

## MAKİNA SIRALAMA PROBLEMLERİNDE ÇOK AMAÇLI BULANIK KÜME YAKLAŞIMI

**Orhan TÜRKBEY**

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi,  
Maltepe, 06570, Ankara, [turkbey@gazi.edu.tr](mailto:turkbey@gazi.edu.tr)

### ÖZET

Bu çalışmada rasyonel bir tesis düzenlemesini gerçekleştirebilmek için bulanık küme teorisi bu mantığından yararlanılmıştır. Bu çalışmada bulanık küme yaklaşımından yararlanarak kalitatif ve kantitatif bazlı veriler, dilsel değişken ve üyelik fonksiyonlarına dönüştürülmüş, elde edilen bu değerlerden her tesis ve lokasyon için gerçek değer matrisleri elde edilmiş, daha sonra tesisler arasındaki kalitatif ve kantitatif verileri esas alan bu iki gerçek değer matrisi “yoğun ilişki, akış ve yakınlık kriterleri”nin verdiği düşünce ile, çarpılarak esas amacımızı sağlayacak “birleştirilmiş gerçek değer matrisi” elde edilmiştir. Bu matris; tesislerin işlem hacimlerine göre ağırlıklandırılarak, lokasyonel olarak ortalama talep oranları küçükten büyüğe doğru sıralanmış ve bu talep oranlarına karşılık gelen mevcut tesislerin sıralı düzenlemesi elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık küme teorisi, bulanık mantık, tesis düzenlemesi, sıralama problemi

### A MULTI-OBJECTIVE FUZZY SET APPROACH IN THE MACHINE SEQUENCING PROBLEMS

#### ABSTRACT

In this study that logic of Fuzzy Set Theory is used to realize a rational facility layout. In addition, qualitative and quantitative based data are converted into linguistic variable and membership functions by using fuzzy set approach. From these values truth-value matrices for each facility and location is received, later on Integrated truth-value matrix, providing our real goal, is found by multiplying idea of intense relationship, flow and closeness criteria with those two truth-value matrices which takes qualitative and quantitative data between facilities as a base. This matrix is weighted according to the transaction volume of its facilities, the average demand ratios are sequenced from smaller to greater locationally and the

sequenced layouts of these facilities which correspond to those demand ratios are obtained.

**Keywords:** Fuzzy set theory, fuzzy logic, facilities layout, sequencing problem

## 1. GİRİŞ

Mühendislikte ve diğer bilim dallarında olaylar ve sistemler, kesin matematiksel modeller kullanılarak tanımlanırlar. Oluşturulan bu modellerin kullanılması ile olayın veya sistemin gelecekte alacağı durum veya göstereceği davranış biçimi tahmin edilmeye çalışılır [2,4,6]. Halbuki günlük yaşantıda karşılaşılan problemlerin büyük bir çoğunluğu ya çeşitli nedenlerden dolayı tam olarak modellenemeyebilir ya da kesin bir durumu ifade edemeyebilirler. Bu tip problemlerin incelenmesinde ve çözümlenmesinde Bulanık Mantık (BM) yaklaşımı kullanılabilir.

BM düşünüşüne uygun düşen modelleme problemleriyle karşılaşıldığında, genellikle bir uzman kişinin bilgi ve deneyimlerinden yararlanma yoluna gidilir. Uzman operatör; dilsel değişkenler/niteleyiciler (linguistic variables) olarak tanımlanabilen “uygun, çok uygun değil, yüksek, biraz yüksek, fazla, çok fazla” gibi günlük yaşantımızda sıkça kullandığımız kelimeler doğrultusunda esnek bir denetim mekanizması geliştirir. İşte bulanık denetim bu tür mantıksal ilişkiler üzerine kurulmuştur [34].

Bulanık Küme (BK-fuzzy set) kavramları, tam olmayan bilgi ve uzman sistemlerdeki yaklaşık yargılamayı (reasoning) elde etmek için BM önerilmektedir [16]. Klasik mantığın aksine BM, tamdan ziyade yaklaşık olan muhakeme modelleri ile uğraşan kavram ve tekniklerin esasını sağlamada yardımcı olmaktadır. BM, doğada istatistikî olarak kesin olmayan (imprecise) ve belirsiz/şüpheli (vague) kaynaklar ile uğraşan bir tekniktir. BM’in esası, bulanık küme teorisidir [33].

İlk defa Zadeh tarafından geliştirilen Bulanık Küme Teorisi (BKT), esas olarak insan düşünce ve algılarındaki belirsizlikle ilgilenir ve bu belirsizliği sayısallaştırmaya çalışır [31]. Diğer bir deyişle BM’in temel amacı “*insanların tam ve kesin olmayan bilgiler ışığında tutarlı ve doğru kararlar vermelerini sağlayan düşünme ve karar verme mekanizmalarının modellenmesi*” olarak söylenebilir.

Başlangıçta sadece teorik bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmış olan BK yaklaşımı, izleyen yıllarda pek çok farklı alanda uygulama imkanı bulmuştur. Bu uygulama alanları arasında en belirgin olanları; bilgisayar bilimleri, kontrol, meteoroloji, tıp, sosyal bilimler, psikoloji, yönetim bilimleri, yapay zeka ve uzman sistemler sayılabilir. Özellikle 80’li yıllarda endüstriyel kuruluşların ilgisi bu alana yönelmiştir. Böylece teorik ve uygulamalı araştırma yapan kuruluşların ortak çalışmaları neticesinde BK’lerin uygulanma alanlarında önemli gelişmeler

sağlanmıştır. Bu çalışmaların sonucunda bulanık kontrol işlevine yönelik pek çok yazılım ve donanımlar ortaya çıkmıştır.

