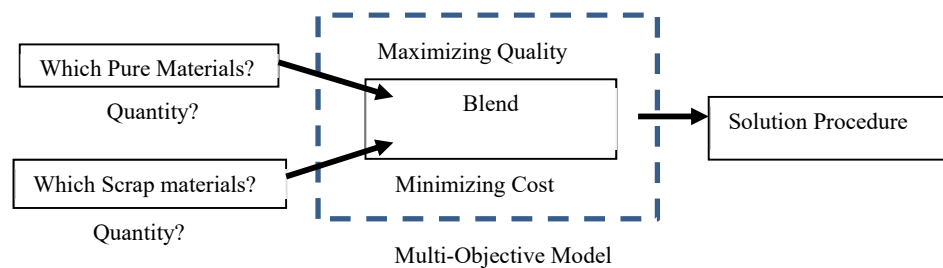


Figure A. The framework of the multi-objective blending problem

Purpose: In this study we developed a mathematical programming model that aims both cost minimization and quality maximization and a solution procedure for stochastic blending problem in brass casting

Theory and Methods:

Quality and cost are connected and challenging issues for production systems. Managers aims to improve the product quality and decrease product cost. However, generally, improvements in a product's design quality level cause an increase in the production cost. In many production systems, it is hard to formulate a product's quality as a function in a model. However, in brass casting blending process, it is possible to model the product quality by using process capability indices thanks to the nature of the blending problem. In this study, a multi-objective stochastic mathematical model has been developed which aims to present to the managers a blend with minimum cost at the highest quality level. The stochastic uncertainty has been converted into a deterministic counterpart by using chance-constrained approach. Therefore, the multi-objective stochastic model has been transformed into a multi-objective deterministic nonlinear mathematical model. The multi-objective model has been handled as a single objective model by using fuzzy programming. In order to implement developed model into real life applications, a solution procedure has been proposed.

Results:

The proposed model and the solution procedure have been tested in a numerical example using data supplied from a brass factory. The solution of the numerical example showed that the proposed model and solution procedure can easily select a blend with minimum cost and maximum process capability level.

Conclusion:

This study is the first attempt that consider both quality and cost in a model for blending problem. The proposed model and solution approaches can be used in different production processes including a blending problem.



Kalite ve maliyet perspektiflerinden pirinç alaşımı harmanlama problemi: Çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı

Burak Birgören^{ID}, Ümit Sami Sakallı*^{ID}

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Kalite ve maliyetin birlikte değerlendirilmesi
- Çok amaçlı stokastik matematiksel model ve bulanık programlama
- Gerçek hayat problemlerinde kullanılması için çözüm prosedürü

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 06.05.2020

Kabul: 19.09.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.732960

Anahtar Kelimeler:

Süreç yetenek indisi, maliyet, harmanlama problemi, çok amaçlı optimizasyon, bulanık programlama

ÖZET

Pirinç alaşımı ana olarak bakır ve çinko'dan oluşan ve gerekli hallerde kurşun, demir, alüminyum, kalay, nikel, antimon elementlerini de içeren bir malzemedir. Pirinç alaşımı dökümü sürecinde temel problemlerden biri, istenilen element oranlarını sağlayacak şekilde hangi saf ve hurda malzemelerin ne miktarlarda karıştırılacağı araştırılan harmanlama problemidir. Saf malzemelerin içeriği kesin bir şekilde bilinmektedir, ancak pahalıdır; hurda malzemeler ise ucuzdur, fakat içeriklerindeki element oranları değişkendir. Literatürde yoğun olarak maliyet minimizasyonunu amaçlayan stokastik matematiksel modeller geliştirilmiştir. Ancak bu modellerin çözümünde bazı elementlerin oranları spesifikasyon sınırlarına eşit çıkar. Dolayısıyla, model çözümlerine göre dökülen pirinç alaşımları spesifikasyon sınırı dışına taşabilmekte ve kalite problemlerinde neden olmaktadır. Kalite ölçüğü olarak süreç yetenek indisini maksimize etmeyi amaçlayarak bu problemi çözmeye çalışan çalışmalar da mevcuttur. Ancak süreç yetenek indisinin artması ile harman maliyeti de artmaktadır. Bu çalışmada, literatürde ilk kez hem harman maliyetini minimize etmeyi hem de süreç yetenek indisini maksimize etmeyi hedefleyen çok amaçlı stokastik matematiksel model geliştirilmiştir. Model şans kısıtlı programlama kullanılarak doğrusal olmayan deterministik eşleniğine dönüştürülmüş ve bulanık programlama yardımı ile tek amaçlı yapıya çevrilmiştir. Geliştirilen modelin gerçek hayat problemlerinde kullanılabilmesi için çözüm prosedürü önerilmiştir. Geliştirilen model ve çözüm prosedürü bir pirinç fabrikasından elde edilen verilerle çözülmüştür. Sonuçlar model ve prosedürün başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Brass alloy blending problem from quality and cost perspectives: A multi-objective optimization approach

H I G H L I G H T S

- Evaluating quality and cost simultaneously
- Multi-objective stochastic mathematical model and fuzzy programming
- A solution procedure to implement into real life applications

Article Info

Research Article

Received: 06.05.2020

Accepted: 19.09.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.732960

Keywords:

Process capability index, cost, blending problem, multi-objective optimization, fuzzy programming

ABSTRACT

Brass alloy is a composition of copper and zinc and it also includes lead, iron, tin, aluminum, nickel, antimony if necessary. One of the basic problems in brass casting is to determine which pure and scrap materials will be mixed at what quantities; this problem is known as the blending problem. The ingredient ratios of pure materials are exactly known, however they are expensive. The scrap materials are cheaper than the pure ones with varying ingredient ratios. Stochastic mathematical models aiming to minimize blend cost have been developed in the literature. In the solutions of these models, some of the ingredient ratios exactly equal to the specification limits. Because of the variation, some of them may violate the specification limits and cause quality problems in the actual blends. There is only one study in the literature to solve the quality problem by maximizing the process capability index. However, the blend cost increases when the process capability index maximized. In this study, a multi-objective stochastic mathematical model, which aims both to minimize blend cost and to maximize process capability index, has been developed. The developed model has been converted to a deterministic non-linear counterpart by using chance-constrained programming. Then, fuzzy programming is used to transform the multi-objective model into a single objective one. A solution procedure has been proposed to use it effectively in real life applications. The developed model and solution procedure have been tested by the data supplied from a brass factory. The solution of the numerical example has shown that the developed model and solution procedure can be used successfully in real life applications.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: birgoren@kku.edu.tr, ssakalli@kku.edu.tr / Tel: +90 318 357 4242 / 1047

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Pirinç, bakır (Cu) ve çinko (Zn) elementlerinden oluşan ve döküm yoluyla üretilen bir alaşımdır. Pirinç alaşımının içerisinde empürite olarak isimlendirilen kurşun (Pb), kalay (Sn), antimon (Sb), nikel (Ni), demir (Fe), alüminyum (Al) gibi başka elementler de bulunabilir. Pirinç alaşımları, içerdiği element oranlarına göre farklılaşmakta ve isimlendirilmektedir. DIN 17660 standartlarına göre on dokuz çeşit pirinç alaşımı mevcuttur. Bir örnek olarak Ms 58 CuZn39Pb2 pirinç alaşımının içeriği Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Ms 58 CuZn39Pb2 içeriği
(Specification of Ms 58 CuZn39Pb2)

	En az	En çok
Cu	58,5	60
Pb	1,5	2,5
Al	0	0,1
Fe	0	0,4
Ni	0	0,3
Sb	0	0,02
Sn	0	0,2
Diğer	0	0,3
Zn	Geri kalan	

Tablo 1.'deki 'En az' başlıklı sütun, elementlerin alaşımda bulunması gereken en az miktarını, 'En çok' başlıklı sütun ise alaşımda bulunması gereken en fazla miktarı göstermektedir. Zn için bu sınırlamalara ihtiyaç duyulmamaktadır. Diğer satırı, oranları nispeten çok düşük olan ve alaşım için önemli olmayan elementlerin toplamını ifade etmektedir. Pirinç alaşımı üretim süreci, şarj hazırlama olarak isimlendirilen ve istenilen ürün standartları sağlayacak hammadde ve malzeme karışımlarının hazırlanmasıyla başlamaktadır. Bu hammadde ve malzemeler, saf malzemeler olabileceği gibi hurda malzemeler de olabilir. Hazırlanan bu şarjlar eritme ocaklarında eritilerek dinlendirme ocaklarına dökülürler. Ergitme ve dinlendirme süreçlerinde üründen numuneler alınarak element oranları spektral analizle ölçülür. Element yüzdelерinin En az-En çok aralığının dışına çıkması durumunda ocaklara saf Zn veya Cu ilave edilerek ürün istenilen standartlara çekilir.

