

Bulanık VIKOR Yöntemini Kullanarak Proje Seçim Sürecinin İncelenmesi

Analysis of Project Selection Process Applying with Fuzzy VIKOR Method

Yrd. Doç. Dr. Ayşe Yıldız

Öz

Proje seçimi, karlılık, büyüme ve artan küresel rekabet ortamında işletmelerin hayatta kalması için verilmesi gereken çok önemli bir karardır. Ancak bu tür kararlar maddi ve maddi olmayan birçok faktör ve birden fazla karar verici içerdiği için genellikle karmaşıktır. Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımı bu gibi durumlarda kullanılmak üzere geliştirilmiş bir modelleme ve uygulama aracıdır. Ayrıca, bu seçim kararında kriter ağırlıkları ve alternatiflerin derecelendirilmesi çoğu zaman kesin ifadelerden ziyade düşük, orta, yüksek gibi dilsel ifadelerle değerlendirilmektedir. Bulanık mantık teorisiyle birlikte ÇKKV yöntemleri birçok kritik kararda bu gereksinimleri karşılamak için kullanılabilir. Bu çalışma da bulanık ÇKKV tekniklerinden olan VIKOR yöntemini kullanarak bir firma için en iyi projenin seçimi karar verme sürecini açıklamıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Bulanık VIKOR, Proje Seçimi

Abstract

Project selection is very important making decision for the profitability, growth, and the survival of the establishments in an increasingly competitive global scenario. However, because of including many tangible and intangible factors and more than one decision makers these decisions are often complex. Multiple criteria decision making (MCDM) approach is a modeling and methodological tool for applying like these situations. Also, in this decision the ratings of alternatives and the weights of the selection criteria often may be evaluated linguistic assessment such as low, medium and high

rather than certain expressions. An application of the fuzzy set theory along with MCDM methods have been used to make these requirements available for many critical decisions. This study explains decision making process using fuzzy VIKOR which is fuzzy MCDM method to choose the best project for the firm.

Keywords: Fuzzy Logic, Fuzzy VIKOR, Project Selection

Giriş

Her organizasyon artan küresel rekabet ortamında kar elde etme, büyüme, gelişme ve gelecekteki faaliyetleri için sürekli yatırım yapmak ve proje geliştirmek zorundadır. Ancak işletmenin sahip olduğu fiziki, mali ve insan gücü kaynakları kıt ve sınırlı olduğu için bu kaynakların doğru alanlarda ve projelerde değerlendirilmesi işletmenin rekabetçi pozisyonunu koruması açısından kritik öneme sahiptir. Uygun projenin seçilmemesi durumunda iki olumsuz durumla karşılaşmak söz konusudur. Birincisi daha uygun projenin seçilmesi durumunda elde edilecek faydanın kaybı ve ikincisi ise uygun olmayan projelere kaynakların harcanmasıdır (Fouladgar ve diğerleri, 2011). Bu nedenle bir projenin uygunluğunun değerinin tahmin edilerek değerlendirilmesi işletmeler için oldukça önemlidir. Ancak proje seçim süreci birden fazla karar vericinin dahil olduğu, farklı ölçümlerle ifade edilen birden fazla ve birbirleriyle çelişkili nicel ve nitel kriterlerin söz konusu olduğu karmaşık bir süreçtir.

Belirsizlik, eksik veriler ve karar vericinin algısıyla şekillenen bu karar süreci bulanık çok kriterli karar modellerinin kullanılmasıyla çözülmeye çalışılır.

Literatürde proje seçiminde bu gibi sorunlara çözüm olabilecek Analitik Hiyerarşik Process (AHP) (Saaty, 1980), Analitik Ağ Süreci (ANP) (Saaty, 1996), Basit Toplamsal Ağırlık (SAW-Simple Additive Weigthing) (Fishburn, 1967), TOPSIS (Technique for Order Pre-

ference by Similarity to Ideal Solution) (Hwang and Yoon, 1981) ve VIKOR (Sırpça: VlseKriijumsko Optimizacija I Kompromisno Resenje) (Opricovic, 1998) yöntemleri gibi bulanıklaştırılmış çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir.

Bu çalışmaların çoğu AR-GE ve portföy projelerine yönelik olarak yapılmıştır. Tablo 1'de bu konuda yapılan çalışmalardan bir kısmı gösterilmektedir.

Tablo 1. Proje Seçimi Konusunda Yapılan Çalışmalar

Yazar(lar)	Proje Konusu	Yöntem
Poh, Ang & Bai (2001)	AR-GE	AHP ve Karşılaştırmalı Analiz
Chou, Chou & Tzeng (2006)	Bilişim	2-Aşamalı bulanık çok kriterli karar verme
Carlsson, Fuller, Heikkila, & Majender (2006)	AR-GE proje portföyü	Bulanık karma tamsayılı programlama
Wang & Hwang, 2007	AR-GE proje portföyü	Bulanık bütünlük tamsayılı programlama
Salehi & Tavakkoli-Moghaddam (2008)	Endüstriyel proje seçimi	Bulanık TOPSIS
Tolga (2008)	AR-GE	Gerçek opsiyon değerlemeye dayalı bulanık TOPSIS
Rafiei & Rabbani (2009)	Kuruluş Yeri	Bulanık Ağ Süreci
Tolga ve Kahraman (2009)	AR-GE	Çok Ölçütlü Bulanık AHP
Armaneri, Özdağoğlu ve Yalçınkaya (2010)	Proje riski	Bulanık Simülasyon
Ravanshadnia, Rajaie, & Abbasian (2010)	İnşaat	Karma Bulanık ÇKKV
Saraçoğlu ve Odabaşı (2011)	Gemi İnşa ve Sanal Liman	Bulanık mantık temelli çok amaçlı karar verme optimizasyon teknikleri
Pinter & Psunder (2011)	İnşaat projesi	M-TOPSIS
Fasanghari, Amalnick, Chaharsooghi & Ko (2011)	Bilişim	Bulanık tamsayılı programlama, bulanık Entropi
Fouladgar, Yazdani-Chamzini, Yakhchali, Ghasempourabadi, & Badri (2011)	Proje Portföyü	Bulanık VIKOR
Mohaghar, Fathi Faghih & Turkayesh (2012)	AR-GE	Bulanık ANP, bulanık TOPSIS
Ayan Yakıcı ve Perçin (2012)	AR-GE	Bulanık TOPSIS
Rouendegh ve Erol (2012)	İnşaat	Bulanık ELEKTRE

