



**ÇOK AMAÇLI MAKİNA SIRALAMA PROBLEMİ İÇİN
BİR BULANIK GÜÇLÜ METOD**

**(A FUZZY ROBUST METHOD FOR THE MULTI-GOAL
MACHINE SEQUENCING PROBLEM)**

Orhan TÜRKBEY*

ÖZET / ABSTRACT

Bilindiği gibi bulanık küme teorisi; esas olarak insan düşünce ve algılarındaki belirsizlikle ve bu belirsizliğin sayısallaştırılması ile ilgilenmektedir. Yani tam ve kesin olmayan bilgiler ışığında insanların tutarlı ve doğru kararlar vermelerini sağlayan, diğer bir deyişle bulanık mantık yardımıyla düşünme ve karar verme mekanizmalarının modellenmesi ile ilgilenmektedir. Bu çalışmada rasyonel bir tesis düzenlemesini gerçekleştirebilmek için bulanık küme teorisinin 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 amacı sağlayacak "birleştirilmiş gerçek değer matrisi" elde edilmiştir. Bu matris; tesislerin işlem hacimlerine göre ağırlıklandırılarak, yerleşim (lokasyonel) olarak ortalama talep oranları küçükten büyüğe doğru sıralanmış ve bu talep oranlarına karşılık gelen mevcut tesislerin sıralı düzenlemesi elde edilmiştir.

As it is known, Fuzzy Set Theory mainly deals with the vague in human's mind, perceptions and numerilizing this vague. I mean, it provides precise and consistent decisions for people by the help of imprecise and vague information, in other words, Fuzzy Set Theory deals with modelling and thinking and decision engines by using Fuzzy Logic. In this study that logic of Fuzzy Set Theory is used to realize a rational facility layout. Adding to these, 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, which will provide 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 process volume of its facilities, the average demand ratios are sequenced from smaller to greater locationally and the sequenced layouts of these facilities that correspond to those demand ratios are obtained.

ANAHTAR KELİMELER / KEYWORDS

Bulanık küme teorisi, Bulanık mantık, Tesis düzenlemesi, Sıralama problemi
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. 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 değil, uygun, çok uygun; yüksek, biraz yüksek, çok yüksek; az, fazla, çok fazla” gibi günlük yaşantımızda sıkça kullandığımız kelimeler doğrultusunda esnek bir denetim mekanizması geliştirir. İşte bulanık denetim bu tür mantıksal ilişkiler üzerine kurulmuştur (Zimmermann, 1991).

Bulanık Küme (BK-fuzzy set) kavramları, tam olmayan bilgi ve uzman sistemlerdeki yaklaşık yargılamayı (reasoning) elde etmek için BM önerilmektedir (Mizumoto vd., 1979). Klasik mantığın aksine BM, tamdan ziyade yaklaşık olan muhakeme modelleri ile uğraşan kavram ve tekniklerin esasını sağlamada yardımcı olmaktadır. BM, doğada istatistiki olarak kesin olmayan (imprecise) ve belirsiz/süphemli (vague) kaynaklar ile uğraşan bir tekniktir. BM'in esası, bulanık küme teorisidir (Zhang ve Huang, 1994).

İlk defa Zadeh tarafından geliştirilen Bulanık Küme Teorisi (BKT), esas olarak insan düşünce ve algılarındaki belirsizlikle ilgilenir ve bu belirsizliği sayısallaştırmaya çalışır (Zadeh vd., 1975). 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. LİTERATÜR ÖZETİ

BK'lerin amacı, pek çok karar probleminde bulanıklık veya belirsizliğin tipini netleştirmek için bir küme ve teklife ilişkin fikir oluşturmaktadır. Yani bulanıklık kavramları tam olmayan bilgi ve uzman sistemlerdeki yaklaşık yargılamayı elde etmek için BM önerilmektedir (Mizumoto vd., 1979). 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 kontrolüne kadar pek çok değişik alanda kullanılır hale gelmiştir (Zadeh, 1991).

Klasik mantığın aksine BM, tamdan ziyade yaklaşık yargılama modelleri ile uğraşan kavram ve tekniklerin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır (Zhang ve Huang, 1994).

Bir uzman sistemin bilgi-bazı, bir uzman insanın bilgisi esas alınarak oluşturulur. Halbuki çoğu insan bilgisi belirsiz ve puslu (imprecise)'dur (Buchanan ve Shortliffe, 1984). 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 (Klir ve Folger, 1988). Proses planlama konusunda ise BM uygulaması literatürde çok azdır (Singh ve Mohanty, 1991).

Geleneksel düzenleme yaklaşımları, üretilmesi gereken ürüne ilişkin verilerin toplanması ile başlamaktadır (Muther, 1961). 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.

BKT belirsiz sistemlerin modellenmesi için bir çerçeve sağlamaktadır (Zadeh, 1965). Bu yaklaşım kompleks sistemleri anlam zorluğu ve bulanık olmasından dolayı, belirsizliğin iyileştirilmesine müsaade etmektedir.

Düzenleme problemine BKT'nin uygulanması, 1980'li yılların ortasında tanıtılmıştır. BKT, kompleks sistemlerin anlaşılmasını kolaylaştırdığından, bir modelleme aracı olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca, BKT ile düzenleme problemine bazı dilsel değişkenlerin bulanık ilişkilerini esas alan tesis düzenleme problemine BK yaklaşımı tarafından tanıtılmıştır (Zadeh, 1973; Zadeh, 1975; Wilhelm vd., 1987). Bu yaklaşım, düzenlemede dilsel değişken kullanımını imkan dahiline sokmak ve geleneksel yakınlık oranlarının (A, E, I, O, U, X) anlamını basitleştirmek için "yakınlığın önemini" kullanmıştır.

Tesis düzenleme problemine 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 (Grobely, 1987a; Grobely, 1987b; Grobely, 1988; Raoot ve Raksnit, 1991; Raoot ve Raksnit, 1993). Dilsel değişkenler düzenlemeyi etkileyen kalitatif ve kantitatif faktörleri göstermektedir. Raoot ve Rakshit geliştirdikleri tesis düzenleme modelinde, uzmanların istatistik ve/veya nispi önceliklerini kullanarak, dilsel değişkenler için üyelik değerlerini tanımlamışlardır.

Sistematik düzenleme planlaması, düzenleme problemine uygulanan geleneksel tekniklerden birisidir (Muther, 1973; Apple, 1977). CRAFT, COFAD, PLANET, CORELAP ve ALDEP gibi bilgisayar destekli yaklaşımlar ile tesis düzenleme problemi optimize edilmeye çalışılmıştır (Armour vd., 1964; Tompkins ve Reed, 1976; Lee ve Moore, 1967; Seehof ve Evans, 1967).

