

Ar-Ge projelerinin gerçek opsiyon değerlendirme bütünleşik bulanık çok ölçütlü modelle seçimi

Abdullah Çağrı TOLGA*, Cengiz KAHRAMAN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Araştırma ve geliştirme; yeni bilgiler elde etmek ya da mevcut bilgileri ortaya çıkarmak amacıyla yapılan ve bilginin sistematik olarak toplanmasını, analizini ve yorumunu gerektiren bir çalışmadır. Ar-Ge'nin başlıca görevi teknolojik gelişmeleri kullanarak işletmenin devamlı yenilenmesini sağlamak ve bu sayede kârın sürekliliğini sağlamak hatta artırmaktır. Yenilikçi fikir, değişim ve gelişim, yepyeni teknolojiye sahip olmak rekabette üretim verimi, fiyat, reklam ve pazarlama kadar önemlidir. Araştırma-geliştirme projeleri seçimi, gelişmekte olan ülkelerdeki işletmelerde gerek kaynak, gerekse zaman kısıtları açısından gelişmiş ülkelere göre daha önemlidir. Doğru ve şirket içinde sinerji yaratacak projelerin seçimi kaynakların verimli şekilde kullanılmasını sağlayacaktır. Ar-Ge projelerinin doğası gereği kurumsal getirileri çok boyutludur ve kazançları risklidir. Bu çalışma, Ar-Ge proje seçim sürecinin çok boyutlu tarafını incelemektedir. Ar-Ge proje seçenekleri 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. Gerçek opsiyon yaklaşımı seçim sürecinin riskli tarafını hesaplamaya yardımcı olur. Gerçek opsiyon, akit fiyatı olarak adlandırılan önceden belirlenmiş maliyette, opsiyonun süresi olarak adlandırılan önceden belirlenmiş bir zaman diliminde, bir eylem (erteleme, genişletme, küçültme ya da bırakma) için harekete geçme hakkıdır; zorunluluk içermez. Değerleme sürecindeki bir diğer ele alınması gereken konu ise belirsizliktir. Literatürde, yeterli bilginin olmadığı durumlara yönelik bulanık gerçek opsiyon değerlendirme modelleri geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşımı daha iyi gösterebilmek amacıyla yapılan gerçek bir çalışma da uygulama bölümünde anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ar-Ge projeleri, gerçek opsiyonlar, bulanık AHP, çok ölçütlü seçim.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Abdullah Çağrı TOLGA. ctolga@gsu.edu.tr; Tel: (212) 227 44 80 dahili: 433.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Araştırma geliştirme projelerinin değerlendirilmesine bulanık gerçek (reel) opsiyon yaklaşımı" adlı doktora tezin-den hazırlanmıştır. Makale metni 04.02.2009 tarihinde dergiye ulaşılmış, 23.02.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.11.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Selection of R&D projects with real options integrated fuzzy multi-criteria model

Extended abstract

Research and development; is a term of activity that a foundation develops new products, processes or services by the way of employing scientists and engineers in accordance with the foundation's workplace. In other words, R&D is a work that is made to reach new information or discover the existing know-how by gathering the data systematically, analyze and make comment on these data. The essential duty of R&D is to use the technological developing for carrying on and if possible augmenting the ability of the company's profitability. In the competition process, innovation, evolution, development, and having brand new technology are as important as production efficiency, price, and advertisement and marketing.

Phases of R&D projects could be defined: Phase Zero: Finding and eliminating raw ideas, at this beginning phase new commercially hopeful ideas are produced. These ideas are selected and transformed to suitable, consistent development projects. Phase One: Conceptual Research, in that phase, constraints and contents of raw ideas are understood. How to produce the ideas in hand from laboratory conditions to practice are made in that phase. Phase Two: Feasibility, the subject of this phase is to solve known problems and produce the cost and performance data for engineers and salesperson to undertake the research. Phase Three: Development, at the development phase, required technical properties, specifications, and production processes are determined to be able to produce the product. Phase Four: Early Commercialize, in general early commercialize is very dangerous and risky transition phase for financial supporters. The dissatisfaction related with this phase is determinant and highly anticipated. If the problems and troubles could not be defined well, though the market says contrary, presentation of the product should be postponed.

While the valuation methods of R&D projects are evolved from basic to hard, they conducted a long process. At that required process the valuation methods are: Classical Methods, Portfolio methods, Organizational decision making methods, and Multi-criteria evaluation methods.

Real options are based on financial options. An option gives the holder the right to buy or sell the underlying asset by a certain date for a certain price but contains no obligation. A real option is a right to act an action (defer, expand, contract or abandon) in the predetermined cost called strike price and in the predetermined period called expiration time, beside does not contain an obligation. In this dissertation, Black-Scholes pricing method investigated under fuzziness will be utilized.

In literature, fuzzy real option valuation models are developed to the lack of exact data situations. At first, a heuristic real option valuation process is developed for fuzzy state. At that process, present values of expected costs and expected cash flows are denoted with trapezoidal fuzzy numbers. The most suitable time for the exercise date of the option is determined by the help of possibilistic mean value and variance. In another study, fuzzy zero-one integer programming and fuzzy real option valuation are used in the selection of R&D portfolio. In these studies, policies that can be support for decision are considered in the selection of best R&D project process in a corporate.

