

## HAVA SAVUNMA SEKTÖRÜ TEZGAH YATIRIM PROJELERİNİN BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Hv.Müh.Yzb. Sezgin KAPLAN\*

Yrd.Doç.Dr. Feyzan ARIKAN

HHO K.ığı Endüstri Mühendisliği Bölümü  
skaplan@hho.edu.tr

Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü  
farikan@gazi.edu.tr

*Geliş Tarihi: 25 Temmuz 2011, Kabul Tarihi: 24 Ocak 2012*

### ÖZET

*Bu çalışmada, hava savunmasında kullanılan askerî sistemlerin bakım ve onarımı konusunda hizmet veren Hava İkmal Bakım Merkezlerinin (HİBM) tezgah yatırım proje tekliflerinin önceliklendirilmesi için bir değerlendirme modeli geliştirilmiştir. Çok kriterli değerlendirmede, ikili karşılaştırma yargılarındaki sözel belirsizliği daha iyi ifade etmek amacıyla, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (Bulanık AHP) tekniklerinden biri olan Chang'ın Mertebe Analiz Yöntemi[3] kullanılmıştır. Proje alternatifleri, projenin hava lojistik sisteme potansiyel katkısı, projenin ekonomikliği, projenin gerçekleşmesinde karşılaşılan riskler ve tedarik edilecek tezgahların teknolojisi olarak dört ana kriter kapsamında toplam 15 adet alt kriter üzerinden değerlendirilmiştir. Yöntemin aritmetik işlemlerine girdi niteliğindeki ikili karşılaştırma yargıları, konusunda uzman personele yapılan anketler yoluyla elde edilmiştir. Bu makalede, bulanık ağırlıklar hesaplanırken diğer Chang yöntemi uygulamalarından farklı olarak geometrik ortalama kullanılmış ve kriterler-alternatifler için ayrı ayrı olmak üzere iki bulanık karşılaştırma derecelendirmesinden faydalanılmıştır.*

*Anahtar Kelimeler: Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi, Mertebe Analiz Yöntemi, Tezgah Yatırım, Proje Değerlendirme.*

### EVALUATION OF EQUIPMENT INVESTMENT PROJECTS IN AIR DEFENCE SECTOR BY FUZZY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

### ABSTRACT

*In this study, an evaluation model was developed to prioritize the investment projects of the Air Supply and Maintenance Centers. These equipment procurement projects are requested for serving in repair and maintenance for the air force military systems. In order to state accurately the linguistic uncertainty in the pairwise comparison judgements of the alternatives, the Chang's Extent Analysis Method[3] which is one of the Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Fuzzy AHP) techniques, has been used as a prioritization method. The project alternatives have been compared with each other in terms of totally fifteen sub-criteria which were hierarchically related to the four main criteria: potential contribution of the project to the air force logistic system, economics of the project, risks through the project and technological contribution of the equipment. The candidate projects were compared by qualified experts' through the queries. Differently from the other Chang's method implementations, the geometric average technique was performed to calculate the fuzzy weights, and also two different fuzzy comparison scales were used in this paper.*

*Keywords: Fuzzy Analytic Hierarchy Process, Extent Analysis Method, Equipment Investment, Project Evaluation.*

\* Sorumlu Yazar

## 1. GİRİŞ

Günümüzde yönetim ve karar sürecini etkileyen faktörlerin artması ve daha karmaşık hale gelmesiyle, yöneticiler, sorunlarına çözüm bulmak amacıyla farklı teknolojiler, sistemler, politikalar ve stratejiler arasından bir tercih yapmak zorunda kalmaktadırlar. Sınırlı kaynakların, en fazla faydayı sağlayacak şekilde kullanılabilmesi için ihtiyaçların doğru bir şekilde tespit edilip önceliklendirilmesi, karar verme kavramı içinde değerlendirilmektedir.

Bu kapsamda farklı altyapı, modernizasyon, idame-işletme, ARGE vb. yatırım projelerine kaynak tahsisi amacıyla önerilen projelerin değerlendirilmesi, önceliklendirme problemi olarak ele alınabilmektedir. Başarılı bir sonuç için, proje alternatiflerinin iyi bir planlama ve strateji değerlendirilmesi yapılması gerekmektedir. Yatırım projesinin değerlendirilmesi, projenin teknik, mali ve ekonomik yönlerinin tutarlılığının ve sağlamlığının saptanması amacıyla yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Özellikle sosyal, çevresel, yapısal ve politik gibi somut olmayan faktörlerin göz önüne alındığı ve kısıtlı bütçenin en iyi şekilde kullanılmasının zorunlu olduğu kamu hizmet sektöründe ihtiyaçların önceliklendirilmesi problemiyle sık olarak karşılaşılmaktadır.

Kamu kurumları içinde önemli bir yere sahip Hava Kuvvetleri, değişimlere ve teknolojik gelişmelere paralel olarak sürekli yenilenme ilkesini esas alarak, kamu adına savunma mekanizmasını destekleyecek kuvvet yapısını oluşturmak, oluşturulan kuvveti sürekli ve ekonomik olarak harbe hazır durumda bulundurmaya zorundadır. Bu amaç kapsamında, Hava İkmal Bakım Merkezleri (HİBM), Hava Kuvvetlerinin lojistik ihtiyaçlarının giderilmesi için vazgeçilmez bir konumda bulunmaktadır. Bu lojistik merkezlerin geleceğe yönelik üretim projelerinin nasıl gerçekleştirileceğinin ve tahsis edilecek kaynakların planlanması, lojistik sistem için önemli süreçlerden bir tanesidir. İçinde bulunulan karar probleminin geleceğe yönelik olması, karmaşıklık ve belirsizlik içermesi, zaman ve maliyet gerektirmesi ve çoklu kriter şartlarına sahip olması nedenleriyle, rasyonel bir şekilde karar verilebilmesi amacıyla bilimsel karar verme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, gerçek hayatta karşılaşılan bir karar verme problemi incelenmiştir. Hava İkmal Bakım Merkezlerinin On Yıllık Tedarik Programı (OYTEP) kapsamında yurt içi veya yurt dışı firmalardan tedarik edilmeleri için üst komutanlıklarından belirli bir yıl için talep ettikleri tezgah yatırım projeleri değerlendirilmiş ve önceliklendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, literatürde konuyla ilgili yapılmış çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde, değerlendirmede kullanılan tekniğin teorik altyapısı sunulmuştur. Sonraki bölümde ise, problem tanımlanmış ve tezgah yatırım projelerinin değerlendirilmesi modeline yer verilmiştir. Son bölümde ise, yapılan çalışmanın katkıları ve sonuçları verilerek genel bir değerlendirme yapılmıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1. Bulanık AHP Çalışmaları

