

İnşaat Projelerinde Bilgisayar Destekli Risk Yönetim Sistemleri

Hakan KUŞAN, Osman AYTEKİN, İlker ÖZDEMİR

Osmanгази Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

Özet: Hızla değişen, gelişen ve her geçen gün küreselleşen dünyamızda, teknolojik, ekonomik ve politik değişimler dolayısıyla her geçen gün artan belirsizlikler ve riskler, firmaların alacağı karar mekanizmalarında etkin rol oynamaktadır. İnşaat işinin doğasında var olan risklere bakıldığında, riskin tanımlanması, analiz edilmesi ve tepki verilmesi için kullanılan yönetim tekniklerinin bu endüstride son yıllarda kullanılmaya başlamış olması şaşırtıcıdır.

Risk yönetimi ürünün düşünce aşamasından başlayarak müşteriye bir ürün olarak sunulabilmesine kadar tüm aşamaları kapsayan bir süreçtir. Risk yönetiminin hızlı kararlar ve faaliyetlerle sürekli olarak risklerin belirlendiği, hangi risklerin öncelikle çözümlenmesi gerektiğinin değerlendirildiği, risklerle başa çıkmak için stratejiler ve planların geliştirilerek uygulandığı bir sistematik yapı veya belirsizlikleri ve belirsizliğin yaratacağı olumsuz etkileri daha kabul edilebilir düzeye indirmeyi hedefleyen bir disiplin olduğunu söyleyebiliriz.

Bu çalışma kapsamında risk yönetimi ve analizi konusunda kullanılan yazılımlar ve literatürde yer alan modeller genel olarak incelenmiştir. Projelerde karşılaşılan ve çoğu zaman sözel olarak ifade edilen risklerin proje üzerindeki etki büyüklüğünün belirlenmesi için bulanık mantık teorisi, AHP (Analytic Hierarchy Process) vb. gibi yöntemlerin risk analiz ve yönetim modellerinde son yıllarda daha fazla kullanılabilir hale geldiği gözlemlenmiştir. Bilgisayar teknolojisinin gelişimi ile birlikte proje süresince risklerin tanımlanması, analiz edilmesine olanak kılacak ve kullanıcıların yönetim işlemlerini sistematik olarak izleyebilecekleri yazılımların veya modellerin geliştirildiği ve risk yönetimi konusunda daha bilinçli ve aktif bir rolün üstlenildiği görülmektedir.

Giriş

Günümüzde inşaat sektöründe faaliyet gösteren firmalar varlıklarını, fırsatları değerlendirerek ve bu fırsatların avantajlarını ortaya çıkararak sürdürmektedirler. Dolayısı ile projeler yeni ve farklı şeyler ortaya koymak için üstlenilmekte, bu durumda da risk faktörü projelerin kaçınılmaz bir parçası haline gelmektedir. İnşaat sektöründeki firmaların çalışma programları, yürüttükleri projenin süresi ile sınırlı olması nedeniyle firmalar, uzun vadede piyasadaki varlıklarını sürdürebilmek için, kar payı düşük ya da risk düzeyi yüksek projeleri üstlenmek durumunda kalabilmektedirler [1]. Öte yandan, sektörde proje üretim ve yönetim maliyetleri tahmine dayanmakta, öngörülen maliyet hedeflerinde sapmanın ortaya çıkması istenmedik sonuçlara yol açabilmektedir. Bun-

ların yanı sıra, yeterince analiz etmeden, risk düzeyi yüksek olarak değerlendirilen projeleri üstlenmekten kaçınmanın, ekonomik kayıplara yol açacağı söz konusu olmaktadır. Nitekim sektörün bu nitelikleri, inşaat mühendisliğinde risk yönetimini gerekli kılmaktadır [2].