The mostly used method AHP is capable of handling multiple objectives for R&D projects and decomposing the problem into multilevel structure or hierarchy. Its data requirement is minimal and both qualitative and quantitative data can be considered and compared simultaneously in the model. Real circumstances in daily life are very often uncertain and vague in several ways. When there is a lack of information, a system might not be known completely. So, fuzzy AHP is required in these circumstances. Fuzzy real option valuation model and fuzzy AHP methods are integrated in this work. Qualitative and quantitative sides of the method are met together.

The integrated method mentioned above is applied in a corporation owns respectable place in electronic industry in Turkey. Six R&D projects of this company are evaluated by using the concerned methods and the first one in the order is selected. Selection made by that method is shared with the company, however because of the breaking crisis the option to delay has to be used.

Keywords: R&D projects, Real options, fuzzy AHP, multi-criteria selection.

Giriş

Araştırma ve geliştirme; herhangi bir kurumun bilim adamları ve mühendisler istihdam etmek suretiyle, kurumun çalışma alanı doğrultusunda bilim ve teknolojiyi yeni mahsuller, süreçler ya da hizmetler geliştirmede kullanmak üzere yaptığı faaliyet ve çalışmaları tanımlayan terimdir. Ar-Ge'nin başlıca görevi teknolojik gelişmeleri kullanarak kurumun kâr edebilirliğini devamlı şekilde yenilemek ve artırmaktır. Yenilikçi fikir, değişim ve gelişim, yepyeni teknolojiye sahip olmak rekabette üretim verimi, fiyat, reklam ve pazarlama kadar önemlidir.

Temel olarak, bilim ya da teknoloji alanında teknik bilgi birikimini ya da kabiliyeti geliştirmeyi arayan ve sorgulayan projeye Ar-Ge projesi denir. Var olan süreci, malzemeyi, cihazı, ürünü ya da hizmeti değer katan şekilde iyileştirmeye ya da oluşturmaya yarayan projelere de Ar-Ge projesi gözüyle bakılır. Bununla beraber yeni bir şeyler mutlaka oluşturulmalıdır ya da değer katan iyileştirmeler yapılmalıdır ki bilimsel ya da teknolojik değişiklikler ve ilerlemeler meydana gelsin. Ar-Ge projeleri nitelik ve kapsam bakımından üçe ayrılmaktadır (Wasti, 1999): *Temel araştırma*; Teorik yeni bilgi ve anlayışın elde edilmesi amacıyla yürütülen Ar-Ge çalışmalarıdır. Sanayinin gelecekteki faaliyet alanları için yararlı bilgiler ortaya çıkarabilme olasılıkları olmasına rağmen belirli bir ticari amaç gütmeyenler. *Uygulamalı araştırma*; Özellikle belirli uygulamalara ve ticari amaçlara yönelik olarak mamuller ve üretim süreçleri üzerinde yapılan ve yeni bilgilerin elde edilmesine yol açan çalışmalardır (Barutçugil, 1981). *Temel ve uygulamalı araştırma*; kurumlarda, uygulamalı araştırma ile geliştirme çalışmaları birlikte yürütülür. Geliştirme, araştırmalardan veya uygulamadaki deneyimlerden sağlanan bilgilere dayalı olarak yürütülen sistematik çalışmalardır.

Ar-Ge projeleri temel olarak belirli aşamalardan geçerler. Aşamalara ayırarak projeleri yönetmek genel kabul gören ve aynı zamanda pratik olan bir yaklaşımdır. Değişik kuruluşlar bu aşamalara değişik adlar vermektedir ve sektörden sektöre, ya da projeden projeye bu adlar değişmektedir. Bu aşamalar: *Aşama Sıfır*; ham fikirlerin

bulunması ve elenmesi, *Aşama Bir*; kavramsal araştırma, *Aşama İki*: yapılabirlik, *Aşama Üç*; geliştirme, *Aşama Dört*; erken ticarileştirme, şeklindedir. Ar-Ge aşamaları her ne kadar yukarıda sıralı olarak gösterilmişse de araştırma gelişmiş bir aşamadan da başlayabilir.

Klasik kümeler doğaları gereği kesinlik içerirler. 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 muğlâktır. 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).

Literatürde Ar-Ge projesi temel değerlendirme yöntemleri çok çeşitlidir, fakat birçok ölçütü karşılıklı kıyaslar yoluyla dikkate alınabilmesi bakımından bu çalışmada bulanık çok ölçütlü yöntemlerden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılacaktır.

