



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

İnşaat Maliyet Risklerinin Simülasyon Yöntemi ile Analizi

 Ergün ÇOLAK ^{a,*},  Latif Onur UĞUR ^b

^a İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ergun205873@ogr.duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1061297

Öz

İnşaat projelerinde maliyet tahminleri ve yapılan tahminlerin gerçekleşmesi gerek işveren gerek yüklenici açısından büyük önem arz etmektedir. İnşaat sektörü pek çok risk faktörü içermesine rağmen, ülkemizde riskler gereken düzeyde ele alınmamakta ve bu nedenle gerçekleşecek maliyetlerin kontrolleri de yeterli düzeyde bulunmamaktadır. Proje başarısı için inşaat sektörünün barındırdığı belirsizlik ve riskler iyi belirlenmeli ve analiz edilmelidir. Firmalar, proje özelinde karşılaşacakları risklere karşı izleyecekleri stratejileri, risk unsurları gerçekleşmeden oluşturmalıdır. Meydana gelebilecek riskler proje üçgeninin unsurları olan kalite, maliyet ve süre hedeflerinde olumsuz yönde sapmalar oluşturabilecektir. Bu nedenle inşaat projeleri için risk yönetimi hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada Monte Carlo Simülasyonu yardımıyla inşaat ana maliyet kalemlerinin yurtiçi projelerde öngörülende sapma oranlarının, üç farklı istatistiki dağılım yardımı ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada Monte Carlo Simülasyonu, bir paket yazılımı ile uygulanmıştır. Edinilen bulgular üzerinden @risk yazılımının verdiği üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı sonuçları karşılaştırılmıştır. Ana maliyet kalemlerinin yüzde minimum ve maksimum sapma değerleri için Türkiye Müteahhitler Birliği üyesi firmalara yurtiçi projeler için anket yapıp, değerlerin ortalamalarıyla ana maliyet kalemlerindeki minimum ve maksimum sapma oranı hesaplanmıştır. Çalışma sonucu inşaatta yurtiçi projelerde ana iş kalemlerinin tahmin edilen maliyetlerde gerçekleşme olasılıkları ve üç farklı istatistiki dağılım kullanarak bu dağılımlar arasındaki performans farkları değerlendirilmiştir. Edinilen bulgulardan önemli bir tanesi “toprak işleri için maliyet kaleminin minimum ve maksimum sapsmasının diğer kalemlere göre daha çok olduğu” dur. Çalışmada kullanılan istatistiki olasılık dağılımları değerlendirildiğinde; PERT dağılımının standart sapsmasının az olması, optimum değerde gerçekleşme olasılığını artırırken, uniform dağılımın standart sapsmasının fazla olması ise ona minimum ve maksimum noktaya yakın dağılım gerçekleşmesi olasılığını arttırdığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak; yatırım projelerinin maliyet hesaplamalarında gerçekçi değerlere dayalı risk analizleri yapılması gerektiğinin ve simülasyon yaklaşımlarında esas alınacak olasılık dağılım fonksiyonlarının seçiminin; nihai değerlendirmelere direkt olarak yansıtılmasının göz önünde bulundurulması gereken önemli birer parametre olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Monte Carlo Simülasyonu, Üçgen dağılım, Uniform dağılım, PERT dağılımı

Analysis of Estimated Costs in Domestic Construction Projects with Simulation

ABSTRACT

Cost estimations and realization of the estimations in construction projects are of great importance for both the employer and the contractor. Although the construction sector contains many risk factors, risks are not handled at the required level in our country and therefore, the controls of the costs that will occur are not sufficient. For the success of the project, the uncertainties and risks of the construction industry should be well defined and analyzed.

Firms should create the strategies they will follow against the risks they will encounter in the project before the risk factors occur. The risks that may occur may create negative deviations in the quality, cost and time targets, which are the elements of the project triangle. Therefore, risk management is vital for construction projects. In this study, with the help of Monte Carlo Simulation, it is aimed to determine the deviation rates of the main cost items in the domestic projects with the help of three different statistical distributions. In the study, Monte Carlo Simulation was applied with a package software. The results of the triangular distribution, uniform distribution and PERT distribution given by the @risk software were compared based on the findings. For the minimum and maximum deviation values of the main cost items, the member companies of the Turkish Contractors Association were surveyed for domestic projects, and the minimum and maximum deviation rates in the main cost items were calculated with the averages of the values. As a result of the study, the probability of realization of the main work items in the estimated costs in domestic projects in construction and the performance differences between these distributions were evaluated using three different statistical distributions. One of the important findings is that "the minimum and maximum deviation of the cost item for earthworks is higher than the other items". When the statistical probability distributions used in the study are evaluated; It has been observed that the small standard deviation of the PERT distribution increases the probability of occurrence at the optimum value, while the high standard deviation of the uniform distribution will increase probability of the distribution close to the minimum and maximum point. As a result; risk analyzes based on realistic values should be made in cost calculations of investment projects and the selection of probability distribution functions to be taken as a basis in simulation approaches; It has been understood that it is an important parameter that should be taken into account that it will directly reflect on the final evaluations.

Keywords: Monte Carlo Simulation, Triangular distribution, Uniform distribution, PERT distribution

I. GİRİŞ

Her inşaat projesi yapılmaya başlamadan önce maliyet tahminlerine ihtiyaç duyar. Yapılan tahminin gerçekleşme olasılığı veya maliyet, tahminden sapacak ise yüzde kaç ihtimalle ne kadar sapacağını bilmek müteahhitin elini her zaman güçlendirir. İnşaat sektörünün en büyük sorunlarından birisi ve en önemlisi, maliyet hedeflerinde görülen sapmalardır [1]. Çoğu inşaat firması projelerini gerçekleştirirken riskleri hesaba katmaz veya katarken yeterli önlemler almadan bunu yapar. Ülkemizde riske karşı alınan tedbirler ya deneyimli yöneticiler tarafından maliyet veya süre artırımına gitmek ya da riski görmezden gelmektir. İlkinde proje sonuçlarına yapay olarak müdahale edilirken ikincide ise riskler göz ardı edildiğinden doğru süre ve maliyet tahminleri yapılamamaktadır. İncir'e göre bunun sonucunda inşaat sözleşmelerindeki taahhütler yerine getirilememekte, taraflar arasında anlaşmazlık oluşmakta ve ülkemizdeki hukuk sisteminin yavaşlığından dolayı bu anlaşmazlıklar yıllarca sürmektedir [2].

İnşaat projeleri başından sonuna kadar birçok kişi ve şirketin disiplinli bir şekilde bir arada çalışmasını gerektiren karmaşık bir sürece sahiptir. Hızla gelişen inşaat sektörünün karmaşık yapısı sebebiyle proje üçgeninin unsurları olan kalite, maliyet ve süre hedeflerinde olumsuz yönde sapmalar kaçınılmaz hale gelmektedir. Bunun sonucunda da risk olgusu ortaya çıkmaktadır. Kişiler veya şirketler en uygun güven aralığında faaliyetlerini gerçekleştirmek için meydana gelebilecek riskleri ve dolayısıyla kayıpları minimize etmek isterler. Ancak inşaat sektörünün karmaşık yapısı sebebiyle riskler hiçbir zaman sıfırlanamaz, genellikle tolere edilebilir seviyeye çekilerek riskler yönetilir [3]. İnşaat sektöründe riskler bilinmesine rağmen bunların proje üzerindeki etkilerini sayısal olarak belirlemeye, riskleri sistematik olarak değerlendirmeye ve bunların ortaya çıkması halinde stratejiler geliştirmeye yönelik çok az çalışma bulunmaktadır [4].

Emhan'a göre risk yönetimi genel anlamda şirketlerin karlılık içinde faaliyetlerine devam edebilmesi için gereken düzenlemeleri sağlama, organizasyonun işletme gücü, mal ve kişileri koruma, gerçekleştirilecek beklenmedik kayıpları en düşük maliyet ile bertaraf edebilmek için gerekli kaynakları ve faaliyetleri planlama, organizasyonu yönetme ve kontrol etme süreçlerinin tamamını kapsamaktadır [5]. İnşaat sektöründe bir projenin daha fikir aşamasındayken finansal modelin doğru bir şekilde kurulması, nakit akışından kaynaklanan sorunların giderilmesi ve milli servet kayıplarının önlenmesi

açısından büyük önem taşınmaktadır [6]. Bunu sağlamak için ise proje öncesinde maliyet tahmini üzerine çalışmalar yapılması çok önemlidir.

