

İNŞAAT PROJELERİNDE MALİYET, SÜRE VE RİSKİN BİRLİKTE ELE ALINDIĞI SİMÜLASYONA DAYALI BİR RİSK YÖNETİM MODELİ

Mustafa TÜRKER^{1,*}

¹ Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara,

Türkiye

* mustafa.turker@gazi.edu.tr

Özet

Bu çalışmada inşaat projelerinde ana kaynak ve verimlilik unsurlarından olan süre, maliyet ve kalitenin, risk yönetimi ile optimizasyonu için bir model oluşturulmuş ve bu model Monte Carlo benzetimi ile bir üstyapı projesinin kaba inşaatına uygulanmıştır. Modele göre imalatlar üzerinden bir takım riskler oluşturulmuş, bu risklerin süre, maliyet ve kalite etkileri projeye ayrı ayrı yansıtılmıştır ve belirlenen proje risklerine karşı tepki planları uygulanmıştır. Modelin kurulumu, analizi ve risk kayıtları bir ticari yazılım ile sağlanmıştır. Model için; risklerin hiç hesaba katılmadığı, risklerin önlendiği, risklerin önlenmediği üç farklı durum belirlenmiş ve analiz edilerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Riskler dâhil edilmeden hesaplanan proje maliyeti 1659645,54 TL, yapılan benzetim sonucu %80 güven aralığında risklerin dâhil edilmesi ile 1859565,76 TL olmuş, risklere karşı 102000,00 TL maliyetinde bir ön yatırım yapılarak tepki uygulandığında bu rakam 1769360,70 TL olmuştur. Riskler dâhil edilmeden hesaplanan proje süresi 171 gün iken, risklerin dâhil edilmesi ile 230 gün olmuş, risklere karşı tepki uygulanması ile 205 güne düşmüştür. Sonuç olarak risklerin hesaba katıldığı ve önlem alınmadığı durumda planlanan değerlere kıyasla, proje maliyeti %12, proje tamamlanma süresi %34 artmıştır. Risklerin yönetilmesi ile tepki planlarının projeye uygulanması halinde ise risklerin maliyete olan etkisinin %45, süreye olan etkisi ise %42 azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Risk yönetimi; üstyapı projesi; Monte Carlo benzetimi; verimlilik

A SIMULATION BASED RISK MANAGEMENT MODEL WHICH COST, SCHEDULE AND RISK ARE CONSIDERED AS TOGETHER IN CONSTRUCTION PROJECTS

Abstract

In this study, a model is generated for optimizing schedule, cost and quality factors with risk management for the construction projects and this model has been applied for a shell and core part of a building construction project by using Monte Carlo simulation. According to the model, some risk impacts such as cost, schedule, performance are separately integrated to the project and response plans applied against these risks. A commercial software used for setting up the model. Three cases are designated for the model; no risk included to the plan, risks are included to the plan and accepted, risks are included to the plan and mitigated. In result, project cost of first case is 1659645,54 TL, second case is 1859565,76 TL and the third case is 1769360,70 TL with 80% confidence interval. Total risk mitigation cost is 102000,00 TL and included to the cost of third case. Project completion time of first case is 171 days, second case is 230 days, and third case is 205 days. In conclusion, risks are increased total project cost by 12% and completion time by 34%. Risk response plans decreased the risk impact for cost by 45% and the completion time by 42%.

Keywords: Risk management; building projects; Monte Carlo simulation; efficiency

1. Giriş

İnşaat projelerinde verimlilik, iyi bir proje yönetimi ile mümkün olur ve proje yönetimi, süre ve maliyet gibi kaynakları proje gereksinimlerine göre en uygun şekilde ve miktarda kullanmayı hedefler. İnşaat proje yönetiminin ana görevi projenin süre, maliyet ve kalite şartlarını sağlamaktır. Bu unsurlar da bazı dış ve iç faktörler etkisi altındadır. Bu etkiler proje yönetiminin bir bileşeni olan risk yönetimi ile yönetilir. Risk yönetimi, proje süresince kaynaklara etki edebilecek etkilerin belirlenmesinde ve etkilerinin en aza indirilmesi veya yok edilmesi ile ilgilenir. Risk yönetimi, proje yönetiminin kritik bir bileşenidir. Günümüzde artık yönetilmeyen riskler proje başarısızlığının ana sebeplerinden biri olarak gösterilmektedir [1].

Bu çalışmada betonarme bir binanın metraj bilgileri kullanılarak birim fiyat analizleri ile kaynak kullanımları belirlenmiş ve buna göre bir planlama yapılmıştır. Yapılan planlamada, projenin maruz kalabileceği maliyet, süre, kalite riskleri, risk tepki planları ve bunların maliyetleri yansıtılmıştır. Risklerin yönetildiği ve tepkisiz kalındığı durumlar karşılaştırılmış, risklerin yönetildiği durumda ne kadarlık bir ilk yatırım maliyetine karşılık kaynaklardan ne kadar tasarruf yapılabileceği belirlenmiştir.