## 2. LİTERATÜRÜN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ

BKT ilk defa Zadeh [27] tarafından tanıtılmıştır. BK'lerin amacı, pek çok karar probleminde bulanıklık veya belirsizliğin tipini netleştirmek için bir küme ve teklife ilişkin fikir oluşturmaktır. Yani bulanıklık kavramları tam olmayan bilgi ve uzman sistemlerdeki yaklaşık yargılamayı elde etmek için BM önerilmektedir [16]. BK'ler 1965 yılında ilk tanıtıldığında, bilim literatüründe oldukça dikkat çekici olmuş, özellikle yapay zeka uygulamalarında yoğunlukla kullanılmıştır. Son zamanlarda BM; tıbbi teşhis, tesis planlaması ve yatırım yönetiminden endüstriyel proses kontrole kadar pek çok değişik alanda kullanılır hale gelmiştir [32].

Klasik mantığın aksine BM, tamdan ziyade yaklaşık yargılama modelleri ile uğraşan kavram ve tekniklerin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır [33].

Bir uzman sistemin bilgi-bazı, bir uzman insanın bilgisi esas alınarak oluşturulur. Halbuki çoğu insan bilgisi belirsiz ve puslu (imprecise)'dur [3]. İnsanın yargılaması ve karar vermesi sıklıkla tam olmayan (inexact) bilgiyi içerdiğinden yapay zeka sistemleri; doğal insan bulanık kavramlar, güvenilir ya da tam olmayan bilgi ve aynı denemelerden ziyade benzerinin eşlenmesi şeklinde mümkün kaynaklardan tam olmayan bilgi ile uğraşmaktadırlar.

Mühendislikte BM'in uygulanması, bulanık kontrol alanında odaklanmıştır. Proses planlama konusunda ise BM uygulaması literatürde çok azdır [13].

Geleneksel düzenleme yaklaşımları, üretilmesi gereken ürüne ilişkin verilerin toplanması ile başlamaktadır [17]. Bu veriler nereden-nereye (from-to) tabloları gibi ya kantitatif ya da ilişki şemaları (REL-CHART) gibi kalitatifdir. Geleneksel düzenleme teknikleri, tamamen bu girdilerle işlem yapmaktadır.

Tesis Düzenleme Problemi (TDP)'nde ağırlıklı olarak kullanılan Kareli Atama Problemi Modeli ve Kesikli Optimizasyon Teorisi'nin aksine BKT [27], belirsiz sistemlerin modellenmesi için bir çerçeve sağlamaktadır [24,25]. Bu yaklaşım kompleks sistemleri anlam zorluğu ve bulanık olmasından dolayı, belirsizliğin iyileştirilmesine müsaade etmektedir.

TDP'ne BKT'nin uygulanması, 1980'li yılların ortasında tanıtılmıştır. BKT, kompleks sistemlerin anlaşılmasını kolaylaştırdığından, bir modelleme aracı olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca, BKT ile TDP'nde bazı dilsel değişkenlerin bulanık ilişkilerini [29,30] esas alan TDP'ne BK yaklaşımı Wilhelm ve diğ. [26] tarafından tanıtılmıştır. Bu yaklaşım, düzenlemede dilsel değişken kullanımını imkan dahiline

sokmak ve geleneksel yakınlık oranlarının (A,E,I,O,U,X) anlamını basitleştirmek için “yakınlığın önemi”ni kullanmıştır.

TDP'ne BK yaklaşımı, dilsel değişkenler için üyelik fonksiyonları ve değerlerin tanımı ve seçimi, tesis ilişkilerini etkileyen kalitatif ve kantitatif faktörleri tanımlayan dilsel değişkenlerin belirlenmesi, düzenlemelerin değerlendirilmesi ve tesislerin yeri ve seçimi için sezgisel prosedürlerin geliştirilmesini kapsamaktadır [8,9,10,19,20]. Dilsel değişkenler düzenlemeyi etkileyen kalitatif ve kantitatif faktörleri göstermektedir. Raoot ve Rakshit [20] geliştirdikleri TDP modelinde, uzmanların istatistik ve/veya nispi önceliklerini kullanarak, dilsel değişkenler için üyelik değerlerini tanımlamışlardır.

Sistematik düzenleme planlaması [18] (1), TDP'ne uygulanan geleneksel tekniklerden birisidir. CRAFT [2], COFAD [22], PLANET [4], CORELAP [14] ve ALDEP [21] gibi bilgisayar destekli yaklaşımlar ile TDP optimize edilmeye çalışılmıştır.

Yukarıda da belirtildiği gibi BKT ilk defa Zadeh [27] tarafından ortaya atılmıştır. Peter Marinos (1966) ise Bell laboratuvarında, E.H.Mamdani (1976) buhar türbinlerinin denetiminde, F.L.Smith (1980) çimento sanayiinde, Zimmermann [35] karar verme ve uzman sistemlerde, Hitachi firması (1987) Sendai metrosunun otomatik denetiminde ve Yamaichi Security yatırım şirketi (1988) uzman sistemler yardımıyla hisse senedi portföyünün oluşturulmasında BKT'ni kullanmışlardır. Yine Japonya'da (1989) LIFE (Laboratory of International Fuzzy Engineering) laboratuvarı kurulmuştur.

