

YAZILIM GELİŞTİRME PROJELERİNİN GERÇEK OPSİYON DEĞERLEME MODELİYLE ÇOK ÖLÇÜTLÜ BULANIK DEĞERLEMESİ

A. Çağrı TOLGA*, Cengiz KAHRAMAN**

Geliş: 23.03.2009 Kabul: 05.06.2009

ÖZET

Yazılım geliştirme projeleri seçimi geliştirmekte olan ülkeler açısından gerek kaynak, gerekse zaman kısıtları açısından önemli aşamadır. Doğru ve şirket içinde sinerji yaratacak projelerin seçimi kaynakların verimli şekilde kullanılmasını sağlayacaktır. Proje seçim kararlarının, kurumun stratejik amaç ve planlarıyla birlikte düşünülmesi gereklidir. Yazılım geliştirme projelerinin doğası gereği kurumsal getirileri çok boyutludur ve kazançları risklidir. Gerçek opsiyon yaklaşımı seçim sürecinin riskli tarafını hesaplamaya yardımcı olur. Bu çalışma yazılım geliştirme proje seçim sürecinin çok boyutlu tarafını incelemektedir. Değerleme sürecindeki bir diğer ele alınması gereken konu ise belirsizliktir. Yazılım geliştirme proje alternatifleri arasından seçim, parasal (bulanık gerçek opsiyon değeri) ve parasal olmayan (kapasite, başarı olasılığı, eğilimler vb.) ölçütleri birlikte dikkate alan Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yardımıyla yapılacaktır. Önerilen yaklaşımı daha iyi gösterebilmek amacıyla yapılan gerçek bir çalışma da bölümlerde anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Gerçek opsiyon; Bulanık AHP; yazılım geliştirme projesi; çok ölçütlü seçim.

FUZZY MULTICRITERIA EVALUATION OF SOFTWARE DEVELOPMENT PROJECTS USING A REAL OPTIONS VALUATION MODEL

ABSTRACT

Choosing a software development project is more important for developing countries than developed countries in case of resource and time constraints. Selection of a right and synergy creator project will ensure the use of resources efficiently. Project selection decisions have to be thought together with the strategical goals and plans of the enterprise. Through the nature of the software development projects; corporate earnings are multi dimensional and their incomes are risky. Real option approaches help the computation of the risky side of the selection process. This study will investigate the multi dimensional side of the selection process of software development projects. Uncertainty is the other subject in the evaluation process. The fuzzy AHP, which takes monetary (fuzzy real option value) and nonmonetary (capability, success probability, trends, etc.) criteria into account, is used to make this selection among software development project alternatives. A real case study is given to illustrate the application of the proposed approach.

Keywords: Real Options; Fuzzy AHP; software development projects; multi-criteria selection.

* Galatasaray Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş-İstanbul, ctolga@gsu.edu.tr

** İstanbul Teknik Üniversitesi İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş-İstanbul, kahramanc@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

Yazılım geliştirme, geniş çevrelerce kullanıcı ihtiyaçlarını ya da iş hayatındaki gereksinimleri dikkate alarak bir yazılım ürününü meydana getirme anlamında kullanılmaktadır. Zaman, kaynak ve maddi kısıtlar tüm projelerde olduğu gibi yazılım geliştirme projelerinde de önemlidir. Şirkete maddi katkısının üst düzeyde olması beklenen proje uzman görüşüne de bakılarak seçilmelidir. Bu seçimler risklidir, bu riski de göz önüne alacak modeller geliştirilmelidir. Finansal açıdan değerlendirirken bu riskler gerçek opsiyonlar yardımıyla hesaplamalara katılır.

Her ne kadar yazılım geliştirme projelerinin sadece finansal açıdan değerlemesi faydalı olsa da alternatif projeler arasından verilecek seçim kararı sadece bu terimle kıyaslanamaz. Alternatifleri maliyet ya da kazanç açısından tayin etmek diğer boyutları -örneğin pazarlama kapasitesi, başarı olasılığı ya da teknik kaynaklar v.b.- ihmal edebilmektedir. Bir yazılım geliştirme projesi seçimi probleminde bütün bu ölçütleri de içerisine alan bir yöntem olarak karar verici çok ölçütlü yöntemlerden birisini kullanmalıdır.

Klasik kümeler doğaları gereği deterministik ve kesindir. Kesinlik modelin değişkenlerini açık seçik bildiğimizi ve değerleri hakkında hiçbir şüphe olmadığını varsaydığımızı belirtir. Buna karşılık günlük hayatta gerçek durumlar sıklıkla birçok açıdan belirsiz ve muğlaktır. Ayrıca, bilginin eksik olduğu durumlarda bir sistem tam olarak bilinemeyebilir. Zadeh (1965) bu yetersizliklerin üstesinden gelen bulanık küme teorisi adında matematik bir çerçeve sunmuştur. Birçok mühendislik ve karar problemleri, verileri keskin şekilde tanımlamayan sınırlarla sınıflayan ya da kümeleyen bulanık küme teorisi ile basitleştirilebilir (Kahraman vd., 2004).