Monte Carlo Simülasyonu, risk analizindeki güçlü araçlardan biridir [7]. Bu simülasyon mevcut projede hem süre tahmininde hem de maliyet tahmininde kullanılabilir. Kullanıcıya önyargısız bir değerlendirme biçimi sunar. Kaplan'a göre Monte Carlo Simülasyonu, istatistiksel denemeler yardımıyla, karmaşık problemlere matematiksel çözümler aramada kullanılacak ideal bir simülasyon tekniğidir [8].

II. MONTE CARLO SİMÜLASYONU

Simülasyon tanım olarak bir olayın ya da durumun gerçeğe eş değer bir şekilde canlandırılması ya da sembolize edilmesi halidir. Simülasyonun amacı, bir gerçek hayat sistemini girdi ve çıktılarıyla matematiksel olarak ifade etmek, gerçek sistemi kurulan model üzerinden tanıyıp araştırmak, değişik kararları ve seçenekleri gerçek sistemde hiçbir değişiklik yapmadan deneyebilmektir [9].

Monte Carlo Metodu, analitik yollarla çözülemeyen problemleri simülasyon yöntemiyle “yaklaşık” olarak çözmemize yarar. Özellikle “çok zor” bir problemi, analitik yollarla çözebilmek için aşırı basitleştirmek yerine Monte Carlo metodları ile “yaklaşık” olarak çözmek daha doğru olacaktır [9].

Kwak ve Ingall'a göre bir model veya gerçek yaşam sistemi geliştirilir ve bu model belirli değişkenler içerir. Bu değişkenler, her bir değişken için değerlerin bir olasılık dağılım fonksiyonu ile temsil edilen farklı olası değerlere sahiptir. Monte Carlo Yöntemi, tüm sistemi birçok kez simüle eder (yüzlerce hatta binlerce kez), her seferinde olasılık dağılımından her bir değişken için rastgele bir değer seçer. Sonuç, modelin yinelemeleri aracılığıyla hesaplanan sistemin genel değerinin bir olasılık dağılımıdır [10].

Back'e göre basit olarak, Monte Carlo Tekniği; inşaat projelerinin simülasyonunu belli bir iterasyon sayısına göre, her bir iterasyona karşılık gelen değerleri kaydedip sonuçlarını olasılık dağılımlarıyla gösteren bir tekniktir [11]. Tahmin işlemi; gerçekleştirilen kişiler tarafından, finansal işlemler de karar vermek amacıyla, sonuçlar istatistik olarak gösterilmektedir. Yapılan maliyet çalışmaları yönetimlere; planlama, karar verme ve kontrol konuların da çeşitli yararlar sağlamaktadır.

A. MONTE CARLO SİMÜLASYONUNUN AVANTAJLARI

Monte Carlo Simülasyonu bir simülasyonun modelinin sağladığı bütün avantaj ve kolaylıkları sağlamaktadır. Tekniğin en yararlı kısmı analitik yollar ile çözülemeyen problemleri simülasyon modeliyle yaklaşık olarak çözmemize yardım etmesidir. Analitik yaklaşımların aksine simülasyon modelleri, karmaşık problemlerin modellenmesi ve çözümünde daha başarılı olurlar. Değişkenler arasındaki etkileşimi simülasyon modellerinde gözlemek daha kolaydır [9].

Projelerde Monte Carlo Simülasyonunu kullanmanın diğer bir avantajı, projenin belirsizliğinin potansiyel etkilerini anlamaya ve ölçmeye çalışırken son derece güçlü bir araç olmasıdır. Monte Carlo Simülasyonu, proje yöneticisine, projenin ömrü boyunca meydana gelecek risk olaylarıyla başa çıkmak için uygun proje rezervlerini ölçmede ve gerekçelendirmede yardımcı olmaktadır [10].

Monte Carlo Simülasyonunun diğer bir avantajı klasik çözüm yöntemlerinin kullanılmadığı büyük karmaşık problemlerde çözümü rahat bir şekilde vermesidir. Bazı durumlarda mevcut proje veya problem bir başka yöntemle incelenmesi olanaksız olan koşullar ve kısıtlara sahip olabilir. Bu gibi durumlarda problemler simülasyon ile rahatça modellenebilir. Ayrıca Monte Carlo Simülasyonu ile sonuçlar çok kısa bir sürede analiz edilebilir.

B. MONTE CARLO SİMÜLASYONU DEZAVANTAJLARI

Geçmişte Monte Carlo Simülasyonunun başlıca dezavantajları, yüksek hesaplama gücü kullanımı ve simülasyon etkinliğini tamamlamak için harcanan zaman ve kaynak miktarı olmuştur [12]. Proje programlarına karşı karmaşık simülasyonu çalıştırmak için kullanımı kolay yazılım araçlarının olmaması da bir sorundu. Bilgi işlem gücündeki çarpıcı gelişmeler ve popüler proje yönetimi çizelgeleme araçlarına Monte Carlo Simülasyon yazılımı eklentilerinin eklenmesi, bu endişeleri neredeyse geçersiz hale getirdi [10].

Monte Carlo Simülasyonunun dezavantajlarından biri de bir çeşit deneme yanılma yöntemi olmasıdır. Simülasyona gerekli girdiler verilir ve oda bu girdilere rastgele değerler atayarak olasılık dağılımları oluşturur. Ayrıca modelleme ve girdi verilerinde yapılacak hatalarda yanlış sonuçlar ortaya çıkmasına neden olabilir.

Monte Carlo Simülasyonunun diğer bir dezavantajı ve en fazla eleştirildiği nokta ise simülasyonda bir yönetim eylemi olmadığı için yinelemeleri rastgele yapıyor olmasıdır. Williams'a göre bazı araştırmacılar, yönetim eylemini simülasyona dahil eden modeller geliştirmeye çalışmışlardı ancak bugüne kadar bu modeller yüksek düzeyde karmaşıklığa sahipken, uygulayıcıların kabulü için yeterli genellik ve yeterli şeffaflık içermemekteydiler. [12].

Monte Carlo Simülasyonuna getirilen diğer bir eleştiri de simülasyonun içerisindeki olasılık dağılımlarının hepsinin sonlu olmasıdır. Esasen girdiler ne olursa olsun mevcut proje beklenenden çok daha fazla sapmalarla gerçekleşebilir. Graves, bu konuda proje tahminleri için kullanılacak farklı olasılık dağılımlarını öne sürdü. O, Monte Carlo simülasyonlarında kapalı uçlu dağılımlar (üçgen dağılım gibi) yerine açık uçlu dağılımlar yani lognormal dağılım kullanmayı önerdi. Sonuçta kapalı uçlu bir dağıtım, görev süresinin minimum süreden önce tamamlanması veya süre üst sınırının ötesinde devam etmesi olasılığını açıkça reddetmektedir. Gerçek dünya projelerinde bu gerçekçi bir varsayım değildir, çünkü bazen hiç beklenmeyen konular ortaya çıkabilir ve projede sorunlara neden olabilir [13].

III. AMAÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmada inşaat projelerindeki ana maliyet kalemlerinin yüzde ne kadar aşağıda ya da yukarıda olacağına Türkiye Müteahhitler Birliği üyesi, taahhütçü firmalara yapılacak olan anket sonucunda ulaşılabilecektir. Firmalara yurtiçi ana inşaat kalemlerinin (toprak işleri, altyapı işleri, ince işler, kaba işler, elektrik tesisatı mekanik tesisat, çevre düzenleme, ruhsat ve izin alınması, vergi ve sigortalar) tahmin edilen maliyetten ne kadar saptıkları sorulacaktır. Anket sonucundan elde edilen veriler Monte Carlo Simülasyonu içerisindeki üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımının girdileri olacaktır. Veriler bize olasılık dağılımlarının sınırlarını gösterecektir.

Monte Carlo Simülasyonu girildiği iterasyon sayısı ile rasgele örneklerle olasılık dağılımı oluşturan bir tekniktir. Monte Carlo simülasyonunda örnekleme hatalarının en aza indirgenebilmesine teminen yeterli sayıda iterasyonun gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Kabul edilebilir en alt limit olan 1000 adet iterasyon gerçekleştirildiğinde elde edilen sonucun yaklaşıklığı %2'dir [4]. Bu çalışma da olasılık dağılımları 1000 iterasyon sonucunda oluşturulmuştur. Bu programın, girilen verilerine 1000 kere değer atadığı ve olasılık dağılımlarını bu sonuçların ortalamalarıyla oluşturduğu anlamına gelir. Sistemi binden fazla kes simüle etmek (2000,3000 veya 5000) dağılımın dışında kalan bölümü daha da ince elemek anlamı gelir. Eğer girilen veriler rakamsal olarak birbirinden çok uzak ise, o zaman sonuçların daha gerçeğe yakın çıkması için iterasyon sayısının artırılması gerekebilir. Genellikle 1000 iterasyonun gerekli güvenilirliği sağladığı belirlenmiştir [4].