Başlangıçta sadece teorik bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmış olan BM, sonraki yıllarda pek çok farklı alanda uygulama imkanı bulmuştur. Bu uygulama alanları arasında bilgisayar bilimleri, kontrol, meteoroloji, tıp, yapay zeka ve uzman sistemler, sosyal bilimler, psikoloji ve yönetim bilimleri daha belirgindir.

Özellikle 1980 yılından sonra endüstri kuruluşlarının da ilgisi BKT alanına kaymaya başlamıştır. Böylece üniversite ve sanayi kuruluşlarının ortak çalışmaları sonucu, hem teori hem de uygulama alanında hızlı gelişmeler kaydedilmiştir. Günümüzde bulanık kontrol algoritmalarının geliştirildiği pek çok yazılım ortaya çıkmış hatta bulanık kontrol uygulamalarına yönelik donanımlar da geliştirilmiştir.

### **3. TESİS TASARIMINDA BULANIK KÜME KAVRAMLARI**

TDP, en az maliyetle faaliyet göstermek için bir üretim veya hizmet tesisinde fiziksel bölümlerin etkin düzenlemesi ile uğraşmaktadır. Blok düzenleme tasarımı, bölümler (/tesisler) arasındaki arasıl ilişkileri esas alan en iyi düzenlemeyi

araştırmakta ve mevcut alan içindeki bölümlerin yerleşimini kapsamaktadır. Anılan tasarım işleminde pek çok amaç dikkate alınmaktadır [23].

Düzenleme yaklaşımları, üretilmesi gereken ürüne ilişkin verilerin toplanması ile başlamaktadır [17]. Bu veriler “From-To” şemaları gibi ya kantitatif ya da ilişki (REL) şemaları gibi kalitatifdir. Geleneksel düzenleme teknikleri tamamen bu girdilerle işlem yapmaktadır.

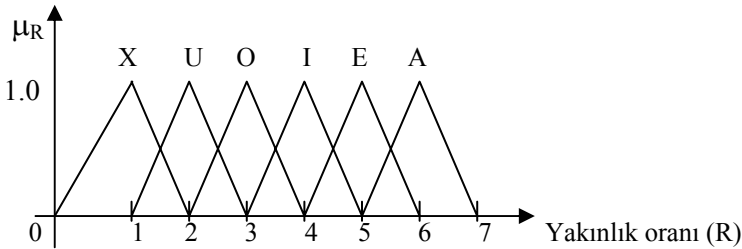
Tesis tasarımında bulanık metodolojinin kullanımı, tam tanımlı olmayan taşıma, belirsiz veri gibi henüz tam matematiksel olmayan durumlar için kullanılacak bir yaklaşımdır [12,7].

TDP'ne BK yaklaşımı, dilsel değişkenler için üyelik fonksiyonları ve değerlerin tanımı ve seçimi, tesis ilişkilerini etkileyen kalitatif ve kantitatif faktörleri tanımlayan dilsel değişkenlerin belirlenmesi, düzenlemelerin değerlendirilmesi, tesislerin yeri ve seçimi için sezgisel prosedürlerin geliştirilmesini kapsamaktadır [8,9,10,19,20].

Düzenleme işleminde bölümler arasında ilişki oranlarına karar vermek için uzmanlar tarafından kullanılan en genel faktörler (girdi değişkenleri); materyal akışı, bölümler arasındaki bilgi akışı (haberleşme), personel akışı, ekipman akışı, çalışılan ortamın durumu, personel denetimi, karar verme işleminde kullanılacak ağırlık faktörü ve yakınlık oranıdır. Uzmanlar bu girdi değişkenlerini dilsel değişkenlere dönüştürürler. Daha sonra tesislerin yakınlık oranları Şekil 1'deki gibi üyelik fonksiyonları kümesi tarafından bulanık veriler şeklinde tanımlanırlar. Tasarımcı, düzenleme sürecini etkileyen faktörlerin pek çoğunu dikkate aldığından, yukarıda anılan bulanık veriler en etkili düzenlemeyi geliştirmek için başarılı bir şekilde kullanılabilir. Düzenlemede bulanık karar verme işlemi denklem 1'deki gibi M defa tekrarlanır.

$$M = \frac{n(n-1)}{2} \quad (1)$$

Yine tesislerin yakınlık oranlarını üyelik fonksiyonu şeklinde ifade etmeye çalışırsak;



Şekil 1. Yakınlık oranının üyelik fonksiyonları [5].

Burada, M bölümler arasındaki ikili ilişkiler sayısını, n düzenlemedeki bölümlerin (/tesislerin) sayısını, A yakınlık kesinlikle gereklidir (Closeness Absolutely Necessary), E yakınlık oldukça önemlidir (Closeness Especially Important), I yakınlık önemlidir (Closeness Important), O alışılmış bir yakınlık yeterlidir (Ordinary Closeness), U yakınlık önemli değildir (Closeness Unimportant), X yakınlık istenmez (Closeness Not Desirable) anlamındadır.