Bu çalışmada ise bir teknoloji firması için en uygun proje seçimi için çok kriterli karar verme tekniklerinden (ÇKKV) olan VIKOR yöntemi bulanık teoriyle birleştirilerek kullanılmıştır. Çalışma diğer çalışmalardan ayrı olarak son yıllarda en çok kullanılan VIKOR tekniğini proje seçim sürecine uygulamıştır.

Bu kapsamda çalışma üç temel bölümü içermektedir. Çalışmanın birinci bölümünün birinci kısmında bulanıklık kavramına ve kümesine ilişkin temel bilgiler verilmiş, ikinci kısmında VIKOR yöntemi anlatılmış ve üçüncü kısımda ise bulanık VIKOR yönteminin işleyişi açıklanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünü oluşturan uygulama bölümünde ise öncelikle proje seçimine ilişkin kriterler belirlenmiş ve bu kriterlere karar vericilerin verdikleri ağırlıklar tespit edilmiş, sonraki aşamada bu kriterlere göre projelere puan verilmiştir. Daha sonra belirlenen kriterlere ve alınan puanlara göre VIKOR yöntemi kullanılarak projelerin sıralaması yapılmıştır. Üçüncü ve son bölümde ise çalışmaya ilişkin genel değerlendirme yapılmıştır.

Yöntem

Çalışmada bulanık ÇKKV tekniklerinden bulanık VIKOR yöntemi kullanılmıştır. Bulanık ÇKKV tekniklerinde kriterler/özellikler ve göreceli ağırlıklar genellikle bulanık sayılarla ifade edilir. Buradaki yaklaşım, kararların kesin ifadelerden ziyade niteliksel olarak ifade edilebilmesidir. Bu yöntemlerin mantığı dilsel olarak ifade edilen değerlendirmelerin bulanıklaştırılarak analizde kullanılmalarıdır. Çalışmanın bu kısmında bulanık mantık teorisi tanıtılmış, daha sonraki bölümde bulanık VIKOR yönteminin işleyişi açıklanmıştır.

Bulanık Mantık

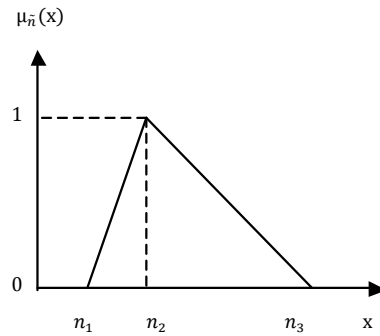
Bulanık mantık, Zadeh (1965) tarafından geliştirilen kişisel düşüncelerin sözel ifadelerle değerlendirilmesine yönelik olarak geliştirilen, bulanık kümelere, bulanık sayılara ve dilsel değişkenlere dayalı matematiksel tabanlı bir teoridir. Bu kapsamda, bulanık küme, kesin sınırları olmayan, kademeli geçişleri öngören ve belirli üyelik derecelerine sahip olan elemanların oluşturduğu bir küme olarak tanımlanır. Bulanık sayı ise verilen bir küme aralığında her biri 0 ile 1 arasında üyelik derecesine sahip konveks kümedir (Hu, Wu and Cai, 2009). Bu kümenin elemanlarının tanımlan-

masında üye veya üye değildir gibi kesin ifadelerden ziyade sayının üyeliği, üyelik derecesini belirleyen fonksiyonlarla tanımlanır (Zadeh, 1975). Bu üyelik fonksiyonlarının tanımlanmasında sayıların komşuluğu (yakınlığı) yaklaşımından yararlanır ve üyelik fonksiyonları genellikle bu komşuluğun durumuna göre üçgen üyelik fonksiyonları, yamuk üyelik fonksiyonları vb fonksiyonlarla gösterilir. Uygulamalarda çoğunlukla hesaplama kolaylığı açısından

üçgen üyelik fonksiyonları tercih edilir. $\mu_A(x)$ üçgen üyelik fonksiyonu denklem 1'de tanımlanmıştır (Triantaphyllou, 2000).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < n_1 \\ \frac{x - n_1}{n_2 - n_1}, & n_1 \leq x \leq n_2 \\ \frac{n_3 - x}{n_3 - n_2}, & n_2 \leq x \leq n_3 \\ 0, & x > n_3 \end{cases} \quad (1)$$

Geliştirilen bu formüle göre bulanık küme $A = (n_1, n_2, n_3)$ olmalıdır. n_1 , n_2 ve n_3 üçgen üyelik fonksiyonunda dilsel değişkenlerin değerlerini göstermektedir. n_1 alt bulanık sayı değerini; n_2 orta bulanık sayı değerini ve n_3 üst bulanık sayı değerini ifade etmektedir.



Şekil 1. Dilsel Değişkenler (Chen, 2000)

Dilsel değişkenler bu bulanık mantık kümesinin elemanlarının özelliklerini belirleyen değişkenlerdir. Örneğin bir nesnenin sıcaklığı belirtmek istendiğinde sadece sıcak, soğuk gibi kesin ifadelerden ziyade sıcak ve soğuk arasında olabilecek çok çok sıcak, orta sıcak, çok çok soğuk, çok soğuk gibi ara değerler de

kullanılabilmek istenebilir. Bu gibi dilsel ifadelerin sayı değeri ise bulanık küme ve bulanık sayı tanımlarıyla belirlenebilir (Zadeh, 1975). Bulanık karar yöntemlerinde ise karar vericiler karar kriterlerinin önem düzeyini ve alternatiflerin değerlendirilmesini dilsel değişkenleri kullanarak gerçekleştirirler.