Karışımda kullanılacak saf malzemelerin içeriği bellidir, ancak bunlar hurda malzemelere göre daha pahalıdır. Hurda malzemeler ise birden çok elementi değişen yüzdelerde içerebilmektedir. Bu nedenle, pirinç alaşımı üretim sürecindeki en temel problemlerden biri şarj hazırlama sürecinde hangi saf ve hangi hurda malzemelerin ne miktarlarda karıştırılacağına belirlenmesidir. Bu problem Yöneylem araştırması literatüründe "Harmanlama Problemi" olarak isimlendirilmiştir. Stigler'in [1] diyet problemi üzerine yapmış olduğu çalışmadan bu yana rafineri, gıda sanayi, kimya sanayi ve metal sanayi gibi çeşitli proses endüstrilerinde literatüre girmiş birçok harmanlama problemi çalışması mevcuttur [2, 3]. Bu

çalışmalar genel olarak iki başlık altında toplanabilir: belirli ve belirsiz modeller. Belirli modellerde, problem parametrelerine ait tüm bilgiler tam ve kesindir. Bu problem türleri için genel olarak doğrusal programlama (DP) ve karışık tamsayı programlama (KTP) tekniklerinden faydalanılmıştır. Wilson ve Willis [4], Kim ve Lewis [5], De Cock ve Sinclair [6], Munford [7], Al-Shammari ve Dawood [8], Buehlmann vd. [9], Liu ve Sherali [10], Sakallı ve Birgören [11] ve Atac vd. [12] çeşitli alanlardaki harmanlama problemlerini DP tekniği kullanarak modellemiştir. Williams [13] ve Ashayeri ve van Eijs [14] ise belirli harmanlama problemi için KTP tekniğini kullanmışlardır.

Ancak problem parametreleri her zaman belirli-kesin değildir; ürüne değer katan girdilere ait bilgiler belirsiz olabilir [15]. Bliss [16], ve Sakallı ve Birgören [11] çalışmalarında belirsizlik içeren harmanlama problemini belirlilik kabulü altında modellemiştir. Fakat bu belirsizliklerin yol açacağı uygun olmayan çözümleri önlemek için modelin kısıtlarına güvenlik miktarları eklemek ya da belirsiz parametreler için kötümser değer kullanmak gibi pratik çözüm yolları üretmişlerdir. Ancak bu pratik çözümler belirsizliği modellemekte yetersiz kalmakta, sadece sonuçlar açısından uygun çözüm uzayını daraltarak alt eniyi sonuçlar üretmektedir. Dolayısıyla hurda malzeme içerisindeki belirsizlikler, dikkatli bir şekilde analiz edilip doğru tanımlandıktan sonra yapılarına uygun olarak modellenmelidir.

Bu bağlamda belirsizlik içeren harmanlama problemi için stokastik ve/veya bulanık programlama modelleri geliştirmek de mümkündür. Candler [17], Shih ve Frey [18], Blanchard-Gaillard vd. [19], Kumral [20], Lu vd. [21], Gholomnijad vd. [22], Noh vd. [23], Kumar ve Dimitrakopoulos [24] istatistiksel belirsizlik içeren harmanlama problemleri için iki aşamalı stokastik programlama ya da şans kısıtlı programlama gibi tekniklerden faydalanarak stokastik modeller geliştirmişlerdir. Rong ve Lahdelma [25] ise hem istatistiksel hem de bulanık belirsizlikleri içeren harmanlama problemi üzerine çalışmış ve bulanık şans kısıtlı bir yaklaşım önermiştir.

Harmanlama problemi literatüründeki çalışmalar genel olarak maliyet minimizasyonunu ya da kar maksimizasyonunu amaçlamıştır. Ancak matematiksel programlamanın bir sonucu olarak problem çözümünde bazı kısıtlar bağlayıcı olmaktadır. Bu sonuç, bazı element yüzdelерinin üst ya da alt sınıra dayanması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, matematiksel modellerden elde edilen sonuçlara göre dökülen bir üründe element yüzdelерinin spesifikasyon dışına çıkması muhtemel bir durumdur. Spesifikasyonların ihlal edilmesi ise kalite problemine neden olmaktadır.

Genel olarak maliyet ile kalite arasında bir ödünleşim söz konusudur, çünkü maliyet minimizasyonu (ya da kar

maksimizasyonu) pirinç karışım içeriğinde, saf malzemelere kıyasla fiyatı daha düşük olan hurda malzemelere azami yer vermeye çalışır. Daha çok hurda malzeme kullanılması harman içeriğindeki belirsizliği artırır, dolayısıyla kaliteyi düşürür. Literatürde harmanlama probleminde kalite üzerine yapılan tek bir çalışma mevcuttur [26]; bu çalışmada karışım maliyeti sabit tutularak karışım içeriğindeki elementlerin c_{pk} süreç yetenek indis değerlerinin ek küçüğü maksimize edilmiştir. Çalışmada karar vericilerin farklı karışım maliyetleri için üretilen Pareto çözüm kümelerinden seçim yapmaları beklenmektedir. Ancak çözümün karar vericilere bırakılması ciddi bir dezavantajdır. Çünkü, genellikle kalitesizliğin üreteceği maliyet büyük belirsizlik barındırır; harmanlama probleminde hangi c_{pk} değerinin ne tür bir maliyete yol açacağı genellikle bilinmez. Kalite maliyetleri fireler, yeniden işleme maliyetleri gibi iç başarısızlık maliyetlerini kapsadığı gibi ürün iadeleri, müşteri kaybı gibi tahmin edilmesi oldukça zor olan dış başarısızlık maliyetlerini de kapsar [27]. Dolayısıyla kalite indis değerlerinin parasal maliyet terimlerine dönüştürülmesi çok zordur ve karar vericilerden iyi bir kalite indis ve harman maliyet kombinasyonu belirlemelerini beklemek gerçekçi değildir. Diğer yandan harmanlama problemi doğası gereği kalite-maliyet ödünleşimini matematiksel olarak modelleyebilmek için eşsiz bir fırsat sunmaktadır, çünkü bulanık programlama yardımıyla kalite maliyetleri ile karışım maliyetleri tek bir model çatısı altında bir araya getirilebilir. Bu çalışmada literatürde ilk kez hem harman maliyetini minimize etmeyi hem de süreç yetenek indisini maksimize etmeyi hedefleyen çok amaçlı bir stokastik matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen model şans kısıtlı programlama kullanılarak doğrusal olmayan deterministik eşleniğine dönüştürülmüş ve bulanık programlama yardımı ile tek amaçlı yapıya çevrilmiştir. Geliştirilen modelin gerçek hayat problemlerinde etkin bir

şekilde kullanılabilmesi için bir çözüm prosedürü önerilmiş ve bir pirinç fabrikasından elde edilen verilere uygulama yapılmıştır. Bölüm 2’de maliyet minimizasyonu amaçlayan, Bölüm 3’te süreç yetenek indis maksimizasyonu amaçlayan stokastik harmanlama problemi modelleri verilmiştir. Geliştirilen çok amaçlı stokastik harmanlama modelleme ve çözüm yaklaşımları Bölüm 4’te sunulmuştur. Önerilen modelleme ve çözüm yaklaşımı Bölüm 5’te sayısal bir örnek üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar ve değerlendirme Bölüm 6’da verilmiştir.