TDP'nde BK'nin elemanları yani değişkenleri nitel, nicel veya dilsel değişkenler olarak kullanılabilir. Klasik küme teorisinde olduğu gibi BK'lerinde kesişim (intersection) ve birleşimleri (union) mümkündür. A ve B sırasıyla A(x) ve B(x) üyelik fonksiyonlarına sahip kümeler ise,  $C=A \cap B$  ve  $D=A \cup B$  şu şekilde tanımlanır [11]:

$$\mu_C(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}; \quad x \in X \quad (2)$$

$$\mu_D(x) = \sup \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}; \quad x \in X \quad (3)$$

BKT'de yorumlama prosedürleri ve gerçeklik/doğruluk (truthfulness) tahmini problemleri dikkatle ele alınmaktadır. Verilen bir p ifadesinin r kriterine göre doğruluk değeri (truth value);

$$P = \text{"A is F"} \text{ ve } r = \text{"A is G"} \quad (4)$$

tutarlılık (consistency) olarak tanımlanabilir [10]. A bir değişkenin ismini, F ve G BK'leri temsil ederse (X uzayındaki kuvvetin seviyesi/intensity'ni tanımlayan), bu takdirde tutarlılık,

$$\begin{aligned} \text{Cons (A is F, A is G)} &= \text{POSS (A is F/A is G)} \\ &= \sup_{x \in X} \{F(x) \wedge G(x)\}; \quad x \in X \end{aligned} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada  $\wedge$  minimum işlemciyi (operatörü) ifade etmektedir. POSS olasılığı [30], denklem 5'in son elemanından hesaplanan sayısal bir değer olup, bu değer anlamı, F ve G kümelerinin yakınlık derecesidir. Yani A değişkeninin (biliniyor) aynı zamanda hem G'ye hem de F'ye eşit olması doğruluğunun olasılığını ifade etmektedir.

Yine  $|A|$  ve  $|B|$ , sırasıyla A ve B ifadelerinin doğruluk derecesi ile gösterilen  $A \Rightarrow B$  ifadesinin doğruluğu,

$$|A \Rightarrow B| = \text{Min} \{1, 1 - |A| + |B|\} \quad (6)$$

Lukasiewicz denklemi [30] ile hesaplanmaktadır. (i,j) tesis çiftlerini, (k,r), bu tesislerin yerleşeceği yerlere ait uzman görüşlerini ( $k,r \in N = \text{uzman sayısı}$ ) ifade ettiğinde, o zaman Lukasiewicz denklemi,

$$Q_{i,j}^{k,r} = \{1, 1-p+q^{kr}\} \quad (7)$$

şeklinde ifade edilebilir [9]. Burada  $Q_{i,j}^{k,r}$  sırasıyla, (k,r) yerlerine (i,j) tesisleri yerleştirilirse “verilen iki tesisin link değeri = çok büyük ise, bu takdirde lokasyon yerleri arasındaki uzaklık = çok küçük” amacına uygun olması için tatmin derecesi olarak yorumlanabilir.

#### 4. UYGULAMA

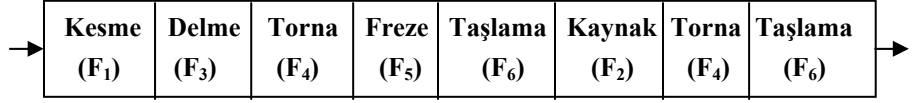
Aşağıda, çok değişkenli yani kalitatif ve kantitatif bazlı veriler dilsel boyutta düşünülerek bulanık küme yaklaşımı ile TDP çözülmeye çalışılacaktır.

##### 4.1. Problem ve Varsayımlar

Kesikli üretim yapan bir fabrikada 5 çeşit parça [Parçalar= $\{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\}$ ], 6 iş merkezinde [Tesisler (i)= $\{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6\}$ ; Lokasyonlar (j)= $\{L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6\}$ ] işlemlenerek mamul hale gelmektedir. İşlem merkezlerinin, işlemler yönünden birbirleriyle ilişkileri, işlemlenecek parçalar ve bunların üretim miktarlarını dikkate alarak; aralarında kalitatif yönden (kalitatif amaç) ilişki dereceleri ve kantitatif yönden (kantitatif amaç) materyel ilişkisi olan tesisler arasındaki:

- a. Parçaların dolaşım uzaklığını minimum,
- b. Materyal akışında keşişmeleri minimum, ve
- c. Yoğun ilişki içinde olan tesisler arasındaki uzaklığı minimum ya da bu tesisleri komşu yapan, bir düzenleme elde edilmeye çalışılacaktır. Ayrıca uygulamanın özelliğinden dolayı problemin varsayımları şunlardır:
  - a. Tesis alanları birbirine eşittir,
  - b. Akışlar simetrik değildir,
  - c. Uzaklık, maliyetle doğru orantılıdır,
  - d. Taşımalarda maliyet kriteri; maksimum yakınlık, minimum uzaklıktır,
  - e. Üyelik fonksiyonu değerleri (üyelik dereceleri) uzman görüşlerine dayanmaktadır.

Fabrikada parçaların genellikle işlem sırası Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Tesislere göre parçaların işlem sırası

## 4.2. Bulanık küme yaklaşımı ile uygulama

### 4.2.1. Uygulamanın genel algoritmik basamakları

Uygulamada takip edilecek genel algoritmik adımlar şöyledir:

**Adım 1.** Çalışmada önce kalitatif bazlı veriler, BK yaklaşımından hareketle dilsel değişken ve üyelik fonksiyonu verilerine dönüştürülerek, tesis ve lokasyon ilişkileri yönünden gerçek değer matrisi ( $t_1$ ) elde edilir.

