
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

PROJELER İÇİN GÜVENİLİRLİK OPTİMİZASYON MODELİ

Hüsniye Özge AFACAN KUŞ

DOKTORA TEZİ
HAREKAT ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞUSTOS 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hüsniye Özge AFACAN KUŞ

13/ 08 /2024

PROJELER İÇİN GÜVENİLİRLİK OPTİMİZASYON MODELİ

(Doktora Tezi)

Hüsniye Özge AFACAN KUŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2024

ÖZET

Proje yönetiminde karşılaşılan sorunlar genellikle belirli alanlarda yoğunlaşmaktadır. İlk olarak, projenin başlangıcında yapılan planların gerçekçi olmaması, zaman ve maliyet tahminlerindeki sapmalar ve buna bağlı olarak çıktı kalitesinin düşmesi eğilimindedir. Yanlış belirlenen maliyetler, nakit akışında zorluklara yol açabilir. Ayrıca, statik olarak oluşturulan proje planlarının sürekli güncellenmesi iş gücü kayıplarına neden olabilir. Proje yönetiminde maliyet, zaman ve kalite üçgenindeki risklerin temel nedeni, projenin başlangıcında belirsizliklerin planlama sürecine dahil edilmemesidir. Bu çalışma, gerçek gözlemler ve deneyimlere dayanmaktadır ve odak noktası, yıllar boyunca dikkat çekici bir savunma sanayii firmasında gözlemlenen durumdur. Bu firmada, proje planlarının gerçekçi olmadığı ve sürekli düzeltme gerektirdiği, bu nedenle iş gücü zorluklarına yol açtığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada, herhangi bir projede zaman, maliyet ve kalite üçgeninin güvenilirliğini sağlamak için deneyime dayalı öznel proje bilgisinin proje planlamasına dahil edilmesini önermektedir. Ayrıca, tüm proje planlarının n-sistem güvenilirlik hesaplama yöntemi kullanılarak oluşturulmasını önermektedir

Bilim Kodu : 90620
Anahtar Kelimeler : Proje Yönetimi, Güvenilirlik, Proje Güvenilirlik Optimizasyonu
Sayfa Adedi : 67
Danışman : Doç. Dr. Ömer ASAL

RELIABILTIY OPTIMIZATION MODEL FOR PROJECTS

(Ph. D. Thesis)

Hüsniye Özge AFACAN KUŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2024

ABSTRACT

Issues in project management typically arise in several key areas. Firstly, unrealistic plans made at the project's inception causes deviations in time and cost estimates, and consequently a tendency for the quality of outputs to decline. Incorrectly estimated costs can lead to cash flow difficulties. Moreover, static project plans that require constant updates can result in labor losses. The primary cause of risks in the cost, time, and quality triangle of project management is the failure to incorporate uncertainties into the planning process at the project's start. This study is based on real observations and experiences, focusing on a notable defense industry company where it was observed over the years that project plans were unrealistic and required continuous adjustments, leading to workforce challenges. This paper suggests incorporating experiential/subjective project knowledge into project planning to ensure the reliability of the time, cost, and quality triangle in any project. Additionally, it recommends that all project plans be created using the n-system reliability calculation method.

Science Code : 90620
Key Words : Project Management, Reliability, Project Reliability Optimization
Page Number : 67
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ömer ASAL

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının tamamlanmasında ve başarılı bir şekilde sonuçlanmasında emeği geçen herkese sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Öncelikle, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam; Doç. Dr. Ömer ASAL'a, sabrı, bilgisi ve yönlendirmeleriyle bana her zaman destek olduğu için minnettarım.

Ayrıca, tez jürimde yer alan Prof. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN ve Doç. Dr. Hakan ÇERÇİOĞLU'na yapıcı eleştirileri ve önerileri için teşekkür ederim.

Çalışmalarımın sırasında vizyonu ile destek veren saygıdeğer Prof. Dr. Talip KELLEGÖZ ile Doç. Dr. Hasan Basri ULAŞ'a da çok minnettarım.

Ayrıca tezimi ciltleyen Mustafa GÜNGÖR'e de çok minnettarım.

Çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli eşim Kamuran Kuş'a, bu süreçte bana verdiği moral ve motivasyon için sonsuz teşekkürler. Onun desteği ve anlayışı olmasaydı, bu zorlu yolculuk çok daha zor olurdu. Anneme, bana olan sonsuz sevgisi ve desteği için minnettarım. Her zaman yanımda olduğunu bilmek, bana güç verdi. Artık bu dünyada olmayan babama da minnettarım çünkü onun isteği ile bu programa başlamıştım.

Son olarak, bu süreçte bana en büyük ilham kaynağı olan doktora çalışmaları sırasında doğan yaramaz kızım Zeynep'e teşekkür ederim. Onun neşesi ve enerjisi, bana her zaman pozitif bir bakış açısı kazandırdı ve bu çalışmanın her anında yanımda hissettim.

Bu tezin hazırlanmasında emeği geçen tüm Gazi Üniversitesi akademik camiasına ve personeline en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

SİMGELER VE KISALTMALAR xi

1. GİRİŞ 1

2. PROJE YÖNETİMİNDEKİ METODLARIN TARİHSEL GELİŞİMİ 3

3. GÜVENLİK TEORİSİ UYGULAMALARI 5

4. PROJE YÖNETİMİNDE GÜVENİLİRLİK ÇALIŞMALARI 9

5. GÜVENİLİRLİK MODELLERİ OPTİMİZASYONU 13

6. PROJE GÜVENİLİRLİK PROGRAMI 15

6.1. Proje Yapısı Unsurları ve Belirsizlikler 15

6.1.1. Aktiviteler ve belirsizlikler 15

6.1.2. Aktvitelerde gözlemlenen belirsizlik türleri 16

6.1.3. Aktivitelerdeki belirsizlik türlerine göre maliyet oluşumları 16

6.2. Çok Bileşenli Proje Çizelgesinin, Seri Güvenilirlik Yapısına Dönüştürülmesi 54

6.3. Proje Planlama İçin Güvenilirlik Optimizasyon Modeli 56

7. ARAŞTIRMA BULGULARI 59

8. SONUÇ VE ÖNERİLER 61

KAYNAKLAR 63

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ 67

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 6.1. Örnek problemin katsayıları..... 58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.1. Proje zamanlaması ve tanımlı aktivite süreleri ile iş kırılımı yapısı..... 15

Şekil 6.2. Olasılık dağılım modelleri ve faaliyet maliyetlerinin koşullu kesişimleri..... 24

Şekil 6.3. Belirsizlik altında çizelgeleme..... 54

Şekil 6.4. Çok bileşenli proje çizelgesinin, seri güvenilirlik yapısına dönüşümü 54

Şekil 6.5. Seri güvenilirlik yapısının, yedekli yapıya dönüştürülmesi 55

Şekil 6.6. Örnek problemin seri proje yapı planı..... 57

Şekil 6.7. Örnek problemin yedekli proje yapı planı..... 57

Şekil 7.1. Problemin GAMS ile sonucu..... 59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
k	Bin
M	Milyon
$	Dolar

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
JCL	Ortak maliyet ve program güven düzeyi
PYP	Proje yapı planı
WBS	İş kırılım yapısı
CDF	Proje maliyet kümülatif dağıtım fonksiyonu

1. GİRİŞ

Proje kavramı, bir ekibin belirli bir süre içinde ve sınırlı finansmanla bir soruna çözüm bulmak veya ortaya çıkan bir fırsatı değerlendirmek amacıyla üstlendiği süreçlerin toplamını kapsar. Kaynakları önceden tanımlanmış sınırlı kaynaklara sahip bir projede, müşteri memnuniyeti dikkate alınarak olası riskler yönetilerek proje tamamlanır. Proje yönetimi, tanımlanmış bir kapsam, amaç ve hedefler dahilinde orijinal bir planın başlatılması, uygulanması, kontrol edilmesi ve sonlandırılması sürecidir.

Proje yönetilirken genellikle birbirleriyle içiçe geçmiş şu sorunlar ortaya çıkar:

- Projenin başlangıcında yapılan planların gerçekçi olmaması,
- Zaman ve maliyet tahminlerindeki sapmalar ve dolayısıyla çıktı kalitesinde azalma eğiliminin oluşması. Yanlış tahmin edilmiş proje maliyetleri,
- Nakit akışında zorlukların oluşması.
- Statik olarak oluşturulan proje planlarının sürekli güncellenmesi yoluyla kalifiye iş gücü kayıplarının oluşması.

Proje yönetiminin temel amacı, belirli bir süre ve sınırlı finansman içinde bir ekibin üstlendiği süreçlerin başarılı bir şekilde tamamlanmasını sağlamaktır.

Kısıtlı kaynaklarla tanımlanan bir projenin başarılı bir şekilde tamamlanabilmesi için potansiyel risklerin yönetilmesi gerekmektedir. Proje yönetiminde ortaya çıkan belirsizlikler ve bu belirsizliklerin projenin başlangıcında planlama sürecine dahil edilmemesi, zaman ve maliyet tahminlerinde sapmalara ve çıktı kalitesinde azalmaya neden olabilmektedir.

Bu çalışmanın konusu, savunma sanayisinde öncü bir organizasyonda proje yönetimi/planlamasında gerçek sorunlar ve uygulamalardan yaklaşık 30 yıl boyunca biriktirilen bilgiye dayanmaktadır. Planlamadan uygulamaya kadar geçen yıllar boyunca, gerçekçilikten yoksun doğrusal planlamanın, geç tamamlanmalara ve planları revize etme ve uygulamada iş gücü kayıplarına neden olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışma, statik proje planları yerine belirsizlikleri stokastik olarak ele alarak daha tutarlı ve gerçekçi bir proje planlama yöntemi geliştirmeyi önermektedir.

Proje sistemi çok bileşenli bir sistemdir. Çok bileşenli bir sistemin güvenilirliği, sistemi oluşturan unsurların güvenilirliğine bağlıdır. Bu bağlamda, proje takvimine dahil edilen faaliyetler, tüm sistemin kümülatif maliyetinin hesaplandığı çok unsurlu bir güvenilirlik sistemine karşılık gelir.

Proje planları, belirli bir güven aralığı, zaman ve maliyet içinde maksimum güvenilirlikle tamamlanabilir. Proje planlarında maksimum güvenirliğe ulaşabilmenin çözümü için güvenilirlik yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir.

Bu kapsamlı analiz, projelerin güvenilirliğini artırmak için kullanılabilecek çeşitli yöntem ve yaklaşımları keşfederek proje güvenilirliği optimizasyon stratejileri alanına girmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma, proje güvenilirliğine katkıda bulunan temel faktörleri inceleyerek ve optimizasyonun potansiyel faydalarını araştırarak, proje yöneticilerinin ve paydaşların projelerinin güvenilirliğini artırmalarına yardımcı olabilecek bilgiler ve öneriler sağlamayı amaçlamaktadır. Optimizasyon stratejilerinin kapsamlı bir incelemesi yoluyla bu çalışma, proje güvenilirliğinin önemine ışık tutmayı ve kuruluşların etkili optimizasyon uygulamaları yoluyla daha iyi proje sonuçlarına nasıl ulaşabilecekleri konusunda değerli bilgiler sunmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmada, önceki çalışmalardan farklı olarak, projenin yüksek kaliteli bir çıktı elde etmesi için maliyetler ve zamanlamalar için daha tutarlı planlar yaparak olası belirsizlikleri öngörerek riskleri kontrol etmeyi amaçlayan güvenilirlik yöntemlerinin projenin planlama aşamasına dahil edilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, maliyetler ve süreler güvenilirlik unsurları olarak ele alınmıştır. Böylece, modelin her türlü (inşaat, araştırma, askeri vb.) projeler için kullanılabilir olması amaçlanmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma ile şu ana kadar yapılmış olan çalışmalardan farklı olarak öncelik ve ardıllık içeren proje programlarının bir güvenilirlik ağına dönüştürülmesi yöntemi aktarılmaktadır. Bu yöntem, çalışma boyunca“Proje Güvenilirlik Programı” olarak geçecektir.

2. PROJE YÖNETİMİNDEKİ METODLARIN TARİHSEL GELİŞİMİ

Proje yönetilirken, Kelly ve Walker tarafından da ifade edildiği gibi, üzerinde düşünülmesi gereken aşağıdaki zorlu nedenler bulunmaktaydı [1]:

- Karmaşık projelerle başa çıkmak için yetersiz tekniklerin kullanılması,
- Farklı gruplar tarafından bağımsız olarak yürütülen ayrıntılı planlama ve programlama çabalarından kaynaklanan koordinasyon eksikliği,
- Ayrıntılı gereksinimler ve başarımlar yerine kaba tahminlere dayalı ayrıntılı programlara güvenmek

Proje yönetimindeki karmaşıklık, geçmiş çalışmalarda çoğunlukla proje uygulamasıyla ilgili modellere odaklanılarak ele alınmıştır. Günümüzde hala geçerliliğini koruyan Kritik Yol Planlama ve Çizelgeleme yöntemi Kelly tarafından son şekline kavuşturulmuştur [2]. Kritik Yol Yöntemi, projelerin planlanması ve programlanması için sistematik bir yaklaşım sunar; tüm proje işlevlerinin bir ana plana entegre edilmesinin ve kritik faaliyetlere dayalı programların optimize edilmesinin önemini vurgular. Bu modelin tanıtılmasının ardından, “Kritik Yol Yöntemi”nin çeşitli endüstrilerdeki mühendislik ve devlet projelerinde potansiyel uygulamaları gözlemlenmiştir.

"Kritik Yol Yöntemi" ile başlayan statik veya doğrusal planlamaya dayalı yöntemlerin yetersizliği nedeniyle daha sonraki yıllarda birçok doğrusal olmayan yöntemin önerisi ortaya çıkmıştır.

Doğrusal olmayan yöntemlere bir örnek çok kriterli modeli çözmek ve Pareto-optimal çözümler elde etmek için kullanılan yöntem ile hedefe ulaşma tekniğidir. Gembicki ve Haimes tarafından 1975 yılında tanıtılan hedefe ulaşma tekniği, karar vericilerin tercihlerini ve hedeflerini dikkate alarak en uygun çözümleri bulmak için çelişen hedefleri dengeleyen çok kriterli bir optimizasyon yaklaşımıdır [3]. Proje çizelgeleme bağlamında, çok kriterli modeli eşdeğer tek amaçlı bir probleme dönüştürmek için hedefe ulaşma tekniği uygulanarak karar vericilerin proje maliyeti, risk ve kalite azaltımına ilişkin tercihlerini ve önceliklerini belirlemelerine olanak tanır. Hedefe ulaşma yöntemi, karar vericilerden hedef ve ağırlık vektörlerini elde ederek, rakip hedefler arasında en iyi dengeyi temsil eden Pareto-optimal çözümler üretir. Etkileşimli tekniklerle karşılaştırıldığında, hedefe ulaşma tekniği daha az değişken gerektirir ve daha hızlı çözüm süreleri sağlar. Özellikle çok kriterli karar

verme senaryolarında, karmaşık ödünleşimler uygulamak ve bilinçli seçimler yapmak isteyen karar vericiler için değerli bir makaledir. Hedefe ulaşma tekniğini kullanan önerilen model, proje maliyeti, risk ve kalite hedeflerini aynı anda dikkate alarak Pareto-optimal çözümleri temsil eden verimli çözümlerin keşfedilmesine olanak sağlar.

Deckro ve diğerleri tarafından geliştirilen modelde, ikinci dereceden maliyet ilişkilerine sahip genişletilmiş bir ana model, ikinci dereceden zaman/maliyet ilişkilerinden yararlanılması, problemin doğrusal olmayan bir program olarak doğrudan çözümü, doğrusal olmayan programlama kodlarının kullanımı, duyarlılık analizi ve proje yönetimi sonuçlarını iyileştirmeye yönelik bir model önerisi sunulmaktadır [4].

Mohammadipour ve Sadjadi tarafından geliştirilen diğer bir yöntem ise çok kriterli karma tamsayılı doğrusal programlama modelidir [5]. Önerilen model, proje zaman kısıtlamalarını karşılarken toplam ek proje maliyetini en aza indirmeyi, riski artırmayı ve kaliteyi düşürmeyi amaçlamaktadır. Model, bu üç hedefi aynı anda dikkate alarak maliyet, risk ve kaliteyi dengeler ve böylece genel proje süresini kısaltır.

Proje yönetimi, planlama, uygulama ve bunlarla ilgili zorluklar Science Direct'te yayınlanan bir milyondan fazla makalede ele alınmıştır. Proje yönetimi konularına verilen değer bu rakamla ile kendi belli etmektedir.

3. GÜVENLİRLİK TEORİSİ UYGULAMALARI

Bilgi yoğun ve yüksek teknolojili projelerle ilişkili risklerin anlaşılmasında ve yönetilmesinde matematiksel yöntemler kullanılırBir projeyi uygulamadan önce zaman, maliyet ve kaliteyi önceden tahmin etmek için "Güvenilirlik Teorisi" ve istatistiksel yöntemlerin kullanılması, bu teorinin farklılıkları anlama ve kontrol etme, belirsizlikleri yönetme ve beklenmedik olayları en aza indirme konusundaki önemini vurgulamaktadır.

Güvenilirlik mühendisliği, belirli bir sistemin, alt sistemin veya bileşenin güvenilirlikle ilgili özelliklerini hesaplamak ve belirlemek için yöntemler geliştiren ve kullanan disiplinler arası bir alandır. Güvenilirlik mühendisliği, sistem güvenilirliği teorisini temel alarak, güvenilirlikle ilgili birçok tasarım ve üretim problemine belirli kısıtlamalara dayalı olarak en iyi çözümleri sunmak için mekanik, endüstri, elektrik-elektronik ve yazılım mühendisliği gibi çeşitli mühendislik disiplinlerindeki güvenilirlik mühendisliği yaklaşım ve yöntemlerinden yararlanır. Bu nedenle, güvenilirlik mühendisliği yaklaşımları, iş araştırması ve optimizasyon teknikleriyle birlikte bu optimal tasarım ve üretim sorunlarını çözmek için entegre edilir. Güvenilirlik mühendisliğinde farklı mühendislik dallarından farklı özellik ve yapıya sahip sistemler, alt sistemler ve bileşenler ele alınmaktadır. Farklı yapıların güvenilirlik analizleri ve bu yapılara dayalı optimal tasarım çalışmaları stokastik olarak modeller olarak tanımlanır. Bu stokastik modelleme yaklaşımı ile sistem ve alt sistemlerin güvenilirlik özellikleri, olasılık teorisine dayalı matematiksel yöntemler ve istatistiksel yaklaşımlar kullanılarak hesaplanabilmektedir. Güvenilirlik teorisi, sistemlerin zaman içinde tutarlı ve sürekli olarak işleyebilme yeteneğini inceleyen bir istatistik ve mühendislik disiplinidir.

Batson tarafından açıklandığı gibi sistemlerin güvenilirliği, erişilebilirliği ve bakım kolaylığı özelliklerinin analizi ve değerlendirilmesi ile ilgilenmektedir [6]. Güvenilirlik teorisi, bir sistemin veya bileşenin belirli bir süre boyunca düzgün çalışma olasılığını değerlendirmek için matematiksel modeller ve yöntemler sağlar. Bu yöntemler, çeşitli matematiksel formüller ve istatistiksel yöntemler kullanılarak seri sistemlerin, paralel sistemlerin, yedekli sistemlerin ve k'dan n'lik (k out of n) yedekli sistemlerin güvenilirliğinin hesaplanmasını içerir. Sistem güvenilirliğini hesaplamak için yaygın olarak kullanılan bazı formüller şunları içerir:

Seri bir sistemin güvenilirliği, sistemdeki her bir bileşenin güvenilirliğinin çarpılmasıyla hesaplanır. Bir seri sistemin güvenilirlik eşitliği aşağıdaki gibidir (Eş. 3.1):

$$R_sys = R_1 * R_2 * ... * R_n \quad (3.1.)$$

Burada, R_{sys} = Seri sistemin güvenilirliğini ve R_1, R_2, ..., R_n = Seri sistemdeki her bir bileşenin güvenilirliğini ifade eder.

Paralel bir sistemin güvenilirliği, tüm bileşenlerin arızalanma olasılığının 1'den çıkarılmasıyla hesaplanır. Paralel bir sistemin güvenilirlik eşitliği aşağıdaki gibidir (Eş. 3.2.):

$$R_{sys} = 1 - (1 - R_1) * (1 - R_2) * ... * (1 - R_n) \quad (3.2.)$$

Burada: R_{sys} = Paralel sistemin güvenilirliğini ve R_1, R_2, ..., R_n = Paralel sistemdeki her bileşenin güvenilirliğini ifade eder.

Hem seri hem de paralel bileşenlere sahip karmaşık bir sistem için, güvenilirliği hesaplamak amacıyla yukarıdaki eşitliklerin bir kombinasyonu kullanılır.

K'dan n'i yedekliliğe sahip bir sistemin güvenilirliği, n'den k'sının düzgün çalışması durumunda güvenilirliğin mevcut olduğu sistemdir. İngilizce'de *k-out-of-n* olarak ifade edilmektedir. Yedekli sistemleri temsil eder. Yıllar boyunca sistem güvenilirliği teorisinde en uygun çözümü bulmak için çaba sarf edilmiştir.

Coit ve Zio tarafından yapılan çalışma, mühendislik sistemlerinde gelişen zorlukları etkili bir şekilde ele almak için teorik ilerlemeleri pratik düşüncelerle dengelemenin önemini vurgulamaktadır [7].

Coit ve Liu'nun birden fazla yedekli alt sistemine sahip sistemler için artıklık tahsisi problemine yaklaşımı, çeşitli artıklık seçeneklerinin dikkate alınmasını, optimizasyon probleminin sistem düzeyindeki kısıtlamalarla formüle edilmesini, tamsayı programlama yöntemlerinin kullanılmasını ve pratik tasarımın ele alınmasını içerir [8]. Optimum sistem güvenilirliğini elde etmek için dikkat edilmesi gereken noktaları işaret etmektedir.

Nath ve Muhuri'nin yeni evrimsel çözüm yaklaşımı, güvenilirlik artıklık tahsisi sorunlarını ele almak için sistematik ve etkili bir yöntem sunarak, aynı anda birden fazla hedef ve önceliği dikkate alırken sistem güvenilirliğini optimize etmek için değerli bir araç sağlar [9].