Chen (1999) çalışmasında yazılım geliştirmede birikimli risk oranının değerlemesini bulanık sayılarla sunmuştur. Chen vd. (2006) ise dinamik sıralı ağırlıklandırılmış ortalama modeliyle yazılım geliştirme değerlemesi yapmışlardır.

Yazılım geliştirme projelerinin değerlemesindeki ölçütlerin en önemlilerinden birisi de finansal vasfıdır. Değerleme sürecinde bu vasfın karmaşık dinamik bir rolü olmasına rağmen çoğu araştırmacı basit bir bakış açısıyla hesaplara dâhil etmektedir. Bu vasfın dinamik rolünü gerçek opsiyon değerlendirme yöntemi kullanarak ele alabiliriz. Gerçek opsiyon değerlendirme modelinin esasları finansal opsiyon temeline dayanır. Ancak gerçek opsiyonların doğası kalıcı, sabitlenmiş ve taşınmaz varlıkları gerektirir. Gerçek opsiyon değerlendirme gerçek opsiyon analizini gerektirir. Gerçek opsiyon analizinin asıl avantajı değerlendirme sürecine yönetim esnekliğini dahil edebilmesi ve dolayısıyla en iyi kararların alınmasını başarmasıdır. Gerçek opsiyonlar belirli bir süre içinde bir yatırımı yapmak ya da yapmamak hakkını verir ve zorunluluk içermez. Örneğin bir yazılım geliştirme projesinde yapılan yeni donanım yatırımı şirkete bir olanak sağlar fakat gelecekte proje üretmek gibi bir zorunluluk içermez.

Literatürde noksan bilgi durumunda kullanılan bulanık gerçek opsiyon değerlendirme modelleri geliştirilmiştir. İlk olarak, Carlsson ve Fullér (2003) bulanık ortam için sezgisel gerçek opsiyon değerlendirme süreci geliştirmişlerdir. Çalışmalarında beklenen maliyetlerin ve beklenen nakit akışlarının şimdiki değerleri yamuk bulanık sayılarla ifade edilmiştir. En uygun opsiyon kullanım zamanını bulanık sayıların olası ortalama ve varyansı yardımıyla belirlemişlerdir. Wang ve Hwang (2007) en uygun Ar-Ge portföy seçimini belirlemek için bulanık sıfır-bir tamsayı programlama modeli kullanmışlardır. Bu seçim sırasında proje değerlerini hesaplamak amacıyla gerçek opsiyon yaklaşımını tercih etmişlerdir. Bulanık gerçek opsiyon değerlendirmeyle bulanık karışık tamsayı programlamayı bütünleştiren bir çalışma ise Carlsson vd. (2007) tarafından yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmada yazılım geliştirme projelerinin bulanık çok-ölçütlü değerlendirme ile bulanık gerçek opsiyonlar değerlendirme modeli bütünleştirilmiştir. Çok ölçütlü model olarak bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi seçilmiştir. Bulanık AHP literatürde değişik amaçlar için kullanılmıştır: Bilgisayarla bütünleşik imalat sistemleri arasında seçimde grup karar verme (Bozdağ vd, 2003); yiyecek içecek servislerinin çok ölçütlü değerlendirme (Kahraman vd., 2004).

Yazılım geliştirme projeleri ile Ar-Ge projeleri arasında süreçler açısından benzerlikler bulunmaktadır. Dolayısıyla uygulamada Ar-Ge projeleri için olan gerçek opsiyon çalışmaları birebir kullanılacaktır. Bu çalışmada kullanılan bulanık gerçek opsiyon değerlendirme modeli (BUGOD) Wang ve Hwang'ın (2007) değerlendirme modelini temel almaktadır. Yazılım geliştirme projelerinin yapısı gereği Carlsson'un tek evreli modeli yerine Wang ve Hwang'ın (2007) çok evreli modeli kullanılmıştır. Bu yüzden, yazılım geliştirme projelerini değerlemede başka opsiyonların şartlarına bağlı bileşik opsiyon değerlendirme modeli daha uygun olmaktadır.

Çalışmanın geri kalanı aşağıdaki gibi düzenlenmiştir: İkinci bölüm yazılım geliştirme projelerinin değerlendirme vasıflarını ve problemin hiyerarşisini içermektedir. Ardından gelen üçüncü bölümde, kullanılan bulanık AHP yöntemi verilmektedir. Dördüncü bölümde ise bulanık gerçek opsiyon değerlendirme (BUGOD) modeli incelenmektedir. Bütünleşik modelin adımları bölüm beşte verilmiştir. Altıncı bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlara ve yapılabilecek çalışmalara değinilmiştir.