VIKOR Değerlendirme Yöntemi

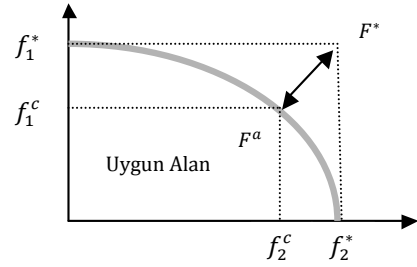
VIKOR yöntemi Opricovic tarafından geliştirilen (1998) özellikle sistem tasarımının başında karar vericinin tercihlerini belirleyememesi veya bilmesi durumunda karar vermeye yardımcı olmak üzere geliştirilmiş niteliksel çoklu karar verme yöntemidir (Opricovic ve Tzeng, 2007). Yöntemin amacı, uzlaşmacı bir çözüm ile maksimum grup faydası (çoğunluk kuralı) ve minimum bireysel pişmanlığı sağlayacak optimal bir uzlaşık çözüm bulmaktır. Uzlaşık sıralama için çok kriterli çözüm, uzlaşık programlamada toplama fonksiyonu olarak kullanılan L_p kriterinden geliştirilmiştir. Çeşitli i tane alternatif C_1, C_2, \dots, C_i olarak gösterilsin. C_i seçeneğinin j 'nci kriterinin ölçümü f_{ij} olsun (Lai ve Hwang, 1996).

$$Lp_i = \left(\sum_{j=1}^k [w_j (f_{ji}^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-)]^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (2)$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, j \quad 1 \leq p \leq \infty$$

Denklemden L_{pj} ölçümü, tüm alternatifler ile pozitif ideal çözüm arasındaki uzaklığın normalize edilmiş değerlerini vermektedir. VIKOR yönteminde L_{1i}, S_i için ve $L_{\infty i}$ ise R_j sıralama kriterinin formülasyonunda kullanılır. Maksimum grup faydası $\min S_i$ den, minimum kişisel pişmanlık ise $\min R_i$ den elde edilen çözümdür. j kriterinin ağırlığını belirtirken, en iyi değere sahip olan kriteri ve ise en kötü değere sahip olan kriteri göstermektedir.

Şekilsel olarak uzlaşık çözüm F^c ise, ideal değerine en yakın uygun çözümdür (Şekil 2). Uzlaşık çözüm şekilde görüldüğü üzere ve karşılıklı anlaşmalarına bağlı ortaya konan çözümü gösterir (Opricovic ve Tzeng, 2004).



Şekil 2. İdeal ve Uzlaşık Çözümler (Opricovic ve Tzeng, 2004)

Bulanık VIKOR Yöntemi

Klasik çok kriterli karar verme tekniklerinde kriter ağırlıklarının ve değerlendirmelerin kesin olarak bildirildiği varsayılır. Ancak gerçek hayatta bazı durumlarda kesin ifadeler kullanmak mümkün olmamaktadır. Bu soruna çözüm olarak Fayed (1965) tarafından geliştirilen bulanık mantık teorisinden faydalanılabilir. Böylece kesin olarak ifade edilemeyen değişkenler dilsel değerlerle ifade edilebilir. Bu teori çok kriterli karar verme tekniklerinde kullanılmaya başlanarak bulanık ÇKKV teknikleri geliştirilmiştir. Bunlardan biri de bulanık VIKOR yöntemidir. Bulanık VIKOR yönteminin son yıllarda farklı alanlarda kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır: personel seçimi (Ersoylu, 2011; El_Santawy, 2012), tedarikçi seçimi (Chen ve Wang, 2009; Zıngıl, 2009; Akyüz, 2012); su kaynakları planlaması (Opricovic, 2011).

Bulanık VIKOR, elde edilen bulanık karar matris değerlerini kullanarak aşağıdaki aşamaları içeren bir algoritmadan oluşmaktadır (Chen ve Wang, 2009).

Adım 1: Öncelikle problemin çözümü için n sayıda karar verici, m tane alternatif ve k tane değerlendirme kriteri belirlenir.

Adım 2: Dilsel değişkenler ve bu değişkenlerin karşılıkları üçgensel bulanık sayılar tanımlanır. Dilsel değişkenler kriter ağırlıklarını belirlemek ve alternatifleri derecelendirmek için kullanılır.

Adım 3: w_j^n n tane karar vericiden oluşan bir kümede n 'inci karar vericinin değerlendirdiği karar kriterinin önem ağırlığını, j kriterine göre i alternatifinin derecesini gösterebilir. Karar kriterlerinin önem ağırlıkları ve alternatiflerin kriter değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla her biri için tek bir değerlendirme olacak şekilde birleştirilir ve bütünleştirilmiş değerler elde edilir (Chen ve diğerleri, 2006).

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{n} [\tilde{w}_j^1(+) \tilde{w}_j^2(+) \dots (+) \tilde{w}_j^n] \quad (3)$$

$$x_{ij} = \frac{1}{n} [x_{ij}^1(+) x_{ij}^2(+) \dots (+) x_{ij}^n] \quad (4)$$

Denklemlerde x_{ij} ve \tilde{w}_j değerleri, sözel değişkenlerin karşılığı olan üçgensel bulanık sayı değerlerini göstermektedir.