İnşaat sektörünü diğer sektörlerle kıyasladığımızda maliyetlerin artışı, projenin gecikmesi ve hatta projenin başarısızlığı gibi sonuçlar doğuran birçok risk kaynağı ile karşı karşıya kalmaktadır [3]. İnşaat projelerinin; proje, ülke ve pazardan kaynaklanan pek çok belirsizliği bünyesinde barındırması, inşaat projelerinde risk yönetimi uygulamalarını zorlaştırmış ve işlemin sistematik olarak yürütülebilmesi için, değişen senaryolar altında proje performansının ölçülmesi ve geçmiş proje deneyimlerinin yeni projeler için kullanılması gibi konuları

kapsayan risk yönetim sistemlerinin geliştirilmesini ve kullanımını kaçınılmaz hale getirmiştir [4].

Risk Yönetimi Tekniklerinin Günümüzde Kullanımı

İnşaat sektörünün günümüzdeki yapısı, şantiye çevresindeki sürekli değişen çevresel koşullar, zararlı kaynaklara doğrudan maruz kalma, iş programı ve maliyetleri tutturmak için oluşan baskı, inşaat tekniklerindeki artan karmaşıklık v.b. risklerin üstesinden gelmek için rekabet eden bir düzen içerisinde. İnşaat risk analizi, özellikle projenin erken aşamalarında karışıktır, çünkü risk yapısı genellikle insan hatası, uygun veri ve bilgiyi içeren çeşitli faktörlerden etkilenir. Pek çok durumda, büyük belirsizlik içermesi nedeniyle proje ile ilgili risklerde yaklaşımlarda bulunmak aşırı zor olabilir [5]. Bu nedenle, inşaat sektöründe risk konusunda yapılan çalışmaların yoğunlaştığı alan riskin, doğrudan proje hedefleri çevresinde özellikle süre ve maliyet bazında risk analizi ile ilgili çalışmalar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu tür çalışmalarda, çok sayıda istatistik ve yöneylem araştırması teknikleri kullanılmaktadır. Bunlardan yarar analizi, karar analizi, olasılık ağacı analizi, duyarlılık analizi, Monte-Carlo benzetimi, Caspar ve sezgi gibi tekniklerden inşaat mühendisliği uygulamalarında yaygın biçimde yararlanılmaktadır.

Karar analizi yöntemlerine örnek olarak algoritmalar, Bayes Karar Teorisi ve karar ağaçları verilebilir. Bunlar belirsiz bir ortamda karar verme olanağı sağlarlar. Algoritmalar bir problem çözümü için komutlar dizisi içerir. Bayes Karar Teorisi, karar vericinin geçmiş bilgi ve tecrübesinin sonucu oluşan kişisel yargılarını analize katarak ve Bayes Teoremi yardımıyla alternatif hareket tarzlarını sistematik bir şekilde değerleyen

bir analizdir. Karar ağacı ise, karar vericinin büyük bir projenin amaçlarını gerçekleştiren en iyi alternatifleri tanımlamasında, belli sayıda bilinen alternatifler ve onların olası sonuçlarını grafiksel olarak ağaç formunda gösterir. Karar ağacı yöntemi inşaat yapım yöntemlerine karar vermede, alternatif projeleri seçmede ve bir fikir ile devam etmek veya başarılı bir fikrin benzeri yaklaşımında bulunmak gibi sözleşme problemlerinde karar vermede kullanılır [6].

Monte Carlo analizi stokastik simülasyonun bir şeklidir. Bu yöntem kullanılarak, gerekli güvenlik derecesine dayanan belli sayıda iterasyonların gerçekleştirmesi ile proje sonucunun olasılığı elde edilir. Caspar ise proje değerlendirilmesi için bilgisayar destekli bir simülasyondur. Projenin bütün ömrü boyunca zamanın etkileşimini, kaynakları, maliyeti ve gelirini modellemek için tasarlanan bir proje yönetim aracıdır ve gecikme, enflasyon, üretim oranları veya pazardaki değişiklikler gibi faktörlerin sonuçlarını değerlendirme kapasitesi vardır [7]. Bunun gibi bilgisayara dayalı yöntemler, dinamik proje ortamlarına uyumludurlar. Risk içeren projelere deterministik bir yolla yaklaşım sunan bu yöntemler, inşaat yönetimi sürecinin ardışık yapısını hesaba katmada başarısız olduğu için eleştirilmektedirler.

