

BİR SAVUNMA SANAYİ FİRMASINDA ÇOK KRİTERLİ ALT YÜKLENİCİ SEÇİM PROBLEMİ VE ÇÖZÜMÜ

Şefika CAN, Feyzan ARIKAN

Gazi Üniv., Mühendislik Fak., Endüstri Müh. Böl., 06570, Maltepe, Ankara
sefika.can@gmail.com, farikan@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 07.06.2013 ; Kabul/Accepted: 13.11.2014)

ÖZET

Bu çalışmada, savunma sanayi sektöründe ARGE çalışmaları gerçekleştiren bir firmanın, yatırımlarında birlikte çalışacağı alt yüklenici firmayı seçim ve değerlendirme problemine çözüm getirilmesi hedeflenmiştir. Alt yüklenicilik, bir işin bir parçasının önceden belirlenen şartlara uygun olarak, özel yeteneklerini ve kaynaklarını kullanarak daha iyi yapabilecek bir başka firmadan transfer edilmesidir. Alt yüklenici seçim probleminde, maliyetin yanı sıra; teknik gereksinimler, deneyim, garanti süresi, teslim zamanı gibi birden çok kriterin dikkate alınması, elde edilecek çözümün gerçekçi ve uygulanabilir olması açısından zaruri öneme sahiptir. Bu çalışmada problemin çözümü, çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) ve Promethee II yöntemlerinin bütünleşik kullanımı ile elde edilmiştir. Karar verici için uygun kriter ağırlıkları AHP ile belirlenmiş ve alternatif alt yüklenicilerin en iyiden en kötüye doğru sıralaması Promethee II ile elde edilmiştir. Aynı zamanda seçilen alternatifin her bir kriter bazında değerlendirilmesi yapılarak firmanın alt yüklenici firma için geri besleme yapabileceği bilgiler elde edilmiştir. AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıklarındaki değişimin sıralamaya etkilerini araştırmak amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma ile bir milli savunma bir projesinin gerçekleştirilmesinde ve yürütülmesinde kritik öneme sahip alt yüklenicinin en etkin şekilde seçimi ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alt Yüklenici Seçimi, Promethee, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV).

MULTI CRITERIA SUBCONTRACTOR SELECTION PROBLEM AND ITS SOLUTION FOR A DEFENCE INDUSTRY FIRM

ABSTRACT

This study aims to solve the problem of selecting and evaluating a subcontractor firm for a company that performs research and development activities in defense industry. Subcontracting means that part of the work is transferred from another company that has special skills or resources that allow it to perform tasks clearly specified in better conditions. During the selection process, considering multiple criteria such as technical requirements of the work, experience of the subcontractor firm, warranty conditions, delivery time, as well as costs is crucial to obtain a realistic and implementable solution. In this study, the solution of the problem is gathered by utilizing the integration of Analytical Hierarchy Process (AHP) and Promethee II method which are multi-criteria decision making methods. Decision Maker's criteria weights are determined by AHP. The ranking of alternatives are obtained Promethee II. The evaluation of the selected alternative on the basis of each criterion is utilized which provides feedback to improve the subcontractor firm. Weight Stability Interval Analysis is performed to investigate impacts of the changes in the weights of criteria determined by AHP on the ranking. As a result, this study provides the most effective selection and evaluation of a subcontractor which is critically important for a national defense research & development project.

Keywords: Subcontractor Selection, Promethee, Multi Criteria Decision Making (MCDM).

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Türkiye'nin, bulunduğu coğrafyada güçlü ve caydırıcı konumunu sürdürmesi için güçlü bir silahlı kuvvetlere ve onu destekleyen güçlü bir savunma sanayine sahip olması zaruridir. Savunma Sanayi ürünleri; ileri teknoloji gerektiren, karmaşık yapıları ürünlerdir. Ayrıca milli savunma açısından; üretilen ürünlerin, sürekli yenilenen teknolojiyi takip etmesi çok önemlidir. Mevcut teknolojiyi geliştirmek ve/veya üretebilir hale getirmek, bunları dışa bağımlı olmaksızın ulusal düzeyde gerçekleştirebilmek, Araştırma Geliştirme (ARGE) projeleri ile mümkün olur. Savunma sanayii sektöründe ARGE çalışmaları yüksek maliyetli ve uzun süreç isteyen faaliyetlerdir. Aynı anda birden çok projeye ilgilenmek, ulusal ihtiyaçlar doğrultusunda sürekli geliştirme faaliyetlerinde bulunmak hedeflenir. Bu nedenle savunma sanayiinde hizmet veren firmalar, maliyeti düşürmek, riski paylaşmak ve teknolojiyi mümkün olduğunca tabana yayarak etkinliklerini arttırabilmek için teknik, maliyet ve kalite ihtiyaçlarını karşılayabilecek, güvenilir alt yüklenicilerle iş paylaşımına yönelmektedir.

Alt yüklenici, bir sözleşme dâhilinde belirlenen sınırlar içerisinde alıcı firma için çalışarak alıcı firmanın gerçekleştireceği işin bir kısmını tamamlayıp transfer eden firmadır [1]. Alt yüklenici seçimi; alıcı konumdaki firmanın etkinlik ve verimlilik hedeflerine ulaşmasında önemli rol oynar. Savunma sanayi sektöründe alt yüklenici firmalar ana sistemin bir alt sistemini geliştirip üretmekle sorumludurlar. Özellikle ARGE çalışmalarında, her bir projenin yürütülmesi için seçilecek alt yüklenicinin, projenin başarısında rol oynayan birden çok kritere aynı anda cevap vermesi, ana savunma sisteminin güvenilirliği, etkinliği ve verimliliğini temin için şarttır. Bu kriterler; projeye uygun teknik özellikler, deneyim, bilgi düzeyi, fiyat, teslim zamanı ve garanti şartları-teslim sonrası servis, kalite, işbirliği, güven, iş ahlakı, stratejik yönetim kabiliyeti, ürün ömrü, sistem bileşenleri olabilir ve/veya karar verici tarafından her projeye, projenin yapıldığı sektöre göre farklı kriterler önerilebilir. Bu haliyle alt yüklenici seçim problemi çok kriterli bir karar problemidir.