H.J.Zimmermann karar verme ve uzman sistemlerde, Hitachi firması, Sendai metrosunun otomatik denetiminde ve Yamaichi Security yatırım şirketi uzman sistemler yardımıyla hisse senedi portföyünün oluşturulmasında BKT'ni kullanmışlardır (Zimmermann, 1991). Yine Japonya'da 1989'da LIFE (Laboratory of International Fuzzy Engineering) laboratuvarı kurulmuştur.

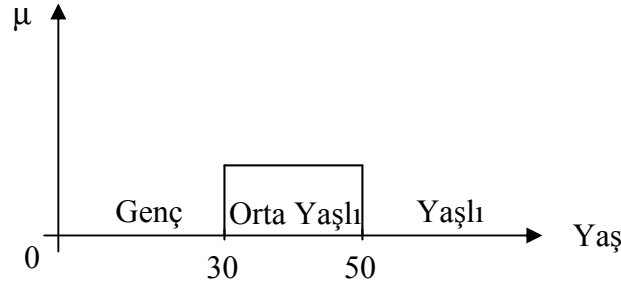
Başlangıçta sadece teorik bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmış olan BM, sonraki yıllarda pek çok farklı alanda uygulama imkanı bulmuştur. Bu uygulama alanları arasında bilgisayar bilimleri, kontrol, meteoroloji, tıp, yapay zeka ve uzman sistemler, sosyal bilimler, psikoloji ve yönetim bilimleri daha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

İlk defa Zadeh tarafından ortaya atılan fuzzy kelimesinin İngilizce anlamı “bulanık, hayal meyal” olup, çoklu değer (multivalued) mantığı, olasılık teorisi, yapay zeka ve yapay sinir ağları alanları üzerine oturtulmuş, olayların oluşum olasılığından ziyade oluşum dereceleriyle ilgilenen bir kavramdır (Zadeh, 1965). Olasılık ile bulanıklık arasındaki en önemli fark, bulanıklığın “deterministik-belirsizlik” olmasıdır (Meier vd., 1994).

Bulanık denetim teorisi, temelde insanın düşünüş tarzını ele almaktadır. Anılan teorinin oldukça kapsamlı ve ayrıntılı matematiksel temeli vardır. Geleneksel mantıkta bir kümeyi oluşturan elemanlar hakkında tanımlayıcı yargı, keskin (crisp) özelliklidir. Yani bir eleman bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Bu tür kümeler “keskin kümeler (crisp sets)” denir (Raoot ve Rakshit, 1991). Bir örnek olarak orta yaş grubunu dikkate alalım. Eğer 40 yaş orta yaş olarak kabul edersek, geleneksel kümelendirmede 30 yaşın altındaki kişiler, Şekil 1’de görüldüğü üzere 00-30 yaş arası genç, 30-50 yaş arası orta yaşlı ve 50- üzeri ise yaşlı grubunda tanımlanmış olsun. Keskin kümelendirmeye göre 29.5 yaşındaki birisi genç, 30.5 yaşındaki diğeri ise orta yaşlı olarak anılacaktır. Halbuki bulanık kümelendirmeye göre, ilki orta yaş, ikincisi ise genç yaş kümelerinde de tanımlanabilir.



Şekil 1. Keskin kümeler (crisp sets).

Bu duruma bir endüstriyel denetim açısından bakacak olursak, eğer endüstriyel denetleyicide bu fiziksel büyüklükleri tanımlayan kümeler birbirinden böyle keskin çizgilerle ayrılmış iseler, denetim çıktısının ani değişiklikler göstermesi kaçınılmazdır. Örneğin soğuk/sıcak ayarının 25 °C olduğu bir sayısal açık/kapalı denetleyicide 24.5 °C soğuk olarak algılanacak, buna karşın 25.5 °C sıcak olarak algılanarak denetim verisi değiştirilebilecek ve buhar vanası ani olarak kapatılabilecektir.

Yukarıda açıklandığı üzere BM, keskin mantığı yani soğuk/sıcak, hızlı/yavaş, ağır/hafif gibi ikili (binary) denetim değişkenlerinden oluşan keskin dünyayı, az açık/az kapalı, serin/ılık, biraz hızlı/biraz yavaş, uzun/çok uzun, biraz hızlı/biraz yavaş gibi gevşek (soft) niteleyicilerle gerçeğe yaklaştırarak, gerçek dünyamızı tanıtmaya çalışmaktadır. Yine yaş konusunda belirtildiği üzere, 35 yaşındaki bir insana pek orta yaşlı denemeyeceği gibi gençte sayılmaz, duruma göre belki genç tanımı belki orta yaşlı tanımı daha uygun düşecektir. Kümelerin keskin çizgilerle birbirinden ayrılmamış ve aralarında belirli bir örtüşümün (overlap) olması, belli durumların (örneğin 35 yaşın bir oranda hem genç hem de orta yaşlı, ısı denetleyicisinde 25 °C sıcaklığın hem biraz sıcak hem de biraz serin olarak düşünülmesi) esnek ya da yumuşak düşünülmesine imkan tanımaktadır.

4. BULANIK KÜME TEORİSİNDE TEMEL KAVRAMLAR

Klasik küme teorisinde evrenin elemanları bir A kümesine ait olanlar ve ait olmayanlar şeklinde iki birbirinden ayrık gruba ayrılırlar. Kümeye ait elemanlara “1”, olmayanlara da “0” değerleri atanarak A kümesine üye olup olmama durumları açıklanmaya çalışılır. Halbuki BM yaklaşımında üye olanlar ve olmayanlar şeklinde bir kesin sınıflandırma yoktur. BK’lerde kümenin elemanları üyelik fonksiyonları ile tanımlanır. Bu fonksiyonlar, elemanlara [0,1] aralığında reel değerler atayarak, elemanların A BK’si ile temsil edilen kavrama ne derece uygun olduklarını diğer bir deyişle A BK’si ile temsil edilen özellikleri ne derece taşıdıklarını gösterirler. Bir BK şöyle ifade edilebilir (Kaufman, 1975).

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) ; \forall x \in X \} \quad (1)$$

Yine A BK’nin üyelik fonksiyonu şöyledir;

$$\mu_A(x) \rightarrow [0,1] ; x \in X \quad (2)$$

Burada x , X söylem uzayından (universe of discourse) alınan elemanları, $\mu_A(x)$ ise x elemanının A BK’nin üyelik derecesini göstermektedir.

Bu tip bir üyelik fonksiyonu ile atanan değer “1” olması, o x elemanının A BK’si ile temsil edilen kavrama tamamen uyduğunu ya da A BK’si ile temsil edilen özelliği tamamen taşıdığını, “0” olması da bunun tam tersi durumu göstermektedir. O halde iki değerli klasik küme yaklaşımı BK kavramının özel bir durumu olarak görülebilir. Bu durum bir “önerme” şeklinde ise, bu takdirde doğruluk derecelerinin tanımlanması gerekir.