2. YAZILIM GELİŞTİRME PROJELERİNİN DEĞERLEME VASIFLARI

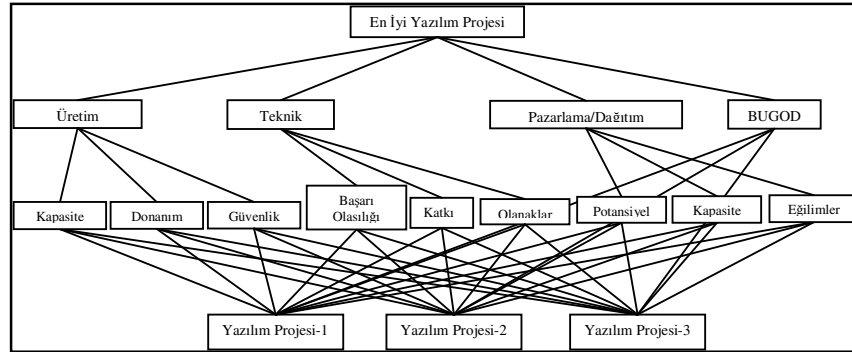
Yazılım geliştirme projelerinin çok ölçütlü modellerle seçimi konusunda çok fazla kaynak olmamasından bu konuya en yakın süreçlere sahip olan Ar-Ge projelerinin seçim ölçütleri ele alınacaktır. Liberatore (1987) Ar-Ge projelerinin seçimi için olan AHP yönteminde dört asıl ölçüt (üretim, teknik, pazarlama, finansal) ve dokuz alt ölçüt kullanmıştır. Kuei vd. (1994) yedi adet ölçüt kullanmıştır: Kalite rekabeti, karmaşıklık düzeltilmesi, farklılık düzeltilmesi, belirsizlik yönetimi, tedarik-dağıtım genişletme yetisi, zaman yönetimi ve bilgi yönetimi. Daha sonra, Brenner (1994) Ar-Ge projelerinin önceliklendirilmesi için beş farklı asıl ölçüt (stratejik,

müşteri/pazarlama, ürün, şirket ve rakipler) ve ondört alt ölçüt (sistemler, satışlar, yarar v.b.) kullanmıştır.

Yukarıda verilen sınıflandırmaları da dikkate alarak yazılım geliştirme projeleri için oluşturulan ölçütler Tablo 1’de verilmiştir. Bu ölçütlerin hiyerarşisi ise Şekil 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Yazılım geliştirme projeleri için değerlendirme ölçütleri.

Asıl ölçütler	Alt ölçütler	Açıklama
Üretim (ÜR)	Kapasite (ÜK)	Yazılım üretiminde var olan kapasite ile uyumlu çalışan sayısı ve yetenekleri
	Donanım (ÜD)	İlave bilgi donanımına gereksinim ve sistem esnekliği
	Güvenlik (ÜG)	Yazılımın gerekli güvenlik kurallarına uygunluğu
Teknik (TE)	Başarı Olasılığı (TB)	Teknik başarının olasılığı
	Katkı (TK)	Şirketin teknik bilgi birikimine katkı
	Olanaklar (TO)	Yazılımı geliştirme için kullanılabilir teknik olanaklar
Pazarlama / Dağıtım (PA)	Potansiyel (PP)	Rakiplere karşı ticari başarı olasılığı, müşteri kabulü
	Kapasite (PK)	Beklenen satış hacmi ve pazar payı
	Eğilimler (PE)	Müşterinin gelecek tercihlerine yeterlilik
BUGOD	-	Yazılım projelerinin bulanık gerçek opsiyon değeri



Şekil 1. Alternatiflerin ve ölçütlerin hiyerarşisi.

3. BULANIK AHP

Saaty'nin (1980) geliştirdiği AHP yöntemi, geliştirildiği dönemden sonra çok fazla sayıda problemde kullanılmıştır. Buckley (1985) bulanık kıyas oranları kullanarak klasik AHP yöntemini bulanık olarak çözme yöntemini önermiştir. Bu çalışmada yamuk bulanık sayılar kullanıldığından Buckley'in bu çalışması tercih edilmiştir. Adımları kısaca aşağıda gösterilmiştir:

Adım 1: Karar verici ile görüşüp elemanları $\tilde{r}_{ij} = (k_{ij}, l_{ij}, m_{ij}, n_{ij})$ (tüm i ve j 'ler yamuk bulanık sayılardır) olan C kıyas matrisini elde edin.

Adım 2: Bulanık ağırlıklar (w_i) aşağıdaki gibi hesaplanabilir: Her bir satır için geometrik ortalama şu şekilde alınır:

$$\tilde{z}_i = \left[\prod_{j=1}^n \tilde{r}_{ij} \right]^{1/n}, \text{ her } i \text{ değeri için} \quad (1)$$

Bulanık ağırlık (w_i) aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$w_i = \tilde{z}_i \otimes \left[\sum_{j=1}^n \tilde{z}_j \right]^{-1} \quad (2)$$

Adım 2 bütün seviye performans dereceleri için tekrar edilir.