Bu çalışmanın amacı, bir savunma sanayi firmasının ARGE bölümünde geliştirilen Milli AUV (Autonom Underwater Vehicle) projesinin bir alt sistemi olan "Robot Kolu Üretimi ve Robot Kolu Yazılımı"nın geliştirilmesi için alt yüklenici firma seçimini en etkin şekilde gerçekleştirmektir. Bu amaç doğrultusunda, ikinci bölümde çok kriterli alt yüklenici seçim problemi için literatür araştırmasına yer verilmiştir. Araştırma, kullanılan yöntemlerin diğer yöntemlerden farkını ve çalışmanın literatüre katkısını vurgulamak amacıyla detaylandırılmıştır. Üçüncü bölümde bütünlük olarak kullanılan AHP ve Promethee II

yöntemleri açıklanmıştır. Dördüncü uygulama bölümünde ise AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları elde edilmiş, Promethee II yöntemi ile alternatif alt yükleniciler üstünlüklerine göre sıralanmış ve seçilen alternatif, dikkate alınan kriterler bazında değerlendirilmiştir. AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıklarındaki değişimin sıralamaya etkilerini araştırmak amacıyla duyarlılık analizi için durağan aralık analizine yer verilmiştir. 5. Bölümde sonuçlar özetlenmiş ve geleceğe yönelik çalışmalara değinilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Artan rekabet ortamında, çok yönlü teknoloji gerektiren ürünlere olan talebin artması ile karmaşık üretim teknikleri, yüksek tasarım ve kalifiye eleman gerekliliği firmaları alt yüklenicilerle işbirliğine itmiştir [2]. Alt yüklenici konusu, özellikle son 20 yıldır inşaat sektöründe yoğun ilgi görmeye beraber, seçim işlemi genellikle sadece fiyat kriterinin önemli rol oynadığı bir karar problemi olmuştur [3]. Konuyu ulusal boyutta değerlendiren Ulubeyli ve arkadaşları [4] Türk yüklenici firmaların uluslararası inşaat projelerinde altyüklenici seçim pratiklerini istatistiksel olarak araştırdıkları çalışmalarında; yüklenici firmanın çoğunlukla daha önceden çalıştığı firmayı tercih ettiği ve seçim problemi için analitik yaklaşımlar kullanmak bir yana en düşük fiyat teklifinin bile dikkate alınmadığını belirtmişlerdir.

Geçmişten günümüze SCI (Science Citation Index) içerisinde yer alan "Alt Yüklenici Seçimi" ile ilgili çalışmaların; uygulama ve/veya teorik kapsamlı oluşlarına göre ilgili sektör, kullandıkları yöntem bazında sınıflandırılması ve detaylı literatür araştırması [5]'de yer almaktadır. Bu araştırmaya göre çalışmalar inşaat sektörü ağırlıklı olmak üzere, tekstil ve elektronik sektörlerinde alt yüklenici seçim problemi ile ilgilenmiştir. Ayrıca Kumaraswamy ve Matthews [2], alt yüklenici firma seçimi için kullanılan yöntemleri araştırmışlar ve tarihsel süreç içerisinde sadece fiyat kriterini dikkate alan yaklaşımlardan, çok kriterli yaklaşımlara geçişi incelemişlerdir. Literatürde alt yüklenici seçim problemine etki eden kriterlerin belirlenmesi için istatistiksel analiz çalışmaları mevcuttur. Bunlardan, Rahman ve Kumaraswamy [6], inşaat sektöründe kritik projelerde yer alan müteahhitler, alt yükleniciler, tedarikçiler ve müşteriler için farklı kriterlerin probleme etkilerini incelemişlerdir. Hartmann ve arkadaşları [7], Sinagapur'da bir inşaat firmasının alt yüklenici seçimini etkileyen kriterlerin belirleyen bir istatistiksel çalışma yapmışlardır. Park [8], Güney Kore'de kamu ile işbirliği içerisinde olan inşaat firmalarına anket uygulayarak yürüttükleri çalışmanın bir alt kapsamı olarak yüklenici firma ile alt yüklenici firma arasında en önemli kriterleri belirlemiştir.

Alt yüklenici seçim problemi için kullanılan yöntemler; matematiksel modelleme [9], Bulanık Çıkarım Modeli [10], yazılım geliştirme [11,12], benzetim [13], Meta Sezgisel [14] ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) teknikleri [15-18] olarak gruplanabilir. ÇKKV tekniklerini kullananlardan Salo ve Punkka [15], hiyerarşik ağırlıklandırma modellerinde tamamlanmamış öncelik bilgisinin analizi için önerdikleri ÇKKV yaklaşımını (RICH-Rank Inclusion in Criteria Hierarchies) alt yüklenici firma seçim ile ilgili bir örnek problem üzerinde açıklamışlardır. Lin ve arkadaşları [16], inşaat sektöründe alt yüklenici seçimi probleminin çözümü için TOPSİS yöntemi ve Minkowski uzaklık fonksiyonunu bütünleşik olarak kullanmışlar ve problemde belirsizliği gri sayılar ile ifade etmişlerdir. Lin ve arkadaşları [17], sonraki çalışmalarında aynı problem ve yöntemler için çok dönemli durumda dinamik karar verme yaklaşımı önermişlerdir. Radziszewska [18], inşaat sektöründe alt yüklenici seçimi problemini ELECTRE III yöntemi ile çözümlenmiştir.

Literatürde çok kriterli karar problemlerinin çözümü için pek çok yaklaşım mevcuttur. "ÇKKV", Çok amaçlı Karar Verme ve Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) modelleri ve tekniklerinin tümü için genel ve bilimsel bir isim olarak kullanılmaktadır ([19,20]. Literatürde Ölçüt ve Kriter kelimeleri sıklıkla birbiri yerine kullanılageldiğinden ÇÖK teknikleri, ÇKK teknikleri olarak da adlandırılmaktadır. Bu çalışmada da ölçüt yerine kriter kelimesi kullanılmıştır. ÇKKV yöntemleri; karar vericiden alınan bilgiye göre [19], çözüm yöntemine göre [21], veri tipine göre [21], karar vericinin bir kişi ya da bir grup olduğu durum için [22] sınıflandırmak mümkündür. Mevcut sınıflandırmalar içerisinde AHP, değer-fayda temelli, ikili karşılaştırmalara dayanan, subjektif ağırlıklandırma metodları içerisinde yer alır. AHP, literatürde objektif ve/veya subjektif kriterlerin değerlendirilmesinde en yaygın kullanıma sahip ağırlıklandırma yaklaşımıdır [23]. Subjektif olması, karar sürecinde bir dezavantaj olmaktan çok, karar vericinin konusundaki uzmanlığını, bilgisini ve tecrübesini, ayrıca tercihlerini ifade etmesine imkan tanıdığı için, probleme özel çözümlerde kıymetli sonuçlara ulaştırır. Karar vericinin (vericilerin) değiştiği, veya fikir(ler)inin değiştiği durumlar için ise probleme özel çözümler yeterli olmayacaktır. Bu durumda belirlenen ağırlıkların değişiminin incelenerek duyarlılık analizi yapılması oldukça önemlidir. Bu çalışmada kriterlere ait ağırlıklar, tek karar vericinin proje yöneticisi olduğu durum için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi ile elde edilmiştir. Alternatif alt yüklenicilerin sıralama ve seçim probleminin çözümü için ise Promethee II yaklaşımı kullanılmıştır. Promethee II yaklaşımı, değişen ağırlıklar söz konusu olduğunda, sıralamaya etkisini araştırmayı mümkün kılan duyarlılık analizine imkan vermesiyle diğer yöntemlerden ayrılmaktadır.