Saaty (1980) tarafından geliştirilen AHP yöntemi niteliksel ve niceliksel verileri aynı anda değerlendirilebilmesi ve karşılaştırabilmesi dolayısıyla çok kullanılan bir yöntemdir. Veri ihtiyacı çok az düzeydedir. Ar-Ge projeleri için çok amaçlı yöntemleri idare edebilmesi açısından ve problemi çok seviyeli bir yapıya ya da hiyerarşiye ayrıştırabilmesi açısından çok uygun bir yöntemdir. Bulanık AHP'de, bulanık sayılar, uzmanların tercih değerlemesi görüş açılarına karşı ölçümlerini karşılıklı kıyas matrisini oluştururken kullanılır. Bulanık terimi, iyi tanımlanmış sınırları olmayan faaliyet kümelerini ya da gözlemleri betimler.

Ar-Ge projelerinin değerlemesindeki ölçütlerin en önemlilerinden birisi de finansal ölçüttür. Değerleme sürecinde bu ölçütün karmaşık dinamik bir rolü olmasına rağmen çoğu araştırmacı basit bir bakış açısıyla hesaplara dâhil etmek-

tedir. 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 esnekliğinin dahil edilmesi 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 Ar-Ge laboratuvarı kurmak şirkete Ar-Ge yapma olanağı sağlar fakat gelecekte Ar-Ge projesi 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 olabirli ortalaması ve varyansı yardımıyla belirlemişlerdir. Wang ve Hwang (2007) en uygun Ar-Ge portföy seçimini belirlemek için bulanık sıfır-bir tamsayı programlama 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 ve diğerleri (2007) tarafından yapılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan bulanık gerçek opsiyon değerlendirme (BUGOD) modeli Wang ve Hwang'ın (2007) değerlendirme modelini temel almaktadır. Ar-Ge 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 Ar-Ge projelerinin de-

ğerleme ölçütlerini ve problemin hiyerarşisini içermektedir. Ardından gelen üçüncü bölümde, kullanılan bulanık AHP yöntemi verilmektedir. Dördüncü bölümde ise bulanık gerçek opsiyon değerlendirme modeli incelenmektedir. Bütünleşik modelin adımları bölüm beşte verilmiştir. Altıncı bölümde, yapılan uygulama adım adım incelenmiştir. Son bölümde ise uygulamadan elde edilen sonuçlara ve daha sonra yapılabilecek çalışmalara değinilmiştir.

Ar-Ge projelerinin değerlendirme ölçütleri

Endüstriyel Ar-Ge projeleri için değerlendirme ölçütleri literatürde değişik sınıflara ayrıştırılmıştır. Bu sınıflamaları inceledikten sonra olabilecek en iyi sınıflamayı ve hiyerarşiyi kurarak bundan sonraki problemlerimizdeki hiyerarşilerde kullanacağız.

Liberatore (1987) Ar-Ge projelerinin seçiminde AHP kullandığından, ölçütleri; dört ana ölçüt (üretim, teknik, pazarlama, finansal) ve dokuz alt ölçüt şeklinde belirlemiştir. Kuei ve diğerleri (1994) yedi ölçüt kullanmıştır, bunlar: kalite yarışı, karmaşıklık iyileştirmesi, çeşitlilik iyileştirmesi, belirsizlik yönetimi, dağıtım destek ilave becerisi, zaman yönetimi ve bilgi yönetimidir. Daha sonra Brenner (1994), Ar-Ge proje sıralaması için beş farklı ana ölçüt (stratejik, müşteri/pazarlama, ürün, şirket ve rakipler) ve ondört alt ölçüt (rejimler, satışlar, avantaj vb.) belirlemiştir. Yeni ürün geliştirme probleminde Chen ve diğerleri (2006) ise asıl ölçüt olarak; organizasyon/pazar, üretim kapasitesi, teknoloji ve mühendislik, on tane de alt ölçüt olarak; takım çalışması ve insan değerleri, hayatta kalan projelerin kapasitesi, teknolojik karakteristik vb. kullanmıştır.

Yukarıdaki literatür taramasından elde edilen ana ölçütler üretim, teknik, pazarlama/dağıtım ve BUGOD olarak belirlenmiştir. Alt ölçütler ise üretim ana ölçütü altında; üretim kapasitesi, üretim olanakları ve gereçleri, üretim sırasında işyeri güvenliği, üretimin çevreye duyarlılığı olarak belirlenmiştir. Buradaki üretimden kasıt Ar-Ge projesinin üretilmesidir. Teknik ana ölçütü için olan alt ölçütler ise teknik başarı olasılığı, teknik katkı, teknik zaman, teknik kaynaklardır. Pazarlama/dağıtım ana ölçütünün alt ölçütleri:

pazarlama iç dinamiği, pazarlama kapasitesi ve pazarlama eğilimleridir. BUGOD adından da anlaşılacağı üzere daha sonraki bölümlerde gösterilecek olan projelerin bulanık gerçek opsiyon değeridir. Bu değer hesaplamalarla elde edildikten sonra normalleştirilip yöntemle dâhil edilmektedir.

Bütün bu sıralanan sınıflandırmaları da dikkate alarak modelimizde Tablo 1'deki ölçütler kullanılacaktır. Bu ölçütlerin hiyerarşisi ise Şekil 1'de verilmiştir.