Adım 3: Bulanık ağırlıklar ve bulanık performans dereceleri bir araya getirilir.

Bulanık yarar, $\tilde{U}_i, \forall i$, aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\tilde{U}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j \tilde{r}_{ij}, \forall i \quad (3)$$

Bahsedilen yamuk bulanık sayılı AHP adımlarıyla bulanık gerçek opsiyon değerlendirme bütünleştirilerek yeni bir model elde edilecek ve bu model yazılım geliştirme projeleri değerlendirme için kullanılacaktır.

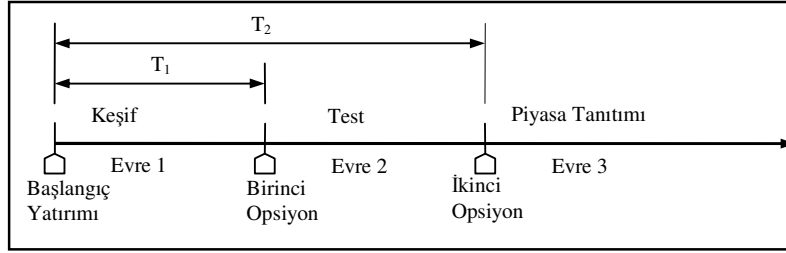
4. BULANIK GERÇEK OPSİYON DEĞERLEME MODELİ

Yazılım geliştirme projelerinde çoğunlukla birkaç evre vardır ve her bir evrenin sonunda karar verici opsiyonu bitirmeye ya da devam ettirmeye karar vermek zorundadır. (yani projeyi durdurmak ya da ertelemek seçeneği). Teknik olarak projede eğer başarıya ulaşırsa devam ettirme üzerine olan opsiyon devreye sokulur ve daha fazla yatırım yapılır. Fakat buna karşılık eğer proje başarısız olursa daha fazla yatırım yapmaya gerek yoktur ve böylece yazılım geliştirme projesinin sermaye yatırım maliyetinin aşağı yönlü risk limitine ulaşılmış olur. Bu aşamaya kadar yapılan harcama finansal opsiyonlardaki opsiyon primine karşılık gelir. Şekil 2'de 3 evreli bir yazılım geliştirme projesinin örneği verilmiştir. Evre 1 keşif aşamasıdır, arkasından gelen evre ise yazılımı test aşamasıdır. Son olarak üçüncü evre ise piyasa tanıtımından oluşur.

Bu çalışmada, Wang ve Hwang'ın (2007) Geske bileşke opsiyon modeli temeline dayanan bulanık gerçek opsiyon modeli, bulanık AHP'de finansal vasfın değerlemesinde kullanılacaktır.

Bu çalışmada Şekil 2'de gösterilen üç evreli yazılım geliştirme projesi incelenecektir. Burada $\tilde{C}_i, i=1, 2, 3$ evreleri için yatırım maliyetinin şimdiki değeri

ve \tilde{S} ise piyasa tanıtımı yapıldıktan sonra projenin sağlayacağı gelirin şimdiki değeri olsun (Wang ve Hwang, 2007). $\tilde{C}_i (i = 1, 2, 3)$ ve \tilde{S} bulanık sayılar olmalıdır. Proje için birinci ve ikinci opsiyonların vade bitim süreleri sırasıyla T_1 ve T_2 olsun. Yazılım geliştirme projesinin bulanık gerçek opsiyon değeri Eşitlik (4) ile hesaplanır (Wang ve Hwang, 2007):



Şekil 2. Yazılım geliştirme sürecinin opsiyon düşüncesi (Wang ve Hwang, 2007).

$$\tilde{V} = \tilde{S}e^{-\delta T_2} M(u_1; v_1; \sqrt{T_1/T_2}) - \tilde{C}_3 e^{-r T_2} M(u_2; v_2; \sqrt{T_1/T_2}) - \tilde{C}_2 e^{-r T_1} N(u_2) \quad (4)$$

burada

$$u_1 = \frac{\ln[E(\tilde{S})/S^e] + (r - \delta + \sigma^2/2)T_1}{\sigma\sqrt{T_1}}, \quad (5)$$

$$u_2 = u_1 - \sigma\sqrt{T_1}, \quad (6)$$

$$v_1 = \frac{\ln[E(\tilde{S})/E(\tilde{C}_3)] + (r - \delta + \sigma^2/2)T_2}{\sigma\sqrt{T_2}}, \quad (7)$$

$$v_2 = v_1 - \sigma\sqrt{T_2}, \quad (8)$$

Bu eşitliklerde temettü kârı δ ile; faiz oranı r ile; proje getirisinin oynaklığı σ ile; birikimli normal dağılım N ile; u ve v alt ve üst integral limit değerlerine sahip iki değişkenli birikimli normal dağılım $M(u, v, \rho)$ ile; ve son olarak bağıntı katsayısı ρ ile gösterilmiştir.