Perry ve Hayes [8] çalışmalarında risk analizleri için, yarar analizi, duyarlılık analizi, olasılık analizi, Monte-Carlo benzetimi, karar ağacı analizi gibi genelde stokastik nitelikli tekniklerinin kullanıldığını ve kullanılabilirliğini, ancak özellikle kritik-büyük boyutlu projeler üzerinde bunları uygulamanın sınırlı tutulması gerektiği belirtilmektedir. Gerçekte bu sınırlama, söz konusu yöntemlerin inşaat sektöründe risk analizi için fazlaca güvenilir olmadığı görüşünü de beraberinde getirmektedir [2].

Yukarıda açıklanan istatistik ve yöneylem tekniklerini kullanan bazı yazılımlardan da inşaat projelerindeki risk yönetiminde yararlanılmaktadır. Tablo 1’de risk yönetiminde kullanılan bazı yazılımların isimleri, özellikleri ve risk yönetimi uygulamalarının hangi aşamalarında kullanıldığı gösterilmiştir [4]. Tablo 1’den risk yönetimi sistemleri için tam olarak destek

sağlayabilen yazılım sayısının sınırlı sayıda olduğu ve bu yüzden, literatürde kavramsal çerçevede çok sayıda çalışma olduğu görülebilir. Ancak, bu kadar çok çalışmaya rağmen, risk yönetimi sürecini tam olarak destekleyen risk yönetimi örneklerinin sistemlerden daha çok yöntemler şeklinde var oldukları da bilinmektedir [9].

ARAÇ	Üretici	Kullanım Alanları	Kullanılan Yöntem	Desteklenen Risk Yönetim Aşamaları
@Risk	Palisade Europe	Proje maliyeti-süre tahmini, risk hesaplaması	Monte Carlo Benzetimi	Risk analizi
CRIMS	Expert Choice	Tespit edilmiş kriterlere göre alternatif	AHP	Risk analizi
Decision Pro	Vanguard Software	Senaryo kurgulaması	Monte Carlo Benzetimi, Karar ağacı yönetimi	Risk analizi
Crystal Ball	Decisioneering	Proje değişikliklerine göre olasılık tabanlı modelleme, proje maliyet ve süre tahmini ve hesaplanması	Monte Carlo Benzetimi, Duyarlılık testi	Risk analizi
iDecide	Decisive tools	Risk değerlendirme	Monte Carlo Benzetimi, etkileşim diyagramı yöntemi	Risk analizi
Monte Carlo	Primavera	Proje değişkenlerine göre olasılık tabanlı modelleme, değişik planlanma yazılımları ile entegrasyon	Monte Carlo Benzetimi	Risk analizi
Precision Tree	Palisade Europe	Karar destek işlemi	Karar ağacı yöntemi, etkileşim diyagramı örneği	Risk analizi
Predict! Risk Analyser	Risk Decisions	Olasılık dağılımları ile proje değişkenlerinin modellenmesi, değişik planlama yazılımları ile entegrasyon	Monte Carlo Benzetimi	Risk analizi
Risk+	Project Gear	MS Project programı ile bütünleşik uygulama, olasılık dağılımları ile proje değişkenlerinin modellenmesi, risk haritası geliştirilmesi	Monte Carlo Benzetimi	Risk analizi
OpenPlan Professional	Welcom Software	Proje bilgi yönetim sistemi ile entegre kullanım	Monte Carlo Benzetimi	Risk analizi ve görüntüleme
REMIS	HVR Consulting Service	Her aşamada risk yönetimi karar destek sistemi uygulaması, risk kontrolü ve iş ayırımı yapısı entegrasyonu	Monte Carlo Benzetimi	Risk teşhisi analizi, kontrolü ve planlaması
Ris3 Risgen	Line International	Risk teşhisi, risk kayıtlarının oluşturulması	Monte Carlo Benzetimi	Risk teşhisi analizi, kontrolü ve planlaması

Tablo 1. Risk yönetim yazılımları [4].