Yaklaşımın diğerlerinden farklı kılan bir başka özelliği ise bir alternatifler kümesinde çoğunlukla etkin (birbirine baskın olmayan) alternatiflerin yer alması durumunda hem karar vericinin (vericilerin) hem de analistin kolaylıkla tanımlayıp anlayacağı fayda fonksiyonları ile kıyaslanamazlık probleminin aşılmasını sağlamasıdır [23].

Bu çalışmada, hem proje yöneticisinin belirlediği kriter ağırlıkları, probleme yön vermesi açısından önemli bir bilgi kaynağı olduğundan dahil edilmek istenmiştir, hem de Promethee II yönteminin yukarıda belirtilen faydalarından yararlanarak bir sıralama ve seçim işlemi gerçekleştirmenin, uygulanabilir sonuçlar vereceği düşüncesiyle bu yöntemler seçilmiştir. Macharis ve arkadaşları [24] çalışmasında her iki yöntemi ve yöntemlerin bütünleşik kullanımının avantajlarını açıklamışlardır. Literatürde, bütünleşik yaklaşımın farklı problemler ve alanlar için kullanımı [Örn. 25, 26, 27, 28] mevcuttur. Bununla beraber, literatürdeki çalışmalar içerisinde, alt yüklenici seçim problemine "Promethee yöntemi" veya "Promethee-AHP bütünleşik yaklaşımı" ile çözüm getiren bir çalışma mevcut değildir. Ayrıca Savunma sanayi sektöründe alt yüklenici seçimi ile ilgili SCI indekste yer alan bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışma, bir gerçek yaşam problemini dikkate alarak yüklenici firma için en etkin seçim ve değerlendirmeyi temin etmesinin yanı sıra, problemin çözümü için kullanılan yöntem ve uygulanan sektörün farklılığı ile literatüre katkı sağlamaktadır.

3. METODOLOJİ (METHODOLOGY)

3.1. AHP ile Ağırlık Belirleme (Determination of Weights by using AHP)

1965 yılında L. Thomas Saaty [29] tarafından geliştirilen AHP, literatürde yaygın kullanıma sahip ÇKKV tekniğidir. AHP, objektif ve subjektif kriterleri ikili karşılaştırma yaparak ölçen ve bu kriterlerin birbirlerine göre önceliklerini bularak görelî önem sıralarını (ağırlıklarını) belirleyen bir karar verme tekniğidir. AHP'nin 5 temel adımı aşağıdaki gibidir:

Adım 1. Problem ortaya konur, hiyerarşide en üstte yer alacak hedef belirlenir.

Adım 2. Amaç, kriterler, alt kriterler ve alternatifleri içeren hiyerarşi oluşturulur.

Adım 3. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

Adım 4. Görelî önem vektörü (ağırlık vektörü) bulunur.

Adım 5. Tutarlılık oranı hesaplanır. Tutarlılık durumunda karar verilir. Tutarlı olmama durumunda ikili karşılaştırmalar tekrar gözden geçirilerek işlemler tekrarlanır.

3.2. Promethee II Yöntemi (The Promethee II Method)

Promethee (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) J.P. Brans [22, 30] tarafından 1982'de geliştirilen bir ÇKKV metodudur. Etkin ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle literatürde sıralama problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılır. Promethee metodunun uygulanabilmesi için iki tip bilgi gereklidir. Birincisi kriterlerin görelî önem derecesi (ağırlıkları), ikincisi ise karar vericinin tercihine göre alternatiflerin kriterlere ilişkin değerleridir. Karar vericinin tercihi, 6 farklı fayda fonksiyonundan uygun olanlar kullanılarak tanımlanır. Literatürde Promethee metodunun farklı karar verme durumları için farklı versiyonları geliştirilmiştir [31]. Bu çalışmada faydalanılan Promethee II; sadece kısmi sıralamanın gerçekleştirildiği ilk versiyonun (Promethee I) adımlarını da kapsayan ve tüm sıralamanın yapılmasına olanak tanıyan Promethee II versiyonudur. Promethee II yönteminin adımları [31] aşağıdadır:

Adım 1: A, alternatifler kümesi ve $g_j(a)$, $a \in A$, ($j=1,2,\dots,k$) alternatifin j . kritere ilişkin değeri olmak üzere, j . kriterin görelî ağırlığı w_j belirlenir.

Adım 2: Kriterler için, Vincke ve Brans [32] 6 farklı (Olağan, U-tipi, orijinden başlayan V-Tipi, Basamaklı, V-Tipi, ve Gaussian) tercih fonksiyonu tanımlanmıştır. Alternatif çiftleri için uygun ortak tercih fonksiyonları belirlenir. Kriter bazında a ve b alternatif çiftinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen sapma $d_j(a,b) = g_j(a) - g_j(b)$ olmak üzere a ve b alternatifleri için ortak tercih fonksiyonu Eş.(1) ile tanımlanmıştır.

$$P_j(a,b) = F_j[d_j(a,b)] \quad j=1,2,\dots,k \quad (1)$$

Adım 3: Her alternatif çifti için tercih indeksleri $\pi(a,b)$ Eş.(2) ile belirlenir.

$$\forall a,b \in A, \pi(a,b) = \sum_{j=1}^k P_j(a,b)w_j \quad (2)$$

Adım 4: Promethee I ile kısmi sıralama belirlenir. Kısmi öncelikler alternatiflerin birbirlerine göre tercih edilme durumlarının, birbirlerine göre tercih edilme durumlarının, birbirinden farksız olan alternatiflerin ve birbirleriyle karşılaştırılmayacak olan alternatiflerin belirlenmesini sağlar [32].

Alternatifler için pozitif $\Phi^+(a)$ ve negatif $\Phi^-(a)$ üstünlükler belirlenir. a alternatifi için pozitif ve negatif üstünlükler Eş.(3) ve Eş.(4) ile hesaplanır.

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a,x) \quad (3)$$

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x,a) \quad (4)$$

Adım 5: Promethee II ile alternatifler için tam sıralama belirlenir. Her bir alternatif için hesaplanan net üstünlük $\Phi(a)$ değerleri (Eş.5) ile bütün alternatifler için tam sıralama belirlenir.