Bulanık AHP konusunda ilk teorik çalışma, üçgensel bulanık ağırlıkları üçgensel bir bulanık karşılaştırma matrisinden elde etmek amacıyla bulanık logaritmik en küçük kareler tekniğini öneren Van Laarhoven ve Pedrycz [1] tarafından yapılmıştır. Buckley [2], bulanık ağırlıkları hesaplamak için geometrik ortalama tekniğini kullanmış ve dörtgensel üyelik fonksiyonlarına sahip karşılaştırma oranlarının bulanık önceliklerini belirlemiştir.

Chang [3], bulanık AHP'nin ikili karşılaştırma skalası için üçgensel bulanık sayıların kullanılması ve ikili karşılaştırmaların sentetik mertebe değerleri için mertebe analiz tekniğinin kullanılmasını içeren yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur.

Wang vd. [4], modifiye edilmiş bir bulanık logaritmik en küçük kareler tekniği; Xu[5], bir bulanık en küçük kareler öncelik tekniği; Mikhailov [6], aynı zamanda bulanık karşılaştırma matrislerinden net ağırlıklar da elde edebilen bir bulanık tercih programlama tekniği kullanmışlardır.

Cheng [7] çalışmasındaki aritmetik işlemlerde, her bir sistemin her bir kritere göre tatmin dereceleri tamsayılarla sıralanmakta ve bu sıralama skorlarının toplamı sistemin tatmin derecesini üçgensel bulanık sayılarıyla ifade edilmektedir.

Lee vd. [8], AHP'nin temelindeki ana fikirlere dayanarak, karşılaştırma aralığı kavramını ortaya koymakta ve global tutarlılığı sağlamak ve karşılaştırma sürecinin bulanıklığını göz önüne almak için stokastik optimizasyona dayalı bir metodoloji önermektedirler.

Leung ve Cao [9], bulanık AHP'deki alternatifler için tolerans sapmasını dikkate alan bir bulanık tutarlılık tanımı önermişlerdir. Tolerans sapmalarına izin veren göreceli önemlerin bulanık oranları, yerel önceliklerin üyelik derecelerinde kısıtlar olarak formüle edilmektedir.

Kuo vd. [10], gri ilişki ve ikili karşılaştırma kavramlarını birleştirerek yeni bir bulanık AHP

tekniki geliştirmişlerdir. Gu ve Zhu'nun çalışmalarında [11], bir bulanık simetri matrisi, rasgele değişkenlerin kovaryans tanımına başvurulması yoluyla, bulanık karar verme matrisini temel alan nitelik değerlendirme uzayı olarak yapılandırılmıştır. Bulanık AHP, böyle bulanık simetri matrisine ait yaklaşık bulanık özdeğer vektörünün kullanılması ile geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, bulanık AHP teknikleri içinden Chang [3]'ün Mertebe Analiz Tekniği kullanılmıştır. Farklı olarak bulanık ağırlıkları hesaplamak için geometrik ortalama tekniği ve kriterler ile alternatifler için iki ayrı bulanık karşılaştırma derecelendirmesi kullanılmıştır.

## 2.2. Mertebe Analiz Tekniği Uygulamaları

Mertebe Analiz Tekniği, kullanım kolaylığı ve işlem adımlarının deterministik AHP tekniğine yakınlığı nedeniyle yaygın olarak kullanılmıştır. Kwong ve Bai [12], müşteri talepleri için önem ağırlıklarını tespit etmek amacıyla mertebe analiz tekniğini kullanmışlardır.

Kahraman vd. [13], tesis yeri yerleşim problemlerinin çözümü için nitel ve nicel kriterler kullanarak dört farklı bulanık çok kriterli grup karar verme yaklaşımını birbiriyle kıyaslamışlardır. Bunun yanında, Kahraman vd. [14], müşteri istek ve beklentileri doğrultusunda İstanbul'da faaliyet gösteren üç adet gıda firması arasında bir belirleme yapmışlardır. Ayrıca, Bozdağ vd. [15], somut ve somut olmayan faktörleri hesaba katarak en iyi bilgisayar destekli imalat sistemini seçmek için mertebe analiz tekniğini kullanmışlardır. Büyüközkan vd. [16], yazılım geliştirme stratejisinin seçimi için bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımını sunmuşlardır.

Tang ve Beynon [17], bir araç kiralama firması için satın alınacak otomobil çeşidinin seçimi amacıyla problemin doğası gereği içerdiği belirsizliği karar sürecine dahil etmek amacıyla bulanık AHP kullanılmıştır. Bozbura vd. [18, 19], Türkiye için, sırasıyla kurumsal ve insan sermaye ölçüm göstergelerinin belirsizlik altında önceliklendirme kalitesini geliştirmek amacıyla bulanık AHP kullanmışlardır. Akman ve Aklan [20], Kocaeli'de otomotiv yan sanayiinde faaliyet gösteren bir firmada tedarikçilerin performansının değerlendirilmesi problemini incelemiştir.