Proje getirisinin risk yansız beklentisi Eşitlik (4)'ün ilk teriminde verilmiştir. İkinci terim T_2 anındaki beklenen yatırımı gösterirken, sonuncu terim T_1 anındaki beklenen yatırımı göstermektedir. Proje getirisindeki değişimin oranı olan oynaklığı (σ), $\sqrt{\text{Var}(\tilde{S})}/E(\tilde{S})$ ifadesi ile hesaplayabilirken temettü kârını (δ), $E(\tilde{C}_1)/E(\tilde{S})$ ifadesiyle hesaplarız. \tilde{A} bulanık sayısının olabilirlik ortalaması

($E(\tilde{A})$) ve varyansı ($\text{Var}(\tilde{A})$); (9) ve (10) Eşitlikleriyle hesaplanır (Wang ve Hwang, 2007):

$$E(\tilde{A}) = \frac{a+b}{2} + \frac{\beta-\alpha}{6}, \quad (9)$$

$$\text{Var}(\tilde{A}) = \frac{(b-a)^2}{4} + \frac{(b-a)(\alpha+\beta)}{6} + \frac{(\alpha+\beta)^2}{24}, \quad (10)$$

S^c kritik değerini aşağıdaki eşitlikten enterpolasyonla buluruz.

$$S^c e^{-\delta(T_2-T_1)} N(c_1) - E(\tilde{C}_3) e^{-r(T_2-T_1)} N(c_2) - E(\tilde{C}_2) = 0 \quad (11)$$

burada

$$c_1 = \frac{\ln[S^c / E(\tilde{C}_3)] + (r - \delta + \sigma^2 / 2)(T_2 - T_1)}{\sigma \sqrt{T_2 - T_1}}, \quad (12)$$

$$c_2 = c_1 - \sigma \sqrt{T_2 - T_1}. \quad (12)$$

Proje değerinin hesabını basitleştirmek için, (5, 7, 11, 12) Eşitliklerinde tanımlanan evre 2 ve evre 3'ün yatırım maliyetleriyle (\tilde{C}_2 ve \tilde{C}_3) gelecek proje getirisi (\tilde{S}) olabirlik ortalamaları ve varyans değerleriyle yer değiştirilir (Carlsson ve Fullér, 2003).

5. MODELİN ADIMLARI

Modelimizin iskeletini üç ve dördüncü bölümün formüllerini kullanarak aşağıdaki adımlarla ortaya çıkarabiliriz:

Adım 1. Anketlerden elde edilen yamuk bulanık sayılardan oluşan karşılıklı kıyas matrisini oluştur.

Adım 2. Her bir satırın geometrik ortalamasını Eşitlik (1) ile bul.

Adım 3. Bulanık ağırlık w_i Eşitlik (2) ile hesapla. Adım 3'ü bütün seviye performans dereceleri için tekrar ettir.

Adım 4. Bulanık ağırlıklar ve bulanık performans derecelerini bir araya getir. Bulanık yararları (BUGOD hariç), $\tilde{U}_i, \forall i$, Eşitlik (3) yardımıyla hesapla.

Adım 5. Bulanık gerçek opsiyon değeri için; $E(\tilde{S})$, $E(\tilde{C}_1)$, $E(\tilde{C}_2)$, $E(\tilde{C}_3)$ ve $\text{Var}(\tilde{S})$ değerlerini her bir alternatif için ayrı ayrı (9) ve (10) Eşitlikleriyle hesapla. Sonra S^c değerini enterpolasyonla bul.

Adım 6. u_1 , u_2 , v_1 ve v_2 değerlerini her bir alternatif için (5-8) Eşitlikleriyle hesapla.

Adım 7. Her bir alternatif için \tilde{V} değerlerini Eşitlik (4) ile bul. Sonra alternatiflerin $E(\tilde{V})$ değerlerini hesapla ve her bir alternatifi, bu değerlerin toplamına $(\sum_{i=1}^n E(\tilde{V}_i))$ bölerek o alternatifin ağırlığını (w_i) hesapla.

Adım 8. Son olarak bu ağırlıkları bulanık AHP'de son adım ağırlıkları satırına yazarak en son \tilde{U}_i değerlerini bul ve bunları sıralayarak en iyi alternatifi elde et.

6. UYGULAMA

Yazılım sektöründe önder olmaya aday, stratejik hedeflerini iyi belirlemiş, yetenekli çalışanları ve çok geniş uzgörüye sahip patronu olan bir yazılım şirketinde bahsi geçen model uygulanmıştır. Şirketin hedefleri büyük ve henüz yeni gelişim aşamasında olduğundan adı bundan sonra ABC yazılım şirketi olarak anılacaktır.

Şirket, stratejik hedefleri arasında yer alan, 3 adet değişik ticari yazılım projesi arasından, en uygununu seçmek istemektedir: Yazılım Geliştirme Projesi 1 (Y. G. P. 1), herhangi bir kurumun insan kaynakları planlama, işe alım ve yerleştirme süreçlerini yöneten ticari bir yazılımdır. Y. G. P. 2, herhangi bir üretim kurumunun üretim planlama takip ve kontrolünü üstlenen ticari bir yazılımdır. Y. G. P. 3 ise herhangi bir ticari kaygılı kurumda Faaliyet tabanlı maliyetlendirme / yönetim süreçlerini uygulayacak yazılımdır.