2. MALİYET MİNİMİZASYONU İÇİN STOKASTİK HARMANLAMA PROBLEMİ MODELİ (STOCHASTIC BLENDING PROBLEM MODEL FOR COST MINIMIZATION)

Pirinç üretiminde kullanılan hammadde ve malzemeler, içerdikleri elementlere ait oranların belirli ve belirsiz olmasına göre üç grup altında toplanmıştır. Birinci grup saf malzemeleri içermektedir. İkinci grup tedarikçilerden temin edilen hurda parçalardan oluşmaktadır. Üçüncü grup ise fabrika bünyesindeki diğer atölyelerden döküm atölyesine dönen atıl kalmış ya da üretim sırasında fireye çıkmış mamul ve yarı mamulleri kapsamaktadır. Birinci gruptaki malzemelerin içeriği belli-kesindir; bu grupta yer alan malzemelere örnek olarak saf Cu, saf Zn ve saf Pb verilebilir. Üçüncü gruptaki malzemelerin içeriğindeki element oranları, döküm sürecinde dinlendirme ocağından alınan numunelerin analizi sonucunda belirlendiği üzere normal dağılımı takip etmektedir [28]. İkinci gruptaki hurda malzemeler ise kendi içinde 2 alt gruba ayrılmaktadır. Birinci alt grupta içeriğindeki element oranlarının kesin olarak bilindiği hurda malzemeler bulunmaktadır. Birinci alt gruba örnek olarak Cu kablolar verilebilir. İkinci alt gruptaki malzemelerin içerisindeki element oranları ise olasılıksal belirsizliğe sahiptir. Şekil 1’de gösterilen su saati hurdaları



Şekil 1. Hurda su saati yığını (Pile of scrap water clock)

bu grup malzemelere örnek olarak verilebilir. Yığının çeşitli bölgelerinden alınan numunelerin analizi sonucu bu yığma ait element oranlarının hurda ürünlerde (Üçüncü grup) olduğu gibi normal dağılımı takip ettiği görülmüştür.

Pirinç üretimi harmanlama problemi i . hammadde içerisindeki j elementi oranını ifade eden belli-kesin (P_{ij}) ve normal dağılımı takip eden ($R_{ij} \sim N(\mu_{ij}, \sigma_{ij}^2)$) rassal parametreler olmak üzere iki farklı türde parametreler içermektedir. Sakallı, Baykoç, ve Birgören [29] stokastik harmanlama problemi için şans kısıtlı doğrusal olmayan matematiksel bir model önermişlerdir. Modelin genel yapısı şu şekildedir:

Model notasyonu

- i hammadde, $i = 1, \dots, n$
- j element, $j = 1, \dots, m$
- C_i i . hammadde kg maliyeti
- P_{ij} i . hammadde içerisindeki j element oranı (Belirli) $i=1, \dots, h$
- R_{ij} i . hammadde içerisindeki j element oranı (Rassal) $i=h+1, \dots, k$
- V_i i . hammadde kayıp oranı
- W_j j . element kayıp oranı
- U_j pirinç ürünü içindeki j . element oranının üst spesifikasyon sınırı
- L_j pirinç ürünü içindeki j . element oranının alt spesifikasyon sınırı
- E_i i . hammaddenin stoktaki miktarı
- MX_i i . hammaddeden kullanılacak izin verilen üst miktar
- MN_i i . hammaddeden kullanılacak izin verilen alt miktar
- D ürüne olan talep miktarı (kg)
- $K_{1-\alpha}$ standart normal rastgele değişkenin olasılığının $1-\alpha$ 'ya eşit yada küçük olduğu değer

Karar değişkeni

- X_i i . hammaddeden harmanda kullanılacak miktar (kg)

Model 1

Amaç fonksiyonu

$$\text{Min: } \sum_{i=1}^n (C_i X_i) \tag{1}$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^h (V_i W_j P_{ij} X_i) + \sum_{i=h+1}^n V_i W_j \mu_{ij} X_i + K_{1-\alpha} * \sqrt{\sum_{i=h+1}^n (V_i^2 W_j^2 \sigma_{ij}^2 X_i^2)} \leq (U_j D) \quad \forall j \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^h (V_i W_j P_{ij} X_i) + \sum_{i=h+1}^n V_i W_j \mu_{ij} X_i - K_{1-\alpha} \tag{3}$$

$$* \sqrt{\sum_{i=h+1}^n (V_i^2 W_j^2 \sigma_{ij}^2 X_i^2)} \geq (L_j D)$$

$j = \text{bakır ve kurşun}$

$$X_i \leq \min\{E_i, MX_i\} \quad \forall i \tag{4}$$

$$X_i \geq \max\{0, MN_i\} \quad \forall i \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^n X_i \geq D \tag{6}$$

Eş. 1 toplam karışım maliyetinin minimize edilmesini sağlamaktadır. Ergitme işlem sırasında malzemenin yapısına ve kullanılan teknolojiye bağlı olarak malzeme kaybı ya da element kaybı oluşabilir. Malzemenin bir kısmının cürufa dönüşmesi ya da elementin buharlaşarak gaz fazına geçmesi bu kayıplara birer örnektir. Malzemeye bağlı kayıplar V_i parametresi ile elemente bağlı kayıplar ise W_j parametresi ile modellenmiştir. Bu parametreler [0 1] aralığında değerler alır; 1 hiçbir kaybın olmadığını, 0 ise tamamen kayıp olduğunu ifade eder ve malzemelerin ve elementlerin verimi olarak da görülebilir. Bu konu ile ilgili detaylı tartışma Kim ve Lewis [5]'in çalışmalarında bulunabilir. Eş. 2 ve Eş. 3, ürünlerdeki element oranlarının DIN standartlarına uyması için oluşturulmuş kısıtlardır. Eş. 2 ile üst spesifikasyon sınırı, Eş. 3 ile de alt spesifikasyon sınırı $1-\alpha$ minimum olasılık değeriyle sağlanır. Eş. 4 ve Eş. 5 ise sürece özgü geliştirilmiş olup, belli malzemelerin kullanımını zorunlu hale getirmek ve belli malzemelerin kullanımını sınırlamak için modele yerleştirilmiştir. Bu kısıtlara metalürjik nedenlerden dolayı ihtiyaç duyulmuştur. Örneğin, ocaklardaki cüruf kalınlığını azaltmak için belli malzemelerin harmana katılması zorunlu olabilir (harmanda bulunması istenen en az miktar MN_i parametresine atanarak), ya da bazı malzemelerin tek bir harmanda kullanılarak tükenmesi önlemek gerekebilir (harmanda bulunması istenen en çok miktar MX_i parametresine atanarak). Ayrıca MN_i ve MX_i parametrelerine aynı değer atanarak o malzemeden kullanılacak miktar sabitlenebilir. Eğer MN_i ve MX_i parametrelerine herhangi bir değer atanmamışsa, o malzemelerden en fazla stokta bulunan miktar kadar kullanılabilir. Eş. 6, kullanılacak malzeme miktarlarının toplamının talepten küçük olmamasına dair kısıttır.

Eş. 1-Eş. 6'da verilen şans kısıtlı doğrusal olmayan bu modelin çözümlenmesi için minimum olasılık seviyesini gösteren $1-\alpha$ parametresinin önceden belirlenmesi gerekir. Bu durum ise başka problemlere neden olur. $1-\alpha$ olasılık herhangi bir kısıtın bağlayıcı kısıt olup olmamasını doğrudan etkilemektedir. Bağlayıcı kısıtlarda ise ilgili elementin oranı, alt ya da üst spesifikasyon sınırına dayanır. Problemin çözüm sürecinin başında hangi elementlere ait kısıtların bağlayıcı olup olmayacağı bilinemeyeceğinden, karar vericiler risk almaktan kaçınmak için çok düşük α değerleriyle çalışmayı

tercih ederler. Bu durum ise maliyette gereksiz yere bir artış ile sonuçlanır.

3. SÜREÇ YETENEK İNDİSİ MAKSİMİZASYONU İÇİN STOKASTİK HARMANLAMA PROBLEMİ MODELİ
(STOCHASTIC BLENDING PROBLEM MODEL FOR PROCESS CABABILITY INDEX MAXIMIZATION)

Süreç yetenek indisleri sürecin değişiminin spesifikasyon sınırlarını karşılama yeteneğini bir istatistiksel değerle gösterir. Dolayısıyla, pirinç harmanlama probleminde element yüzdelilerinin ürün kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmede kullanılabilir. Eğer süreç sadece üst ya da alt spesifikasyon sınırına (USL veya ASL) sahip ise süreç yetenek indisi Eş. 7’de verildiği gibi tanımlanır. Eğer süreç hem alt hem de üst spesifikasyon sınırlarına sahipse süreç yetenek indisi Eş. 8’deki gibi hesaplanır.

$$C_p = C_{pu} \quad (\text{sadece üst spesifikasyon var ise}) \quad (7)$$

$$C_p = C_{pl} \quad (\text{sadece alt spesifikasyon var ise}) \quad (7)$$

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) \quad (8)$$

$$\text{öyleki } C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad \text{and} \quad C_{pl} = \frac{\mu - ASL}{3\sigma}$$

Sakallı ve Birgören [26], en küçük süreç yetenek indisini maksimize etmeyi amaçlayan doğrusal olmayan stokastik bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu modelde, Bölüm 2’de sunulan maliyet minimizasyonu modelinin notasyonları kullanılmakla beraber ilave bir parametre ve yeni bir karar değişkeni tanımlanmıştır. Bu parametre ve karar değişkenleri şu şekildedir:

Parametre

TCST harman maliyeti

Karar Değişkeni

δ en düşük süreç yetenek indisi

Sakallı ve Birgören’ nin [26], Şans kısıtı yaklaşımını kullanarak geliştirdiği bu model Eş. 9-Eş. 15’te verilmiştir.