Yapay Zeka Yöntemlerinin Risk Yönetiminde Kullanımı

Yukarıda sözü geçen karmaşık sayısal risk analizi tekniklerinin verimli uygulamaları için, yüksek kalitede veri önkoşuldur. Maa-lesef benzer veriyi inşaat sektöründe elde etmek zordur. Ayrıca, inşaat aşamaları ile ilgili belirsizlikleri ve öznellikleri temsil etmede zorlanırlar. Bu nedenle, proje yönetiminde karar vermek için üretilen herhangi bir risk bilgisinin işlendiği ve güvenle uygulandığı kabul edilebilir bir yolla inşaat risklerini tanımlamada ve yaklaşımda bulunmada yeni risk analizi yöntemleri geliştirmek gereklidir. Bunun için, bulanık mantık kümeleri ve AHP vb. araçların kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır.

Risk yönetimi alanında bulanık mantıktan yararlanmak için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Kangari [10] bulanık kümeleri kullanan inşaat risk yönetimi için bütünlük bilgi tabanlı bir sistem sunmuştur. Uzman Risk denilen bu sistem, risk analizini iki durumda gerçekleştirir: İnşaat yapımından önce ve inşaat yapımı sırasında risk seviyeleri bulanık kümeler olarak uygulanan sözel değişkenler kullanılarak açıklanmıştır. Kangari ve Riggs [11] sözel değişkenler kullanan inşaat risk yaklaşımı kavramını test etmek için bir sistem açıklamışlardır. Yaklaşımda daha çok detay sağlamak için sınırlı sayıda riskler kullanılmış ve sözel değişkenlerin faydaları ve zararları tartışılmıştır. Peak ve diğ. [12] inşaat projelerindeki teklif bedelleri yaklaşımı için bulanık kümelerin kullanımını amaçlamışlardır. İnşaat sözleşmelerinde para kaybı ile sonuçlanmış riskleri analiz etmişler, inşaat projeleri ile ilgili bulanık kümeler ile temsil edilen ve belirsizliği dikkate alan bir risk fiyatlandırma yöntemi önermişlerdir. Ross ve Donald [13] hata ve olay ağaçlarının, risk yaklaşımı problemlerinde kullanıldıkları şekle benzer bir biçimde matematiksel gösterimi için bulanık küme teorisini kullanmışlardır. Wirba ve diğ. [14] de sözel değişkenleri kul-

lanarak, bir risk olayı oluşum benzerliğinin, riskler ve bir risk olayının öneminin arasındaki bağımlılık seviyesini sözel değişkenler ve bulanık mantık kullanılarak sayısalılaştırıldığı bir modeli geliştirmişlerdir.

Tah ve Carr' [15-17] yaptıkları üç çalışmada, risk değerlendirmesi için bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak geliştirdikleri ve PRIME adını verdikleri bilgisayar programı ve bu modelin alt yapısı sunmaktadır. Geliştirilen sistem; I-Riskleri tanımlama, II-Riskleri değerlendirme, III-Risk analizi, IV-Risk işleme ve V-Risk büyüklüğünün tespiti aşamalarından oluşmaktadır. Risk kaynaklarına bağlı olarak risk faktörlerini iç ve dış riskler olarak sınıflandırılmıştır. Dış risklerin kontrol edilemez olduğu ve proje süresi boyunca sürekli izlenmesi gerektiği, iç risklerin ise proje ile ilgili olduğu için kontrol edilebilir olduğu belirtilmektedir. Proje için tespit edilen risklerin olasılıkları ve önem dereceleri düşük, düşük-orta, orta, orta-yüksek ve yüksek olarak tanımlandıktan sonra PRIME kullanılarak projenin süre, maliyet, kalite ve güvenlik risk büyüklükleri hesaplanabilmektedir.

