

Nötrosofik Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği ve Tekstil Üretim Planında Uygulaması¹

Şule BAYAZİT BEDİRHANOĞLU² - Mahmut ATLAS³

Başvuru Tarihi: 19.02.2023

Kabul Tarihi: 01.11.2023

Makale Türü: Araştırma Makalesi

Öz

Dünya, küreselleşmenin etkisi ile birlikte, zaman ve mekân fark etmeksizin küçülmektedir. Küçülme, günlük yaşama artan değişim ve belirsizlik olarak yansımıştır. Bu durum beraberinde rekabet koşullarının ağırlaşmasına ve işletmelerin talepleri karşılama da birçok zorluk yaşamasına neden olmaktadır. Belirsizlik, 20. yüzyılda Zadeh tarafından sunulan bulanık kavramının literatüre girmesinden itibaren yönetilmesi gereken önemli bir kavram hâlini almıştır. Belirsizliği dikkate alan bulanık mantık, farklı yapılar hâlinde gelişmekle beraber birçok alanda uygulanmıştır. Nötrosofik kümeler bu yapılardan biridir. Nötrosofik kümeler, belirsizliği birbirinden bağımsız doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık bileşenleri ile inceleme imkânı sunmaktadır. İşletmeler üretimlerini istenilen kalitede ve zamanında üretmek istemektedir. Ayrıca işletmeler, mevcut kaynaklarını optimal bir şekilde kullanarak kazançlarını artırma amacı gütmektedir. Üretimin birden çok amacın çerçevesinde gerçekleşmesi üretim sürecinin çok amaçlı olarak organize edilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu çalışmada çok amaçlı doğrusal üretim problemi için bir çözüm tekniği önerilmektedir. Tekstil ürünleri üretim işletmesinde nötrosofik çok amaçlı optimizasyon tekniği ile çözüm gerçekleştirilmiştir. İşletmeden elde edilen veriler ile işletmenin mevcut kapasitesi ve amaçları belirlenmiştir. Daha sonra üretim modeli nötrosofik çok amaçlı optimizasyon tekniği ile modellenmiş ve çözümü gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda çok amaçlı optimizasyon probleminin nötrosofik ve sezgisel bulanık kümeler ile elde edilen çözüm sonuçları kıyaslanmıştır. Kâr ve müşteri memnuniyeti amaçları için nötrosofik çok amaçlı optimizasyon tekniği ile daha etkin sonuçlar elde edilmiştir. Maliyet amacı için sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile daha düşük maliyet elde edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çok Amaçlı Optimizasyon, Nötrosofik Küme, Nötrosofik Çok Amaçlı Optimizasyon, Sezgisel Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon, Üretim

Atf: Bayazit Bedirhanoglu, Ş. ve Atlas, M. (2023). Nötrosofik bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ve tekstil üretim planında uygulaması. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(4), 1363-1392.

¹ Bu çalışma etik kurul izin belgesi gerektirmemektedir.

² Bitlis Eren Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, sbedirhanoglu@beu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7545-7222

³ Anadolu Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, matlas@anadolu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0242-569X

Neutrosophic Multi-Objective Optimization Technique and Its Application in Textile Production Business

Şule BAYAZİT BEDİRHANOĞLU⁴ - Mahmut ATLAS⁵

Submitted by: 19.02.2023

Accepted by: 01.11.2023

Article Type: Research Article

Abstract

With the impact of globalization, the world is shrinking regardless of time and space. Shrinking is reflected in daily life as increasing change and uncertainty. This situation causes the competition conditions to become heavier and businesses to experience many difficulties in meeting the demands. Uncertainty has become an important concept to be managed since the introduction of the fuzzy concept by Zadeh in the 20th century. Fuzzy logic, which takes uncertainty into account, has been applied in many fields, although it has developed in different structures. Neutrosophic sets are one of these structures. Neutrosophic sets offer the opportunity to examine uncertainty with independent truth, uncertainty and falsity components. Businesses want to produce their production at the desired quality and on time. In addition, businesses aim to increase their earnings by using their available resources in an optimal way. The realization of production within the framework of multiple objectives is possible by organizing the production process as multi-objective. In this study, a solution technique for the multiobjective linear production problem is proposed. Neutrosophic multiobjective optimization technique is used to solve the problem in a textile production enterprise. With the data obtained from the enterprise, the current capacity and objectives of the enterprise were determined. Then, the production model was modeled and solved by neutrosophic multi-objective optimization technique. As a result of the study, the solution results of the multi-objective optimization problem obtained with neutrosophic and intuitionistic fuzzy sets were compared. For the profit and customer satisfaction objectives, more efficient results were obtained with the neutrosophic multi-objective optimization technique. For the cost objective, lower costs are obtained with the intuitionistic fuzzy multi-objective optimization technique.

Keywords: Multi Objective Optimization, Neutrosophic Set, Neutrosophic Multi Objective Optimization, Intuitionistic Fuzzy Multi Objective Optimization, Production

⁴ Bitlis Eren University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Business Administration, sbbedirhanoglu@beu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7545-7222

⁵ Anadolu University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Business Administration, matlas@anadolu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0242-569X

Giriş

Üretim; mal ve hizmet üreten, bunları tedarik edenler ile talep eden işletme, kuruluş ve kişileri bir arada tutan işlemler bütünüdür. Üretim bir süreçtir ve sürecin sonucu ortaya çıkan ürün ekonomik anlamda fayda yaratmaktadır. İşletmeler üretimlerini, müşteri talepleri doğrultusunda, istenilen zamanda gerçekleştirmek durumundadır (Bayazit Bedirhanoglu, 2023). Modern dünya ekonomik şartları, artan rekabet ve teknolojik gelişmeler ile ortaya çıkan e-ticaret ve beraberinde sanal pazarlar işletmelerin işini oldukça zorlaştırmaktadır. İşletmeler aynı anda birden çok ve çoğu zaman birbiri ile çelişen amaçlar altında faaliyette bulunmak zorunda kalmaktadır. İşletmeler üretimlerini, kâr elde etme amacı ile zaman, para, ham madde gibi kısıtlar altında sürdürmek durumundadır. Bu durum, üretimin planlar dâhilinde gerçekleştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Planlama, mevcut durum analizi ile amaçlara ulaşmak için kaynakların gelecekte ne kadarının nasıl kullanılacağına diğer bir ifade ile neyin nasıl yapılacağına kararlaştırılmasıdır (Bay ve Akpınar, 2016). Üretim planlama ise müşterilerin taleplerini karşılayacak ve makine, iş gücü vb. kaynakları kurumun performans hedeflerine göre kullanacak biçimde organizasyonudur (Balcı ve Emirkadı, 2023). İşletmeler üretimlerini kâr maksimizasyonu, maliyet minimizasyonu gibi tek bir amacı gerçekleştirmek üzere değil birden fazla ve birbiri ile çelişen amaç ve kısıtlayıcı altında gerçekleştirmek durumunda kalmaktadır. Ayrıca ekonomik dalgalanmalar, insan ihtiyaç ve tercihlerinde yaşanan değişiklikler ve üretim sisteminde yaşanan sapmalar gibi nedenler üretim sürecinde belirsizliğe neden olmaktadır. İşletmeler böylesi belirsizlik durumlarında, bir taraftan karşılaştığı sorunların üstesinden gelmeye diğer taraftan amaçlarını gerçekleştirebilecek biçimde faaliyetlerini devam ettirmeye çalışmaktadır. Klasik mantık belirsizliği bilinir kılmada yetersiz kalmaktadır. Belirsizlik, bir durum hakkında bilginin tahmin edilememesini ifade eder. Belirsizlik durumlarında karar sistemi doğru ve zamanlı olarak çalışmamaktadır. İşletmelerin başarısı, karşılaştığı belirsizlik durumları ile ne kadar üstesinden gelebildiği orantılıdır. Klasik yaklaşımlar, belirsiz dünya konjonktüründe arz talep beklentilerini karşılamada yetersiz kalmaktadır. Klasik yaklaşımların eksik bıraktığı durumlar bulanık yapılar ile giderilmeye çalışılmaktadır. Bulanık yapılar, giderek artan önemle üretimin planlanması ve faaliyete geçirilmesi sürecinde klasik yaklaşımların yetersiz kaldığı durumları tamamlamaktadır. Bulanık yapılar, ortaya çıkışı ile birlikte karmaşık üretim problemlerinin çözüm ve uygulamalarında etkin olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada amaç, bir tekstil üretim işletmesinin, üretim probleminin, nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniği ile çözümünü gerçekleştirmektir. Bu amaç kapsamında bulanık ve sezgisel bulanık kümelerin genellemesi olarak literatüre sunulan, nütrosifik kümeler ile çok amaçlı optimizasyon tekniği uygulanmıştır. Literatür taramasında, çok amaçlı üretim problemleri tek amaç altında incelendiği ve diğer amaçların kısıtlayıcı olarak ele alındığı görülmektedir. Benzer şekilde çok amaçlı üretim problemlerinin çoğunlukla klasik mantık ile incelendiği, belirsizliğin dikkate alınmadığı görülmektedir. Bulanık yapıların genellemesi olan nütrosifik ve sezgisel bulanık kümeler ile yapılan farklı analizler, belirsizliğin bağımsız olarak modellendiği nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniğinin, sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğine göre etkin bir teknik olduğunu göstermektedir. Ayrıca yapılan çalışmalar incelendiğinde, nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniği ile optimizasyonu gerçekleştirilen sınırlı sayıdaki çalışmaların genellikle iki amaç fonksiyonu ile az sayıda karar değişkeni ve kısıt altında gerçekleştirildiği görülmektedir. Çalışmaya konu olan üretim problemi, üç amaç, beş ana kısıtlayıcı ve otuz bir karar değişkeni altında gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda araştırmanın, belirsizliği olduğu çok amaçlı üretim problemlerinin çözümünde literatürdeki boşlukları dolduracak bir çerçeve sunması beklenmektedir. Ayrıca yerli yazında nütrosifik kümeler ve sezgisel bulanık kümeler ile çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümüne rastlanılmamıştır. Bu yönü ile çalışmanın alana katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca tekstil üretim işletmelerinin üretim problemlerinde yapılan araştırmalarda klasik ve bulanık kümeler üzerine odaklanılmıştır. Çalışmanın bu yönü ile de alana katkı sunacağı ve tekstil üretim işletmelerine üretim problemlerinin çözümünde farklı bakış açısı ortaya koyacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde öncelikle sezgisel bulanık, nütrosifik kümeler ile çok amaçlı optimizasyon ve üretim problemleri konusunda yapılan çalışmaları kapsayan bir literatür taraması yapılmıştır. Sonrasında bulanık ve nütrosifik kümeler ve devamında nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniğinden bahsedilmiştir. Araştırma tekniği nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniği çözüm algoritması detaylı bir biçimde aktarılmıştır. Çalışmanın devamında tekstil üretim problemi nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniği ile modellenmiş ve çözümlenmiştir. Çalışma bulgular, tartışma ve sonuç ile tamamlanmıştır.

Literatür Taraması

Üretim planlama, işletmenin kaynaklarını optimum düzeyde kullanarak ürünlerin istenilen özelliklerde ve istenilen zamanda üretiminin gerçekleştirilmesi için gerekli kararları alma ve uygulama faaliyetler bütünüdür. Günümüz rekabet koşulları, üretim sistemlerini, dolayısı ile işletmeleri karmaşık bir düzende bırakmaktadır. Üretimin planlar dâhilinde gerçekleştirilmesi işletmelere rekabet avantajının yanı sıra kaynakların optimum kullanımını da sağlamaktadır. Karar vericiler üretimi kâr, maliyet, hata oranı gibi birden çok amaç altında planlamak durumunda kalabilmektedir.