Bulanık 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 çözmek fikrini önermiştir. Bu çalışmada yamuk bulanık sayılar kullanıldığından Buckley'in bu çalışması tercih edilmiştir. Yamuk bulanık sayılarla bulanık AHP çözümü için Tolga ve Kahraman (2008) yeni bir yöntem önermişlerdir. Buckley'in bulanık AHP yönteminin adımları kısaca aşağıda gösterilmiştir:

Adım 1: Karar verici ile görüşüp elemanları $\tilde{t}_{ij} = (k_{ij}, l_{ij}, m_{ij}, n_{ij})$ (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:

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

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.

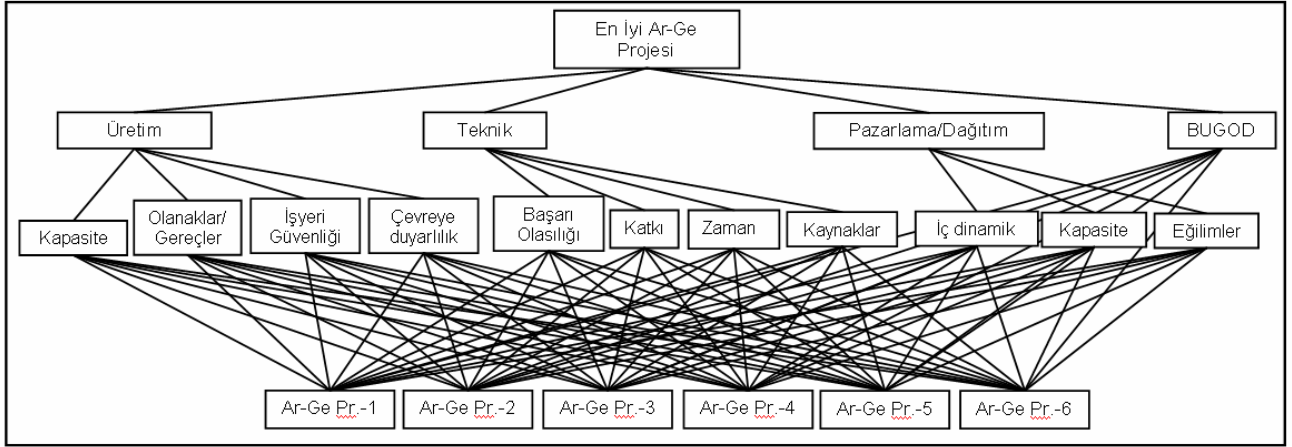
Adım 3: Bulanık ağırlıklar ve bulanık performans dereceleri bir araya getirilir. Bulanık yarar, $\tilde{U}_i, \forall i$, aşağıdaki formülle hesaplanır:

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

Bahsedilen yamuk bulanık sayılı AHP adımlarıyla bulanık gerçek opsiyon değerlendirilmesi bütünleştirilerek yeni bir model elde edilecek ve bu model Ar-Ge projeleri seçimi için kullanılacaktır.

Tablo 1. Ar-Ge projelerinin değerlendirme ölçütleri

Asıl ölçütler	Alt ölçütler	Açıklama
Üretim (ÜR)	Kapasite (ÜK)	Üretimdeki çalışan sayısı ve becerileri ve var olan kapasite ile uyumları
	Olanaklar / Gereçler (ÜO)	Ek aletlere ve olanaklara ihtiyaç ve sistem esnekliği
	İşyeri Güvenliği (Üİ)	İşyerinin güvenliği
Teknik (TE)	Çevreye Duyarlılık (ÜÇ)	Projenin çevre koşullarına gösterdiği saygı
	Başarı Olasılığı (TB)	Teknik açıdan başarı olasılığı
	Katkı (TK)	Şirketin Ar-Ge alanındaki bilgi birikimine katkısı
	Zaman (TZ)	Yeni ürünün Ar-Ge aşamasındaki süre
Pazarlama / Dağıtım (PA)	Kaynaklar (TA)	Araştırma geliştirme için uygun teknik kaynaklar
	İç Dinamik (Pİ)	Rakiplere karşı ticari başarı olasılığı, müşteri kabulü
	Kapasite (PK)	Olası satış hacmi ve pazar payı
BUGOD	Eğilimler (PE)	Müşterinin gelecek tercihlerine elverişlilik
	-	Ar-Ge projelerinin bulanık gerçek opsiyon değeri



Şekil 1. Seçeneklerin ve ölçütlerin hiyerarşisi

Bulanık gerçek opsiyon değerlendirme modeli

Ar-Ge 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 Ar-Ge 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 (1977, 1984) 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. Ar-Ge projesinin bulanık gerçek opsiyon değeri Eşitlik (4) ile hesaplanır (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