Model 2

Amaç fonksiyonu

$$\text{Max: } \delta \quad (9)$$

Kısıtlar

$$\frac{(U_j D) - \sum_{i=1}^h (V_i W_j P_{ij} X_i) - \sum_{i=h+1}^n (V_i W_j \mu_{ij} X_i)}{3 \sqrt{\sum_{i=h+1}^n (V_i^2 W_j^2 \sigma_{ij}^2 X_i^2)}} \geq \delta \quad \forall j \quad (10)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^h (V_i W_j P_{ij} X_i) + \sum_{i=h+1}^n (V_i W_j \mu_{ij} X_i) - (L_j D)}{3 \sqrt{\sum_{i=h+1}^n (V_i^2 W_j^2 \sigma_{ij}^2 X_i^2)}} \geq \delta \quad (11)$$

j=bakır ve kurşun

$$\sum_{i=1}^N X_i = D \quad (12)$$

$$X_i \leq \min\{E_i, MX_i\} \quad \forall i \quad (13)$$

$$X_i \geq \max\{0, MN_i\} \quad \forall i \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^N (C_i X_i) = TCST \quad (15)$$

Eş. 9, belirli bir maliyete sahip çeşitli harmanlar içerisinde en düşük süreç yetenek indisi değerini maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Eş. 10 ve Eş. 11’de verilen kısıtların sol taraf değerleri sırasıyla C_{pu} ve C_{pl} değerlerini vermektedir. Hem alt hem de üst spesifikasyon limitlerine sahip Bakır ve Kurşun elementleri için süreç yetenek indisi Eş. 8’de verildiği üzere C_{pk} olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle, bu elementler için en düşük C_{pk} değeri Eş. 10 ve Eş. 11 kullanılarak hesaplanmaktadır. Ancak, Bakır ve Kurşun dışında geriye kalan elementler sadece üst spesifikasyon sınırına sahip oldukları için süreç yetenek indisi Eş. 7’de verildiği üzere C_{pu} olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle, bu elementler için en düşük C_p değeri Eş. 10 kullanılarak hesaplanmaktadır. Eş. 12, talebin karşılanması için oluşturulmuş bir kısıttır. Eş. 13 ve Eş. 14 ise belli malzemelerin kullanımını zorunlu hale getirmek ve belli malzemelerin kullanımını sınırlamak için modele yerleştirilmiştir. Eş. 15, harman maliyetini önceden belirlenmiş bir değere sabitlemek için kullanılmaktadır.

Eş. 9-Eş. 15’te verilen şans kısıtlı doğrusal olmayan bu modelin çözülebilmesi için Eş. 15’in sağ taraf değeri olan ve *TCST* parametresinin çözüm sürecinin başında belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, Sakallı ve Birgören [26] parametrik programlama yaklaşımını kullanıp *TCST*’yi olabileceği en düşük seviyeden en üst seviyeye kadar tekrarlı şekilde artırarak bir seri çözüm elde etmeyi önermişlerdir. Önerilen bu yöntem işe yaramaktadır; ancak en düşük süreç yetenek indisinin artmasıyla birlikte harman maliyeti de artarak Pareto optimal bir çözüm seti elde edilmesine neden olmaktadır. Bu durum ise karar vericinin hangi maliyet seviyesini seçerek hangi süreç yetenek indisini elde edeceği gibi bir başka karar problemini ortaya çıkartmaktadır.

Bu çalışmanın temel motivasyonu bahsi geçen Pareto optimal çözüm seti içerisinde karar vericiyi en üst seviyede tatmin edecek çözümü seçmesine yardımcı olacak bir yöntem sunmaktır. Önerilen yöntem Bölüm 4’te sunulmuştur.

Aslında, Model 1 ve Model 2 ilişkili modellerdir. Şöyle ki, Y_j normal rasgele değişkeninin Model 1'deki optimal karışımında kullanılan j bileşen miktarını gösterdiğini varsayalım. Bu, Eş. 2 ve Eş. 3 kısıtları ile ilişkilidir. Dolayısıyla, Y_j aşağıdaki gibi tanımlanan bir ortalamaya μ_{Y_j} ve varyansa $\sigma_{Y_j}^2$ sahiptir:

$$\mu_{Y_j} = \sum_{i=1}^h (V_i W_j P_{ij} X_i) + \sum_{i=h+1}^N (V_i W_j \mu_{ij} X_i)$$

ve

$$\sigma_{Y_j}^2 = \sum_{i=h+1}^N (V_i^2 W_j^2 \sigma_{ij}^2 X_i^2)$$

Eş. 2, $P(Y_j \leq U_j D) \geq 1 - \alpha$ şeklindedir. Bu, Y_j için C_{pu} 'nun en az $(U_j D - \mu_{Y_j}) / 3\sigma_{Y_j}$ olduğunu ifade eder, çünkü Eş. 2 bağlayıcı olduğunda $P(Y_j \leq U_j D) = 1 - \alpha$ 'dır. Yani, $U_j D - \mu_{Y_j} = K_{1-\alpha} \sigma_{Y_j}$ 'dir. Bu bize $C_{pu} = (U_j D - \mu_{Y_j}) / 3\sigma_{Y_j} = K_{1-\alpha} / 3$ eşitliğini verir. Dolayısıyla C_{pu} , $K_{1-\alpha}$ 'nın bir fonksiyonudur. Eğer Eş. 2 bağlayıcı değilse $P(Y_j \leq U_j D) \geq 1 - \alpha$ ve $C_{pu} \geq K_{1-\alpha} / 3$ 'dür. Aynı matematiksel gerekçe ile Eş. 3 için $C_{pl} \geq K_{1-\alpha} / 3$ bulunabilir. Sonuç olarak, Model 2'de belirlenen bir TCST maliyeti için elde edilen karışımın C_{pk} değerini 3 ile çarparak elde edilen $K_{1-\alpha}$ değeri Model 1'de yerine koyulursa aynı TCST maliyetini optimal değer olarak veren aynı karışımı elde edilir. Bu şekilde her iki model için aynı uygun çözüm uzayında çözüm aranabilir.

4. STOKASTİK HARMANLAMA PROBLEMİ İÇİN BULANIK ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI (FUZZY MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION APPROACH FOR STOCHASTIC BLENDING PROBLEM)

Harmanlama problemi için temel iki amaç harman maliyetinin minimizasyonu ve minimum süreç yetenek indisinin maksimizasyonudur. Bu iki amacın ayrı ayrı değerlendirildiği modeller sırasıyla Eş. 1-Eş. 6 ile Eş. 9-Eş. 15'te verilmiştir. Bu bölümde ise her iki amacın birlikte ele alındığı yeni bir model sunulmuştur. Şans kısıtlı programlama kullanılarak deterministik eşleniğine dönüştürülen doğrusal olmayan model şöyledir:

Amaç fonksiyonları

$$Z_1 = \text{Min: } \sum_{i=1}^n (C_i X_i) \tag{16}$$

$$Z_2 = \text{Max: } \delta \tag{17}$$

Kısıtlar

Eş. 10-Eş. 14.

Eş. 16 ve Eş. 17 birbirleri ile çelişen amaçlardır; süreç yetenek indisi maksimize edilmek istenirken harman maliyeti artmakta, harman maliyeti minimize edilmek istenirken ise süreç yetenek indisi ise azalmaktadır. Bu

nedenle problem çok amaçlı optimizasyon modelidir (ÇAOM).