Adım 4: Tüm kriter ve alternatifler için tek bir değer elde edildikten sonra, j kriterli ve i alternatifli bir bulanık karar matrisi ve ağırlık matrisi oluşturulur.

$$f_j^* = \max_j x_{ij}, \quad j \in J \text{ fayda ölçüleri}; \quad f_j^* = \min x_{ij}, \quad j \in J \text{ maliyet ölçüleri} \quad (6)$$

$$f_j^- = \min_j x_{ij}, \quad j \in J \text{ fayda ölçüleri}; \quad f_j^- = \max_j x_{ij}, \quad j \in J \text{ maliyet ölçüleri} \quad (7)$$

Adım 6: \tilde{w}_j kriterlerin ağırlığını ve önemini ifade etsin. Denklem 8 yardımıyla ilgili bütün kriterlere göre i. alternatifin en iyi bulanık değere uzaklığının toplamını veren S_i değeri elde edilir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n [\tilde{w}_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-)], \quad (8)$$

Denklemin 9'da gösterilen R_i değerleri ise j. kriter göre i. alternatifin bulanık en kötü değerlere olan maksimum uzaklığıdır. f_{ij} , j kriteri açısından A_i alternatifi için performans skorunu gösterir.

$$R_i = \max [\omega_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-)], \quad (9)$$

Adım 7: S^* maksimum çoğunluk kuralını ve R^* ise farklı görüştekilerin minimum bireysel pişmanlığını ifade etmek üzere S^-_i , S^*_i (10) ve R^-_i , R^*_i değerleri hesaplanır.

$$S^* = \min_i S_i \quad S^-_i = \max S_i \quad (10)$$

$$R^*_i = \min_i R_i, \quad R^-_i = \max R_i \quad (11)$$

S^* ve R^* değerlerinin minimum değerleri alınır, çünkü bireysel pişmanlık daha azdır ve istenilen/arzu edilen değere daha yakındır.

Adım 8: Bu hesaplamalardan sonra \tilde{Q}_i indeksi (12) elde edilir. \tilde{Q}_i indeksi, grup faydası ile bireysel pişmanlığı birlikte değerlendirilmesi ile hesaplanır.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, k$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_j], \quad (5)$$

x_{ij} , j. kriter göre i. alternatifin derecesi ve ise j.kriterin önem ağırlığıdır.

Adım 5: Bulanık karar matrisinde tüm kriter fonksiyonlarının en iyi f_j^* ve en kötü f_j^- değerleri 6. ve 7. formüller yardımıyla belirlenir.

$$\tilde{Q}_i = v (S_i - S^*) / (S^- - S^*) + (1 - v) (R_i - R^*) / (R^- - R^*) \quad (12)$$

Denklemdaki v değeri maksimum grup faydasını sağlayan stratejinin önemini ifade eder iken, 1-v bireysel pişmanlık değerini ifade eder. Uzlaşmacı çoğunluk için genellikle $v \approx 0.5$ alınır (Opricovic, 2011).

Adım 9: Bu aşamada üçgensel bulanık sayılar durulaştırılır. Bu çalışmada Hsieh vd. (2004) tarafından önerilen ve 13. eşitlikte verilen En İyi Gerçek Sayı Değeri (Best Nonfuzzy Performance Value - BNP) durulaştırma yöntemi kullanılmıştır.

$$BNP_i = \frac{(n_3 - n_1) + (n_2 - n_1)}{3} + n_1 \quad (13)$$

n_3 , üçgen bulanık sayının üst değerini; n_2 , orta değeri ni ve n_1 , ise alt değerini göstermektedir.

Daha sonra elde edilen Q_i indeks değerine göre alternatifler sıralanır. Bu indeksin en küçük değeri en iyi alternatifi gösterir.

Adım 10: Bu aşamada belirlenen en iyi alternatifin uzlaştırıcı çözüm olup olmadığının belirlenmesi gerekir. Uzlaştırıcı çözümü belirlemek için aşağıdaki iki koşulun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmelidir.

1.Koşul: Kabul edilebilir avantaj: Bu koşul en iyi ve en yakın seçenek arasında belirgin bir fark olduğunun kanıtlanmasını içeren koşuldur.

$$Q(A'') - Q(A') \geq DQ \quad DQ = \frac{1}{m-1} ;$$

m alternatif sayısını ifade eder.

($m \leq 4$ ise $DQ = 0.25$)

A' değeri sıralamada birinci sırada yer alan alternatif ve A'' sıralamada en iyi ikinci alternatifi gösterir.

2.Koşul: Kabul edilebilir istikrar

Alternatif a' , S ve/veya R değerlerine göre yapılan sıralamada en iyi alternatif olmalıdır (Opricovic ve Tzeng, 2004).

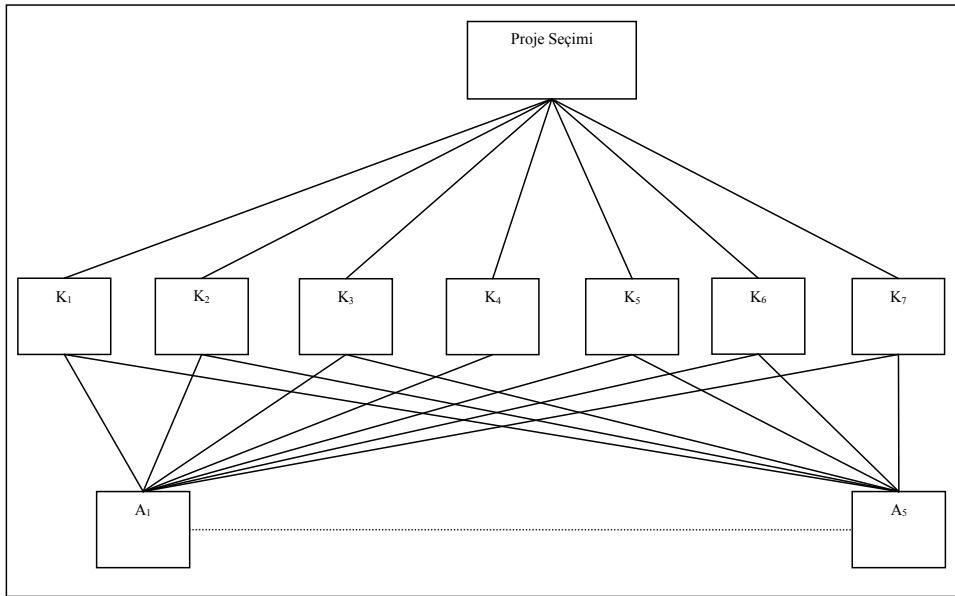
Eğer 1. koşul sağlanmaz ise $Q(A^{(m)}) - Q(A') \leq DQ$ olursa, $a^{(m)}$ ve a' aynı uzlaştırıcı çözüm olur. Eğer 2. koşul kabul edilmezse, her ne kadar A' 'nin nispi bir avantajı olsa da karar vermede tutarsızlık vardır. Bundan dolayı A' ve A'' uzlaştırıcı çözümleri aynıdır. Q değeri minimum olan en iyi alternatifin seçimi yapılır.