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

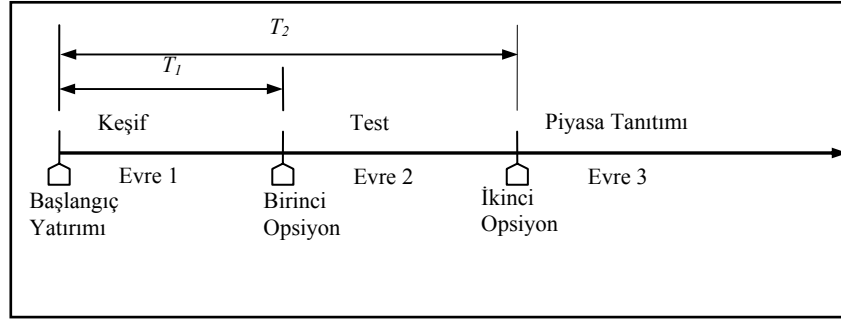
$$u_2 = u_1 - \sigma\sqrt{T_1}, \quad (6)$$

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

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

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



Şekil 2. Ar-Ge projeleri için bileşke opsiyon yaklaşımı (Wang ve Hwang, 2007)

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 hesaplanabilirken temettü kârını (δ), $E(\tilde{C}_1) / E(\tilde{S})$ ifadesiyle hesaplarız. $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ yamuk bulanık sayısının olabirlik ortalaması ($E(\tilde{A})$) ve varyansı ($\text{Var}(\tilde{A})$); (9) ve (10) Eşitlikleriyle hesaplanır (Wang ve Hwang, 2007):

$$E(\tilde{A}) = \frac{a_2 + a_3}{2} + \frac{a_1 + a_4 - a_2 - a_3}{6}, \quad (9)$$

$$\sigma^2(\tilde{A}) = \frac{(a_3 - a_2)^2}{4} + \frac{(a_3 - a_2)(a_2 + a_4 - a_1 - a_3)}{6} + \frac{(a_2 + a_4 - a_1 - a_3)^2}{24}. \quad (10)$$

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

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

$$c_2 = c_1 - \sigma \sqrt{T_2 - T_1}. \quad (13)$$

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

Yeni modelin adımları

Modelimizin iskeletini bulanık AHP ve bulanık gerçek opsiyon değerlendirme modeli bölümlerinin formüllerini kullanarak aşağıdaki adımlarla ortaya çıkarabiliriz:

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

Adım 2. Elde edilen C kıyas matrisini aşağıdaki formülle durulaştırdıktan sonra kesin AHP yönteminde olduğu gibi tutarlılık testi gerçekleştir, uymayanları düzeltilmek üzere geri gönder:

$$d_{ij} = \left[\frac{k_{ij} + 2l_{ij} + 2m_{ij} + n_{ij}}{6} \right], (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (14)$$

Adım 3. Her bir satırın geometrik ortalamasını Eşitlik (1) ile bul.

Adım 4. Bulanık ağırlık w_i Eşitlik (2) ile hesapla. Adım 4'ü bütün seviye performans dereceleri için tekrar ettir.

Adım 5. Bulanık ağırlıklar ve bulanık performans derecelerini bir araya getir. Bulanık yararları (BUGOD hariç), $\tilde{U}_i, \forall i$, Eşitlik (3) yardımıyla hesapla.

Adım 6. 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 seçenek için ayrı ayrı Eşitlik (9) ve (10) ile hesapla. Sonra S^c değerini enterpolasyonla bul.

Adım 7. Eşitlikler (5-8) ile u_1 , u_2 , v_1 ve v_2 değerlerini her bir seçenek için hesapla.

Adım 8. Her bir seçenek için \tilde{V} değerlerini Eşitlik (4) ile bul. Sonra her bir seçeneği, bu değerlerin toplamına ($\sum_{i=1}^n (\tilde{V}_i)$) bölerek o seçeneğin (\tilde{r}_i) değerini hesapla, tüm seçeneklere uygula.

Adım 9. Son olarak bu ağırlıkları bulanık AHP'de son adım ağırlıkları satırına yazarak en son \tilde{U}_i değerlerini bul ve bunları Lee ve Li'nin (1988) bulanık sayıları sıralama yöntemiyle sıralayarak en iyi seçeneği elde et.

Uygulama

Türkiye'de elektronik endüstrisindeki büyük firmalardan birisi olan kuruluş, Tablo 2'de verilen altı adet Ar-Ge projesini değerlendirmek ve aralarından seçim yapmak istemektedir. Bu değerlendirme sürecinde dikkate alınacak ölçütler Tablo 1'de verilmişti. Ana ölçütler; üretim, teknik, pazarlama/dağıtım ve BUGOD olarak, alt ölçütler ise üretim ana ölçütü altında; kapasite, olanaklar ve gereçler, işyeri güvenliği, çevreye duyarlılık, teknik ana ölçütü altında; başarı olasılığı, katkı, zaman, kaynaklar, pazarlama/dağıtım ana ölçütü altında; iç dinamik, kapasite, eğilimler olarak belirlenmişti. Buradaki üretimden kasıt Ar-Ge projesinin ortaya çıkarılmasıdır. Yukarıda sayılan bu ölçütler dikkate alınarak Şekil 1'de ki hiyerarşi bu uygulamada kullanılacaktır. Oluşturulan bu ölçütler ve hiyerarşi kuruluşta çalışmakta olan Ar-Ge mühendisleri ile görüşülerek son halini almıştır.