Chan ve Kumar [21], bir üretici firma için en iyi global tedarikçinin tespit edilmesinde mertebe analiz tekniği kullanılmıştır. Erensal vd. [22], teknoloji yönetimi açısından rekabetçi avantajlar, rekabetçi öncelikler ve bir firmanın rekabetçiliği

arasındaki bağlantının anlaşılması amacıyla bulanık AHP modeli oluşturmuşlardır.

## 3. KULLANILAN YÖNTEM

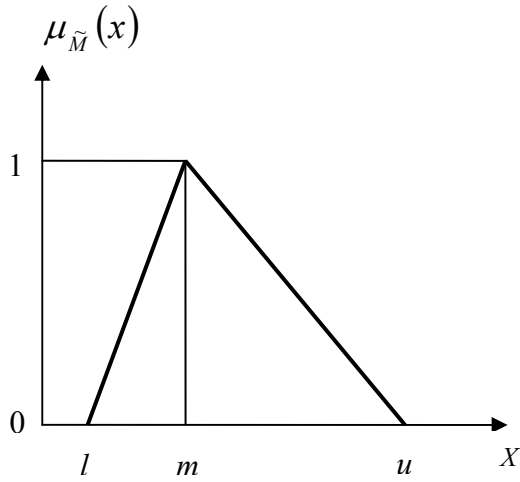
Bulanık ilişki ve ikili karşılaştırma kavramlarının birleştirilmesiyle *Bulanık AHP* ortaya çıkmıştır. Bulanık dilsel yaklaşım, karar vericilerin iyimser/kötümser tavırlarını hesaba katabildiğinden, geleneksel AHP tekniği yerine önerilmektedir. Bulanık AHP tekniğinde, bütün alternatiflerin öznel ve nesnel kriterlere göre değerlendirme değerlerini göstermek amacıyla, genellikle bulanık sayılar ile karakterize edilen sözlü ifadeler kullanılmaktadır. Net olmayan nicel kriter değerlerinin net olmayan değerlendirmeleri, yine bu bulanık sayılar ile ifade edilebilmektedir [10].

Bulanık AHP, AHP'de olduğu gibi, tercih oranlarından daha sonra birleşerek global öncelikleri oluşturacak yerel önceliklerin elde edilmesine dayanmaktadır [9]. Bulanık aritmetiğin kullanılması ile Bulanık AHP tekniği, her bir kriter için elde edilen skorları birleştirmek için kullanılan bir ağırlık vektörleri serisi hesaplamaktadır. Bu teknik, buna uygun bir skorlar kümesini hesaplamakta ve bu bulanık skorların ortalaması olan bir adet bütünleşik skor elde etmektedir [14]. Karar vericilerin algıya dayanan yargıları söz konusu olduğunda, bulanık yaklaşım daha doğru bir karar verme süreci tanımlayabilmektedir. Bulanık ikili karşılaştırmalar, karar vericinin belirsiz yargılarını daha rasyonel ifade etmektedir [10].

### 3.1. Üçgen bulanık sayılar

Bulanık sayılarda üyelik fonksiyonu farklı şekillerde ifade edilebilmektedir. Hesaplama açısından getirdiği kolaylıklar göz önüne alınarak üyelik fonksiyonunun seçilmesi, bulanık küme teorisinin esnekliğini yansıtmada öne çıkan bir durumdur [23]. En çok kullanılan bulanık sayı tipleri üçgensel ve yamuk bulanık sayılardır. Bu çalışmada ise basitliği nedeniyle üçgensel bulanık sayılar üzerinde durulacaktır.

Örnek bir üçgensel bulanık sayı  $\tilde{M}$ , Şekil 1'de gösterilmiştir. Bir bulanık üçgensel sayı,  $(l/m, m/u)$  veya  $(l, m, u)$  şeklinde gösterilebilir.  $l, m, u$  ifadeleri sırasıyla bulanık bir olayda en düşük olabilirliği, net değeri ve en yüksek olabilirliği ifade etmektedir. Bir bulanık sayı aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.



Şekil 1. Üçgensel bulanık sayı,  $\tilde{M}$ .

Bir üçgensel bulanık sayının sağ ve sol üyelik derecesi değerlerine göre doğrusal gösterimi şu şekildedir:

$$\mu(x | \tilde{M}) = \begin{cases} 0 & x < l, \\ (x-l)/(m-l) & l \leq x \leq m, \\ (u-x)/(u-m) & m \leq x \leq u, \\ 0 & x > u, \end{cases} \quad (1)$$

Çalışmada uzman görüşleri, üçgensel bulanık sayılarla ifade edilen dilsel terimlerle tanımlanmıştır. Örneğin, tezgah yatırım projelerinin ikili karşılaştırmaları yapılırken, belirli bir kriter için projelerin önem dereceleri dilsel değişken olarak alınmıştır. Bu dilsel değişken için, önemli, daha önemli, eşit gibi ifadeler kullanılmıştır. Bu sözel ifadelerin karşılığında ise üçgensel bulanık sayılar tanımlanmıştır.

Üçgensel bulanık sayılarla farklı işlemler gerçekleştirilebilmektedir. İki üçgensel bulanık sayı olarak  $\tilde{M}_1$  ve  $\tilde{M}_2$ ,  $\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$  ve  $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$  şeklinde tanımlanmış olsun.