2. Daha Önce Yapılan Çalışmalar

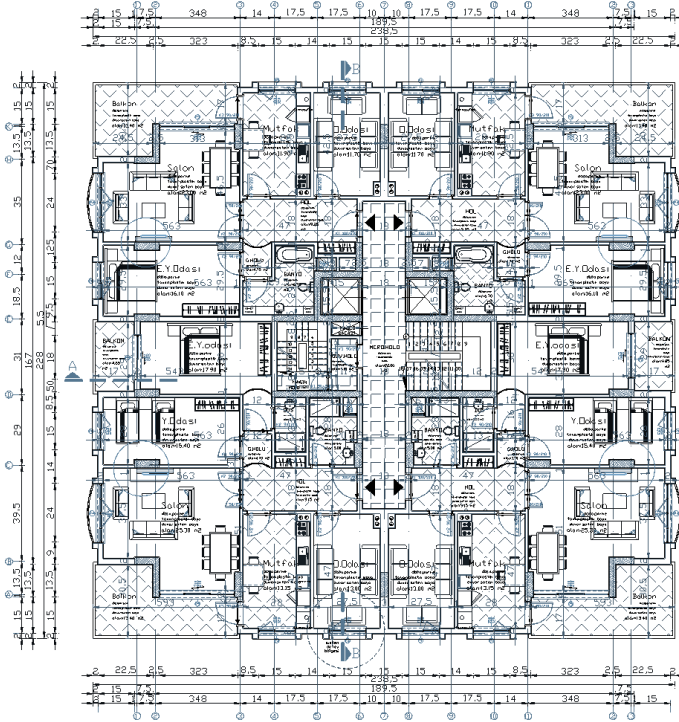
Risk yönetimi, günümüz literatüründe 4 bileşenden oluştuğu genel olarak kabul edilmiştir. Bu bileşenler; riskin tanımlanması, risk analizi, risk tepki planlaması, risk gözetimi ve kontrolüdür [2]. Risklerin tanımlanması, analizi ve kabul edilebilirlik kriterinin hesaplanması aşamaları ISO standart tanımlarında risklerin değerlendirilmesi (risk assessment) adı altında gruplanır [3]. Risklerin değerlendirilmesi üzerine, Kangari ve Riggs (1989) bulanık küme teorisini geliştirmiş, ardından 90'lı yıllarda risk yönetim modelleri araştırmacıların ilgisini çekmiştir [4] [5]. Bilgisayarların kapasitelerinin de artması önceden mümkün olmayan birçok olanağı beraberinde getirmiş ve bunun sonucunda da çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar genel olarak olasılık ve bulanık küme teorisi üzerine yapılmıştır. Örnek olarak Hull (1990) Monte Carlo benzetimi ve PERT tekniklerini temel alan modeller geliştirmiştir [6]. Yeo (1990), aralık yaklaşımı metodu ile PERT tekniğini birlikte kullanan “beklenmeyen olay mühendisliği” metodunu geliştirmiştir [7]. Arıkan (2005), uluslararası inşaat projeleri için teklif hazırlama aşamasında kullanılmak üzere bir risk yönetim karar destek sistemi, Integrated Risk Management System (IRMS), geliştirmiştir. Hiyerarşik risk yapılanması kullanılarak risklerin tespit edilmesi, Monte Carlo benzetimi kullanılarak risk analizi yapılması, risk derecelendirilmesi ile risklerin değerlendirilmesi, risk yönetim stratejilerinin geliştirilmesi, kurumsal bellek kullanımı ve risk görüntüleme işlemi IRMS'in içerdiği başlıca özellikler olarak vurgulanabilir [8]. Anaç (2007), risk değerlendirme aşamasını, proje öncesi, proje uygulanma sırasında ve proje sonrası durumlarında ele alarak, proje sonrası risk değerlendirilmesini destekleyen bir program geliştirmiştir [9]. Bu çalışma ile Anaç (2007), verilerin verimli kullanılması ile firmalar için ileriki projelerde daha isabetli bir risk yönetimi uygulanmasına imkân sağlayan, sürdürülebilir bir risk yönetim anlayışı kazandırmıştır. Nasser Abdollahi (2010), Marmaray Projesi ele alarak avrupa yakası kazı işlemleri için detaylı bir risk yönetimi

uygulanmış, sonuç olarak toplam proje süresinden (1316 gün) 555 gün, toplam proje maliyetinden (25125121,00 \$) 6675128,00 \$ tasarruf sağlanmıştır [10]. Bu çalışmada risk yönetimi ile tasarruf edilebilecek süre ve maliyetin bu kadar yüksek çıkması, projenin büyük ölçekte olması ve beklenilmeyen koşulların çok fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bu da sektöre, inşaat altyapı projelerinde risk yönetimi uygulamanın ne kadar önemli olduğunu vurgulayan bir çalışma olmuştur.

3. Materyal ve Metot

3.1. Materyal

Süre ve maliyet risk unsurlarının müştereken etki ettirilmesinin süre ve maliyet etkisinin incelendiği bu çalışmada, ele alınan yapıya ait metraj bilgileri ilgili bir firmadan edinilmiştir. Seçilen yapı, kare tipi bir plana sahip, iki bodrum, bir zemin ve on adet normal kat bulunan betonarme bir yapıdır. Yapının mimari planı Şekil 1’de gösterilmiştir. Yapı inşaatı için gerekli olan kaynak kullanımları, T. C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 2015 yılı birim fiyat analizleri [11] kullanılarak elde edilmiştir. Binanın kaba inşaatının planlanması, risk kayıtlarının oluşturulması, risk tepki planlarının oluşturulması, simülasyonun uygulanması, karşılaştırma analizlerinin yapılması için ticari bir yazılım olan Primavera Risk Analysis programı kullanılmıştır. Program Oracle firmasının gelişmiş olduğu bir programdır ve Pertmaster olarak da bilinir. Sadece Pertmaster yazılımı ile bir plan yapılabilir, kaynak kullanımları oluşturulabilir, her türlü kaynak kullanımına ait istatistiksel bir dağılım verisi atanabilir ve birbirleri arasında istenilen bir oranda ilişkilendirilebilir, proje riskleri detaylı bir şekilde kayıt edilebilir, Monte Carlo simülasyonu uygulanabilir, birden fazla durum birbirleri ile kıyaslanabilir. Bina inşaat için 135 normal faaliyet, 15 özet faaliyeti, 2 kilometre taşı (başlama ve bitiş olayları) ve bir adet monitör faaliyeti belirlenerek toplamda 152 faaliyet oluşturulmuştur. Proje için belirlenen faaliyetlere 49 farklı kaynak belirlenmiş ve toplamda 831 adet kaynak ataması yapılmıştır.



Şekil 1. Mimari Normal Kat Planı

3.2. Metod

Bu çalışmada uygulama için seçilen yapıya ait planlamanın yapılabilmesi için gereken veriler bazı kabuller doğrultusunda elde edilmiştir. Bu kabuller şunlardır;

- Proje plan takvimi günlük 8 saat ve haftanın 7 günü çalışılacak şekilde ayarlanmış olup, proje başlama tarihi 03.08.2015 saat 08.00 olarak belirlenmiştir.
- Birim imalat girdi miktarları, bir diğer deyiş ile faaliyetlerin kullandığı kaynak çeşitleri ve miktarları, birim fiyat analizlerindeki değerler kabul edilerek hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerde sadece doğrudan giderler ele alınmıştır. Müteahhit karı dâhil edilmemiş ve dolaylı giderler farklı bir kaleme ele alınmıştır.
- Bina inşaat maliyetini doğrudan ve dolaylı maliyetler oluşturmaktadır. Doğrudan maliyetler; işçilik, malzeme gibi imalatın gerçekleşmesi için gerekli direkt maliyetler olarak ele alınmıştır. Dolaylı maliyetler ise 3 farklı şekilde projeye yansıtılmıştır:

1. İlk yatırım maliyeti olarak; tasarım, projelendirme ve şantiye kurulumu adında 3 faaliyet oluşturulmuş ve ilk yatırım maliyetleri bu faaliyetler ile plana etki ettirilmiştir.
2. Faaliyet içi genel giderler olarak; toplamda toplam maliyetin %10'unu oluşturacak kadar bir maliyet belirlenerek her faaliyete porsantajı oranında dağıtılmış, faaliyet içerisinde ayrı bir kaynak kullanımı olarak belirtilmiştir.
3. Genel işletme giderleri olarak; günlük 180 TL sabit bir gider belirlenerek, proje süresince, monitör faaliyet aracılığı ile etki ettirilmiştir.