Mühendislerle görüşülerek ve önerilen yöntem kullanılarak Ek-A'da verilen anket formları hazırlanmış ve ilgili Ar-Ge mühendislerine fikirlerini almak için gönderilmiştir. Anketlerden elde

edilerek kullanılan veriler, tutarlılık oranına göre düzeltilmiş verilerdir. Daha sonra yeni modelin adımları bölümündeki 3, 4 ve 5 numaralı adımların işletilmesiyle Tablo 3'teki değerler (BUGOD hariç) bulunmuştur.

Tablo 2. Ar-Ge projeleri

Ar-Ge projesi 1	Buzdolaplarında biyoteknoloji,
Ar-Ge projesi 2:	DVD Mavi-ışın yazıcı oyun konsolu, 3N cep telefonu geliştirilmesi,
Ar-Ge projesi 3:	Çamaşır makinelerinde ağırlık duyargası geliştirilmesi, LCD televizyonlarda HD2 teknolojisi,
Ar-Ge projesi 4:	El ve dizüstü elektronik cihazlar için yeni tür pil teknolojisi.
Ar-Ge projesi 5:	
Ar-Ge projesi 6:	

Tablo 4'te kuruluştan elde edilen Ar-Ge projelerine yönelik bulanık finansal değerler sunulmuştur. Bu tabloda karşılaştırılan proje seçeneklerinin; piyasa tanıtımından sonra proje gelirlerinin şimdiki değerleri, evre 1 için yatırım maliyetlerinin şimdiki değerleri, evre 2 için yatırım maliyetlerinin şimdiki değerleri, evre 3 için yatırım maliyetlerinin şimdiki değerleri ve birinci opsiyonun vade bitim tarihi kesin değerleri ile ikinci opsiyonun vade bitim tarihi kesin değerleri sunulmuştur. Şubat 2007 için Türkiye'de Merkez Bankası tarafından uygulanan yıllık faiz oranı % 15.25 olduğundan bu çalışma için adı geçen faiz oranı kullanılacaktır.

Bu çalışmada ortaya konulan modelin altıncı adımından dokuzuncu adımına kadar olan adımları Tablo 4'teki tüm seçenekler için ayrı ayrı uygulanır.

Sonuçta her bir seçenek için bulunan; BUGOD değerleri ve (\tilde{r}_i) ölçüt değerleri Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 3. Bulanık AHP ağırlıkları

$\bar{W}_1(\text{ÜR})$	$\bar{W}_2(\text{TE})$	$\bar{W}_3(\text{PA})$	$\bar{W}_4(\text{BUGOD})$
(0.165; 0.214; 0.225; 0.305)	(0.117; 0.162; 0.189; 0.305)	(0.165; 0.262; 0.276; 0.432)	(0.196; 0.311; 0.363; 0.513)
$\bar{w}_{11}(\text{ÜK})$ (0.155; 0.244; 0.296; 0.445)			
$\bar{w}_{12}(\text{ÜO})$ (0.185; 0.330; 0.402; 0.629)			
$\bar{w}_{13}(\text{Üİ})$ (0.092; 0.131; 0.176; 0.314)			
$\bar{w}_{14}(\text{ÜÇ})$ (0.155; 0.205; 0.225; 0.314)			
$\bar{w}_{21}(\text{TB})$	(0.091; 0.147; 0.169; 0.328)		
$\bar{w}_{22}(\text{TK})$	(0.181; 0.321; 0.334; 0.552)		
$\bar{w}_{23}(\text{TZ})$	(0.128; 0.229; 0.265; 0.464)		
$\bar{w}_{24}(\text{TA})$	(0.153; 0.262; 0.273; 0.464)		
$\bar{w}_{31}(\text{Pİ})$		(0.206; 0.325; 0.325; 0.520)	
$\bar{w}_{32}(\text{PK})$		(0.164; 0.248; 0.248; 0.413)	
$\bar{w}_{33}(\text{PE})$		(0.260; 0.426; 0.426; 0.655)	

Tablo 4. Seçeneklerin ekonomik ve zaman değerleri

Projeler	Piyasa tanıtımından sonra proje gelirlerinin ŞD $\tilde{S} (\times 10^3 \$)$	Evre 1 için yatırım maliyetlerinin ŞD $\tilde{C}_1 (\times 10^3 \$)$	Evre 2 için yatırım maliyetlerinin ŞD $\tilde{C}_2 (\times 10^3 \$)$	Evre 3 için yatırım maliyetlerinin ŞD $\tilde{C}_3 (\times 10^3 \$)$	Birinci opsiyonun vade bitim tarihi T_1	İkinci opsiyonun vade bitim tarihi T_2
Ar-Ge1	(180; 200; 250; 270)	(37; 40; 50; 53)	(8; 10; 15; 17)	(48; 50; 55; 57)	2	3
Ar-Ge2	(320; 350; 400; 430)	(67; 70; 90; 93)	(45; 50; 60; 65)	(83; 90; 110; 117)	2	5
Ar-Ge3	(655; 680; 700; 725)	(55; 60; 70; 75)	(18; 20; 24; 26)	(57; 60; 70; 72)	2	5
Ar-Ge4	(170; 180; 280; 290)	(18; 20; 24; 26)	(8; 10; 12; 14)	(48; 50; 55; 57)	1	2
Ar-Ge5	(550; 600; 700; 750)	(37; 40; 45; 48)	(18; 20; 24; 26)	(75; 80; 100; 105)	2	6
Ar-Ge6	(185; 200; 240; 255)	(29; 30; 40; 41)	(12; 15; 20; 23)	(66; 70; 85; 89)	3	4