Üçgensel sayılarla gerçekleştirilen işlemler aşağıda verilmiştir [28]:

*Toplama*

$$\tilde{M}_1 (+) \tilde{M}_2 = (l_1, m_1, u_1) (+) (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2).$$

*Çarpma*

$$\tilde{M}_1 (\cdot) \tilde{M}_2 = (l_1, m_1, u_1) (\cdot) (l_2, m_2, u_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2),$$

*Negatif*

$$-\tilde{M}_1 = (-u_1, -m_1, -l_1).$$

*Bir reel sayı K ile çarpılırsa;*

$$K (\cdot) \tilde{M}_1 = (K, K, K) (\cdot) (l_1, m_1, u_1) = (Kl_1, Km_1, Ku_1).$$

*Tersi*

$$(\tilde{M}_1)^{-1} = (l_1, m_1, u_1)^{-1} \approx (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1) \text{ ile belirlenmektedir.}$$

### 3.2. Bulanık AHP Mertebe Analiz Tekniği

Mevcut bulanık AHP yaklaşımlarının bir çoğu, karmaşık hesaplamalar talep etmekte ve az sayıda alternatif ve kritere sahip problemlerin çözümünde kullanılabilmektedir. Çok sayıda kriter ve alternatif bulunduğu bu çalışmada, özellikle, diğer bulanık AHP yaklaşımlarına göre adımları nispeten daha kolay, eksik ikili karşılaştırma değerlendirmelerine izin veren, klasik AHP tekniğine en çok benzerliği olan ve literatürde daha çok uygulaması yer alan Chang [3]'ün Mertebe Analiz Tekniği kullanılmıştır. Bu teknik, bir hedefin amaç doğrultusunda tatmin derecesini hesaba katmaktadır. Teknikteki mertebe, bulanık bir sayı ile sayısallaştırılmaktadır. Mertebe analizindeki her hedefe ait bulanık değerler ile bir sentetik derece değeri elde edilebilmektedir.

Chang'ın yöntemine göre, her bir ölçüt ve her bir hedef için mertebe analizi uygulanır.

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  bir ölçüt kümesi ve

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$  bir hedef kümesi olsun.

Böylece her bir ölçüt için  $m$  tane mertebe analiz değeri elde edilir. Bu değerler şu şekilde gösterilir.

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Burada belirtilen  $M_{g_i}^j$ , herhangi bir  $j$ 'ninci hedef ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) değerlendirilirken  $i$ 'ninci ölçütün ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) her bir hedef için mertebe analiz ( $g_i$ ) değeri olarak tanımlanmakta ve üçgensel bulanık sayı olarak ifade edilmektedir. Chang'ın mertebe analizinin adımları şu şekilde sıralanabilir:

Adım 1:

Ölçüt  $i$ 'ye göre bulanık sentetik mertebenin değeri şu şekilde tanımlanır :

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (3)$$

Buradaki  $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$  değerini elde etmek için  $m$  tane mertebe analiz değerine bulanık toplama işlemi uygulanır.

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left( \sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left( \sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (5)$$

Daha sonra vektörün tersi şu şekilde elde edilir :

$$\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (6)$$

Adım 2:

$M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ 'nin olabilirlik derecesi şu şekilde tanımlanır :

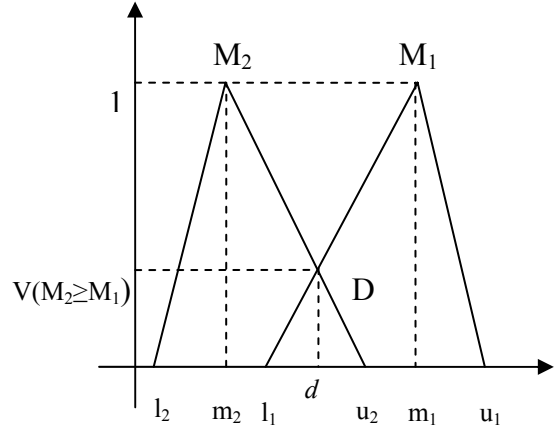
$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min \mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y)] \quad (7)$$

Bu tanımlama denklem (8) ile de ifade edilebilir:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) \quad (8)$$

$$= \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & d \text{ durumda} \end{cases}$$

Diğer bir deyişle,  $V(M_2 \geq M_1)$  olabilirlik değeri, Şekil 2'de gösterildiği gibi  $\mu_{M_1}$  ve  $\mu_{M_2}$  arasındaki en yüksek kesişim noktasının (D noktası) yüksekliğini ifade etmektedir.  $d$  değeri ise, D noktasının ordinatı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2. Bulanık  $M_2$  sayısının  $M_1$  sayısından büyük olabilirlik derecesi.

$M_1$  ve  $M_2$ 'yi kıyaslayabilmek için  $V(M_2 \geq M_1)$  ve  $V(M_1 \geq M_2)$  değerlerinin hesaplanması gerekir.

Adım 3: Bir konveks bulanık sayının  $k$  tane konveks bulanık sayıdan  $M_i, i=1,2,\dots,k$  büyük olmasının olabilirlik derecesi şu şekilde tanımlanır.

$$\begin{aligned} & V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) \\ &= V\left[ (M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_k) \right] \\ &= \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, \dots, k \end{aligned} \quad (9)$$

$k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$  için aşağıdaki ifadenin doğru olduğu varsayılırsa;

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (10)$$

Ağırlık vektörü aşağıdaki gibidir:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (11)$$

Burada  $A_i (i=1,2,\dots,n)$   $n$  elemandan oluşmaktadır.

*Adım 4:* Ağırlık vektörünün her bir elemanı, denklem (12)'de olduğu gibi genel toplama bölünerek, sonuçta (0,1) arasında ve toplamı 1 olacak şekilde normalize edilir.

$$d(A_i) = \frac{d'(A_i)}{\sum_{j=1}^n d'(A_j)} \quad (12)$$

Normalize edilmiş ağırlık vektörü, aşağıdaki gibidir. Burada  $W$ , bulanık olmayan bir sayıdır.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (13)$$

Chang'ın Mertebe Analiz tekniğinde son olarak, her bir karşılaştırma tablosu için elde edilen ağırlıklar AHP tekniğinde olduğu gibi hiyerarşik olarak sentezlenmekte ve nihai alternatif ağırlıkları bulunmaktadır.