Wang ve diğerleri, k out n sistemleri için etkili bir yol sağladı [10]. Bu sistemin petrol boru hatları, uzay aracı aktarma istasyonları ve toplu numune alma kalite kontrol sistemleri gibi karmaşık mühendislik projelerinde geniş bir uygulama yelpazesi vardır. Sistemin güvenilirliği, bileşenlerin konumları ve bakımı yeniden düzenlenerek ekonomik olarak artırılabilir. Bu sistem tipik olarak aynı işlevi yerine getiren bağımsız ve değiştirilebilir bileşenlerden oluşur. Bu nedenle Lin/Con/k/n: F sistemi, bileşen konumlarının yeniden düzenlenmesi ve bakımına yönelik birleştirilmiş bir yaklaşım kullanarak güvenilirliğin ekonomik olarak iyileştirilmesine olanak tanır.

Modibbo ve diğerlerinin belgesi, maliyet optimizasyonu ve simülasyon çalışmalarına odaklanarak maksimum olabilirlik tahmin edicileri ve tekdüze minimum varyanslı tarafsız tahmin edicileri kullanarak bir seri-paralel sistemde sistem güvenilirliğinin tahminini ve optimal bileşen tahsisini tartışmaktadır [11].

Güvenilirlik ve çözümleri ile ilgili Science Direct'te bir milyondan fazla makalenin yayınlandığı görülmektedir. Bu rakam, güvenilirlik konusunun çok dikkate değer olduğunu ve çözüm yöntemlerinin de sürekli geliştirildiğinin göstergesidir.

4. PROJE YÖNETİMİNDE GÜVENİLİRLİK ÇALIŞMALARI

Güvenilirlik teorisi çerçevesinde proje planlama, proje hedeflerine ulaşılmasını sağlamak için sistemlerin veya süreçlerin güvenilirliğinin değerlendirilmesini ve yönetilmesini içerir. Bu yaklaşım, bir projenin çeşitli bileşenlerinin veya unsurlarının güvenilirliğinin genel başarı ve verimlilik üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğini kabul etmektedir. Proje yöneticileri, güvenilirlik teorisini proje planlamasına dahil ederek, proje yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkabilecek potansiyel riskleri ve belirsizlikleri belirleyebilir. Daha sonra bu riskleri azaltmak ve proje sonuçlarının güvenilirliğini sağlamak için stratejiler ve acil durum planları geliştirebilirler. Bu yaklaşım aynı zamanda değişkenliği analiz etmek ve kontrol etmek için istatistiksel yöntemlerin kullanılmasını, kültürel faktörlerin proje konseptini ve uygulamasını nasıl etkileyebileceğini dikkate almayı da içerir. Genel olarak, güvenilirlik teorisi kapsamındaki proje planlaması, başarılı proje sonuçlarına ulaşmak için kapsamlı ön planlamanın, gerçekçi beklentilerin ve etkili risk yönetiminin önemini vurgular. Ek olarak, İrfan'ın belirttiği gibi yüksek riskli proje durumlarında planlamaya öncelik verilmesi ve planların onaylanması sürecine proje yönlendirme komitelerinin daha fazla dahil edilmesi, proje yöneticilerinin planlama ihtiyacını desteklemektedir [12]. Ayrıca, güvenilirlik teorisi kapsamındaki proje planlaması, doğru ve ayrıntılı temel planların, kapsam planlamasının ve risk planlamasının gerekliliğini vurgular.

Planlama, belirli hedeflere ulaşmak için kaynakların organize edilmesini ve koordine edilmesini içeren proje yönetiminin önemli bir yönüdür. Bu nedenle, proje yöneticilerinin bir projenin planlama aşamasında yeterli zamana ve kaynaklara öncelik vermesi gerekir; çünkü bu, projenin başarılı bir şekilde yürütülmesi ve teslimi için sağlam bir temel sağlayacaktır. Ayrıca etkili proje planlaması, gerekli işin anlaşılmasını, olumsuz durumların belirlenmesini, karar vermede çevikliği, bütçe yönetimini, kaynak tahsisinin optimizasyonunu, standartlaştırılmış süreçleri ve ilerlemenin izlenmesi için de bir referans noktası sağlar. Sonuç olarak, proje planlaması başarılı proje yönetiminin önemli bir bileşenidir.

Proje planlayıcıları, güvenilirlik teorisini proje planlama sürecine dahil ederek daha bilinçli kararlar alabilir ve kaynakları etkili bir şekilde tahsis edebilir. Bu yaklaşım, proje planlayıcılarının çeşitli proje bileşenlerinin veya sistem konfigürasyonlarının güvenilirliğini değerlendirmesine ve tasarım, bakım ve işletme stratejileri hakkında bilinçli kararlar

almasına olanak tanır. Ayrıca güvenilirlik teorisi, projelerin dinamik doğasını ve zaman içinde güvenilirliği etkileyebilecek çeşitli faktörleri dikkate almak için bir çerçeve sağlar.

Proje planlama/yönetiminde güvenilirlik kavramı üzerine çalışmalar yapılmış olsa da projelerde güvenilirliğin optimizasyonu konusunda çok az çalışma yapılmıştır. Tao ve Tam Levenberg-Marquardt artı Evrensel Küresel Optimizasyon yöntemlerine dayalı bir güvenilirlik modeli kullanarak sistem güvenilirliğini optimize ederek maliyet yönetimi ve iyileştirme için kritik bileşenleri optimize ederek proje performans kalitesini iyileştirmeyi amaçlayan bir model geliştirmiştir [13-14].

Sistem güvenilirliği modellerinde karşılaşılan yedekli sistemlerinin güvenilirliğini hesaplamak için kullanılan cebirsel yöntemleri inceleyen ilk çalışmayı Saenz-de-Cabezon ve Wynn gerçekleştirmiştir [15]. Yedekli sistemlerinin güvenilirliği için tam duyarlıklı tanımların, limitlerin ve asimptotik formüllerin elde edilmesinde cebirsel yaklaşımın etkinliğini gösteren bir çalışmadır. Bu yöntem, tüm sistemin güvenilirliğine ilişkin olarak sistemin yapısını, bileşenlerini veya altta yatan arıza dağılımını varsayar. Tüm sistemin başarısına ilişkin bir sonuca varılır. Bu belgedeki bulgular, kritik uygulamalar için güvenilirlik analizinde cebirsel yöntemlerin geniş çapta uygulanabilirliğini ve etkinliğini göstermektedir. Ayrıca Lin ve diğerleri, proje yöneticileri üzerindeki olası etkileri tartışarak, stokastik bir proje ağı için proje güvenilirlik aralıklarının türetilmesi için bir prosedür geliştirdi [16].

Huang ve diğerleri proje güvenilirliğini elde etmek için ayrıştırma yaklaşımını içeren bir yaklaşım önermektedir [17]. Bu yaklaşım, çoklu durum proje ağındaki tüm üst ve alt sınır noktalarından uygun proje durum vektörlerinin basitleştirilmiş alt kümelerini elde etmek için geliştirilmiştir. Her alt küme, bir üst sınır noktası ve tüm alt sınır noktalarıyla oluşturulur. Daha sonra, üst sınır noktası ile alt kümedeki tüm alt sınır noktaları arasındaki ilişkiler, hesaplama verimliliği için alt sınır noktalarının sayısını azaltacak şekilde formüle edilir. Ayrıca bu alt kümelere dayalı olarak proje güvenilirliğini hesaplamak için "⊗" adı verilen özel bir "minimum" operatörü geliştirilmiştir. Bu ayrıştırma yaklaşımı ve önerilen algoritma, proje güvenilirliğinin doğru bir şekilde değerlendirilmesini amaçlamaktadır.

Proje yönetiminde güvenilirlik optimizasyonu konusunda az sayıda çalışma bulunurken son yıllarda bu alanda çalışma sayısı artmıştır.

Bu yapı aynı zamanda projedeki görevlerin maliyet oluşumunu da temsil eder. Proje sistemi çok bileşenli bir sistemdir. Çok bileşenli bir sistemin güvenilirliği, sistemi oluşturan unsurların güvenilirliğine bağlıdır. Bu bağlamda, proje takvimine dahil edilen faaliyetler, tüm sistemin kümülatif maliyetinin hesaplandığı çok unsurlu bir güvenilirlik sistemine karşılık gelir.

Proje planları, belirli bir güven aralığı, zaman ve maliyet içinde maksimum güvenilirlikle tamamlanabilir. Proje planlarında maksimum güvenirliğe ulaşabilmenin çözümü için güvenilirlik yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir. Bu bakış açısıyla, proje güvenilirlik programı, projedeki tüm riskleri içeren ve projenin optimizasyon ihtiyaçlarına göre formüle edilen yedekli sistemlerine dayanmaktadır.

5. GÜVENİLİRLİK MODELLERİ OPTİMİZASYONU

Proje güvenilirliği optimizasyonu, kurumsal güvenilirliği, müşteri memnuniyetini ve genel proje sonuçlarını geliştirmeyi amaçlayan başarılı proje yönetiminin kritik bir yönüdür. Proje başarısızlıklarıyla ilişkili riskleri ve maliyetleri azaltarak, proje güvenilirliği optimizasyonu yalnızca teslimatların müşteri beklentilerini karşılamasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda müşterileri çekmeye ve elde tutmaya da yardımcı olur. Bir kuruluşun güvenilirliği ve itibarı, projelerin başarılı bir şekilde yürütülmesinde hayati bir rol oynar; güvenilir projeler bu temel hususları desteklemek için bir temel taşı görevi görür. Ayrıca güvenilir projeler, gecikmeler, yeniden çalışma ve bütçe aşımları gibi proje başarısızlıklarıyla ilgili risklerin ve maliyetlerin en aza indirilmesine katkıda bulunur ve sonuçta proje sonuçlarının iyileştirilmesine ve paydaş memnuniyetine yol açar.

Proje güvenilirliğinin önemi, tamsayı programlama gibi optimizasyon stratejileri yoluyla elde edilen proje güvenilirliğindeki önemli artışın kanıtladığı gibi, müşteri memnuniyeti ve proje hedeflerinin genel başarısı üzerindeki önemli etkisi ile daha da vurgulanmaktadır. Güvenilirlik teorisinin proje planlamasına entegre edilmesi, proje bileşenlerinin kapsamlı bir değerlendirmesine olanak tanıyarak tasarım, bakım ve operasyonel kararlara yardımcı olarak projenin belirli zaman çizelgeleri, bütçeler ve kalite standartları dahilinde başarısını garanti altına alır. Sonuçta, ayrıntılı proje planlamasına, risk yönetimine ve güvenilirlik teorisi kapsamında alternatif faaliyetlerin uygulanmasına öncelik vermek, projenin güvenilirliğini ve başarı oranlarını önemli ölçüde artırabilir.

Sonuçta, proje başarısızlıklarıyla bağlantılı risklerin ve maliyetlerin azaltılmasını vurgulayan proje güvenilirliği optimizasyonu, yalnızca proje çıktılarının müşteri beklentileriyle uyumlu olmasını sağlamak için değil, aynı zamanda müşteri memnuniyetini ve müşteriyi elde tutmayı teşvik etmek için de önemli bir mekanizma olarak ortaya çıkıyor.

Güvenilirlik analizi için doğrusal olmayan 0-1 tamsayılı bir optimizasyon modeli formüle edilmiştir. Bunun sebebi, "Doğrusal olmayan 0-1 tamsayılı optimizasyon" yönteminin, çeşitli endüstrilerdeki proje yöneticilerinin, gerçek dünya problemleri karşısında kolayca kullanabileceği hızlı ve pratik bir yaklaşım olarak kullanılabilmesidir.

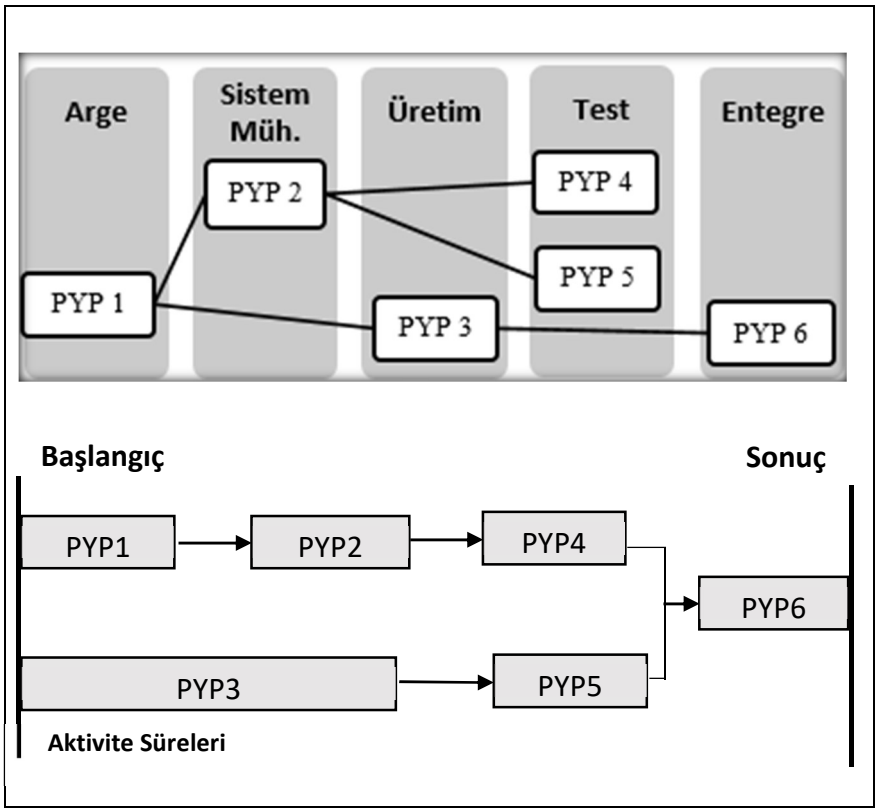
Daha sonra detaylı olarak açıklanacak model karar değişkeninin doğrusallığı, kısıtlamaların doğrusal olduğu 0-1 çoklu tamsayılı programlama başlığı altında yer alabilir. Literatür bu açıdan incelendiğinde, Balas'ın çözüm yöntemlerinin öne çıktığı görülmektedir [18-19]. 1970'lerde, Hansen Taha ve Misra tarafından yöntemler geliştirilmiştir [20-22]. Daha hızlı çözüm yöntemleri 2000'lerden sonra ortaya çıkmıştır.

6. PROJE GÜVENİLİRLİK PROGRAMI

6.1. Proje Yapısı Unsurları ve Belirsizlikler

Proje yönetimi perspektifinden bakıldığında, öncül ve ardıl ilişkili olaylar içindeki faaliyetlere "proje faaliyetleri" denir. Bir projede, belirli kategoriler altında gruplanan hiyerarşik yapılar, İş Kırılım Yapısı (WBS) olarak adlandırılır (Şekil 6.1).

Proje'de yapılacak işler süre ile birlikte ifade edildiğinde bu faaliyetlere, aktivite denilir. Aktiviteler yapılacak işin takvim ve maliyet olarak tanımlanmasında kullanılır (Şekil 6.1). Her bir aktivite, proje yapı planı öğesidir (PYP).



Şekil 6.1. Proje zamanlaması ve tanımlı aktivite süreleri ile iş kırılımı yapısı

6.1.1. Aktiviteler ve belirsizlikler

Etkinlik süreleri, her bir etkinliğin ne kadar sürede tamamlanacağına ilişkin bilgileri içerir. Bu süre bilgisi bilinçli veya rastgele olabilir. Proje alt unsurlarındaki belirsizliklerin varlığı, hem zaman bilgisinde hem de ilgili maliyetlerde farklılıklara neden olacaktır. Örneğin tek

kişiyle 20 saatte tamamlanabilecek bir iş, eğer kişi herhangi bir sorunla karşılaşırsa 50 saat sürebilir. Proje faaliyetlerinde ortaya çıkabilecek belirsizlik türlerini anlamak, güvenilir proje planlarının hesaplanması açısından çok önemlidir. Bir projede kullanılan tüm kaynaklar maliyetine katkıda bulunur. Maliyet sonuçları risk faktörlerinin bir sonucu olarak değişiklik gösterir. Bu nedenle, proje uygulama başlamadan önce proje planlama aşamasında proje alt unsurlarıyla ilgili risklerin ve belirsizliklerin belirlenmesi önemlidir.

6.1.2. Aktivitelerde gözlemlenen belirsizlik türleri

Yapamayacağımız şeyler hakkında emin olmadığımızda belirsizlik ortaya çıkar. Bunun nedeni yeterli bilgi eksikliğidir. Dubois ve Guyonne'a göre projelerde risk yaratan belirsizlik türleri iki yönlüdür [23]:

- Rastgele (stokastik, A Tipi) belirsizlikler doğası gereği rastgeledir ve tahmin edilemez.
- Epistemik (öznel, B Tipi) belirsizlikler bilinçlidir ve öngörülebilirdir.

Bir şey hakkında belirsiz veya ölçülemeyen olasılıklar olduğunda belirsizlik vardır. Ancak olasılık dağılım fonksiyonlarıyla bir belirsizlik aralığı tanımlanabilir. Belirsizlikler nedeniyle risk yaratabilecek proje konularına örnek olarak proje performansı, proje teslim tarihi, proje maliyeti, yeni teknoloji/ürün geliştirme ve diğerleri verilebilir.

6.1.3. Aktivitelerdeki belirsizlik türlerine göre maliyet oluşumları

Proje faaliyetlerinde belirsizlik faktörlerinin projeye dahil edilmesi, proje programının deterministik bir modelden stokastik bir modele dönüşmesine yol açmaktadır. Projenin toplam maliyeti, projenin alt unsurlarının belirlenen veya stokastik maliyet oluşumlarının toplamıdır. Maliyet oluşumları, faaliyetlerin zaman/kalite gibi kısıtlamalarıyla bağlantılı olarak ortaya çıkar. Aşağıdaki paragraflarda, faaliyet türünün belirsizlik yapısına göre her bir alt proje faaliyeti için maliyet oluşumlarının nasıl hesaplandığı açıklanmaktadır.

<u>Ortak zaman ve maliyet olasılığı dağılımlarıyla maliyet oluşumu</u>

Ortak zaman ve maliyet olasılığı kavramı, proje yönetimi alanında çok önemli bir rol oynar ve bir projeyi belirli bir zaman çerçevesi ve bütçe dahilinde tamamlama olasılığını aynı anda dikkate alan karmaşık bir yaklaşım olarak hizmet eder.

Ortak olasılık, zaman ve maliyet değişkenleri arasındaki karşılıklı bağımlılığı yakalayan bütünsel bir görünüm sunarak geleneksel maliyet veya zaman tahmin tekniklerinden önemli ölçüde sapmaktadır. PERT (Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği) diyagramları ve Kritik Yol Yöntemi (CPM) gibi geleneksel yöntemler, öncelikle proje programlarını veya bütçeleri ayrı ayrı optimize etmeye odaklanır. Ancak bu geleneksel yaklaşımlar, özellikle karmaşık veya dinamik ortamlarda, projelerin doğasında olan belirsizlikleri ve riskleri gözden kaçırabilir. Öte yandan ortak olasılık, zaman ve maliyet kısıtlamalarının proje başarısı üzerindeki eşzamanlı etkisini tanıyan daha incelikli bir analiz kullanır. Bayes Kuralı gibi formüller ve istatistiksel modeller kullanılarak ortak olasılık tahmini, proje sonuçlarının daha doğru ve gerçekçi bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanır. Bu metodolojik değişim, proje yöneticilerinin potansiyel zorlukları daha iyi tahmin etmelerine ve hem zaman açısından verimli hem de uygun maliyetli stratejiler geliştirmelerine olanak tanır.

Risk değerlendirmesi bağlamında ortak olasılığın uygulanması, proje hedeflerini tehlikeye atabilecek potansiyel risklerin tanımlanması, analiz edilmesi ve azaltılması için sağlam bir çerçeve sağlar. Geleneksel risk yönetimi süreci genellikle zaman ve maliyetle ilgili riskleri ayrı ayrı inceler ve potansiyel olarak bu faktörlerin etkileşime girdiği karmaşık yolları gözden kaçırır. Proje yöneticileri, ortak olasılığı kullanarak çeşitli risk senaryolarının olasılığı ve bunların projenin genel başarısı üzerindeki birleşik etkisi hakkında fikir sahibi olabilir. Risk değerlendirmesine yönelik bu kapsamlı yaklaşım, daha etkili risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanıyarak projelerin belirsizliklerle başa çıkmak için daha iyi donanıma sahip olmasını sağlar. Dahası, ortak olasılığı risk yönetimi uygulamalarına entegre ederek kuruluşlar, öngörülemeyen zorluklara karşı dayanıklılıklarını artırabilir, hem zaman çizelgelerini hem de bütçeleri olumsuz sonuçlara karşı koruyabilirler.

Proje yönetiminde olasılığın temelleri

Olasılık ve istatistiğin temel kavramlarını anlamak, proje yönetiminde çok önemlidir, çünkü bu disiplinler belirsizlik altında bilinçli kararlar almanın temelini oluşturur. Olasılık, bir olayın meydana gelme ihtimalidir ve istatistik, verileri toplamamızı, analiz etmemizi, yorumlamamızı, sunmamızı ve organize etmemizi sağlayan bilimdir. Bu anlayış birkaç nedenden dolayı önemlidir:

- Proje yöneticilerinin çeşitli sonuçların olasılığını değerlendirmesine ve daha iyi kararlar almasına yardımcı olur.
- Projelerin planlanması, yürütülmesi ve kontrolünde niceliksel yöntemlerin uygulanmasına olanak sağlar.
- Proje faaliyetleriyle ilgili risklerin tanımlanmasını ve analizini kolaylaştırır. Bu kavramlar sadece teorik değildir; doğru uygulandığında projelerin verimliliğini ve başarı oranını önemli ölçüde artırabilen pratik araçlardır.

Proje başarısında doğru olasılık tahmininin önemi göz ardı edilemez. Doğru tahmin, risklerin proje sonucu üzerindeki etkisini belirlediğinden risk yönetiminde önemli bir rol oynar. Örneğin inşaat projelerinde depreme karşı güçlendirme ve onarıma ilişkin risk analizi, projenin hayatta kalması ve başarısı için kritik öneme sahiptir. Ayrıca doğru geliştirilmiş proje süresi tahminlerinin, daha iyi planlama ve kaynak tahsisine olanak sağlayarak proje başarısızlığı riskini azalttığı bilinmektedir. Bu nedenle, olasılıkları doğru bir şekilde tahmin etme yeteneği, projelerin başarılı bir şekilde yönetilmesinde ve tamamlanmasında önemli bir faktördür ve proje yöneticilerinin olasılık ve istatistik konusunda güçlü bir temele sahip olma gerekliliğini vurgulamaktadır.