Hesaplamalara örnek vermek gerekirse; bu tabloda $BUGOD_{Ar-Ge1}$ şu şekilde hesaplanmıştır:

$$E(\tilde{S}_{Ar-Ge1}) = \frac{200 + 250}{2} + \frac{180 + 270 - 200 - 250}{6} = 225,$$

$$\sigma^2(\tilde{S}_{Ar-Ge1}) = \frac{(250 - 200)^2}{4} + \frac{(250 - 200)(200 + 270 - 180 - 250)}{6} + \frac{(200 + 270 - 180 - 250)^2}{24} = 1025$$

Tablo 5. Gerçek opsiyon hesap sonucu

Projeler	$BUGOD (\times 10^3 \$)$	\tilde{r}_{BUGOD}
Ar-Ge1	(50.2; 63.9; 98.2; 111.9)	(0.04; 0.05; 0.10; 0.13)
Ar-Ge2	(7.7; 25.0; 58.9; 76.1)	(0.01; 0.02; 0.06; 0.09)
Ar-Ge3	(356.2; 374.2; 394.3; 412.8)	(0.26; 0.30; 0.41; 0.49)
Ar-Ge4	(85.6; 97.8; 185.8; 197.3)	(0.06; 0.08; 0.19; 0.23)
Ar-Ge5	(310.3; 347.6; 426.1; 463.3)	(0.23; 0.28; 0.45; 0.55)
Ar-Ge6	(35.0; 47.0; 79.5; 91.5)	(0.03; 0.04; 0.08; 0.11)

Aynı formülle Ar-Ge1 için $E(\tilde{C}_1) = 45$, $E(\tilde{C}_2) = 12.5$ ve $E(\tilde{C}_3) = 52.5$ değerleri de bulunur.

Daha sonra,

$$\sigma = \sqrt{\text{Var}(\tilde{S}_{Ar-Ge1})} / E(\tilde{S}_{Ar-Ge1}) = 32.015 / 225 = 0.142;$$

$$\delta = E(\tilde{C}_1) / E(\tilde{S}_{Ar-Ge1}) = 45 / 225 = 0.2$$

değerleri elde edilir.

Eşitlik 11, 12 ve 13 kullanılarak kritik değeri enterpolasyonla $S^c = 70.162$ olarak bulunabilir. Daha sonra sırasıyla aşağıdaki işlemlere devam edilir.

$$u_1 = \frac{\ln[225 / 70.162] + (0.1525 - 0.2 + 0.142^2 / 2)2}{0.142\sqrt{2}}$$

$$= 5.419;$$

$$u_2 = 5.218$$

$$v_1 = \frac{\ln[225 / 52.5] + (0.1525 - 0.2 + 0.142^2 / 2)3}{0.142\sqrt{3}}$$

$$= 5.450;$$

$$v_2 = 5.203$$

$$BUGOD = (180; 200; 250; 270)e^{0.1525 \times 3} M(5.419, 5.450, \sqrt{2/3})$$

$$- (48; 50; 55; 57)e^{0.1525 \times 3} \times 0.9999$$

$$- (8; 10; 15; 17)e^{0.1525 \times 2} N(5.218)$$

$$= (50.2; 63.9; 98.2; 111.9)$$

Elde edilen tüm $BUGOD$ değerleri toplanır ve her bir Ar-Ge projesi için bulanık ağırlıklar bu toplama bölünerek bulunur (Tablo 5, son sütunda verilen değerler).

Daha sonra, Adım 9 işletildiğinde bulunan \tilde{U}_i sonuçları aşağıda verilmiştir:

$$\tilde{U}_{Ar-Ge1} = (0.032; 0.118; 0.190; 0.718),$$

$$\tilde{U}_{Ar-Ge2} = (0.022; 0.089; 0.144; 0.566),$$

$$\tilde{U}_{Ar-Ge3} = (0.072; 0.172; 0.266; 0.768),$$

$$\tilde{U}_{Ar-Ge4} = (0.034; 0.108; 0.199; 0.675),$$

$$\tilde{U}_{Ar-Ge5} = (0.071; 0.189; 0.309; 0.896),$$

$$\tilde{U}_{Ar-Ge6} = (0.028; 0.105; 0.166; 0.633).$$

Bu değerleri Lee ve Li (1988) yöntemine göre sıraladığımızda ise $Ar-Ge5 > Ar-Ge3 > Ar-Ge1 > Ar-Ge4 > Ar-Ge6 > Ar-Ge2$ sonucu elde edilir, yani LCD televizyonlarda HD2 teknolojisi geliştirilmesi seçilmiştir. Eğer kurum adı geçen tüm projeleri gerçekleştirmek isterse de yukarıda bulunan sıralamaya göre projeleri öncelik sırasına koymalıdır.