Bu uygulamada minimum ve maksimum sapma değerleri TMB üyesi inşaat firmalarına yapılan anket sonucundan alınırken; en optimum değer sıfır, yani tahmin edilen maliyetin gerçekleşme durumu olarak alınmıştır. 1000 iterasyon altında elde edilen sonuçlar; her bir ana maliyet kalemine ait olasılık dağılımları ve dağılımlar ile elde edilen olasılık yüzdeleriyle tablolar halinde verilmiştir. Tahmin edilen maliyette sapma ihtimalleri %10 ile %90 olasılık değerleri arasında gösterilmiştir. Yüzde on aralığın

şeyilme nedeni rakamlar arasında sayısal olarak çok fark olmamasındandır. Tablolarda % 1, %2,5 ve %5 ile %95, %97,5 ve %99 olasılık değerlerine, 3 dağılım arasındaki farkların ortaya daha açık bir şekilde konulması için yer verilmiştir.

Çalışmada kullanılan istatistiki olasılık dağılımları değerlendirildiğinde; PERT dağılımının standart sapmasının az olması, optimum değerde gerçekleşme olasılığını arttırırken, uniform dağılımın standart sapmasının fazla olması ise ona minimum ve maksimum noktaya yakın dağılım gerçekleşmesi olasılığını arttırmaktadır. Uniform dağılımın belirsizliğin çok fazla olduğu ve yalnızca olası bir aralığın saptanabildiği, ancak belirlenen bu aralıktaki değerlerden herhangi birisinin gerçekleşme olasılığının eşdeğer olduğunun düşünöldüğü durumlarda kullanımı uygun olmaktadır. Üçgen dağılım bu konuda diğer iki dağılım arasında bir grafik göstermektedir. İnşaat sektöründe de üçgen dağılımı kullanımı en yaygın dağılımdır. Bir değişken için genellikle en küçük, en büyük ve en iyi tahmin değerleri kolaylıkla belirlenebildiğinden, sadece bu bilgilerin derlenmesini gerektiren üçgen dağılım, çoğunlukla kullanılması en uygun dağılımlardan biri olarak tercih edilmektedir.

Bu çalışmanın önceki diğer çalışmalardan farkı; girdilerin, yani maliyet tahminindeki minimum ve maksimum sapmanın, TMB üyesi firmalara yapılan anket sonucunda elde edilmesidir. Anketlerin Türkiye'deki önemli inşaat firmalarına yapılmış olması çalışmanın sonuçlarının değerli olacağına işaretler. Ayrıca anket sonucunda elde edilen girdiler üç farklı dağılımla simülasyona girecektir. Çalışmanın üç farklı dağılımla yapılması sonuçların daha gerçekçi olmasını sağlayacaktır.

IV. UYGULAMA

TMB üyesi firmalara yapılan anket sonucunda ana inşaat maliyeti kalemlerinde proje başlangıcında tahmin edilen maliyet değerlerinin proje tamamlandığında başlangıç tahmin değerlerinde minimum ve maksimum sapma oranlarının yurtiçi projelere göre ortalamalarının verildiği Tablo 1 aşağıda sunulmuştur.

Tablo 1. Yurtiçi projelerde tahmin edilen maliyet değerlerinin minimum ve maksimum sapma oranları

| | Minimum (%) | Maksimum (%) |
|-------------------------|--------------------|---------------------|
| Toprak İşleri | -21.0 | 8.0 |
| Alt Yapı İşleri | -18.0 | 3.8 |
| Kaba İşler | -13.0 | 3.8 |
| İnce İşler | -5.0 | 3.4 |
| Elektrik Tesisatı | -5.0 | 3.1 |
| Mekanik Tesisat | -5.0 | 2.4 |
| Çevre Düzenleme | -2.7 | 2.3 |
| Ruhsat ve İzin Alınması | -2.0 | 2.0 |
| Vergi ve Sigortalar | -2.0 | 6.7 |

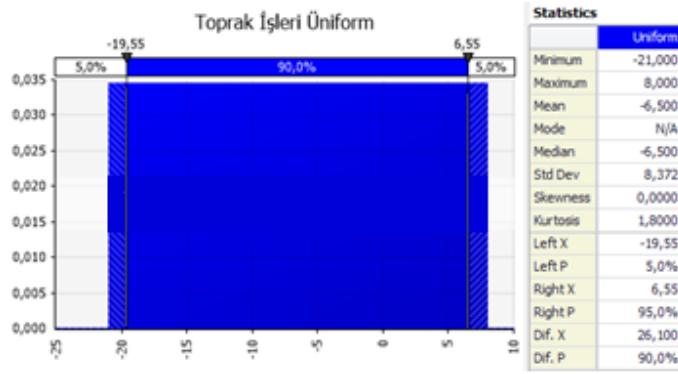
Toplamda 180 firmaya anket soruları yöneltilmiş, bunların 22 tanesinden cevap alınmıştır. Minimum ve maksimum sapma oranları bu 22 firmanın verdiği cevapların ortalamasıyla elde edilmiştir. Yapılan anket çalışmasına katılan kuruluşların tamamı Türkiye müteahhitler Birliği üyesi taahhütçü firmalardan oluşmaktadır. Bunun anlamı TMB, Üye Kabul Yönetmeliği'nde belirtilen şartların tamamının katılımcı firmalarca sağlanmakta olduğudur.

A. TOPRAK İŞLERİ

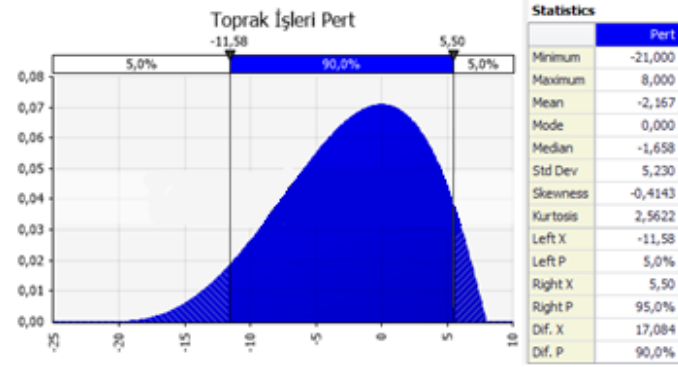
Toprak işleri ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca toprak işleri için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 2 aşağıda verilmiştir.



Şekil 1. Toprak işleri için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 2. Toprak işleri için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 3. Toprak işleri için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

Tablo 2. Toprak işleri için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

| Olasılık (%) | Üçgen Dağılım Maliyet (%) | Uniform Dağılım Maliyet (%) | PERT Dağılımı Maliyet (%) |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 | -18,532 | -20,710 | -14,975 |
| 2,5 | -17,098 | -20,275 | -13,251 |
| 5 | -15,482 | -19,550 | -11,584 |
| 10 | -13,196 | -18,100 | -9,492 |
| 20 | -9,964 | -15,200 | -6,801 |
| 30 | -7,483 | -12,300 | -4,826 |
| 40 | -5,392 | -9,400 | -3,162 |

| | | | |
|------|--------|--------|--------|
| 50 | -3,550 | -6,500 | -1,658 |
| 60 | -1,885 | -3,600 | -0,231 |
| 70 | -0,353 | -0,700 | 1,186 |
| 80 | 1,188 | 2,200 | 2,673 |
| 90 | 3,183 | 5,100 | 4,391 |
| 95 | 4,594 | 6,550 | 5,501 |
| 97,5 | 5,592 | 7,275 | 6,247 |
| 99 | 6,477 | 7,710 | 6,890 |

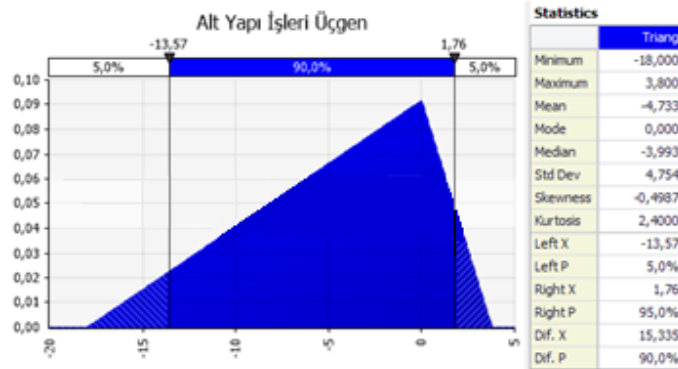
Toprak işleri ana maliyet kalemi için üçgen ve uniform olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %72,4 ihtimalle gerçekleşeceğini, PERT olasılık dağılımı ise tahmin edilen maliyetin %61,6 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımına da bakıldığında genel olarak tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının %60-%70 arasında olduğu görülmektedir.