Uygulama iki aşamalı yapılmıştır. İlk aşamada projeler ile ilgili finansal veriler alınmıştır. Verilerin bir kısmının belirsizliğinden, bir kısmının da şirketin dışarıya kesin rakam yansıtmak istememesi sebebiyle bilgiler yamuk bulanık sayılar olarak elde edilmiştir. İkinci aşamada ise anket değerlendirmesi yapılmıştır. Şirket içerisinden uzmandan, projelerin karşılıklı olarak ölçütler açısından kıyaslanması istenmiştir. Daha sonra parasal ve parasal olmayan ölçütler tek bir tabloda birleştirilerek şirket açısından en uygun yazılım geliştirme projesi seçilmiştir. İlk aşama için elde edilen yamuk bulanık sayılı finansal veriler Tablo 2'de verilmiştir. Değerler bin YTL cinsinden olup faiz oranı olarak çalışmanın yapıldığı andaki TCMB oranı alınmıştır ($r = \%15,25$). Opsiyon değerini azaltan temettü oranı, yani gerçek opsiyonlarda rakiplerin piyasaya girmesi durumundaki kârlılıkta azalışı ifade eden δ ise $E(\tilde{C}_1)/E(\tilde{S})$ formülüyle hesaplanmıştır.

İlk sütunda birbirine alternatif projelerin kodları, ikinci sütunda; projelerin her birinin ayrı ayrı tanıtımdan sonraki getiri tahmini, üçüncü sütunda; bu tahminlerin Eşitlik (9) ile hesaplanmış beklenen değeri, dördüncü sütunda; yazılımın keşfi, yani bütün işlevleriyle meydana getirilmesi aşamasının maliyetinin şimdiki değeri, beşinci sütunda; bu maliyetin beklenen değeri, altıncı sütunda ortaya konan yazılımın eksiklerinin ve hatalarının belirlenebilmesi için olan test aşamasının maliyetinin şimdiki değeri, yedinci sütunda bu maliyetin beklenen değeri, sekizinci sütunda projenin piyasa tanıtımındaki pazarlama maliyetlerinin şimdiki değeri, onuncu sütunda bu maliyetin beklenen değeri, onbirinci sütunda ilk opsiyonun vade bitim süresi, onikinci sütunda ise ikinci opsiyonun vade bitim süresi yer almaktadır.

Tablo 2. Yazılım geliştirme projeleri finansal verileri.

Projeler	Proje taitunundan sonra proje getirisinin ŞD		Evre 1 için yatırım maliyetinin ŞD		Evre 2 için yatırım maliyetinin ŞD		Evre 3 için yatırım maliyetinin ŞD		T_f	T_2
	ξ	$E(\xi)$	ξ_1	$E(\xi_1)$	ξ_2	$E(\xi_2)$	ξ_3	$E(\xi_3)$		
Y.G.P.1	(60, 65, 70, 75)	67.50	(13, 15, 18, 21)	16.67	(1, 3, 5, 7)	4.00	(3, 4, 5, 6)	4.50	1	2
Y.G.P.2	(49, 50, 55, 57)	52.67	(9, 10, 12, 13)	11.00	(1.5, 2, 3, 3.5)	2.50	(3, 6, 8, 11)	7.00	1	1.5
Y.G.P.3	(83, 85, 90, 92)	87.50	(23, 25, 30, 32)	27.50	(3, 4, 5, 6)	4.50	(8, 10, 15, 17)	12.50	1.5	2

Elde bulunan bu veriler ışığında (5–13) arası Eşitliklerdeki bileşenler bulunduktan sonra Eşitlik (4) ile bütün projelerin ayrı ayrı bulanık gerçek opsiyon değerleri bulunur. Bu değerler sırasıyla aşağıda verilmiştir, hemen arkasından da bulanık AHP’de kullanılacak normleştirilmiş değerler sunulmuştur:

$$\begin{aligned}\tilde{V}_{Y.G.P.1} &= (26.2, 31.2, 37.2, 42.7), & \tilde{V}_{Y.G.P.2} &= (24.1, 27.6, 33.7, 38.0), \\ \tilde{V}_{Y.G.P.3} &= (27.0, 30.3, 37.4, 40.8). \\ \tilde{r}_{iY.G.P.1} &= (0.2155, 0.2925, 0.4151, 0.5530), \\ \tilde{r}_{iY.G.P.2} &= (0.1981, 0.2548, 0.3763, 0.4921), \\ \tilde{r}_{iY.G.P.3} &= (0.2220, 0.2796, 0.4179, 0.5282).\end{aligned}$$

Buckley’in bulanık AHP yönteminde kullanılmak üzere belirlenen ölçütlerin değerleri ise Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Karşılıklı kıyas ölçeği.