Örneğin “ x , sıfıra yakın bir reel sayıdır” önermesini dikkate alacak olursak, bu durumda söylem uzayı reel sayılar kümesidir. Sözkonusu kümeye B BK’si denir ve üyelik fonksiyonu da,

$$\mu_B(x) = 1/(1+10x^2) \quad (3)$$

olarak tanımlanırsa, bu ifadeye göre $x=3$ için $\mu_B(x)=0.01$ üyelik derecesi elde edilecektir. Bu değer 3 reel sayısının B BK’si ile temsil edilen “sıfıra yakın reel sayılar” kümesine ne derece üye olduğunu göstermektedir. Diğer bir deyişle bu değer “sıfıra yakın reel sayıdır (x)” önermesinin $x=3$ olması durumunda ne derece doğru olduğunu gösteren bir doğruluk derecesidir.

Tanım: X söylem uzayının bir bulanık alt seti, [0,1] aralığında bir $\mu_A(x)$ sayısı X ’in her x elemanı ile birleşen $\mu_A: x \rightarrow [0,1]$ bir üyelik fonksiyonu tarafından tanımlanır (Zadeh, 1973).

Basit olarak simgelemek için kesikli üyelik fonksiyonu ile bir A bulanık alt kümesi,

$$A = \mu_1/x_1 + \mu_2/x_2 + \mu_3/x_3 + \dots + \mu_n/x_n \quad (4)$$

şeklinde açıklanabilir. Burada μ_i , A’da x ’in üyelik derecesidir ($i=1,2,\dots,n$) ve $X = \{x_1+x_2+x_3+\dots+x_n\}$ ’dir. Burada U söylem uzayı, + aritmetik toplamdan ziyade birleşimi (union) temsil etmektedir.

Verilen A ve B alt kümeleri için aşağıdaki gibi temel işlemler yazılabilir (Karwowski vd., 1986):

- Bulanık tümleme (complement): $\bar{A} \Leftrightarrow \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$
- Bulanık birleşim (union): $A \cup B \Leftrightarrow \mu_{A \cup B} = \mu_A \vee \mu_B = \mu_A(x) \vee \mu_B(x); \forall x \in X$ (mak. olduğu noktada).
- Bulanık kesişim (intersection): $A \cap B \Leftrightarrow \mu_{A \cap B} = \mu_A \wedge \mu_B = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x); \forall x \in X$ (mak. olduğu noktada). Burada \vee ve \wedge sırasıyla maksimum ve minimumu ifade etmektedir.

$X = \{1,2,3,4,5,6,7\}$; $A = \{0.8/3, 1/5, 0.6/6\}$; $B = \{0.7/3, 1/4, 0.5/6\}$ ise, bu takdirde $A \cup B = \{0.8/3, 1/4, 1/5, 0.6/6\}$ ve $A \cap B = \{0.7/3, 0.5/6\}$ olacaktır.

d. Bulanık çarpım: $(A \times B) \Leftrightarrow \mu_{A \times B} = \mu_A \mu_B$

e. Bulanık kümenin konsantrasyonu: $CON(A) \Leftrightarrow A^2 \Rightarrow CON(\mu_A) \Leftrightarrow \mu_A^2$

f. Bulanık kümenin genişlemesi (dilation): $DIL(A) \Leftrightarrow A^{0.5} \Rightarrow DIL(\mu_A) \Leftrightarrow \mu_A^{0.5}$

g. Bulanık kümenin karşılıklı yoğunlaştırılması (contrast intensification):

$$INT(\mu_A) \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} 0 \leq \mu_A \leq 0.5 \text{ için } 2\mu_A^2 \\ 0 \leq \mu_A \leq 1.0 \text{ için } 1-2(\mu_A)^2 \end{array} \right\}$$

Sınırın altında olan azalmalar ve 0.5'in üstünde olan μ_A 'nın artan bu değerleri karşılıklı yoğunlaştırma işlemidir.

$\mathbf{P}(x_i)$ olasılıkları ile (x_1, x_2, \dots, x_n) olaylarının bir alt kümesi olarak \mathbf{N} temsil edilirse, bir bulanık \mathbf{A} olayı, \mathbf{m}_A üyelik fonksiyonu ölçülebilir olan ve

$$P(A) = \sum_{i=1}^n \mu_A(x_i) p(x_i) \quad (5)$$

kesikli durumunda \mathbf{m}_A üyelik fonksiyonu ölçülebilir olan \mathbf{X} üzerindeki bir BK'dir. Burada $\mathbf{P}(A)$, bulanık olay \mathbf{A} 'nın olasılığıdır. Böyle tanımlanan $\mathbf{P}(A)$, bir bulanık olayın üyelik fonksiyonunun beklentisi (expectation) olarak açıklanabilir (Zadeh, 1968, Okuda vd., 1978). Bulanık olay ile birleştirilen belirsizlik miktarı

$$H^P(A) = - \sum_{i=1}^n \mu_A(x_i) p_i \log p_i \quad (6)$$

şeklinde bir $\mathbf{P}=(p_1, p_2, \dots, p_n)$ olasılık dağılımını tanıtmak için $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ sonlu kümenin bir bulanık alt kümesi \mathbf{A} 'nın entropy ölçümü $\mathbf{H}(A)$ olarak sunulabilir. Bu entropy ölçümü, verilen şart(lar)'ı tanımlayarak bilgi değerinin bir bedeli (assessment) şeklinde sistem analizinde kullanılabilir.