**Adım 2.** Tesisler (iş/işlem merkezleri) arasındaki kantitatif akış verilerini baz alan ve BK yaklaşımından hareketle bu veriler dilsel değişken ve üyelik fonksiyonu verilerine dönüştürülerek, yine bir gerçek değer matrisi ( $t_2$ ) elde edilir.

**Adım 3.** Kalitatif ve kantitatif verilere dayalı elde edilen bu iki gerçek değer matrisi ( $t_1, t_2$ ); yoğun ilişki, akış ve yakınlık kriterlerinin verdiği düşünce ile çarpılarak, amaca uygun ve çözümde baz olarak kullanılacak olan “birleştirilmiş gerçek değer matrisi ( $T$ )” elde edilir.

**Adım 4.** Birleştirilmiş gerçek değer matrisi, tesislerin işlem hacmine göre oluşturulmuş matris ( $W$ ) ile ağırlıklandırılarak, lokasyonlara göre ortalama talep oranlarının büyükten küçüğe doğru sıralanması ile mevcut tesislerin sıralı düzenlenmesi elde edilir.

### 4.2.2. Kalitatif amaca göre ‘gerçek değer matrisi’nin oluşturulması

**Adım 1.** Önce tesisler arasındaki ilişki derecelerini dikkate alan faaliyet ilişki şeması oluşturulur (Şekil 3),

**Adım 2.** Kalitatif (alfabetik) ilişki matrisi oluşturulur (Tablo 1),

**Adım 3.** İlişki matrisinden yararlanarak kantitatif ilişki matrisi oluşturulur (Tablo 2),

**Adım 4.** İlişki dereceleri ve dilsel değişkenler tablosu oluşturulur (Tablo 3),

**Adım 5.** Dilsel ilişki değerleri ve tesis yerleşimleri değerlendirme tablosu oluşturulur (Tablo 7),





**Tablo 6.** Gerçek değer matrisi ( $t_1$ )  
Tesisler

	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>
F <sub>1</sub>	-	0.0	1.0	0.8	0.6	0.4
F <sub>2</sub>	0.0	-	0.4	-	0.6	1.0
F <sub>3</sub>	1.0	0.4	-	0.8	0.4	0.0
F <sub>4</sub>	0.8	-	0.8	-	1.0	0.8
F <sub>5</sub>	0.6	0.6	0.4	1.0	-	1.0
F <sub>6</sub>	0.4	1.0	0.0	0.8	1.0	-

**Tablo 7.** Dilsel ilişki değerleri ve tesis yerleşimleri değerlendirme tablosu

Değiş. Değer.	Söylem Uzayı										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>QUANT.-LINK</b>											
V. Low	1.0	1.0	0.9	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Low	0.0	0.2	0.9	1.0	0.9	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
Medium	0.1	0.2	0.6	0.8	1.0	0.8	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0
High	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.7	0.9	1.0	0.9	0.7
V. High	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.8	1.0	1.0
<b>QUAL.-LINK</b>											
V. Low	0.2	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Low	0.0	0.2	0.4	1.0	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Medium	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6	1.0	0.6	0.4	0.0	0.0	0.0
High	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6	0.8	1.0	0.8	0.6	0.4
V. High	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6	0.8	1.0
Negative	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0

(1). Nicel İlişki (Quant. Link) = Çok yüksek ise = Çok yakın (v.close).

(2). Nitel İlişki (Qual. Link)= Çok fazla uzak ise = Çok yakın (v.close).

(3). Nicel İlişki (Quant. Link) = Negative uzaklık ise = Uzak (far).

(4). Nitel İlişki (Qual. Link)= Negative uzaklık ise = Uzak (far).

#### 4.2.3. Kantitatif amaca göre ‘gerçek değer matrisi’nin oluşturulması

**Adım 1.** Üretilecek parçalar, lokasyonlara/pozisyonlara göre işlem sıraları ve üretim miktarları tablosu oluşturulur (**Tablo 8**),

**Adım 2.** Kantitatif yük matrisi oluşturulur (**Tablo 9**),

**Adım 3.** Üyelik fonksiyonu dereceleri tablosu oluşturulur (**Tablo 10**),

**Adım 4.** Dilsel değişken kantitatif-link matrisi oluşturulur (**Tablo 11**),

**Adım 5.** Gerçek değer matrisi ( $t_2$ ) oluşturulur (çok yüksek akışa göre) (**Tablo 12**).

**Tablo 8.** Parçaların lokasyonlara göre işlem sırası ve hacim miktarları

Parçalar	Lokas. göre işl. sıraları						YS/yıl ( $\times 10^3$ )
	1	2	3	4	5	6	
P <sub>1</sub>	C	A	B	C	D	B	5
P <sub>2</sub>	D	E	C	B	A	E	2
P <sub>3</sub>	A	B	A	F	E	A	3
P <sub>4</sub>	D	C	A	B	E	F	1
P <sub>5</sub>	B	C	E	A	C	F	4