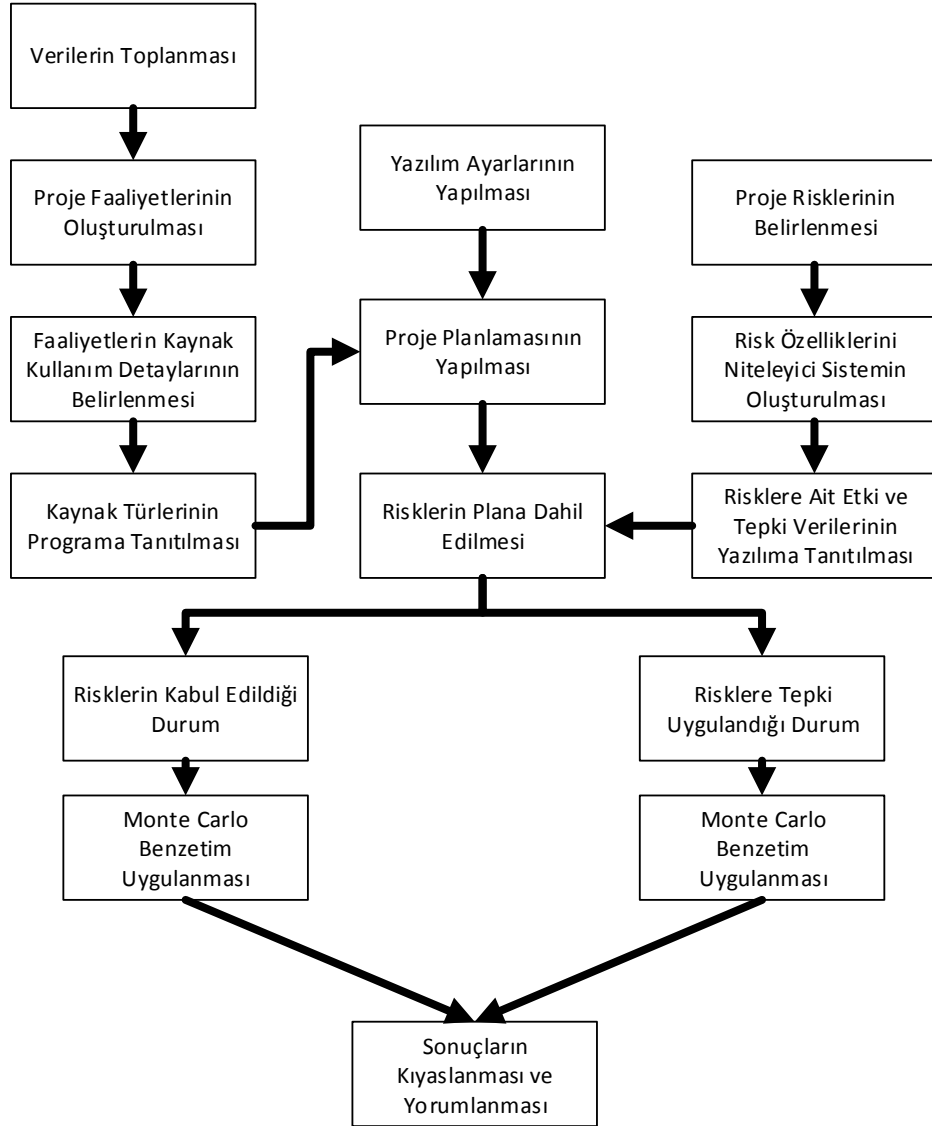
Yapılan çalışmada, plana risklerin analizi ve yorumlanması için Monte Carlo metodu kullanılmıştır. Bunun ana sebebi, veri açısından risklerin çok fazla belirsizlik içermesi ve inşaat projelerinin aynı koşulları tekrar edemeyecek kadar karmaşık oluşudur. Monte Carlo benzetiminin amacı birbirinden bağımsız rastgele değişkenler ile kurulan modeli test etmek ve yorumlanmasına araç olmaktır. Metodun sağlıklı uygulanabilmesi için bilgisayar ve bir yazılımın kullanılması gerekmektedir.

3.2.1. Çalışmanın Metodolojisi

Çalışma 5 ana aşamadan oluşmaktadır;

- Verilen toplanması ve programa girilebilir hale getirilmesi
- Verilerin programa girilmesi ve proje planlamasının yapılması
- Projeye ait risklerin belirlenerek plana yansıtılması ve benzetim uygulanması
- Risklere karşı önlem planlarının plana yansıtılması ve benzetim uygulanması
- Çıktıların yorumlanması

Çalışmanın detaylı akış şeması ise Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Akış Şeması

3.2.2. Risklerin Projeye Yansıtılması ve Risk Yönetim Modelinin Oluşturulması

Primavera Risk Analysis programı ile planlamanın yapılmasının ardından risklerin projeye dâhil edilmesi işlemi gelmektedir.

Risklerin projeye yansıtılması süreci şu alt süreçlerden oluşmuştur;

- Risk skoru yöntemi ve matrisinin hazırlanması
- Proje risklerinin “risk register” modülü ile programa tanıtılması
- Risk tepkilerinin belirlenmesi ve özellikleri programa tanıtılması
- Risklerin plana dâhil edilmesi

Risk skoru, bir riskin etkilerinin, olasılığının, yönetilebilirliğinin hesaba katılarak hesaplandığı değerdir. Bu çalışmada risk skoru hesabı; riskin maliyete, süreye ve kaliteye etkisi, yönetilebilirlik seviyesi, gerçekleşme olasılığı parametreleri değerlendirilerek yapılmıştır.

Riskin maliyete, süreye ve kaliteye etkisi 5 skala değeri ile değerlendirilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Risk Etki Skalaları

<i>Etki Tipi</i>	<i>Çok Düşük</i>	<i>Düşük</i>	<i>Orta</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Çok Yüksek</i>
<i>Süre</i>	<= 2 sa.	2 sa.–1 gün	1–5 gün	5– 20 gün	> 20 gün
<i>Maliyet (TL)</i>	<= 2 bin	2–5 bin	5–20 bin	20–50 bin	> 50 bin
<i>Kalite</i>	Bir az önemli şartname maddesi ihlali	Birden fazla az önemli şartname maddesi ihlali	Bir önemli şartname maddesi ihlali	Birden fazla önemli şartname maddesi ihlali	Kabul edilemez

Bu tabloya göre örneğin eğer bir risk için süre ve maliyet etkisine yüksek dersek, risk gerçekleştiği takdirde, plan 5 ile 20 gün arasında uniform dağılan rastgele bir sayıda gün gecikmeye uğrayacak demektir. Buradaki dağılım isteğe bağlı değiştirilebilir. Aynı şekilde maliyet için yüksek dersek proje, 20 bin ile 50 bin arası rastgele bir değer proje maliyetine eklenir. Aynı durum kalite için geçerli değildir. Kaliteden kasıt burada işin şartnameye ne kadar uygun yapılp yapılmadığıdır. Burada kalite direkt olarak plana dâhil değildir. Fakat eğer bir risk, birden fazla önemli şartname maddesi ihlal ediyor ise, bu o riskin skorunu artırır ve risk, kalitenin dâhil olmadığı durumda göz ardı edilebilir iken risk skorunun artması ile artık önemli hale gelebilir. Bu şekilde kalite riskleri plana dolaylı şekilde etki ettirilmiştir.