Uygulama

Proje seçim kriterleri çoğu zaman belirsiz bir ortamda birbirleriyle çelişen, çok sayıda kriteri içeren bir karardır. Bu kararı verirken farklı kriterlerin ve bu kriterleri sağlayan alternatiflerin değerlendirilmesi gerekir. Şekil 3'de proje seçim sürecine ilişkin hiyerarşik yapı ortaya konmuştur. Şekil 3'de görüldüğü üzere 5 tane alternatif (A_1, A_2, \dots, A_5) ve yedi tane kriter (K_1, K_2, \dots, K_7) üzerinden değerlendirme yapılmıştır.

Hiyerarşik yapının belirlenmesinden sonra en uygun proje seçimi için bulanık VIKOR yönteminin algoritmasındaki aşamalar gerçekleştirilmiştir.

Adım 1: Öncelikle karar verici grup oluşturulur. Çalışmada alanında uzman 5 karar vericinin görüşlerine başvurulmuştur. Daha sonra bu karar vericilerin görüşleri doğrultusunda tablo 2'de gösterilen değerlendirme kriterleri belirlenmiştir.



Şekil 3. Proje Seçim Sürecinin Hiyerarşik Yapısı

Tablo 2. Karar Kriterleri

Kriterler	Açıklama
(K ₁)	Projenin Net Bugünkü Değeri
(K ₂)	Geri Dönüşüm Oranı %
(K ₃)	Geri Dönüşüm Süresi: Yıl
(K ₄)	Risk
(K ₅)	Büyüme Beklentisi
(K ₆)	Uygulanabilirliği
(K ₇)	Firma Başarısına Katkısı

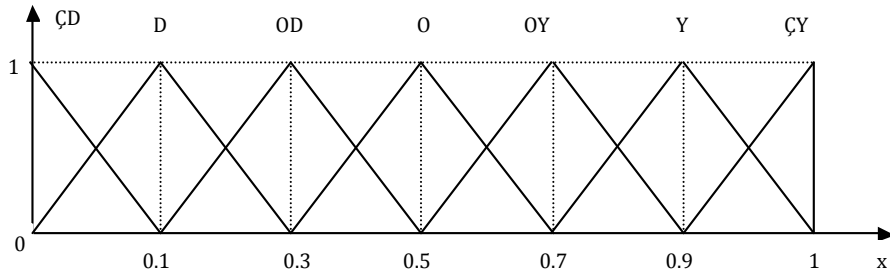
Bu kriterlerden projenin geri dönüşüm süresi ile risk kriterleri minimize edilmeye çalışılırken, diğer kriterler maksimize edilmeye çalışılır (Fouladgar ve diğerleri, 2011). Karar vericiler bu kriterlere dayalı olarak ellerindeki beş alternatif projeyi değerlendirmişlerdir.

Adım 2: Bu aşamada, kriterleri ve alternatifleri değerlendirmek için uygun dilsel (sözel) değişkenler seçilmelidir. Kriterlerin ağırlığının ve alternatiflerin önem derecelerini belirlemek için kullanılan sözel değişkenler ve bulanık sayılar (Chen, 2000) Tablo 3'de verilmiştir. Şekil 4'de ise dilsel değişkenler bulanık üyelik fonksiyonları ile birlikte gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere her bir dilsel değişken birden fazla kümeye ait olabilmekte ve üyelik fonksiyonu 0 ile 1 arasında değer almaktadır.

Adım 3: Daha sonra karar vericilerin değerlendirmeleri doğrultusunda elde edilen kriter değerlendirmeleri 3. eşitlik yardımıyla bulanık ağırlık matrisine dönüştürülür.

Tablo 3. Kriter ve Alternatifleri Değerlendirmek İçin Dilsel Değişkenler

Kriter Ağırlıkları için Dilsel Değişkenler		Alternatiflerin Derecelendirilmesi için Dilsel Değişkenler	
Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayılar	Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0, 0, 0.1)	Çok Kötü (ÇK)	(0, 0, 1)
Düşük (D)	(0, 0.1, 0.3)	Kötü (K)	(0, 1, 3)
Orta Düşük (OD)	(0.1, 0.3, 0.5)	Orta Kötü (OK)	(1, 3, 5)
Orta (O)	(0.3, 0.5, 0.7)	Orta (O)	(3, 5, 7)
Orta Yüksek (OY)	(0.5, 0.7, 0.9)	Orta İyi (OI)	(5, 7, 9)
Yüksek (Y)	(0.7, 0.9, 1)	İyi (I)	(7, 9, 10)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.9, 1, 1)	Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)



Şekil 4. Dilsel Değerlerin Bulanık Üyelik Fonksiyonları ile Gösterimi (Büyükoçkan ve Çiftçi, 2012)

Tablo 5. Kriterlerin Bulanık Ağırlık Matrisi

Kriterler	Bulanık Ağırlıklar		
	n ₁	n ₂	n ₃
K ₁	0,50	0,67	0,80
K ₂	0,50	0,70	0,87
K ₃	0,50	0,67	0,80
K ₄	0,43	0,60	0,73
K ₅	0,63	0,83	0,97
K ₆	0,30	0,50	0,70
K ₇	0,77	0,90	0,97

Tablo 5'den büyüme beklentisi ve firmaya katkısı kriterlerinin daha fazla önem derecesine (ağırlığına) sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuç klasik yaklaşımlarda önemli olan maliyet, geri ödeme süresi gibi finansal kriterlere fazla önem verilmediğini, sürecin daha çok stratejik boyutta ve eldeki diğer projelerle birlikte ele alındığını göstermektedir. Karar vericiler tarafından ortaya konan bu yaklaşım uzun dönemde izlenmesi gereken doğru bir yaklaşımdır.