4.1. Önerilen ÇAOM

(Proposed Multi Objective Optimization Model (MOOM))

ÇAOM'nin temel özelliği, karar vericilerin birden fazla ve birbirleriyle çatışan amaçlara ulaşmaları gerekesidir. Çoğu durumda birden fazla amacı aynı anda eniyileyen bir çözüme ulaşmak mümkün değildir; bunun yerine amaçların önem derecelerini dikkate alarak uzlaşılı bir çözüm elde edilebilir. Literatürde geliştirilmiş çeşitli ÇAOM yaklaşımları mevcuttur; Global Ölçütler Yöntemi, Ağırlıklandırma Yöntemi, Hedef Programlama, Parametrik Yöntem ve Bulanık Programlama [30].

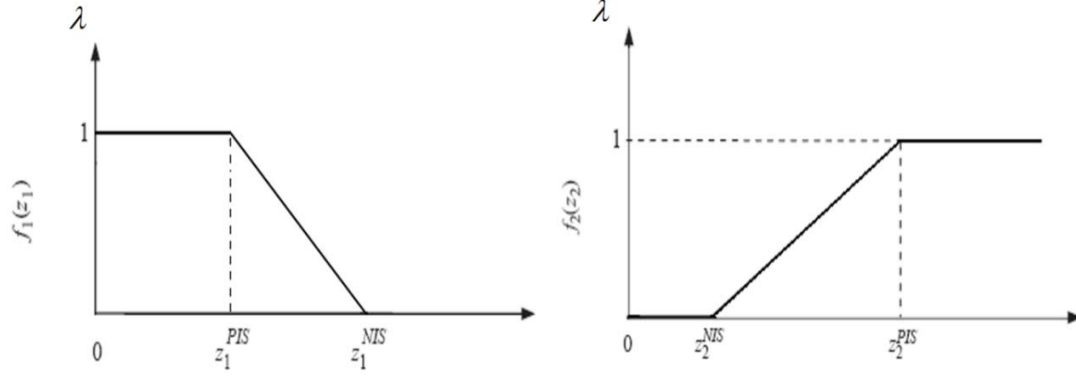
Harmanlama problemi için, amaç fonksiyonları arasında bir önceliklendirme ya da ağırlıklandırma (iki amaç farklı birimlere sahip) yapılamadığından dolayı yukarıda bahsi geçen yöntemler arasından bulanık programlama yöntemi ÇAOM çözümünde kullanılabilir en etkin yöntem olarak değerlendirilmektedir.

Model 1 ve 2, bulanık parametreler içermemekle birlikte, Model 1'in çözülebilmesi için $1 - \alpha$ olasılık değeri, Model 2'nin çözülebilmesi için TCST parametresinin karar verici tarafından belirlenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla Z_1 ve Z_2 amaç fonksiyonu değerleri karar vericinin tercihine dayalı olarak değişmektedir. Bu nedenle, pirinç harmanlama ÇAOM'i Zimmermann'ın [31] önerdiği bulanık programlama yöntemi kullanılarak tek bir amaç fonksiyonuna sahip bir model olarak ifade edilip çözülebilmektir. Öncelikle, her bir amaç tek tek ele alınarak pozitif ideal ve negatif ideal sonuçlar (PIS ve NIS) bulunur. PIS ve NIS, amaç fonksiyonunun alabileceği en büyük ve en küçük değerleri gösterir. Daha sonra bu değerlere bağlı olarak her bir amaç için tercihe dayalı üyelik fonksiyonları ($f_n(z_n)$) oluşturulur. Harmanlama problemi için PIS ve NIS'in elde edildiği modeller Eş. 18'de verilmiştir.

$$z_1^{PIS} = \min \sum_{i=1}^n (C_i X_i), \quad z_1^{NIS} = \max \sum_{i=1}^n (C_i X_i) \tag{18}$$

$$z_2^{PIS} = \max \delta, \quad z_2^{NIS} = \min \delta$$

Örnek olarak Z_2 ele alınacak olunursa, PIS Z_2 'nin alabileceği en büyük değeri, NIS ise en küçük değeri ifade eder. Eş. 17'ye göre amaç Z_2 'nin maksimum değeri elde etmek olduğu için karar vericiyi en tatmin edecek sonuç PIS'tir ve bu sonuca tercih derecesi olarak 1 atanır. PIS değerinden uzaklaştıkça karar vericinin tatmin olma seviyesi azalacak ve NIS'de 0 olacaktır. Tercihe dayalı üyelik fonksiyonlarının formülasyonları Eş. 19'da, şekilleri ise Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Amaçların tercihe dayalı üyelik fonksiyonları (Preference based membership functions)

$$f_1(z_1) = \begin{cases} 1 & z_1 < z_1^{PIS} \\ \frac{z_1^{NIS} - z_1}{z_1^{NIS} - z_1^{PIS}} & z_1^{PIS} \leq z_1 \leq z_1^{NIS} \\ 0 & z_1 > z_1^{NIS} \end{cases}$$

$$f_2(z_2) = \begin{cases} 1 & z_2 > z_2^{PIS} \\ \frac{z_2^{NIS} - z_2}{z_2^{NIS} - z_2^{PIS}} & z_2^{NIS} \leq z_2 \leq z_2^{PIS} \\ 0 & z_2 < z_2^{NIS} \end{cases} \quad (19)$$

Böylelikle harmanlama problemi ÇAOM nihai olarak aşağıda verilen tek amaçlı modele dönüştürülür:

Karar Değişkeni

λ Karar verici tatmin seviyesi

Model 3

Max: λ

Kısıtlar

$$\frac{z_1^{NIS} - \sum_{i=1}^N (C_i X_i)}{z_1^{NIS} - z_1^{PIS}} \geq \lambda$$

$$\frac{z_2^{NIS} - \delta}{z_2^{NIS} - z_2^{PIS}} \geq \lambda \quad (20)$$

Eş. 10 – 14, $\lambda \geq 0, \lambda \leq 1$.

4.2. CAOM Çözüm Prosedürü (Solution Procedure of MOOM)

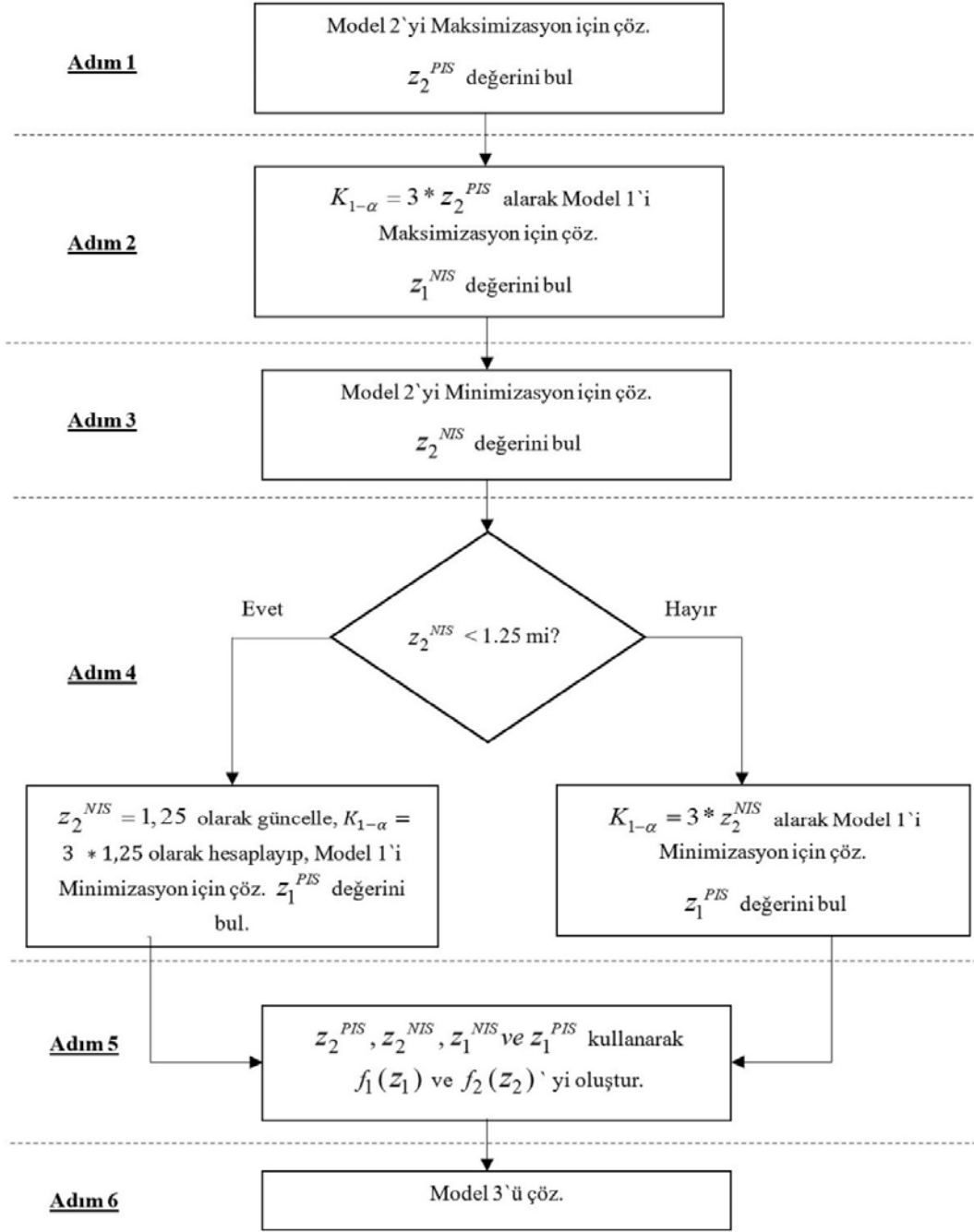
Önerilen harmanlama problemi ÇAOM çözülebilmesi için bir sistematik dahilinde Model 1, Model 2 ve Model 3'un