Dilsel İfade	Sayısal ifade
Çok daha az önemli	(0.167, 0.200, 0.250, 0.333)
Daha az önemli	(0.250, 0.333, 0.500, 1.000)
Daha az eşit	(0.500, 0.667, 0.667, 1.000)
Tam eşit	(1.000, 1.000, 1.000, 1.000)
Daha fazla eşit	(1.000, 1.500, 1.500, 2.000)
Daha önemli	(1.000, 2.000, 3.000, 4.000)
Çok daha önemli	(3.000, 4.000, 5.000, 6.000)

Uzmanla doldurması için verilen ankette yer alan sorulardan; “En iyi yazılım geliştirme projesinin seçimi” genel hedefine yönelik olan kısmı aşağıda verilmiştir:

Soru1. Üretim (*ÜR*) ölçütünü Teknik (*TE*) ölçütü ile kıyasladığınızda ne kadar önem arz eder?

Soru2. Üretim (*ÜR*) ölçütünü Pazarlama / Dağıtım (*PA*) ölçütü ile kıyasladığınızda ne kadar önem arz eder?

Soru3. Üretim (*ÜR*) ölçütünü bulanık gerçek opsiyon değerlendirme (*BUGOD*) ölçütü ile kıyasladığınızda ne kadar önem arz eder?

Soru4. Teknik (*TE*) ölçütünü Pazarlama / Dağıtım (*PA*) ölçütü ile kıyasladığınızda ne kadar önem arz eder?

Soru5. Teknik (*TE*) ölçütünü bulanık gerçek opsiyon değerlendirme (*BUGOD*) ölçütü ile kıyasladığınızda ne kadar önem arz eder?

Soru6. Pazarlama / Dağıtım (PA) ölçütünü bulanık gerçek opsiyon değerlendirme (BUGOD) ölçütü ile kıyasladığınızda ne kadar önem arz eder?

Tablo 4. Anketlerden elde edilen bulanık ağırlık değerleri

	$\tilde{W}_1(UR)$	$\tilde{W}_2(TE)$	$\tilde{W}_3(PA)$	$\tilde{W}_4(BUGOD)$
	(0.1892, 0.2983, 0.3617, 0.5157)	(0.0796, 0.1183, 0.1587, 0.3066)	(0.1591, 0.2287, 0.2483, 0.3646)	(0.1892, 0.2696, 0.3268, 0.4336)
$\tilde{W}_{11}(\tilde{U}K)$	(0.2599, 0.3907, 0.4927, 0.6550)			
$\tilde{W}_{12}(\tilde{U}D)$	(0.1637, 0.2462, 0.3104, 0.5198)			
$\tilde{W}_{13}(\tilde{U}G)$	(0.2063, 0.2709, 0.2984, 0.4126)			
$\tilde{W}_{21}(\tilde{T}E)$		(0.2180, 0.4073, 0.5460, 0.9130)		
$\tilde{W}_{22}(\tilde{T}K)$		(0.1730, 0.3108, 0.4167, 0.7247)		
$\tilde{W}_{23}(\tilde{T}O)$		(0.0865, 0.1358, 0.2083, 0.4565)		
$\tilde{W}_{31}(\tilde{P}P)$			(0.1730, 0.3108, 0.4167, 0.7247)	
$\tilde{W}_{32}(\tilde{P}K)$			(0.2180, 0.4073, 0.5460, 0.9130)	
$\tilde{W}_{33}(\tilde{P}E)$			(0.0865, 0.1358, 0.2083, 0.4565)	

Uygulanan anket sonucu elde edilen BUGOD için bir önceki sayfada hesaplanan \tilde{r}_{ij} değerlerini içermeyen sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. BUGOD sütunu altındaki hücrelerin boş olmasının sebebi bu ölçütün alt ölçütlerinin bulunmamasıdır. Bu ölçütün değerleri doğrudan finansal hesapla bulunduğu için Tablo 4'te en üst satırda bulunan BUGOD ağırlık değerleri ile bir önceki sayfada hesaplanan \tilde{r}_{ij} değerleri çarpılarak BUGOD ölçütünün sağladığı katkı hesaplanır.