**Tablo 9.** Kantitatif hacim matrisi (YS/yıl  $\times 10^3$ )

	Tesisler					
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>
F <sub>1</sub>	-	9	4	-	2	3
F <sub>2</sub>	5	-	9	-	1	-
F <sub>3</sub>	6	2	-	5	4	4
F <sub>4</sub>	-	5	1	-	2	-
F <sub>5</sub>	7	-	2	-	-	1
F <sub>6</sub>	-	-	-	-	3	-

**Tablo 10.** Üyelik fonksiyonu dereceleri

Dilsel Değişkenler	Link (ilişki) dereceleri
Very low	0-1-2
Low	3-4
Medium	5-6
High	7-8
Very high	9-10

**Tablo 11.** Dilsel değişken kantitatif-link matrisi

	Tesisler					
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>
F <sub>1</sub>	-	V.high	Low	-	V.low	Low
F <sub>2</sub>	Medium	-	V.high	-	V.low	-
F <sub>3</sub>	Medium	V.low	-	Medium	Low	Low
F <sub>4</sub>	-	Medium	V.low	-	V.low	-
F <sub>5</sub>	High	-	V.low	-	-	V.low
F <sub>6</sub>	-	-	-	-	Low	-

**Tablo 12.** Gerçek değer matrisi ( $t_2$ ) (çok yüksek akışa göre)

	Tesisler					
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>
F <sub>1</sub>	-	1.0	0.9	-	0.9	1.0
F <sub>2</sub>	0.8	-	1.0	-	1.0	-
F <sub>3</sub>	0.6	0.9	-	0.8	0.9	0.9
F <sub>4</sub>	-	0.8	1.0	-	0.9	-
F <sub>5</sub>	0.9	-	0.9	-	-	1.0
F <sub>6</sub>	-	-	-	-	1.0	-

**Tablo 13.** Birleştirilmiş gerçek değer matrisi (T) (çok yakınlık ve çok yüksek akışa göre)

	Lokasyonlar					
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>
F <sub>1</sub>	-	-	0.90	-	0.54	0.40
F <sub>2</sub>	-	-	0.40	-	0.60	-
F <sub>3</sub>	0.60	0.36	-	0.64	0.36	-
F <sub>4</sub>	-	-	0.80	-	0.90	-
F <sub>5</sub>	0.54	-	0.36	-	-	1.00
F <sub>6</sub>	-	-	-	-	1.00	-

#### 4.2.4. Kalitatif ve kantitatif gerçek değer matrislerinin birleştirilmesi

**Adım 1.** Kalitatif ilişkileri (çok yakın) ve kantitatif hacimi (çok yüksek) dikkate alan gerçek değer matrisleri çarpılarak ( $t_1 t_2$ ), birleştirilmiş gerçek değer matrisi ( $T$ ) elde edilir (**Tablo 13**).

**Adım 2.** Parçaların lokasyonlara göre işlem sırası ve hacimlerinden yararlanılarak (**Tablo 8**), tesislerin işlem hacimlerine göre ağırlık matrisi ( $W$ ) oluşturulur (**Tablo 14**) (Burada, her lokasyonda konumlandırılmış tesisin işlemesi gereken parça miktarları toplanarak, parçaya göre her tesisin işlem hacmi bulunur, bu değerlerden yararlanılarak ağırlık matrisi oluşturulur).

**Adım 3.**  $(ADL)_i = \sum_{j=1}^m T_{ij} \cdot j / \sum_{j=1}^m T_{ij}$  ifadesinden yararlanarak lokasyonlara göre

ortalama talep ( $ADL = \text{Average Demand by Locations}$ ) değerleri hesaplanır. Burada  $i = \{1, 2, \dots, m\} = \text{tesisler}$  ( $i = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6\}$ ),  $j = \{1, 2, \dots, n = m\} = \text{lokasyonlar}$  ( $j = \{L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6\}$ )'dir. Örneğin,  $F_1$  tesisi için;  $(ADL)_{F_1} = \sum_{j=1}^m T_{F_1j} \cdot j / \sum_{j=1}^m T_{F_1j}$

,....., ve  $F_6$  tesisi için;  $(ADL)_{F_6} = \sum_{j=1}^{m=6} T_{F_6j} \cdot j / \sum_{j=1}^{m=6} T_{F_6j}$  olacaktır. Yani,  $(ADL)_{F_1} =$

$[(1) (0) + (2) (0) + (3) (0.90) + (4) (0) + (5) (0.54) + (6) (0.40)]/21 = 0.3714$ ,  
 $(ADL)_B = [(1) (0) + (2) (0) + (3) (0.40) + (4) (0) + (5) (0.60) + (6) (0)]/20 = 0.2100$ ,....., ve  $(ADL)_{F_6} = [(1) (0) + (2) (0) + (3) (0) + (4) (0) + (5) (1.0) + (6) (0)]/8 = 0.6250$ . şeklinde hesaplanacaktır.

**Adım 4.** En küçük ADL değerinden başlamak üzere, ADL değerine karşılık gelen tesislerin sırası tanımlanır. Yani en az yoğun ADL değerli tesis ilk, en çok yoğun

**Tablo 14.** Tesislerin işlem hacimlerine göre ağırlık matrisi ( $W$ )

	L o k a s y o n l a r						YS/yıl
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>	
F <sub>1</sub>	3	5	4	4	2	3	21
F <sub>2</sub>	4	3	5	3	-	5	20
F <sub>3</sub>	5	5	2	5	4	-	21
F <sub>4</sub>	3	-	-	-	5	-	8
F <sub>5</sub>	-	2	4	-	4	2	12
F <sub>6</sub>	-	-	-	3	-	5	8

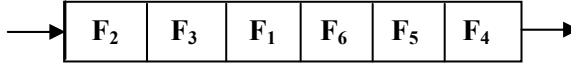
**Tablo 15.** Tesislere göre ortalama talep, tesis hacim ve sıraları.