Riskin meydana gelme olasılığı aynı şekilde 5 skala değeri ile ifade edilmiştir (Tablo 2). Riskin yönetilebilirlik derecesi ise bir riskin ne kadar kolay veya zor yönetilebilir olduğunu belirtir. Risk skoruna etkisi ise; ilgili skala değeri ile riskin skorunu çarpar ve bu sayede risk skorunu artırır veya azaltır. Çalışmada kullanılan risk yönetilebilirlik skalası Tablo 3’de belirtilmiştir.

Tablo 2. Risk Olasılık Skalası

<i>Değer</i>	<i>Olasılık</i>
<i>Çok Yüksek</i>	%70 ile %100 arası
<i>Yüksek</i>	%50 ile %70 arası
<i>Orta</i>	%30 ile %50 arası
<i>Düşük</i>	%10 ile %30 arası
<i>Çok Düşük</i>	%0 ile %10 arası

Tablo 3. Riskin Yönetilebilirlik Skalası

<i>Skala Değeri</i>	<i>Katsayı</i>	<i>Açıklama</i>
<i>Yüksek</i>	0,9	Proje yönetim ekibinin kontrolü altındadır. Olasılığı ve/veya etkileri kontrol edilebilir.
<i>Normal</i>	1,0	Proje yönetim ekibinin etkisi altındadır. Olasılığı ve/veya etkileri etkilenebilir.
<i>Düşük</i>	1,1	Proje yönetim ekibinin etkisi dışındadır. Sadece etkileri etkilenebilir.

Risk skorunun hesaplanmasında riskin olasılığı, etkileri ve yönetilebilirlik değeri hesaba katılır. Risk skoru, risk matrisi yardımı ile hesaplanır. Risk matrisi düşeyde olasılık ve yatayda etki skalaları ile oluşturulmuş bir matristir (Şekil 3).

Modelde 3 farklı risk etki tipi olduğundan risk skoru şu şekilde hesaplanır; maliyet için ayrı, süre için ayrı ve kalite için ayrı skala değerleri, riskin olasılık skalası ile matriste kesiştiği skor matristen alınır. Ardından bu üç skor değerinin ortalaması alınır. Daha sonra ilgili yönetilebilirlik katsayısı ile çarpılır ve risk skoru belirlenmiş olur.

		ETKİ				
		Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
O L A S I L	Çok Yüksek %	5	9	18	36	72
	Yüksek %	4	7	14	28	56
	Orta %	3	5	10	20	40
	Düşük %	2	3	6	12	24
	Çok Düşük %	1	1	2	4	8

Şekil 2. Risk Skor Matrisi

Örneğin; bir riskin gerçekleşme olasılığı yüksek, maliyete etkisi yüksek, süreye etkisi düşük, kaliteye etkisi yüksek ve yönetilebilirlik derecesi yüksek ise risk skoru Tablo 4’de gösterildiği gibi hesaplanır.

Tablo 4. Örnek Risk Skoru Hesabı

	<i>Maliyet</i>	<i>Süre</i>	<i>Kalite</i>
<i>Etki</i>	Yüksek	Düşük	Yüksek
<i>Olasılık</i>		Yüksek	
<i>Matris Skoru</i>	28	7	28
<i>Ortalama Skoru</i>	$(28+7+28)/3 = 21$		
<i>Yönetilebilirlik</i>	Yüksek (0,9)		
<i>Hesaplanan Skoru</i>	$21*0,9 = 18,9$ (19)		

Risk skorunun derecelendirilmesi 3 ayrı tolerans skalasına ayrılmıştır. Bu durumda risk skoru-derecesi ilişkisi Tablo 5’de gösterilmiştir.

Tablo 5. Risk Tolerans Skalası

<i>Risk Skoru</i>	<i>Risk Derecesi</i>	<i>Renk</i>
≤ 5	Düşük	Yeşil
>5	Orta	Sarı
>23	Yüksek	Kırmızı

Risk parametrelerinin ifade edilebileceği ve nitelenebileceği arayüz oluşturulduktan sonra riskler, programa “risk register” isimli modül ile tanıtılır. Bu çalışma için yapılan araştırma ile bir bina inşaatının sıklıkla maruz kalabileceği 11 adet risk belirlenmiştir. Bu riskler Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6. Belirlenen Proje Riskleri

Risk ID	Tanım	Risk Türü
1	Şantiyenin hafta sonları kapatılması	Çevresel
2	İnsan düşmesi	İnşaat
3	Malzeme fiyatlarında ani artış	Finansal
4	Göçük sebebiyle işçi ölümü	İnşaat
5	Yanlış/eksik tasarım yapılması	Tasarım
6	Yanlış imalat yapılması	İnşaat
7	Ödemelerin zamanında yapılamaması	Sözleşme
8	Aşırı hava koşullarından dolayı işlerin durması	Çevresel
9	Beklenmeyen zemin koşulları	İnşaat
10	Deprem, sel, yangın meydana gelmesi	Çevresel
11	Eksik/yanlış sözleşme maddeleri	Sözleşme

Belirlenen risklerin skala değerleri ve skorları ise Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Risk Parametrelerine Ait Skala Değerleri ve Derecelendirilmesi

Risk ID	Olasılık	Süre	Maliyet	Kalite	Yönet.	Skor	Derece
1	Orta	Çok Y.	İhmal*	İhmal	Düşük	14	Orta
2	Yüksek	Orta	Çok Y.	Orta	Normal	28	Yüksek
3	Orta	İhmal	Çok Y.	İhmal	Normal	13	Orta
4	Düşük	Orta	Çok Y.	İhmal	Yüksek	9	Orta
5	Orta	Yüksek	Orta	Çok Y.	Yüksek	20	Orta
6	Orta	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek	13	Orta
7	Orta	Yüksek	Düşük	İhmal	Normal	8	Orta
8	Yüksek	Düşük	Çok D.	İhmal	Düşük	4	Düşük
9	Orta	Orta	Düşük	Düşük	Düşük	7	Orta

* Etkisi ihmal edilebilir

10	Çok D.	Orta	Yüksek	Orta	Normal	3	Düşük
11	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Normal	28	Yüksek

Risklere ait değerler belirlendikten sonra risk tepki planları oluşturulmuştur. Risklere ait tepki detayları Tablo 8’de belirtilmiştir.