Dikmen ve diğ. [18] yaptıkları çalışmada uluslararası inşaat projelerinde sözleşme bedeliyle ilgili riskin bulanık mantık yaklaşımı ile değerlendirilmesi modelini sunmuşlardır. Sözleşme bedeli riski, ülke ve proje seviyesinde iki risk grubuna ayrılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre ülke ve proje risklerinin büyüklükleri ayrı ayrı hesaplanmış, yüklenicinin bu ülke veya proje ile ilgili deneyimleri ve sözleşme şartları da göz önünde bulundurularak bu grupların sonuç risk büyüklükleri tespit edilmiştir. Her iki grup riskin sözleşme bedeli üzerindeki etkisi yine bulanık mantık yaklaşımı ile hesaplanmıştır. Yüklenicinin ülke veya projedeki deneyimi ve sözleşmedeki şartları risk üzerinde diğer risk faktörlerine göre daha etkili olacağı belirtilmektedir. Eğer yüklenicinin benzer projelerdeki deneyimi var ise beklenen proje riski dü-

şik olacaktır ve yüklenici bu proje için diğer firmalara daha avantajlı duruma gelecektir.

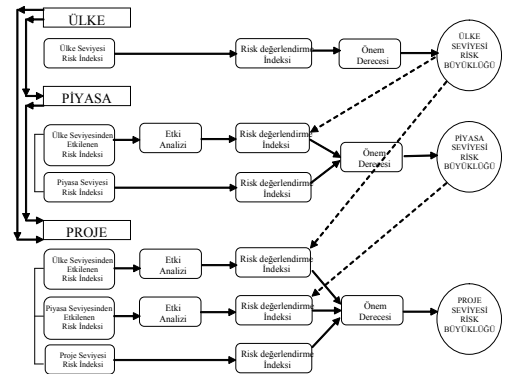
Saaty [19] tarafından geliştirilmiş olan AHP ise çok kriterli bir karar verme ve analiz yöntemidir. AHP hedef değişkeni etkileyen bütün elemanların problemin çözümü üzerinde sahip oldukları önem derecesine göre değerlendirir. Kararı etkileyen değişik seviyelerdeki sistem elemanlarının tek yönlü hiyerarşik bir ilişkiye sahip olduğunu kabul eder. AHP modeli en üstte bir hedef bunu tanımlayan alt kriterler ile hiyerarşinin en alt kademesinde bulunan karar alternatiflerinden oluşur. Herhangi bir seviyedeki elemanlar ikili olarak karşılaştırılır [20]. Üç aşamada gerçekleştirilen AHP' de ilk aşama ikili karşılaştırmadır. İkili yargıların bağımlılık kabulü ikinci aşamadır ve sonuncu aşama ise bağıl ağırlıkların hesaplanmasıdır.

Hastak ve Shaked [21] ICRAM-1 (International Construction Risk Assessment Model-1) adını verdikleri çalışmalarında, uluslararası inşaat projeleri için bir risk değerlendirme modelini sunmuşlardır. Bu modele göre risklerin üç farklı seviyede değerlendirilmesi gerektiği önerilmiştir. Bunlar I-Ülke Seviyesi, II-Piyasa Seviyesi ve III-Proje Seviyesi olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan her üç seviye hem somut göstergeleri (enflasyondaki artış, döviz rezervi vb.) hem de soyut göstergeleri (hükümetin yabancı girişimcilere karşı tutumu, piyasaların teknolojideki gelişmeler için uygunluğu vb.) içermektedir. Hastak ve Shaked, var olan hiçbir modelde inşaat sektöründe faaliyet gösteren yabancı firmaların karşılaştığı soyut ve somut risklerin her üç seviyede ve bu seviyelerin birbirleri üzerindeki etkilerinin incelenmediğini, önerilen ICRAM-1 modelinin bu önemli boşluğu dolduracağını belirtmektedirler.