Adım 4: Belirlenen kriterler çerçevesinde her bir alternatifin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi eşitlik 4 yardımıyla birleştirilir. Elde edilen değerler ile tablo 6'da gösterilen bulanık karar matrisi oluşturulur.

Tablo 6. Bulanık Karar Matrisi

	A ₁			A ₂			A ₃			A ₄			A ₅		
	n ₁	n ₂	n ₃	n ₁	n ₂	n ₃	n ₁	n ₂	n ₃	n ₁	n ₂	n ₃	n ₁	n ₂	n ₃
K ₁	5,67	7,67	9,33	5,00	7,00	8,67	8,33	9,67	10,00	1,67	3,67	5,67	1,67	3,67	5,67
K ₂	6,33	8,00	9,33	3,67	5,67	7,67	8,33	9,67	10,00	1,67	3,67	5,67	8,33	9,67	10,00
K ₃	3,00	5,00	7,00	3,00	4,00	5,33	2,33	4,33	7,67	7,67	9,33	10,00	3,67	5,67	7,67
K ₄	9,00	10,00	10,00	6,33	8,33	9,67	7,33	8,67	6,33	2,33	4,33	6,33	8,33	9,67	10,00
K ₅	3,67	5,67	7,67	1,67	3,67	5,67	8,33	9,67	10,00	3,00	5,00	7,00	1,67	3,67	5,67
K ₆	0,00	1,00	3,00	3,67	5,67	7,67	3,67	5,67	7,67	1,67	3,67	5,67	5,67	7,67	9,33
K ₇	2,33	4,33	6,33	8,33	9,67	10,00	7,67	9,33	10,00	7,00	9,00	10,00	3,67	5,67	7,67

Adım 5: Bulanık karar matrisinde yer alan en iyi (\tilde{f}_j^*) ve en kötü (\tilde{f}_j^-) kriter değerleri belirlenir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta geri ödeme süresi ve risk kriterleri için minimum değerler en iyi bulanık değerleri verirken, maksimum değerler en kötü kriter

değerlerini oluşturacaktır. Elde edilen sonuçlar tablo 7'de gösterilmiştir.

Adım 6: 8. ve 9. eşitliklerinden faydalanarak alternatiflerin S_i ve R_i değerleri hesaplanır.

Tablo 7. Bulanık En İyi (\tilde{f}_j^*) ve Bulanık En Kötü (\tilde{f}_j^-) Kriter Değerleri

Kriterler	F(*)			F(-)		
	n ₁	n ₂	n ₃	n ₁	n ₂	n ₃
K ₁	8,33	9,67	10,00	1,67	3,67	5,67
K ₂	8,33	9,67	10,00	1,67	3,67	5,67
K ₃	3,00	4,00	5,33	7,67	9,33	10,00
K ₄	2,33	4,33	6,33	9,00	10,00	10,00
K ₅	8,33	9,67	10,00	1,67	3,67	5,67
K ₆	5,67	7,67	9,33	0,00	1,00	3,00
K ₇	8,33	9,67	10,00	2,33	4,33	6,33

Tablo 8. S_i ve R_i Değerleri

Alternatifler	S _i			R _i		
	n ₁	n ₂	n ₃	n ₁	n ₂	n ₃
A ₁	2,293	3,097	3,463	0,767	0,900	0,967
A ₂	1,599	2,170	2,530	0,633	0,833	0,967
A ₃	0,445	0,707	0,584	0,571	0,625	0,400
A ₄	2,388	3,094	3,541	0,500	0,700	0,867
A ₅	2,191	2,948	3,515	0,633	0,833	0,967

Adım 7: Sırasıyla 10 ve 11 numaralı eşitlikler kullanılarak S^* , S^- ve R^* ve R^- değerleri bulunur. S^* ve R^* değerleri ideal çözümden minimum uzaklık değerlerini verirken, S^- ve R^- ise maksimum uzaklık değerlerini vermektedir.

Tablo 9. S^* , S^- , R^* ve R^- Değerleri

	n_1	n_2	n_3
S^*	0,445	0,707	0,584
S^-	2,388	3,097	3,541
R^*	0,500	0,625	0,400
R^-	0,767	0,900	0,967

Adım 8: Tablo 9’da bulunan değerler 12 numaralı eşitlikte yerine konularak tablo 10’da gösterilen Q_i değerleri bulunur.

Tablo 10. Q_i Değerleri

Alternatifler	Q_i		
	n_1	n_2	n_3
A_1	0,976	1,000	0,987
A_2	0,547	0,685	0,829
A_3	0,134	0,000	0,000
A_4	0,500	0,636	0,912
A_5	0,699	0,848	0,996

Adım 9: 13. eşitlik ile bulanık üçgensel değerleri durulaştırılır ve tablo 11’de gösterilen değerler elde edilir.

Minimum Q_i değerine sahip alternatif en iyi çözüm olarak belirlendiğinden A_3 alternatifi en iyi çözüm olarak bulunmuştur. A_1 alternatifi ise en kötü performans gösteren alternatif olmuştur. Ayrıca Q_i indeksi ile uzlaşık çözüm karar sürecinde kullanılmak üzere S_i ve R_i değerleri elde edilir. Tablo 12’de alternatiflerin Q_i , S_i ve R_i indeks değerleri birlikte gösterilmiştir.