çözülmesi gerekmektedir. Bu sistematik için bir prosedür geliştirilmiştir. Geliştirilen prosedür Şekil 3`de verilmiştir.

Prosedürün ilk 4 adımında öncelikle Model 1 ve Model 2`nin çözümlenerek $z_2^{PIS}, z_2^{NIS}, z_1^{NIS}$ ve z_1^{PIS} değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Ancak Model 1`in çözülebilmesi için $K_{1-\alpha}$ parametre değerinin belirlenmesi gerekir. Dolayısıyla Model 1`i çözebilmek için öncelikle Model 2`nin çözümlenerek ilgili $K_{1-\alpha}$ parametre değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Böylelikle Z_1 ve Z_2 için aynı çözüm uzayı sağlanmış olunur. Adım 1`de Model 2, Eş. 15 kaldırılıp amaç fonksiyonu maksimize edilerek çözülür ve minimum süreç yetenek indisinin maksimum değeri (δ) bulunur. Bu değer δ `nın hiçbir maliyet kısıtı olmaksızın alabileceği en büyük değerdir ve z_2^{PIS} olarak kullanılır. Adım 2`de, Adım 1`de bulunan δ (yani z_2^{PIS}) 3 ile çarpılarak $K_{1-\alpha}$ hesaplanır ve bu $K_{1-\alpha}$ değeri için Model 1 amaç fonksiyonu maksimize edilerek çözülür; optimal değer z_1^{NIS} olarak kullanılır. Diğer bir deyişle z_1^{NIS} , olabilecek en iyi δ değerini maksimum maliyetle üreten harmanın maliyetidir. Böylece süreç yetenek indisinin ve maliyetin alabileceği maksimum değerler (z_2^{PIS} ve z_1^{NIS}) bulunmuş olur.

Adım 3`te Model 2, z_2^{NIS} değerini bulmak için Eş. 15 kaldırılıp amaç fonksiyonu minimize edilerek çözülür ve minimum süreç yetenek indisinin minimum değeri (δ) bulunur. Teorik olarak bu değer 0 çıkabilir. Oysa, gerçek hayatta birçok imalat ve proses endüstrisinde süreç yetenek indisinin kabul edilebilir alt sınırı 1,25 olarak alınmaktadır [27]. Dolayısıyla bu adımda bu değer 1,25`in üzerindeyse z_2^{NIS} olarak kullanılır, altındaysa $z_2^{NIS}=1.25$ alınır. Ardından $K_{1-\alpha}=3 * z_2^{NIS}$ alınarak Model 1 amaç fonksiyonu minimizasyon olarak çözülür; optimal değer z_1^{PIS} olarak kullanılır. Diğer bir deyişle z_1^{PIS} izin verilen ya da olabilecek en küçük δ değerini minimum maliyetle üreten harmanın maliyetidir. Böylece süreç yetenek indisinin ve maliyetin alabileceği minimum değerler (z_2^{NIS} ve z_1^{PIS}) bulunmuş olur.

Adım 5, $z_2^{PIS}, z_2^{NIS}, z_1^{NIS}$ ve z_1^{PIS} değerlerine göre maliyet ve süreç yetenek indisi için tercihe dayalı üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasını içermektedir. Adım 5`te formüle edilen üyelik fonksiyonları Model 3`e eklenerek Adım 6 uygulanır.



Şekil 3. Harmanlama problemi Bulanık ÇAOM prosedürü (Solution procedure for fuzzy CAOM)

5. SAYISAL ÖRNEK (NUMERICAL EXAMPLE)

Önerilen harmanlama problemi CAOM ve çözüm prosedürü, MKEK Pirinç fabrikasından sağlanan veriler ile oluşturulmuş örnek problem üzerinde test edilmiştir. Örnek problemde, spesifikasyon sınırları Tablo 1'de verilen Ms 58 CuZn39Pb2 ürününden 28000 kg üretilmek istenmektedir.

Kullanıma hazır halde bulunan hammadde ve malzemelerin stoktaki miktarlarına, maliyetlerine, izin verilen alt ve üst

miktarlarına ve içeriğindeki element oranlarına ait veriler Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de içeriğindeki element oranları belirli olan hammadde ve malzemelere ait standart sapma değerleri sıfırdır. Ayrıca, hammadde ve element kayıp oranlarının ihmal edilecek kadar az olduğu saptanmış ve bu nedenle W_j ile V_j parametresi değerleri 1 olarak alınmıştır.

Örnek problem Intel® Core i7-7700 K CPU (4.20GHz) işlemcili ve 64GB RAM kapasiteli bir bilgisayar ile önerilen prosedür çerçevesinde GAMS optimizasyon yazılımı

kullanılarak çözülmüştür. Önerilen prosedürün uygulama adımları aşağıda açıklanmıştır.

Adım 1

Tablo 1 ve 2’de sunulan veriler kullanılarak Model 2 maksimizasyon olarak çözülmüş ve $z_2^{PIS} = 1,765$ olarak bulunmuştur.

Adım 2

Model 1, $K_{1-\alpha} = 3 * z_2^{PIS} = 5,295$ alınarak maksimizasyon olarak çözülmüş ve $z_1^{NIS} = 101933$ olarak bulunmuştur.

Adım 3

Model 2 minimizasyon olarak çözülmüş ve $z_2^{NIS} = 0$ olarak bulunmuştur.

Adım 4

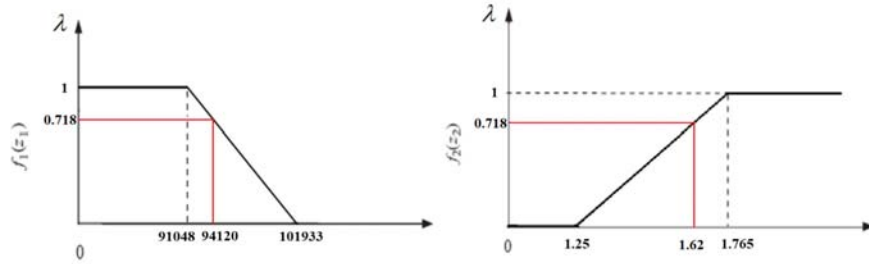
$z_2^{NIS} < 1,25$ olduğu için $K_{1-\alpha} = 3 * 1,25 = 3,75$ olarak hesaplanmıştır. Model 1, minimizasyon olarak çözülmüş ve $z_1^{PIS} = 91048$ olarak bulunmuştur.