Olasılık dağılımları kendi arasında karşılaştırıldığında PERT dağılımının diğer dağılımlara göre daha orta değerde biriktiği görülmektedir. Öyle ki %1 ihtimalle maliyet tahmininin %14,975 daha az gerçekleşeceğini öngören dağılım minimum değerinden henüz %1 ihtimaldeyken bile fazlasıyla uzaklaşmaktadır. PERT dağılımının özelliği gereği standart sapmanın diğer dağılımlara oranla az olması ona bu şekli kazandırmaktadır.

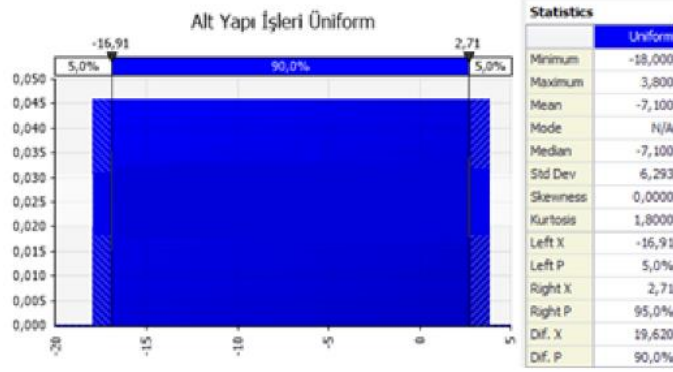
Uniform dağılımın minimum ve maksimum değerlere en yakından başlayan dağılım olduğu görülmektedir. Standart artış ile oluşturulan uniform dağılım aynı yüzde artışında maliyet değişiminin de aynı olduğu görülmektedir.

B. ALT YAPI İŞLERİ

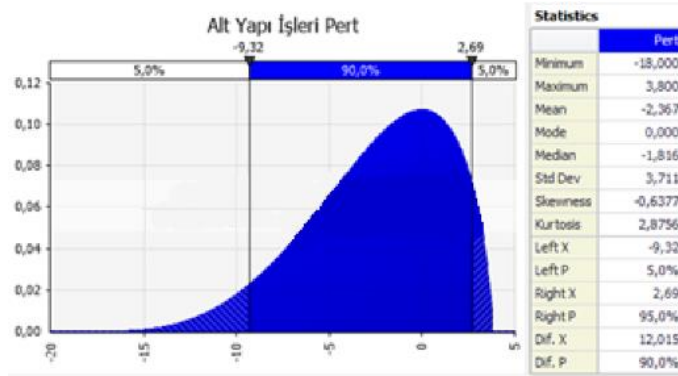
Alt yapı işleri ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca alt yapı işleri için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 3 aşağıda verilmiştir.



Şekil 4. Alt yapı işleri için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 5. Alt yapı işleri için öngörülen maliyetin üniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 6. Alt yapı işleri için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

Tablo 3. Alt yapı işleri için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

| Olasılık (%) | Üçgen Dağılım Maliyet (%) | Uniform Dağılım Maliyet (%) | PERT Dağılımı Maliyet (%) |
|--------------|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 1 | -16,019 | -17,782 | -12,169 |
| 2,5 | -14,868 | -17,455 | -10,700 |
| 5 | -13,571 | -16,910 | -9,321 |
| 10 | -11,736 | -15,820 | -7,641 |
| 20 | -9,141 | -13,640 | -5,557 |
| 30 | -7,150 | -11,460 | -4,082 |
| 40 | -5,472 | -9,280 | -2,876 |
| 50 | -3,993 | -7,100 | -1,816 |
| 60 | -2,656 | -4,920 | -0,840 |
| 70 | -1,427 | -2,740 | 0,0989 |
| 80 | -0,282 | -0,560 | 1,044 |
| 90 | 0,922 | 1,620 | 2,075 |
| 95 | 1,765 | 2,710 | 2,694 |
| 97,5 | 2,361 | 3,255 | 3,081 |
| 99 | 2,890 | 3,582 | 3,388 |

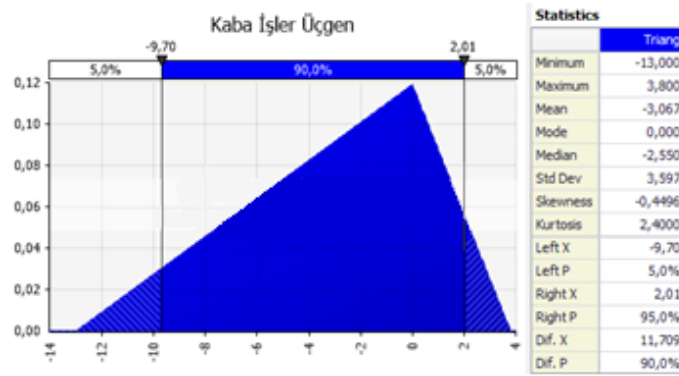
Alt yapı işleri ana maliyet kalemi için üçgen ve uniform olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %82,6 ihtimalle gerçekleşeceğini, PERT olasılık dağılımı ise tahmin edilen maliyetin %68,9 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımına da bakıldığında genel olarak tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının %70-%80 arasında olduğu görülmektedir.

Olasılık dağılımlarının standart sapmaları karşılaştırıldığında da PERT dağılımının standart sapmasının diğer dağılımlardan daha az olduğu, en yüksek standart sapmanın ise yine uniform dağılımda olduğu görülmektedir.

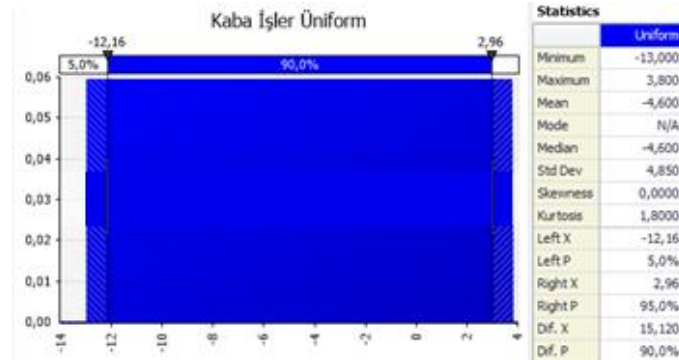
Üçgen dağılımın standart sapmasının ise uniform dağılım ile PERT dağılımı arasında bir değerde olduğu görülmektedir.

C. KABA İŞLER

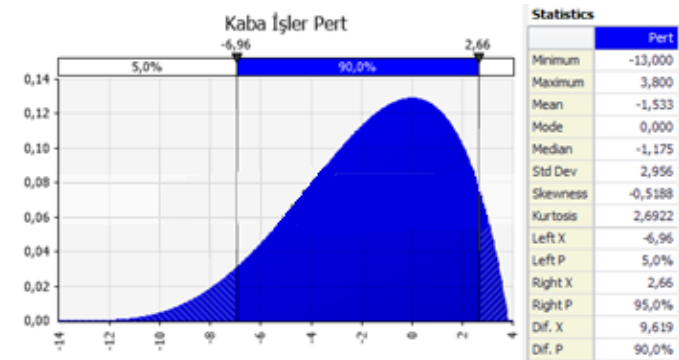
Kaba işler ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca kaba işler için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 4 aşağıda verilmiştir.