Tesis İşlem Merkezleri	ADL	Hacim YS/Yıl	Tesisle-
			rin sırası
F <sub>1</sub>	0.3714	21	3
F <sub>2</sub>	0.2100	20	1
F <sub>3</sub>	0.2704	21	2
F <sub>4</sub>	0.8625	8	6
F <sub>5</sub>	0.6350	12	5
F <sub>6</sub>	0.6250	8	4

**Not:** Tesisler, ADL (Average Demand of Locations) değeri maksimumdan minimuma doğru sıralanmıştır. Sıralamada Tesislerin ADL değerleri eşit olsaydı; bu takdirde hacim değerlerine göre büyükten küçüğe doğru bir sıralama yapılacaktır.

ADL değerli tesis son sırayı alacaktır. Tablo 15’de, ADL değerlerine göre tesislerin sırası tanımlanmaktadır.

Bulanık küme yaklaşımına göre elde edilen tesis sırası Şekil 5’de görülmektedir. Eğer tesisler bu şekilde sıralanırsa; birbirine yakın olması arzulanan tesisler komşu yapılmış dolayısıyla materyalin en az dolaşımı sağlanmış olacaktır. Yani tesisin “toplam materyal yönetimi maliyet giderleri” minimum olacaktır.



Şekil 5. Tesislerin sırası

## 5. SONUÇLAR VE İLERİKİ ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada her iki çözüm metodunda elde edilen sıralama düzenlemeleri farklıdır. Bilindiği gibi tesis sayısına bağlı olarak, tesis sayısı arttıkça işlem sayısı üssel şekilde artmaktadır. Bunun sonucu olarak hiç bir Quadratic Assignment Model’i optimal düzenlemeyi elde edememektedir. Burada elde edilen alternatif düzenlemelerden hangisinin seçilmesi daha uygundur sorusunun cevabını düzenleme tasarımcısının amacı belirleyecektir.

Ancak bulanık küme yaklaşımında tasarımcının amacını sağlayacak şekilde birbiriyle gerek kalitatif ilişki şemasının kullanılması, gerekse yoğun akış ilişkisinde olan tesislerin birbirine komşu yapılması yönünden daha iyi bir tesis sıralamasının yapıldığı düşünülmektedir. Bu nedenle bulanık küme yaklaşımına göre geliştirilen düzenleme metodu, bu çalışmanın esasını oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın en önemli özelliği, kesikli üretim yapan bir tesiste kalitatif veriler olan ilişki derecelerinden (A,E,I,O,U,X) elde edilen faaliyet ilişki şeması ve üretim planındaki tesis işlem hacimleri olan kantitatif veriler kullanılarak, bu verilerin birleştirilmesi ve iki farklı değişken kullanımı ile tesisin parça işlem sıraları ve hacimlerine göre; tesis içindeki işlem birimlerinin sıralı düzenlemesinin bulunmasıdır.

Kesikli üretim yapan bir tesiste bu çözüm prosedüründe uygulanan yöntem ile üretim sürecinde ağırlıklı maliyet unsurları olan;

**a.** Yoğun ilişkiye (ya da akışa) sahip olan tesisler arasındaki uzaklık minimum ya da tesisler komşu yapılmış, diğer bir deyişle parçaların tesis içindeki dolaşım uzaklığı minimum yapılmıştır.

**b.** Materyal akışı ya da taşınmasında kesişmeler minimum yapılmıştır.

Ayrıca, parçaların işlem sırası ve üretim hacimlerine göre elde edilen “tesis sıralama

çizelgesi”, tesis tasarımcısı tarafından “alternatif blok düzenlemeler” şeklinde düşünülerek, her blok düzenleme şekli maliyet ve diğer değerlendirme kriterlerine göre değerlendirilerek, bunlar arasından arzulanan uygun bir blok düzenleme seçilebilecektir. Elde edilen bu blok düzenleme planı, tesisin özelliklerine göre “ayrıntılı düzenleme planı”na dönüştürülerek “nihai düzenleme planı” elde edilir.

Bu çalışmanın; kullanılan veri tabanı, değerlendirme ve çözüm açısından oldukça güçlü (robust) bir yöntem olduğu görülmektedir.

Bundan sonraki çalışmada, bu çalışmada kullanılan değişkenlere ilave olarak tesis içinde taşınan materyalin; şekil, kırılabilirlik, temizlik ve yoğunluk gibi faktörleri bulanıklaştırılıp birer değişken şeklinde modele eklenerek yeni bir düzenleme modeli ve çözüm yöntemi geliştirilecektir.