Sonuçlar

Geliştirme-yenilikçi fikir yatırımlarında doğru Ar-Ge 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, Ar-Ge projelerini kıyaslamak için uzmanların görüşlerini de dikkate alan $BUGOD$ ile bütünleştirilmiş bulanık AHP kullanılmıştır. Eksik bilgi durumunda, klasik gerçek opsiyon değerlendirme yetersiz sonuçlar üretebilir. $BUGOD$, bu yetersizliklerin üstesinden gelebilir ve riskli projelerin değerini 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 araştırma geliştirme ortamında proje yatırımları arasında değiş-tokuş çözümlemesi ve toplam portföy değeri konusunda yardımcı olabilir.

Çalışmanın bir sonraki adımı olarak, bulanık AHP yerine bulanık TOPSIS veya bulanık VIKOR gibi başka birçok çok ölçütlü yöntem kullanılması önerilmektedir. Bu yöntemler aynı şekilde gerçek opsiyon değerlendirme yöntemiyle bütünleştirilip kullanılır. Elde edilen sonuçlar bu çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılabilir.

Kaynaklar

- Barutçugil, İ.S., (1981). *Teknolojik yenilik ve araştırma-geliştirme yönetimi*, 20-21, Bursa Üniversitesi Yayınları, Bursa.
- 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. ve Fullér, R., (2003). A fuzzy approach to real option valuation, *Fuzzy Sets and Systems*, **139**, 297-312.
- Carlsson, C., Fullér, R., Heikkilä, M. ve 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. ve 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.
- Geske, R., (1977). The valuation of corporate liabilities as compound options, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, **12**, 541-552.
- Geske, R. ve Johnson, H.E., (1984). The valuation of corporate liabilities as compound options: A correction, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, **19**, 231-232.
- 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*, **87**, 171-184.
- Kuei, C.H., Lin, C., Aheto, J. ve 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. ve Li, R.L., (1988). Comparison of fuzzy numbers based on the probability measure of 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, *IEEE Transactions on Engineering Management*, **34**, 12-18.
- Saaty, T.L., (1980). *The Analytic hierarchy process*, Wiley, New York NY.
- Tolga, A.Ç. ve Kahraman, C., (2008). Fuzzy multiattribute evaluation of R&D projects using a real options valuation model, *International Journal of Intelligent Systems*, **23**, 1153-1176.
- Wang, J. ve Hwang, W.L., (2007). A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using a real options valuation model, *Omega*, **35**, 247-257.
- Wasti, N., (1999). Japon firmalarında Ar-Ge: Yöntemler ve yapılardan örnekler, *ODTÜ Geliştirme Dergisi*, **26**, 204.
- Zadeh, L., (1965). Fuzzy sets, *Information Control*, **8**, 338-353.

Ek

Aşağıdaki soruları okuyunuz ve karşılıklı kıyas matrisinde gerekli kutuları lütfen işaretleyiniz (Ek 1). Eğer sol taraftaki ölçüt, sağ taraftaki ölçütten daha önemli ise “x” işaretini “tam eşit” ifadesinin sağ tarafına tercih ettiğiniz dereceye yerleştiriniz. Eğer sol taraftaki ölçüt, sağ taraftaki ölçütten daha az önemli ise “x” işaretini “tam eşit” ifadesinin sol tarafına tercih ettiğiniz dereceye yerleştiriniz.

Genel “en iyi Ar-Ge projesinin seçimi” hedefine göre,

- S1. Üretim (ÜR) ölçütü, teknik (TE) ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S2. Üretim (ÜR) ölçütü, pazarlama / dağıtım (PA) ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S3. Üretim (ÜR) ölçütü, bulanık gerçek opsiyon değerlendirme (BUGOD) ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S4. Teknik (TE) ölçütü, pazarlama / dağıtım (PA) ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S5. Teknik (TE) ölçütü, bulanık gerçek opsiyon değerlendirme (BUGOD) ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?
- S6. Pazarlama / dağıtım (PA) ölçütü, bulanık gerçek opsiyon değerlendirme (BUGOD) ölçütüyle kıyaslandığında ne kadar önemlidir?

Ek 1. Ana ve alt ölçütleri kıyaslamak için kullanılan anket formu

En iyi Ar-Ge projesi hedefine göre,		Ana ölçütün bir diğeri üzerindeki önem (ya da tercih) derecesi							
Sorular	Ölçütler	Çok önemsiz (0.167; 0.200; 0.250; 0.333)	Önemsiz (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)	Önemli (1.000; 2.000; 3.000; 4.000)	Çok önemli (3.000; 4.000; 5.000; 6.000)	Ölçütler
S1	ÜR				x				TE
S2	ÜR			x					PA
S3	ÜR				x				BUGOD
S4	TE			x					PA
S5	TE		x						BUGOD
S6	PA			x					BUGOD