Şekil 7. Kaba işler için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 8. Kaba işler için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 9. Kaba işler için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

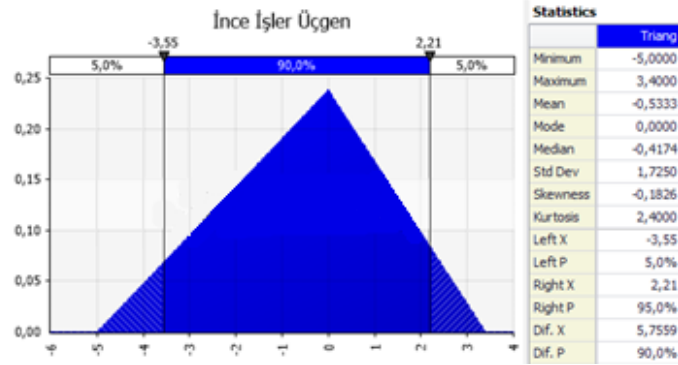
Tablo 4. Kaba işler için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

| Olasılık (%) | Üçgen Dağılım Maliyet (%) | Uniform Dağılım Maliyet (%) | PERT Dağılımı Maliyet (%) |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 | -11,522 | -12,832 | -9,039 |
| 2,5 | -10,663 | -12,580 | -7,974 |
| 5 | -9,695 | -12,160 | -6,960 |
| 10 | -8,327 | -11,320 | -5,705 |
| 20 | -6,391 | -9,640 | -4,118 |
| 30 | -4,906 | -7,960 | -2,974 |
| 40 | -3,653 | -6,280 | -2,023 |
| 50 | -2,550 | -4,600 | -1,175 |
| 60 | -1,553 | -2,920 | -0,381 |
| 70 | -0,636 | -1,240 | 0,396 |
| 80 | 0,227 | 0,440 | 1,196 |
| 90 | 1,273 | 2,120 | 2,097 |
| 95 | 2,013 | 2,960 | 2,659 |
| 97,5 | 2,537 | 3,380 | 3,026 |
| 99 | 3,001 | 3,632 | 3,331 |

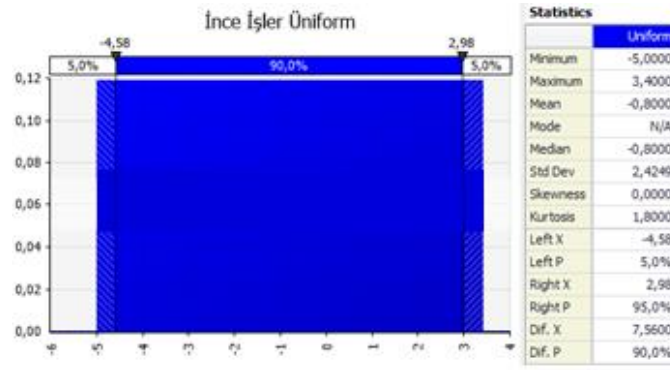
Kaba işler ana maliyet kalemi için üçgen ve uniform olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %77,4 ihtimalle gerçekleşeceğini, PERT olasılık dağılımı ise tahmin edilen maliyetin %64,9 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımına da bakıldığında genel olarak tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının %65-%75 arasında olduğu görülmektedir.

D. İNCE İŞLER

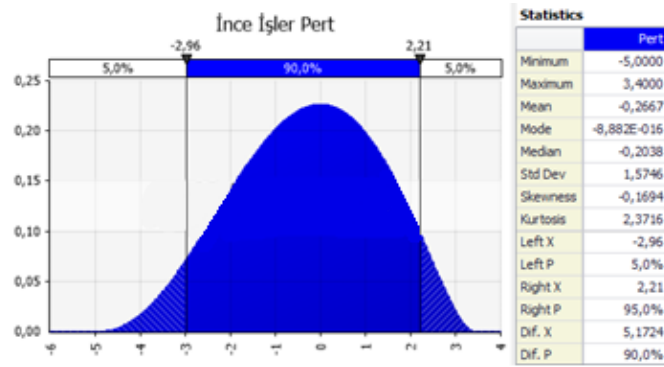
İnce işler ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca ince işler için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 5 aşağıda verilmiştir.



Şekil 10. İnce işler için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 11. İnce işler için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 12. İnce işler için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

Tablo 5. İnce işler için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

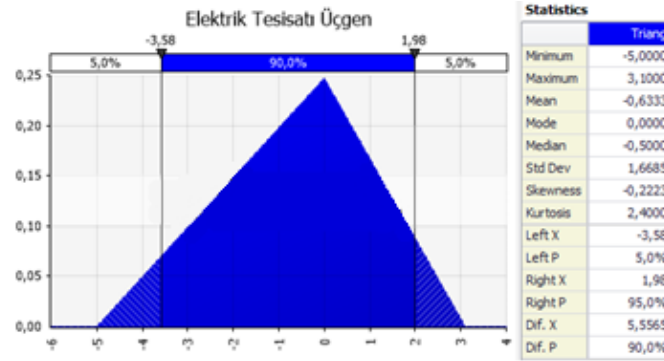
| Olasılık (%) | Üçgen Dağılım Maliyet (%) | Uniform Dağılım Maliyet (%) | PERT Dağılımı Maliyet (%) |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 | -4,3519 | -4,9160 | -3,7859 |
| 2,5 | -3,9753 | -4,7900 | -3,3474 |
| 5 | -3,5509 | -4,5800 | -2,9611 |
| 10 | -2,9506 | -4,1600 | -2,4215 |
| 20 | -2,1017 | -3,3200 | -1,6956 |
| 30 | -1,4504 | -2,4800 | -1,1396 |
| 40 | -0,9012 | -1,6400 | -0,6552 |
| 50 | -0,4174 | -0,8000 | -0,2038 |
| 60 | 0,0201 | 0,0400 | 0,2382 |
| 70 | 0,4729 | 0,8800 | 0,6921 |
| 80 | 1,0100 | 1,7200 | 1,1878 |
| 90 | 1,7100 | 2,5600 | 1,7934 |
| 95 | 2,2050 | 2,9800 | 2,2113 |
| 97,5 | 2,5550 | 3,1900 | 2,5106 |
| 99 | 2,8656 | 3,3160 | 2,7874 |

İnce işler ana maliyet kalemi için üçgen ve uniform olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %59,5 ihtimalle gerçekleşeceğini, PERT olasılık dağılımı ise tahmin edilen maliyetin %54,6 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımına da bakıldığında genel olarak tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının %55-%60 arasında olduğu görülmektedir.

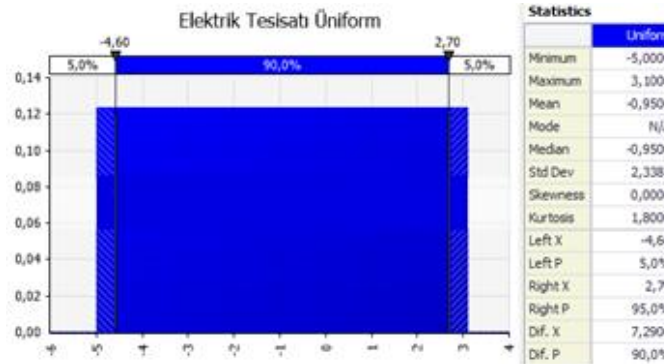
İnce işler maliyet kalemi inşaatın maliyet bakımından önemli bir kısmını oluştururken anket değerlerinde kaba işlere göre daha düşük bir sapma aralığında olması nedeniyle olasılık dağılımlarının birbirine daha yakın sonuç verdiği görülmektedir. Sonuçta şu unutulmamalıdır ki tahmin edilen maliyet değerlerinin sapma oranları olasılık dağılımlarının tek girdileridir. İnçe işler gibi büyük bir ana maliyet kalemi için olasılık dağılımlarının verdiği bu yakın sonuçlar fazlasıyla önem arz etmektedir.

E. ELEKTRİK TESİSATI

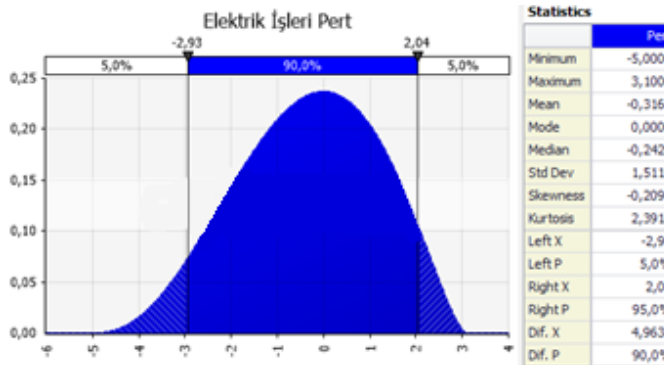
Elektrik tesisatı ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 13, Şekil 14 ve Şekil 15 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca elektrik tesisatı için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 6 aşağıda verilmiştir.