Chang yönteminin, diğer Bulanık AHP tekniklerine göre hesaplama ihtiyacının nispeten az olmasına rağmen, sadece üçgensel bulanık sayılarla kullanılabilmesi yöntemin uygulanma alanını kısıtlamaktadır. Wang vd. [23], mertebe analiz tekniği ile kriterler veya alternatifler için hesaplanan değerlerin görece önem derecesi olarak kullanılmasının uygun olmayacağını savunmuşlardır. Ayrıca önem ağırlıklarına sıfır değerler atanabilmesi ile bazı kriterlerin göz ardı edilmesine ve karşılaştırma bilgilerinin kullanılamamasına neden olmaktadır.

#### 4. MODELLEME VE ÇÖZÜM

Bu çalışmada belirtilen yatırım projeleri değerlendirme süreci bazı özelliklere sahip bulunmaktadır. Öncelikle, söz konusu projeler, doğası gereği stratejik ve uzun vadeli yatırımlar olduğundan sadece mali tatmin yaklaşımları yeterli olmamaktadır. Proje ile doğrudan veya dolaylı olarak ilgili somut olmayan ve sayılamayan sosyal fayda ve mahzurlarla ilgilenilmesi gerekmektedir. Üst düzeyde yer alan karar vericilerin öznel görüşleriyle somut olmayan faktörlerin tanımlanması, ölçülmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, hava lojistik sisteminde karşılaşılan bir gerçek hayat karar verme problemi olarak, *OYTEP Tezgah/Teçhizat Yatırım Proje Tekliflerinin Değerlendirilmesi Problemi* incelenmiştir. Söz

konusu dönem için HİBM'ler tarafından değişik yıllarda ihtiyaç duyulan tezgah/teçhizat yatırım projeleri bulunmaktadır. Bu projeler arasında, önceliklendirme (sıralama problemi) amaçlı olarak, farklı kriterler altında bir değerlendirme yapılması gerekmektedir.

#### 4.1. Modelleme

Üç farklı HİBM tarafından belirli bir yıl için verilen toplam 6 adet tezgah yatırım proje teklifleri Tablo 1'de sıralanmıştır.

Problemin hedefi, OYTEP karar verme süreci için teklif edilebilme şartlarını en fazla taşıyan, Hava Kuvvetleri lojistik sisteme en fazla potansiyel katkı sağlayan, en ekonomik, en az risk taşıyan ve en uygun teknolojik niteliklere sahip olan tezgah yatırım projelerini önceliklendirmek olarak belirlenmiştir.

**Tablo 1.** Yıllık tezgah yatırım teklifleri.

S/N	PROJE ADI	YAKLAŞIK FİYATI (Para Birimi)	İHTİYAÇ SAHİBİ
1	Tezgah 1	2 000	Fabrika 1
2	Tezgah 2	200	Fabrika 1
3	Tezgah 3	650	Fabrika 2
4	Tezgah 4	250	Fabrika 2
5	Tezgah 5	300	Fabrika 3
6	Tezgah 6	380	Fabrika 3
TOPLAM		3 780	

Bu çalışmada üzerinde durulan tezgah yatırım projeleri değerlendirmesinin en önemli safhalarından bir tanesi, değerlendirmede kullanılacak kriterlerin belirlenmesi olmuştur. Kriter kümesi dört adet, *potansiyel katkı, ekonomiklik, risk ve teknoloji* ana kriterleri ile 15 adet alt kriterden oluşmaktadır. Kriterler ve hedeflerin hiyerarşik yapısı Tablo 2 ile gösterilmiştir.

Değerlendirme kriterlerinden bazıları (ekonomik ömür, geri ödeme süresi, kullanım yoğunluk, kullanılacağı atölyenin maliyet etkinliği, teknolojik ömür) için net cevaplar alınamamasına rağmen

**Tablo 2.** Tezgaah yatırım projeleri değerlendirme problemi hiyerarşik yapısı.

HEDEF	ANA KRİTER	ALT KRİTER
TEZGAH YATIRIM PROJELERİ DEĞERLENDİRME	POTANSİYEL KATKI	Harekat Katkı
		Üretim Etkinlik Katkı
		Rekabet Gücü Katkı
		Dış Bağımlılığı Azaltmaya Katkı
	EKONOMİKLİK	Ekonomik Ömür
		Geri Ödeme Süresi
		Kullanım Yoğunluk
		Atölyenin Maliyet Etkinliği
	RİSK	Tedarikten Önce İhtiyacın Ortadan Kalkma Riski
		Zamanında Tedarik Edememe Riski
		İdame Ettirebilirlik
	TEKNOLOJİ	Teknoloji Transferi Sağlama Durumu
		Teknolojik Ömür
		Çok Yönlülük
		Geliştirilebilirlik

genel itibarıyla somut değerlendirmeler yapılabilmektedir. Ancak geriye kalan, özellikle potansiyel katkı ve risk ana kriterleri kapsamındaki alt kriterler için sayısal somut cevaplar almak ve ikili karşılaştırmaları net bir şekilde yapmak çok zor olmaktadır. Tezgaah değerlendirmesinde

bulunan farklı statü, ihtisas ve görevlere sahip kişileri bilgilendirmek amacıyla her bir tezgaah için tanıtıcı bilgi formları düzenlenmiştir.

Alternatif kümesi altı farklı tezgaah alternatifinden oluşmaktadır.