Bulanık AHP adımlarının son aşaması olan BUGOD ağırlıkları da hesaplandıktan sonra her bir proje için bulunan faydalar aşağıda verilmiştir:

$$\tilde{U}_{Y.G.P.1} = (0.0809, 0.2217, 0.3851, 1.2699),$$

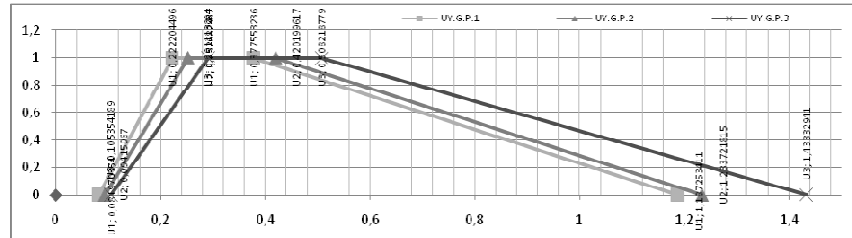
$$\tilde{U}_{Y.G.P.2} = (0.0843, 0.2316, 0.4092, 1.2790),$$

$$\tilde{U}_{Y.G.P.3} = (0.1023, 0.2972, 0.5412, 1.7161).$$

Lee ve Li'nin (1988) bulanık sayı sıralama yöntemine göre yukarıda elde edilenleri sıralarsak;

$$\tilde{U}_{Y.G.P.3} > \tilde{U}_{Y.G.P.2} > \tilde{U}_{Y.G.P.1}$$

bulunur (Şekil 3).



Şekil 3. Karşılaştırılan yamuk bulanık sayılar

Buradan da anlaşılacaktır ki faaliyet tabanlı maliyetlendirme / yönetim süreçlerini uygulayacak yazılım projesi şirkete her açıdan fazla kazanç sağlayacaktır. Tabidir ki bu alanda Türkiye'de yerel bir yazılım olmaması şirketin bu konudaki istekliliğini artırmıştır.

7. SONUÇ

Bilişim yatırımlarında doğru yazılım geliştirme projesini tam bir şekilde seçmek vazgeçilmezdir. Şirketin geleceği doğru kararlara dayandığından tüm çalışan uzmanlar bu kararlara ortak olmalıdır. Karar vericiler bulanık küme teorisini kullanarak belirsiz ve esnek proje bilgilerini daha güçlü ifade ederler. Bu çalışmada, yazılım geliştirme projelerini kıyaslamak için uzmanların görüşlerini de dikkate alan BUGOD ile bütünleştirilmiş bulanık AHP kullanılmıştır. Eksik bilgi durumunda, klasik GOD yetersiz sonuçlar üretebilir. BUGOD bu yetersizliklerin üstesinden

gelebilir ve riskli projelerin değerlemesini artırır. Klasik AHP’de alternatiflerin değerlendirme süreci, insan değerlemesi sürecinin kesinden çok bulanık olmasından ötürü şüpheli sonuçlar üretebilir. Bulanık AHP bu zorlukların üstesinden gelebilir ve karar vericiler arasındaki farklılıkları çözmekte yardımcı olur. Önerilen yöntem karar vericilere belirsiz yazılım geliştirme ortamında proje yatırımları arasında değiş-tokuş çözümlemesi ve toplam portföy değeri konusunda yardımcı olabilir.

Çalışmanın bir sonraki adımı olarak, FAHP yerine bulanık TOPSIS veya bulanık VIKOR gibi başka birçok ölçütlü yöntem kullanılması önerilmektedir. Elde edilen sonuçlar bu çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılabilir.

8. KAYNAKÇA

Bozdağ, C. E., Kahraman, C., Ruan, D., (2003). Fuzzy group decision making for selection among computer integrated manufacturing systems. *Computers in Industry* 51, 13–29.

Brenner, M. S., (1994). Practical R&D project prioritization. *Research Technology Management* 37, 38–42.

Buckley, J.J., (1985). Fuzzy hierarchical analysis, *Fuzzy Sets and Systems* 17, 233–247.

Carlsson, C., Fullér, R., (2003). A fuzzy approach to real option valuation. *Fuzzy Sets and Systems* 139, 297–312.

Carlsson, C., Fullér, R., Heikkilä, M., Majlender, P., (2007). A fuzzy approach to R&D project portfolio selection. *International Journal of Approximate Reasoning* 44, 93–105.

Chen, H. H., Lee, A. H. I., Tong, Y., (2006). New product mix selection for a high technology company in a technology innovation network. *Journal of Technology Management in China* 1, 174–189.

Chen, S. M., (1999). Evaluating the rate of aggregative risk in software development using fuzzy set theory. *Cybernetics & Systems* 30, 57–75.

Kahraman, C., Cebeci, U., Ruan D., (2004). Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey. *International Journal of Production Economics* 87, 171–184.

Kuei, C. H., Lin, C., Aheto, J., Madus, C. N., (1994). A strategic decision model for the selection of advanced technology. *International Journal of Production Research* 32, 2117–2130.

Lee, E.S., Li, R.L., (1988). Comparison of fuzzy numbers based on the probability measure of fuzzy events. *Computer and Mathematics with Applications* 15, 887-896.

Liberatore, M. J., (1987). An extension of the analytic hierarchy process for industrial R&D project selection and resource allocation. *I. E. E. Transactions on Engineering Management* 34, 12–18.

Saaty, T. L., (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, Wiley, New York.

Wang, J., Hwang, W. L., (2007). A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using a real options valuation model. *Omega* 35, 247–257.

Zadeh L., (1965). Fuzzy sets, *Information Control* 8, 338–353.