Kapsamlı proje yönetimi için gerekli olan ortak zaman ve maliyet olasılığının tahmin edilmesinde çeşitli istatistiksel araçlar ve teknikler çok önemlidir. Karmaşık veri setlerini yönetmek ve yorumlamak için temel bileşen regresyon analizi gibi teknikler kullanılır. Ayrıca, ortak olasılık dağılımlarını analiz ederek deflasyon gibi belirli olayların olasılığını tahmin etmek için bilgi teorisi tekniklerinden yararlanılmaktadır. Ek olarak, finansal kurumların kullandığı araçlar olarak türevler, proje kapsamındaki değişikliklerin tahmin edilmesine yardımcı olarak risk yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu teknikler, riskleri azaltmak ve proje başarısını garanti altına almak amacıyla veriye dayalı kararlar almayı amaçlayan proje yöneticileri için çok değerlidir.

Olasılık analizine maliyet/zamanın entegrasyonu

Maliyet ve zaman faktörlerinin proje yönetimine entegre edilmesi kavramı, bu risk faktörlerinin projenin maliyeti, süresi, kapsamı ve kalite yönetimi üzerindeki etkilerinin belirlenmesini içerir. Bu çok yönlü yaklaşım, proje yöneticilerinin potansiyel riskleri tahmin etmesine ve kaynakları daha verimli bir şekilde tahsis etmesine olanak tanıdığından, projenin

hem başlangıç hem de işletme aşamalarında çok önemlidir. Proje yöneticileri, maliyet ve zamanın birbiriyle nasıl etkileşime girdiğini dikkate alarak daha doğru bütçeler ve zaman çizelgeleri geliştirebilir ve sonuçta daha başarılı proje sonuçlarına yol açabilir. Bu faktörlerin entegre edilmesi aynı zamanda projenin bir yönündeki değişikliklerin diğerlerini nasıl etkileyebileceğine dair daha net bir anlayış sağlayarak daha iyi karar alma süreçlerini kolaylaştırmaktadır.

Ortak zaman ve maliyet olasılığı için modelleme

Popüler modelleme tekniklerine genel bir bakış, inşaat projelerinin zaman çizelgesini ve maliyetini değerlendirmek için çeşitli yöntemlerin kullanıldığı farklı bir manzarayı ortaya çıkarır. Bunlar arasında stokastik simülasyon modelleri, bu tür projelerin doğasında var olan rastgelelik ve belirsizliği dahil etme yetenekleri nedeniyle öne çıkmaktadır. Bu uyarlanabilirlik, proje zaman çizelgelerinin ve bütçelerinin doğru tahmin edilmesi ve paydaşların potansiyel sonuçlara ilişkin kapsamlı bir anlayışa sahip olmasını sağlamak için çok önemlidir.

Deterministik ve olasılıksal modellerin karşılaştırmalı analizi, proje yönetiminde belirsizlik ve karmaşıklığın üstesinden gelme biçimleri arasındaki önemli farklılıkları ortaya koymaktadır. Çoğunlukla karmaşık yapılarıyla karakterize edilen deterministik modeller, tüm değişkenlerin bilindiği ve sabit olduğu varsayımıyla çalışır; böylece bu parametrelere dayalı olarak tek bir sonuç üretirler. Öte yandan olasılıksal modeller, tek bir sabit sonuç yerine bir dizi olası sonuç üretmek için rastgele değişkenler kullanarak proje parametrelerindeki doğal belirsizlikleri kucaklar. Bu temel fark, belirsizliğin önemli bir faktör olduğu projeler için daha uygun olan ve potansiyel proje gidişatına ilişkin daha incelikli bir anlayış sunan olasılıksal modellerin dinamik doğasını vurgulamaktadır.

Simülasyon, çeşitli avantajları nedeniyle ortak zaman ve maliyet olasılıklarını analiz etmek için güçlü bir teknik olarak öne çıkmaktadır:

- Belirsizliğin dahil edilmesi: Simülasyon, proje parametrelerindeki belirsizliğin modellenmesine olanak tanır ve gerçek dünyadaki karmaşıklıkların daha doğru bir yansımasını sağlamaktadır

- Senaryo analizinde esneklik: Çeşitli senaryoların incelenmesine olanak tanıyarak, proje yöneticilerinin farklı kararların etkilerini, bunlar alınmadan önce değerlendirmesine olanak tanımaktadır
- Kaynak optimizasyonu: Farklı proje yollarını simüle ederek, kaynak açısından en verimli stratejilerin belirlenmesine yardımcı olur ve potansiyel olarak zamandan ve paradan tasarruf sağlamaktadır
- Gelişmiş karar verme: Simülasyondan elde edilen bilgiler sayesinde karar vericiler zaman ve maliyet aşımlarıyla ilişkili riskleri daha iyi indirebilmektedirler

Bununla birlikte, simülasyonun hem zaman alıcı hem de kaynak yoğun olduğunu, proje planlamasında uygulanmasının dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektirdiğini belirtmek önemlidir.

Bu zorluklara rağmen, simülasyonu ortak zaman ve maliyet olasılık analizi için kullanmanın faydaları büyüktür ve bu da onu proje yönetimi tekniklerinin cephaneliğinde paha biçilmez bir araç haline getirir.

Ortak olasılıkta Monte Carlo simülasyonu

Monte Carlo Simülasyonu, özellikle değişkenlerin öngörülemezliğiyle uğraşırken, proje yönetiminin karmaşıklıklarını anlamada önemli bir modeli temsil eder. Bu hesaplamalı teknik, rastgele değişkenler söz konusu olduğunda çeşitli sonuçların olasılığını tahmin etmek için tasarlanmıştır ve stratejik planlama ve risk değerlendirmesinde benzersiz bir avantaj sunmaktadır. Çok yönlülüğü, analistlerin rastgele değişkenlerin davranışlarının dikkate alınması gereken karmaşık sorunları ele almasına olanak tanır ve daha bilinçli karar alma süreçleri için sağlam bir temel oluşturur. Monte Carlo Simülasyonu, binlerce, hatta milyonlarca denemeyi simüle ederek, belirli proje aşamalarına ulaşma veya bütçe kısıtlamaları dahilinde kalma olasılığını tahmin etmek için analiz edilebilecek olası sonuçlardan oluşan geniş bir veri kümesi oluşturur.

Monte Carlo Simülasyonunun ortak zaman ve maliyet analizinde uygulanması, proje riskleri ve belirsizliklerine ilişkin kapsamlı bir görünüm sağlama yeteneği nedeniyle özellikle dikkat çekicidir. Bu teknik, belirli olayların meydana gelme olasılığını tahmin eder ve böylece proje yöneticilerinin zaman ve maliyet aşımlarının projeleri üzerindeki potansiyel etkilerini

değerlendirmesine olanak tanır. Simülasyon bunu, hem zaman hem de maliyet değişkenlerinin olasılıksal bir modelini oluşturarak, bu iki kritik faktörün nasıl etkileşime girdiğine ve bir projenin genel başarısını nasıl etkilediğine dair bilgiler sunarak yapar. Analistler bu içgörüleri potansiyel risk alanlarını belirlemek ve bu riskleri azaltmak için stratejiler geliştirmek, projelerin zamanında ve bütçe dahilinde tamamlanmasını sağlamak için kullanabilir.

Proje yönetimi için Monte Carlo Simülasyonu yürütmek, her biri doğru ve faydalı sonuçlara ulaşmak için kritik olan birkaç temel adımı içerir. Başlangıçta bir proje yöneticisi, özellikle belirsizliğe tabi olan zaman ve maliyetle ilgili tüm ilgili değişkenleri tanımlayarak sorunu tanımlar. Bunu takiben, olasılık dağılımlarına dayalı olarak bu değişkenlerin değerlerini geniş bir olası sonuç yelpazesinde simüle etmek için bir rastgele sayı üreteci kullanılır. Her simülasyon çalışması veya yineleme, tüm çalıştırmaların toplu sonuçlarının olası proje sonuçlarının istatistiksel bir dağılımını sağladığı potansiyel bir proje senaryosu oluşturur. Bu dağıtım, proje yöneticilerinin farklı senaryoların olasılığını değerlendirmesine olanak tanır ve böylece daha etkili planlama, bütçeleme ve risk yönetimi kararlarını kolaylaştırır.

Ortak olasılık analizi yoluyla risk yönetimi

Ortak olasılık kavramlarını kullanarak riskleri belirlemek, başta zaman ve maliyet olmak üzere çeşitli proje değişkenleri arasındaki etkileşimin anlaşılmasına dayanan karmaşık bir yaklaşımdır. Risk yönetiminde ortak olasılığın uygulanması, proje yöneticilerinin birden fazla riskin aynı anda ortaya çıkma olasılığını ve bunların proje sonuçları üzerindeki potansiyel etkisini değerlendirmesine olanak tanır. Örneğin, ortak olasılık analizinden yararlanarak proje yöneticileri, herhangi bir azaltma stratejisini uygulamadan önce performans riski olasılık dağılımını modelleyebilir. Bu öngörme yeteneği, proje zaman çizelgelerini bozabilecek ve maliyetleri artırabilecek risklerin belirlenmesinde ve böylece proaktif risk yönetiminin kolaylaştırılmasında çok önemlidir. Bu sürecin temel yönleri şunları içerir:

- Ortak olasılık dağılımlarını oluşturmak için geçmiş verileri ve performans ölçümlerini kullanmak.
- Zaman gecikmeleri ve maliyet aşımları olasılığının kesiştiği alanları belirlemek için bu dağılımları analiz etmek.

- Risklerin ortak olasılıklarına ve proje üzerindeki potansiyel etkilerine göre önceliklendirilmesi.

Bu metodoloji, proje güvenlik açıklarına daha ayrıntılı bir bakış sunarak geleneksel risk değerlendirmesinin ötesine geçerek proje ekiplerinin, aksi durumda gözden kaçabilecek karmaşık risk senaryolarını öngörmesine ve bunlara hazırlık yapmasına olanak tanır.

Proje yöneticileri, ortak olasılık analizini risk yönetimi çerçevelerine entegre ederek yalnızca potansiyel zorlukları öngörmekle kalmaz, aynı zamanda daha etkili hafifletme stratejileri tasarlayıp uygulayabilir. Risk yönetimine ilişkin bu proaktif duruş, yalnızca proje sonuçlarını korumakla kalmaz, aynı zamanda kaynakların ve zamanın optimizasyonuna da katkıda bulunarak sonuçta proje başarısını artırır.

Ortak zaman ve maliyet olasılığına ilişkin örnekler

Ortak zaman ve maliyet olasılığını birleştiren başarılı proje yönetiminin dikkate değer bir örneği, kapsamlı risk analizinin çok önemli olduğu büyük ölçekli mühendislik projelerinde görülür. Bu senaryolarda proje yöneticileri risk analizi için sıklıkla Pertmaster gibi gelişmiş yazılım araçlarını kullanır. Pertmaster'ın kullanımı sayesinde yöneticiler, hem potansiyel zaman gecikmelerini hem de maliyet aşımlarını göz önünde bulunduran ayrıntılı risk değerlendirmeleri gerçekleştirerek daha doğru proje zaman çizelgeleri ve bütçeleri geliştirmelerine olanak tanır. Zaman ve maliyet olasılıklarına bu ikili odaklanma, yalnızca proje planlama sürecinin hassasiyetini arttırmakla kalmaz, aynı zamanda tüm olası risklerin hesaba katılmasını ve azaltılmasını sağlayarak proje başarısı olasılığını da artırır. Bu yaklaşım, bir projenin özellikle zaman çerçevesi ve mali yönleriyle ilgili olarak planlanan sonuçlarına ulaşmada etkin risk yönetiminin kritik rolünü göstermektedir.

Ancak ortak zaman ve maliyet olasılıklarıyla ilgili riskleri hafife alan projeler değerli dersler sağlar. Örneğin inşaat sektöründe, hava durumuyla ilgili gecikmelerin doğru şekilde tahmin edilememesi, önemli maliyet aşımlarına ve proje sürelerinin uzamasına neden olabilir. Farklı iklim bölgelerindeki hava koşullarından kaynaklanan zaman ve maliyet etkilerinin ortak olasılığını yeterince dikkate almamak, projeler beklenmedik zorluklarla karşı karşıya kalabilir. Bu gözetim, proje yönetiminde çevresel faktörlerden kaynaklananlar gibi tüm potansiyel risklerin değerlendirilmesini içermesi gereken kapsamlı risk analizinin önemini

vurgulamaktadır. Bu deneyimlerden öğrenerek, risklerin hem zaman hem de maliyet etkilerini sistematik olarak değerlendiren entegre bir risk yönetimi yaklaşımının, gelecekteki projelerde benzer tuzaklardan kaçınmak için çok önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Proje yönetiminde ortak olasılığın uygulanması, benzersiz risk profilleri ve proje gereksinimleri nedeniyle farklı endüstriler arasında önemli ölçüde farklılık gösterir. Örneğin, tarım sektöründe projeler, mevsimsel hava koşulları ve piyasa fiyatı dalgalanmaları gibi faktörleri dikkate alarak bitkisel üretim zaman çizelgeleri ve maliyetlerle ilgili riskleri yönetmek için ortak olasılık tekniklerinden yararlanabilir. Bunun tersine, teknoloji sektöründe proje yöneticileri, öngörülemeyen teknik sorunlar veya proje kapsamındaki değişiklikler gibi riskleri göz önünde bulundurarak yazılım geliştirme zaman çizelgeleri ve bütçe kısıtlamalarının ortak olasılığına odaklanabilir. Bu örnekler, çeşitli endüstrilerde bilinçli karar almayı ve risk yönetimini kolaylaştırmada ortak olasılık analizinin çok yönlülüğünün ve öneminin altını çizmektedir. Proje yöneticileri, risk analizi yöntemlerini sektörlerinin özel ihtiyaçlarına ve zorluklarına göre uyarlayarak, zaman ve maliyet konusundaki ikili belirsizlikleri daha etkili bir şekilde yönetebilir, böylece proje sonuçlarını ve paydaş memnuniyetini artırabilir.

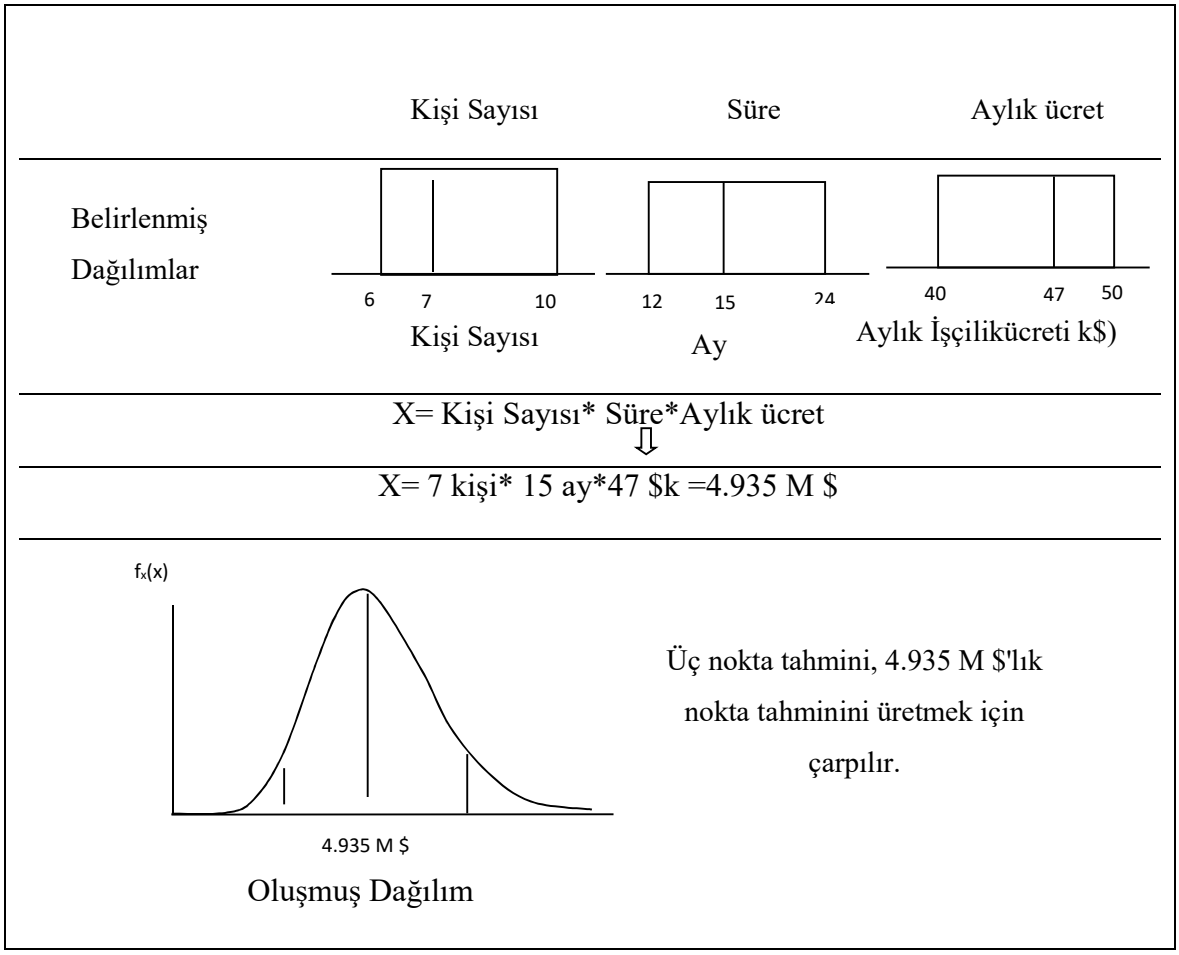
Belirsizliği olan bir proje yapı elemanı için olası maliyet oluşum aralığı belirlenir ve ilgili proje yapı elemanının olasılık dağılım fonksiyonu merkezi limit teoremi kullanılarak bulunur. Garvey faaliyet maliyetlerinin koşullu kesişimlerine ilişkin birçok örnek oluşturmuştur [24].

Şekil 6.2, her bir faaliyet maliyeti için olasılık dağılım modellerini ve koşullu kesişimleri göstermektedir.

Havacılık ve uzay görevlerinde ortak olasılığa giriş, NASA örneği

Ortak olasılığın temellerini anlamak, iki veya daha fazla rastgele değişkenin belirli bir bağlamda nasıl etkileşime girdiğini anlamayı içerir. Ortak olasılık, temel olarak iki olayın aynı anda meydana gelme olasılığıdır. Örneğin, havacılık misyonları alanında bu değişkenler, teknoloji performansı, hava koşulları veya mürettebatın hazırlığı gibi görev açısından kritik çeşitli faktörleri temsil edebilir. Böylece ortak olasılık kütle fonksiyonu, bu rastgele değişkenlerin her bir çiftinin belirli bir değer kümesini alma olasılığını ölçen önemli

bir araç haline gelir. Havacılık ve uzay projelerinde daha karmaşık risk analizini ve karar verme süreçlerini destekleyen temel bir kavramdır.



Şekil 6.2. Olasılık dağılım modelleri ve faaliyet maliyetlerinin koşullu kesişimleri

NASA misyonları bağlamında, uzay araştırma çabalarının güvenliğini ve başarısını sağlamak için risklerin değerlendirilmesinde ortak olasılık titizlikle uygulanır[25]. Uzay görevlerinin karmaşıklığı ve yüksek riskli doğası göz önüne alındığında NASA, Ortak Maliyet Çizelgesi Güven Düzeyi Analizi (JCL)[26] dahil olmak üzere gelişmiş risk değerlendirme metodolojilerini kullanır. Bu teknik, görevler için kapsamlı bir risk profili geliştirmek amacıyla maliyet belirsizliklerini ve zamanlama risklerini birleştirir. NASA, ortak olasılık uygulayarak çok çeşitli potansiyel sonuçları ve bunlarla ilişkili olasılıkları simüle edebilir. Bu yaklaşım, genel görev risklerini tahmin etmek için rastgele maliyet, program ve risk değerleri üreten bir yöntem olan Monte Carlo simülasyonlarının kullanılmasıyla daha da geliştirilmiştir [27]. Bu tür ayrıntılı risk değerlendirmesi, güvenli ve

başarılı görevlerin planlanması için çok önemlidir ve NASA'nın potansiyel tehlikeleri gerçekleşmeden önce azaltmasına olanak tanır.

Karar vermede, özellikle NASA'da ortak olasılık maliyet fonksiyonunun önemi göz ardı edilemez. Bu işlev, farklı risk senaryoları altında olası maliyet aralığını gösteren güvenilir bir proje maliyet kümülatif dağıtım fonksiyonunun (CDF) veya "S-eğrisi"nin geliştirilmesinde çok önemlidir[28]. Ortak olasılık maliyet işlevi, karar vericilerin çeşitli risk faktörlerinin mali sonuçlarını ve bunların genel görev bütçesini etkilemek için nasıl etkileşimde bulunduğunu anlamalarına olanak tanır. NASA, bu belirsizlikleri ölçerek kaynak tahsisi, proje planlaması ve risk azaltma stratejileri konusunda bilinçli kararlar alabilir. Temel olarak, ortak olasılık maliyet işlevi, karmaşık risk analizi ile pratik karar alma arasında bir köprü görevi görerek NASA'nın, potansiyel maliyetler ve riskleri net bir şekilde anlayarak iddialı havacılık görevlerini sürdürmesine olanak tanır.

Uzay araştırmalarında ortak olasılığın tarihsel bağlamı

NASA'daki risk değerlendirme modellerinin gelişimi, daha karmaşık ve güvenilir tahmin yöntemlerine doğru önemli bir değişime işaret ediyor. Başlangıçta risk değerlendirmeleri daha doğrusal ve daha az bütünleşikti; projenin bütünü yerine bireysel bileşenlere odaklanıyordu. Ancak Ortak Maliyet Çizelgesi Güven Düzeyi Analizi'nin (JCL) benimsenmesi, NASA'nın proje belirsizliklerine yaklaşımında önemli bir dönüşüme işaret etti. JCL yalnızca maliyet belirsizliklerini dahil etmekle kalmaz, aynı zamanda bunları program riskiyle de bütünleştirerek potansiyel proje sonuçlarına ilişkin daha bütünsel bir görünüm sunar [26]. Bu kapsamlı yaklaşım, proje maliyetlerinin ve zaman çizelgelerinin daha doğru tahmin edilmesine olanak tanıyarak NASA'nın potansiyel risklere daha iyi hazırlanabilmesini ve azaltılabilmesini sağlar. JCL'nin geliştirilmesi ve uygulanması, NASA'nın gelişmiş risk değerlendirme modelleri aracılığıyla misyonlarının güvenilirliğini ve başarısını artırma konusundaki kararlılığını ifade eder.