Literatürde üretim problemleri ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Üretim problemlerinin geneli çok amaçlı olmakla beraber belirsizlik içermektedir. Zadeh tarafından sunulan bulanık mantık sistemi belirsizliği kolaylıkla modelleyebilme olanağı sunmakta ve karar vericilere birçok alanda destek olmaktadır. Çeşitli araştırmacılar üretim problemlerinin çözümünde bulanık kümelerden yararlanmışlardır. Karaatlı vd. mobilya sektöründe yatak üretimi yapan bir işletmenin üretim probleminin çözümünü bulanık doğrusal programlama tekniği ile incelemiştir. Çalışmada kârı maksimum düzeyde gerçekleştirecek üretim modeli önerilmiştir (Karaatlı, Ömürbek ve Yılmaz, 2014). Basumatary ve Mitra tarım üretim problemini, ürün miktarı ve kâr maksimizasyonu amaçları ile iş gücü, kullanım alanı kısıtları altında bulanık çok amaçlı doğrusal programlama tekniği ile incelemiştir. Optimal çözümde bulanık çok amaçlı doğrusal programlama tekniğinin belirsizliğin üstesinden gelmek için önemi ortaya konulmuştur (Basumatary ve Mitra, 2020). Wang ve Liang, çok ürünlü çok amaçlı toplam üretim planlama karar problemini çözmek için bulanık çok amaçlı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Çalışmada toplam üretim maliyeti, iş gücü değişim oranı, taşıma ve sipariş verme maliyetlerini en aza indirmek için çözüm önerisi sunulmuştur (Wang ve Liang, 2004). Kumawat vd. sürdürülebilir üretim planlamasında karbon emisyonu ve enerji tüketimini en aza indirecek bulanık çok amaçlı optimizasyon modeli oluşturmuştur (Kumawat, Sinha ve Chaturvedi, 2021). Komsiyah vd. (2018), kârı maksimize, üretim ve ham madde maliyetini minimize etmek üzere mobilya üretiminde bulanık hedef programlama tekniğini incelemiştir.

Bulanık kümeler belirsizliği ele almakta güçlü bir teknik olmakla beraber bazı durumlarda yetersiz kalmaktadır. 1986 yılında Atanassov, bulanık kümelerin eksikliğini tamamlamak üzere, bulanık kümelere alternatif bir yaklaşım olarak sezgisel bulanık kümeleri literatüre sunmuştur (Kumar ve Yadav, 2012, s. 289). Sezgisel bulanık kümeler matematiksel yapısı ve uygulama alanında avantaj sağlaması nedeni ile birçok araştırmada yer bulmuştur. Angelov, sezgisel bulanık ortamda üç ayrı limandan, dört pazara taşıma maliyetini en aza indirecek optimizasyon modelini incelemiştir. Çalışmada bulanık optimizasyon ile sezgisel bulanık optimizasyon teknikleri ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bulgular sezgisel bulanık optimizasyon tekniği ile daha iyi sonuç elde edildiğini göstermiştir (Angelov, 1997, s. 306). Dey ve Roy, birbiri ile çelişen çok amaçlı bir problemi sezgisel bulanık hedef programlama tekniği ile incelemiştir. Çalışma yapısal tasarım problemine uygulanmış ve bulanık hedef programlama ve sezgisel bulanık hedef programlama tekniği ile çözümlenmiştir. Sonuçlar sezgisel bulanık hedef programlama tekniği ile bulanık hedef programlama tekniğinden genel olarak daha etkin olduğunu göstermiştir (Dey ve Roy, 2015, s. 55).

1980 yılında Florentin Smarandache, bulanık kümelerin uzantısı olan nütrosifik kümeleri önermiştir. Nütrosofi etimolojik olarak Fransızca “neutre” (doğal), Latince “neuter” (nötr) ve Yunanca “sophia” (bilgi, beceri, bilgelik) kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Nütrosofi, nötr (tarafsız) düşüncenin bilgisi anlamına gelmektedir (Smarandache, 2004, s. 104). Nütrosifik kümelerle göre karar vericiler değerlendirmelerini nötr düşünce altında gerçekleştirirler. Nütrosifik kümeler, tam, kesin olmayış, müphemlik, tanımsızlık, tamamlanamazlık, tutarsızlık, çelişki ve anlam belirsizliği gibi durumları matematiksel bir model ile sunma imkânı sağlamaktadır (Smarandache, 2005, s. 90). Nütrosifik kümeler bulanık ve sezgisel bulanık kümelerin genelleştirilmiş hâlidir. Bu kümelerden farklı olarak nütrosifik kümeler, belirsizliği birbirinden bağımsız doğruluk-belirsizlik-yanlışlık fonksiyonları ile tanımlamaktadır. Çalışmanın yöntem bölümünde detaylı olarak anlatılacak olan nütrosifik kümeler birçok alanda uygulamaya söz konusu olmuştur.

Roy ve Das (2015), üretim problemini nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniği ile incelemiştir. Çalışma da bir makine parkının üretim planı kâr, kalite ve çalışan memnuniyeti amaçları ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca analiz sezgisel bulanık kümeler ile gerçekleştirilmiş ve nütrosifik kümeler ile daha etkin sonuçlar elde edilmiştir. Abdel-Baset vd. (2016), nütrosifik hedef programlamayı tanıtmış ve açıklayıcı örnek ile çözümünü sunmuşlardır. Abdel-Baset vd. (2019) nütrosifik küme teorisi ile proje seçim problemini ele almıştır. Çalışmada proje seçiminde önemli olan kriterleri doğru bir biçimde tanımlamak ve en iyi alternatifi seçmek için TOPSIS ve DEMATEL çok kriterli karar verme teknikleri ile bir model önerilmiştir. Islam ve Deb (2019), tedarikçi seçim probleminde nütrosifik hedef programlama ve nütrosifik analitik hiyerarşi tekniklerini kullanmıştır. Han vd. (2020), tek değerli entropiye dayalı optimizasyon problemini incelemiştir. Çalışmada bulanık ortamda güç çizelgeleme problemi çok amaçlı tek değerli nütrosifik optimizasyon tekniği ile modellenmiş ve çözümlenmiştir. Khan vd. (2021), bir donanım firmasında üretim planlama problemini çok amaçlı nütrosifik optimizasyon tekniği ile ele almıştır. Kâr maksimizasyon, üretim maliyet ve stok bulundurma maliyet minimizasyon amaçları optimize edilmiştir. Planlama problemi sezgisel bulanık kümeler ile de analiz edilmiştir. Çalışma ile nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniğinin daha iyi bir çözüm sağladığı ortaya konulmuştur. Ahmad (2022), ilaç tedarik zinciri planlama problemi nütrosifik kümeler ile incelemiştir. Çalışma verileri bulanık ve nütrosifik hedef programlama teknikleri ile analiz edilmiş ve nütrosifik kümelerin etkinliği gösterilmiştir. Angammal vs Grace (2022), tarım ürün planlama problemini sezgisel ve nütrosifik programlama ile incelemiştir. Nütrosifik model ile minimum maliyetli üretim önerisi sunulmuştur.

Bu çalışmada nütrosifik kümeler bir tekstil üretim işletmesinde çok amaçlı üretim probleminin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışma ile karar vericilere belirsizliği dikkate aldıkları farklı bakış açısı kazandırma amaçlanmıştır. Literatür araştırmasında, tekstil üretiminin birçok optimizasyon çalışmasına konu olduğu görülmektedir. Fakat analizlerin birçoğu klasik ve bulanık kümeler üzerine gerçekleştirilmiş olup nütrosifik kümeler ile çok amaçlı üretim problemlerine yönelik uygulamaya rastlanılmamıştır. Bu yönüyle de çalışmanın araştırmacılara ve karar vericilere katkı sağlaması beklenmektedir. Bu çalışma, kapsamı gereği etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Yöntem

Bulanık Küme

Günlük yaşamda sayılarla ifade edilen kesin olarak bilinen birçok durumla karşılaşılmaktadır. Çeşitli ölçümler ile aracın hızı 62 km, suyun sıcaklığı 44 derece gibi kesin ifadeleri rahatlıkla kullanabilir ve bir başkasına iletiriz. Ancak kesin olarak bilinmeyen, kesin olarak kabul edilmemesine rağmen kesin gibi düşünülen, net bir biçimde ifade edilemeyen birçok durumla karşılaşılmaktadır. Örneğin “hava bugün çok sıcak”, “Serra Ali’den çok az uzundur” “araba çok eski”, “bina depreme dayanıklı” gibi kesinlik içermeyen değerlendirmeler

de sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Çok, az, soğuk, sıcak, eski, dayanıklı gibi dilsel ifadeler belirsiz durumları ifade etmektedir. Bu tür kesin gibi görünen ancak gerçekte kesin olmayan durumlar yaklaşık ve belirli sınırlar içinde yer almaktadır. Belirsizliğin olduğu bu ve benzeri durumlarda karşısında “bulanık” kavramı ortaya çıkmaktadır.

Azeri kökenli akademisyen Lotfi Asker Zadeh, belirsizliği temel alan bulanık kavramını literatüre sunmuştur. Zadeh, “Bulanık Kümeler” isimli çalışmasında, insan düşünce yapısının çoğu zaman kesin olmadığını, bulanık olduğunu ifade etmiştir (Zadeh, 1965, s. 338). İnsanlar bir olay hakkındaki düşüncelerini, sayısal terimler yerine, günlük konuşma dilinde kullandıkları sözel terimler ile ifade etmektedir. Kısa, uzun, uzak, yakın, soğuk, sıcak gibi sözel terimler farklı düşünme ve farklı karar mekanizmalarına bağlı olarak farklı algı ve yorumlamalara neden olmaktadır. Zadeh, bulanık mantık ile farklı düşünce ve yaklaşımların sonucu ortaya çıkan belirsizliğin sayısal olarak ifade edebileceğini ve modellenebileceğini ortaya koymuştur.

Kümeler mantık kuramının temelini oluşturmaktadır. Klasik küme mantığına göre, bir öge bir kümenin ya elemanıdır ya da elemanı değildir diğer bir ifade ile bir önerme ya doğrudur ya da yanlıştır. Aristoteles mantığı, iki değerli olarak da bilinen klasik mantığa dayalı klasik küme yaklaşımında bir öge, kümenin elemanı ise ögenin üyelik derecesi 1, aksi takdirde öge kümenin elemanı değil ise üyelik derecesi 0 değerini almaktadır. Klasik küme kavramında;

X: Boş olmayan bir küme,

A: X kümesinden türetilen klasik küme,

x : A kümesinin elemanları,

x_A : A kümesinin karakteristik fonksiyonu olmak üzere, A kümesinin karakteristik fonksiyonu eşitlik (1)'deki gibi gösterilmektedir (Klir ve Yuan, 1995, s. 6).

$$x_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

Burada, $\forall x \in X$ için $x_A(x) = 1$ olduğunda x , A kümesinin elemanıdır; $x_A(x) = 0$ olduğunda x , A kümesinin elemanı değildir (Paksoy, Yapıcı Pehlivan ve Özceylan, 2013, s. 25). Bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık kümeler, değişik üyelik derecesine sahip olan elemanların oluşturduğu topluluktur. Üyelik derecesi ise bir elemanın bir kümeye ait olup olmamasının göstergesidir. Bulanık bir kümede, bir elemanın üyelik derecesi [0-1] aralığında değişen değerler almaktadır (Baykal ve Beyan, 2004, s. 74). Bununla beraber, bir eleman farklı üyelik dereceleri ile birden fazla kümeye üye olabilmektedir. Üyelik dereceleri, üyelik fonksiyonu üzerinde tanımlanmaktadır (Şen, 2009, s. 38). Bulanık kümeler genelde üzerlerinde “tilde” “~” işareti ile gösterilirler. X boş olmayan bir küme olmak üzere, X kümesinden türetilen \tilde{A} bulanık kümesi, üyelik fonksiyonu ile karakterize edilmektedir (Zadeh, 1965, s. 339). $\mu_{\tilde{A}}(x)$: $X \rightarrow [0,1]$ olmak üzere, \tilde{A} bulanık kümesi eşitlik (2)'deki gibi gösterilmektedir.