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (5)$$

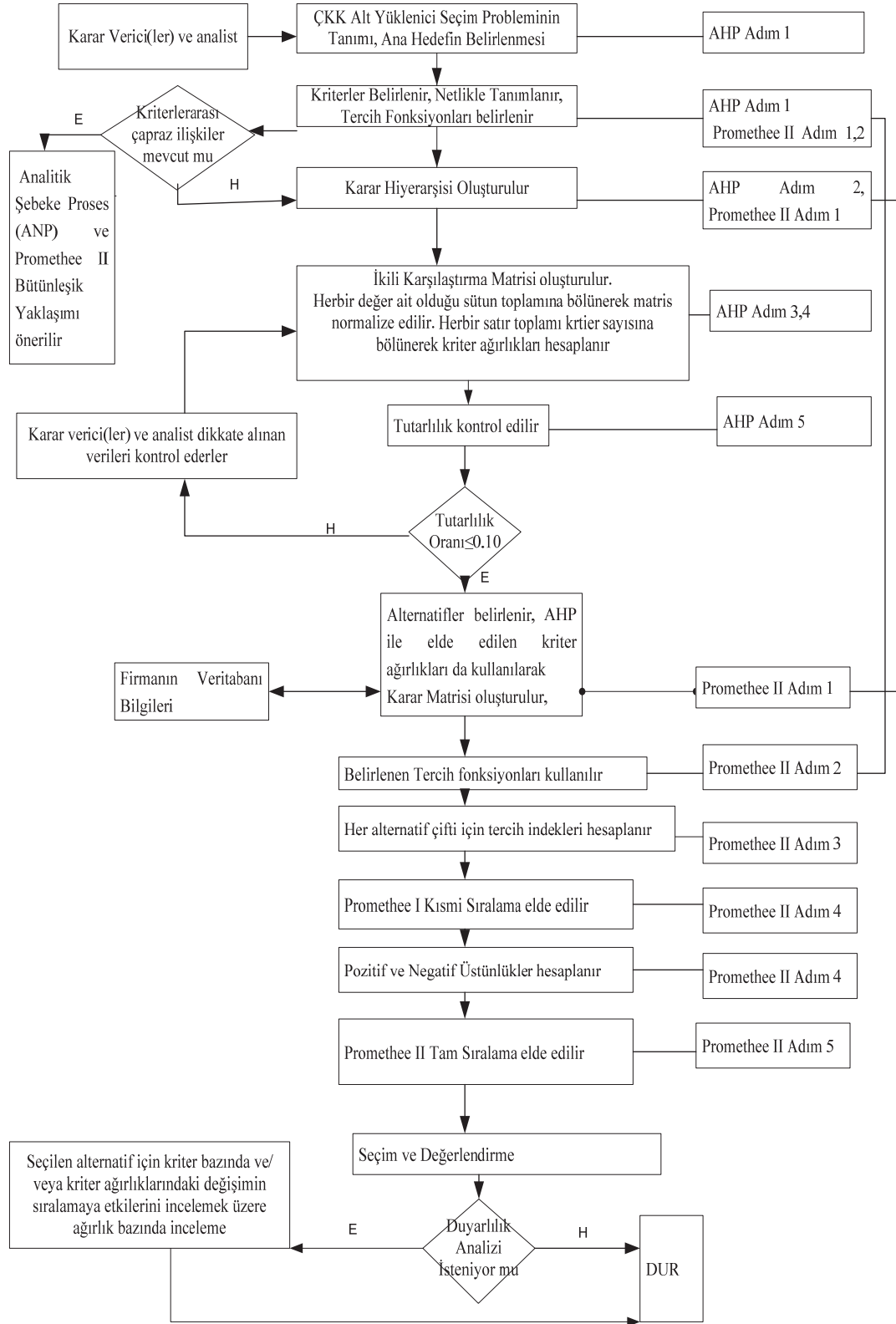
3.3. AHP-Promethee II Bütünleşik Yaklaşımı (AHP-Promethee II Integrated Approach)

Bu çalışmada oluşturulan adımlar, Dagdeviren'in [26] çalışmasından ilham alınarak Şekil 1'deki gibi oluşturulmuştur. Öncelikle (AHP Adım 1) problem tanımlanır ve hedefi belirlenir. Ardından (AHP Adım 1, Promethee II Adım 1,2) probleme etki eden kriterler belirlenir ve tanımlanır. Kriterler, AHP yönteminin ilk adımı için gerekli olduğu kadar Promethee II yöntemi Adım 1'de karar matrisinin girdilerinin bir kısmını oluştururlar. Bütünleşik yaklaşımda kriter tanımlarıyla birlikte, Promethee II Adım 2'yi oluşturan seçilen tercih fonksiyonları ve gerekçeleri aynı anda belirlenir. Promethee II Adım 1'in bir gerekliliği olarak alternatifleri oluşturacak alt yükleniciler belirlenir. Böylece AHP karar hiyerarşisi içerisinde yer alan alternatifler aynı anda belirlenmiş olur. Daha sonra AHP'ye ait kalan adımlar 2, 3,4 ve 5 sırasıyla gerçekleştirilerek kriter ağırlıkları belirlenir. Tutarlılık şartı altında ağırlıkların belirlenmesi işleminden sonra Promethee II Yönteminin 3, 4, ve 5. adımları uygulanır. Alternatifler tam sıralama ile sıralandıktan sonra karar vericinin isteği doğrultusunda, kriter bazında değerlendirme ve/veya durağan aralık analizi yapılabilir. Kriter bazında değerlendirme seçilen alternatif için ya da sıralamada yer alan diğer tüm alternatifler için yapılabilir.

4. UYGULAMA (APPLICATION)

Bu çalışma ana faaliyet alanı robotik sistemler olan robotik sistemlerin görev süresinde önemli bir yeri olan yakıt pilleri ile ilgili çalışmalar da gerçekleştiren bir savunma sanayi firması için gerçekleştirilmiştir. ARGE bölümünde yer alan projelerden biri olan Milli AUV Geliştirilmesi Projesi kapsamında, Robot Kolu Üretimi ve Robot Kolu Yazılımını gerçekleştirebilecek bir alt yüklenici firmanın seçimi problemine çözüm getirilmek istenmektedir.