5. BULANIK SAYILAR VE GENİŞLETME PRENSİBİ

Bir bulanık sayı, $\mathbf{m} \mathbf{R} \rightarrow [0,1]$ üyelik fonksiyonu tarafından tanımlanan gerçek durum (line)'un bir bulanık alt kümesidir (Dubois ve Prade, 1980). Burada \mathbf{R} , bir bulanık şartlı ifadesinde, \mathbf{A} then \mathbf{B} yada $\mathbf{A} \Leftrightarrow \mathbf{B}$ ise bu iki bulanık \mathbf{A} ve \mathbf{B} kümeleri arasındaki ilişkidir (Zadeh, 1975). Bulanık sayılar, toplama, çıkarma, çarpma, bölme ve üs alma gibi işlemleri keskin (crisp) cebirde bulanık olmayan sayıları, bulanık sayılara benzetmek için hesaplamaya yarar (Dubois ve Prade, 1980). Genişletme (extension) prensibi ise, bulanık olmayan bir \mathbf{G} fonksiyonunun bulanıklaştırılmasına müsaade etmektedir. Bir fonksiyonun argümanları (arguments) bulanık olarak sunulursa, bu takdirde böyle bir fonksiyonun değeri ayrıca bir tek üyelik fonksiyonlu bir BK'dir (Zadeh, 1975). \mathbf{G} fonksiyonunun argümanları $\bar{\mathbf{X}} (=x_1, x_2, \dots, x_n)$ ve $\bar{\mathbf{X}}$ ile birleştirilen üyelik fonksiyonları $\mathbf{m}_1(x_1), \mathbf{m}_2(x_2), \dots, \mathbf{m}_n(x_n)$ olsun. Bu üyelik fonksiyonları, \mathbf{G} fonksiyonunun argümanları olan $\bar{\mathbf{X}}$ 'lerin oluşturulması ile birleştirilen bulanıklığın belirlenmesini sağlamaktadır. $\mathbf{G}; x_1, x_2, \dots, x_n$ 'den \mathbf{Y} 'ye bir söylem uzayı (\cong mapping) ise; bu takdirde \mathbf{G} 'nin bulanık imajı, $\mathbf{G}(\bar{\mathbf{x}}) = \mathbf{y}$ olması için,

$$\mu_{G(\bar{x})}(y) = \sup_x \{ \text{Min } \mu_i(x_i) \} \quad (7)$$

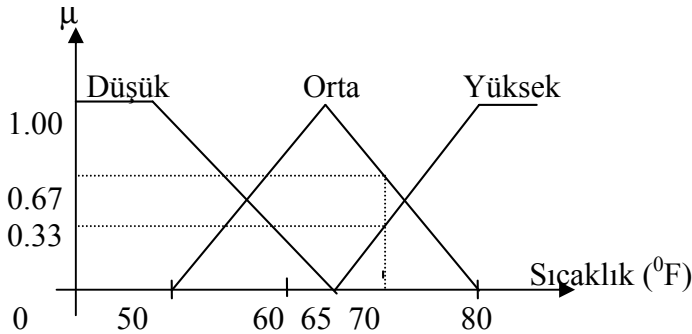
olarak verilir. Genişletme prensibi, bulanık olmayan elemanlar ve bulanık kavramlar arasında bir geçişi sağladığından, BKT'nin en önemli araçlarından birisidir.

6. BULANIK DİLSSEL (LINGUISTIC) DEĞİŞKENLER

Sayısal değişkenler, değerler olarak sayıları kullanırken, dilsel değişkenler doğal dil kelimeleri olan değerleri alırlar. Kelimeler genellikle sayılardan daha az kesin (precise) olduğundan, dilsel değişkenler geleneksel kantitatif terimler içinde tanımlanması sorunlu (ill-defined) olan kompleks sistemleri karakterize etmek için bir araç olarak kullanılmaktadır (Zadeh, 1975).

Bir dilsel değişken, söylem uzayı X 'de tanımlanan bir bulanık sayı olan her değerli x 'in dilsel değerlerinin $T(x)$ terimi kümesi ve x değişkeninin ismi tarafından tanımlanmaktadır. Örneğin, sıcaklık (temperature) bir dilsel değişken olarak alınır, sıcaklık kümesi (T), $T(\text{sıcaklık}) = \{\text{yüksek, orta, düşük, ...}\}$ şeklinde olacaktır. Bu kümeyi tesislerin yakınlıkları ($C(x)$) cinsinden yazacak olursak; $C(\text{yakınlık}) = \{\text{çok yüksek, yüksek, orta, düşük, çok düşük, negatif}\}$ şeklinde olacaktır.

Şekil 2'de görüldüğü gibi $X=[0,100]$, söylem uzayı üzerindeki BK tarafından karakterize edilmektedir. Şekil 2 sırasıyla $\{0.33, 0.67, 1.00\}$ üyelik değerleri ile $\{\text{yüksek, orta, düşük}\}$ dilsel değişkenlere göre 70°F 'ı göstermektedir. 70°F , BK'yi bulmak için kullanılan maksimum değer yani sıcaklık değeri 0.67 'nin üyelik değerli BK ortancasına aittir (Dweiri ve Meier, 1996).



Şekil 2. Sıcaklık için üyelik fonksiyonları (Dweiri vd., 1996).

Tesis tasarımında bulanık metodolojiyi kullanarak, düzenleme tasarım problemlerinde genellikle yakınlık (closeness) ve önem (importance) gibi iki dilsel değişken kullanılmaktadır (Evans vd., 1987). Bu iki değişkenin kullanımı, bölümlerin birbirinden ne kadar uzağa yerleştirileceği sorusunu cevaplayan bir düzenleme (layout) probleminde, her bölüm (/tesis) çifti arasındaki ilişki derecesini belirtmede düzenleme analistine yardımcı olur. Yine dilsel değişken kullanımı, geleneksel yaklaşımda kullanılan ilişki şeması (REL-CHART) tekniklerinden farklıdır. Yakınlık ve önem kavramlarını tanımlayan bu iki dilsel değişken kullanma yaklaşımı, ilişki şemaları'nın oluşturulmasında kullanılan geleneksel yakınlık oranları (örneğin; A,E,I,O,U,X) ile birleştirilen anlamın yetersizliğinin ortadan kaldırılmasına yardımcı olur. Tompkins ve White kalitatif verilere dayanan düzenlemede anılan yakınlık oranlarının kullanımındaki önemi belirtmişlerdir (Tompkins ve White, 1984).

Bir BK'nin elemanları (/değişkenleri) kalitatif, kantitatif veya dilsel olabilir. Daha açık bir şekilde dilsel değişken değerler olarak; kelimeler veya kelime gruplarını kullanırlar. Dilsel değişken için bir değer, baz değişkenin değerlerinin bulanık sınırlarını ifade etmektedir.

Değişkenler; zıtlıklar (hedges) (örneğin; çok, daha çok veya daha az, tamamen), bağlayıcılar (connectives) (örneğin; ve, veya) veya gerçek dışı (negation) (örneğin; not) gibi esas ifadelerle birleştirilen tekil kelimeler veya gruplar olabilir.

7. TESİS TASARIMINDA BULANIK KÜME KAVRAMLARI

Tesis düzenleme problemi, etkin (minimum) bir maliyetle faaliyet göstermek için bir üretim veya hizmet tesisinde fiziksel bölümlerin en etkin düzenlemesi ile uğraşmaktadır. Blok düzenleme tasarımı, bölümler (/tesisler) arasındaki arasal ilişkileri esas alan en iyi düzenlemeyi araştırmakta ve mevcut alan içindeki bölümlerin yerleşimini kapsamaktadır. Anılan tasarım işleminde pek çok amaç dikkate alınmaktadır (Tompkins ve White, 1984).