Birçok önemli görev, ortak olasılık analizinin faydalarından yararlandı ve uzay araştırmalarındaki kritik rolünü ortaya koydu. NASA, Ortak Maliyet ve Program Güven Düzeyi (JCL) analizini kullanarak maliyet, program, risk ve belirsizliği tek bir modelde entegre edebildi ve her görevin potansiyel sonuçlarına ilişkin daha incelikli bir anlayış sağladı [26]. Bu entegre yaklaşımın, maliyet ve zaman aşımlarının yalnızca misyonun

başarısını değil aynı zamanda gelecekteki finansmanı ve kamu desteğini de tehlikeye atabileceği görevler için paha biçilmez olduğu kanıtlanmıştır. JCL'nin uygulanması sayesinde NASA, çeşitli beklenmedik durumları daha doğru bir şekilde tahmin edebildi ve planlayabildi, böylece görevlerin hem uygulanabilir hem de mali açıdan uygun olmasını sağladı. Bu, hata payının az olduğu ve başarısızlığın sonuçlarının önemli olduğu yüksek riskli ve yüksek maliyetli projeler için özellikle önemli olmuştur.

Geçmişteki başarısızlıklardan ders almada ortak olasılığın önemi göz ardı edilemez. Tarihsel görev başarısızlıkları, risk değerlendirmesine yönelik daha entegre ve kapsamlı bir yaklaşımın gerekliliğinin altını çizmiştir. Bu aksiliklerden alınan dersler, Ortak Maliyet Çizelgesi Güven Düzeyi (JCL) analizinin geliştirilmesinde ve iyileştirilmesinde etkili olmuştur. NASA, geçmiş başarısızlıkları ortak olasılık merceğinden inceleyerek, proje risklerinin çok yönlü doğasını tanımlayıp ele alabilmiş ve bu da daha sağlam ve esnek görev planlamasına yol açmıştır [26]. Bu yaklaşım, yalnızca gelecekteki potansiyel başarısızlıkların etkisinin azaltılmasına yardımcı olmakla kalmamış, aynı zamanda paydaşların güveninin oluşturulmasında da önemli bir rol oynamıştır. NASA, geçmişteki hatalardan ders alma ve risk değerlendirme modellerini sürekli iyileştirme konusundaki kararlılığını göstererek, uzay araştırmaları ve inovasyonda lider konumunu güçlendirmiştir.

Ortak olasılık maliyet fonksiyonunun matematiksel temelleri

Ortak olasılık maliyet fonksiyonu, özellikle NASA gibi kuruluşlarda proje risk yönetimi ve karar verme süreçleri bağlamında karmaşık ama önemli bir kavramı temsil eder. Bu fonksiyon özünde iki veya daha fazla olayın aynı anda meydana gelme olasılığı ve ilgili maliyetlerle ilgilenir. Ortak olasılık maliyet fonksiyonunun yalnızca olasılıkları tek başına hesaplamakla ilgili olmadığını anlamak önemlidir; aynı zamanda bu olasılıkların maliyet sonuçlarını da entegre ederek potansiyel sonuçlara ilişkin daha kapsamlı bir görünüm sağlar [27]. Hem olasılığın hem de maliyetin dikkate alınmasındaki bu ikilik, ortak olasılık maliyet fonksiyonunu çeşitli risk senaryolarının finansal sonuçlarını analiz etmek için güçlü bir araç haline getirir.

Koşullu olasılıklar, başka bir olayın zaten meydana geldiği göz önüne alındığında, bir olayın meydana gelme olasılığına ilişkin bilgiler sunarak ortak olasılık analizinde çok önemli bir rol oynar. Bu husus, belirli koşullar altında risk ve maliyet etkilerinin daha incelikli bir

analizine olanak tanıdığından, ortak olasılık maliyet fonksiyonları alanında özellikle önemlidir. Örneğin, NASA tarafından üstlenilen uzay araştırma görevleri bağlamında, koşullu olasılıkların anlaşılması, belirli koşullar altında başarısız olan kritik görev bileşenlerinin maliyet etkisinin değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu daha derin düzeydeki analiz, kaynak tahsisi, risk azaltma stratejileri ve acil durum planlamasıyla ilgili bilinçli kararlar alınması konusunda katkıda bulunmuştur.

Stokastik modellerin ortak olasılık fonksiyonlarıyla entegrasyonu, belirsizliklerin finansal sonuçlarının tahmin edilmesi ve yönetilmesinde önemli bir ilerlemeye işaret etmektedir. Stokastik modeller, doğası gereği, rastgeleliği içerir ve farklı olasılık dağılımlarına dayalı olarak çok çeşitli olası sonuçları simüle edebilir. Bu modeller ortak olasılık fonksiyonlarıyla birleştirildiğinde, çeşitli risk faktörlerinin maliyet etkilerinin modellenmesinde daha dinamik ve esnek bir yaklaşıma olanak sağlamaktadır. Bu entegrasyon, NASA tarafından gerçekleştirilenler gibi karmaşık ve yüksek riskli projelerde özellikle faydalıdır; burada belirsiz koşullar altında maliyetlerin doğru tahmin edilmesi, görev başarısı ile başarısızlık arasındaki fark olabilmektedir.

Ortak olasılığın görev planlamada uygulamaları

Senaryo analizi ve beklenmedik durum planlaması, NASA görevlerinin stratejik planlamasında önemli bileşenlerdir ve belirsizliklerin üstesinden gelmek için ortak olasılığın gücünden yararlanır. Bu yaklaşım, hükümet desteği ve öngörülemeyen zorluklar da dahil olmak üzere potansiyel senaryolara ilişkin çeşitli tahmin ve beklentilerin entegre edilmesini içerir . NASA, ortak olasılık maliyet fonksiyonlarını kullanarak bir dizi olası sonucu simüle edebilir ve bunlara göre hazırlık yapabilir. Analiz, yalnızca her senaryonun olasılığını değil aynı zamanda görevin maliyeti, zaman çizelgesi ve genel fizibilite üzerindeki potansiyel etkisini de hesaba katıyor. Bu yöntem, risklerin daha kapsamlı anlaşılmasına olanak tanır ve etkili acil durum planlarının geliştirilmesini kolaylaştırarak görevlerin çok çeşitli olası geleceklere karşı dayanıklı olmasını da sağlamaktadır.

Görev senaryolarının maliyet-fayda analizi, çeşitli görev senaryolarının uygulanabilirliğini ve mali sonuçlarını değerlendirmek için ortak olasılık maliyet fonksiyonlarının kullanıldığı NASA'nın karar verme sürecinde önemli bir rol oynamaktadır [28]. NASA, güvenilir bir proje maliyeti kümülatif dağıtım işlevi (CDF) oluşturarak, her görev senaryosuyla ilişkili

mali riskleri ölçebilir ve bunları potansiyel faydalara göre tartabilmektedir. Bu olasılıksal değerlendirme şu konularda yardımcı olmaktadır:

- En uygun maliyetli görev senaryolarını belirlemek,
- Finansal belirsizliği ve ilgili riskleri anlamak,
- Maliyeti misyon hedefleri ve potansiyel sonuçlarla dengeleyen bilinçli kararlar vermek.

Amaç, yalnızca doğrudan maliyetleri değil aynı zamanda daha geniş ekonomik etkileri de dikkate alarak kaynakları optimize etmek ve her görev için mümkün olan en yüksek yatırım getirisini sağlamaktır. Bu yaklaşım NASA'nın şunları yapmasına yardımcı olmaktadır:

- Potansiyel emniyet risklerini ortaya çıkmadan önce belirlemek ve azaltmak,
- Görev açısından kritik sistemlerin genel güvenilirliğini artırmak,
- Hem mürettebatlı hem de mürettebatsız görevler için daha yüksek bir güvenlik standardı belirlemek.

NASA, çeşitli başarısızlık türlerinin olasılıklarını ve bunların görev başarısı üzerindeki etkilerini değerlendirerek riskleri en aza indirecek önlemler uygulayabilir, böylece görev güvenliğini ve güvenilirliğini artırabilir.

Güvenlik ve güvenilirliğe yönelik bu olasılıksal yaklaşım, NASA'nın insan hayatını ve değerli ekipmanı korurken görevleri başarılı bir şekilde yürütme konusundaki kararlılığının altını çizmektedir.

Vaka çalışmaları, eylemdeki ortak olasılık

NASA görevlerinde ortak olasılık maliyet fonksiyonlarının uygulanması, karmaşık uzay araştırmalarının başarı oranlarının arttırılmasında çok önemli olmuştur. Dikkate değer bir örnek, Ortak Maliyet ve Program Güven Düzeyi (JCL) analizi yoluyla maliyet, program, risk ve belirsizliğin entegrasyonunun kritik bir rol oynadığı Mars Rover'ın konuşlandırılmasıdır [28]. Bu kapsamlı yaklaşım, çeşitli görev parametreleri için ortak olasılık kütle fonksiyonlarının hesaplanmasını içermekteydi ve ekibin, görevin maliyeti ve programıyla ilişkili potansiyel riskleri doğru bir şekilde tahmin etmesine ve azaltmasına olanak tanıyordu. NASA, bu gelişmiş olasılık modellerinden yararlanarak kaynakların en uygun şekilde tahsis edilmesini sağlayarak görevin başarı şansını önemli ölçüde artırmıştır.

Uzay araştırmalarının doğasında olan belirsizliklerin yönetilmesinde, ortak olasılık maliyet fonksiyonlarının etkinliğinin ve önemi çok değerlidir.

Bunun tersine, görev başarısızlıklarının analizi de ortak olasılık maliyet fonksiyonlarının sağladığı bilgilerden yararlanmıştır. Bunun bir örneği, dağıtım sırasında öngörülemeyen komplikasyonlar nedeniyle bir uydunun talihsiz kaybıdır. Görev sonrası analiz, ortak olasılık maliyet fonksiyonlarının entegrasyonunun, projenin sıkı programı ve bütçe kısıtlamalarıyla ilişkili yüksek riski tahmin edebileceğini ortaya çıkardı [26]. Bu farkındalık, JCL analizi yoluyla kapsamlı risk değerlendirmesi ve yönetiminin önemini vurgulayarak, NASA'nın görevlerin planlanması ve yürütülmesine yaklaşımında önemli bir değişime yol açtı. Bu başarısızlığın ayrıntılı incelemesi, potansiyel başarısızlıkları daha iyi öngörmek ve azaltmak için görev planlamasının erken aşamalarında ortak olasılıkların dahil edilmesine yönelik kritik ihtiyacın altını çizmiştir.

Müşterek olasılığın görev parametrelerinin yeniden tasarlanması üzerindeki etkisi, etkisinin derinden hissedildiği bir diğer alandır. Hem başarılı hem de başarısız görevlerden elde edilen içgörülerin ardından NASA, görev tasarım süreçlerinde değişiklikler uyguladı. Bu, proje yönetimi kılavuzlarına, özellikle Ortak Maliyet ve Program Güven Düzeyi (JCL) analizi ihtiyacını ele alan Ek J'nin eklenmesini içerir [29]. Bu revizyon, gelecekteki görevlerin, kavramsal aşamadan itibaren daha ayrıntılı bir maliyet, program, risk ve belirsizlik analizini içermesini sağlar. Bunu yaparak NASA, kaynak tahsisini optimize ederken görev başarısızlık olasılığını daha da en aza indirmeyi amaçlıyor ve uzay görevi planlama ve yürütmesinin sürekli iyileştirilmesinde ortak olasılık maliyet fonksiyonlarının hayati rolünü ortaya koymaktadır.

Ortak olasılık analizi için yazılım ve araçlar

Ortak olasılık hesaplamalarında kullanılan istatistiksel yazılımların kapsamı hem geniş hem de uzmanlaşmıştır ve bu tür analizlerin içerdiği karmaşıklıklara cevap verir. Bu yazılım araçları, maliyet, zamanlama, risk ve belirsizlik faktörlerinin karmaşık bir entegrasyonunu gerektiren Ortak Maliyet ve Zamanlama Güven Düzeyi (JCL) analizini gerçekleştirmek için vazgeçilmezdir [26]. İstatistik yazılımları arasında bazıları, karmaşık veri kümelerini işleme ve güvenilir ortak olasılık dağılımları oluşturma konusundaki sağlamlıkları nedeniyle yaygın olarak tanınmaktadır. Bu araçlar zorlu hesaplamaları yürütme yeteneğine sahiptir ve böylece

analistlere, belirlenen kısıtlamalar dahilinde proje hedeflerine ulaşma olasılığını değerlendirmek için gereken kritik bilgileri sağlar.

Bu tür yazılımlar genellikle aşağıdaki gibi özellikleri içerir:

- Gelişmiş istatistiksel modelleme yetenekleri
- Risk ve belirsizlik için özelleştirilebilir parametreler
- Olasılıksal tahmin için simülasyon teknikleri

Bu özellikler, kapsamlı JCL analizlerinin yürütülmesi için gereklidir; çünkü maliyet ve zamanlama tahminlerinin iç içe geçmiş dinamiklerinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesine olanak tanır [29].

NASA, göreve özgü ortak olasılık analizleri için özel olarak tasarlanmış özel araçlar geliştirme girişimini üstlendi. Bu ısmarlama araçlar, genellikle benzeri görülmemiş düzeyde karmaşıklık ve belirsizlik içeren uzay görevlerinin benzersiz zorluklarını ve gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanmıştır. Bu tür araçların geliştirilmesi, NASA'nın uzay araştırmalarındaki geniş deneyimi ve maliyet ve program aşımlarıyla ilişkili riskleri titizlikle yönetme ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Bu özel araçlar, NASA'nın görev başarısına ulaşma konusundaki kararlılığının bir kanıtıdır ve olası her sonucun analiz edilmesini ve hazırlanmasını sağlar.

NASA tarafından bu amaç için geliştirilen özel araçlar genellikle aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- Uzay görevi senaryoları için özel algoritmalar
- Görev planlama ve yönetim sistemleriyle entegrasyon
- Benzersiz risk faktörlerini ve belirsizlikleri modellemek için geliştirilmiş yetenekler

Bu özel yaklaşım, NASA'nın daha kesin ve görevle ilgili ortak olasılık değerlendirmeleri yapmasına olanak tanır ve böylece proje tahminlerinin ve karar verme süreçlerinin güvenilirliğini önemli ölçüde artırır [29].

Yapay zeka ve makine öğrenimi teknolojilerinin ortak olasılık değerlendirmelerine entegrasyonu, NASA'nın risk analizine yaklaşımında çığır açan bir değişimi temsil ediyor.

NASA, yapay zekanın gücünden yararlanarak büyük miktarda verinin işlenmesini otomatikleştirebilir, insan analistlerin algılayamayacağı kalıpları ve korelasyonları belirleyebilir ve sonuçları daha yüksek doğrulukla tahmin edebilir. Makine öğrenimi algoritmalarının uygulanması, sistem yeni verilerden ve sonuçlardan öğrendikçe analizde sürekli iyileştirme sağlar ve böylece zaman içinde tahmin yeteneklerini geliştirir. Bu yapay zeka odaklı yaklaşım, aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli avantajlar sunar:

- Veri işleme ve analizde artırılmış verimlilik
- Risk ve belirsizlik sonuçlarını tahmin etmede geliştirilmiş doğruluk
- Analizleri yeni bilgilere dayalı olarak geliştiren uyarlanabilir öğrenme yetenekleri

Bu son teknolojilerin ortak olasılık değerlendirmelerine dahil edilmesi, yalnızca analitik süreci kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda NASA tarafından üstlenilenler gibi karmaşık projelerde yer alan risklerin daha dinamik ve kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlar.

Ortak olasılık modellerinin uygulamasındaki zorluklar

Ortak olasılık maliyet fonksiyonları bağlamında gerçek dünya senaryolarını modellemenin karmaşıklığı, özellikle NASA gibi kuruluşlar için önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Bu karmaşıklık, uzay araştırmalarını ve araştırma faaliyetlerini karakterize eden sayısız değişkeni ve belirsizliği doğru bir şekilde temsil etme ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Kavramsal modelleme kuralları bu süreçte çok önemli bir rol oynar ve gerçek dünya olaylarının hesaplamalı modellerde nasıl temsil edildiğini belirler. Bu kurallar, modellerin hem doğru hem de ilgili olmasını sağlamaya yardımcı olarak araştırmacıların senaryoları yüksek derecede aslına uygun şekilde simüle etmesine olanak tanır. Bununla birlikte, bu modellerin karmaşık doğası çoğu zaman karmaşık matematiksel ve hesaplamalı teknikler gerektirir ve bu da görevi deneyimli araştırmacılar için bile göz korkutucu hale getirmektedir.

NASA'da ortak olasılık modellerinin uygulanmasındaki bir diğer büyük engel, veri kullanılabilirliği ve doğruluğundaki sınırlamalardır. Uzay ortamlarının benzersiz ve sıklıkla öngörülemeyen doğası göz önüne alındığında, kesin ve kapsamlı veriler elde etmek son derece zor olabilir. Uzayda yapılan ölçümler çeşitli hatalara ve belirsizliklere maruz kaldığından, bu veri kıtlığı, doğruluğunu sağlamanın zorluklarını da beraberinde getiriyor. Çıktıların kalitesi doğrudan girdi verilerinin kalitesine bağlı olduğundan, bu sınırlamalar

ortak olasılık modellerinin güvenilirliğini önemli ölçüde etkiler. Sonuç olarak, araştırmacılar boşlukları doldurmak ve yanlışlıkları düzeltmek için sıklıkla karmaşık algoritmalara ve tahmin tekniklerine güvenmek zorunda kalıyor, bu da modelleme sürecini daha da karmaşık hale getirmektedir.

Yüksek boyutlu problemlerdeki hesaplama zorluklarının üstesinden gelmek, özellikle NASA'nın operasyonları kapsamında ortak olasılık modellerinin uygulanmasının kritik bir yönüdür. JCL (Ortak Maliyet ve Kayıp) hesaplamasında maliyet ve riskin birlikte ele alınması, bu sorunların yüksek boyutlu doğasını göstermektedir; burada, finansman kaynakları ne olursa olsun, tüm unsurlarla ilişkili riskin dikkate alınması gerekir [26]. Bu, büyük veri kümelerini yönetip analiz edebilen önemli hesaplama kaynakları ve karmaşık algoritmalar gerektirir. Paralel hesaplama ve makine öğrenimi algoritmaları gibi hesaplama teknolojisi ve tekniklerindeki ilerlemeler, bu yüksek boyutlu sorunların daha etkili bir şekilde ele alınmasını mümkün kılmıştır. Bununla birlikte, bu modellerin hesaplama yoğunluğu, modellerin karar verme süreçlerinde etkili bir şekilde kullanılabilmesini sağlamak üzere verimliliği artırmak ve işlem sürelerini azaltmak için sıklıkla sürekli inovasyon ve optimizasyonu gerektirir.

NASA'daki ortak olasılık araştırmasında geleceğe yönelik yönler

Uzay araştırmalarına yönelik olasılıksal modellemede ortaya çıkan eğilimler, NASA misyonlarının geleceğini önemli ölçüde şekillendiriyor. Bu eğilimlerin ön saflarında, uzay görevlerinin karmaşıklığı ve maliyeti arttıkça giderek daha önemli hale gelen ortak dağıtım yaklaşımı yer alıyor. Bu yöntem, bir görevi etkileyebilecek çoklu risk faktörlerinin ve belirsizliklerin daha entegre bir analizine olanak tanıyarak hem maliyet hem de program aşımlarının en aza indirilmesini sağlar. Bu bağlamda ortak olasılık maliyet fonksiyonlarının benimsenmesi yalnızca teknik bir gelişme değildir, aynı zamanda görev riskleri ve maliyetlerine ilişkin daha bütünsel bir anlayışa yönelik bir paradigma değişimini temsil etmektedir. Bu değişim, olasılıksal modellemenin yüzyılın ikinci yarısında yeni bir bilim olarak ortaya çıktığı ve uzay araştırmalarında uzun süredir devam eden zorluklara yenilikçi çözümler sunan disiplin içindeki daha geniş evrimin göstergesidir.

Hesaplamalı yöntemlerdeki yenilikler, NASA'nın ortak olasılığa yaklaşımında devrim yaratıyor ve gelecekteki uzay görevleri için önemli sonuçlar doğuruyor. En önemli

gelişmelerden biri, maliyet belirsizliklerini karmaşık bir şekilde proje planlamasına dahil eden bir teknik olan Ortak Maliyet Çizelgesi Güven Düzeyi Analizinin (JCL) uygulanmasıdır [26].

JCL, güvenilir bir proje maliyeti kümülatif dağıtım fonksiyonu (CDF veya "S-eğrisi") oluşturarak, potansiyel maliyet aşımlarının daha incelikli ve kapsamlı bir analizine olanak tanır ve böylece karar verme süreçlerini geliştirir [25-26]. Bu hesaplamalı yöntem, geleneksel maliyet tahmin tekniklerinden önemli bir ilerlemeyi temsil ediyor ve NASA'ya uzay araştırmalarıyla ilişkili finansal riskleri yönetmek için daha sağlam bir çerçeve sağlamaktadır. Bu hesaplamalı yeniliklerin NASA'nın planlama ve risk değerlendirme protokollerine entegrasyonu, ajansın görevlerinin başarısını ve sürdürülebilirliğini sağlamak için en son teknolojiden yararlanma konusundaki kararlılığının altını çizmektedir.

İşbirlikçi projeler ve disiplinler arası yaklaşımlar, özellikle ortak olasılık araştırması bağlamında, NASA'nın risk değerlendirme stratejileri için giderek daha hayati hale geliyor. NASA, endüstriler ve akademi ile işbirliklerini teşvik ederek, eTwinning ve dijital yeterliliklerden kapsamlı risk değerlendirmesi ve ekonomik çıktı analizine kadar geniş bir uzmanlık yelpazesinden yararlanabilmektedir [26-27]. Bu disiplinler arası yaklaşımlar yalnızca risk değerlendirmelerinin kalitesini artırmakla kalmaz, aynı zamanda geniş bir yelpazedeki potansiyel sorunlar ve sonuçları dikkate alarak kapsamlı olmalarını da sağlar. Dahası, endüstrilerle ağ oluşturmak, gerçek dünyadaki içgörülerin ve teknolojik yeniliklerin NASA'nın olasılıksal modelleme çabalarına dahil edilmesine olanak tanır [26]. Bu işbirlikçi yaklaşım, farklı bakış açıları ve uzmanlıkların entegrasyonunun daha sağlam ve etkili çözümlere yol açabileceği uzay araştırmalarının karmaşık zorluklarının üstesinden gelmek için çok önemlidir.

Ortak olasılığa yönelik eğitim ve öğretim programları

NASA'nın mühendislerin ve bilim adamlarının olasılıksal analizdeki becerilerini artırma konusundaki kararlılığı, ortak olasılık maliyet fonksiyonlarının daha derinlemesine anlaşılmasını teşvik etmeyi amaçlayan çeşitli girişimleriyle açıkça görülmektedir. Rastgele süreç teorisindeki en son teorik konuları bir araya getiren NASA, havacılık ortamlarındaki en yüksek olaylar gibi fiziksel olayların tahmin edilmesinde çok önemli bir rol oynamıştır. Ayrıca ajans, olasılıkları simüle eden ve hesaplayan sistemlerin kendi kendini organize etme

özelliklerini araştırdı ve bu çabaları kuantum hesaplamalarındaki ilerlemelerle ilişkilendirdi. Bu yaklaşım, profesyonelleri yalnızca gerekli analitik araçlarla donatmakla kalmaz, aynı zamanda onları uzay araştırmaları ve havacılık mühendisliğinin doğasında bulunan karmaşık zorluklara da hazırlar.