Bu problemde tek karar verici ARGE proje bölümü yöneticisidir. Karar verici ve analist problemin çözümü için AHP ve Promethee II Yöntemlerinin bütünleşik adımlarını aşağıdaki gibi uygulamıştır:



Şekil 1. AHP-Promethee II Bütünleşik Yaklaşımı için önerilen adımlar (Proposed steps for AHP-Promethee II Integrated Approach)

AHP Adım 1. ve Promethee II Adım 1.2: Hedef, alt yüklenici firma seçimidir. Kriterler belirlenirken, alt yüklenici seçimi ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar ve sistemin ihtiyaçları doğrultusunda

uzman (proje yöneticisi) görüşleri dikkate alınmıştır: Daha önceki çalışmalarda Fiyat, Garanti, Bilgi Düzeyi, Zaman, Ulaşım ve Deneyim kriterlerinin yanı sıra farklı kriterler de önerilmiştir. Örneğin, Hartman

ve arkadaşları [7], kalite, işbirliği; Rahman ve Kumaraswamy [6] güven, iş ahlakı, stratejik yönetim; Belair and Eagan, [33] ürün ömrü, sistem bileşenleri kriterlerini seçim probleminde etkin kriterler olarak sunmuşlardır. Bu çalışmada karar vericiye yukarıda belirtilen on üç kriter sunulmuştur. İçerisinden altısı (Fiyat, Garanti, Bilgi Düzeyi, Zaman, Ulaşım ve Deneyim) öncelikle problem için arz ettikleri önem ve tanımlanabilir olmaları dikkate alınarak karar verici tarafından seçilmiştir. Kriter tanımları aşağıdadır:

Fiyat: Proje kapsamında alt yüklenici firmadan beklenen hizmetleri (kurulum, yazılım, eğitim vs.) karşılaması karşılığında, alt yüklenici firmanın TR Teknoloji'den talep etmiş olduğu bedeldir. Firmanın minimize etmek istediği fiyat aralığı 250 000 – 500 000 TL'dir. Ancak sadece fiyat aralığına bakarak kaliteli firmaları elemek için, tercih fonksiyonu dördüncü tip olarak belirlenmiştir.

Ulaşım: Alt Yüklenici firmanın ana firmaya olan uzaklığı, adres bilgileri dikkate alınarak 1 ile 10 arasında puan vermek suretiyle değerlendirilmiştir. 5 puan ve üstü aynı kategoride değerlendirilir. Burada üçüncü tip tercih fonksiyonu kullanılır.

Bilgi Düzeyi: Alt yüklenici firmanın projede 12 personel çalıştırması istenmektedir. 12 personel içerisinde yüksek lisans ve doktora yapan personel sayılarının ortalamadan yüksek olması istenmektedir ve beşinci tip fonksiyon tercih edilmiştir.

Deneyim: Alt yüklenici firmanın daha önce gerçekleştirdiği ve şu anda gerçekleştirmekte olduğu proje sayısının ortalaması alınır. Ortalama 2 taneye kadar gerçekleştirilen, 2 ile 4 tane arasında gerçekleştirilen, 4'ten fazla gerçekleştirilen proje sayısı olarak alt yüklenici deneyimi dördüncü tip tercih fonksiyonu ile değerlendirilmiştir.

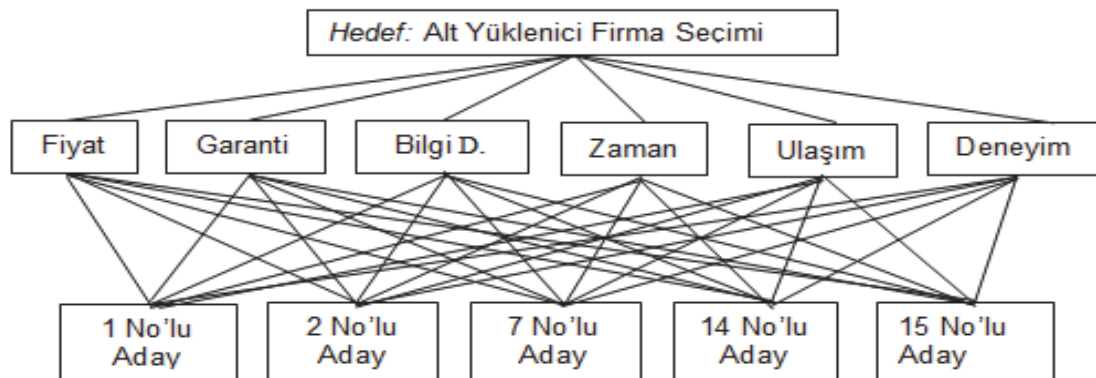
Zaman: Alt yüklenici firmanın, proje teslim etme süresi 18 ay kabul edilebilir bir zaman olarak tanımlanmıştır. 18 ay'dan daha uzun sürede gerçekleştirecek alt yüklenici uygun değildir. Bu

değerlendirme için en uygun tercih fonksiyonu ikinci tiptir.

Garanti: 5 yıl ana firma için yeterli bir garanti süresidir. 5 yıldan daha kısa süreli garanti kapsamı uygun değildir. Bu değerlendirme için tercih fonksiyonu yine ikinci tiptir.

Promethee II Adım 1: Karar matrisinin girdileri alternatifler, kriterler ve kriter ağırlıklarıdır. Promethee II yöntemi Adım 1'in bir kısmını oluşturan kriter tanımları ve Promethee II yöntemi Adım 2'yi oluşturan tercih fonksiyonu için gereklilikler bir önceki aşamada belirlenmiştir. Alternatiflerin belirlenmesinde; 15 aday alt yüklenici firmadan hazırlanan firma bilgi formunu doldurmaları istenmiş ve yapılacak iş ile ilgili bilgilendirilmek üzere teklif dokümanı iletilmiştir. Firma bilgi formu; firma bilgileri, personel bilgileri, gerçekleşmiş proje bilgileri, yürüyen proje bilgileri, teslim süresi, garanti süresi, fiyat teklifi alanlarından oluşmaktadır. Adayların hepsinden yanıt alınmıştır. Yüklenici firma, çalışacağı alt yüklenicilerin Türk firması olmasını ulusal güvenlik gerekçesiyle zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle Türk olmayan altı firma (5, 9, 10, 11, 12, 13 nolu adaylar) elenmiştir. Ayrıca fiyat teklifi oldukça yüksek olan dört firma (3,4,6 ve 8 nolu aday firmalar), ayrılan proje bütçesini aşması sebebiyle elenmiştir. Geriye kalan 1,2,7,14, ve 15 nolu alt yüklenici firmalar alternatifler kümesini oluşturmuştur.

AHP Adım 2: Hiyerarşi Şekil 2'deki gibi oluşturulmuştur. Önceki adımda kriter tanımları, kriterler arası çapraz ilişkiye yer vermeyecek şekilde düzenlenmiştir. Ayrıca yöntemin subjektif etkilerini minimize edebilmek amacıyla kriter tanımları sayısal verilere dayandırılarak bulanıklıktan uzak kalınmıştır. Hiyerarşide; kriterlerin, üst amacı açıklamada ayrıntılı/kapsayıcı olmasının yanında, gereksiz olmamasına da özen gösterilmiştir. Karar vericinin bilgi, tecrübe ve istekleri dahilinde, kriterler alt kriterlere ayrılmamıştır.