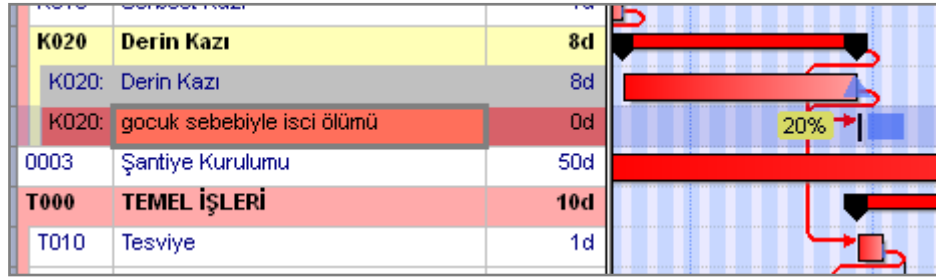
Tablo 8. Proje Risklerine Uygulanan Tepki Detayları

Risk ID	Risk Tepkisi	Tepki Maliyeti	Olasılık	Süre	Maliyet	Kalite	Skor
1	Kabul	0,00TL	Orta	Çok Y.	İhmal	İhmal	14
2	Azaltma	16000,00TL	Düşük	Orta	Düşük	Orta	5
3	Azaltma	30000,00TL	İhmal	İhmal	Çok Y.	İhmal	0
4	Azaltma	4000,00TL	İhmal	Orta	Çok Y.	İhmal	0
5	Azaltma	10000,00TL	Çok D.	Çok D.	Düşük	Çok D.	0
6	Azaltma	12000,00TL	Çok D.	Çok D.	Çok D.	Çok D.	0
7	Transfer	0,00TL	İhmal	İhmal	Düşük	İhmal	0
8	Transfer	0,00TL	İhmal	Düşük	Çok D.	İhmal	0
9	Azaltma	3000,00TL	Orta	İhmal	Düşük	İhmal	2
10	Transfer	15000,00TL	Çok D.	Çok D.	Çok D.	İhmal	1
11	Azaltma	12000,00TL	Çok D.	Çok D.	Çok D.	Çok D.	1

Riskler ve tepki planları programa tanıtıldıktan sonra risklerin plana dâhil edilmesi aşaması gelir. Normalde her risk ilgili faaliyetine veya faaliyet grubuna atanabilir. Biz bu riskleri ilgili sürecine göre bir faaliyete atadık ve riskleri birbirine seri olarak bağladık. Risklerin birbirine seri olarak bağlanması seçeneği ile aynı anda meydana gelen risklerin etkileri peş peşe etki eder. Eğer bu seçeneği seçmeseydik riskler birbirine paralel olarak bağlanacak ve aynı anda gerçekleştiği takdirde, hangisinin etkisi büyük ise onunki projeye etkiyecekti. Bu çalışmadaki amaç risklerin ve tepkilerinin sonuçlara nasıl etki ettiğini araştırmak olduğundan ve kolaylık olması açısından risklerden 4 numaralı risk hariç hepsi kritik yol üzerinde bulunan, 3. Kat kolon donatılarının yerleştirilmesi faaliyetine atanmıştır. 4 numaralı risk ise derin kazı

faaliyetine atanmıştır. Sonuç olarak belirlenen riskler herhangi bir katta veya faaliyette olabilir. Bunun belirsizliğini hesaba katmak proje amaçlarına hizmet etmeyeceğinden risklerin seçilen bir faaliyet üzerinden projeye yansıtılması daha mantıklı bulunmuştur.

Primavera Risk Analysis programı belirlenen riskleri birer faaliyet olarak plana işlemektedir. Atandığı faaliyet ile ardıl aktivitesi arasında hayali bir aktivite oluşturur ve ilgili değerleri bu faaliyet ile yansıtır. Eğer risk simülasyon sırasında gerçekleşirse bu faaliyet oluşur ve gecikme değerince bir süre değeri, hasar değerince de bir maliyet değeri kullanır. Risk gerçekleşmediği takdirde bu faaliyet hiç ortaya çıkmaz ve faaliyet ardıl faaliyeti ile devam eder (Şekil 4).



Şekil 3. Risklerin Plana Entegre Edilmesi

Model kurulduktan ve proje planına dâhil edildikten sonra Monte Carlo analizi uygulanmıştır. Analiz için 1000 adet iterasyon kullanılmıştır.

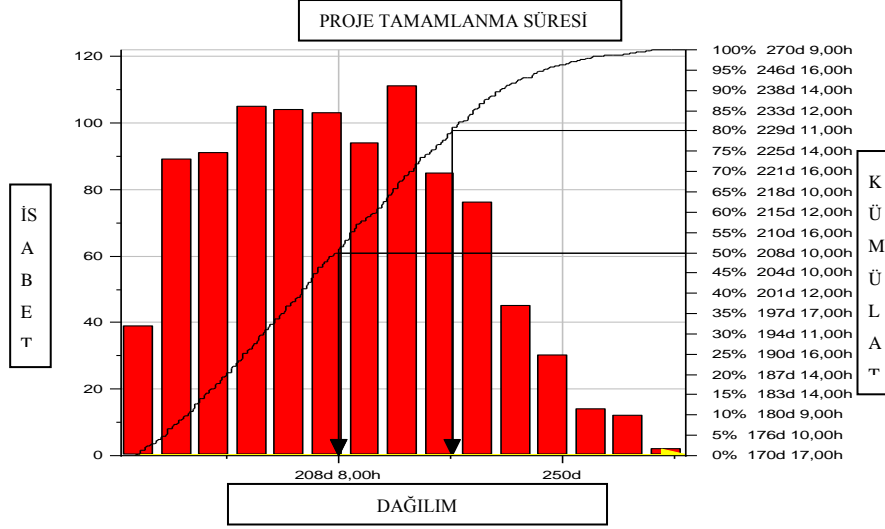
4. Bulgular

Çalışmaya konu olan binanın kaba inşaatına ilişkin oluşturulan risk modelinin analizi için 3 durum birbirleriyle kıyaslanmıştır. Bu üç durum; risklerin hesaba katılmadığı planlanan durum, risklerin üstlenildiği ve tepkisiz kalındığı durum, risklere karşı tepki uygulandığı durumlarından oluşmaktadır. Yapının kaba inşaatının risklerin hesaba katılmadığı, planlanan duruma ilişkin maliyeti 1659645,54 TL'dir. Bu maliyetin 1352078,00 TL'si direkt maliyeti, 307567,58 TL'si endirekt maliyeti oluşturmaktadır. Planlanan proje süresi ise 171 gündür.