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X\} \quad (2)$$

Burada,

X: Evrensel kümeyi,

x : Evrensel kümenin elemanı,

\tilde{A} : Bulanık kümeyi,

$\mu_{\tilde{A}}(x)$: Bulanık kümeye karşılık gelen üyelik fonksiyonunu temsil etmektedir.

Üyelik fonksiyonunun 0'a eşit olması ($\mu_{\tilde{A}}(x)=0$) x elemanının kümeye üye olmadığını, üyelik fonksiyonunun 1'e eşit olması ($\mu_{\tilde{A}}(x)=1$) x elemanının kümeye tam üye olduğunu ve üyelik fonksiyonunun 0 ve 1 arasında olması ise ($0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) \leq 1$) x elemanının kümeye kısmi üyeliğini ifade etmektedir (Özkan, 2003, s. 6).

Nötrosofik Küme

Nötrosofik küme kavramı, 1998 yılında Florentin Smarandache tarafından belirsizlik içeren problemlerin modellenmesi amacı ile geliştirilmiştir. Nötrosofik kümeler ile bir mantıksal ifade üç boyutlu bir uzayda, doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık alt kümeleri ile temsil edilmektedir (Smarandache, 2003, s. 143). E evrensel küme $x \in E$ olsun. $A^{\tilde{N}}$ nötrosofik kümesi eşitlik (3)'teki gibi gösterilmektedir.

$$A^{\tilde{N}} = \{(x, (\mu_{A^{\tilde{N}}}(x), (\sigma_{A^{\tilde{N}}}(x)), (\nu_{A^{\tilde{N}}}(x))) : x \in X\} \quad (3)$$

Burada; $\mu_{A^{\tilde{N}}}(x)$; doğruluk üyelik fonksiyonu, $\sigma_{A^{\tilde{N}}}(x)$; belirsizlik üyelik fonksiyonu ve $\nu_{A^{\tilde{N}}}(x)$; yanlışlık üyelik fonksiyonunu ifade etmektedir.

$$\mu_{A^{\tilde{N}}}(x); x \rightarrow]0^-, 1^+[$$

$$\sigma_{A^{\tilde{N}}}(x) : x \rightarrow]0^-, 1^+[$$

$$\nu_{A^{\tilde{N}}}(x) : x \rightarrow]0^-, 1^+[$$

$\mu_{A^{\tilde{N}}}(x), \sigma_{A^{\tilde{N}}}(x), \nu_{A^{\tilde{N}}}(x)]0^-, 1^+[$ aralığında gerçek, standart ya da standart olmayan alt kümeler olmak üzere nötrosofik üyelik fonksiyonları olup toplamları üzerinde herhangi bir kısıt yoktur. Bu durum eşitlik (4)'te gösterilmektedir.

$$0^- \leq \sup \mu_{A^{\tilde{N}}}(x) + \sup \sigma_{A^{\tilde{N}}}(x) + \sup \nu_{A^{\tilde{N}}}(x) \leq 3^+ \quad (4)$$

Wang vd. 2010 yılında tek değerli nötrosofik küme kavramını geliştirmişlerdir. Gerçek hayattaki problemlerin çözümüne kolaylık sağlamak amacıyla $]0^-, 1^+[$ aralığı yerine $[0,1]$ aralığını almışlardır (Wang, Smarandache, Zhang ve Sunderraman, 2010, s. 411). Tek değerli nötrosofik kümeler eşitlik (5)'teki gibi gösterilmektedir.

$$0 \leq \mu_{A^{\tilde{N}}}(x) + \sigma_{A^{\tilde{N}}}(x) + \nu_{A^{\tilde{N}}}(x) \leq 3 \quad (5)$$

Tek değerli nötrosofik kümelerin etki alanı $[0,1]$ aralığının sınırlarını aşmaz (Caballero, Smarandache ve Vaquez, 2019, s. 4). Diğer bir ifade ile doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarının her biri ayrı ayrı en yüksek 1 değerini alabilmektedir. Nötrosofik kümelerin, bulanık ve sezgisel bulanık kümelerden temel farkı, doğruluk, yanlışlık ve belirsizlik üyelik fonksiyonlarının derecelerinin toplamı 1'e eşit olmak zorunda değildir. Toplam 1'den büyük olabilmektedir.

Nötrosofik Çok Amaçlı Optimizasyon

Doğrusal programlamanın özel bir alanı olan çok amaçlı optimizasyon birden fazla amacın söz konusu olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Genel olarak çok amaçlı karar verme problemi eşitlik (6)'da gösterildiği gibi modellenmektedir.

$$\min/maks = f_i(x) \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (6)$$

Kısıtlayıcılar

$$\begin{aligned}
 g_j(x) &\leq 0, & j &= 1, 2, \dots, n. \\
 g_j(x) &\geq 0, \\
 g_j(x) &= 0, \\
 x &\geq 0;
 \end{aligned}$$

Burada, x karar değişkeni, m amaç fonksiyonu sayısı ve n kısıtlayıcı sayısını ve g_j kısıtlayıcıları ifade etmektedir (Gunantara, 2018, s. 4).

Çok amaçlı optimizasyon problemleri, parametreleri ve amaç öncelikleri belirgin değil de bulanık ise bulanık çok amaçlı programlama söz konusudur. Nötrosofik kümelerde bir problem, doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları ile tanımlanır. Nötrosofik çok amaçlı optimizasyon tekniği de doğrusal programlamanın özel bir dalıdır. Nötrosofik doğrusal programlama modeli eşitlik (7)'deki gibi gösterilmektedir (Hussian A.-N., Mohamed, Abdel-Baset ve Smarandache, 2017, s. 17).

$$\text{Maks/Min}Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

Kısıtlayıcılar

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}^N x_j \begin{matrix} = \\ \leq \\ \geq \end{matrix} b_i \quad 1 \leq i \leq m$$

$$x_j \geq 0 \quad 1 \leq j \leq n \tag{7}$$

a_{ij}^N nötrosofik sayı olmak üzere nötrosofik üyelik fonksiyonları sırası ile;

Doğruluk üyelik fonksiyonu eşitlik (8)'deki gibi;

$$\mu a_{ij}^N(x) = \begin{cases} \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 & \text{ise} \\ \frac{a_2-x}{a_3-a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 & \text{ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} & \text{ise} \end{cases} \tag{8}$$

Belirsizlik üyelik fonksiyonu eşitlik (9)'daki gibi;

$$\sigma a_{ij}^N(x) = \begin{cases} \frac{x-b_1}{b_2-b_1}, & b_1 \leq x \leq b_2 & \text{ise} \\ \frac{b_2-x}{b_3-b_2}, & b_2 \leq x \leq b_3 & \text{ise} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} & \text{ise} \end{cases} \tag{9}$$

Yanlışlık üyelik fonksiyonu eşitlik (10)'daki gibi gösterilmektedir.

$$\nu a_{ij}^N(x) = \begin{cases} \frac{x-c_1}{c_2-c_1}, & c_1 \leq x \leq c_2 & \text{ise} \\ \frac{c_2-x}{c_3-c_2}, & c_2 \leq x \leq c_3 & \text{ise} \\ 1, & \text{diğer durumlarda} & \text{ise} \end{cases} \tag{10}$$

Nötrosofik üyelik fonksiyonları belirlendikten sonra, doğruluk üyelik fonksiyonu maksimize ve belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları minimize edilmek üzere nötrosofik doğrusal programlama modeli eşitlik (11)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned}
 & \text{Maks} \mu(x) \\
 & \text{Min} \sigma(x) \\
 & \text{Min} \nu(x) \\
 & \text{Kısıtlayıcılar} \\
 & \mu(x) \geq \sigma(x) \\
 & \mu(x) \geq \nu(x) \\
 & 0 \leq \mu(x) + \sigma(x) + \nu(x) \leq 3 \\
 & \mu(x), \sigma(x), \nu(x) \geq 0 \\
 & \mu(x), \sigma(x), \nu(x) \in [0,1]
 \end{aligned} \tag{11}$$

Bu model daha sonra α , β ve γ biçiminde üç değişkenin eklenmesi ile eşitlik (12)'deki modele dönüştürülmektedir.

$$\begin{aligned}
 & \text{Maks}(\alpha - \gamma - \beta) \\
 & \text{Kısıtlayıcılar} \\
 & \mu(x) \geq \alpha \\
 & \sigma(x) \leq \gamma \\
 & \nu(x) \leq \beta \\
 & \alpha \geq \gamma \\
 & \alpha \geq \beta \\
 & 0 \leq \alpha + \gamma + \beta \leq 3 \\
 & \alpha, \gamma, \beta \geq 0 \\
 & \alpha, \gamma, \beta \in [0,1] \\
 & x \geq 0
 \end{aligned} \tag{12}$$

Nötrosofik çok amaçlı doğrusal programlama problemleri eşitlik (13)'teki gibi gösterilmektedir (Hezam, Abdel- Baset ve Smarandache, 2015, s. 42).

$$\begin{aligned}
 \text{maks} &= [f_1^{\tilde{N}}(x), f_2^{\tilde{N}}(x), \dots, f_{k_1}^{\tilde{N}}(x)] \\
 \text{min} &= [f_{k_1+1}^{\tilde{N}}(x), f_{k_1+2}^{\tilde{N}}(x), \dots, f_k^{\tilde{N}}(x)]
 \end{aligned} \tag{13}$$

Kısıtlayıcılar

$$\begin{aligned}
g_i(x) &\leq c_i, \quad i = 1, 2, \dots, m_1 \\
g_i(x) &\geq c_i, \quad i = m_1 + 1, m_1 + 2, \dots, m_2 \\
g_i(x) &= c_i, \quad i = m_2 + 1, m_2 + 2, \dots, m_2 \\
x &\geq 0
\end{aligned}$$

Modele eklenen α, γ, β değişkenleri, amaç fonksiyonlarına ilişkin üyelik fonksiyonlarının tatmin düzeyi olarak tanımlanabilir. Bu değişkenler sayesinde nütrosifik çok amaçlı optimizasyon modeli tek amaçlı optimizasyon modeline dönüştürülür. Bu yapı nütrosifik çok amaçlı programlama problemlerini doğrusal programlama tekniği ile kolaylıkla çözümlenebilir (Roy ve Das, 2015, s. 85).

Çok amaçlı nütrosifik optimizasyon problemi çözümlenirken şu adımlar izlenmektedir (Khan, Haq, Ahmed ve Ali, 2021, s. 37470; Roy ve Das, 2015, s. 86).

Adım 1: Nütrosifik çok amaçlı optimizasyon problemi daha önce gösterilen eşitlik (13)'teki gibi formüle edilir.

Adım 2: Problemin amaç fonksiyonlarından biri rastgele olarak seçilir. Seçilen amaç fonksiyonu, diğer amaçlar probleme dahil edilmeden, problemin tüm kısıtlayıcıları altında tek amaçlı olarak klasik doğrusal programlama tekniği ile çözülür. Böylece ideal çözümler elde edilmiş olur.

Adım 3: Adım 2'deki işlemler problemin diğer amaç fonksiyonları için ayrı ayrı uygulanır ve amaç fonksiyonunun ve karar değişkenlerinin alacağı değerler belirlenir.