Şekil 2. Alt yüklenici seçimi için hiyerarşi (Decision hierarchy for subcontractor selection)

Tablo 1. İkili karşılaştırma matrisi (Binary comparison matrix)

	Bilgi Düzeyi	Deneyim	Zaman	Ulaşım	Fiyat	Garanti
Bilgi Düzeyi	1	3	1/4	3	1/5	1/4
Deneyim	1/3	1	1/3	2	1/5	1/3
Zaman	4	3	1	4	1/3	2
Ulaşım	1/3	1/2	1/4	1	1/5	1/5
Fiyat	5	5	3	5	1	4
Garanti	4	3	1/2	5	1/4	1

Tablo 2. Kriter ağırlıkları (Weights of criteria)

Kriter Ağırlıkları	Bilgi Düzeyi	Deneyim	Zaman	Ulaşım	Garanti	Fiyat	Toplam
	0,0971	0,0640	0,2106	0,0449	0,1755	0,4080	1,000

AHP Adım 3,4: Karar vericinin görüşleri doğrultusunda ikili karşılaştırma matrisi Tablo 1'deki gibi oluşturulmuştur. Her bir değer ait olduğu sütun toplamına bölünerek matris normalize edilmiştir. Her bir satır toplamı kriter sayısına bölünerek kriter ağırlıkları Tablo 2'deki gibi hesaplanmıştır. Gerekli hesaplamalar için Excel kullanılmıştır.

AHP Adım 5: Hesaplanan 0,0828 tutarlılık oranı, 0,1'in altında kaldığı için sonuçlar tutarlıdır.

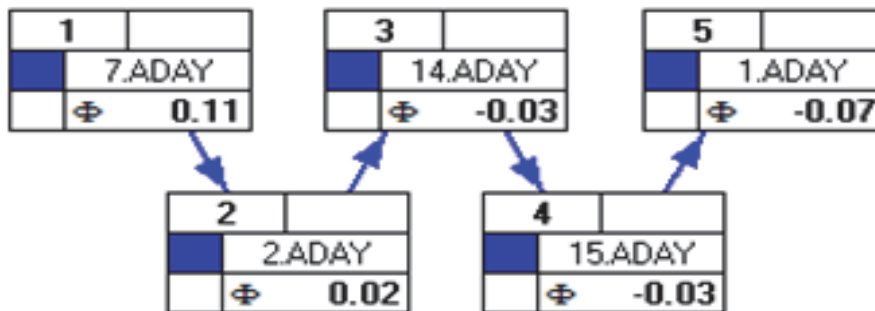
Promethee II Adım 3. Alternatifler, kriterler, kriter temelinde belirlenen tercih fonksiyonları ve tercih fonksiyon parametreleri ve AHP ile elde edilen kriter ağırlık değerleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

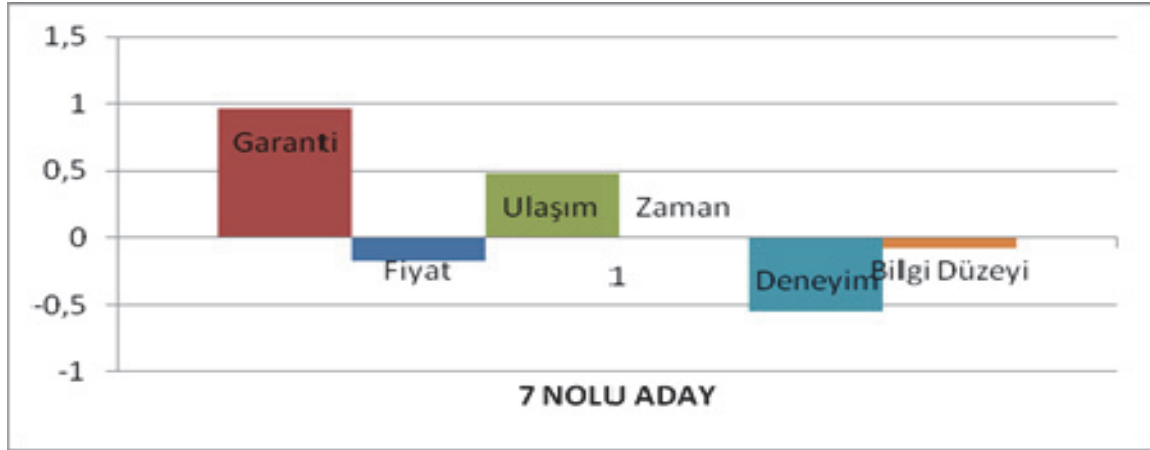
Promethee II Adım 4. Tablo 3'deki verilerin Desicion Lab 2000 programına girilmesinin ardından pozitif ve negatif üstünlükler hesaplanmıştır. Elde edilen kısmi sıralamaya göre 7 no'lu alternatif diğerlerine göre tercih edilebilmektedir. 2 no'lu alternatif ikinci sırayı alırken, 14 ve 15 no'lu alternatifler birbirleriyle karşılaştırılmaz. 1 no'lu alternatif ise son sırayı almaktadır.

Promethee II Adım 5. Pozitif ve negatif üstünlükler arasındaki farktan ibaret olan net üstünlük hesaplanarak Promethee II ile elde edilen tam sıralama Şekil 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Kriter temelli ağırlıklandırılmış veri matrisi (Criterion-based weighted data matrix)

Kriterler	Enb Enk	Adaylar					Fonk. tipi	Ağırlıklar	Parametreler
		1	2	7	14	15			
Bilgi Düzeyi	Enb	4,5	5	4	6	2	V	0,0971	s=4, r=12
Deneyim	Enb	2	2	1	2,5	3	IV	0,0640	q=2, q+p=4
Zaman	Enk	18	12	18	24	18	II	0,2106	l=18
Ulaşım	Enb	3	7	8	7	3	III	0,0449	m=5
Garanti	Enb	3	5	10	3	5	II	0,1755	l=5
Fiyat	Enk	310	340	400	300	435	IV	0,4080	q=250, q+p=500

**Şekil 3.** Promethee II ile tam sıralama (Promethee II complete ranking)



Şekil 4. Kriter bazında değerlendirme (Criterion-based assessment)

Tam sıralamada, 7 no'lu alternatif diğerlerine göre üstün ve takip eden sıralama 2, 14, 15 ve 1 no'lu alternatif şeklindedir. Kısmi ve tam sıralamaya bakıldığında her iki durumda da ilk iki sıradaki alternatif değişmezken, kısmi sıralamada birbirleri ile kıyaslanamaz sonucunun çıkartıldığı 14 ve 15 no'lu alternatifin tam sıralaması yapılabilmiş ve 14 no'lu alternatifin 15 no'lu alternatiften daha üstün olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tam sıralamada birinci sırada yer alan ya da sıralama içerisinde diğer alt yüklenici firmalar için kriter bazında değerlendirmeye ulaşmak, geri besleme sağlamak açısından Promethee yönteminin önemli bir çıktısıdır.