Düzenleme yaklaşımları, üretilmesi gereken ürüne ilişkin verilerin toplanması ile başlamaktadır (Muther, 1961). Bu veriler “Nereden-Nereye” (From-To) şemaları gibi ya kantitatif ya da ilişki şemaları gibi kalitatifdir. Geleneksel düzenleme teknikleri tamamen bu girdilerle işlem yapmaktadır.

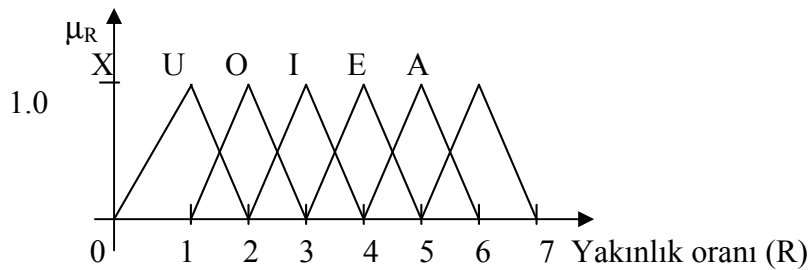
Tesis tasarımında bulanık metodolojinin kullanımı, tam tanımlı olmayan taşıma, belirsiz veri gibi henüz tam matematiksel olmayan durumlar için kullanılabilir bir yaklaşımdır (Kickert, 1978; Karwowski ve Evans, 1986a).

Tesis düzenleme problemlerine 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 (Grobely, 1987a; Grobely, 1987b; Grobely, 1988; Raoot ve Rakshit, 1991; Raoot ve Rakshit, 1993).

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 3'teki 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 8'deki gibi **M** defa tekrarlanır.

$$M = n(n-1)/2 \quad (8)$$

Yine tesislerin yakınlık oranlarını üyelik fonksiyonu şeklinde ifade etmeye çalışırsak;



Şekil 3. Yakınlık oranının üyelik fonksiyonları (Dweiri ve Meier, 1996)

Burada, **M** bölümler arasındaki ikili ilişkiler sayısını, **n** düzenlemedeki bölümlerin sayısını, **A** yakınlık kesinlikle gereklidir (Closeness Absolutely Necessary), **E** yakınlık oldukça önemlidir (Closeness Epecially 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.

Düzenleme probleminde 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 (Karwowski, 1986)

$$\mu_C(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}; \quad x \in X \quad (9)$$

$$\mu_D(x) = \sup \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}; \quad x \in X \quad (10)$$

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

$$P = \text{"A is F"} \text{ ve } r = \text{"A is G"} \quad (11)$$

tutarlılık (consistency) olarak tanımlanabilir (Grobely, 1988). **A** bir değişkenin ismini, **F** ve **G** BK'leri temsil ederse (**X** uzayındaki kuvvetin seviyesi/intensity'ni tanımlayan), bu takdirde tutarlılık

$$\text{Cons (A is F, A is G)} = \text{POSS (A is F/A is G)} = \sup_{x \in X} \{ F(x) \wedge G(x) \}; \quad x \in X \quad (12)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada \wedge minimum işlemciyi (operatörü) ifade etmektedir. **POSS** olasılığı, Eşitlik 12'nin son elemanından hesaplanan sayısal bir değer olup, bu değer anlamı, **F** ve **G** kümelerinin yakınlık derecesidir (Zadeh, 1975). 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

$$|A \Rightarrow B| = \text{Min} \{ 1, 1 - |A| + |B| \} \quad (13)$$

Lukasiewicz denklemi ile hesaplanmaktadır (Zadeh, 1978). **(i,j)**, tesis çiftlerini ve **(k,r)**, bu tesislerin yerleşeceği yerlere ait uzman görüşlerini ($k, r \in \mathbb{N} = \text{uzman sayısı}$) ifade ederse, o zaman **Lukasiewicz denklemi**

$$Q_{i,j}^{k,r} = \{ 1, 1 - p + q^{kr} \} \quad (14)$$

şeklinde ifade edilebilir (Grobely, 1987). 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.

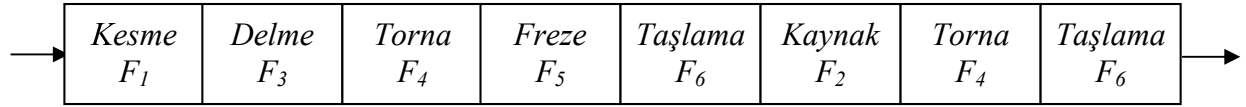
8. UYGULAMA

Aşağıda verilen uygulama probleminin çözümünde iki metod kullanılacaktır. Bunlar “bulanık küme” ve “analitik (The Single-Row Layout Problem)” yaklaşımlardır. Her iki yöntem ile elde edilecek sonuçlar karşılaştırılarak bir değerlendirme yapılacaktır.

8.1. 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)= $\{L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6\}$] işlenerek mamul hale gelmektedir. İşlem merkezlerinin, işlemler yönünden birbirleriyle ilişkileri, işlenecek parçalar ve bunların üretim miktarlarını dikkate alarak; aralarında kalitatif yönden (kalitatif amaç) ilişki dereceleri ve kantitatif yönden (kantitatif amaç) materyel ilişkisi olan tesisler arasındaki:

- Parçaların dolaşım uzaklığını minimum,
 - Materyal akışında keşişmeleri minimum, ve
 - 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:
 - Tesis alanları birbirine eşittir,
 - Akışlar simetrik değildir,
 - Uzaklık, maliyetle doğru orantılıdır,
 - Taşımalarda maliyet kriteri; maksimum yakınlık, minimum uzaklıktır,
 - Üyelik fonksiyonu değerleri (üyelik dereceleri) uzman görüşlerine dayanmaktadır.
- Fabrikada parçaların işlem sırası genellikle şöyledir:



Şekil 4. Tesislere göre parçaların işlem sırası.

8.2. Bulanık Küme Yaklaşımı İle Uygulama

8.2.1. Uygulamanın Genel Algoritmik Basamakları

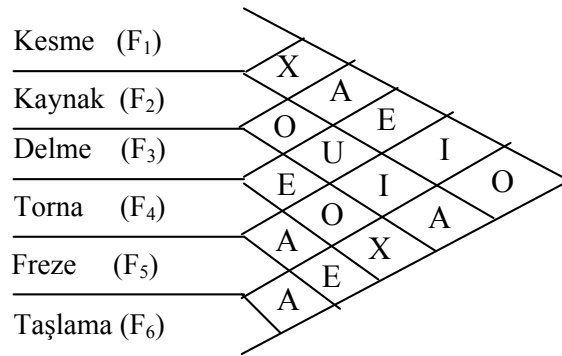
Uygulamada takip edilecek genel algoritmik adımlar şöyledir:

- Adım 1.** Çalışmada önce kalitatif bazlı veriler, BK yaklaşımından hareketle dilsel (linguistic) 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 çözümden 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 düzenlemesi elde edilir.