Adım 4: Üyelik fonksiyonlarını oluşturmak için öncelikle hedefler ve toleranslar belirlenmelidir. Bunun için Adım 2'de elde edilen ideal çözümler kullanılarak eşitlik (14)'te verilen ödünleşme matrisi (pay-off table) elde edilir (Roy ve Das, 2015, s. 86).

$$\begin{vmatrix}
f_1(x^1) & f_2(x^1) & \dots & \dots & f_p(x^1) \\
f_1(x^2) & f_2(x^2) & \dots & \dots & f_p(x^2) \\
\dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
f_1(x^p) & f_2(x^p) & \dots & \dots & f_p(x^p)
\end{vmatrix} \quad (14)$$

Eşitlik (14)'te verilen ödünleşme matrisinin köşegen değerleri, her bir amacın alabileceği en iyi değeri göstermektedir. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde bir amacın alabileceği en iyi değeri bulmak kolaydır. Aksine bir amacın, en kötü çözüm değerini bulmak kolay olmamaktadır. Her bir amacın ayrı ayrı optimize edilmesi ile elde edilen ödünleşme matrisi, bir amacın alabileceği en kötü değeri de kolayca bulmayı sağlamaktadır. Bu sayede amaç fonksiyonlarının bulunduğu aralıklar kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Adım 5: Ödünleşme matrisinden her bir amaç fonksiyonunun alabileceği en iyi ve en kötü değerler elde edilir. Elde edilen bu değerler ile üyelik fonksiyonlarının alacağı alt ve üst limitleri belirlenir.

Doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarının alt ve üst limitleri amaç fonksiyonunun yapısına göre farklılık göstermektedir. Tablo 1'de amaç fonksiyonlarının maksimum yapılı olması durumunda nütrosifik üyelik fonksiyonlarının alt ve üst sınır değerlerinin hesaplanmasına ilişkin formüller verilmiştir.

Tablo 1
Maksimizasyon Amaçlı Nötrosifik Üyelik Fonksiyonu Alt ve Üst Değerlerinin Belirlenmesi

| Amaç Fonksiyonu Yapısı | Maksimizasyon Yapılı Amaç Fonksiyonu | |
|---|---|--|
| Üyelik Fonksiyonu | Alt Limit | Üst Limit |
| Doğruluk Üyelik Fonksiyonu (μ) | $L_k^\mu = \min\{f_k(x_r^*)\}$ | $U_k^\mu = \max\{f_k(x_r^*)\}$ |
| Belirsizlik Üyelik Fonksiyonu (σ) | $L_k^\sigma = L_k^\mu + \lambda_1(U_k^\mu - L_k^\mu)$ | $U_k^\sigma = U_k^\mu$ |
| Yanlışlık Üyelik Fonksiyonu (ν) | $L_k^\nu = L_k^\mu$ | $U_k^\nu = L_k^\mu + \lambda_2(U_k^\mu - L_k^\mu)$ |

Amaç fonksiyonunun minimum yapılı olması durumunda üyelik fonksiyonlarının alt ve üst sınır değerlerinin hesaplanmasına ilişkin formüller Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2
Minimizasyon Amaçlı Nötrosifik Üyelik Fonksiyonu Alt ve Üst Değerlerinin Belirlenmesi

| Amaç Yapısı | Minimizasyon Yapılı Amaç Fonksiyonu | |
|---|--|---|
| Üyelik Fonksiyonu | Alt Limit | Üst Limit |
| Doğruluk Üyelik Fonksiyonu (μ) | $L_k^\mu = \min\{f_k(x_r^*)\}$ | $U_k^\mu = \max\{f_k(x_r^*)\}$ |
| Belirsizlik Üyelik Fonksiyonu (σ) | $L_k^\sigma = L_k^\mu$ | $U_k^\sigma = L_k^\mu + \lambda_1(U_k^\mu - L_k^\mu)$ |
| Yanlışlık Üyelik Fonksiyonu (ν) | $L_k^\nu = L_k^\mu + \lambda_2(U_k^\mu - L_k^\mu)$ | $U_k^\nu = U_k^\mu$ |

Eşitliklerdeki L_k ve U_k her bir amacın alt ve üst sınırlarını göstermektedir. U_k (upper), maksimizasyon problemleri için en iyi değeri, L_k (lower) ise minimizasyon problemleri için en iyi değeri göstermektedir. Amaç fonksiyonunun maksimizasyon veya minimizasyon yapısında olmasına bakılmaksızın, her bir amaç değeri eşitlik (15)’te gösterildiği gibi, alt sınır ile üst sınır arasında değer almaktadır (Paksoy, Yapıcı Pehlivan ve Özceylan, 2013, s. 176).

$$L_k \leq f_k(x) \leq U_k \quad (15)$$

Tablo 1 ve Tablo 2’de verilen eşitsizliklerde yer alan λ_1 ve λ_2 değerleri sırasıyla, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarını belirlemek için karar verici tarafından seçilen tolerans değişkenleridir (Khan, Haq, Ahmed ve Ali, 2021, s. 37470). Bu değerler $[0,1]$ aralığında olup bu çalışmada $\lambda_1 = 0,7$ ve $\lambda_2 = 0,3$ olarak alınmıştır.

Adım 6: Tablo 1 ve Tablo 2’ye göre elde edilen alt ve üst sınırlar ile doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık fonksiyonları oluşturulur. Farklı amaç yapılarına göre üyelik fonksiyonları aşağıdaki eşitliklerde gösterildiği gibi belirlenmektedir (Roy ve Das, 2015, s. 87).

Amaç fonksiyonunun maksimizasyon yapılı olması durumunda doğruluk üyelik fonksiyonu eşitlik (16)’da gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$\mu_k(f_k(x)) = \begin{cases} 0 & , \quad f_k(x) \leq L_k^\mu \quad \text{ise} \\ \frac{f_k(x) - L_k^\mu}{U_k^\mu - L_k^\mu} & , \quad L_k^\mu \leq f_k(x) \leq U_k^\mu \quad \text{ise} \\ 1 & , \quad f_k(x) \geq U_k^\mu \quad \text{ise} \end{cases} \quad (16)$$

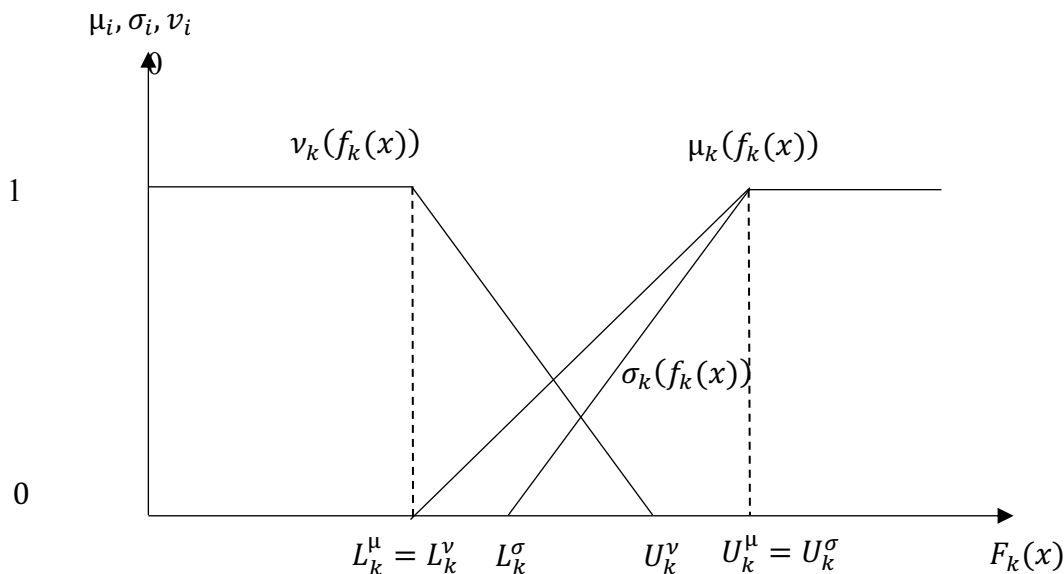
Amaç fonksiyonunun maksimizasyon yapılı olması durumunda belirsizlik üyelik fonksiyonu eşitlik (17)’de gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$\sigma_k(f_k(x)) = \begin{cases} 0 & , \quad f_k(x) \leq L_k^\sigma \quad \text{ise} \\ \frac{f_k(x) - L_k^\sigma}{U_k^\sigma - L_k^\sigma} & , \quad L_k^\sigma \leq f_k(x) \leq U_k^\sigma \quad \text{ise} \\ 1 & , \quad f_k(x) \geq U_k^\sigma \quad \text{ise} \end{cases} \quad (17)$$

Amaç fonksiyonunun maksimizasyon yapılı olması durumunda yanlışlık üyelik fonksiyonu eşitlik (18)’de gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$\nu_k(f_k(x)) = \begin{cases} 1 & , \quad f_k(x) \leq L_k^\nu \quad \text{ise} \\ \frac{U_k^\nu - f_k(x)}{U_k^\nu - L_k^\nu} & , \quad L_k^\nu \leq f_k(x) \leq U_k^\nu \quad \text{ise} \\ 0 & , \quad f_k(x) \geq U_k^\nu \quad \text{ise} \end{cases} \quad (18)$$

Şekil 1’de maksimizasyon yapılı nütrosofik kümeler için doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları gösterilmektedir (Islam ve Kundu, 2017, s. 20).



Şekil 1. Maksimizasyon Yapılı Nütrosofik Kümelerde Üyelik Fonksiyonları

Amaç fonksiyonunun minimizasyon yapılı olması durumunda üyelik fonksiyonları aşağıdaki eşitliklerde gösterildiği gibi tanımlanmaktadır (Khan, Haq, Ahmed ve Ali, 2021, s. 37471).

Amaç fonksiyonunun minimizasyon yapılı olması durumunda doğruluk üyelik fonksiyonu eşitlik (19)'da gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$\mu_k(f_k(x)) = \begin{cases} 1 & , \quad f_k(x) \leq L_k^\mu \quad \text{ise} \\ \frac{U_k^\mu - f_k(x)}{U_k^\mu - L_k^\mu} & , \quad L_k^\mu \leq f_k(x) \leq U_k^\mu \quad \text{ise} \\ 0 & , \quad f_k(x) \geq U_k^\mu \quad \text{ise} \end{cases} \quad (19)$$

Amaç fonksiyonunun minimizasyon yapılı olması durumunda belirsizlik üyelik fonksiyonu eşitlik (20)'de gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$\sigma_k(f_k(x)) = \begin{cases} 1 & , \quad f_k(x) \leq L_k^\sigma \quad \text{ise} \\ \frac{U_k^\sigma - f_k(x)}{U_k^\sigma - L_k^\sigma} & , \quad L_k^\sigma \leq f_k(x) \leq U_k^\sigma \quad \text{ise} \\ 0 & , \quad f_k(x) \geq U_k^\sigma \quad \text{ise} \end{cases} \quad (20)$$

Amaç fonksiyonunun minimizasyon yapılı olması durumunda yanlışlık üyelik fonksiyonu eşitlik (21)'de gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$\nu_k(f_k(x)) = \begin{cases} 0 & , \quad f_k(x) \leq L_k^\nu \quad \text{ise} \\ \frac{f_k(x) - L_k^\nu}{U_k^\nu - L_k^\nu} & , \quad L_k^\nu \leq f_k(x) \leq U_k^\nu \quad \text{ise} \\ 1 & , \quad f_k(x) \geq U_k^\nu \quad \text{ise} \end{cases} \quad (21)$$

Burada;

L_k^μ : Doğruluk üyelik fonksiyonu alt limiti

U_k^μ : Doğruluk üyelik fonksiyonu üst limiti

L_k^σ : Belirsizlik üyelik fonksiyonu alt limiti

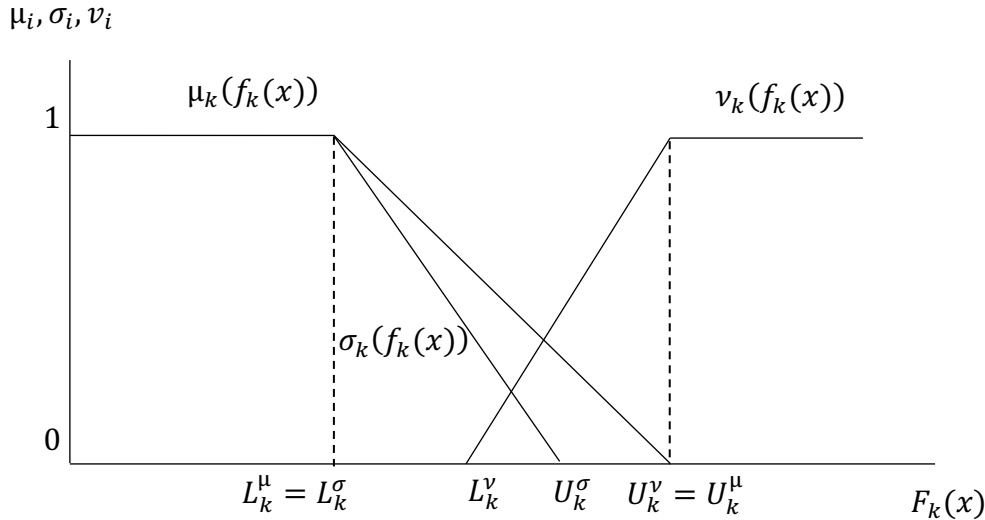
U_k^σ : Belirsizlik üyelik fonksiyonu üst limiti

L_k^ν : Yanlışlık üyelik fonksiyonu alt limiti

U_k^ν : Yanlışlık üyelik fonksiyonu üst limiti

$f_k(x)$: k . Fonksiyonu göstermektedir.