Adım 5

z_2^{PIS} , z_2^{NIS} , z_1^{NIS} ve z_1^{PIS} kullanarak $f_1(z_1)$ ve $f_2(z_2)$ Eş. 21 gibi formüle edilmiştir.

$$f_1(z_1) = \begin{cases} 1 & z_1 < 91048 \\ \frac{(101933 - z_1)}{(101933 - 91048)} & 91048 \leq z_1 \leq 101933 \\ 0 & z_1 > 101933 \end{cases}$$

$$f_2(z_2) = \begin{cases} 1 & z_2 > 1.765 \\ \frac{(1.25 - z_2)}{(1.25 - 1.765)} & 1.25 \leq z_2 \leq 1.765 \\ 0 & z_2 < 1.25 \end{cases} \quad (21)$$



Şekil 4. Çözüm neticesinde elde edilen karar verici tatmin seviyeleri (Decision maker’s satisfaction levels in the solution)

Tablo 2. Hammadde ve malzemeler ait ilgili veriler (Data for raw materials)

A	B	C	D	E	% Cu		% Zn		% Pb		% Fe		% Sn		% Al		% Sb		% Ni	
					Ort.	Sts.	Ort.	Sts.	Ort.	Sts.	Ort.	Sts.	Ort.	Sts.	Ort.	Sts.	Ort.	Sts.	Ort.	Sts.
Saf Cu	10000	3000	4500	9,48	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oksitsiz kablo	3000	0	3000	3,4	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cu kablo	20000	0	2000	1,9	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Saf Pb	3450	0	500	3,1	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
İngot Zn	8000	0	3000	2,63	0	99	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bronz talaşı	9500	0	500	2,1	90	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Reganya takoz	10000	0	1000	1,8	62	0	25,4	0	2,5	0	2	0	4	0	1,5	0	1	0	1,6	0
Çelikli kovan	4000	0	2000	1,7	70	0,32	29,91	0,395	0	0,09	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hurda radyatör	20000	0	1200	1	97,5	0	0	0	1,25	0	0	0	1,25	0	0	0	0	0	0	0
Su saati	4500	0	4500	2,12	55,32	0,545	42,03	0,624	1,89	0,286	0,14	0,058	0,21	0,097	0,25	0,108	0,009	0,005	0,155	0,094
Ms 58 Zn40Pb2	3200	0	3200	2,31	58,41	0,436	39,04	0,505	2,09	0,305	0,105	0,043	0,181	0,077	0,02	0,022	0,01	0,008	0,148	0,087
Ms 58 Pb3	3000	0	3000	2,35	58,35	0,411	37,9	0,495	3,15	0,212	0,13	0,065	0,24	0,084	0,065	0,011	0,009	0,006	0,16	0,075
Ms 58 Zn39Pb2	2500	0	2500	2,45	59,37	0,325	38,12	0,488	1,95	0,256	0,19	0,059	0,14	0,032	0,058	0,018	0,012	0,005	0,165	0,071
Ms 60 Pb1,5	1300	0	1300	2,8	60,78	0,42	37,37	0,467	1,44	0,24	0,154	0,05	0,085	0,043	0,017	0,01	0,008	0,005	0,15	0,062
Ms 60 Pb0,5	1600	0	1600	2,75	60,72	0,45	38,3	0,473	0,52	0,15	0,158	0,058	0,09	0,045	0,021	0,012	0,01	0,006	0,18	0,066
Ms 63 Pb1,5	740	0	740	3,85	63,28	0,482	34,42	0,429	1,86	0,31	0,14	0,035	0,081	0,017	0,032	0,009	0,015	0,003	0,176	0,044
Ms 60	1000	0	1000	3,3	60,92	0,364	38,25	0,402	0,26	0,03	0,159	0,024	0,143	0,035	0,038	0,006	0,007	0,001	0,22	0,039
Ms 63 Zn37	800	0	800	4	63,62	0,31	35,95	0,41	0,077	0,016	0,081	0,011	0,065	0,025	0,015	0,008	0,008	0,001	0,187	0,037
Ms 67	550	0	550	4,35	67,42	0,28	32,36	0,38	0,035	0,14	0,036	0,009	0,038	0,009	0,011	0,004	0	0	0,105	0,031
Ms 72	1500	0	1500	4,82	72,06	0,265	27,79	0,367	0,02	0,016	0,02	0,008	0,02	0,01	0,01	0,004	0	0	0,08	0,028

A: Hammadde ve malzemeler B: Eldeki miktar (kg) C: İzin verilen en az (kg) D: İzin verilen en çok (kg) E: Maliyet (TL/kg) Ort: Ortalama, Sts: Standart Sapma

Tablo 3. Harmanda kullanılacak hammadde ve malzeme miktarları (Raw materials and their quantities in the blend)

Hammadde ve malzemeler	Kullanılan miktar (kg)	Hammadde ve malzemeler	Kullanılan miktar (kg)
Saf Cu	3000	Ms 58 Zn40Pb2	3200
Oksitsiz kablo	---	Ms 58 Pb3	3000
Cu kablo	613,541	Ms 58 Zn39Pb2	2500
Saf Pb	277,93	Ms 60 Pb1,5	1300
İngot Zn	3000	Ms 60 Pb0,5	1600
Bronz talaşı	---	Ms 63 Pb1,5	740
Reganya takoz	---	Ms 60	1000
Çelikli kovan	2000	Ms 63 Zn37	800
Hurda radyatör	440,855	Ms 67	550
Su saati	2814,445	Ms 72	1163,23

Adım 6

Model 3 çözülerek optimal çözüm elde edilmiştir. Optimal çözüme göre karar vericinin tatmin seviyesi $\lambda=0,718$ olarak bulunmuştur. $\lambda=0,718$ için hazırlanacak harmanın maliyeti $z_1=94120,054$ süreç yetenek indis değeri $z_2=1,62$ olarak hesaplanmış ve Şekil 4'te sunulmuştur.

Problemin optimal çözümünde harmanda kullanılacak hammadde ve malzemelerin miktarları Tablo 3'te verilmiştir. Hazırlanan harman incelendiğinde, karışımın yaklaşık % 66,7'lik kısmı Su saati ile Ms 72 arasındaki, nispeten element varyasyonları yüksek malzemelerden oluşmaktadır. Bu durum süreç yetenek indisinin artmasına engel oluşturmaktadır. Diğer taraftan metalürjik nedenlerden ötürü en az 3000 kg kullanılması istenen Saf Cu'nun tam bu miktarda kullanılması maliyeti artıran bir etkidir.

Diğer taraftan süreç yetenek indisini sınırlayan, Cu, Pb, Sn ve Al elementlerinin C_{pu} değerleridir. Bu 4 elementin üst spesifikasyon sınırlarını karşılama yeteneği birbirlerine eşit ve 1,62'dir.

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Pirinç alaşımı, radyatör, somun ve civata, elektrik bağlantıları, yapı malzemesi, makine parçaları, mühimmat malzemesi, optik malzemeler, dişli parçalar, otomotiv yedek parçaları gibi pek çok alanda kullanılan bir malzemedir. Pirinç alaşımının bu kadar çok alanda kullanılmasının temel nedeni içerdiği elementlerdir (Cu, Zn, Pb, Fe, Al, Sn, Ni, Sb). Bu elementlerin alaşım içerisindeki oranları değiştirilerek malzemeye kullanım alanına göre sertlik ve kırılgenlik, mukavemet, mekanik özellik, korozyona karşı dayanım, talaş kaldırma, sıcak / soğuk şekil verme gibi çeşitli özellikler kazandırılır. Bu nedenle alaşım içeriğindeki element oranları, istenilen ürünün kalitesi için belirleyicidir.

İstenilen element oranlarını tutturacak şekilde bir karışım hazırlayarak pirinç alaşımı dökmek, karışıma sadece saf malzeme katılması durumunda bir problem değildir. Çünkü saf malzemelerin içeriği kesin bir şekilde bilinmektedir, ancak saf malzemeler pahalıdır ve ürün maliyetini artırmaktadır. Ürün maliyetini düşürmek için ise genellikle hazırlanan karışıma hurda malzemeler katılır. Hurda

malzemelerin içeriklerindeki element oranları saf malzemelerde olduğu gibi kesin olarak bilinmemektedir; bir belirsizliğe sahiptir. Literatürde, karışım maliyetini minimize etmeyi amaçlayan ve hurda malzeme içeriklerinin olasılıksal olarak ele alındığı stokastik matematiksel modeller mevcuttur. Ancak bu modellerin çözümlerinde bazı element oranları spesifikasyon sınırlarına dayanmaktadır. Bu nedenle, modellerin çözümlerine göre dökülen pirinçler spesifikasyon sınırlarını ihlal ederek kalite problemlerine neden olabilmektedir. Kalite problemlerinin önüne geçebilmek için ise sürecin değişiminin spesifikasyon sınırlarını karşılama yeteneğini bir istatistiksel değerle gösteren süreç yetenek indisini maksimize etmeyi amaçlayan stokastik matematiksel modeller geliştirilmiştir, fakat süreç yetenek indisinin artması beraberinde maliyeti de artırmaktadır. Süreç yetenek indisini maksimize etmek ile karışım maliyetini minimize etmek birbirleriyle çelişen amaçlardır.