Algoritmanın bu genel algoritmik basamaklarının açıklanmasının amacı, uygulamanın hem daha iyi anlaşılmasını sağlamak hem de uygulama tekniğinin iki ana basamağı olan kalitatif ve kantitatif amaca göre oluşturulacak “gerçek değer matrisleri”nin oluşturulması ve “bu matrislerin birleştirilmesi”ne yardımcı olmaktır. Şimdi anılan matrisleri oluşturmaya çalışalım.

8.2.2. Kalitatif Amaca Göre “Gerçek Değer Matrisi”nin Oluşturulması

- Adım 1.** Önce tesisler arasındaki ilişki derecelerini dikkate alan faaliyet ilişki şeması oluşturulur (Şekil 5),
- Adım 2.** Kalitatif (alfabetik) ilişki matrisi oluşturulur (Çizelge 1),
- Adım 3.** İlişki matrisinden yararlanarak kantitatif (nümerik) ilişki matrisi oluşturulur (Çizelge 2),
- Adım 4.** İlişki dereceleri ve dilsel değişkenler tablosu oluşturulur (Çizelge 3),
- Adım 5.** Dilsel ilişki değerleri ve tesis yerleşimleri değerlendirme tablosu oluşturulur (Çizelge 7),
- Adım 6.** Tesisler arası dilsel kantitatif-link matrisi oluşturulur (Çizelge 4),
- Adım 7.** Dilsel değişken kalitatif-link matrisi oluşturulur (Çizelge 5),
- Adım 8.** Gerçek değer matrisi (t1) oluşturulur (çok yakınlık faktörüne göre) (Çizelge 6).



Şekil 5. Tesislerin ilişki şeması.

Çizelge 1. Kalitatif ilişkiler matrisi (R)

	Tesisler					
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆
F ₁	-	X	A	E	I	O
F ₂	-	O	U	I	O	
F ₃		-	E	O	X	
F ₄		-	A	E		
F ₅			-	A		
F ₆				-		

Çizelge 2. Kantitatif ilişkiler matrisi

	Tesisler					
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆
F ₁	-	-1	4	3	2	1
F ₂		-	1	-	2	4
F ₃			-	3	1	-1
F ₄				-	4	3
F ₅					-	4
F ₆						-

Çizelge 3. İlişki dereceleri ve dilsel değişkenler (Üyelik dereceleri)

İlişki notasyonu	Dilsel değişkenler	Link (ilişki) dereceleri
A	V. High	9;10
E	High	7;8
I	Medium	5;6
O	Low	3;4
U	V. Low	1;2
X	Negative	-1

Çizelge 4. Tesislerarası kantitatif link (bağlantı) matrisi.

	Tesisler					
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆
F ₁	-	-1	9;10	7;8	5;6	3,4
F ₂		-	3;4	0,0	5,6	9;10
F ₃			-	7;8	3;4	-1
F ₄				-	9;10	7;8
F ₅					-	9;10
F ₆						-

Çizelge 5. Dilsel değişkenli kalitatif ilişki matrisi

	Tesisler					
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆
F ₁	-	Neg.	V.High	High	Medium	Low
F ₂		-	Low	-	Medium	V.High
F ₃			-	High	Low	Neg.
F ₄				-	V.High	High
F ₅					-	V.High
F ₆						-

Çizelge 6. Gerçek değer matrisi (t₁)

	Tesisler					
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆
F ₁	-	0.0	1.0	0.8	.06	0.4
F ₂	0.0	-	0.4	-	0.6	1.0
F ₃	1.0	0.4	-	0.8	0.4	0.0
F ₄	0.8	-	0.8	-	1.0	0.8
F ₅	0.6	0.6	0.4	1.0	-	1.0
F ₆	0.4	1.0	1.0	0.8	1.0	-

Çizelge 7. Dilsel değişkenleri ve tesis lokasyonlarını değerlendirme tablosu.

Variable values	Söylem Uzayı (Universe of Discourse)										
Quant. Link	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Very 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
Very high	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.8	1.0	1.0
Qual. Link	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Very 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
Very high	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6	0.8	1.0

- (1) Quantitative-Link = if it's very high distance = v.close.
(2) Qualitative-Link = if it's very high distance = v.close.
(3) Quantitative-Link = if it's negative distance = far.
(4) Qualitative-Link = if it's negative distance = far.

Çizelge 7'de yer alan söylem uzayı'nın (0-10) arasında alınmasının nedeni, üyelik fonksiyonu değerlerinin, (0,0-1,0) arasında yer alan olasılık değerlerine karşılık gelen aralık sayısından dolayıdır.

8.2.3. Kantitatif Amaca Göre “Gerçek Değer Matrisi”nin Oluşturulması

- Adım 1.** Üretilen parçalar, lokasyonlara/pozisyonlara göre işlem sıraları ve üretim miktarları matrisi oluşturulur (Çizelge 8),
Adım 2. Kantitatif yük matrisi oluşturulur (Çizelge 9),
Adım 3. Üyelik fonksiyonu dereceleri tablosu oluşturulur (Çizelge 10),
Adım 4. Dilsel (linguistic) değişken kantitatif-link (bağlantı) matrisi oluşturulur (Çizelge 11),
Adım 5. Gerçek değer matrisi (t₂) oluşturulur (çok yüksek akışa göre) (Çizelge 12).

Çizelge 8. Parçaların lokasyonlara göre işlem sırası ve yük miktarları

Parçalar	İşlem sıraları						YS/yıl (x10 ³)
	1	2	3	4	5	6	
P ₁	F ₃	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₂	5
P ₂	F ₄	F ₅	F ₃	F ₂	F ₁	F ₅	2
P ₃	F ₁	F ₂	F ₁	F	F ₅	F ₁	3
P ₄	F ₄	F ₃	F ₁	F ₂	F ₅	F ₆	1
P ₅	F ₂	F ₃	F ₅	F ₁	F ₃	F ₆	4

Çizelge 9. Kantitatif yük matrisi. (YS/yıl x 10³)

	Tesisler					
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆
F ₁	-	9	4	-	2	3
F ₂	5	-	9	-	1	-
F ₃	6	2	-	5	4	4
F ₄	-	5	1	-	1	-
F ₅	7	-	2	-	-	1
F ₆	-	-	-	-	3	-

Çizelge 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

Çizelge 11. Dilsel değişken kantitatif-link matrisi

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

Çizelge 12. Gerçek değer matrisi (t₂) (Yüksek akış'a göre)