Şekil 2'de minimizasyon yapılı nütrosifik kümeler için doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları gösterilmektedir (Mondal , Kar, Garai ve Roy, 2018, s. 15).



Şekil 2. Minimizasyon Yapılı Nötrosifik Kümelerde Üyelik Fonksiyonları

Adım 7: Nötrosifik üyelik fonksiyonları belirlendikten sonra nötrosifik çok amaçlı optimizasyon modeli tek amaçlı doğrusal optimizasyon modeline dönüştürülür. Bu dönüşüm modele α, γ, β değişkenlerinin eklenmesi ile gerçekleştirilmektedir.

Tekstil Üretim Probleminin Nötrosifik Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği ile Çözülmesi

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde, tüm amaçlara göre en iyi çözüme ulaşılmaya çalışılmaktadır. Üretim problemleri de birden çok amaç ve kısıtın söz konusu olduğu çok amaçlı optimizasyon problemleri kapsamındadır. Üretim problemlerinde hangi üründen ne kadar üretileceğinin belirlenmeye çalışırken, kaynak kullanımı, maksimum kârın sağlanması, maliyetin minimum düzeyde gerçekleştirilmesi işletmeler açısından büyük önem taşır. Bu tür amaçlar birbiri ile çelişen ve eşanlı olarak gerçekleştirilmesi gereken amaçlar olarak nitelendirilir.

Literatürde üretim problemleri farklı amaçlar altında gerçekleştirilen çok amaçlı optimizasyon problemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Erpolat (2010), tavuk üretim problemini ele aldığı çalışmada, minimum maliyet, maksimum kâr ve maksimum üretim hedefleri hedef programlama ve bulanık hedef programlama teknikleri ile incelemiştir. Bulanık hedef programlama tekniği ile hedeflere daha etkin sonuçlar ile ulaşılmıştır. Dehghani Firoozabadi vd. (2022) çelik endüstrisinde yeşil üretim problemini incelemiştir. Çalışmada toplam gelir en büyüklenirken, toplam satın alma maliyeti, toplam üretim maliyeti, toplam envanter maliyeti, toplam kırımlık maliyeti ve toplam taşıma maliyeti en küçüklenmiştir. Kousar vd. (2023), tarım üretim problemini net kârın maksimize edilmesi, ürün veriminin maksimize edilmesi amaçları ile incelemiştir. Problem lineer, sezgisel ve nötrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniği ile incelenmiş ve buğday, pirinç üretiminde en iyi kâr ve ürün veriminin nötrosifik kümeler ile gerçekleştirildiği sonucuna ulaşılmıştır. Tam sayılı kuadratik programlama ile yapılan analiz sonunda karbondioksit emisyonunun en aza indirilmesi ile kârın artacağı ve yeşil üretimin maliyetleri azaltacağı sonucuna varılmıştır. Jin vd. (2021), müşteri memnuniyet oranını en üst düzeye çıkarmak ve dağıtım maliyetini en aza indirmek üzere araç rotalama problemini incelemiştir. Bulanık çok amaçlı PATH optimizasyon tekniği ile yapılan analiz ile maliyet azaltmaya yönelik bir rotalamanın müşteri memnuniyet oranını azalttığı sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada birden çok amacın söz konusu olduğu üretim problemi incelenmiştir. Çalışmamızda literatürdeki çalışmalara benzer şekilde kâr maksimizasyonu ve maliyet minimizasyonu amaçları alınmıştır. Ayrıca müşteri memnuniyet oranı amacı da işletmemizin üretiminde dikkat edeceği bir diğer amaçtır.

Araştırmaya konu olan işletme tekstil sektöründe faaliyet göstermektedir. Modele ilişkin varsayımlar şu şekildedir:

- Her bir ürüne olan talep sabittir ve bilinmektedir.
- Taşıma süreleri dikkate alınmamıştır.
- İşletmenin üretim sürecinde yeterli düzeyde ham maddesi mevcut olup gerektiği durumlarda tedarik sorunu yaşanmamaktadır.
- İşletmenin stok alanları yeterli düzeydedir.
- Üretim kapasitesi toplam talebi karşılayacak seviyededir.
- Üretim süresince maliyetler sabittir.
- Makineler eşit kapasitede çalışmaktadır.

İşletme yönetiminden elde edilen üretim sürecine ait bilgiler ile üretim modelinin değişken, kısıtlayıcı ve amaçları izleyen kısımda görüldüğü gibi belirlenmiştir.

Karar Değişkenleri

Uygulamaya söz konusu işletme, gömlek, etek, pantolon ve pijama olmak üzere dört ayrı ürün grubunda 31 tür hazır giyim ürünü üretmektedir. Karar değişkenleri “ x_j ” simgesi ile gösterilmektedir.

$x_j = j$. üründen üretilen ürün miktarını göstermektedir j . ($j=1,2,\dots,31$). Ürünlerin bulunduğu gruplar ise:

Gömlek grubu ürünler: $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$

Etek grubu ürünler: $x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}$,

Pantolon grubu ürünler: $x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}, x_{20}$,

Pijama grubu ürünler: $x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}, x_{25}, x_{26}, x_{27}, x_{28}, x_{29}, x_{30}, x_{31}$ şeklindedir.

İndisler

j : Ürün tipi ($j = 1,2, \dots, 31$)

i : Kumaş tipi ($i = 1,2, \dots, 12$)

r : Makine indisi ($r = 1,2, \dots, 24$)

l : El işi faaliyetleri ($l = 1,2$)

Parametreler

k_j = Bir birim x_j ürünün birim kârı (para birimi/birim)

c_j = Bir birim x_j ürününün birim üretim maliyeti (para birimi/birim)

s_j = Bir birim x_j ürününün üretiminin memnuniyet oranı

$T_j = j$. ürünün talebi (birim)

$N_i = i$. Kumaş miktarı (birim)

$g_r =$ Bir birim x_j ürününün r makinesinde birim üretim süresi (dakika/birim)

$R_r = r$. Makine kapasitesi (dakika)

$h_{ij} =$ Bir birim j . ürün için gerekli olan N_i kumaş miktarı (metre/birim)

$e_{ij} =$ Bir birim j . Ürün için gerekli el işi süresi (dakika/birim)

$E_l = l$. El işi kapasitesi

$t_j = j$. Ürün için gerekli ütü süresi (dakika)

$L =$ Ütü kapasitesi

Amaç Fonksiyonları

İşletme üst yönetimi, faaliyetlerini üretim maliyetlerini minimize, net kârını ise maksimize edeceği biçimde gerçekleştirmek istemektedir. Müşteri memnuniyet oranı; işletmenin belirli aralıklar ile müşterilerine uygulamış olduğu anketlerden elde edilen verilerden oluşan işletme kayıtlarından elde edilmiştir. Ayrıca yönetim, müşterilerden gelen geri dönüşler ölçüsünde ürün memnuniyet oranının da en iyi düzeyde olmasını istemektedir. Bu çerçevede üretim modelinin amaçları şu şekilde ifade edilmektedir.

Kâr maksimizasyonu: $MaksZ_1 = \sum_{j=1}^n k_j x_j$

Maliyet minimizasyonu: $MinZ_2 = \sum_{j=1}^n c_j x_j$

Müşteri memnuniyet oranı maksimizasyonu: $MaksZ_3 = \sum_{j=1}^n s_j x_j$

Kısıtlayıcılar

İşletmenin ürünlerine olan talep kısıtlayıcılarını belirlerken müşterilerden gelen haftalık talep miktarları pazarlama bölümünden alınarak aşağıda görüldüğü şekilde belirlenmiştir.

Talep Kısıtları:

$$x_j \geq T_j$$

Kumaş Kısıtları:

$$h_{ij} x_j \leq N_i$$

Makine Kısıtı

$$g_r x_j \leq R_r$$

Ütü Kısıtı

$$t_j \leq L$$

El İş Kısıtı

$$e_{ij} x_j = E_l$$

Çok amaçlı üretim modelinin, nütrosifik kümeler ile kurulumu ve çözümü yedi adımda gerçekleştirilmiştir.

Adım 1: Tekstil işletmesinin üretim probleminin, doğrusal çok amaçlı optimizasyon modeli eşitlik (22)'de belirtilen biçimde modellenmiştir.

$$MaksZ_1 = \sum_{j=1}^n k_j x_j$$

$$MinZ_2 = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$MaksZ_3 = \sum_{j=1}^n s_j x_j$$

Kısıtlayıcılar

$$x_j \geq T_j$$

$$h_{ij} x_j \leq N_i$$

$$g_r x_j \leq R_r$$

$$t_j \leq L$$

$$e_{lj} x_j = E_l$$

ve $x_j \geq 0$ ve x_j tamsayı; $j=1,2,\dots,31$.

(22)

Üretim probleminin, nütrosifik doğrusal çok amaçlı optimizasyon problemi eşitlik (23)'te belirtilen biçimde modellenmiştir.

$$MaksZ_1^N = \sum_{j=1}^n k_j x_j$$

$$MinZ_2^N = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$MaksZ_3^N = \sum_{j=1}^n s_j x_j$$

Kısıtlayıcılar

$$x_j \geq T_j$$

$$h_{ij} x_j \leq N_i$$

$$g_r x_j \leq R_r$$

$$t_j \leq L$$

$$e_{lj} x_j \leq E_l$$

ve $x_j \geq 0$ ve x_j tamsayı $j=1,2,\dots,31$.

(23)

Adım 2: Üretim modelinde yer alan amaçlardan kâr maksimizasyonu amacı (Z_1), diğer amaçlar çözüme dâhil edilmeden doğrusal üretim modelinin tüm kısıtlayıcıları altında çözülmüştür. LINGO 19.0 paket program ile gerçekleştirilen çözümde amaç fonksiyonunun değeri;

$$MaksZ_1 = 564.577,8 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Adım 3: Adım 2’de yapılan işlem, tüm amaçlar için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Her seferinde tek bir amaç için çözüme gidilmiş ve diğer amaçlar dikkate alınmamıştır. Üretim modelinin diğer amaçlarının, LINGO 19.0 paket programı ile doğrusal olarak tek amaçlı çözümlerinden elde edilen değerler sırasıyla;

Maliyet minimizasyon amacı için; $MinZ_2 = 1.141.483$

Müşteri memnuniyet oranı maksimizasyon amacı; $MaksZ_3 = 9.593,7$ şeklinde bulunmuştur.