$A: \{Tezgaah1, Tezgaah2, Tezgaah3, Tezgaah4, Tezgaah5, Tezgaah6\}$

Kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla yapılan ikili kriter karşılaştırma anketleri ve alternatif performans değerlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan ikili alternatif karşılaştırma anketleri altı uzman personele uygulanmıştır.

Kriterlerdeki karşılaştırma sınırları, alternatif karşılaştırmalarına göre nispeten daha dar olduğu için farklı bulanık karşılaştırma dereceleri (Tablo 3 ve Tablo 4) kullanılmıştır. Her iki derecelendirme farklı çalışmalarda kullanılmıştır [18, 19, 20, 24]. Zhu vd. [25], orta değerden sapma değerinin ( $\delta$ ) 1/2 ile 1 arasında belirlenmesinin daha uygun olduğunu savunmuşlardır. Bu çalışmada ise,  $\delta$  değeri kriter karşılaştırmalarında 1/2, alternatif karşılaştırmaları için 1 alınmıştır.

**Tablo 3.** Kriterler için bulanık karşılaştırma dereceleri.

DİLSEL ÖLÇEK	ÜÇGENSEL BULANIK ÖLÇEK	ÜÇGENSEL KARŞIT BULANIK ÖLÇEK
EŞİT	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
EŞİTE YAKIN	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
BİRAZ DAHA ÖNEMLİ	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
ÇOK DAHA ÖNEMLİ	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
PEK ÇOK DAHA ÖNEMLİ	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
TAMAMEN ÖNEMLİ	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

**Tablo 4.** Alternatifler için bulanık karşılaştırma dereceleri.

DİLSEL ÖLÇEK	ÜÇGENSEL BULANIK ÖLÇEK	ÜÇGENSEL KARŞIT BULANIK ÖLÇEK
EŞİT	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
BİRAZ DAHA ÖNEMLİ	(2, 3, 4)	(1/4, 1/3, 1/2)
KUVVETLİ ÖNEMLİ	(4, 5, 6)	(1/6, 1/5, 1/4)
ÇOK KUVVETLİ ÖNEMLİ	(6, 7, 8)	(1/8, 1/7, 1/6)
TAMAMEN ÖNEMLİ	(8, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/8)
ARA DEĞERLER	(1,2,3); (3,4,5); (5,6,7); (7,8,9)	(1/3, 1/2, 1); (1/5, 1/4, 1/3); (1/7, 1/6, 1/5); (1/9, 1/8, 1/7)

program yardımı ile gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Tezgaç yatırım projeleri alternatiflerinin nihai ağırlıklarının tespit edilebilmesi için hesaplamalar, AHP'ye benzer şekilde hiyerarşik yapıda gerçekleştirilmiştir. Öncelikle ana kriter önem ağırlıkları, ikinci olarak ana kriter için alt kriter önem ağırlıkları, üçüncü olarak her bir kriter için alternatif performans değerleri ve son olarak ağırlıkların sentezlenmesi ile nihai alternatif ağırlıkları hesaplanmıştır.

Ana kriter ağırlıklarının bulunması için örnek bir hesaplama yapılmış ve diğerleri için sadece sonuçlar verilmiştir. Ana kriter önem ağırlıklarının bulunması için kullanılacak ikili karşılaştırmalar Tablo 5'de verilmiştir. İkili karşılaştırma tablosuna göre, her bir kriter için sentetik mertebeler (katkı için  $S_K$ , ekonomiklik için  $S_E$ , risk için  $S_R$ , teknoloji için  $S_T$ ) Tablo 6'daki gibi hesaplanmıştır.

**Tablo 6.** Ana kriterler için sentetik mertebeler.

	$l$	$m$	$u$
$S_K$	0,19	0,31	0,48
$S_E$	0,13	0,20	0,33
$S_R$	0,16	0,26	0,41
$S_T$	0,15	0,23	0,37

#### 4.2. Mertebeler analiz yöntemi ile bulanık AHP çözümü

Değerlendirmesine başvuru uzmanlar arasında uzlaşma sağlamak amacıyla, bulanık karşılaştırma değerleri uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmelerin *geometrik ortalaması* alınarak hesap edilmiştir. AHP yönteminde geçerli olan ikili karşılaştırma matrisindeki karşılıklı özelliklerinin Mertebeler Analiz Yönteminde sağlanmasında aritmetik ortalama yeterli olmayabilmektedir [24]. Yöntemin uygulanmasında ihtiyaç duyulan bütün hesaplamalar Microsoft Excel üzerinde yazılan bir

Her ikili sentetik mertebeler için,  $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ 'nin olabilirlik dereceleri  $V(M_2 \geq M_1)$ 'ler Tablo 7'deki gibi hesaplanmıştır.

**Tablo 5.** Ana kriterlerin ikili karşılaştırılması.

	Potansiyel Katkı			Ekonomiklik			Risk			Teknoloji		
Potansiyel Katkı	1	1	1	1,14	1,54	1,92	0,79	1,22	1,62	0,95	1,37	1,76
Ekonomiklik	0,52	0,65	0,87	1	1	1	0,64	0,83	1,18	0,60	0,83	1,26
Risk	0,62	0,82	1,26	0,85	1,20	1,57	1	1	1	0,95	1,18	1,52
Teknoloji	0,57	0,73	1,05	0,79	1,20	1,68	0,66	0,85	1,05	1	1	1



**Tablo 7.** Ana kriterler için ağırlık vektörünün hesaplanması.

$V(S_i \geq S_j)$	$S_K$	$S_E$	$S_R$	$S_T$	$\min V(S_i \geq S_j)$
$S_K$		1,00	1,00	1,00	<b>1,00</b>
$S_E$	0,56		0,75	0,87	<b>0,56</b>
$S_R$	0,79	1,00		1,00	<b>0,79</b>
$S_T$	0,68	1,00	0,94		<b>0,68</b>

Örneğin, potansiyel katkı ve ekonomiklik ana kriterleri için,  $M_1 = S_K = (0,19, 0,31, 0,48)$  ve  $M_2 = S_E = (0,13, 0,20, 0,33)$ ,  $V(S_E \geq S_K)$  değeri,  $m_2 \leq m_1$  ve  $l_1 \leq u_2$  olduğu için,  $(l_1 - u_2) / ((m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)) = (0,19 - 0,33) / (0,20 - 0,33) - (0,31 - 0,19) = 0,56$  olarak bulunmuştur.