	Tesisler					
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆
F ₁	-	1.0	0.9	-	0.9	1.0
F ₂	0.8	-	1.0	-	1.0	-
F ₃	0.6	0.9	-	0.8	0.9	0.9
F ₄	-	0.8	1.0	-	0.9	-
F ₅	0.9	-	0.9	-	-	1.0
F ₆	-	-	-	-	1.0	-

Çizelge 13. Birleştirilmiş gerçek değer matrisi (T) (Çok yakınlık ve çok yüksek akış'a göre)

	Lokasyonlar					
	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆
L ₁	-	-	0.90	-	0.54	0.40
L ₂	-	-	0.40	-	0.60	-
L ₃	0.60	0.36	-	0.64	0.36	-
L ₄	-	-	0.80	-	0.90	-
L ₅	0.54	-	0.36	-	-	1.00
L ₆	-	-	-	-	1.00	-

8.2.4. 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 (Çizelge 3),

Adım 2. Parçaların lokasyonlara göre işlem sırası ve hacimlerinden yararlanılarak (Çizelge 8), tesislerin işlem hacimlerine göre ağırlık matrisi (**W**) oluşturulur (Çizelge 14) (Burada, her lokasyonda (yerleşim alanında) 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 ($ADL = \underline{A}verage \underline{D}emand \text{ by } \underline{L}ocations$) değerleri hesaplanır. Burada

$i=\{1,2,\dots,m\}$ =tesisler ($i=\{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6\}$), $j=\{1,2,\dots,n=m\}$ =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 ADL değerli tesis son sırayı alacaktır. Çizelge 15, ADL değerlerine göre tesislerin sırasını tanımlamaktadır.

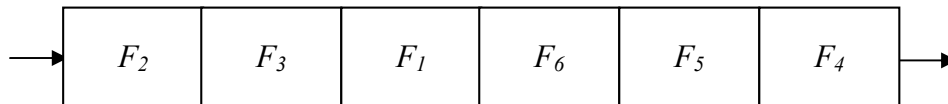
Çizelge 14. Tesislerin işlem yüklerine göre ağırlık matrisi (**W**)

	Lokasyonlar						YS/yıl
	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	
L ₁	3	5	4	4	2	3	21
L ₂	4	3	5	3	-	5	20
L ₃	5	5	2	5	4	-	21
L ₄	3	-	-	-	5	-	8
L ₅	-	2	4	-	4	2	12
L ₆	-	-	-	3	-	5	8

Çizelge 15. Tesislere göre ortalama talep, tesis yük ve sıraları.

Tesis işlem merkezleri	ADL	Yük YS/Yıl	Tesislerin sırası
F ₁	0.3714	21	3
F ₂	0.2100	20	1
F ₃	0.2704	21	2
F ₄	0.8625	8	6
F ₅	0.6350	12	5
F ₆	0.6250	8	4

Not: Tesisler, ADL (Lokasyonlara göre ortalama talep) değeri maksimumdan minimuma doğru sıralanmıştır. Sıralamada Tesislerin ADL değerleri eşit olsaydı bu takdirde hacim değerlerine göre büyükten küçüğe doğru bir sıralama yapılacaktır.



Şekil 6. Tesislerin sırası

Bulanık küme yaklaşımına göre elde edilen tesis sırası Şekil 6'da 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.

8.3 Analitik Yaklaşım İle Uygulama

Uygulama modelinde $P_i = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ parça sayısı, $F_i = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ tesis sayısı, $L_j = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$ lokasyon sayısı, V yük matrisi ($i=j=1, 2, \dots, m=n$) (ya da akış matrisi), D talep vektörü, X_i ağırlıklı talep vektörü, X_{ij} L_j lokasyonel ağırlıklı talep vektörü olsun. Çözümüne hazırlık için problem önce modellenir.

Lokasyon (yerleşim alanı) sayısına göre “yük matrisi” oluşturulur,

$$V = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & \dots & n \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ m \end{matrix} & \begin{bmatrix} p_1 l_1 & p_2 l_1 & \dots & p_m l_1 \\ p_1 l_2 & p_2 l_2 & \dots & p_m l_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_1 l_n & p_2 l_n & \dots & p_m l_n \end{bmatrix} \end{matrix} ; \quad D_i = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_m \end{bmatrix} ; \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (15)$$

Lokasyonlar baz alınarak “ağırlıklı talep vektörü” oluşturulur,

$$X_i = \begin{bmatrix} x_1 l_1 + x_1 l_2 + \dots + x_1 l_n \\ x_2 l_1 + x_2 l_2 + \dots + x_2 l_n \\ \dots \\ x_m l_1 + x_m l_2 + \dots + x_m l_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix} \quad (16)$$

Ağırlıklı talep vektöründen yararlanarak “lokasyonel ağırlıklı talep vektörü” oluşturulur,

$$X_{ij} L_j = \begin{bmatrix} (x_1 l_1) l_1 + (x_1 l_2) l_2 + \dots + (x_1 l_n) l_n \\ (x_2 l_1) l_1 + (x_2 l_2) l_2 + \dots + (x_2 l_n) l_n \\ \dots \\ (x_m l_1) l_1 + (x_m l_2) l_2 + \dots + (x_m l_n) l_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 l_j \\ x_2 l_j \\ \vdots \\ x_i l_j \end{bmatrix} \quad (17)$$

Modelin “ağırlıklı talep oranı (Weighted Demand Ratio-WDR)”,

$$(WDR) = X_{ij} / X_i = R_i = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}, \quad i=\{1, 2, \dots, m\}, \quad j=\{1, 2, \dots, n\} \quad (18)$$

ifadesi ile hesaplanır. Tesislerin (WDR) değerleri hesaplandıktan sonra tesislerin sıralanması şöyle olacaktır.

$$F_i = \{f_1, f_2, \dots, f_m\} \quad \text{that is} \quad F_i = \{f_{r1=\min}, f_{r2}, f_{r3}, \dots, f_{r=\max}\} \quad (19)$$

Çizelge 8 ve 9’daki veriler dikkate alınarak, Eşitlik 15, Eşitlik 16 ve Eşitlik 17 hesaplanır, her işlemin hacimlerine göre ağırlıkları bulunur ve Eşitlik 18 uygulanarak Eşitlik 19 ‘a göre tesislerin sırası tanımlanır. $(WDR)_A = W_{ij} / X_i = [(1) (3) + (2) (5) + (3) (4) + (4) (4) + (5) (2) + (6) (3)] / 21 = 3.285$, $(WDR)_B = [(1) (4) + (2) (3) + (3) (5) + (4) (3) + (5) (0) + (6) (5)] / 20 = 3.350$, $(WDR)_C = 2.904$, $(WDR)_D = 3.500$, $(WDR)_E = 4.000$, $(WDR)_F = 5.250$ bulunur. Sıralama en küçük (WDR) ile başlayarak en büyük (WDR) ile bitirilir. Sonuç olarak tesis sıralama kümesi $F = \{C, A, B, D, E, F\}$ şeklinde olacaktır.

9. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMA İÇİN GEREKSİNİMLER

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.

ALDEP ve CORELAP bilgisayar destekli kalitatif (niteliksel) tesis düzenleme algoritmaları, nitel ve kurucu (construction) özellikli sezgisel (heuristic) algoritmalarıdır. Burada sunulan ilk algoritma “çok amaçlı ya da çok değişkenli olup hem kantitatif hem de kalitatif verileri kullanan iyileştirici (improvement) özellikli bir algoritmadır”. İkinci algoritma ise “tamamen kantitatif verileri kullanan, iyileştirici özellikli analitik bir algoritmadır”. Bu nedenle bu çalışmada sunulan her iki algoritma da, ALDEP (Automated Layout Design Program) ve CORELAP (Computerized Relationship Layout Planning) algoritmalarından teorik ve pratik açıdan farklıdır.

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.

Sunulan çalışmada ele alınan modelin; kullanılan veri tabanı, değerlendirme ve çözüm açısından oldukça güçlü bir yöntem olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada kullanılan model ya da yaklaşım, bundan sonraki çalışmalar için bir temel oluşturacaktır. Sözkonusu çalışmada kullanılan değişkenlere ilave olarak tesis içinde taşınan materyalin; şekil, kırılgenlik, temizlik ve yoğunluk gibi faktörlerinde bulanıklaştırılarak birer değişken şeklinde modele eklenerek yeni bir düzenleme modeli ve çözüm yöntemi geliştirilmeye çalışılacaktır.

KAYNAKLAR

- Apple J.M. (1977): "Plant Layout and Materials Handling", John Wiley and Sons, Inc., N.Y.
- Armour G.C., Buffa E.S., Vollmann T.E. (1964): "Allocating Facilities with CRAFT", Harvard Business Review, V.42, pp. 136-159.
- Dubois D., Prade H. (1980): "Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications", Academic Press, N.Y.
- Dweiri F., Meier F.A. (1996): "Application of Fuzzy Decision-Making in Facilities Layout Planning", I. J. of Pro. Res., V.34, N. 11, pp. 3207-3225.
- Evans G. W., Wilhelm M.R., Karwowski W. (1987): "A Layout Design Heuristic Employing the Theory of Fuzzy Sets", I. J. of Pro. Res., V.25, N. 10, pp. 1431-1450.
- Grobelny J. (1987a): "The Fuzzy Approach to Facility Layout Problems", Fuzzy Sets and Systems, V.23, pp. 175-190.
- Grobelny J. (1987b): "On One Possible Fuzzy Approach to Facility Layout Problems", I.J. of Pro. Res., V.25, N. 8, pp. 1123-1141.
- Grobelny J. (1988): "The Linguistic Pattern Method for A Work Station Layout Problems", I.J. of Pro. Res., V.26, pp. 1779-1798.
- Karwowski W., Ewans G.W. (1986): "Fuzzy Concepts in Production Management Research: A Review", I. J. of Pro. Res., V.24, N. 1, pp. 129-147.
- Kaufmann A. (1975): "Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets", V.1, Academic Press, N.Y.
- Kickert W.J.M. (1978): "Fuzzy Theories on Decision Making", Martinus Nijhoff, Leiden, Holland.
- Klir G.J., Folger T.A. (1988): "Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information", Prentice-Hall, Inc..
- Lee R.C., Moore J.M. (1967): "CORELAP-Computerized Relationship Layout Planning", J. of Industrial Eng., V.18, pp. 1994-2000.
- Meier W., Weber R., Zimmermann H.J. (1994): "Fuzzy Data Analysis, Methods And Industrial Applications", Fuzzy Sets and Systems, V.61, pp. 19-28.
- Mizumoto M., Fukami S., Tanaka K. (1979): "Some Methods of Fuzzy Reasoning", Advances in Fuzzy Set Theory and Applications Conf., Gupta, M.M. Ragade, R.K. Yager, R.R., eds.(Amsterdam: North-Holland), pp. 117-136.
- Muther R. (1961): "Systematic Layout Planning", Industrial Education Ins., Boston, Massac.
- Muther R. (1973): "Systematic Layout Planning", Cahners Books, Boston, MA.
- Okuda T., Tanaka H., Asai K. (1978): "A Formulation of Fuzzy Decision Problems with Fuzzy Information Using Probability Measures of Fuzzy Events", Information and Control, pp. 38-135.
- Raoot A.D., Rakshit A. (1991): "A Fuzzy Approach to Facilities Layout Planning", I. J. of Pro. Res., V.29, N. 4, pp. 835-857.
- Raoot A.D., Rakshit A. (1993): "The Linguistic Pattern Approach for Multiple Criteria Facility Layout Problems", I. J. of Pro. Res., V.31, pp. 203-222.
- Seehof J.M., Evans W.O. (1967): "ALDEP-Automated Layout Design Program", J. of Industrial Eng., V.18, pp. 690-695.
- Singh N., Mohanty B.K. (1991): "A Fuzzy Approach to Multi-Objective Routine Problem with Application to Process Planning in Manufacturing Systems", I.J. of Pro. Res., V.29, N.6, pp. 1161-1170.
- Tompkins J.A., White J.A. (1984): "Facilities Planning", John Wiley and Sons, Inc., N.Y.
- Wilhelm M.R., Karwowski W., Ewans G.W. (1987): "A Fuzzy Set Approach to Layout Analysis", I. J. of Pro. Res., V. 25, pp. 1431-1450.
- Zadeh L.A. (1965): "Fuzzy Sets, Information and Control", V.8, pp. 338-353.

- Zadeh L.A. (1968): "Probability Measures of Fuzzy Events", J. of Math. Analysis and Applications, V.23, pp. 421-427.
- Zadeh L.A. (1973): "Outline of A New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes", IEEE Transactions on Systems, Man Cybernetics, SMC-3, pp. 28-44.
- Zadeh L.A. (1975): "The Concept of Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning-I", Information Science, V.8, pp. 199-249.
- Zadeh L.A., Fu K.S., Tanaka K., Shimura M. (1975): "Fuzzy Sets and their Applications to Cognitive and Decision Processes", Academic Press.
- Zadeh L.A. (1991): "Fuzzy Logic, Principles, Applications, and Perspectives", University of Oklahoma, Norman OK.
- Zhang H.C., Huang S.H. (1994): "A Fuzzy Approach to Process Plan Selection", I.J. of Pro. Res., V.32, N. 6, pp. 1265-1279.
- Zimmermann H.J. (1991): "Fuzzy Set Theory and its Applications", 2nd ed., Kluwer Academic Publishers, Boston.