Tablo 11. Durulaştırılan (Gerçek Sayıya Dönüştürülen) Q_i Değerleri

Alternatifler	Q_i Değerleri
A_1	0,987
A_2	0,687
A_3	0,045
A_4	0,683
A_5	0,847

Daha sonra elde edilen indeks değerlerine göre alternatiflerin sıralaması yapılmış ve tablo 13’de gösterilmiştir.

Adım 10: Bulunan Q_i indeks değerine sahip A_3 alternatifi en iyi çözümdür. Ancak en iyi uzlaştırıcı çözümü sağlayıp sağlamadığını belirlemek için aşağıdaki iki koşulun uygunluğu kontrol edilmelidir.

1. Koşul: Kabul edilebilir avantaj; 14. eşitliğe göre; $Q(A'') - Q(A') \geq 0.25$ koşulu sağlanmalıdır. Tablo 12’ye göre $0.683 - 0.045 \geq 0.25$ olduğundan A_3 alternatifi kabul edilebilir avantaj koşulunu sağlamaktadır.

Tablo 12. Alternatiflerin Q_i , S_i ve R_i İndeks Değerleri

Alternatifler	Q_i		S_i		R_i	
	İndeks	Sıra	İndeks	Sıra	İndeks	Sıra
A_1	0,987	5	2,951	4	0,878	4
A_2	0,687	3	2,100	2	0,811	3
A_3	0,045	1	0,579	1	0,532	1
A_4	0,683	2	3,008	5	0,689	2
A_5	0,847	4	2,885	3	0,811	3

Tablo 13. Alternatiflerin Q_i , S_i ve R_i İndeks Değerlerine Göre Sıralamaları

Q_i	$A_3 > A_4 > A_2 > A_5 > A_1$
S_i	$A_3 > A_2 > A_5 > A_1 > A_4$
R_i	$A_3 > A_4 > A_2 = A_5 > A_1$

2. Koşul: Kabul edilebilir istikrar: Bu koşula göre A' alternatifi S ve/veya R indeks değerlerine göre sıralamada en iyi alternatif olmalıdır. Tablo 13 incelendiğinde A_3 alternatifinin hem S hem de R indeks değerlerine göre birinci sırada yer aldığı görülmektedir. Böylece alternatif A_3 kabul edilebilir istikrar koşulunu sağlamaktadır.

Bu sonuçlara göre her iki koşulu da sağlayan A_3 alternatifi en iyi uzlaşık çözümü veren alternatiftir. Diğer alternatif projelere ilişkin sıralamalar tablo 13'de gösterilmiştir.

Genel Değerlendirme ve Sonuç

Bu çalışmada bir teknoloji firması için birçok karar vericinin içinde yer aldığı, birbirleriyle çelişkili birçok nicel ve niteliksel faktörün dikkate alındığı iş sürecini geliştirme projesinin seçim sürecinde bulanık VIKOR yöntemi kullanılarak sürecin daha objektif, daha etkin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Firma, proje değerlendirme kriterleri olarak projenin net bugünkü değeri, geri dönüşüm oranı, geri dönüşüm süresi, risk, büyüme beklentisi, uygulanabilirliği ve firma başarısına katkısını belirlemiştir. Bu kriterler içinde büyüme beklentisi ve firma başarısına katkısı kriterlerinin ağırlıklarının, diğer bir deyişle verilen önemin daha fazla olduğu görülmüştür. Bu sonuç klasik yaklaşımda maliyet, geri ödeme süresi gibi finansal kriterlerin önem ağırlıklarının azaldığını göstermektedir. Aslında son zamanlarda yapılan çalışmalar da sadece finansal göstergelerin esas alındığı proje seçimlerinde birçok projenin amacına ulaşmadığını ve katlanılan maliyetlerin boşa gittiğini göstermektedir. Bu nedenle günümüzde izlenen yaklaşım stratejik hedeflerle uyumlu işletme amaçlarına hizmet eden projelere daha fazla öncelik verilmesi

gerektiği yönündedir. Çalışmada kriter değerlendirmeleri incelendiğinde karar vericilerin bu bakış açısına sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Alternatiflerin değerlendirilmesine ilişkin süreç ise bulanık VIKOR yöntemindeki aşamalar izlenerek tamamen karar vericilerin ortak görüşüyle belirlenen ve istenen özellikleri ve koşulları yerine getiren alternatif çözümün bulunmasıyla sonuçlanmıştır.

Önerilen yaklaşım kriterler, kriter ağırlıkları ve alternatifler değiştirilerek firma tarafından daha sonra farklı projeler için de kullanılabilir. Hatta bir adım ileriye gidilerek oluşturulan süreç bilgisayar programı olarak geliştirilerek grup karar verme sürecine dönüştürülebilir.

Bu çalışmanın uzantısı olarak ileride finansal göstergelerin sayısal değerlerle, karar vericilerinin nitel değerlendirmelerinin bulanık değerlerle ifade edildiği yeni bir karma model geliştirilebilir. Böylece her bir değişken kendi gerçek ölçüm değerleriyle değerlendirilmiş olacaktır. Ayrıca karar kriter sayısı, kriter ağırlıkları, karar verici sayısı ve alternatif sayısı değiştirilerek duyarlılık analizi yapıp bu değişimlerin sonuçları nasıl etkilediği gözlemlenebilir.

Kaynakça

- Akyüz, G. (2012). Bulanık VIKOR Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi. *Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 26 (1), 197-215.
- Armaneri, Ö., Özdağoğlu, G. & Yalçınkaya, Ö. (2010). An Integrated Decision Support Approach for Project Investors in Risky and Uncertain Environments. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 234, 2530-2542.
- Ayan Yakıcı, T. ve Perçin, S. (2012). AR-GE Projelerinin Seçiminde Grup Kararına Dayalı Bulanık Karar Verme Yaklaşımı. *Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*, 26 (2), 237-255.
- Büyüközkan, G., & Çiftçi, G. (2012). A Combined Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Based Strategic Analysis of Electronic Service Quality in Healthcare Industry. *Expert Systems with Applications*, 39, 2341-2354.