NASA ile üniversiteler arasındaki ortaklıklar ve staj programları aracılığıyla yapılan işbirliği, havacılık risk yönetimini ilerletmek için bir temel taşı olarak duruyor. Bu girişimler, öğrencileri ve genç profesyonelleri, karmaşık sorunları çözmek için olasılıksal sinir ağlarını ve diğer olasılıksal analizleri uygulayabilecekleri gerçek dünyadaki havacılık ve uzay projelerine dahil etmek için tasarlanmıştır. Örneğin, üniversite programları genellikle NASA'nın ortak maliyet çizelgesi güven düzeyi analizini (JCL) entegre eder; bu analiz, güvenilir bir proje maliyeti kümülatif dağıtım fonksiyonu (CDF) üretmek için maliyet belirsizliklerini kapsar. Bu tür eğitim çabaları yalnızca teorik bilgi ile pratik uygulama arasındaki boşluğu kapatmakla kalmıyor, aynı zamanda havacılık risk yönetimi için gerekli becerilerle donatılmış yeni nesil mühendisleri ve bilim adamlarını da teşvik etmektedir.

NASA'nın havacılıkta ortak olasılığa adanmış atölye çalışmaları ve konferanslara katılımı, bu alana olan bağlılığını daha da vurgulamaktadır. Bu platformlar, içgörülerin paylaşılması, yeni metodolojilerin tartışılması ve ortak olasılık uygulamalarındaki son gelişmelerin sergilenmesi için değerli forumlar olarak hizmet vermektedir. Konular genellikle NASA tesislerinde gerçekleştirilen, havacılık ve uzay zorluklarına ilişkin teorik, deneysel ve hesaplamalı perspektifler sunan ayrı püskürtme memesi akışları üzerine ayrıntılı çalışmaları içerir [30]. Ek olarak, üst sınıf hava sahasında çalışan araçlar için olasılıksal operasyonel amaç modelleri üzerine yapılan tartışmalar, olasılıkları hesaplamak için hibrit yöntemlerin nasıl geliştirildiğini ortaya koyuyor ve NASA'nın havacılık risk yönetimi konusundaki bilgiyi iyileştirme ve yayma yönünde devam eden çabalarını yansıtıyor [31]. Bu toplantılar aracılığıyla NASA, yalnızca havacılık güvenliği ve verimliliği konusundaki küresel diyaloğa katkıda bulunmakla kalmıyor, aynı zamanda havacılık ve uzay topluluğunun olasılıksal analiz ve uygulamada ön saflarda kalmasını da sağlamaktadır.

Ortak olasılığın kullanımında etik ve düzenleyici hususlar

Özellikle uzay görevleri bağlamında olasılıksal modellere dayalı karar vermenin etik sonuçları abartılamaz. NASA, Ortak Maliyet ve Program Güven Düzeyi (JCL) analizi gibi teknikleri kullandığında, doğası gereği maliyet, program, risk ve belirsizliği kapsamlı bir çerçeveye entegre etmektedir [26].

Bu metodolojik yaklaşım, karar verme süreçlerinde ön bilginin ve teorik sonuçların önemini vurgulamaktadır. Ancak, aynı zamanda olasılıksal modellere dayalı olarak kritik kararlar almanın güvenilirliği ve ahlakı konusunda etik kaygıları da gündeme getirmektedir.

Etik ikilem, bilimsel bilginin ilerletilmesi ile uzay görevlerinde yer alan veya uzay görevlerinden etkilenenlerin güvenliğinin ve refahının sağlanması arasındaki dengede yatmaktadır. Bu zorluk aşağıdaki faktörlerle daha da artmaktadır:

- Uzay araştırmalarıyla ilgili doğal belirsizlikler.
- Belirsizlik altında alınan kararların potansiyel sonuçları.
- Hem insan yaşamını hem de önemli yatırımları koruma sorumluluğu.

Düzenleyici çerçeveler, karar alma süreçlerinin yerleşik yasal ve etik standartlara uygun olmasını sağlayarak, uzay görevlerinde ortak olasılık kullanımının yönetilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu düzenleyici çerçeveler, karar vermede olasılıksal modellerin kullanımında güvenliği, hesap verebilirliği ve şeffaflığı teşvik etmek için tasarlanmıştır. Aşağıdakiler gibi kritik hususları ele alırlar:

- Titiz risk değerlendirmesi ve yönetimi gerekliliği.
- Uluslararası standartlara ve en iyi uygulamalara bağlılık.
- Uzay görevleriyle ilgili belirsizlikleri ve potansiyel riskleri açıklama yükümlülüğü.

Bilimsel tutkuyu güvenlik ve etik hususlarla dengelemek, NASA ve diğer uzay ajanslarının düzenli olarak karşılaştığı karmaşık bir görevdir. Maliyet, program, risk ve belirsizliğin Ortak Maliyet ve Program Güven Düzeyi (JCL) analizi yoluyla entegrasyonu, daha bilinçli ve kapsamlı bir karar verme sürecini kolaylaştırır [26]. Ancak bu dengeyi sağlamak, birkaç temel unsurun dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir:

- Bilimsel keşiflerin ve ilerlemelerin potansiyel faydaları.

- İnsan hayatına ve çevreye yönelik riskler.
- Güvenlik pahasına iddialı bilimsel hedefleri takip etmenin etik sonuçları.

Bu hassas denge, bilgi arayışının etik standartlardan veya güvenlikten ödün vermemesini sağlamak için bilim insanları, mühendisler, etik uzmanları ve politika yapıcılar arasında ortak bir çaba gerektirir.

Ortak olasılık maliyet fonksiyonları, risk yönetimini, karar almayı ve proje verimliliğini artırarak NASA'ya önemli faydalar sunar. Ancak bunların etkinliği, doğasındaki karmaşıklık, gerekli verilerin kalitesi ve kullanılabilirliği ve ürettikleri tahminlerle ilgili belirsizlikler nedeniyle sınırlıdır. Bu sınırlamaların basitleştirme, iyileştirilmiş veri yönetimi ve sağlam inceleme süreçleri yoluyla ele alınması, uzay görevlerinin mali risklerinin yönetilmesinde bu işlevlerin faydasını en üst düzeye çıkarmaya yardımcı olabilir. Faydalarını sınırlamalarına karşı dengelemek, uzay araştırmalarının benzersiz ve zorlu bağlamında bu araçlardan etkili bir şekilde yararlanmak için çok önemlidir.

Sonuç olarak, NASA'nın havacılık görevlerinde ortak olasılık maliyet fonksiyonlarının kullanılması, risk değerlendirmesinin, karar vermenin ve görev planlamasının geliştirilmesinde çok önemli bir araç olarak durmaktadır. Tarihsel bir bakış açısıyla, risk değerlendirme modellerinin evrimine tanık olduk ve geçmişteki başarısızlıklardan değerli dersler alarak ortak olasılık analizinin önemli rolünü vurguladık. Müşterek olasılığın matematiksel temelleri, görev senaryolarındaki pratik uygulamalarıyla birleştiğinde, görev güvenilirliğini ve emniyetini artırmadaki etkinliğini göstermiştir. Vaka çalışmaları, ortak olasılığın görev sonuçlarında ve sonraki yeniden tasarım çabalarında önemli bir rol oynadığı hem başarıları hem de başarısızlıkları ortaya koydu. Uygulamadaki zorluklara rağmen yazılım, araçlar ve hesaplama yöntemlerindeki ilerlemeler, uzay araştırmalarına yönelik olasılıksal modellemede gelecekteki araştırmaların ve yeniliklerin önünü açıyor. NASA eğitim programlarına ve etik hususlara yatırım yapmaya devam ettikçe, ortak olasılığın karar verme süreçlerine entegrasyonu, havacılık ve uzay misyonları alanında bilimsel hırs ile güvenlik ve etik standartların dengelenmesinde şüphesiz merkezi bir rol oynayacaktır.

Ortak zaman ve maliyet olasılığı analizindeki zorluklar

Ortak olasılık analizinde proje yöneticilerinin karşılaştığı ortak zorluklardan biri, ayrıntılı proje faaliyetlerini eşzamanlı olarak ölçülebilir zaman ve maliyet ifadelerine dönüştürmenin içerdiği karmaşıklıktır. Belirsiz koşullar altında bilinçli kararlar almak projenin başarısı için kritik olduğundan, bu karmaşıklık, her bir proje faaliyetiyle ilişkili riskin doğasını ve düzeyini anlama ihtiyacıyla daha da karmaşık hale gelir. Zorluk sadece bu risklerin tanımlanması ve ölçülmesinde değil, aynı zamanda bunların doğru proje tahmini ve planlaması için gerekli olan ortak zaman ve maliyet olasılık analizine entegrasyonunda da yatmaktadır.

Teknolojinin önemli bir rol oynamasıyla, ortak zaman ve maliyet olasılık analizindeki zorlukların üstesinden gelmenin geleceği umut vericidir. Yazılım ve bilgi işlem gücündeki ilerlemeler, projeler için zaman ve maliyet sonuçlarının ortak olasılığını doğru bir şekilde modelleyebilen karmaşık analizlerin yürütülmesini giderek daha mümkün hale getiriyor. Bu teknolojik ilerlemenin, proje yöneticilerinin daha kesin tahminlerde bulunma ve planlama yapma yeteneğini geliştirmesi, böylece proje yönetimi ve teslimiyle ilgili belirsizlikleri azaltması bekleniyor. Ayrıca, yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmalarının proje yönetimi araçlarına entegrasyonunun, risk analizi süreçlerini daha da iyileştirmesi ve karmaşık veri ve senaryoları yönetmede daha verimli ve etkili hale getirmesi bekleniyor.

<u>“Doğrusal regresyon” ile maliyet oluşumu</u>

Doğrusal regresyon, maliyet analizinde bilinen ve bilinmeyen veri değerleri arasındaki ilişkiyi hassasiyetle aydınlatan önemli bir araç olarak duruyor. Bu tekniğin önemi, özellikle maliyet tahmininin kritik olduğu finansal yönetim alanında, geniş veri dizilerini eyleme geçirilebilir içgörülere dönüştürme yeteneği ile vurgulanmaktadır. Maliyet oluşturma sürecini doğrusal regresyon yoluyla anlamak, işletmelerin gelecekteki harcamaları daha yüksek bir doğrulukla tahmin etmelerine, bütçe tahsisini optimize etmelerine ve finansal planlamayı geliştirmelerine olanak tanır. Bu yöntem, yönetim deneyimine veya temel muhasebe verilerine dayanmak gibi geleneksel, genellikle daha az doğru olan maliyet tahmini uygulamalarını aşarak kaynakların stratejik planlamasındaki önemli rolünü ortaya koymaktadır.

Doğrusal regresyonun kalbinde, işleyişini ve etkinliğini belirleyen temel ilkeler vardır. Basit doğrusal regresyon olarak bilinen en basit biçim, bağımlı değişkenin sonucunu tahmin etmek için bağımsız bir değişken kullanır ve ikisi arasında doğrusal bir ilişki kurar. Bu ilişki, regresyon çizgisi etrafındaki veri noktalarının normal dağıldığı varsayımına dayanmaktadır ve bu da modelin güvenilirliğini sağlamaktadır. Ayrıca doğrusal regresyon, çoklu doğrusal regresyon olarak bilinen birden çok değişkene uzanabilir ve karmaşık veri setlerinin analizinde uygulanabilirliğini genişletebilir. Bu ilkeler, maliyeti etkileyen çeşitli faktörler arasındaki dinamikleri çözmede doğrusal regresyonun çok yönlülüğünün ve kesinliğinin altını çizmektedir.

Maliyetlerin tahmin edilmesinde doğrusal regresyonun pratik uygulamaları çeşitli ve etkilidir. Bu analitik tekniği kullanarak işletmeler, üretim girdilerinden işçilik maliyetlerine kadar operasyonlarının farklı yönleriyle ilişkili giderleri tahmin edebilirler. Örneğin inşaat sektöründe doğrusal regresyon modelleri, beton maliyetlerinin ve kalıplarla ilgili harcamaların tahmin edilmesine yardımcı olarak daha doğru bütçeleme ve kaynak tahsisini kolaylaştırır [32]. Ayrıca, M5P modeli gibi gelişmiş regresyon modelleri, karar ağacının her dalına doğrusal bir regresyon modeli ekleyerek bu tahminlerin doğruluğunu arttırır ve bir projenin belirli bölümleri için tahmin sürecini geliştirir [33]. Maliyetleri daha hassas bir şekilde tahmin etme yeteneği, kuruluşların bilinçli kararlar almasına, finansal performansı optimize etmesine ve rekabet avantajını sürdürmesine yardımcı olmaktadır.

İşletmelerde maliyet bileşenleri

İşletmelerde maliyet bileşenlerini anlamak, özellikle sabit ve değişken maliyetler arasındaki ayrımı anlamak, etkili finansal yönetim için kritik öneme sahiptir. Sabit maliyetler, kira, maaş ve sigorta primleri gibi üretim veya satış düzeyine göre değişmeyen maliyetlerdir. Bir işletmenin bu giderleri karşılamak için elde etmesi gereken minimum gelir miktarını belirlemek için toplam sabit maliyetleri bilmek çok önemlidir. Öte yandan, hammadde ve direkt işçilik maliyetleri de dahil olmak üzere değişken maliyetler üretim hacmine göre dalgalanmaktadır.

Doğrusal maliyet fonksiyonu eşitliği (Eş. 6.1), bu ilişkiyi etkili bir şekilde kapsayarak işletmelerin değişen çıktı düzeylerine dayalı olarak toplam maliyetleri tahmin etmesine

olanak tanır [34]. Bu anlayış, fiyatlandırma stratejilerinin ve finansal tahminlerin hazırlanmasında temeldir.

Toplam Maliyet = Toplam Sabit Maliyet + (Birim Değişken Maliyet x Faaliyet) (6.1)

Maliyetlerin doğrudan ve dolaylı maliyetler olarak sınıflandırılması, maliyet yönetimi stratejilerini daha da geliştirir. Doğrudan maliyetler, doğrudan hammadde ve doğrudan işçilik gibi belirli mal veya hizmetlerin üretimine atfedilebilir. Bu maliyetler doğrudan sorumluluk merkezi yöneticisi tarafından kontrol edilebilir ve doğrudan o sorumluluk merkezine yansıtılabilir. Ancak dolaylı maliyetler belirli bir ürün veya hizmetle doğrudan izlenemez ancak işin işleyişi için gereklidir. Bunlara kamu hizmetleri, kira ve idari maaşlar dahildir. Dolaylı maliyetler ürün veya hizmetlere önceden belirlenen oranlara göre dağıtılır ve genel üretim giderleri olarak dahil edilerek genel maliyet yapısına katkıda bulunur. Bu maliyetleri anlamak, doğru ürün fiyatlandırması, bütçeleme ve finansal analiz için çok önemlidir.

Genel giderler veya dolaylı maliyetler, işletmelerde toplam maliyetin oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Bu genel giderler, belirli bir ürün veya hizmetin üretimiyle doğrudan ilişkilendirilemeyen ancak işletmenin işleyişi için gerekli olan genel yönetim giderleri, amortisman ve kira gibi giderleri kapsar. Geleneksel maliyet sistemleri genellikle genel giderlerin izlenebilirliği konusunda zorluk çeker, bu da yönetim, kontrol ve verimli maliyet tahsisi yöntemlerinin geliştirilmesinde zorluklara yol açar. Genel giderler, faaliyetler ve maliyetler arasındaki ilişkiyi inceleyen, hem sabit hem de değişken bileşenleri dahil ederek toplam maliyetlerin daha doğru hesaplanmasını sağlayan çeşitli faaliyet bazlı maliyetleme yöntemlerine göre ürün veya hizmetlere dağıtılır. Bu tahsis, üretimin tam maliyetini anlamak ve etkili fiyatlandırma stratejileri ve finansal planlama oluşturmak için çok önemlidir.

"Doğrusal regresyon" analizi için veri toplama

İlgili maliyet faktörlerinin belirlenmesi, maliyet oluşumu için doğrusal regresyon analizinden yararlanmada temel bir adımdır. Bu süreç, projenin maliyetini potansiyel olarak etkileyebilecek değişkenlerin titiz bir analizini içerir. Araştırmacılar, bu faktörleri belirlemeye odaklanarak, temel bileşenleri dikkate alarak ve belirlenen her faktörün göreceli önemini anlayarak, regresyonu kullanan tahmini bir proje maliyet modeli oluşturabilirler.

Bu yaklaşım yalnızca maliyetlerin doğru tahmin edilmesine yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda modelin tahmin doğruluğunu önemli ölçüde etkileyebilecek doğru değişkenlerin seçilmesinin önemini de vurgular. Temel faktörler genellikle malzeme maliyetlerini, çalışma saatlerini ve genel giderleri içerir ve bunların tümü genel proje maliyetinin belirlenmesinde çok önemli bir rol oynar.

Regresyon analizi için veri kaynakları, maliyet modelinin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak açısından çok önemlidir. Örneğin geçmiş maliyet verilerinin geleceğe yönelik güvenilir tahminler yapmak için değerli bir kaynak olduğu kanıtlanmıştır[35]. Bu tür veriler, maliyet oluşumunda önemli rol oynayan piyasa faktörlerine ilişkin çeşitli idari yapılardan toplanabilmektedir. Ayrıca akademik ve sektör raporları, mali kayıtlar ve proje belgeleri paha biçilmez veri kaynakları olarak hizmet eder. Bu çeşitli kaynaklardan veri toplamak, ilgili tüm değişkenleri kapsayan kapsamlı bir veri kümesi sağlar ve böylece doğrusal regresyon analizinin tahmin yeteneğini artırır.

Verileri analiz için hazırlamak, verilerin doğrusal regresyon analizinin gerekliliklerini karşıladığından emin olmak için çeşitli temel prosedürleri içeren kritik bir adımdır. Süreç, herhangi bir yanlışlığı veya ilgisiz bilgiyi ortadan kaldırmak için verilerin temizlenmesini ve ardından verilerin, regresyon analizi için gerekli dört varsayımı karşılayacak şekilde dönüştürülmesini içerir. Bu varsayımlar doğrusallık, bağımsızlık, eş varyanslılık ve artıkların normal dağılımını içerir. Ayrıca, veri dönüştürme yöntemi, modelin performansını ve doğruluğunu artırmak için log dönüşümü veya standardizasyon gibi veri değerlerinin matematiksel manipülasyonunu içerebilir. Bu titiz hazırlık süreci, gözlemlenen ve hesaplanan değerler[38] arasındaki önyargıları ve sapmaları en aza indirmek ve sonuçta doğrusal regresyon analizinden daha güvenilir ve eyleme dönüştürülebilir içgörüler elde etmek için gereklidir.

“Doğrusal regresyon” modelinin kurulumu

Doğru bağımsız değişkenleri seçmek, maliyet oluşumunu anlamak için doğrusal bir regresyon modeli oluşturmanın kritik bir ilk adımıdır. Bağımsız değişkenler, bağımlı değişkeni (bu durumda maliyet) etkilediği varsayılan faktörlerdir. Bu değişkenlerin seçimi, alanın ve söz konusu spesifik maliyet etkenlerinin derinlemesine anlaşılmasını gerektirir. Örneğin bir inşaat projesinde toplam inşaat alanı, malzeme maliyeti, işçilik saatleri, projenin

karmaşıklığı gibi değişkenler toplam maliyeti önemli ölçüde etkileyebilir. Modelin doğruluğunu ve uygunluğunu sağlamak için maliyetleri doğrudan etkileyen değişkenleri belirlemek ve seçmek önemlidir. Bağımsız değişkenlerin birbirleriyle çok yüksek düzeyde korelasyona sahip olmaması gerektiği durumlarda çoklu doğrusallık da dikkate alınmalıdır, çünkü bu, sonuçları bozabilir ve modeli güvenilmez hale getirebilir.

Regresyon denkleminin formüle edilmesi, seçilen bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasında matematiksel bir ilişki kurmayı içeren bir sonraki adımdır. Maliyet analizi bağlamında regresyon denklemi, yalnızca bir bağımsız değişkenin kullanıldığı basit bir doğrusal regresyon veya iki veya daha fazla bağımsız değişkenin dikkate alındığı çoklu doğrusal regresyon şeklini alabilir.

Çoklu doğrusal regresyon eşitliğinin genel formu aşağıdaki biçimdedir (Eş. 6.2).

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_nX_n \quad (6.2)$$

Burada Y bağımlı değişkeni (maliyeti) temsil eder, b_0 y-kesişim noktasıdır, b_1, b_2, bn her bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisini temsil eden katsayılardır ve X_1, X_2'dir. X_n bağımsız değişkenlerdir. Bu denklem, maliyetlerin çeşitli faktörlerden nasıl etkilendiğine dair açık ve matematiksel bir gösterim sağlayarak doğru tahminlere ve analizlere olanak sağlar.

Doğrusal regresyon modelinin altında yatan varsayımları anlamak, onun doğru uygulanması ve yorumlanması açısından çok önemlidir. İki temel varsayım, bağımlı değişkenin sürekli olduğu ve tahmindeki hataların normal dağıldığıdır. Bu varsayımlar, modelin bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkiyi doğru bir şekilde temsil edebilmesini ve istatistiksel anlamlılık testlerinin geçerli olmasını sağlar. Diğer bir varsayım ise gözlemlerin bağımsızlığıdır; yani veri kümesindeki veri noktalarının birbirini etkilememesi gerekir. Bu, bitişik noktaların ilişkilendirilebildiği zaman serisi verilerinde özellikle önemlidir. Ayrıca bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişki doğrusal olmalı ve hata terimlerinin varyansı bağımsız değişkenlerin tüm düzeylerinde sabit kalmalıdır. Bu varsayımlara bağlı kalmak, maliyetleri tahmin etmek için etkili bir şekilde kullanılabilecek sağlam ve güvenilir bir doğrusal regresyon modelinin oluşturulmasına yardımcı olur.