Kriter Bazında Değerlendirme: Decision Lab 2000 programı, her bir alternatifin kriterler bazında değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır. Burada sıralamada birinci gelen 7 no'lu alternatifin kriter bazında değerlendirmesine ait sonuç Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4'de 7 no'lu alternatifin Garanti ve Ulaşım kriterleri açısından diğer firmalar arasında en iyi değere sahipken, Deneyim kriteri açısından ise diğer alternatif alt yüklenicilere göre daha kötü bir değere sahip olduğu belirlenmektedir. Bu değerlendirme işe başlarken seçilen alt yüklenici firmaya geri besleme bilgisi ve beklentiler olarak sunulabileceği gibi, proje tamamlandığında garanti ulaşım ve zaman kriterleri açısından beklenen düzeyde başarı elde edilip edilemediğinin sorgulanması için temel bir bilgi temin etmiş de olacaktır.

4.1. Duyarlılık Analizi (Sensitivity Analysis)

Wolters ve Mareschal [34], çok kriterli karar verme problemlerinde “kriter ağırlıklarındaki minimum değişimin” incelenmesinin, dinamik karar ortamlarında alternatif sıralamalara ulaşılarak fayda sağlayacağını belirtmişlerdir. Daha sonra Mareschal [35], ağırlıkların başlangıç değerleri dikkate alındığında hangi aralıklar dâhilinde sıralamanın değişmeyeceğine dair “durağan aralık analizi” adıyla anılan bir hesaplama geliştirmiştir.

Bu çalışmada, durağan aralık analizi sonuçları Decision Lab 2000 programı ile elde edilmiş ve Tablo 4'de özetlenmiştir. Tablo 4 her bir kriter için mevcut sıralamanın değişmeden kalabileceği aralıklar belirtilmektedir. Bu aralıklara göre, ulaşım kriteri ağırlığı 0,0439'un altında veya garanti kriteri ağırlığı 0,1796'nın üzerinde bir değer olursa sıralama değişecektir. Diğer durumlarda mevcut sıralama aynı kalacaktır. Bu analiz ile sistem içi ve dışı değişen şartlara bağlı olarak karar vericinin isteği doğrultusunda AHP ile belirlenen kriter ağırlıkları değiştiğinde sonuca etkisi incelenmek istenmiştir.

Tablo 4. Durağan aralık analizi (Stability interval analysis)

Kriterler	Ağırlık	Aralık	Alt Limit	Üst Limit
1 Bilgi Düzeyi	0,0931	0		Sonsuz
2 Deneyim	0,0640	0		Sonsuz
3 Zaman	0,2106	0		Sonsuz
4 Ulaşım	0,0449	0,0439		Sonsuz
5 Garanti	0,1755	0		0.1796
6 Fiyat	0,4080	0		Sonsuz

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, bir savunma sanayi firmasının ARGE bölümünde geliştirilen Milli AUV projesinin alt sistemlerinden biri olan Robot Kolu Üretimi ve Robot Kolu Yazılımını gerçekleştirecek alt yüklenici firma seçimi problemi ele alınmıştır. Problem, AHP ve Promethee II bütünlük yöntemi ile çözümlenmiştir. Promethee II ile seçilen 7 no'lu alternatifin kriterler bazında değerlendirilmesi yapılarak, firmanın dikkate alınan kriterler bazında geliştirebileceği yönleri ortaya konmuştur. Ayrıca kriter ağırlıklarının sıralamayı ne

şekilde değiştirdiğini incelemek amacıyla, durağan aralık analizi yapılmıştır. Macharis ve ark. [24] çalışmasında her iki yöntemi ve bütünlük kullanınının avantajlarını açıklamışlardır. Bütünlük olarak kullanılan yöntemlerden AHP, değer-fayda temelli, subjektif ağırlıklandırma metodları içerisinde yer alır. Karar vericinin (vericilerin) değiştiği, ve/veya fikir(ler)inin değiştiği durumda belirlenen ağırlıkların değişiminin incelenerek duyarlılık analizi yapılması oldukça önemlidir. Bu çalışmada kriterlere ait ağırlıklar, tek karar vericinin proje yöneticisi olduğu durum için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi ile elde edilmiştir. Alternatif alt yüklenicilerin sıralama ve seçim probleminin çözümü için ise Promethee II yaklaşımı kullanılmıştır. Promethee II yaklaşımı değişen ağırlıklar söz konusu olduğunda sıralamaya etkisini araştırmayı mümkün kılan duyarlılık analizine imkan vermesiyle diğer yöntemlerden ayrılmaktadır. Yaklaşımın diğerlerinden farklı kılan bir başka özelliği ise bir alternatifler kümesinde çoğunlukla etkin (birbirine baskın olmayan) alternatiflerin yer alması durumunda hem karar vericinin (vericilerin) hem de analistin kolaylıkla tanımlayıp anlayacağı fayda fonksiyonları ile kıyaslanamazlık probleminin aşılmasını sağlamasıdır.

Kullanılan yöntem ve uygulanan sektörün farklılığı ile literatüre katkı sağlayan bu çalışmada, proje yöneticisinin belirlediği kriter ağırlıkları ile Promethee II yönteminin yukarıda belirtilen faydalarından yararlanarak bir sıralama ve seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Problemin gerçekte var olduğu şekliyle ifadesini mümkün kılan bütünlük yaklaşım sayesinde, yüklenici firma için ana projeyi başarıya taşıyacak faydalı ve uygulanabilir sonuçlar elde edilmiştir.

Geleceğe yönelik olarak, kriter tanımlarında insan unsurundan kaynaklanan belirsizliklerin dikkate alındığı durum için bütünlük yöntemin bulanık versiyonunun oluşturulması faydalı olacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Makalenin iyileştirilmesindeki kıymetli katkılarından ve ayrıca geleceğe yönelik çalışmalar için ilham kaynağı olmalarından dolayı hakemlere derin tesekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Dolgui, A. ve Proth, J.M., "Outsourcing: definitions and analysis", **International Journal of Production Research**, Cilt 51, No 23-24, 6769-6777, 2013.
2. Kumaraswamy, M.M. ve Matthews, J.D., "Improved Subcontractor Selection Employing Partnering Principles", **Journal Of Management in Engineering**, Cilt 16 No 3, 47-57, 2000.