Bu çalışmada, hem süreç yetenek indisini maksimize etmeyi hem de karışım maliyetini minimize etmeyi amaçlayan çok amaçlı bir stokastik doğrusal olmayan matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen model, yapılan literatür araştırması kapsamında, bu iki amacı aynı anda eniyilemeyi amaçlayan ilk çalışmadır. Geliştirilen stokastik doğrusal olmayan matematiksel model, şans-kısıtlı yaklaşım kullanılarak deterministik eşleniğine dönüştürülmüştür. Deterministik çok amaçlı doğrusal olmayan model, bulanık programlama kullanılarak tek amaçlı bir yapıya çevrilmiştir. Çalışmada bulanık programlamanın, çok amaçlı harmanlama probleminde uygulanabilmesi için altı adımdan oluşan bir prosedür önerilmiştir. Geliştirilen model ve çözüm prosedür ile karar vericiye farklı maliyet ve süreç yetenek indis değerlerine sahip Pareto optimal çözüm seti içerisinden tatmin düzeylerini maksimize edecek bir çözüm sunulabilmektedir. Bunun için açık bir şekilde Pareto optimal çözüm setinin üretilmesine ve bu setin karar verici tarafından değerlendirilmesine gerek kalmamaktadır; seçimi geliştirilen model yapmaktadır. Çok amaçlı harmanlama problemi bir fabrikadan sağlanan gerçek veriler ile test edilmiştir; sonuçlar geliştirilen model ve çözüm prosedürünün etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Çalışmada, iki amacın tek amaç fonksiyonuna dönüştürüldüğü bulanık programlama yaklaşımının uygulanmasında süreç yetenek indisine ait tercihe dayalı üyelik fonksiyonu monoton artan bir

fonksiyon olarak modellenmiştir. Ancak kalite perspektifine göre süreç yetenek indisindeki artışın karar vericinin tatmin düzeyinde üstel bir şekilde artışa neden olacağı değerlendirilebilir. Gelecek çalışma olarak süreç yetenek indisine ait tercihe dayalı üyelik fonksiyonun üstel bir fonksiyon olarak modelleneceği çalışmalar yapılabileceği öngörülmektedir. Pirinç alaşımı harmanlama problemi için geliştirilen bu yaklaşımlar, süreç tipi üretim yapan çelik, gıda ve rafineri gibi diğer endüstri alanlarında da uygulanma potansiyeline sahiptir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Stigler G., The cost of subsistence, *Journal of Farm Economics*, 27 (2), 303-314, 1945.
2. Vismara P., Remi C., and Gilles T, Constrained Global Optimization for Wine Blending, *Constraints*, 21 (4), 597-615, 2016.
3. Cerdá J, Pautasso P.C., Cafaro D.C., Optimizing Gasoline Recipes and Blending Operations Using Nonlinear Blend Models, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 55 (28), 7782-7800, 2016.
4. Wilson E, Willis R, Microcomputers and linear programming – Feedstock revisited, *European Journal of Operational Research*, 19, 297-304, 1985.
5. Kim J., Lewis R.L., A large scale linear programming application to least cost charging for foundry melting operations, *American Foundrymen's Society Transactions*, 95, 735-744, 1987.
6. De Cock H.C., Sinclair M., Multi-mix feedstock problems on microcomputers, *Operational Research Quarterly*, 38, 585-590, 1987.
7. Munford A.G., A microcomputer system of formulating animal diets which may involve liquid raw materials, *European Journal of Operational Research*, 41, 270-276, 1989.
8. Al-Shammari M., Dawood I., Linear programming applied to a production blending problem: A spreadsheet modeling approach, *Production and Inventory Management*, 38, 1-7, 1997.
9. Buehlmann U., Ragsdale C.T., Gfeller B., A spreadsheet-based decision support system for wood panel Manufacturing, *Decision Support Systems*, 29, 207-227, 2000.
10. Liu C.M., Sherali H.D., A Coal Shipping and Blending Problem for an Electric Utility Company, *Omega*, 28, 433-444, 2000.
11. Sakallı Ü.S., Birgören B., A Spreadsheet-Based Decision Support Tool for Blending Problems in Brass Casting Industry, *Computers & Industrial Engineering*, 56 (2), 724-35, 2009.
12. Atac B., Adiguzel D., Tuylu S., Alp B.S., Study of the Optimal Aggregate Blending Model for Quarries, *Environmental Earth Sciences*, 75 (19), 1-11, 2016.
13. Williams, H.P., *Model building in Mathematical Programming*, Wiley, New York, 1989.
14. Ashayeri J., Van Eijs A.G.M., Nederstigt P., Blending Modelling in a Process Manufacturing: A Case Study, *European Journal of Operational Research*, 72 (3), 460-68, 1994.
15. Amini S.H., Vass C., Shahabi M., Noble A., Optimization of Coal Blending Operations under Uncertainty – Robust Optimization Approach, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 1-21, 2019.
16. Bliss N.G., Advances in Scrap Charge Optimization, In *One Hundred First Annual Meeting of the American Foundrymen's Society*, Rosemont, 27-30, 1997.
17. Candler W., Coal blending with acceptance sampling, *Computers and Operations Research*, 18, 591-596, 1991.
18. Shih J., Frey H., Coal blending optimization under uncertainty, *European Journal of Operational Research*, 83, 452-465, 1995.
19. Blanchard-Gaillard D., Yano C.A., Leung J.M.Y., Brown M.J., Discrete deterministic and stochastic blending problems with two quality characteristics: aluminum blending, *IIE Transactions*, 31, 1001-1009, 1999.
20. Kumral M., Application of chance-constrained programming based on multi-objective simulated annealing to solve a mineral blending problem, *Engineering Optimization*, 35 (6), 661-673, 2003.
21. Lu M., Qian J., Ekşioğlu S.D., Roni M.S., Stochastic Models for an Optimal Blending of Biomass under Cost, Quality and Uncertainty Considerations, 67th Annual Conference and Expo of the Institute of Industrial Engineers, 1103-9, 2017.
22. Gholamnejad J., Azimi A., and Teymouri M, R., Application of stochastic programming for iron ore quality control, *Journal of Mining and Environment*, 9 (2), 331-338, 2018.
23. Noh N.M., Bahar A., Zainuddin Z.M., Scenario Based Two-Stage Stochastic Programming Approach for the Midterm Production Planning of Oil Refinery, *Matematika: Malaysian Journal of Industrial and Applied Mathematics*, 34 (3), 45-55, 2018.
24. Kumar A., Dimitrakopoulos R., Application of simultaneous stochastic optimization with geometallurgical decisions at a copper-gold mining complex, *Mining Technology*, 128 (2), 88-105, 2019.
25. Rong A., Lahdelma R., Fuzzy Chance Constrained Linear Programming Model for Optimizing the Scrap Charge in Steel Production, *European Journal of Operational Research* 186 (3), 953-64, 2008.
26. Sakallı Ü.S., Birgören B., Joint optimization of quality and cost in brass casting using stochastic programming, *Engineering Optimization*, 1-13, 2019.
27. Montgomery D.C., *Introduction to Statistical Quality Control* 6th ed, John Wiley & Sons, New York, 2012.
28. Sakallı Ü.S., Döküm sanayinde harmanlama problemleri için olabilirlik ve olasılık teorisi tabanlı modelleme ve çözüm yaklaşımları, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
29. Sakallı Ü.S., Baykoç Ö.F., Birgören B., Stochastic Optimization for Blending Problem in Brass Casting

- Industry, *Annals of Operations Research*, 186 (1), 141–57, 2011.
- 30.** Lu J., Zhang G., Ruan D., Wu F., Multi-Objective Group Decision Making Methods, *Software and Applications With Fuzzy Set Techniques*, Imperial College Press, London, 2007.
- 31.** Zimmermann, H.J., Fuzzy programming and linear programming with several objective functions, *Fuzzy Sets and Systems*, 1, 45–55, 1978.