Adım 4: Tablo 3’te, üretim modelindeki her bir amacın, diğer amaçlardan bağımsız olarak çözülmesi ile elde edilen ödünleşme matrisi yer almaktadır.

Tablo 3
Üretim Problemi Ödünleşme Matrisi

| | Z_1 | Z_2 | Z_3 |
|-------|------------|------------|----------|
| Z_1 | 564.577,8 | 1.141.483 | 9.529,8 |
| Z_2 | 453.460,4 | 885.986,05 | 7.801,17 |
| Z_3 | 564.067,84 | 1.135.943 | 9.593,7 |

Ödünleşme matrisinde yer alan köşegen değerleri her bir amacın bağımsız çözümünden elde edilen amaç fonksiyonu değerini ifade etmektedir. Matriste yer alan diğer değerler ise bağımsız çözümlerden elde edilen karar değişkeni değerlerinin, diğer amaç fonksiyonlarında yerine konulması ile hesaplanmıştır. Tablo 3’te yer alan ödünleşme matrisine göre Z_1 sütununda yer alan değerlerin açıklaması şu şekildedir:

Z_{11} : 564.577,8 değeri modelin kâr maksimizasyonu olan Z_1 amaç fonksiyonunun bağımsız olarak çözülmesi ile elde edilmiştir. Z_{21} : 453.460,4 değeri ise maliyet minimizasyonu Z_2 amaç fonksiyonunun bağımsız olarak çözümünden elde edilen karar değişkeni değerlerinin Z_1 amaç fonksiyonunda yerlerine konulması ile bulunmuştur. Z_{31} : 564.067,84 değeri ise Z_3 müşteri memnuniyet oranı maksimizasyonu amacının bağımsız çözümünden elde edilen karar değişkenlerinin Z_1 amaç fonksiyonunda yerine konulması ile elde edilmiştir.

Adım 5: Tablo 3’te yer alan ödünleşme matrisinden elde edilen değerler kullanılarak nütrosifik doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarının alt ve üst sınır değerleri belirlenir. Ödünleşme matrisi aynı zamanda bir amacın hangi aralıkta değer alabileceğini göstermektedir. Kârın maksimize edildiği Z_1 amaç fonksiyonu $453.460,4 \leq Z_1 \leq 564.577,8$ arasında bir değer alır. Z_1 amaç fonksiyonunun alt limiti 453.460,4 ve üst limiti 564.577,8 olmak üzere; doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonlarını belirlemek için gerekli sınır değerleri Tablo 1’de gösterilen formüller aracılığı ile hesaplanmıştır. Kâr maksimizasyonu amacı için doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonu sınır değerleri sırası ile eşitlik (24), eşitlik (25) ve (26)’da gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Kâr maksimizasyonu amacı doğruluk üyelik fonksiyonu sınır değerleri:

$$\begin{aligned} U_{Z_1}^{\mu} &= \max\{f_1(x_1^*)\} = 564.577,8 \\ L_{Z_1}^{\mu} &= \min\{f_1(x_1^*)\} = 453.460,4 \end{aligned} \quad (24)$$

Kâr maksimizasyonu amacı belirsizlik üyelik fonksiyonu sınır değerleri:

$$\begin{aligned} U_{Z_1}^{\sigma} &= \max\{f_1(x_1^*)\} = 564.577,8 \\ L_{Z_1}^{\sigma} &= L_1^{\mu} + \lambda_1 (U_1^{\mu} - L_1^{\mu}) \\ L_{Z_1}^{\sigma} &= 453.460,4 + 0,7(564.577,8 - 453.460,4) = 531.242,58 \end{aligned} \quad (25)$$

Kâr maksimizasyonu amacı yanlışlık üyelik fonksiyonu sınır değerleri

$$\begin{aligned} L_{Z_1}^{\nu} &= \min\{f_1(x_1^*)\} = 453.460,4 \\ U_{Z_1}^{\nu} &= L_1^{\mu} + \lambda_1 (U_1^{\mu} - L_1^{\mu}) \\ U_{Z_1}^{\nu} &= 453.460,4 + 0,3(564.577,8 - 453.460,4) = 486.795,62 \end{aligned} \quad (26)$$

Benzer şekilde minimize edilmek istenen Z_2 ve maksimize edilmek istenen Z_3 amaçları için doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları için alt ve üst sınır değerleri hesaplanmıştır.

Adım 6: Amaç fonksiyonunun yapısına göre elde edilen alt ve üst sınırlar ile her bir amaç fonksiyonu için doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları elde edilmiştir. Z_1 amaç fonksiyonu için doğruluk, belirsizlik ve yanlışlık üyelik fonksiyonları aşağıda verildiği gibi elde edilmiştir.

$$\mu_1(Z_1(x)) = \begin{cases} 0 & Z_1(x) \leq 453.460,4 \text{ ise} \\ \frac{Z_1(x) - 453.460,4}{111.117,4} & 453.460,4 \leq Z_1(x) \leq 564.577,8 \text{ ise} \\ 1 & Z_1(x) \geq 564.577,8 \text{ ise} \end{cases}$$

$$\sigma_1(Z_1(x)) = \begin{cases} 0 & Z_1(x) \leq 531.242,58 \text{ ise} \\ \frac{Z_1(x) - 531.242,58}{33.335,22} & 531.242,58 \leq Z_1(x) \leq 564.577,8 \text{ ise} \\ 1 & Z_1(x) \geq 564.577,8 \text{ ise} \end{cases}$$

$$\nu_1(Z_1(x)) = \begin{cases} 1 & Z_1(x) \leq 453.460,4 \text{ ise} \\ \frac{486.795,62 - Z_1(x)}{33.335,22} & 453.460,4 \leq Z_1(x) \leq 486.795,62 \text{ ise} \\ 0 & Z_1(x) \geq 486.795,62 \text{ ise} \end{cases}$$

Üretim probleminin diğer amaçları için nütrosifik üyelik fonksiyonları benzer şekilde elde edilir.

Adım 7: Üyelik fonksiyonlarının elde edilmesinden sonra nütrosifik çok amaçlı optimizasyon modeli, klasik doğrusal programlama modeline dönüştürülmüştür.

$$\text{Maks } (\alpha - \gamma - \beta)$$

Kısıtlayıcılar

$$\mu_1(Z_1(x)) = \begin{cases} 0, & Z_1(x) \leq 453460,4 \text{ ise} \\ \frac{Z_1(x)-453460,4}{111117,4}, & 453460,4 \leq Z_1(x) \leq 564577,8 \text{ ise} \\ 1, & Z_1(x) \geq 564577,8 \text{ ise} \end{cases} \geq \alpha$$

$$\sigma_1(Z_1(x)) = \begin{cases} 0, & Z_1(x) \leq 531242,58 \text{ ise} \\ \frac{Z_1(x)-531242,58}{33335,22}, & 531242,58 \leq Z_1(x) \leq 564577,8 \text{ ise} \\ 1, & Z_1(x) \geq 564577,8 \text{ ise} \end{cases} \leq \gamma$$

$$\nu_1(Z_1(x)) = \begin{cases} \frac{1}{486795,62 - Z_1(x)}, & Z_1(x) \leq 453460,4 \text{ ise} \\ \frac{486795,62 - Z_1(x)}{33335,22}, & 453460,4 \leq Z_1(x) \leq 486795,62 \text{ ise} \\ 0, & Z_1(x) \geq 486795,62 \text{ ise} \end{cases} \leq \beta$$

$$\mu_2(Z_2(x)) \geq \alpha$$

$$\sigma_2(Z_2(x)) \leq \gamma$$

$$\nu_2(Z_2(x)) \leq \beta$$

$$\mu_3(Z_3(x)) \geq \alpha$$

$$\sigma_3(Z_3(x)) \leq \gamma$$

$$\nu_3(Z_3(x)) \leq \beta$$

$$0 \leq \alpha + \gamma + \beta \leq 3$$

$$\alpha \geq \gamma$$

$$\alpha \geq \beta$$

$$\alpha, \gamma, \beta \in [0,1]$$

$$Ax \leq b$$

$$x \geq 0$$

Bulgular ve Tartışma

Üretim problemi nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniği ile modellendikten sonra LINGO 19.0 paket programı yardımı ile çözülmüştür. Problem benzer şekilde sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile modellenmiş ve çözümlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4'te karşılaştırılmıştır.

Tablo 4

Üretim Probleminin Nütrosifik ve Sezgisel Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniklerine Göre Karşılaştırmalı Sonuçları

| Çözüm Teknikleri | Nütrosifik Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği | Sezgisel Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği |
|--------------------|--|--|
| Amaç Fonksiyonları | | |
| Z_1 | 509.687,7 | 487.609 |
| Z_2 | 1.012.196 | 962.638,5 |
| Z_3 | 8.708,285 | 8.352,240 |

Tablo 4'te verilen değerler incelendiğinde, Z_1 kâr maksimizasyonu amacının 509.687,7 pb (para birimi) değerini aldığı görülmektedir. Tekstil ürünleri üretimini, nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniği ile gerçekleştirmesi durumunda sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğinden daha yüksek kâr getirisi ile elde edileceği görülmektedir. Z_2 maliyet minimizasyonu amacının ise sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ile 962.638,5 pb. değeri ile nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniğine göre daha düşük bir maliyet ile gerçekleşeceği görülmektedir. Müşteri memnuniyet oranı maksimizasyonu amacı Z_3 ise kâr maksimizasyonu amacında olduğu gibi nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniği ile daha iyi bir değer almıştır. Tablo 5'te karar değişkenlerinin (gömlek, etek, pantolon, pijama üretim miktarları) nütrosifik ve sezgisel bulanık kümeler ile aldığı değerler yer almaktadır.

Tablo 5
Çözüm Tekniklerine Göre Karar Değişkenlerinin Değerleri

| Çözüm Teknikleri | Nötrosifik Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği | Sezgisel Bulanık Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniği |
|--------------------|--|--|
| Karar Değişkenleri | | |
| X ₁ | 2000 | 2000 |
| X ₂ | 1545 | 1545 |
| X ₃ | 1200 | 1200 |
| X ₄ | 1000 | 1000 |
| X ₅ | 1340 | 1340 |
| X ₆ | 1000 | 1000 |
| X ₇ | 1000 | 1000 |
| X ₈ | 1000 | 1000 |
| X ₉ | 1000 | 1000 |
| X ₁₀ | 1000 | 1000 |
| X ₁₁ | 1000 | 1000 |
| X ₁₂ | 1000 | 1000 |
| X ₁₃ | 1000 | 1000 |
| X ₁₄ | 1000 | 1000 |
| X ₁₅ | 1000 | 1000 |
| X ₁₆ | 1000 | 1000 |
| X ₁₇ | 1000 | 1000 |
| X ₁₈ | 500 | 500 |
| X ₁₉ | 500 | 500 |
| X ₂₀ | 500 | 500 |
| X ₂₁ | 500 | 500 |
| X ₂₂ | 500 | 500 |
| X ₂₃ | 500 | 500 |
| X ₂₄ | 1284 | 977 |
| X ₂₅ | 1037 | 1436 |
| X ₂₆ | 500 | 500 |
| X ₂₇ | 1019 | 1000 |
| X ₂₈ | 1000 | 1000 |
| X ₂₉ | 350 | 350 |
| X ₃₀ | 1000 | 1000 |
| X ₃₁ | 5834 | 4150 |

Üç farklı amacının söz konusu olduğu üretim modelinin nötrosifik çok amaçlı optimizasyon ve sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon teknikleri ile çözümleri karşılaştırıldığında, nötrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniği ile elde edilen çözümlerin iki amaç için daha etkin olduğu görülmektedir. Benzer bulgular farklı çalışmalarla da ortaya çıkmıştır. Khan vd. (2021), üretim maliyeti, stok bulundurma maliyeti ve kâr amaçlarını nötrosifik ve sezgisel kümeler ile ele aldığı çalışmada kâr amacının nötrosifik kümeler ile daha iyi sonuçlandığını ortaya koymuştur. Haq vd. (2022), kâr optimisasyonunun yanı sıra, personel sorumluluğu, kalite ve memnuniyet amaçlarını aralık değerli nötrosifik kümeler ile optimize etmiş ve bulanık kümeler ile yapılan karşılaştırmada nötrosifik çok amaçlı optimizasyonun daha etkin olduğunu ortaya koymuştur. Roy ve Das (2015), üretim probleminde kâr, kalite ve çalışan memnuniyet amaçlarını nötrosifik kümelerin iki farklı

yaklaşımı ile ele almıştır. Problem sezgisel kümeler ile de analiz edilmiş ve nütrosifik I. yaklaşımın, sezgisel kümelere göre daha düşük amaçlarla sonuçlandığını ortaya koymuştur. Ayrıca nütrosifik kümelerle önerilen II. yaklaşımın ise önerilen I. model ve sezgisel modele göre daha etkin sonuçlandığı görülmüştür.