“Doğrusal regresyon” ile maliyetlerin tahmin edilmesi

Regresyon katsayılarının yorumlanması, doğrusal regresyon analizi yoluyla maliyet oluşumunun dinamiklerinin anlaşılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Daha basit bir ifadeyle bu katsayılar, diğer tüm değişkenlerin sabit kaldığı varsayılarak, bağımsız değişken bir birim değiştiğinde bağımlı değişkenin değişmesi beklenen miktarı temsil eder. Doğrusal regresyon bağlamında bu ilişkinin yorumlanması genellikle kolaydır. Örneğin basit bir doğrusal regresyon modelinde katsayı, bağımsız değişkendeki (üretim hacmi gibi) bir birimlik artış için bağımlı değişkende (maliyet gibi) beklenen değişikliği doğrudan gösterir. Çoklu regresyon modellerinde her katsayı bir bağımsız değişkenin etkisine karşılık gelir ve diğer değişkenlerin etkisi sabit kalır. Bu incelikli yorum, işletmelerin maliyetleri önemli ölçüde etkileyen belirli faktörleri belirlemesine olanak tanır ve böylece daha bilinçli karar alma süreçlerine olanak tanır.

Doğrusal regresyon modelinin uyum iyiliğini değerlendirmek, modelin gözlemlenen verilerin değişkenliğini ne kadar iyi açıkladığını doğrulamak için önemlidir. R-kare istatistiği gibi uyum iyiliği testleri, bağımsız değişken(ler)den tahmin edilebilen bağımlı değişkendeki varyans oranına ilişkin bilgiler sağlar. Daha yüksek bir R-kare değeri daha iyi bir uyumu gösterir; bu da modelin tahminlerinin gerçek veri noktalarına daha yakın olduğu anlamına gelir. Ancak model uyumunun değerlendirilmesine dikkatli yaklaşmak önemlidir. Örneğin aşırı uyum, modelin örnek verilere çok yakın bir şekilde uyarlanması durumunda ortaya çıkar ve potansiyel olarak yeni veriler üzerindeki tahmin gücünden ödün verir. Bu nedenle, iyi bir uyum için çabalarken, modelin genelleştirilebilir kalmasını ve gelecekteki maliyetleri tahmin etmede yararlı olmasını sağlamak için bir dengeyi korumak önemlidir.

Doğrusal regresyon modeli kullanarak gelecekteki maliyetleri tahmin etmek, bütçeleme ve finansal planlamaya önemli ölçüde yardımcı olabilecek güçlü bir uygulamadır. İşletmeler, bağımsız değişkenlerin beklenen değerlerini modele girerek, geçmiş verilere dayalı olarak beklenen maliyetleri belirli bir güvenle tahmin edebilir. Bu öngörme yeteneği, farklı senaryolar altında gelecekteki maliyetleri tahmin etme sürecini basitleştiren regresyon denkleminin sağladığı matematiksel formüle dayanmaktadır. Örneğin, regresyon modeli içerisinde malzeme maliyetleri, çalışma saatleri veya üretim ölçeği gibi değişkenleri ayarlayarak şirketler, çeşitli gelecek senaryolarını ve bunların maliyetler üzerindeki potansiyel etkilerini keşfedebilirler. Bu sadece stratejik planlamayı geliştirmekle kalmaz,

aynı zamanda işletmelerin maliyet dalgalanmalarıyla ilişkili riskleri proaktif bir şekilde yönetmesine de olanak tanır.

"Doğrusal regresyon" ile maliyet tahminindeki zorluklar

Doğrusal regresyon kullanarak maliyet tahminindeki temel zorluklardan biri değişkenler arasındaki çoklu bağlantı sorunudur. Çoklu doğrusallık, bir regresyon modelindeki bağımsız değişkenler yüksek düzeyde korelasyona sahip olduğunda ortaya çıkar ve bu da modelin tahminlerinde fazlalık ve verimsizliğe yol açar[38]. Bu sorun, bağımsız değişkenler arasında hiçbir ilişki olmadığını varsayan çoklu doğrusal regresyonun temel varsayımlarından biriyle doğrudan çelişmektedir. Çoklu doğrusallık, bir regresyon modelinin katsayılarının güvenilirliğini ciddi şekilde bozabilir ve her değişkenin bağımlı değişken üzerindeki bireysel etkisini ayırt etmeyi zorlaştırabilir. Bu zorluğun üstesinden gelmek için analistler, çoklu bağlantının etkisini tespit etmek ve azaltmak için sıklıkla varyans enflasyon faktörü analizi gibi tekniklere başvurarak daha sağlam ve doğru bir model sağlar.

Maliyet tahmini için doğrusal regresyondan yararlanmanın önündeki bir diğer önemli engel, veri kümesindeki aykırı değerlerin ve kaldıraç noktalarının varlığıdır. Aykırı değerler, diğer gözlemlerden önemli ölçüde sapan, potansiyel olarak genel analizi çarpıtan ve yanıltıcı sonuçlara yol açan veri noktalarıdır. Öte yandan kaldıraç noktaları, değişken uzay içindeki benzersiz konumlarından dolayı modelin parametreleri üzerinde aşırı bir etki yaratan gözlemlerdir. Bu anormallikler regresyon çizgisini bozabilir ve hatalı tahminlere yol açabilir:

- Aykırı değerler bir modelin gereğinden fazla sığmasına neden olarak modelin diğer verilere genellenebilirliğini azaltabilir.
- Kaldıraç noktaları regresyon çizgisini orantısız bir şekilde çekerek eğimi ve kesişmeyi etkileyebilir. Bu sorunların tespit edilmesi ve ele alınması, dikkatli veri analizi gerektirir ve sağlam regresyon yöntemleri veya ayrıntılı inceleme sonrasında sorunlu noktaların kaldırılması gibi stratejileri içerebilir.

Doğrusal regresyon modellerinde tahminlerin doğruluğunun sağlanması, özellikle maliyet tahmini söz konusu olduğunda çok önemlidir. Doğrusal regresyonun basitliği ve yorumlanabilirliği, maliyetleri tahmin etmek için onu popüler bir seçim haline getirir, ancak doğruluğu, modelin doğru spesifikasyonu ve verilerin kalitesi dahil olmak üzere çeşitli

faktörlere bağlıdır. Analistler, yalnızca bağımlı değişkenle ilgili değil aynı zamanda çoklu bağlantı ve aykırı değerler gibi sorunlardan arınmış bağımsız değişkenleri dikkatli bir şekilde seçmelidir. Ayrıca, güvenilir tahminlerin sağlanması için verilerin yeterince büyük olması ve nüfusu temsil etmesi gerekir. Modelin bilinen sonuçlara göre düzenli olarak doğrulanması ve test edilmesi, tahminlerin iyileştirilmesine yardımcı olabilir ve bu da tahminlerin gelecekteki maliyet tahminleri için daha doğru ve güvenilir olmasını sağlayabilir.

Örnek olay incelemeleri

Üretim alanında, maliyet tahmini için doğrusal regresyonun uygulanmasının, özellikle inşaat projelerinde beton, kalıp ve demir ile ilgili maliyetlerin doğru bir şekilde tahmin edilmesinde çok önemli bir strateji olduğu kanıtlanmıştır. Bu yaklaşımın özü, gelecekteki harcamaları tahmin etmek için geçmiş verileri kullanma becerisinde yatmakta ve böylece daha akıcı ve mali açıdan verimli bir üretim sürecini kolaylaştırmaktadır. Üreticiler, bu kavramları doğrusal regresyon teknikleriyle entegre ederek çeşitli bileşenleri kapsayan daha kesin bir maliyet modeli elde edebilir.

Bu metodoloji yalnızca proje harcamalarının öngörülebilirliğini arttırmakla kalmaz, aynı zamanda üretim operasyonlarının genel verimliliğine ve maliyet etkinliğine de katkıda bulunur.

Hizmet sektöründe fiyat tahmini, büyük ölçüde gelecekteki eğilimleri tahmin etmek için geçmiş verileri analiz eden doğrusal regresyon yöntemlerinin benimsenmesi nedeniyle vazgeçilmez bir araç haline geldi. Makine öğrenimi teknikleri ile doğrusal regresyon yöntemlerini karşılaştıran bir çalışma, Türkiye'de satılan hizmetlerin fiyatlarının tahmin edilmesinde doğrusal regresyonun etkinliğini ortaya koymuştur. Bu yaklaşım özellikle hizmet kalitesi, bölgesel tercihler ve pazar dinamikleri gibi çeşitli faktörlerin fiyatlandırma stratejilerini nasıl etkilediğini anlamada faydalıdır. Hizmet sağlayıcılar, çoklu doğrusal regresyon analizi yoluyla talep tahminini uygulayarak, geçmiş verilere dayalı olarak müşteri davranışı ve tercihleri hakkında bilgi edinebilir ve böylece daha doğru fiyat belirlemeye olanak sağlamaktadır.

Projelerde bütçe planlaması, proje maliyetlerini doğru bir şekilde tahmin ederek belirsizlikleri azaltmak için doğrusal regresyondan yararlanır. Bu yöntem, projenin başarılı bir şekilde tamamlanması için gereken toplam bütçeyi tahmin etmek için diğer kriterlerin yanı sıra proje geliştirme süresini ve gerekli personel sayısını analiz etmeyi içerir. Bu bağlamda doğrusal regresyonun uygulanması, harcamaları önceden belirlenmiş bütçe kısıtlamalarıyla uyumlu hale getirmeyi amaçlayan proje yöneticileri için kritik bir araç görevi görür. Proje yöneticileri, maliyetleri en başından itibaren doğru tahmin ederek harcamaları etkili bir şekilde kontrol edebilir ve projelerin kendi mali sınırları dahilinde tamamlanmasını sağlayabilirler. Süreç aşağıdakiler gibi çeşitli faktörlerin değerlendirilmesini içerir:

- Proje geliştirme süresi
- Gerekli personel sayısı
- Projeye özgü diğer ilgili kriterler

Bütçe planlamasına yönelik bu titiz yaklaşım sayesinde projeler daha sorunsuz bir şekilde ilerleyebilir, finansal risk azalır ve sonuçların öngörülebilirliği artar.

"Doğrusal regresyon" alanındaki gelişmeler

Regresyon analizinin kapsamı, özellikle maliyet analizi bağlamında, gelişmiş yazılım ve araçların ortaya çıkmasıyla önemli ölçüde geliştirilmiştir. Bu gelişmeler, karmaşık veri kümelerini analiz etme sürecini kolaylaştırdı ve böylece maliyetlerin daha doğru ve verimli tahmin edilmesine olanak sağladı. Özellikle doğrusal regresyon analizi için tasarlanan yazılım çözümleri, değişkenler arasındaki ilişkileri kurma ve analiz etme yeteneklerinden dolayı ekonomi, finans ve pazarlama dahil olmak üzere çeşitli alanlarda ayrılmaz hale gelmiştir. Örneğin, araç fiyatını bağımlı değişken olarak ayarlayarak analistler bu araçları marka, model, yıl ve ek özellikler gibi bir dizi bağımsız değişkene dayalı olarak fiyatları modellemek ve tahmin etmek için kullanabilirler. Bu yetenek, rekabetçi fiyatlar belirlerken aynı zamanda kârlılığı en üst düzeye çıkarmayı amaçlayan işletmeler için çok önemlidir.

Makine öğrenimi algoritmaları, doğrusal regresyonu yeni boyutlara taşıyarak tahmin doğruluğunu ve maliyet analizinde uygulanabilirliğini artırdı. Çoklu doğrusal regresyon uygulamaları, özellikle Python ile birleştirildiğinde, çeşitli girdilere dayalı sonuçların analiz edilmesinde ve tahmin edilmesinde umut verici sonuçlar göstermiştir. Örneğin, işletmeler

farklı medyadaki (TV, radyo, gazete) bütçe tahsislerini ve satış verilerini analiz ederek, maksimum yatırım getirisi elde etmek için pazarlama harcamalarını optimize edebilir. Ayrıca, girdi verilerinden çıktı etiketlerine kadar bir eşleme fonksiyonunu öğrenmeyi amaçlayanlar gibi makine öğrenme algoritmalarının entegrasyonu, görünmeyen verilerin daha yüksek bir hassasiyetle tahmin edilmesini sağlar. Geleneksel doğrusal regresyondan makine öğrenimi ile geliştirilmiş yöntemlere doğru olan bu evrim, maliyetleri tahmin etme ve bütçeleri etkili bir şekilde belirleme becerisinde önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir.

Maliyet tahmini teknolojisinin geleceğine baktığımızda, ortaya çıkan bazı trendler bu alanda daha fazla devrim yaratmayı vaat ediyor. Doğrusal regresyonun gelişmiş makine öğrenimi algoritmaları ve büyük veri analitiğiyle yakınsaması, maliyetleri tahmin etme ve yönetme konusunda benzeri görülmemiş yetenekler sunacak. Dahası, daha sezgisel ve kullanıcı dostu yazılım araçlarının geliştirilmesi muhtemelen giriş engelini azaltacak ve daha geniş bir profesyonel yelpazesinin maliyet analizi için bu teknolojilerden yararlanmasına olanak tanıyacaktır. Ek olarak, maliyet tahmin sürecinin otomatikleştirilmesi ve iyileştirilmesinde yapay zekanın devam eden keşfi, geleceğin daha doğru ve dinamik modellerle şekilleneceğini gösteriyor. Bu gelişmeler yalnızca maliyet tahminlerinin doğruluğunu artırmakla kalmayacak, aynı zamanda kapsamlı analizler yapmak için gereken zaman ve kaynakları da önemli ölçüde azaltacaktır.

Sonuç olarak doğrusal regresyon, maliyet analizinde işletmelere maliyetleri anlama ve tahmin etme konusunda metodik bir yaklaşım sunan güçlü bir araçtır. Kuruluşlar, maliyet bileşenlerini parçalara ayırarak, ilgili verileri toplayarak, regresyon modelleri kurarak ve maliyetleri doğru bir şekilde tahmin ederek bilinçli kararlar alabilir ve stratejik planlar yapabilir. Çoklu bağlantı ve aykırı değerler gibi zorluklara rağmen, farklı sektörlerdeki çeşitli örnek olay incelemelerinde gösterildiği gibi, maliyet analizinde doğrusal regresyon kullanmanın faydaları oldukça büyüktür. Teknolojideki gelişmeler ve gelişmiş araçların kullanıma sunulmasıyla birlikte doğrusal regresyon gelişmeye devam ederek gelecekte daha kesin ve verimli maliyet tahmini vaat ediyor. İşletmeler, doğrusal regresyonun ilkelerine ve uygulamalarına hakim olarak maliyetlerini etkin bir şekilde yönetme konusunda rekabet avantajı elde edebilir.

Parametrik modellerle maliyet oluşumu

Geçmiş verileri kullanan doğrusal olmayan regresyon modellemesine dayalı maliyet oluşumudur. Bu modele örnek olarak malzeme alımını ele alabiliriz. Malzeme tedariki, satın alınan malzeme miktarı arttıkça fiyatın düştüğü doğrusal olmayan orantılı satın alımları tahmin etmek için kullanılır. Modelin tutarlılığı R^2 değeri üzerinden kontrol edilmektedir. Belirli koşullar altında bu değeri sağlayan model seçilir. Ek olarak, bu alan aynı zamanda makine öğreniminin alanına girdiğinden, doğrusal olmayan regresyon modellerini (öğrenme eğrileri) çözmek için birçok yazılım kütüphanesi mevcuttur.

Parametrik modeller, önceden tanımlanmış parametrelere dayalı olarak doğru ve etkili tahminler sağlama yetenekleri nedeniyle çeşitli endüstrilerde maliyet tahmininde temel araçlar haline gelmiştir. Parametrik modellerin temel kavramlarını anlamak, maliyet tahmin süreçlerindeki önemini kavramak açısından çok önemlidir. Parametrik olmayan modellerden farklı olarak parametrik modeller, tahminler yapmak için belirli parametrelere güvenerek daha yapılandırılmış ve sistematik bir yaklaşıma olanak tanır. Maliyet tahmininde parametrik modellerin kullanılması, tahmin sürecini kolaylaştırma, doğruluğu artırma ve karar almayı kolaylaştırma kapasitelerinden kaynaklanmaktadır. Proje planlama ve yönetiminde kritik bir husus olan maliyet tahmini, bir projenin tamamlanması için gereken mali kaynakların tahmin edilmesini içerir. Parametrik modeller, çeşitli faktörlere ve değişkenlere dayalı olarak maliyetleri tahmin etmek için bir çerçeve sağlayarak bu süreçte çok önemli bir rol oynar. Parametrik modellerin geliştirilmesi, ilgili değişkenlerin belirlenmesi ve seçilmesi de dahil olmak üzere, modelin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamada zorluklar yaratabilecek bir dizi adımı içerir. Bu zorluklara rağmen inşaat, imalat ve yazılım geliştirme gibi endüstrilerde parametrik modellerin uygulanması, maliyet tahmini uygulamalarının iyileştirilmesinde etkinliğini göstermiştir. Parametrik modellerin doğruluğunun ve sınırlamalarının değerlendirilmesi, maliyet tahmin süreçlerindeki etkinliklerinin artırılması açısından önemlidir. Bu çalışma, parametrik modellerin geliştirilmesini, uygulanmasını ve değerlendirilmesini araştırarak, bunların maliyet tahminindeki rollerine ilişkin içgörü sağlamayı ve çeşitli sektörlerde doğruluk ve güvenilirliklerini artırmaya yönelik öneriler önermeyi amaçlamaktadır.

Parametrik modeller, verimlilik ve kesinlik sağlamak için geçmiş verilerden ve algoritmik düşünceden yararlanarak tasarım ve tahmin süreçlerinde önemli bir değişimi temsil eder.

Profesyoneller, parametrik tahmin kullanarak, benzer projelerden elde edilen zengin geçmiş verilerden yararlanarak bir proje için gereken süreyi, maliyeti veya kaynakları yüksek derecede doğrulukla tahmin edebilirler. Bu yöntem, tahmincinin subjektif deneyimleriyle sınırlı değildir; bunun yerine yerleşik algoritmalara veya istatistiksel ilişkilere dayanır ve tahminleri daha güvenilir ve tutarlı hale getirir. Dahası, parametrik modellerin esnekliği, çeşitli proje kapsamlarına veya belirli bölümlere uyum sağlama yeteneklerinde açıkça görülmektedir ve projenin benzersiz gereksinimleriyle yakından uyumlu, özel ve hassas planlamaya olanak sağlamaktadır. Parametrik tasarımın analitik becerisine dayanan bu uyarlanabilirlik, projelerin daha önce ulaşılamayan düzeyde ayrıntı ve doğrulukla planlanabilmesini sağlar ve proje yönetimi ve tasarım metodolojilerinde önemli bir ilerlemeye işaret etmektedir.

Parametrik modellerin sağladığı uyarlanabilirlik ve hassasiyet üzerine inşa edilen bu sistemler, tasarım ve modifikasyonlara yönelik temel yaklaşımları sayesinde parametrik olmayan modellerden belirgin bir şekilde farklılık gösterir. Parametrik modeller, tasarım öğeleri arasındaki ilişkileri yöneten parametreler tarafından doğası gereği tanımlanır ve tasarım süreci üzerinde olağanüstü düzeyde kontrol sağlar. Bu, parametrik modellemenin, parçaların birbirleriyle olan ilişkilerinin derinlemesine anlaşılmasına dayalı olarak parçaların eklenmesini, silinmesini ve değiştirilmesini kolaylaştırması ve böylece bir parçadaki herhangi bir değişikliğin tüm tasarım boyunca tutarlı ve koordineli bir değişikliğe yol açabilmesini sağlamasıyla açıkça görülmektedir. Parametrik modellemede vurgulandığı gibi, parçalar arasındaki bu tür koordineli bir ilişki, tasarımcıların tasarımları parametrik olmayan modellerin sunamayacağı bir düzeyde incelik ve birbirine bağlılıkla ayarlamalarına ve yinelemelerine olanak tanır. Dahası, parametrik modeller içindeki miktarları kolayca tanımlama ve değiştirme yeteneği, onları değişen tasarım ihtiyaçlarına son derece uyarlanabilir hale getirir; bu özellik, özellikle yüksek düzeyde özelleştirme ve hassasiyet gerektiren projelerde faydalı olan bir özelliktir. Bu uyarlanabilirlik, modellerin önemli parametreler arasındaki ilişkileri kurma ve manipüle etme yeteneği ile daha da desteklenir ve tasarım sürecindeki seçeneklerin ve varyasyonların yönetimini kolaylaştırır.

Parametrik modellerin, çeşitli seçeneklere ve karmaşık bileşen montajına izin vererek tasarım sürecini önemli ölçüde iyileştirdiği temeline dayanarak, bu modellerin maliyet tahmini alanında neden vazgeçilmez olduğu açıkça ortaya çıkıyor. Spesifik olarak, maliyet tahmininde parametrik modellere olan güven, benzer projelerden elde edilen geçmiş verileri

titizlikle analiz etme yeteneklerinden kaynaklanmaktadır. Bu tarihsel perspektif, tahmin sürecini bilgilendiren, gerçeğe dayalı olmasını ve endüstri standartlarını yansıtmasını sağlayan bir kıyaslama sağladığı için çok önemlidir. Ayrıca, gerçek tahmin süreci başlamadan önce teslimat parametrelerinin belirlenmesinde parametrik modellerin özü göz ardı edilemez. Bu ön adım, eldeki projenin özelliklerini dikkate alarak daha doğru ve özel bir maliyet tahmini için zemin hazırladığından hayati öneme sahiptir. Ek olarak, parametrik modellerin kendilerinin ötesindeki varlıkları soyutlama ve tanımlama kapasitesi, bunların maliyet tahminindeki faydasını daha da vurgulamaktadır. Bu soyutlama, maliyeti etkileyebilecek çok çeşitli faktörlerin kapsanması ve böylece projenin bütünsel bir görünümünün sağlanması açısından faydalıdır. Ayrıca ağırlık, yapısal dayanıklılık ve maliyet gibi fiziksel özelliklerin bilgisayar gösterimlerinin parametrik modellere dahil edilmesi, maliyet tahmin sürecini zenginleştirir. Bu temsiller, projenin daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasına olanak tanıyarak tahmincilerin projenin fiziksel gerçeklerini yansıtan bilinçli kararlar almasına olanak tanır. Toplu olarak, parametrik modellerin bu özellikleri, maliyet tahminine yönelik kapsamlı ve bilinçli bir yaklaşımı kolaylaştırarak bu alandaki karmaşanın giderilmesini sağlamaktadır.