Şekil 13. Elektrik tesisatı için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 14. Elektrik tesisatı için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 15. Elektrik tesisatı için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

Tablo 6. Elektrik tesisatı için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

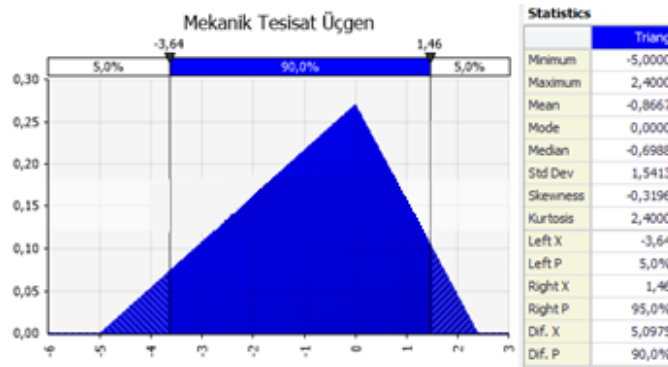
| Olasılık (%) | Üçgen Dağılım Maliyet (%) | Uniform Dağılım Maliyet (%) | PERT Dağılımı Maliyet (%) |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 | -4,3636 | -4,9190 | -3,7490 |
| 2,5 | -3,9938 | -4,7975 | -3,3377 |
| 5 | -3,5770 | -4,5950 | -2,9269 |
| 10 | -2,9875 | -4,1900 | -2,3947 |
| 20 | -2,1540 | -3,3800 | -1,6842 |
| 30 | -1,5143 | -2,5700 | -1,1440 |
| 40 | -0,9751 | -1,7600 | -0,6760 |
| 50 | -0,5000 | -0,9500 | -0,2420 |
| 60 | -0,0705 | -0,1400 | 0,1807 |
| 70 | 0,3554 | 0,6700 | 0,6126 |
| 80 | 0,8590 | 1,4800 | 1,0812 |
| 90 | 1,5154 | 2,2900 | 1,6489 |
| 95 | 1,9795 | 2,6950 | 2,0366 |
| 97,5 | 2,3077 | 2,8975 | 2,3118 |
| 99 | 2,5989 | 3,0190 | 2,5636 |

Elektrik tesisatı ana maliyet kalemi için üçgen ve uniform olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %61,7 ihtimalle gerçekleşeceğini, PERT olasılık dağılımı ise tahmin edilen maliyetin %55,7 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımına da bakıldığında genel olarak tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının %55-%60 arasında olduğu görülmektedir.

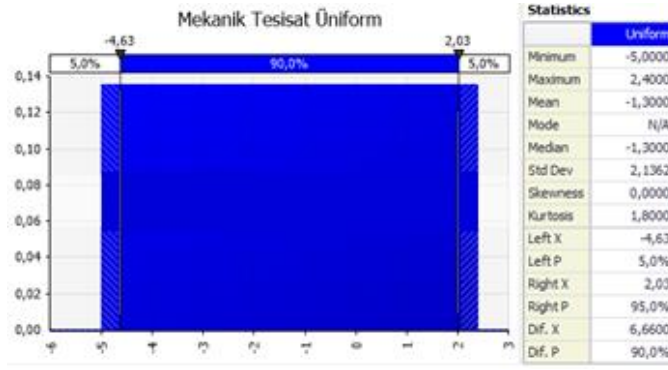
Elektrik tesisatı ana maliyet kaleminin de sapma oranlarının az olması nedeniyle olasılık dağılımlarının birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

F. MEKANİK TESİSAT

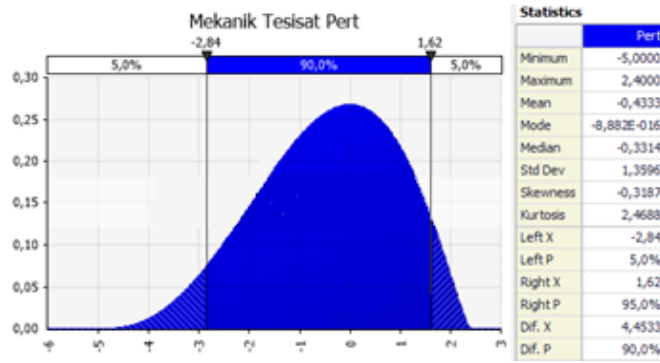
Mekanik tesisat ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca mekanik tesisat için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 7 aşağıda verilmiştir.



Şekil 16. Mekanik tesisat için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 17. Mekanik tesisat için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 18. Mekanik tesisat için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

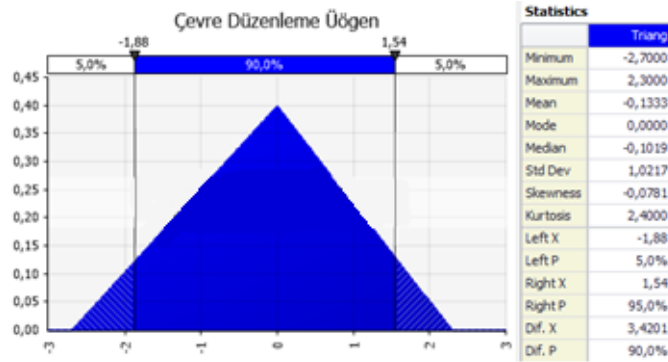
Tablo 7. Mekanik tesisat için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

| Olasılık (%) | Üçgen Dağılım Maliyet (%) | Uniform Dağılım Maliyet (%) | PERT Dağılımı Maliyet (%) |
|--------------|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 1 | -4,3917 | -4,9260 | -3,6497 |
| 2,5 | -4,0382 | -4,8150 | -3,2386 |
| 5 | -3,6399 | -4,6300 | -2,8354 |
| 10 | -3,0765 | -4,2600 | -2,3221 |
| 20 | -2,2797 | -3,5200 | -1,6506 |
| 30 | -1,6683 | -2,7800 | -1,1497 |
| 40 | -1,1529 | -2,0400 | -0,7223 |
| 50 | -0,6988 | -1,3000 | -0,3314 |
| 60 | -0,2883 | -0,5600 | 0,0442 |
| 70 | 0,0918 | 0,1800 | 0,8252 |
| 80 | 0,5153 | 0,9200 | 1,3017 |
| 90 | 1,0673 | 1,6600 | 1,3017 |
| 95 | 1,4577 | 2,0300 | 1,6178 |
| 97,5 | 1,7337 | 2,2150 | 1,8361 |
| 99 | 1,9786 | 2,3260 | 2,0299 |

Mekanik tesisat ana maliyet kalemi için üçgen ve uniform olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %67,6 ihtimalle gerçekleşeceğini, PERT olasılık dağılımı ise tahmin edilen maliyetin %58,8 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımına da bakıldığında genel olarak tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının %60-%70 arasında olduğu görülmektedir.

G. ÇEVRE DÜZENLEME

Çevre düzenleme ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 19, Şekil 20 ve Şekil 21 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca çevre düzenleme için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 8 aşağıda verilmiştir.



Şekil 19. Çevre Düzenleme için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 20. Çevre Düzenleme için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 21. Çevre Düzenleme için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

Tablo 8. Çevre Düzenleme için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

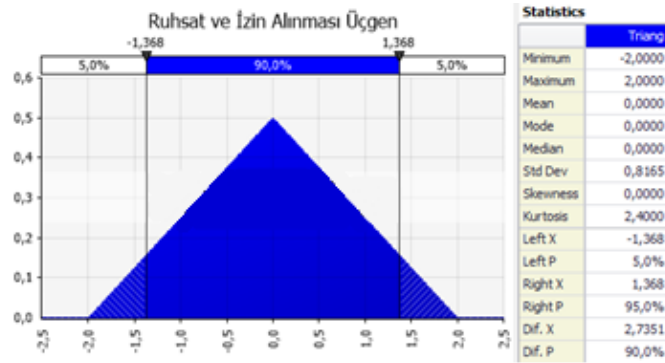
| Olasılık (%) | Üçgen Dağılım Maliyet (%) | Uniform Dağılım Maliyet (%) | PERT Dağılımı Maliyet (%) |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 | -2,3326 | -2,6500 | -2,0940 |
| 2,5 | -2,1191 | -2,5750 | -1,8722 |
| 5 | -1,8784 | -2,4500 | -1,6450 |

| | | | |
|------|---------|---------|---------|
| 10 | -1,5381 | -2,2000 | -1,3432 |
| 20 | -1,0568 | -1,7000 | -0,9289 |
| 30 | -0,6875 | -1,2000 | -0,6058 |
| 40 | -0,3762 | -0,7000 | -0,3203 |
| 50 | -0,1019 | -0,2000 | -0,0509 |
| 60 | 0,1552 | 0,3000 | 0,2161 |
| 70 | 0,4426 | 0,8000 | 0,4940 |
| 80 | 0,7834 | 1,3000 | 0,8020 |
| 90 | 1,2276 | 1,8000 | 1,1861 |
| 95 | 1,5417 | 2,0500 | 1,4574 |
| 97,5 | 1,7638 | 2,1750 | 1,6561 |
| 99 | 1,9609 | 2,2500 | 1,8442 |