4.1. Risklerin üstlenildiği ve tepkisiz kalındığı durum

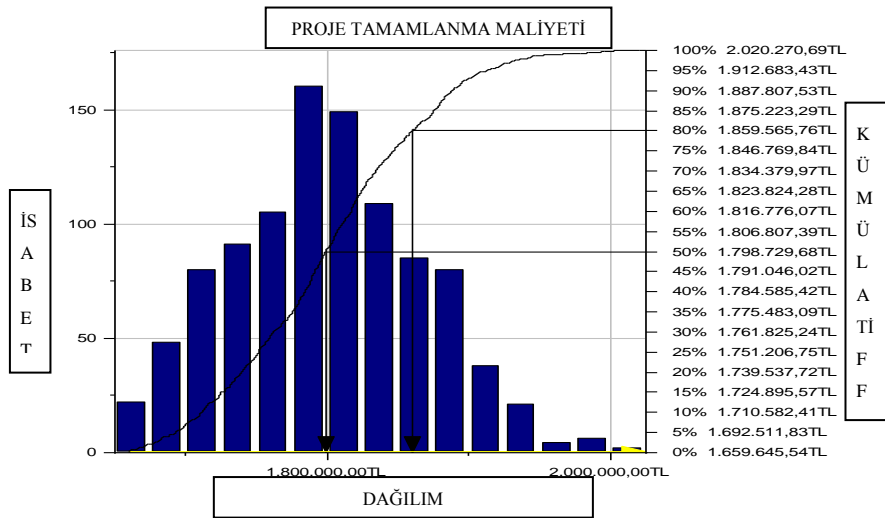
Yapılan simülasyon sonucu, risklerin üstlenildiği ve tepkisiz kalındığı durum için proje tamamlanma süresi 171 gün ile 271 gün arasında değerler olarak ortalama olarak 209 gün değer almıştır. Projenin %50 ihtimal ile tamamlanma süresi 209 gün

olurken %80 ihtimal ile tamamlanma süresi 230 gün olmuştur (Şekil 5). Projenin planlanan tamamlanma süresi olan 171 günde tamamlanma ihtimali ise %1'in altında olmuştur.



Şekil 5. Risklerin Üstlenildiği Ve Tepkisiz Kalındığı Durumda Tamamlanma Süresinin Dağılımı

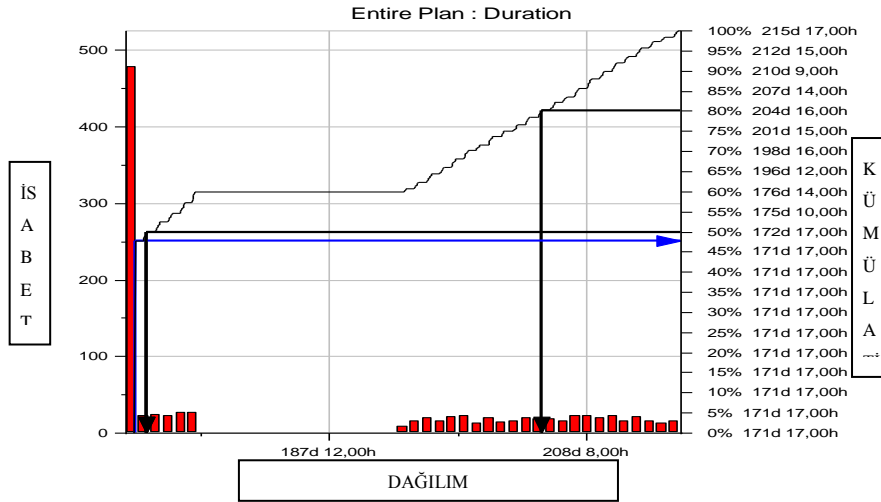
Proje maliyeti ise 1659645,54 TL ile 2020270,69 TL arası değerler olarak ortalama olarak 1800646,12 TL değer almıştır. Proje maliyeti %50 ihtimal ile 1798729,68 TL olurken %80 ihtimal ile 1859565,76 TL olmuştur (Şekil 6). Projenin planlanan durumdaki maliyeti olan 1659645,54 TL değerinde tamamlanma ihtimali ise yine %1'in altında olmuştur.



Şekil 6. Risklerin Üstlenildiği Ve Tepkisiz Kalındığı Durumda Proje Maliyetinin Dağılımı

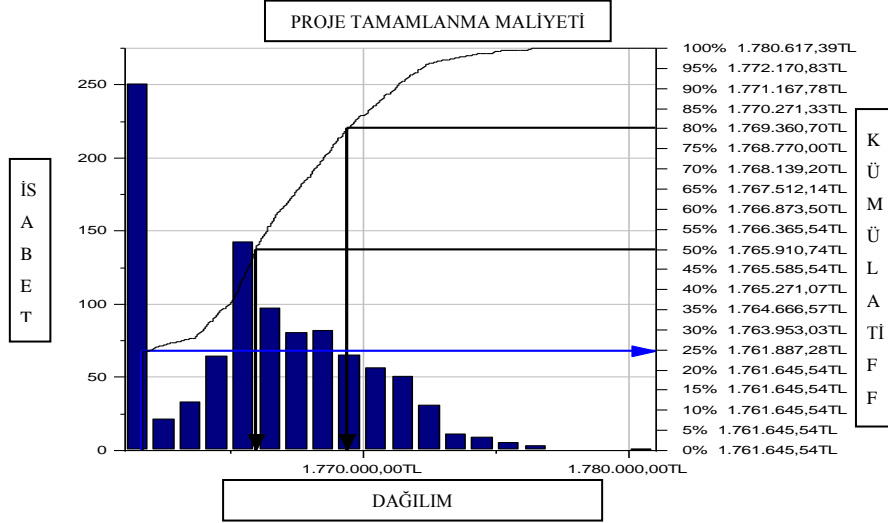
4.2. Risklere karşı tepki uygulandığı durum

Risklerin projeye dâhil edildiği ve risklere karşılık tepki uygulandığı durumda proje tamamlanma süresi 172 gün ile 216 gün arasında değerler olarak ortalama olarak 186 gün değer almıştır. Projenin %50 ihtimal ile tamamlanma süresi 173 gün olurken %80 ihtimal ile tamamlanma süresi 204 gün (Şekil 7). Projenin planlanan durumdaki tamamlanma süresi olan 171 günde tamamlanma ihtimali ise %48'dir.