ICRAM-1'de, AHP kullanılarak, her bir risk seviyesi için ayrı ayrı, seviyeyi oluşturan risklerin birbirlerine göre ağırlıkları belirlenmiştir. Risklerin önemine göre 0-100 arasında verilen

puanlar (0=minimum risk, 100=maksimum risk) ile ağırlıkların çarpımı sonucu her bir riskin toplam ağırlığı tespit edilmektedir. Her bir seviyeyi oluşturan risklerin toplam ağırlıklarının kümülatif toplamı, o seviye için tespit edilen risk büyüklüğünü ifade etmektedir. Şekil 1' de verilen ICRAM-1'in yapısında görüldüğü gibi ülke seviyesi risklerin hem piyasa seviyesi riskler üzerinde hem de proje seviyesi riskler üzerinde etkili olduğu, piyasa seviyesi risklerin ise proje seviyesi riskler üzerinde etkili olduğu unutulmamalıdır. Dolayısıyla piyasa seviyesi riskler ve proje seviyesi risklerin büyüklüğü belirlenirken, dolaylı yoldan diğer seviye risklerden etkilendiği belirtilmektedir.

Bulanık mantık ve AHP'nin inşaat risk yönetiminde kullanımına yönelik önceki yaklaşımlar incelendiğinde, inşaat projelerine uygulanmasında kısmi bir alanı hedefleyen veya riskin özgün tiplerine odaklanan yaklaşımlar olduğu görülebilir. Bununla beraber, çalışmaların hiçbirini her alanda uygulamak için yeterince genel ve temsil edilebilir ve bir inşaat alanındaki ana sorunların çözümünde ölçeklenebilir ve sağlıklı değildir. İnşaat sektöründe ciddi düşünce tüm proje hizmet ömrü boyunca ve inşaat kaynak zinciri süresince uygulanabilecek kadar genel ve pratikte uygulanabilecek kadar bilgi gösteriminin verilmesini gerektirdiği söylenebilir.



Şekil 3. ICRAM-1' in yapısı

Sonuç

Risk yönetimi karmaşık ve aşamalarının gözlemlenmesi zor olan bir sistemdir. Bunun yanında, karar ağacı, duyarlılık analizi, Monte Carlo analizi gibi kullanılmakta olan istatistiksel ve yöneylem risk analizi tekniklerinin daha mantıklı sonuçlar ortaya koyması için kaliteli veri gerekmektedir. Ancak, bu tür kaliteli verilerin inşaat sektöründe elde edilmesi oldukça güçtür. Ayrıca, bu nedenlere bağlı olarak bu tür teknikler genelleştirilememekte, riskleri sınırlı olarak sınıflandırmakta, sınırlı analiz yapmaktadır. Bir başka deyişle, bu teknikler risk analizine tam olarak cevap verememektedirler. Bu yüzden son yıllarda, bulanık mantık kümeleri ve AHP gibi tekniklerin de kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu teknikler de daha önce sözü geçen risk analiz tekniklerinin sınırlı uygulamalarını çeşitlendirerek risklerin sınıflandırılması, analiz edilmesi ve cevap verilmesi konusunda daha genel bir yaklaşım sağlanmasına olanak vermektedir. Buna rağmen, bulanık mantık kümeleri ve AHP gibi teknikler kullanılarak oluşturulan risk yönetimi sistemleri de kısıtlı bir alanda geçerlidir ve genel olarak temsil edilebilir değildir.