Tasarımda parametrik modellemenin temeline dayanan maliyet tahminlerinin geliştirilmesi, benzer özgüllük ve uyarlanabilirlik ilkelerini içerir ancak odak noktasını finansal değerlendirmeye kaydırır. Bu süreçteki ilk adım, tasarım seçimlerinin finansal sonuçlarını doğru bir şekilde tahmin etmek için kritik bir araç olarak hizmet eden tahmin için bir algoritmanın kullanılmasını içerir. Bu algoritmik yaklaşım, hem doğrudan hem de dolaylı maliyetlerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesiyle tamamlanır ve üretim ve tasarım sürecinin tüm mali yönlerinin hesaba katılmasını sağlar. Ayrıca üretim sürecinden malzeme tedarik stratejisine kadar üretimin her bileşeni ayrı bir maliyet unsuru olarak incelenir. Bu ayrıntılı analiz, harcamaların nerede gerçekleştiğinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına olanak tanır ve maliyet tahminlerinin geliştirilmesinde üretim teknikleri, malzeme tedariki ve sürdürülebilirlik girişimleri gibi çok çeşitli faktörlerin dikkate alınmasının önemini vurgular. Bu titiz süreç sayesinde, maliyet tahmini basit parasal değerlerin ötesine geçerek, projenin mali kapsamı hakkında daha incelikli bir görünüm sağlamak için kişi/gün gibi ölçümlerle örneklenen bir çaba değerlendirmesini içerir. Bu yaklaşım yalnızca proje maliyetlerinin daha doğru tahmin edilmesini kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda projeler geliştikçe ayarlamalar yapılmasına da olanak tanır ve maliyet tahminlerinin projenin teslim tarihinin de sağlıklı olarak garanti altına alınmasına katkıda bulunur.

Parametrik modellemenin tasarım öğelerini etkili bir şekilde manipüle etme yeteneğinin temeline dayanarak, bir parametrik model için değişkenlerin tanımlanması ve seçilmesi, onun faydasını salt tasarım ayarlamalarının ötesine genişletmede önemli adımlardır. Bu süreç, parametrik maliyet hesaplama tekniğinin maliyet, zaman ve kapsam gibi kritik değişkenleri tahmin etmedeki tarihsel başarısının da vurguladığı gibi, doğası gereği yöntemin doğru proje tahmini kapasitesine bağlıdır [35]. Parametrik tahmin, proje parametrelerini tahmin etmek için geçmiş proje verilerinden yararlanarak algoritmik veya istatistiksel analizden yararlanır ve böylece karar verme için niceliksel bir temel oluşturur. Bu yaklaşım, geçen yüzyılda iyi kabul görmüş matematiksel denklemlere dönüşen parametrik modellerin geliştirilmesindeki zengin bir tarih tarafından desteklenmektedir. Bu denklemler genellikle proje değişkenlerini modellemek için en etkili algoritmaları belirlemeyi amaçlayan doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizlerinin birleşiminden kaynaklanır. Sonuç olarak, parametrik bir modelde değişkenlerin tanımlanması ve seçimi keyfi değildir; proje planlama ve yürütmeyi optimize etmek için tarihsel öngörüyü istatistiksel metodolojilerle harmanlayan titiz bir analitik süreç tarafından bilgilendirilirler.

Doğru parametrik modellerin geliştirilmesi, özellikle çelik imalatları, mekanik ve elektrik tesisat işleri gibi çeşitli disiplinlerde yöntemin verimli bir şekilde kullanılmasında çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Yöntem, büyük veri kümelerini analiz ederek ortalama %70'lik bir verimlilik oranına ulaşmayı hedeflerken, bu amaç, modelleme sürecini bilgilendirmek için büyük miktarda verinin işlenmesi ve yorumlanmasındaki doğal zorluğun altını çizer. Ayrıca, parametrik modellerin doğruluğu ve güvenilirliğinde önemli bir faktör olan doğrudan çalışma saatlerinin belirlenmesi, zaman ve yöntem çalışmalarından elde edilen verilerin yanı sıra malzeme üretimi ve hazırlanması ile ilgili çeşitli operasyonlarla ilgili gerçek maliyetlerin titizlikle analiz edilmesini gerektirir. Bu karmaşıklık, adam-saat yönteminin bir tahmin tekniği olarak hizmet ettiği, aslında adam-saat cinsinden doğrudan emeği tahmin etmek için özel olarak tasarlanmış bir yöntem olduğu şeklindeki yanlış kanı ile daha da artmaktadır. Bu ayrım, hassas veri analizinin ve işçilik maliyetlerini doğru bir şekilde tahmin etmek için özel tekniklerin uygulanmasının önemini vurguladığından, doğru parametrik modeller geliştirmek için kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, doğru parametrik modellerin geliştirilmesindeki zorluklar, yalnızca veri analizi ve uygulamasının teknik yönlerini değil aynı zamanda adam-saat yöntemi gibi belirli metodolojilerin doğru anlaşılmasını ve kullanılmasını da içerir.

Parametrik modellerin doğruluğunun değerlendirilmesi, çeşitli metodolojileri ve varsayımları birleştiren incelikli bir yaklaşım gerektiren karmaşık bir süreçtir. Temel yöntemlerden biri, ağırlıklı olarak regresyon tekniklerine dayanan verimlilik ölçümlerinin kullanılmasını içerir. Bu teknikler tipik olarak tek bir çıktıyı tahmin etmek için birden fazla girdi kullanır ve model doğruluğunun temel bir değerlendirmesini sunar [35]. Bunun ötesinde, literatür bu modellerin doğruluğunun, ölçeğe göre değişken getiriler varsayılarak teknik verimliliğin ölçülmesiyle daha fazla değerlendirilebileceğini öne sürmektedir. Bu yöntem, modelin ölçekteki değişikliklere ne kadar iyi uyum sağladığına dair fikir sağlar ve bu, modelin farklı senaryolara uygulanabilirliğini anlamak için çok önemlidir [36]. Ek olarak, CCR (Charnes, Cooper ve Rhodes) modeli, ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında etkinlik sınırını çözerek başka bir karmaşıklık katmanı ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım özellikle girdi-çıktı ölçeklerinin sabit kalacağının varsayıldığı ortamlarda parametrik modellerin doğruluğunun değerlendirilmesi için kullanışlıdır [36]. Bu metodolojiler birlikte, parametrik model doğruluğunu değerlendirmenin çok yönlü sürecinin altını çizerek ölçeğe göre hem değişken hem de sabit getirilerin öneminin yanı sıra model değerlendirmesinin ilk aşamalarında regresyon tekniklerinin kritik rolünü vurgulamaktadır.

Parametrik modellerin temel kısıtlamalarından biri, farklı veri türlerini ve yapılarını ele almadaki esnek olmamalarında yatmaktadır. Önceden tanımlanmış matematiksel modellere oldukça bağımlı olan parametrik modeller, genellikle karmaşık sistemleri önemli basitleştirmeler olmadan doğru bir şekilde modellemede zorluk çeker, bu da tahminde hatalara ve model etkinliğinin azalmasına yol açabilir [37].

Parametrik modellerin temel anlayışını temel alarak, karar verme birimlerinin daha iyi maliyet tahmini doğruluğu için bu modellerden nasıl yararlanabileceğini düşünmek çok önemlidir. Girdi değişkenlerini sıkı kontrol altında tutarak, KVB'ler çıktı değişkenlerini doğrudan etkileyebilir, böylece maliyet tahminlerinin kesinliği arttırılabilir [38]. Bu yaklaşım ayrıca doğrusal programlama tabanlı, parametrik olmayan bir teknik olan Veri Zarflama Analizinin (DEA) uygulanmasıyla tamamlanmaktadır. DEA, KVB'lerin göreceli verimliliklerini ayrı ayrı belirlemede üstündür ve böylece maliyet tahmini doğruluğunun iyileştirilmesi konusunda benzersiz bir bakış açısı sunar [39]. Önceden belirlenmiş bir fonksiyona dayanmadan gözlem değerlerinden türetilen VZA tarafından belirlenen verimlilik sınırları, maliyet tahmini doğruluğunu arttırmak için sağlam bir temel sağlar [40]. Bu, belirli bir kâr düzeyi için etkili maliyet kombinasyonlarını hesaplayan girdi odaklı CCR

ve BCC modelleri için özellikle faydalıdır. Bu modeller, maliyet tahmini uygulamalarının iyileştirilmesinde parametrik ve parametrik olmayan yöntemler arasındaki sinerjiyi vurgulayarak parametrik modellerde [39] verimliliğe ulaşmak için referans noktaları görevi görür. Bu entegre yaklaşım sayesinde parametrik modeller önemli ölçüde iyileştirilebilir, böylece maliyet tahminlerinin yalnızca doğru olması değil aynı zamanda işletmenin gerçek operasyonel verimliliğini de yansıtması sağlanır.

Genel olarak, parametrik modellerin maliyet tahmin süreçlerine entegrasyonu, proje yönetimi uygulamalarında önemli bir ilerleme anlamına gelir ve maliyet tahminlerinin yalnızca doğru olmasını değil aynı zamanda işletmelerin gerçek operasyonel verimliliğini de yansıtmasını sağlar [40].

Uzman görüşleriyle maliyet oluşumu (sübjektif olasılık tahmini)

Özellikle Ar-Ge projelerinde öğrenmeyi teşvik eden, deneyimi ön plana çıkaran, yapıcı eleştiriye değer veren, hatalardan ders çıkaran ve şirket içindeki paydaşlarla açık iletişimi teşvik eden bir kültür bulunmaktadır. Bilgi, mühendislik projelerinde öğrenmeyi geliştirmede kritik bir rol oynar ve teknoloji odaklı projelerdeki davranışsal sonuçları ve başarıyı etkiler. Dolayısıyla Patanakul ve Aronson'un [41] makalesinde de belirtildiği gibi proje başarısı ile uzman ekip üyeleri arasında pozitif bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır. Karmaşık/büyük projelerde maliyet kalemlerinin tahmini için uzmanlara danışılır.

İlk kez teknolojik yatırım/geliştirme/Ar-Ge içeren faaliyetlerde ve geçmiş verilerin kullanılamadığı durumlarda kullanılır. Ancak uzman görüşleri çoğunlukla subjektif tahminlerdir. Uzmanın deneyimi, olaylar ve ortam tahminin doğruluğunu etkiler. Bu etkilerden kaçınmak için yüksek güvenilirliğe sahip tahmin bilgileri elde etmek, uzmana doğru soruların sorulmasını ve tahmin aralığının sınırlandırılmasını gerektirir. Belirsizliğin subjektif bir formdan olasılıksal bir yapıya dönüşmesi "Sübjektif Olasılık Kodlaması" olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntem Edward Stowell (Lockheed Martin) tarafından geliştirilmiş ve NASA tarafından kullanılmıştır [26, 42]. Grabov ve Sommer tarafından belirtilen bu yöntemle, uzmanlardan zaman ve/veya maliyet tahminleri istendiğinde, aşağıdaki biçimde puanlanmaktadır [43]:

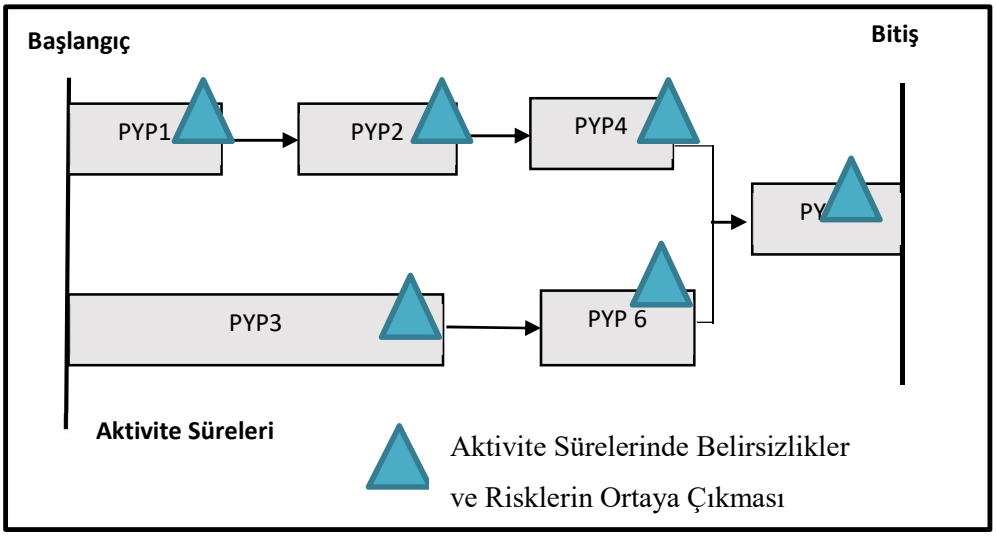
- Kendine çok çok güveniyor (5 puan)
- Kendinden çok emin (4 puan)

- Kendinden emin (3 puan)
- Kendine daha az güveniyor (2 puan)
- Kendine güvenmiyor (1 puan)

En uygun değere ilişkin güven aralığını belirlemek için değerler beş puanlık ölçekte değerlendirilir. Bu yöntemde zaman ve/veya maliyet tahmini için bir uzmana danışılır. Tahmin edilecek konu için "en kötü senaryo", "olasılık" ve "en iyi senaryo"yu temsil eden üç değer istenir. Bu değerlendirme ile her uzman görüşü, bu tahminlere karşılık gelen olasılık dağılım fonksiyonlarına kodlanır. Makalede belirsiz uzman görüşlerinin Beta dağılımına karşılık geldiği açıklanmaktadır. Daha sonra Monte Carlo simülasyonu kullanılarak model çıktısı, biri toplam maliyet, diğeri potansiyel tamamlanma tarihleri olmak üzere iki dağılımı karakterize etmek için hesaplanır. Bu dağılımlar, maliyet tahmini ve beklenen tamamlanma tarihi ile ilgili belirsizliği yansıtmaktadır. Model, proje zaman çizelgesi boyunca önceden tanımlanmış Kontrol Noktalarında yinelemeli olarak kullanılır. Proje belirsizliğini izlemek ve kontrol etmek için özel olarak uyarlanmış bir Kontrol Tablosu kullanılır. Bu, hesaplanan belirsizliğin proje zaman çizelgesine göre grafiğinin çizilmesi ve bunun kabul edilebilir bir Kontrol Limiti ile karşılaştırılması yoluyla yapılır. Özetle temel fark, proje yaşam döngüsü boyunca belirsizliğin açıkça modellenmesi ve izlenmesinin, geleneksel proje yönetimi uygulamalarının yerleşik varsayımlarıyla çelişmesidir.

Projenin kümülatif maliyet dağıtım fonksiyonu ve toplam maliyeti

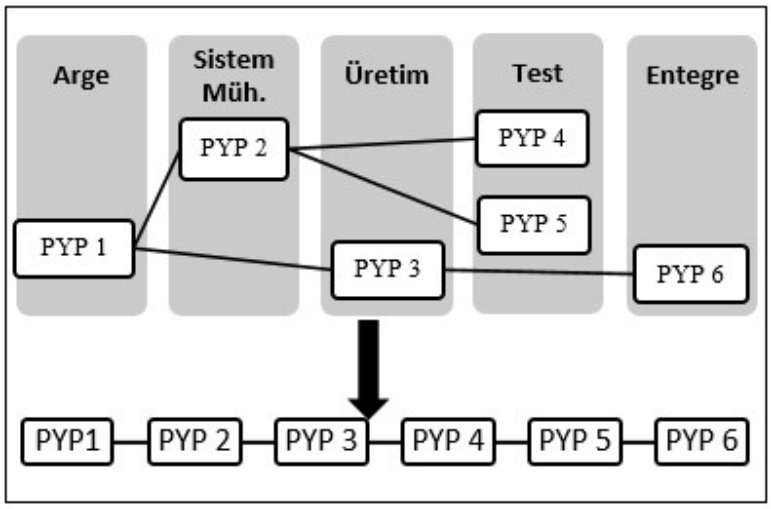
Daha önce de belirtildiği gibi bir projenin toplam maliyeti, projenin tüm alt unsurlarındaki maliyetlerin toplamıdır. Şekil 6.3.'te gösterildiği gibi faaliyetlerdeki belirsizlikler zamanlamanın üzerine bindiğinden deterministik proje programı stokastik hale gelir. Bu yapı aynı zamanda projedeki görevlerin maliyet oluşumunu da temsil eder. Proje sistemi çok bileşenli bir sistemdir. Çok bileşenli bir sistemin güvenilirliği, sistemi oluşturan unsurların güvenilirliğine bağlıdır. Bu bağlamda, proje takvimine dahil edilen faaliyetler, tüm sistemin kümülatif maliyetinin hesaplandığı çok unsurlu bir güvenilirlik sistemine karşılık gelmektedir.



Şekil 6.3. Belirsizlik altında çizelgeleme

6.2. Çok Bileşenli Proje Çizelgesinin, Seri Güvenilirlik Yapısına Dönüşümü

Bir projenin toplam maliyeti, projenin tüm alt unsurlarındaki maliyetlerin toplamıdır. Proje sistemi çok bileşenli bir sistemdir. Çok bileşenli bir sistemin güvenilirliği, sistemi oluşturan unsurların güvenilirliğine bağlıdır. Bu bağlamda, proje takvimine dahil edilen faaliyetler, tüm sistemin kümülatif maliyetinin hesaplandığı çok unsurlu bir güvenilirlik sistemine karşılık gelir. Bu şekilde kümülatif olarak hesaplanan sistem, tüm sistemin seri bir sistem haline gelmesini sağlar (Şekil 6.4).

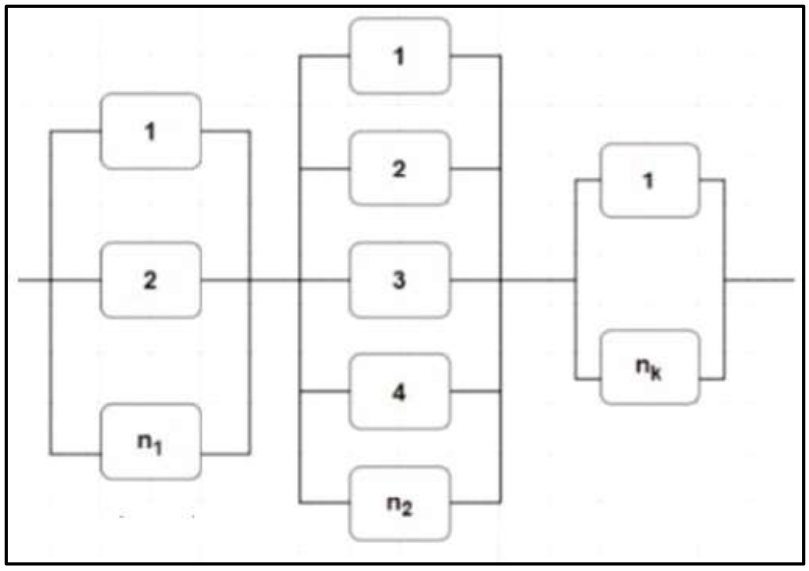


Şekil 6.4. Çok bileşenli proje çizelgesinin, seri güvenilirlik yapısına dönüştürülmesi

Belirsizliği azaltmak ve potansiyel risk faktörlerini kontrol etmek, proje planlarına "Çok bileşenli" güvenilirlik modellerini dahil ederek, güvenlik marjını zaman ve maliyet kısıtlamaları ile daha da daraltmak ve proje tutarlılığını artırmak suretiyle sağlanabilir.

Güvenilirlik mühendisliği alanında, yedekli sistemleri, sistemin çalışır durumda sayılması için n bileşenden en az k tanesinin düzgün çalışması gerektiği bir sistem yapılandırmasını ifade eder. Örneğin, k=2 ve n=3 olan bir k-n sistemini düşünelim. Bu sistemde, 3 bileşenden en az 2'si düzgün çalışıyorsa, sistem çalışır durumda kabul edilir. Bu yapılandırma, yedekliliği sağlar ve sistemin genel güvenilirliğini artırır.

Savunma sanayi, teknoloji ve diğer kritik sektörlerin önemli olduğu projelerde birden fazla tedarikçi, taşeron ve araştırma alternatifinin değerlendirilmesi esastır. Bunun en iyi örneklerinden biri, Covid-19 pandemisi sırasında dünya genelinde ve Türkiye'de birçok aşı çalışmasının eşzamanlı olarak başlatılmasıdır. Projenin güvenilirlik yapısı için seri hale getirilmiş proje güvenilirlik modeli, aynı görev için alternatif tanımlamak üzere aşağıdaki yapıya dönüştürülmüştür.



Şekil 6.5. Seri güvenilirlik yapısının, yedekli yapıya dönüştürülmesi

Proje planları, belirli bir güven aralığında, zamanda ve maliyette maksimum güvenilirlikle tamamlanabilir. Bir proje yönetimi bakış açısından, Proje Takvimi, her seri sistem öğesinin yedeklenmesi ve paralel hale getirilmesi veya yüksek güvenilirlikli öğelerle

değiştirilmesiyle seri bir sisteme dönüşür. Bu bağlamda, matematiksel problem, belirli maliyet ve zaman kısıtları altında genel proje güvenilirliğini maksimize etmek olarak ele alınmalıdır. Modelde dikkate alınması gereken önemli nokta, yedekleme gerektiren faaliyetlerin seçiminin belirlenmesidir.

Daha sonra açıklanacak olan model karar değişkeninin doğrusallığı, kısıtlamaların doğrusal kaldığı 0-1 karma tamsayılı programlama alanına dahil edilebilir. Bu bakış açısından literatür incelendiğinde, Balas'ın çözüm yöntemlerinin öncelikli olduğu ortaya çıkar [18-19]. 1970'lerde, Hansen, Taha ve Misra tarafından metodolojiler geliştirilmiştir [20-22]. Daha sonra, 2000'lerden itibaren daha hızlı çözüm yöntemleri ortaya çıkmıştır. Bu model aracılığıyla, güvenilirliği maksimize ederken zamanı ve maliyeti minimize eden proje yapı öğelerinin seçimi kolaylaştırılır [44-45].

Model, güvenilirliği maksimize ederken hem zamanı hem de maliyeti minimize eden en uygun proje yapı öğelerinin seçimini sağlar. Matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir.

6.3. Proje Planlama İçin Güvenilirlik Optimizasyon Modeli

Proje planlama için güvenilirlik optimizasyon modellerinde değişken seti, J: Aktivite setini ve j: 1'den n'ye kadar aktiviteleri ifade eder. Karar değişkenlerinde, xj: Faktör indeksini ifade eder ve j aktivitesinin 0 ve 1 değeri alarak seçilip seçilmediğini belirtir. Parametreler ise, Rsys: Tüm sistemin güven sınırını, Rj: j aktivitesinin güven sınırını, Csys: Tüm sistemin maliyetini, Backup $_j$: Maksimum yedek/alternatif grup üyesi sayısını, Ssys: Tüm sistemin tamamlanma süresini ve cj: j aktivitesinin tamamlanma süresini ifade eder.