Ayrıca, bir konveks sentetik merteye değerinin ( $S_i$ ),  $k$  ( $= 4$ ) tane konveks sentetik merteye değerlerinden ( $S_k$ ) büyük olmasının olabilirlik derecesi  $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ , Tablo 7'de verilmiştir. Örneğin, ekonomiklik ana kriteri için sentetik merteye değerinin ( $S_E = (0,13, 0,20, 0,33)$ ) diğer değerlerinden büyük olma olabilirlik derecesi,

$$d'(A_E) = \min V(S_E \geq S_K) = \min (0,56, 0,75, 0,87) = 0,56 \text{ bulunmuştur.}$$

Bu değerlere göre, ana kriterler için ağırlık vektörü,

$$W' = (d'(A_K), \dots, d'(A_T))^T = (1,00, 0,56, 0,79, 0,68)^T \text{ bulunmuştur.}$$

Normalize edilmiş ağırlık vektörü ise,

$$W = (d(A_K), \dots, d(A_T))^T = (0,33, 0,18, 0,26, 0,22)^T \text{ bulunmuştur.}$$

Sonuçlar Tablo 8 ile özetlenmiştir. Elde edilen nihai ağırlıklara göre, tezgah yatırım projeleri öncelik sıralaması *Tezgah1, Tezgah6, Tezgah3, Tezgah5, Tezgah4 ve Tezgah2* şeklinde olmuştur. Tezgah yatırım projelerinin değerlendirilmesi için *Potansiyel katkı* ( $d(A_K)=0,33$ ) ana kriteri diğerleri arasında en çok önem derecesine sahiptir. Diğer ana kriterlerin önem ağırlıkları ise hemen hemen dengeli bir şekilde dağılmıştır. Merteye Analiz Yönteminin doğal bir sonucu olarak bazı kriter ve alternatifler için sıfır performans değerleri yer aldığı görülmektedir. Ancak yöntemin literatürde [25] eleştirildiği gibi bu sıfır değerler, herhangi bir kriterin çözümde gözardı edilmesine neden olmamıştır. Bunun yanında Tezgah4 ve Tezgah5 ağırlıkları birbirine yakın bulunmuştur. Karar verme süreci için en çok önem derecesine sahip iki *Potansiyel katkı* ana kriteri için alternatiflerin performans değerlerine (Tablo 8) bakıldığında, Tezgah5 projesinin Tezgah4 projesine göre açık bir farklılık göze çarpmaktadır. Diğer taraftan, üçüncü sırada önem ağırlığına sahip *Teknoloji* ana kriterine göre, ters yönde Tezgah4 projesinin Tezgah5 projesine göre açık bir farkı görülmektedir. Diğer *Risk ve Ekonomiklik* kriterleri için performans değerleri arasında çok büyük farklılıklar bulunmamaktadır.

**Tablo 8.** Nihai alternatif ağırlıkları.

	POTANSİYEL KATKI	EKONOMİKLİK	RİSK	TEKNOLOJİ	W
$d(A_i)$	<b>0,33</b>	<b>0,18</b>	<b>0,26</b>	<b>0,22</b>	
<b>TEZGAH1</b>	0,54	0,25	0,34	0,16	<b>0,349</b>
<b>TEZGAH2</b>	0,03	0,26	0,00	0,00	<b>0,057</b>
<b>TEZGAH3</b>	0,01	0,12	0,16	0,35	<b>0,148</b>
<b>TEZGAH4</b>	0,02	0,12	0,11	0,24	<b>0,108</b>
<b>TEZGAH5</b>	0,19	0,09	0,09	0,06	<b>0,115</b>
<b>TEZGAH6</b>	0,22	0,16	0,29	0,20	<b>0,222</b>

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma ile, proje teklifleri için HİBM'ler arasında uzlaşma sağlanarak bir değerlendirme yapılması, kişilere bağımlı kararların yerine nesnel ve bilimsel kararların alınması, farklı konumlarda görev yapan uzman personelin dahil olacağı hızlı bir karar verme süreci gerçekleştirilmiştir. Daha önce detaylı bir şekilde ele alınmamış olan tezgaah yatırım projelerinin değerlendirilmesi, ilk defa bu çalışma ile ele alınmış ve değerlendirmeye etki eden kriterler hiyerarşik bir yapıda modellenmiştir.

Farklı uzmanların yapmış olduğu değerlendirmeler sonucunda uzlaşmış kararlara ulaşabilmek amacıyla her bir uzmanın yargı değerlerinin geometrik ortalaması alınarak tek bir yargı değeri elde edilmiştir. Bunun yanında, kriterlerdeki karşılaştırma sınırları, alternatif karşılaştırmalarına göre nispeten daha dar olduğu için farklı bulanık karşılaştırma dereceleri kullanılmıştır. Böylece değerlendirmeyi yapan uzmanlar daha rasyonel karşılaştırmalara yönlendirilmiştir.