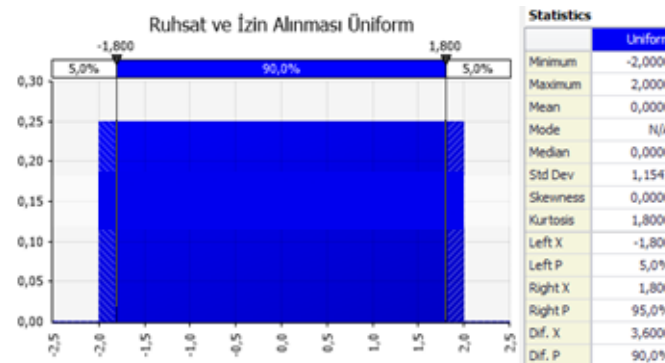
Çevre Düzenleme ana maliyet kalemi için üçgen ve uniform olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %54 ihtimalle gerçekleşeceğini, PERT olasılık dağılımı ise tahmin edilen maliyetin %51,9 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımına da bakıldığında genel olarak tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının %50-%55 arasında olduğu görülmektedir.

H. RUHSAT VE İZİN ALINMASI

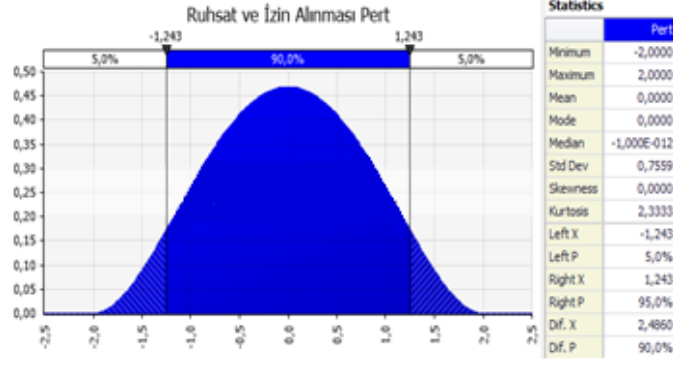
Ruhsat ve izin alınması ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 22, Şekil 23 ve Şekil 24 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca ruhsat ve izin alınması için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 9 aşağıda verilmiştir.



Şekil 22. Ruhsat ve izin alınması için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 23. Ruhsat ve izin alınması için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 24. Ruhsat ve izin alınması için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

Tablo 9. Ruhsat ve izin alınması için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

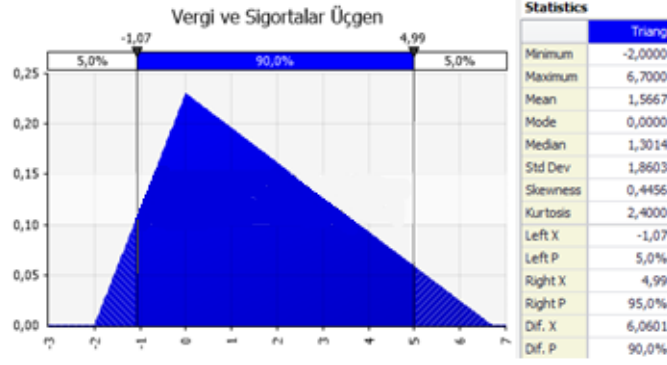
| Olasılık (%) | Üçgen Dağılım Maliyet (%) | Uniform Dağılım Maliyet (%) | PERT Dağılımı Maliyet (%) |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 | -1,7172 | -1,9600 | -1,5774 |
| 2,5 | -1,5528 | -1,9000 | -1,4135 |
| 5 | -1,3675 | -1,8000 | -1,2430 |
| 10 | -1,1056 | -1,6000 | -1,0135 |
| 20 | -0,7351 | -1,2000 | -0,6936 |
| 30 | -0,4508 | -0,8000 | -0,4407 |
| 40 | -0,2111 | -0,4000 | -0,2150 |
| 50 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 0,2111 | 0,4000 | 0,2150 |
| 70 | 0,4508 | 0,8000 | 0,4407 |
| 80 | 0,7351 | 1,2000 | 0,6936 |
| 90 | 1,1056 | 1,6000 | 1,0135 |
| 95 | 1,3675 | 1,8000 | 1,2430 |
| 97,5 | 1,5528 | 1,9000 | 1,4135 |
| 99 | 1,7172 | 1,9600 | 1,5774 |

Ruhsat ve izin alınması ana maliyet kalemi için üçgen, uniform ve PERT olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %50 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımı da tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığını aynı yüzde ile göstermektedir.

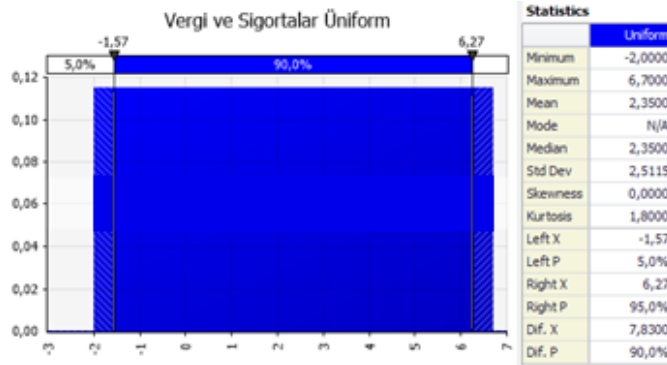
Ruhsat ve izin alınması ana maliyet kalemi için minimum ve maksimum sapma oranlarının aynı olması nedeniyle olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin gerçekleşmesi ihtimalinde aynı değeri, %50 değerini göstermektedir.

I. VERGİ VE SİGORTALAR

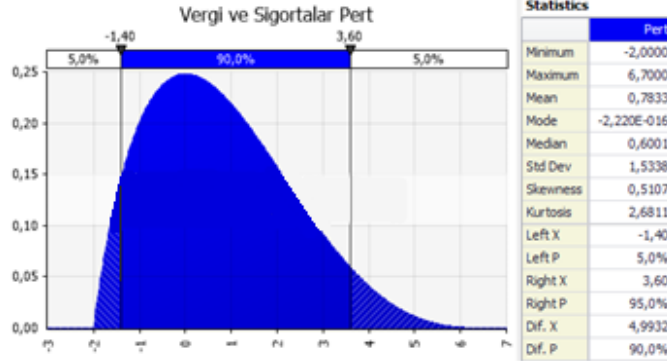
Vergi ve sigortalar ana maliyet kalemi için uygulanan üçgen dağılım, uniform dağılım ve PERT dağılımı Şekil 25, Şekil 26 ve Şekil 27 aşağıda sunulmuştur. Ayrıca vergi ve sigortalar için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri Tablo 10 aşağıda verilmiştir.