Sonuç

Yaşamın her anında karar vermeyi gerektiren durumlar ya da sorunlarla karşılaşmak mümkündür. Bu durum bireyler kadar işletmeler, kurumlar, devletler veya sivil toplum kuruluşları için de geçerlidir. Günümüz işletmeleri, küçülen dünya ve büyüyen tüketici beklentilerinin arasında sıkışıp kalmıştır. Artan rekabet ortamı, işletmeleri hızlı karar vermeye zorlarken kararların da doğru ve zamanında alınmasını gerektirmektedir. İşletmeler çoğu zaman kararlarını, birden çok ve birbirleri ile çelişen amaca olabildiğince ulaşabilecek biçimde almak zorunda kalmaktadır.

Bu çalışmada, nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniğinin belirsizliğin olduğu çok amaçlı karar problemlerinde nasıl uygulandığı gösterilmektedir. Literatür taramasında, çok amaçlı üretim problemlerinin çoğunlukla klasik mantık ile incelendiği görülmektedir. Bulanık yapıların genellemesi olan nütrosifik ve sezgisel bulanık kümeler ile yapılan farklı analizler, belirsizliğin bağımsız olarak modellendiği nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniğinin, sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniğine göre etkin bir teknik olduğunu göstermektedir. Çalışmada elde edilen analiz sonuçlarının literatürü desteklediği ortaya konulmuştur.

Literatürde, nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniği ile optimizasyonu gerçekleştirilen sınırlı sayıdaki çalışmalar genellikle iki amaç fonksiyonu ile az sayıda karar değişkeni ve kısıt altında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yerli yazında nütrosifik ve sezgisel bulanık kümeler ile çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümüne rastlanılmamıştır. Bu yönü ile çalışmanın alana katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Önerilen bu çalışma ile üretim probleminin amaç ve kısıt sayısının büyük ölçekte olduğu modellerde nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniğinin uygulanabileceği gösterilmiştir. Çalışma ile karar verici konumunda olan işletme yöneticilerine, belirsizlik ortamında çok amaçlı bir üretimi gerçekleştirmelerine yardımcı olacak bir çözüm sunulmuştur. Analiz sonuçları incelenerek karar vericilerin beklentileri doğrultusunda benzer veya farklı amaçların optimizasyonuna yönelik çalışmalar yapılabilir. Nütrosifik çok amaçlı optimizasyon tekniği, amaç ve kısıtlayıcı sayısı farklı problemlerin çözümünde uygulanabilir. Benzer üretim problemleri, nütrosifik kümelerin, Tip-2, aralık değerli, kararsız, bipolar gibi farklı uzantıları ile modellenebilir ve çözümlenebilir.

Kaynakça

- Abdel-Baset, M., Hezam, İ. ve Smarandache, F. (2016). Neutrosophic goal programming. *Neutrosophic Sets and Systems*, 11, 112-118. Erişim adresi: <http://fs.unm.edu/NSS/NeutrosophicGoalProgramming.pdf>
- Abdel-Baset, M., Mohamed, M., Hessian, A. N. ve Smarandache, F. (2017). Neutrosophic integer programming problems. *Neutrosophic Sets Systems*, 15, 48-61. Erişim adresi: https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1179&context=nss_journal
- Abdel-Baset, M., Atef, A. ve Smarandache, F. (2019). A hybrid neutrosophic multiple criteria group decision making approach for project selection. *Cognitive Systems Research*, 57, 216-227. doi: 10.1016/j.cogsys.2018.10.023
- Angammal, S. ve Hannah Grace, G. (2022). An interactive neutrosophic programming approach for multi objective crop planning problem with intuitionistic fuzzy parameter in Ariyalur District. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, (Preprint), 1-13. doi: 10.3233/JIFS-220156
- Ahmad, F. (2022). Interactive neutrosophic optimization technique for multiobjective programming problems: an application to pharmaceutical supply chain market. *Annals of Operations Research*, 311, 551-585. doi:10.1007/s10479-021-03997-2
- Angelov, P. P. (1997). Optimization in an intuitionistic fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Sytems*, 86, 299-306. doi:10.1016/S0165-0114(96)00009-7
- Balcı, H. ve Emirkadı, Ö. (2023). *Lojistik işletmelerinde bilgi iletişim teknolojilerine olan yatırımların önemi*. Dr. Mehmet Seyhan (Ed.), Yönetim, organizasyon ve strateji üzerine araştırmalar (s.341-358) içinde. Erişim adresi: <https://avesis.ktu.edu.tr/yayin/5a0223eb-70a6-4de0-96d2-6be7ded82256/lojistik-isletmelerinde-bilgi-iletisim-teknolojilerine-olan-yatirimlarin-onemi>
- Basumatary , U. ve Mitra, D. (2020). A study on optimal land allocation through fuzzy multi objective linear programming for agriculture production planning in kokrajhar district, btad, assam, India. *International Journal of Applied Engineering Research*, 15(1), 94-100. Erişim adresi:https://www.ripublication.com/ijaer20/ijaerv15n1_14.pdf
- Bay, M. ve Akpınar, S. (2016). Yönetim bilgi sistemlerinin stratejik planlamaya etkisi ve bir uygulama. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12(2), 357-364. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/309548>
- Bayazit Bedirhanoğlu, Ş. (2023). *Üretim problemlerinin planlamasında sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon tekniği ve bir uygulama*. Doç. Dr. Adem Kara ve Dr. Recai Bazancir (Ed.), Sosyal, insan ve idari bilimlerde öncü ve çağdaş çalışmalar (s. 1165-1190) içinde. doi: <https://doi.org/10.59287/siibocc.248>
- Baykal , N. ve Beyan , T. (2004). *Bulanık mantık ilke ve temelleri*. Ankara: Bıçaklar Kitabevi.
- Boran, F. E. (2009, Haziran). *Personel seçimi probleminde sezgisel bulanık küme uygulaması* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Caballero, E. G., Smarandache, F. ve Leyva Vazquez, M. (2019). On neutrosophic offuninorms. *Symmetry*, 11(9), 1136. doi:10.3390/sym11091136

- Das, P. ve Roy, T. K. (2015). Multi-objective non-linear programming problem based on neutrosophic optimization technique and its application in riser design problem. *Neutrosophic Sets and Systems*, 9, 88-95. Erişim adresi: https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1102&context=nss_journal
- Dehghani Firoozabadi, A., Soltanmohammadi, A., Alipour, N. ve Shishebori, D. (2022). Mathematical modelling of aggregate production planning in iron and steel industry: Green supply chain management approach. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 14(3), 168-190. Erişim adresi: https://www.jise.ir/&url=http://www.jise.ir/article_154960_2a51ff572aa2768673f54501cafc8acd.pdf
- Dey, S. ve Roy, T. (2015). Intuitionistic fuzzy goal programming and its application to structural design. *International Journal of Applied Mathematical Sciences*, 8(1), 55-69. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/profile/Samir-Dey/publication/306361112_Intuitionistic_Fuzzy_Goal_Programming_and_Its_Application_to_Structural_Design/links/57bae57908ae202e6a569d04/Intuitionistic-Fuzzy-Goal-Programming-and-Its-Application-to-Structural-Design.pdf
- Erpolat, S. (2010). Üretim planlamasında hedef programlama ve bulanık hedef programlama yöntemlerinin karşılaştırılması. *Öneri Dergisi*, 9(34), 233-246. Erişim adresi Üretim planlamasında hedef programlama ve bulanık hedef programlama yöntemlerinin karşılaştırılması. *Öneri Dergisi*, 9(34), 233-246.
- Gunantara, N. (2018). A review of multi-objective optimization: Methods and its applications. *Cogent Engineering*, 5(1), 1-16. doi:10.1080/23311916.2018.1502242
- Han, J., Yang, C., Lim, C.-c., Zhou, X., Shi, P. ve Gui, W. (2020). Power scheduling optimization under single-valued neutrosophic uncertainty. *Neurocomputing*(382), 12-20. doi:10.1016/j.neucom.2019.11.089
- Hezam, I. M., Abdel- Baset, M. ve Smarandache, F. (2015). Taylor series approximation to solve neutrosophic multiobjective programming problem. *Neutrosophic Sets and Systems*, 10, 39-45. Erişim adresi: <http://fs.unm.edu/NSS/NSS-10-2015.pdf#page=39>
- Hussian , A.-N., Mohamed, M., Abdel-Baset, M. ve Smarandache, F. (2017). *Neutrosophic linear programming problems*. Brussels: Brussels: Pons. University of New Mexico. [Adobe Acrobat Reader sürümü]. Erişim adresi: https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1095&context=math_fsp
- Islam , S. ve Deb, S. (2019). Neutrosophic goal programming approach to a green supplier selection model with quantity discount. *Neutrosophic Sets and Systems*, 30, 98-112. Erişim adresi: https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1415&context=nss_journal
- Islam, S. ve Kundu, T. (2017). *Application of neutrosophic optimization technique on multi-objective reliability optimization model*. Brussels: Pons. University of New Mexico. [Adobe Acrobat Reader sürümü]. Erişim adresi: <https://www.academia.edu/download/55055254/NeutrosophicOperationalResearch2.pdf#page=14>
- Jin, C. X., Zhang, Y. ve Li, F. C. (2021, June). Research on path optimization problem based on satisfaction degree in fuzzy demand environment. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1955(2021). doi: 10.1088/1742-6596/1955/1/012056