- Carlsson, C., Fuller, R., Heikkila, M., & Majender, P. (2007). A Fuzzy Approach to R&D Project Portfolio Selection. *International Journal of Approximate Reasoning*, 44, 93-105.
- Chen, C. (2000). Extensions of the TOPSIS for Group Decision Making under Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114, 1-9.
- Chen, T.C., Ching-Torng L., & Huang, S.F., (2006). A Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Selection in Supply Chain Management. *International Journal of Production Economics*, 102, 289-301.
- Chen, L.Y., & Wang, T.C. (2009). Optimizing Partners' Choice in IS/IT Outsourcing Projects: The Strategic Decision of Fuzzy VIKOR. *International Journal of Production Economics*, 120, 233-242.
- Chou, T., Chou, S., & Tzeng, G. (2006). Evaluating IT/IS investments: A Fuzzy Multi-criteria Decision Model Approach. *European Journal of Operational Research*, 173, 1026-1046.
- El-Santawy, M.F. (2012). A VIKOR Method for Solving Personnel Training Selection Problem. *International Journal of Computing Science*, 1 (2), 9-12
- Ersoylu, İ. (2011). *Bulanık VIKOR ve Bulanık AHP Yöntemleri ile Performans Ölçümü*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Hava Harp Okulu, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü.
- Fasanghari, M., Amalnick, M. S., Chaharsooghi, S. K., & Franz, I. S. (2011). The Fuzzy Evaluation of the ICT Projects in Strategic Environment (Case Study : Iran Telecommunication Research Center). *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 10 (5), 873-890.
- Fishburn, P. C. (1967). Methods of Additive Utilities. *Management Science*, 13, 435-453
- Fouladgar, M. M., Yazdani-Chamzini, A., Yakhchali, S. H., Ghasempourabadi, M. H., & Badri, N. (2011). Project Portfolio Selection Using VIKOR Technique under Fuzzy Environment. *2nd International Conference on Construction and Project Management, IPEDR*, 15, 236-240
- Hsieh, T.Y., Lu, S.T., & Tzeng, G.H. (2004). Fuzzy MCDM Approach for Planning and Design Tenders Selection in Public Office Buildings. *International Journal of Project Management*, 22, 573-584
- Hu, Y., Shu, W., & Chu, L. (2009). Fuzzy Multicriteria Decision Making TOPSIS for Distribution Center Location Selection. *International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing*.
- Hwang, C.L., & Yoon, K., (1981). Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications. Springer, Berlin Heidelberg.
- Lai, Y. ve Hwang C. (1996) Fuzzy Multiple Objective Decision Making: Methods and Applications. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer
- Mohaghar, A., Fathi, M. R., Faghih, A., & Turkeyesh, M. M. (2012). An Integrated Approach of Fuzzy ANP and Fuzzy TOPSIS for R&D Project Selection: A Case Study. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6 (2), 66-75.
- Opricovic, S. (1998). *Multi-criteria Optimization of Civil Engineering Systems*, Faculty of Civil Engineering, Belgrade
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). The Compromise Solution by MCDM methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 15 (2), 445-455.
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2007). Extended VIKOR Method in Comparison with Outranking Methods. *European Journal of Operational Research*, 178 (2), 514-529.
- Opricovic, S. (2011). Fuzzy VIKOR with an Application to Water Resources Planning. *Expert Systems with Applications*, 38, 12983-12990.
- Poh, K. L., Ang, B. W., & Bai, F. (2001). A Comparative Analysis of R&D Project Evaluation Methods. *R&D Management*, 31, 63-75

- Rafiei, H. & Rabbani, M. (2009). Project Selection Using Fuzzy Group Analytic Network Process. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 58, 457-461.
- Ravanshadnia, M., Rajaie, H., & Abbasian, H., R. (2010). Hybrid Fuzzy MADM Project-Selection Model for Diversified Construction Companies. *Can. J. Civ. Eng.*, 37, 1082-1093
- Rouendegh, B. D., & Erol, S. (2012). Selecting the Best Project Using the Fuzzy ELECTRE Method. *Mathematical Problems in Engineering*, 4-13.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York, McGraw-Hill
- Saaty, T.L. (1996). *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Salehi, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2008). Project Selection by Using a Fuzzy TOPSIS Technique. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 40, 85-90.
- Saraçoğlu, B. Ö. ve Odabaşı, A. Y. (2011). "Büyük Yatırım Analizlerinde Yeni Genel Bir Yöntem". *itüdergisi/d mühendislik*, 10 (1), 81-92
- Tolga, A. Ç. (2008). Fuzzy multicriteria R&D Project Selection with a Real Options Valuation Model. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 19, 359-371.
- Tolga, A. Ç. ve Kahraman, C. (2009). Ar-Ge Projelerinin Gerçek Opsiyon Değerleme Bütünleşik Bulanık Çok Ölçütlü Modelle Seçimi. *itüdergisi/d mühendislik*, 8 (4), 95-106.
- Triantaphyllou, E., 2000. Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Wang, J., & Hwang, W. (2007). A Fuzzy Set Approach for R&D Portfolio Selection Using a Real Options Valuation Model. *Omega*, 35, 247-257.
- Zadeh, L.A. (1965), Fuzzy Sets. *Information and Control* 8, 338-383
- Zadeh, L.A. (1975). The Concept of Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning 1. *Information Sciences* 8, 199-249
- Zıngıl, T. (2009). *Supplier Selection Using TOPSIS and VIKOR Under Fuzzy Environment*. Unpublished Master's Thesis, University of Bahcesehir.