Şekil 25. Vergi ve sigortalar için öngörülen maliyetin üçgen dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 26. Vergi ve sigortalar için öngörülen maliyetin uniform dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı



Şekil 27. Vergi ve sigortalar için öngörülen maliyetin PERT dağılım ile oluşturulan olasılık dağılımı

Tablo 10. Vergi ve sigortalar için tahmin edilen maliyetin 3 farklı dağılıma göre gerçekleşme ihtimalleri

| Olasılık (%) | Üçgen Dağılım Maliyet (%) | Uniform Dağılım Maliyet (%) | PERT Dağılımı Maliyet (%) |
|--------------|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 1 | -1,5829 | -1,9130 | -1,7509 |
| 2,5 | -1,3405 | -1,7825 | -1,5904 |
| 5 | -1,0673 | -1,5650 | -1,3980 |
| 10 | -0,6809 | -1,1300 | -1,1035 |
| 20 | -0,1345 | -0,2600 | -0,6332 |
| 30 | 0,3123 | 0,6100 | -0,2165 |
| 40 | 0,7861 | 1,4800 | 0,1876 |
| 50 | 1,3014 | 2,3500 | 0,6001 |

| | | | |
|------|--------|--------|--------|
| 60 | 1,8713 | 3,2200 | 1,0402 |
| 70 | 2,5183 | 4,0900 | 1,5332 |
| 80 | 3,2856 | 4,9600 | 2,1262 |
| 90 | 4,2857 | 5,8300 | 2,9467 |
| 95 | 4,9928 | 6,2650 | 3,5952 |
| 97,5 | 5,4928 | 6,4825 | 4,1187 |
| 99 | 5,9365 | 6,6130 | 4,6676 |

Vergi ve sigortalar ana maliyet kalemi için üçgen ve uniform olasılık dağılımları tahmin edilen maliyetin %23 ihtimalle gerçekleşeceğini, PERT olasılık dağılımı ise tahmin edilen maliyetin %35,4 ihtimalle gerçekleşeceğini göstermektedir. Üç olasılık dağılımına da bakıldığında genel olarak tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının %25-%35 arasında olduğu görülmektedir.

Vergi ve sigortalar ana maliyet kalemi tahmin edilen maksimum sapma oranının minimum sapma oranından daha fazla olduğu tek kalemdir. Bu nedenle tahmin edilen maliyetin gerçekleşme olasılığının bu kalemde en az olduğu görülmektedir.

V. DEĞERLENDİRME

Monte Carlo simülasyonu girilen verilere değerler atayarak problemi yaklaşık yollarla çözen bir tekniktir. Dolayısıyla simülasyona girilen veriler, sonuçların doğru veya anlamlı çıkması için hayati önemi sahiptir. Bu çalışmada verilerin TMB üyesi firmalara yapılan anket sonucunda elde edilmesi, çalışmanın Türkiye çapında bir sonuç vermesini sağlamaktadır.

TMB üyesi firmalara yapılan anket sonucunda inşaat ana maliyet kalemlerinden maliyet tahmini en fazla sapma gösteren kalemin toprak işleri ana maliyet kalemi olduğu sonucu çıkmaktadır. Toprak işlerinin hem maksimum sapma oranında hem de minimum sapma oranında en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Bu verilerden anlaşılabilir ki inşaat firmaları yurtiçinde bir projede görev alacakları zaman toprak işleri için maliyet kaleminin minimum ve maksimum sapmasının diğer kalemlere göre daha çok olduğunu göz ardı etmemeleri gerekir.

Vergi ve sigortalar ana maliyet kalemi, öngörülen maksimum sapmanın minimum sapmadan daha fazla olduğu tek kalemdir. Bu da onun olasılık dağılımlarında başlangıçta tahmin edilen maliyetinin gerçekleşme olasılığının %25-%35 arasında tutmaktadır ki; tahmin edilen maliyetin gerçekleşme ihtimali yarıdan az olan tek kalemdir. Bu kısımdan şu anlaşılabilir ki vergi ve sigortalar kalemi, yurtiçi inşaat projeleri için inşaat firmalarının öngördüğü maliyet değerinin gerçekleşme ihtimali az, öngörülen değeri aşma ihtimali fazla olan bir değerdir.

Minimum sapmanın maksimum sapmadan en fazla olduğu kalem alt yapı işleri kalemidir ki bu maliyet kaleminin de tahmin edilen maliyette gerçekleşme ihtimali %70-%80 arasındadır. Geriye kalan %20-%30 ihtimalin hiç de göz ardı edilemeyecek bir oran olduğu aşikardır.

Çalışmada kullanılan istatistiki olasılık dağılımları değerlendirildiğinde; PERT dağılımının standart sapmasının az olması, optimum değerde gerçekleşme olasılığını artırırken, uniform dağılımın standart sapmasının fazla olması ise ona minimum ve maksimum noktaya yakın dağılım gerçekleşmesi olasılığını arttırmaktadır. Üçgen dağılım bu konuda diğer iki dağılım arasında bir grafik göstermektedir. Kullanımı kolay olduğundan inşaat sektöründe sıkça kullanılmaktadır. Herhangi bir analizde üç dağılımdan birini kullanmaya karar vermek için mevcut durumu değerlendirmek gerekir. Eğer belli aralıktaki değerlerin gerçekleşme olasılıkları eşdeğer görülüyor ise uniform dağılımı kullanmak daha doğru sonuçlar verecektir. Bu değerlerden en optimum değerinin gerçekleşme olasılığı diğer değerlerden fazla görülüyor ise PERT dağılımını kullanmak daha mantıklı olacaktır. Bu değerler hakkında yorum yapılamıyor ise üçgen dağılımı kullanmak daha kolay olacaktır.

Monte Carlo simülasyonu içerisindeki dağılımları değerlendirmek gerekirse mevcut dağılımların hepsinin sınırlı dağılımlar olduğunu yani dağılımlara belli limitler koyulduğunu göz ardı etmemek gerekir. Bu çalışmada sınırların dışına çıkılmaması bile mevcut limitlerin içerisinde çalışmanın üç farklı dağılımda yapılması, hangi maliyet sapsmasının hangi olasılık ile gerçekleşeceğini üç farklı dağılımda görmek, sınırlar içerisinde ortaya daha gerçekçi sonuçlar çıkarmaktadır.

Monte Carlo simülasyonunun proje yöneticileri tarafından daha bilindik hale gelmesiyle kullanımın artacağı aşikardır. Simülasyonun mevcut durumunun eleştiriye açık yönleri vardır fakat karmaşık ve büyük projelerde, kullanımının kolay olması ve hızlı sonuç vermesi Monte Carlo simülasyonunun kullanılma oranını arttıracaktır.

VI. KAYNAKLAR

- [1] L. O. Uğur, “İnşaat sektöründe riskler ve risk yönetimi,” Türkiye Mütahhitler Birliği, Ankara, 2006.
- [2] F. İncir, “İnşaat sektöründe risk yönetimi ve kaliteye etkisi” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye, 2003.
- [3] R. Kömürlü ve E. Güzelay, “İnşaat Projelerinin Yapımında Risk Yönetim Süreci” *Artium* c. 9, s. 2, ss. 79-86, 2021.
- [4] M. Talat Birgönül ve İ. Dikmen, “İnşaat projelerinin risk yönetimi.” *İMO teknik Dergi*, c. 97, ss. 1305-1326, 1996.
- [5] A. Emhan, “Risk yönetim süreci ve risk yönetmekte kullanılan teknikler,” *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 23, s. 3, ss. 209-220, 2009.
- [6] L.O. Uğur, “İnşaat firmalarının maliyet ve süre belirleme yöntemleri üzerine bir alan çalışması,” İnşaat Yönetimi Kongresi, Ankara, 2007.
- [7] K. Rezaie, M. S. Amalnik, A. Gereie, B. Ostadi and M, “Using extended Monte Carlo simulation method for the improvement of risk management: Consideration of relationships between uncertainties,” *Applied Mathematics and Computation*, vol. 190 no. 2, pp 1492-1501, 2007.
- [8] B. Kaplan, “Genetik Algoritma ve Monte Carlo Simülasyonu ile Bir İnşaat Projesinde Alt Yüklenici Seçimine İlişkin Süre Maliyet Kalite Optimizasyonu ve Risk Değerlendirmesi” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [9] A. Haçerlioğulları, “Monte Carlo Simülasyon Metodu ve MCNP Kod Sistemi,” *Kastamonu Eğitim Dergisi*, c. 14, s. 2, ss 545-556, 2006.
- [10] Y. H. Kwak and L. Ingall, “Exploring Monte Carlo simulation applications for project management,” *Risk management*, vol. 9, no. 1, pp 44-57, 2007.
- [11] W. Edward Back, Walter W. Boles and Gary T. FryBack, “Defining triangular probability distributions from historical cost data,” *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 126, no. 1, pp 29-37, 2000.
- [12] T. Williams, “The contribution of mathematical modelling to the practice of project managementto the practice of project management” *IMA Journal of Management Mathematics*, vol. 14 no. 1, pp 3-30, 2003.

- [13] R. Graves, "Open and Closed: The Monte Carlo Model," *Pm Network*, vol. 15, no. 12, pp 48-52, 2001.
- [14] *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, PMI Project Management Institute, 2013.
- [15] L. O. Uğur, "TMB üyesi inşaat firmalarında planlama, yapı maliyeti hesaplama ve risk yönetimi yaklaşımları," Türkiye Mütcahitler Birliği, Ankara, 2007.