## KAYNAKLAR

1. Apple, J.M., **Plant layout and materials handling**, John Wiley and Sons, Inc., N.Y., (1977).
2. Armour, G.C., Buffa, E.S., Vollmann, T.E., “Allocating facilities with CRAFT”, **Harvard Business Review**, 42, 136-159, 1964.
3. Buchanan, B.G., Shortliffe, E.H., **Rule-based expert systems**, Addison-Wesley, Reading, MA), 1984.
4. Deisenroth, M.P., Apple, J.M., **A computerized plant layout analysis and evaluation technique (PLANET)**, Technical papers, AIIE 25 Anniversary Conf. and Commission, Norcross, GA, 75-87, 1972.
5. Dweiri, F., Meier, F.A., “Application of fuzzy decision-making in facilities layout planning”, **I. J. of Prod. Res.**, 34 (11), 3207-3225, 1996.
6. Erol, Y., Baykoç, Ö.F., “Proje yönetiminde stokastik teknikler”, **Gazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Der.**, 9 (3), 461-473, 1996.
7. Evans, G.W., Wilhelm, M.R., Karwowski, W., “A layout design heuristic employing the theory of fuzzy sets”, **I. J. of Prod. Res.**, 25 (10), 1431-1450, 1987.
8. Grobelny, J., “The fuzzy approach to facility layout problems”, **Fuzzy Sets and Systems**, 23, 175-190, 1987.
9. Grobelny, J., “On one possible fuzzy approach to facility layout problems”, **I. J. of Prod. Res.**, 25 (8), 1123-1141, 1987.
10. Grobelny, J., “The linguistic pattern method for a work station layout problems”, **I. J. of Prod. Res.**, 26, 1779-1798, 1988.
11. Karwowski, W., Ewans, G.W., “Fuzzy concepts in production management research: a review”, **I. J. of Prod. Res.**, 24 (1), 129-147, 1986.
12. Kickert, W.J.M., **Fuzzy theories on decision making**, Martinus Nijhoff, Leiden, Holland, 1978.
13. Klir, G.J.; Folger, T.A., **Fuzzy sets, uncertainty, and information**, Prentice-Hall, Inc., N.J., 1988.

14. Lee, R.C., Moore, J.M., "CORELAP-Computerized relationship layout planning", **J. of Indust. Eng.**, 18, 1994-2000., 1967.
15. Mamdani, E.H., "Advances in the linguistic synthesis of fuzzy conrollers", **I. J. of Man-Mach. Studies**, 8, 669-678, 1976.
16. Mizumoto, M., Fukami, S., Tanaka, K., "Some methods of fuzzy reasoning", **Advances in Fuzzy Set Theory and Applications**, Gupta, M.M.-Ragade, R.K.-Yager, R.R., eds.(Amsterdam: North-Holland), 117-136, 1979.
17. Muther, R., **Systematic layout planning**, Industrial Education Ins., Boston, Massac., 1961.
18. Muther, R., **Systematic layout planning**, Cahners Books, Boston, MA., 1973.
19. Raoot, A.D., Rakshit, A., "A fuzzy approach to facilities layout planning", **I. J. of Prod. Res.**, 29 (4), 835-857, 1991.
20. Raoot, A.D., Rakshit, A., "The linguistic pattern approach for multiple criteria facility layout problems", **I. J. of Prod. Res.**, 31, 203-222, 1993.
21. Seehof, J.M., Evans, W.O., "Automated layout design program", **J. of Indust. Eng.**, 18, 690-695, 1967.
22. Tompkins, J.A., Reed, R.R. Jr., "An applied model for the facilities layout problem", **I. J. of Prod. Res.**, 14 (5), 583-595, 1976.
23. Tompkins, J.A., White, J.A., **Facilities planning**, John Wiley and Sons, Inc., N.Y., 1984.
24. Türkbey, O., "Kavram, Tasarım ve Yaklaşım Yönünden Heuristic'lerin İncelenmesi", **Gazi Ü. Müh.Mim.Fak.Der.**, 8 (1), 1-17, 1993.
25. Türkbey, O., "Kesikli Optimizasyon Teorisi ve Tesis Düzenleme İlişkisi", **Gazi Ü. Müh. Mim. Fak. Der.**, 11 (1), 43-63, 1996.
26. Wilhelm, M.R., Karwowski, W., Ewans, G.W., "A fuzzy set approach to layout analysis", **I. J. of Prod. Res.**, 25, 1431-1450, 1987.
27. Zadeh, L.A., "Fuzzy sets", **Information and Control**, V. 8, pp. 338-353, 1965.
28. Zadeh, L.A., "Probability measures of fuzzy events", **J. of Math. Analysis and Applications**, 23, 421-427, 1968.
29. Zadeh, L.A., "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes", **IEEE Transactions on Systems, Man Cybernetics**, SMC-3, 28-44, 1973.
30. Zadeh, L.A., "The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning-I, ", **Information Science**, 8, 199-249, 1975.
31. Zadeh, L.A., Fu, K.S., Tanaka, K., Shimura, M., **Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes**, Academic Press, N.Y., 1975.
32. Zadeh, L.A., **Fuzzy logic, principles, applications, and perspectives**, University of Oklahoma, Norman OK., 1991.
33. Zhang, H.C., Huang, S.H., "A fuzzy approach to process plan selection", **I. J. of Prod. Res.**, 32 (6), 1265-1279, 1994.
34. Zimmermann, H.J., **Fuzzy set theory and its applications**, (2<sup>nd</sup> ed.), Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991.
35. Zimmermann, H.J., **Fuzzy sets, decision making, and expert systems**, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1993.