3. El-Mashaleh, M.S., "A Construction Subcontractor Selection Model", **Jordan Journal of Civil Engineering**, Cilt 3, No 4, 375-383, 2009.
4. Ulubeyli, S., Manisalı, E., Kazaz, A., "Subcontractor Selection Practices In International Construction Projects", **Journal Of Civil Engineering and Management**, Cilt 16, No 1, 47-56, 2010.
5. Can, Ş., "Bir Savunma Sanayi Firmasında Çok Kriterli Alt Yüklenici Seçim Problemi Ve Çözümü", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
6. Rahman, M.M., Kumaraswamy, M.M., "Relational Selection for Collaborative Working Arrangements", **Journal of Construction Engineering and Management**, Cilt 131, No 10, 1087-1098, 2005.
7. Hartmann, A., Ling, F.Y.Y., Tan, J.S.H., "Relative Importance of Subcontractor Selection Criteria: Evidence from Singapore", **Journal of Construction Engineering and Management**, Cilt 135, No 9, 826-832, 2009.
8. Park, S.H., "Whole Life Performance Assessment: Critical Success Factors", **Journal of Construction Engineering and Management**, Cilt 135, No 11, 1146-1161, 2009.
9. Perng, Y.H., Chen, S.J., Lu, H.J., "Potential Benefits for Collaborating Formwork Subcontractors Based on Co-Operative Game Theory", **Building and Environment**, Cilt 40, No 2, 239-244, 2005.
10. Ko, C.H., Cheng, M.Y., Wu, T.K., "Evaluating Sub-Contractor Performance Using EFNIM", **Automation in Construction**, Cilt 16, No 4, 525-530, 2007.
11. Assmann, D., Punter, T., "Towards Partnership in Software Subcontracting", **Computers in Industry**, Cilt 54, No 2, 137-150, 2004.
12. Tatsiopoulos, I.P., Ponis, S.T., Hadziliadis, E.A., Panayiotou, N.A., "Realization of The Virtual Enterprise Paradigm in The Clothing Industry Through E-Business Technology", **Production and Operations Management**, Cilt 11, No 4, 516-530, 2002.
13. Ünsal, H. I. ve Taylor, J. E., "Modeling Interfirm Dependency: Game Theoretic Simulation to Examine the Hodup Problem in Project Networks", **Journal of Construction Engineering and Management**, Cilt 137, No 4, 284-293, 2011.
14. Wang, D.W., Yung, K.L., Ip, W.H., "A Heuristic Genetic Algorithm for Subcontractor Selection In A Global Manufacturing Environment", **IEEE Transactions On Systems Man and Cybernetics Part C-Applications and Reviews**, Cilt 31, No 2, 189-198, 2001.
15. Salo, A. ve Punkka, A., "Rank Inclusion in Criteria Hierarchies", **European Journal of Operational Research**, Cilt 163, No 2, 338-356, 2005.
16. Lin, Y.H., Lee, P.C., Ting, H.I., "Dynamic Multi-Attribute Decision Making Model Grey Number

- Evaluations”, **Expert Systems with Applications**, Cilt 35, No 4, 1638-1644, 2008a.
17. Lin, Y.H., Lee, P.C., Chang, T.P., Ting, H.I., “Multi-Attribute Group Decision Making Under The Condition of Uncertain Information”, **Automation in Construction**, Cilt 17, No 6, 792-797, 2008b.
 18. Radziszewska-Zielina, E., “Methods for Selecting The Best Partner Construction Enterprise in Terms of Partnering Relations”, **Journal of Civil Engineering**, Cilt 16, No 4, 510-520, 2010.
 19. Hwang, C.L. ve Yoon, K., **Multi Attribute Decision Making Methods and Applications A State of The Art Survey**, Springer-Verlag, New York, 253, 1981.
 20. Tabucanon, M. T., **Multiple Criteria Decision Making In Industry**, 2nd Edition, Elsevier, New York, 12-107, 1988.
 21. Hwang, C.L. ve Lin, M.J., **Group Decision Making Under Multiple Criteria : Methods and Applications**, Springer-Verlag, New York, 1987.
 22. Brans, J.P. ve Vincke, P., “A Preference Ranking Organization Method: The PROMETHEE Method For MCDM”, **Management Science**, Cilt 31, No 3, 647-656, 1985.
 23. Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M., **Multiple Criteria Decision Analysis: State Of The Art Surveys: Edited Book**, Springer, Boston USA, 2005.
 24. Macharis C., Springael J., De Brucker K., Verbeke A., PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis-Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP, **European Journal of Operational Research**, Cilt 153, 307-317, 2004.
 25. Wang, J.J., Yang, D.L., “ Using a hybrid multi-criteria decision aid methodfor information systems outsourcing”, **Computers & Operations Research**, Cilt 34, 3691-3700, 2007.
 26. Dağdeviren, M., “Decision Making In Equipment Selection: An Integrated Approach With AHP and PROMETHEE”, **Journal of Intelligent Manufacturing**, Cilt 4 No 2, 397- 406, 2008.
 27. Caliskan, H; Kursuncu, B; Kurbanoglu, C, Güven Ş.Y., “Material selection for the tool holder working under hard milling conditions using different multi criteria decision making methods” **Materials & Design**, Cilt 45, 473-479, 2013.
 28. Akincilar, A., Dagdeviren, M., “A hybrid multi-criteria decision making model to evaluate hotel websites” **International Journal Of Hospitality Management**, Cilt 36, 263-271, 2014.
 29. Saaty T., **The analytic hierarchy process**, McGraw-Hill International Book Company, USA, 1980.
 30. Brans J.P., Vincke, B.H., Mareschal, B., “How to select and how to rank projects: the Promethee method”, **European Journal of Operational Research**, 24, 228-38, 1986.
 31. Behzadian, M., Kazemzadeh, R.B., Albadvi, A., Aghdasi, M., “Promethee: A comprehensive literature review on methodologies and applications”, **European Journal of Operations Research**, Cilt 200, No 4, 198-215, 2010.
 32. Dağdeviren, M., Eraslan, E., “PROMETHEE Sıralama Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 21, No 2, 48-52, 2007.
 33. Belair, D., Eagan, M., “Engineering Off-The-Shelf Solutions: A Life Cycle View”, **Naval Engineering Journal**, Cilt 108, No 3, 181-190, 1996.
 34. Wolters, W.T.M., Mareschal, B., “Novel types of sensitivity analysis for additive MCDM methods”, **European Journal of Operational Research**, Cilt 81, No 2, 281-290, 1995.
 35. Mareschal, B., “Weight stability intervals in multi-criteria decision aid”, **European Journal of Operational Research**, Cilt 33, No 1, 54-64, 1988.