- Karaatlı, M., Ömürbek, N. ve Yılmaz, H. (2014). Mobilya sektöründe bulanık doğrusal programlama tekniği ile üretim planlaması uygulaması. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 10(22), 95-118. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1145887>
- Khan, M. F., Haq, A., Ahmed, A. ve Ali, I. (2021). Multiobjective multi-product production planning problem using intuitionistic and neutrosophic fuzzy programming. *IEEE Access*, 9, 37466-37485. doi:10.1109/ACCESS.2021.3063725
- Klir, G. ve Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic*. New Jersey: Prentice Hall.
- Komsiyah, S., Meiliana ve Centika, H. (2018). A fuzzy goal programming model for production planning in future company. *Procedia Computer Science*, 135, 544-552. doi: 10.1016/j.procs.2018.08.207
- Kousar, S., Sangi, M. N., Kausar, N., Pamucar, D., Ozbilge, E. ve Cagin, T. (2023). Multi-objective optimization model for uncertain crop production under neutrosophic fuzzy environment: A case study. *AIMS Mathematics*, 8(3), 7584-7605. doi: 10.3934/math.2023380 .
- Kumar, M. ve Yadav, S. P. (2012). A novel approach for analyzing fuzzy system reliability using different types of intuitionistic fuzzy failure rates of components. *ISA Transactions*, 51(2), 288-297. doi:10.1016/j.isatra.2011.10.002
- Kumawat, P., Sinha , R., ve Chaturvedi, N. (2021). Multi-objective optimization for sustainable production planning. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 40(6), 1-10. doi: 10.1002/ep.13741
- Mondal , B., Kar, C., Garai, A. ve Roy, T. K. (2018). Optimization of EOQ model with limited storage capacity by neutrosophic geometris programming. *Neutrosophic Sets and Sytems*, 22, 5-29. Erişim adresi: <http://fs.unm.edu/NSS/OptimizationOfEOQModel.pdf>
- Paksoy , T., Yapıcı Pehlivan, N. ve Özceylan, E. (2013). *Bulanık küme teorisi*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Roy, R. ve Das, P. (2015). A multi-objective production planning problem based on neutrosophic linear programming approach. *International Journal Fuzzy Mathematical Archive*, 8(2), 81-91. Erişim adresi: <http://www.researchmathsci.org/IJFMAart/ijfma-v8n2-3.pdf>
- Smarandache, F. (2003). *Definition of neutrosophic logic- a generalization of fuzzy logic a generalization of the intuitionistic fuzzy logic*. [Öz], Proceeding of the Third Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology konferansında sunulan bildiri, Zittau, Germany. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/profile/Florentin-Smarandache/publication/2105959_Neutrosophic_Logic_-_Generalization_of_the_Intuitionistic_Fuzzy_Logic/links/59e2a468458515393d57f8f8/Neutrosophic-Logic-Generalization-of-the-Intuitionistic-Fuzzy-Logic.pdf
- Smarandache, F. (2004). Neutrosophic set- a generalization of the intuitionistic fuzzy set. *International Journal of Pure and Applied Mathematics of Uncertainty*, 24(3), 103-110. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/268444118_Neutrosophic_Set_-_A_Generalization_of_the_Intuitionistic_Fuzzy_Set
- Smarandache, F. (2005). *A unifying field in logics: Neutrosophic logic. Neutrosophy set, neutrosophic probability and statistics*. Rehoboth: American Research Press.
- Şen, Z. (2009). *Bulanık mantık ilkeleri ve modelleme*. İstanbul: İstanbul Su Vakfı Yayınları.

- Wang, H., Smarandache, F., Zhang, Y. ve Sunderraman, R. (2010). Single valued neutrosophic sets. *Multispace Multistruct*, (4), 410-413. Erişim adresi: <https://www.academia.edu/download/31858920/MultispaceMultistructure.pdf#page=411>
- Wang, R. C. ve Liang, T. F. (2004). Application of fuzzy multi-objective linear programming to aggregate production planning. *Computers & Industrial Engineering*, 46, 17-41. doi:10.1016/j.cie.2003.09.009
- Xia, M. ve Xu, Z. (2011). Hesitant fuzzy information aggregation in decision making. *International Journal of Approximate Reasoning*, 52, 395-407. doi:10.1016/j.ijar.2010.09.002
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353. doi:10.1016/S0019-9958(65)90241-X
- Zadeh, L. A. (1988). Fuzzy logic. *IEEE Computer Society*, 21(4), 83-93. Erişim adresi : <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/ieeeshutpages/xplore/xplore-shut-page.html>

Extended Abstract

Daily life continues with various changes under global mobility. Depending on the constant change and development of human needs and preferences, the producer side is faced with situations such as renewing the production process and products, producing products quickly, meeting demand, keeping costs to a minimum. In this complex and uncertain environment, businesses have to be stronger against their competitors.

Production is a set of processes that produce goods and services and keep together those who supply them and the businesses, organisations and individuals who demand them. The product resulting from production creates economic benefits. Modern world economic conditions, increasing competition and technological developments, e-commerce and virtual markets make it very difficult for businesses. Businesses have to operate in line with multiple and often conflicting objectives at the same time.

Businesses can continue one step ahead in the competitive war by fulfilling the demands of customers at the desired time with the desired features and dimensions. This is possible by realising production within the plans. Planning is of vital importance for businesses as the process of knowing the current situation, using the existing resources in the best way and achieving the goals. Production planning is the organisation of resources such as machinery, workforce, etc. to meet the demands of customers and to use them according to the performance targets of the institution.

Reasons such as changes in human needs and preferences and deviations in the production process cause uncertainty in the production system. In such situations where there is uncertainty, enterprises try to overcome the chaos on the one hand and to continue their activities with multiple objectives on the other hand. It is inevitable that some uncertainties will arise during the realisation of these activities.

Uncertainty refers to the unpredictability of information about a situation. The basis of uncertainty is the information that people receive from the outside world. Uncertainty causes doubt about the value of a variable, a phenomenon, the decision to be taken and the result to be drawn. Uncertainty prevents decision makers from making and implementing decisions in a timely and complete manner, in other words, it stops the decision mechanism from working. The success of businesses is proportional to how well they can meet uncertainty. In an uncertain world, it is almost impossible to fulfil the expectations of the demanders and suppliers with classical approaches. The deficiency of classical approaches is completed with fuzzy structures that can make uncertainty known in the best possible way.

Fuzzy structures reduce the impact of information uncertainty and complexity on the decision-making process. Fuzzy structures enable decision makers to make their decisions correctly at the right time on the basis of uncertainty. Classical solution algorithms are increasingly being replaced by fuzzy structures in the production operationalisation process. Fuzzy structures, which complement the situations where classical approaches are insufficient, show a developing order as fuzzy set, intuitionistic fuzzy set and neutrosophic set.

In this study, neutrosophic sets, which are extensions of fuzzy sets and intuitionistic fuzzy sets, are analysed. In order to demonstrate the usability of neutrosophic sets in solving multi-objective optimisation problems, the production problem of a textile manufacturing company is considered. The production problem is also solved with heuristic fuzzy multi-objective optimisation technique. At the end of the study, the results obtained with both techniques are compared.

Purpose

The aim of the study is to demonstrate the applicability of neutrosophic multi-objective optimisation technique in a manufacturing enterprise. Within the scope of this purpose, a one-month production planning problem of an enterprise operating in the textile sector is solved by neutrosophic multi-objective optimisation technique. In addition, the production problem in question is also considered with intuitionistic fuzzy sets in order to demonstrate the effectiveness of neutrosophic sets. At the end of the study, the results obtained with neutrosophic and intuitionistic fuzzy multi-objective optimisation techniques are compared.

Design and Methodology

There is more than one solution method for solving multi-objective optimisation problems. In the solution of such problems, the objectives are usually reduced to a single objective and the others are taken as constraints. However, single objective solution methods do not always produce good results. Classical single objective or multi-objective optimisation techniques work with exact values and ignore uncertainty. Fuzzy structures based on uncertainty can produce alternative solutions with different solution results.

In many of the current decision problems, decision makers are unable to model and analyse uncertainty, lack of information or indecision. The neutrosophic multi-objective optimisation method used in this study examines uncertainty with three membership functions: accuracy, uncertainty and inaccuracy. The neutrosophic multi-objective optimisation method provides the opportunity to effectively solve situations where decision makers experience uncertainty when complete information is not available. The intuitionistic fuzzy multi-objective optimisation technique handles the situations with the degrees of membership, non-membership and the degree of hesitancy obtained by taking the difference of these degrees from one. In the neutrosophic multi-objective optimisation technique, the indecision situation encountered during decision making is handled with the accuracy and inaccuracy membership functions as well as the uncertainty membership function independently of them. The neutrosophic multi-objective optimisation technique includes the intuitionistic fuzzy multi-objective optimisation technique but has a more flexible structure. In neutrosophic sets, indecision is analysed by the uncertainty membership function and represents the indecision of the decision maker in the absence of complete information. The method analyses the elements with the membership functions of accuracy, uncertainty and inaccuracy and transforms them into a structure that can be solved with mathematical functions.

Findings

The production problem of the textile manufacturing company is handled by neutrosophic and intuitionistic fuzzy multi-objective optimisation techniques. As a result of the analysis of the data obtained from the enterprise, it is concluded that the neutrosophic multi-objective optimisation technique is more efficient than the intuitionistic fuzzy multi-objective optimisation technique.

Table 6
Comparative Results of the Production Problem According to Neutrosophic and Intuitionistic Fuzzy Multi-objective Optimisation Techniques

| Solution Techniques | Neutrosophic Multi-objective Optimisation Technique | Intuitionistic Fuzzy Multi-objective Optimisation Technique |
|---------------------|---|---|
| Objective Functions | | |
| Z_1 | 509.687,7 | 487.609 |
| Z_2 | 1.012.196 | 962.638,5 |
| Z_3 | 8.708,285 | 8.352,240 |

When we examine the analysis results, it is seen that the profit maximisation objective Z_1 takes the value of 509.687,7 currency with the neutrosophic multi-objective optimisation technique. According to the results obtained, the profit objective takes the value of 487.609 currency with the intuitionistic fuzzy multi-objective optimisation technique. It is seen that if the production plan of textile products is carried out with the neutrosophic multi-objective optimisation technique, it will be obtained with a higher profit return than the intuitionistic fuzzy multi-objective optimisation technique. It is seen that the cost minimisation objective Z_2 will be achieved with a value of 962.638,5 currency with the intuitionistic fuzzy multi-objective optimisation technique at a lower cost than the neutrosophic multi-objective optimisation technique.

The customer satisfaction rate maximisation objective Z_3 has a better value with the neutrosophic multi-objective optimisation technique as in the profit maximisation objective. When the solutions of the production model with three different production objectives are compared with neutrosophic multi-objective optimisation and heuristic fuzzy multi-objective optimisation techniques, it is seen that the solutions obtained with the neutrosophic multi-objective optimisation technique are more efficient for two objectives. Obtaining more efficient results for the objectives with maximisation structure is specific and cannot be generalised.

Research Limitations

The research is limited to a textile company that is considered within the scope of the study. Different results may be obtained for enterprises with similar or identical production processes. The research was carried out with the data of the production enterprise in question dated July 2022.

Implications

In this paper, we show how to plan a production problem with multiple and uncertain objectives using neutrosophic sets. Neutrosophic sets are presented in the literature as a generalisation of intuitionistic fuzzy

sets. Supporting the production planning problem with intuitionistic fuzzy sets supports the literature. Researchers can use the neutrosophic multi-objective optimisation technique to solve and apply similar or different problems where multiple uncertain objectives are to be achieved. The neutrosophic multi-objective optimisation technique can be applied to problem solving under different number of objectives and constraints.

Originality/Value

In this study, it is shown how the neutrosophic multi-objective optimisation technique is applied to multi-objective decision problems with uncertainty. In the literature review, it is seen that multi-objective production problems are mostly analysed with classical logic and uncertainty is not taken into account. Different analyses with neutrosophic and intuitionistic fuzzy sets, which are generalisations of fuzzy structures, show that the neutrosophic multi-objective optimisation technique, in which uncertainty is modelled independently, is an effective technique compared to the intuitionistic fuzzy multi-objective optimisation technique. The results of the analyses obtained in the study support the literature. In addition, the literature survey shows that the limited number of studies that have been optimised by neutrosophic multiobjective optimisation technique are generally carried out with two objective functions under a small number of decision variables and constraints. In the local literature, there is no solution of multi-objective optimisation problems with neutrosophic and intuitionistic fuzzy sets. In this respect, it is thought that this study will contribute to the field. In addition, the researches on the production problems of textile production enterprises have focused on classical and fuzzy sets. It is thought that the study will contribute to the field with this aspect and will present a different perspective in solving production problems for textile production enterprises.

Araştırmacı Katkısı: Şule BAYAZİT BEDİRHANOĞLU (%50), Mahmut ATLAS (%50).