Şekil 7. Risklere Karşı Tepki Uygulandığı Durumda Tamamlanma Süresinin Dağılımı

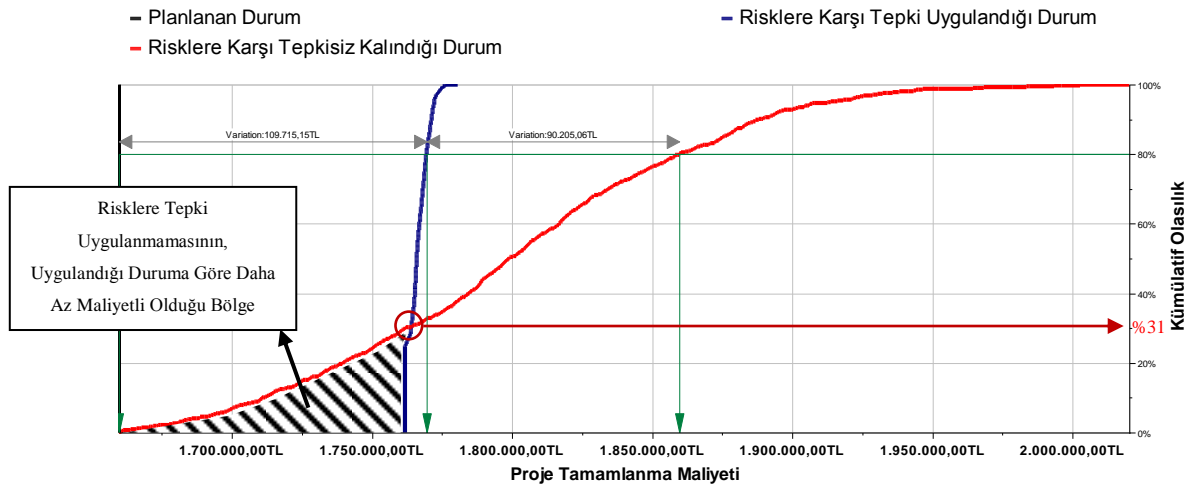
Proje maliyeti ise 1761645,54 TL ile 1780617,39 TL arası değerler olarak ortalama olarak 1766158,50 TL değer almıştır. Proje maliyeti %50 ihtimal ile 1765910,74 TL olurken %80 ihtimal ile 1769360,70 TL olmuştur (Şekil 8). Projenin risk tepki maliyeti 102000,00 TL olmuştur. Bu durumda planlanan proje maliyeti 1761645,54 TL olmuş olup bu değerinde tamamlanma ihtimali ise %25 olmuştur.



Şekil 8. Risklere Karşı Tepki Uygulandığı Durumda Proje Maliyeti Dağılımı

Üç duruma ait veriler incelendiğinde proje maliyetine ilişkin şu yorumlar yapılabilir;

- Proje risklerine karşı tepkisiz kalındığında tamamlanma maliyeti %80 ihtimal ile 199920,22 TL daha maliyetli olmaktadır.
- Proje risklerine karşı tepki uygulandığı durumda ise planlanan duruma göre proje tamamlanma maliyeti %80 ihtimal ile 109715,16 TL daha maliyetli olmaktadır ve bunun 102000,00 TL kadarını risk tepki maliyeti oluşturmaktadır.
- Proje risklerini önlemek/azaltmak için 102000,00 TL değerinde bir ön yatırım yapılması halinde proje maliyeti, %80 ihtimal ile risklere karşı tepki uygulanmadığı duruma kıyasla 90205,06 TL daha az maliyetli olmaktadır (Tablo 9). Tablo 9’da belirtilen birinci durum; risklerin hesaba katılmadığı durumu, ikinci durum; risklere karşı tepkisiz kalındığı durumu, üçüncü durum ise risklere karşı tepki uygulanması durumunu temsil etmektedir.
- Proje risklerinin kabul edilmesi ve tepki gösterilmemesi durumunun, risklerin önlenildiği/azaltıldığı duruma göre daha az maliyetli olma ihtimali maksimum %31’dir. Bu durum Şekil 9’da eğrilerinin kesiştiği noktada belirtilmiştir.



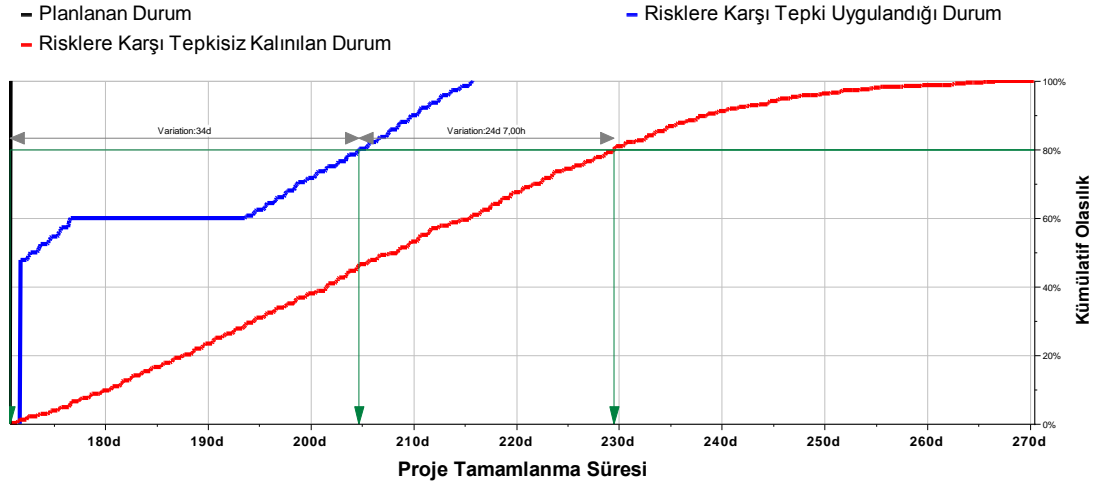
Şekil 9. Üç Durumun Proje Maliyeti Açısından Kıyaslanması

Tablo 9. Üç Durumun Proje Tamamlanma Maliyeti Açısından Kıyaslanması

	<i>Planlanan Değerin İhtimali</i>	<i>Planlanan Değer</i>	<i>%50 ihtimal</i>	<i>%80 ihtimal</i>
<i>1. Durum</i>	100%	1659645,54 TL	1659645,54 TL	1659645,54 TL
<i>2. Durum</i>	<1%	1659645,54 TL	1798729,68 TL	1859565,76 TL
<i>3. Durum</i>	25%	1761645,54 TL	1765910,74 TL	1769360,70 TL
<i>Fark (2,1)</i>			139506,15 TL	199920,22 TL
<i>Fark (3,2)</i>		102000,00 TL	-32818,94 TL	-90205,06 TL
<i>Fark (3,1)</i>		102000,00 TL	106265,20 TL	109715,16 TL

Proje tamamlanma süresine ilişkin ise şu yorumlar yapılabilir;

- Proje riskleri göz ardı edildiğinde tamamlanma süresi %80 ihtimal ile 59 gün daha geç tamamlanmaktadır.
- Proje risklerine karşı tepki uygulandığı durumda ise proje tamamlanma süresi %80 ihtimal ile 34 gün daha geç tamamlanmaktadır.
- Proje risklerini önlemek/azaltmak için 102000,00 TL değerinde bir ön yatırım yapılması halinde proje süresi, %80 ihtimal ile risklere karşı tepkisiz kalındığı duruma kıyasla 25 gün daha az sürede tamamlanmaktadır (Tablo 10).