Yapılan çalışmada proje değerlendirme temel alındığı için, Hava Kuvvetlerinin çeşitli süreçlerindeki proje kararlarında kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca, bu çalışmadaki analitik tekniklerin daha sonra Hava Kuvvetleri lojistik sistemi içindeki HİBM'lerin performanslarının değerlendirilmesi ve karşılaştırılması, personel performans değerlendirme, ARGE proje yatırım değerlendirilmesi, tedarikçi seçimi, teknoloji seçimi, inşaat yatırım önceliklendirme gibi bir çok karar verme probleminin çözümünde kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Laarhoven, P.J.M. ve Pedrycz W., (1983) "A fuzzy extension of saaty's priority theory", *Fuzzy Sets and Systems*, 229–241.
- [2] Buckley, J.J., (1985) "Fuzzy hierarchical analysis", *Fuzzy Sets and Systems*, 233–247.
- [3] Chang, D.Y., (1996) "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP", *European Journal of Operational Research*, 95: 649–655.
- [4] Wang Y.M., Elhag, T.M.S. ve Hua, Z., (2006) "A modified fuzzy logarithmic least squares method for fuzzy analytic hierarchy process", *Fuzzy Sets and Systems*, 3055-3071.
- [5] Xu, R., (2000) "Fuzzy least square priority method in the analytic hierarchy process", *Fuzzy Sets and Systems*, 395-404.

- [6] Mikhailov, L., (2003) Deriving priorities from fuzzy pairwise comparison judgements, *Fuzzy Sets and Systems*, 365 -385.
- [7] Cheng, C.H., (1996) "Evaluating naval tactical missile systems by fuzzy ahp based on the grade value of membership function", *European Journal of Operational Research*, 343–350.
- [8] Lee, M., Pham, H. ve Zhang, X., (1999) "A methodology for priority setting with application to software development process", *European Journal of Operational Research*, 118: 375–389.
- [9] Leung, L.C. ve Cao, D., (2000) "On consistency and ranking of alternatives in fuzzy ahp", *European Journal of Operational Research*, 102–113.
- [10] Kuo, M.S., Liang, G.S. ve Huang W.C., (2006) "Extensions of the multicriteria analysis with pairwise comparison under a fuzzy environment", *International Journal of Approximate Reasoning*, 268-285.
- [11] Gu, X. ve Zhu, Q., (2006) "Fuzzy multi-attribute decision-making method based on eigenvector of fuzzy attribute evaluation space", *Decision Support Systems*, 400-410.
- [12] Kwong, C.K. ve Bai, H. (2003) "Determining the importance weights for the customer requirements in qfd using a fuzzy AHP with an extent analysis approach", *IEEE Transactions*, 619-626.
- [13] Kahraman, C., Cebeci, U. ve Ulukan, Z., (2003) "Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP", *Logistics Information Management*, 382-394.
- [14] Kahraman, C., Cebeci, U. ve Ruan, D., (2004) "Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy ahp: the case of Turkey", *International Journal of Production Economics*, 171–184.
- [15] Bozdağ, C. E., Kahraman, C. ve Ruan, D., (2003) "Fuzzy group decision making for selection among computer integrated manufacturing systems", *Computers in Industry*, 13–29.
- [16] Büyüközkan, G., Kahraman, C. ve Ruan, D., (2004) "A fuzzy multi-criteria decision approach for software development strategy selection", *International Journal of General Systems*, 259–280.
- [17] Tang Y.C. ve Beynon M.J., (2005) "Application and development of a fuzzy analytic hierarchy process within a capital investment study", *Journal of Economics and Management*, 207-230.
- [18] Bozbura, F.T. ve Beskese, A., (2007) "Prioritization of organizational capital measurement indicators using fuzzy ahp", *International Journal of Approximate Reasoning*, 44: 124–147.

- [19] Bozbura, F.T., Beskese, A. ve Kahraman, C., (2007) "Prioritization of human capital measurement indicators using fuzzy ahp", *Expert Systems with Applications*, 1-13.
- [20] Akman, G. ve Alkan, A., (2006) "Tedarik zinciri yönetiminde bulanık ahp yöntemi kullanılarak tedarikçilerin performansının ölçülmesi: otomotiv yan sanayiinde bir uygulama", *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 23-46.
- [21] Chan, F.T.S. ve Kumar, N., (2007) "Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended ahp-based approach", *Omega*, 35 (4): 417-431.
- [22] Erensal , Y.C., Öncan, T. ve Demircan, M.L., (2006) "Determining key capabilities in technology management using fuzzy analytic process: a case study of Turkey", *Information Sciences*, 2755-2770.
- [23] Wang, Y.-M., Luo, Y., ve Hua Z., (2008) "On the extent analysis method for fuzzy AHP and its applications", *European Journal of Operational Research*, 186(2), 735-747.

## ÖZGEÇMİŞLER

### Hv.Müh.Yzb. Sezgin KAPLAN

1978 yılında Uşak'ta doğmuştur. 2000 yılı Bilkent Üniversitesi Endüstri Müh.liği Bölümü mezunudur. 2004 yılında Hacettepe Üniversitesi Ekonomi Bölümü yüksek lisans programını, 2007 yılında Gazi Üniversitesi Endüstri Müh.liği bölümü yüksek lisans programını ve 2011 yılında Old Dominion Üniversitesi/ABD mühendislik yönetimi doktora programını tamamlamıştır. Yöneylem araştırması, lojistik planlama ve çok kriterli karar verme konularıyla ilgilenmektedir. Şu anda Hava Harp Okulu Endüstri Müh.liği bölümünde öğretim elemanı olarak çalışmaktadır.

### Yrd. Doç. Dr. Feyzan ARIKAN

İlk orta ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 1993 yılında Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalından 1996 yılında Yüksek Lisans Derecesini, 2002 yılında Doktora Derecesini aldı. 2004 yılında Ohio University, Industrial and Systems Manufacturing Bölümünde TÜBİTAK destekli doktora sonrası araştırma yapan Feyzan Arıkan Öktemer halen aynı bölümde, öğretim üyesi olarak çalışmalarına devam etmektedir.