Sonuç olarak, bilgisayar teknolojisinin gelişimi, risklerin tanımlanması ve analiz edilmesine olanak kılacak, kullanıcıların yönetim işlemlerini sistematik olarak izleyebilecekleri yazılımların veya modellerin geliştirilmesine ve risk yönetimi konusunda aktif bir rol üstlenilmesine neden olmaktadır.

Referanslar

[1] Akusta, M.B., (2007) “Proje Risk Yönetimi ve Önemi”, (Çevrimiçi adres: <http://www.projeyoneticisi.com/2007/01/16/proje-risk-yonetimi-ve-onemi/>, erişim tarihi: 16 Ocak 2007)

[2] Karabay, M., “Uluslararası inşaat sektöründe politik risk ve bulanık kümeler yardımıyla analizi için bir yöntem önerisi”, **Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1997.**

[3] An, M., Baker, C., Zeng, J., “A fuzzy-logic-based approach to qualitative risk modeling in the construction process”, *World J Eng.*, 2(1), 2005, 1-12.

[4] Arıkan, A.E., Dikmen, İ., Birgönül, M.T., “Bütünleşik bir risk yönetim karar destek sistemi”, 3.Yapı İşletmesi Kongresi, 90-101, 2005, İzmir.

[5] Zeng, J., An, M., Smith, N.J., “Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment”, *International Journal of Project Management*, 25, 2007, 589-600.

[6] Thompson, P., Perry, J., “Engineering Construction Risks - A Guide to Project Risk Analysis and Risk Management”, **Thomas Telford Services, London, 1979**

[7] Willmer, G. “Development of Risk Models for Engineering Construction Projects”, **Ph.D. Thesis, University of Manchester, 1988**

[8] Pery, J.G., Hayes, R.W. (1985) “Risk and its management in construction projects”, *Proceeding of Inst. Civil Engineering*, pp.449-521

[9] Arıkan, A.E., “Development of a risk management decision support system for international construction projects”, **Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.**

[10] Kangari, R., “Construction risk management”, *Civil Engineering Systems*, 5, 1988, 114-20.

- [11] Kangari, R., Riggs, L. S., “Construction risk assessment by linguistics”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 36(2), 1989, 126–31.
- [12] Peak, J.H., Lee, Y.W., Ock, J.H., “Pricing construction risk – fuzzy set application”, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 119(4), 1993, 743–56.
- [13] Ross, T., Donald, S., “A fuzzy logic paradigm for fault trees and event trees in risk assessment”, *Computing in Civil Engineering*, Vanegas, J. and Chinowsky, P. (eds), ASCE, 1996, 369–75.
- [14] Wirba E.N., Tah J.H.M., Howes, R., “Risk interdependencies and natural language computations”, *Journal of Engineering Construction and Architectural Management*, 3(4), 1996, 251–69.
- [15] Tah, J.H.M., Carr, V., “A proposal for construction project risk assessment using fuzzy logic”, *Construction Management and Economics*, 18, 2000, 491-500.
- [16] Carr, V., Tah, J.H.M., “A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis : construction project risk management system”, *Advances in Engineering Software*, 32, 2001, 847-857.
- [17] Tah, J.H.M., Carr, V., “ Knowledge-based approach to construction project risk management”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 15, 2001, 170-177.
- [18] Dikmen, İ., Birgönül, M.T., Han, S., “Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects”, *International Journal of Project Management*, 25, 2007, 494-505.
- [19] Saaty, T.L., “*The analytic hierarchy process*”, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [20] Dikmen, İ., Birgönül, M.T., Özorhon, B., “Uluslararası Pazar seçiminde bir ANP uygulaması”, 3.Yapı İşletmesi Kongresi, 162-171, 2005, İzmir.
- [21] Hastak, M., Shaked, A., “ICRAM-1: Model for international construction risk assessment”, *Journal of Management in Engineering*, 16, 2000, 59-69