Şekil 10. Üç Durumun Proje Tamamlanma Açısından Kıyaslanması

Tablo 10. Üç Durumun Proje Tamamlanma Süresi Açısından Kıyaslanması

	<i>Deterministik İhtimal</i>	<i>Deterministik Değer</i>	<i>%50 ihtimal</i>	<i>%80 ihtimal</i>
1. Durum	24%	171 gün	171 gün	171 gün
2. Durum	<1%	171 gün	209 gün	230 gün
3. Durum	20%	171 gün	173 gün	205 gün
<i>Fark (2,1)</i>			38 gün	59 gün
<i>Fark (3,2)</i>			-36 gün	-25 gün
<i>Fark (3,1)</i>			2 gün	34 gün

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada bir üst yapı inşaat projesinin kaba inşaatının mevcut risk değerlendirme teknikleri ile risk yönetimi uygulandığı takdirde maliyet ve süre değerleri incelenmiştir. Proje riskleri, toplam proje maliyetini ve süresini ciddi anlamda artırmıştır. Risklerin yönetildiği durumda, tepki planları için belirli bir ön yatırım yapılmasına rağmen maliyet ve süre açısından daha avantajlı olduğu görülmüştür. Risk etkileri, yönetilerek neredeyse yarı yarıya indirilmiştir.

İleriki çalışmalarda modeldeki mevcut kriterlere ek olarak bölgesel veya proje tipine göre risk düzeltme katsayısı ile iyileştirme yapılabilen bir çalışma yapılabilir. Bu öneri için aynı yapının birden fazla kez inşa edildiği çalışmalar incelenerek, proje öncesi yapılan risk değerlendirmeleri, proje sonrası gerçekleşen veriler ile kıyaslanarak bir risk iyileştirme parametresi geliştirilebilir.

6. Karşılaştırmalar

Nasser Abdollahi (2010), “bir inşaat altyapı projesinde süre-maliyet iyileştirilmesi için bir risk yönetimi modeli” isimli tezinde bir alt yapı projesi olan Marmaray Projesini ele almıştır. Planlanan proje tamamlanma süresi 475 gün ve proje maliyeti 16700294 TL iken, riskler projeye dâhil edildiğinde proje tamamlanma süresi 1316 güne çıkmıştır. Proje maliyeti ise 25125121 TL olmuştur. Fakat risk yönetimi ile risklere tepki uygulandığı zaman bu değerler kontrol altına alınmış ve proje tamamlanma süresi 761 güne inerken, proje maliyeti ise 18449993 TL olmuştur. Riskler projenin tamamlanma süresini %177 oranında, proje maliyetini ise %50 oranında artırmıştır. Risklere tepki uygulanarak risklerin süreye olan etkisi %66 oranında, maliyete olan etkisi ise %79 oranında azaltılmıştır.

Bir üst yapı projesini ele alan bu çalışmada ise riskler dâhil edilmeden hesaplanan proje maliyeti 1659645,54 TL, risklerin dâhil edilmesi ile 1859565,76 TL olmuş, risklere karşı tepki uygulandığında bu rakam 1769360,70 TL değerini almıştır. Riskler dâhil edilmeden hesaplanan proje süresi 171 gün iken, risklerin dâhil edilmesi ile 230 gün olmuş, risklere karşı tepki uygulanması ile 205 güne düşmüştür. Sonuç olarak risklerin hesaba katıldığı ve önlem alınmadığı durumda planlanan değerlere

kıyasla, proje maliyeti %12, proje tamamlanma süresi %34 artmıştır. Risklerin yönetilmesi ile tepki planlarının projeye uygulanması halinde ise risklerin maliyete olan etkisinin %45, süreye olan etkisi ise %42 azaldığı görülmüştür.

Bu iki çalışma karşılaştırıldığı zaman risk yönetiminin alt yapı projelerinde daha verimli sonuçlar verdiği görülmektedir. Bunun başlıca sebebi altyapı projelerinin üstyapı projelerine göre daha fazla riske maruz kalmaları ve belirsizliklerin daha fazla oluşudur. Farklılığın bir diğer sebebi ise altyapı projesi için seçilen örnek, üst yapı için seçilen örneğe kıyasla çok daha uzun süren bir proje olmasıdır. İnşaat projesinin uzun sürmesi risklerin gerçekleşme olasılıklarını artırdığı gibi risklerin etkilerini de artırmaktadır [12].

NOT: Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü yüksek lisans programında, Prof. Dr. Recep Kanıt denetiminde ve danışmanlığında yürütülen “İnşaat Projelerinde Maliyet, Süre ve Riskin Birlikte Ele Alındığı Simülasyona Dayalı Bir Risk Yönetim Modeli” isimli tezden oluşturulmuştur.

7. Kaynaklar

- [1] Royer P. Risk management: The undiscovered dimension of project management, PM Network 2000; 14: 31-40
- [2] Vicknaysen T, Mawdesley MJ. Perception of human risk factors in construction projects. An exploratory study, International Journal of Project Management 2004; 22: 131-137
- [3] ISO Guide 73:2009. International Organization for Standardization 2009; Tanım 3.4.1.
- [4] Taroun A, Yang JB, Lowe D. Construction risk modelling and assessment: Insights from a literature review, The Built & Human Environment Review 2011; 4: 87-97
- [5] Kangari R, Riggs L. Construction risk assessment by linguistics, IEEE Transaction on Engineering Management 1989; 36: 126-131

- [6] Hull J. Application of risk analysis techniques in proposal assessment, *International Journal of Project Management* 1990; 8: 152–157
- [7] Yeo K. Risks, classification of estimate and contingency management, *Journal of Management in Engineering* 1990; 6: 458-470
- [8] Arıkan AE. Development of a risk management decision support system for international construction projects, MSc. thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied, 2005.
- [9] Anaç C. Development of a risk assessment tool for post-project appraisal, MSc. thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied, 2007.
- [10] Abdollahi N. Bir inşaat altyapı projesinde süre-maliyet iyileştirilmesi için bir risk yönetimi modeli, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [11] Akçalı Ü. 2015 Yılı İnşaat Birim Fiyat Analizleri, Ankara: Ünal Akçalı Yayını; 2015.
- [12] Türker M. İnşaat projelerinde maliyet, süre ve riskin birlikte ele alındığı simülasyona dayalı bir risk yönetim modeli, Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, 2015.