Karar eşitliği aşağıda verildiği gibidir (Eş. 6.3):

$$\text{Maksimize Rsys} = \prod_{j=1}^{n}\left[1-(1-Rj)^{xj}\right] \tag{6.3}$$

Bu eşitliğe ilişkin kısıtlar aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir (Eş. 6.4-6.7):

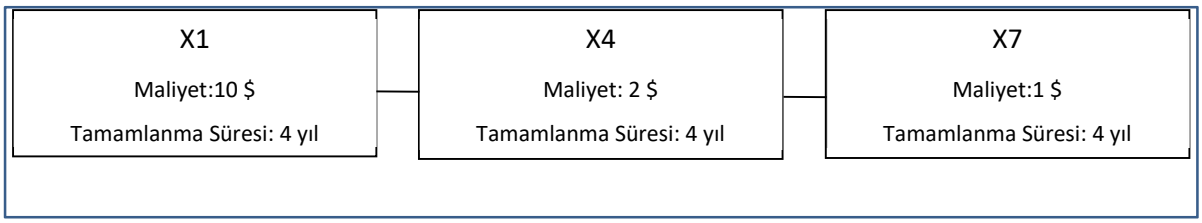
$$\sum_{j=1}^{n} cj(xj) \le Csys \tag{6.4}$$

$$\sum_{j=1}^{n} sj(xj) \leq Ssys \tag{6.5}$$

$$\sum_{j=1}^{n} (xj) \leq Backupj \tag{6.6}$$

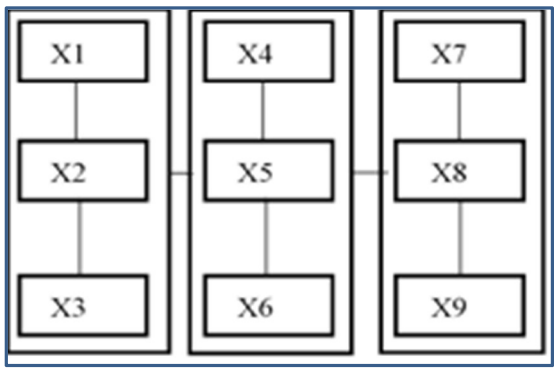
$$xj = \{0,1\} \ \forall \ j \in J \tag{6.7}$$

Örneğin seri olarak bağlı üç proje yapı planı öğesi (etkinlik) içeren bir projemiz olduğunu varsayalım. Faaliyetler x_1, x_4 ve x_7 olsun (Şekil 6.6.). Bu durumda, projenin toplam beklenen maliyeti 10+2+1=13 milyon dolar ve projenin toplam tamamlanma süresi 4+4+4=12 yıldır.



Şekil 6.6. Örnek problemin seri proje yapı planı

Projenin güvenilirliği 0.7*0.7*0.8=0.392'dir. Başka bir deyişle, proje yaklaşık olarak %40 olasılıkla, 12 yıl içinde, 13 milyon dolara tamamlanacaktır. Ancak, % 40'lık güvenilirlik katsayısı oldukça düşüktür. Tüm proje güvenilirliğini artırmak için her etkinliği benzer bir etkinlikle değiştirmek gerekebilir. Örneğin, x1 etkinliği tasarlanıyorsa, farklı süre/çözüm/alt yüklenici gibi alternatifler oluşturulmalı ve bu alternatifler, aşağıdaki şekilde olduğu gibi seri proje yapı planında yeniden oluşturulmalıdır. Bu örnekte; x2 ve x3, x1 için alternatif; x5 ve x6, x4 için alternatif; ve x8 ve x9, x7 için alternatifdir (Şekil 6.7).



Şekil 6.7. Örnek problemin "yedekli" proje yapı planı

Katsayılar ve değişkenler Çizelge 6.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Örnek problemin katsayıları

Değişkenler	Süre (Yıl)	Maliyet (Mil. $)	Ortak Zaman-Maliyet Olasılığı
x1	4	10	0,7
x2	2	20	0,75
x3	10	50	0,99
x4	4	2	0,7
x5	1	10	0,75
x6	4	1	0,99
X7	4	1	0,80
X8	3	2	0,99
X9	1	5	0,99
Kısıtlar	<15	<25	

Varsayalım ki; en fazla 1 alternatif 1. alternatif grubundan, en fazla 2 alternatif 2. gruptan ve en fazla 1 alternatif 3. gruptan seçilebilir. Bu durumda karar fonksiyonunun matematik modeli aşağıdaki gibi olur (Eş. 6.8). Buna ait kısıtlar izleyen eşitliklerde listelenmiştir (Eş. 6.9-6.13). Bu eşitliklerde tüm $x_i=1$ ve i=1, …, 9 değerlerini alır.

Karar Fonksiyonu:

Maksimizasyon $(1-(0,3x_1)*(0,25x_2)*(0,01x_3)*(1-(0,3x_4)*(0,25x_5)*(0,01x_6))$ (6.8)

$x_1+x_2+x_3=1$ (6.9)

$x_4+x_5+x_6=1$ (6.10)

$x_7+x_8+x_9=2$ (6.11)

$4x_1+2x_2+10x_3+4x_4+x_5+6x_6=15$ (6.11)

$10x_1+50x_3+20x_2+2x_4+10x_5+x_6=25$ (6.13)

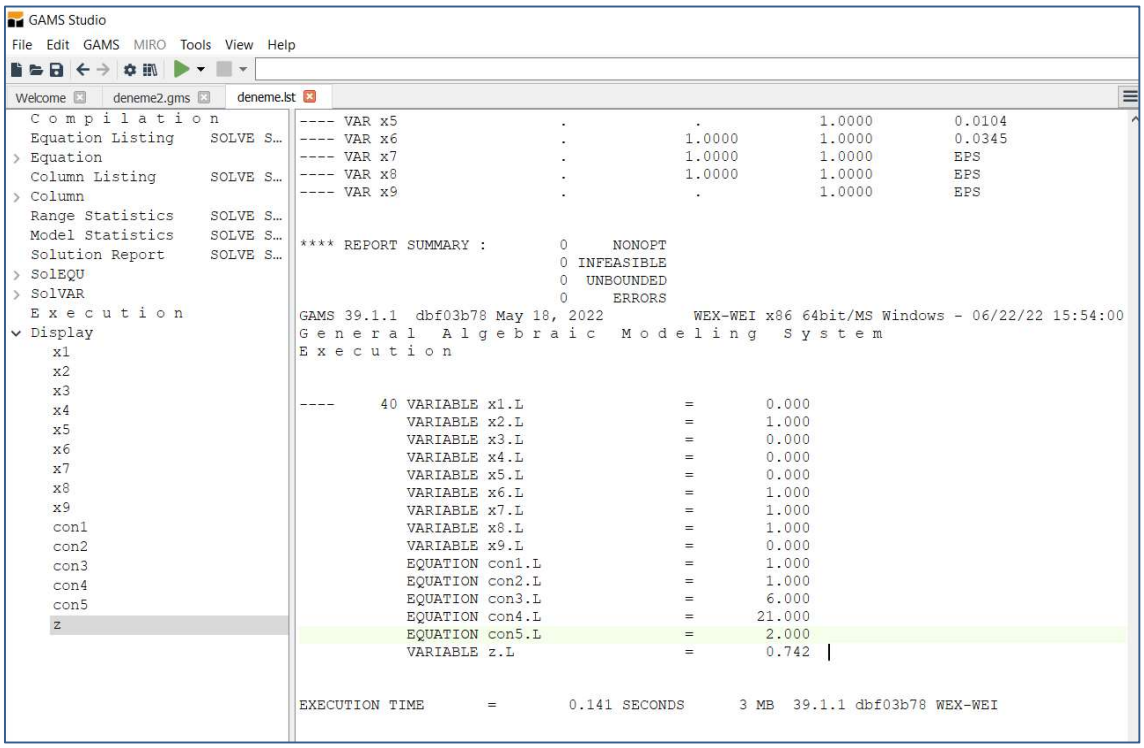
7. ARAŞTIRMA BULGULARI

Optimizasyon modelinden, geliştirilmiş güvenirliğe katkıda bulunan seçilen alt aktiviteler, x2, x7, x8'dir.

Sonuçlar ve iyileştirmeler aşağıda sıralanmıştır:

- Başlangıç güvenirliği. % 40
- Optimize edilmiş güvenirlik: % 74,2
- Güvenirlik iyileştirmesi %74,2 - % 40= % 34,2
- Güvenirlikte yüzde artış: % 85,5

Model GAMS BARON ile çözülmüştür. Bu problemin GAMS BARON kütüphanesi ile kodlanması ve optimal çözümü Şekil 7.1'de verilmiştir [46].



Şekil 7.1. Problemin GAMS ile sonucu

Bu gelişme, proje planlama ve güvenilirlik mühendisliğinde optimizasyon tekniklerinin etkinliğini göstermektedir.

Bu çalışmanın öne çıkan bulguları şunlardır:

- Proje güvenilirliği, müşteri memnuniyetini sağlamak, proje başarısızlığıyla ilişkili riskleri ve maliyetleri en aza indirmek ve organizasyonun itibarını ve güvenilirliğini artırmak için hayati öneme sahiptir.
- Güvenilir bir proje, teslimatların müşteri beklentilerini karşılamasını sağlar ve bu da müşteri memnuniyetini artırır.
- Güvenilir projeler, gecikmeler, yeniden çalışma ve bütçe aşımları gibi proje başarısızlığı ile ilgili riskleri ve maliyetleri azaltır.
- Proje planlarında maksimum güvenirliğe ulaşabilmenin çözümü için güvenilirlik yöntemleri önerilmekte ve yedekli sistemler kullanılarak proje güvenilirliği artırılmaktadır.
- Proje yönetiminde maliyet, zaman ve kalite üçgenindeki risklerin temel nedeni, belirsizliklerin projenin başlangıcında planlama sürecine dahil edilmemesidir.

Bu bulgular, proje yönetimi ve güvenilirlik konularında temel unsurları ele almaktadır ve proje başarısına ulaşmak, müşteri memnuniyetini sağlamak ve organizasyonun itibarını ve büyümesini sürdürmek için hayati öneme sahiptir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Proje güvenilirliği, farklı sektörlerdeki çeşitli projelerin başarısını ve sonuçlarını doğrudan etkileyen proje yönetiminin kritik bir yönüdür. Stratejik önlemler yoluyla proje güvenilirliğinin optimizasyonu, proje performansının arttırılması ve başarılı proje tesliminin sağlanması için odak noktası haline gelmiştir. Bu kapsamlı analiz, projelerin güvenilirliğini artırmak için kullanılabilecek çeşitli yöntem ve yaklaşımları keşfederek proje güvenilirliği optimizasyon stratejileri alanına girmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma, proje güvenilirliğine katkıda bulunan temel faktörleri inceleyerek ve optimizasyonun potansiyel faydalarını araştırarak, proje yöneticilerinin ve paydaşların projelerinin güvenilirliğini artırmalarına yardımcı olabilecek bilgiler ve öneriler sağlamayı amaçlamaktadır. Optimizasyon stratejilerinin kapsamlı bir incelemesi yoluyla bu çalışma, proje güvenilirliğinin önemine ışık tutmayı ve kuruluşların etkili optimizasyon uygulamaları yoluyla daha iyi proje sonuçlarına nasıl ulaşabilecekleri konusunda değerli bilgiler sunmayı amaçlamaktadır.

Proje güvenilirliği optimizasyonu, kurumsal güvenilirliği, müşteri memnuniyetini ve genel proje sonuçlarını geliştirmeyi amaçlayan başarılı proje yönetiminin kritik bir yönüdür. Proje başarısızlıklarıyla ilişkili riskleri ve maliyetleri azaltarak, proje güvenilirliği optimizasyonu yalnızca teslimatların müşteri beklentilerini karşılamasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda müşterileri çekmeye ve elde tutmaya da yardımcı olur. Bir kuruluşun güvenilirliği ve itibarı, projelerin başarılı bir şekilde yürütülmesinde hayati bir rol oynar; güvenilir projeler bu temel hususları desteklemek için bir temel taşı görevi görür. Ayrıca güvenilir projeler, gecikmeler, yeniden çalışma ve bütçe aşımları gibi proje başarısızlıklarıyla ilgili risklerin ve maliyetlerin en aza indirilmesine katkıda bulunur ve sonuçta proje sonuçlarının iyileştirilmesine ve paydaş memnuniyetine yol açar.

Proje güvenilirliğinin önemi, tamsayı programlama gibi optimizasyon stratejileri yoluyla elde edilen proje güvenilirliğindeki önemli artışın kanıtladığı gibi, müşteri memnuniyeti ve proje hedeflerinin genel başarısı üzerindeki önemli etkisi ile daha da vurgulanmaktadır. Güvenilirlik teorisinin proje planlamasına entegre edilmesi, proje bileşenlerinin kapsamlı bir değerlendirmesine olanak tanıyarak tasarım, bakım ve operasyonel kararlara yardımcı olarak projenin belirli zaman çizelgeleri, bütçeler ve kalite standartları dahilinde başarısını garanti altına alır. Sonuçta, ayrıntılı proje planlamasına, risk yönetimine ve güvenilirlik teorisi

kapsamında alternatif faaliyetlerin uygulanmasına öncelik vermek, projenin güvenilirliğini ve başarı oranlarını önemli ölçüde artırabilir.

Çalışma, başarılı proje yönetiminin temel bir bileşeni olarak proje güvenilirliği optimizasyonunun hayati alanını ele alıyor. Bulgular, proje güvenilirliğini ve genel başarı oranlarını artırmak için titiz proje planlamasının, sağlam risk yönetimi stratejilerinin ve güvenilirlik teorisine dayalı alternatif faaliyetlerin entegrasyonunun önemini vurgulamaktadır. Proje başarısızlıklarıyla bağlantılı risklerin ve maliyetlerin azaltılmasını vurgulayan proje güvenilirliği optimizasyonu, yalnızca proje çıktılarının müşteri beklentileriyle uyumlu olmasını sağlamak için değil, aynı zamanda müşteri memnuniyetini ve müşteriyi elde tutmayı teşvik etmek için de önemli bir mekanizma olarak ortaya çıkıyor. Bu tartışma, proje güvenilirliği optimizasyonunun kurumsal güvenilirliğin artırılması ve proje sonuçlarının iyileştirilmesindeki önemli rolünü aydınlatıyor. Ayrıca, proje ortamlarının doğasında bulunan belirsizlikler ve karmaşıklıkların üstesinden gelmek için kapsamlı risk azaltma stratejilerine ve proaktif planlamaya öncelik vermenin öneminin altını çiziyor. Araştırma, proje güvenilirliği optimizasyonunun, müşteri memnuniyeti ve paydaş ilişkileri üzerindeki doğrudan etkisi yoluyla organizasyonel büyüme ve sürdürülebilirlik için bir katalizör görevi görme potansiyelinin altını çiziyor.

İleriye dönük olarak, gelecekteki araştırma çabaları, proje güvenilirliği optimizasyon stratejilerini daha da iyileştirmek ve proje başarı oranlarını artırmak için yeni yolların kilidini açmak için proje yönetiminde ileri teknolojilerin ve tahmine dayalı analitiğin uygulanmasını keşfedebilir. Akademik olarak proje güvenirliği optimizasyonun ilk kez denendiği bu çalışmanın ilerleyen dönemdeki çalışmalara, doğrusal olmayan farklı durumlar için farklı metodojilerle nasıl katkı sağlayacağı araştırılabilir. Pproje yapıları sonsuz tipte karar değişkeni karmasıyla karmaşık bir problem iken proje güvenilirlik yaklaşımının farklı çözüm yolları ile sadeleştirilmesi konuları araştırılabilir.

Genel olarak “Proje Güvenilirlik Programı” adlı bu çalışma, organizasyonel mükemmelliği ve müşteri odaklı sonuçları yönlendirmede proje güvenilirliği optimizasyonunun dönüştürücü potansiyelini vurgulayarak proje yönetimi alanına değerli bilgiler katmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Kelly, J.E. ve Walker, M.R. (1959). Critical path planning and Scheduling. *Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference Press*, 160–173.

2. Kelly, J.E. (1961). Critical-path planning and scheduling: Mathematical basis. *Operations Research*, 9, 296–320.

3. Gembicki, F. ve Haimes, Y. (1975). Approach to Performance and Sensitivity Multiobjective Optimization: The Goal Attainment Method. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 20(6), 769–771.

4. Deckro, R.F., Herbert, J.E., Verdini, W.A., Grimsrud, P.H. ve Venkateshwar, S. (1995). Non-linear multiple criteria st tradeoff. *Computers & Industrial Engineering*, 219-229.

5. Mohammadipour, F. S. ve Sadjadi, J. (2016). Project cost–quality–risk tradeoff analysis in a time-constrained problem. *Computers & Industrial Engineering*, 95, 111-121.

6. Batson, R. G. (1987). *Program Risk Analysis Handbook.* NASA Technical Memorandum, NASA Program Planning Office Program Development, 5-12.

7. Coit, D. W. ve Zio, E. (2019). The evolution of system reliability optimization. *Reliability Engineering, and System*, 192, 106690.

8. Coit, D. W. ve Liu, J. (2000). System Reliability Optimization with k-out-of-n Subsystems. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 7(2), 129-142.

9. Nath, R. ve Muhuri, P. K. (2024). A novel evolutionary solution approach for many-objective reliability-redundancy allocation problem based on objective prioritization and constraint optimization. *Reliability Engineering & System Safety*, 244, 109835.

10. Wang, D., Si, S., Cai, Z. ve Zhao, J. (2021). Reliability optimization of linear consecutive-k-out-of-n: F systems driven by reconfigurable importance. *Reliability Engineering, and System Safety,* 216*,* 107994.

11. Modibbo, U., Arshad, M. M., Abdalghani, O. ve Irfan, A. (2021). Optimization and estimation in system reliability allocation problem. *Reliability Engineering and System Safety*. Elsevier, 212(C).

12. Irfan M., Khan, S. Z., Hassan, N., Habib, M., Khan, S. ve Hassan, H. (2021). Role of Project Planning and Project Manager Competencies on Public Sector Project Success. *Sustainability*, 13(3), 1421.

13. Tao, R. ve Tam, C. (2012). System reliability optimization model for construction projects via system reliability theory. *Automation in Construction*, 340-347.

14. Tao, R. ve Tam, C. (2013). System reliability theory-base multiple-objective optimization model for construction projects. *Automation in Construction*, 54-64.

15. Sáenz-de-Cabezón, E. ve Wynn, H.P. (2011). Computational algebraic algorithms for the reliability of generalized k-out-of-n and related systems. *Mathematics and Computers in Simulation*, 68-78.

16. Lin, Y., Chang, P. ve Cho, Y. (2017). Reliability interval for a stochastic project network, constrained by budget and time. *Quality Technology & Quantitative Management*, 82-94.

17. Huang, D., Huang, C. ve Lin, Y. (2020). Exact project reliability for a multi-state project network subject to time and budget constraints. *Reliability Engineering, and System Safety*. Elsevier, 195(C).

18. Balas, E. ve Mazzola, J. B. (1984). Nonlinear 0-1 programming: I. Linearization techniques. *Mathematics The program*, 30, 1–21.

19. Balas, E. ve Mazzola, J. B., (1984). Nonlinear 0–1 programming: II. Dominance relations and algorithms. *Mathematics The program*, 30, 22–45.

20. Hansen, P. (1979). Methods of nonlinear 0-1 programming. *Annals of Discrete Mathematics*, 5, 53–70.

21. Taha, H.A. (1972). A Balasian-based algorithm for zero-one polynomial programming. *Management Science*, 18, 328–343.

22. Misra, K. ve Sharma, B. J. (1973). Reliability optimization of a system by zero-one programming. *Microelectronics and Reliability,* 12, 229-233.

23. Dubois, D. ve Guyonnet, D. (2011). Risk-informed decision-making in the presence of epistemic uncertainty. *International Journal of General Systems*, 40(2), 145-167.

24. Garvey, P. R. (2000). *Probability Methods for Cost Uncertainty Analysis: A Systems Engineering Perspective*, 6-11.

25. İnternet: Dezfuli, H., Benjamin, A., Everett, C., Maggio, G., Stamatelatos, M. ve Youngblood, R. (2011). *NASA Risk Management Handbook.* URL: https://ntrs.nasa.gov, Son Erişim Tarihi: 17.09.2024.

26. İnternet: Prince, A., (2018). *Programmatic Risk Analysis and the Joint Confidence Level*. URL https://ntrs.nasa.gov, Son Erişim Tarihi: 17.09.2024.

27. İnternet: Charles Hunt, C., Johnson, J., Coonce, T., Druker, E., Hamilton, B. A., Elliott, D., Gunderson, J., Parameswaran, J, Goddard, N., Wilson S. ve Taylor J. (2015). *Audit of NASA's Joint Cost and Schedule Confidence Level*. URL: https://oig.nasa.gov, Son Erişim Tarihi: 17.09.2024.

28. İnternet: NASA (2015). *Appendix G: Cost Risk and Uncertainty Methodologies*. https://www.nasa.gov, Son Erişim Tarihi: 17.09.2024.

29. İnternet: NASA (2015). *Cost Estimating Handbook.* URL: https://www.nasa.gov, Son Erişim Tarihi:17.09.2024.

30. İnternet: NASA (2013). *JCL Journey: A Look into NASA's Joint Cost and Schedule Confidence Level Policy.* URL: https://mediaex-server.larc.nasa.gov, Son Erişim Tarihi: 17.09.2024.

31. İnternet: NASA (1964). *Probability Functions for Random Responses*. URL: https://ntrs.nasa.gov, Son Erişim Tarihi: 17.09.2024.

32. Özmaden, M. Ş. ve Erdal, M. (2020). Konut yapılarının maliyet tahmininde kullanılan yöntemlerin performans analizi. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(4), 970-985.

33. Kara1, Ş. E. ve Şamlı, R. (2021). Yazılım projelerinin maliyet tahmini için WEKA'da makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırmalı analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi,* 415-426.

34. Özen, İ. (2020). Hastane maliyetlerinin yapısal analizi. *USBAD Uluslararası Sosyal Bilimler Akademi Dergisi, 2(4),* 908-926

35. Kanıt, R. ve Baykan, U. N. (2004). Bina yaklaşık maliyetinin çoklu doğrusal regresyon ile belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 7-4, 359.

36. Yurtcu, Ş. ve İçağa, Y. (2007). Bulanık doğrusal regresyona genel bir bakış. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi,* 2, 3743.

37. Karakaş, S. (2008). *Çoklu Doğrusal Bağlantı Problemi ve Yanlı Regresyon Tahmincileri*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

38. Özer, G., Gök, M. Ş. ve Merter, A. K. (2020). Proje maliyet tahmini: alternatif yaklaşımlar. *Journal of Yasar University*, 15, 272-279.

39. Özçelik, F. ve Avcı Öztürk, B. (2019). Girdi olarak maliyetlere yönelik veri zarflama analizi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 11(2), 1011-1028.

40. Hepsağ, A. (2007). *Parametrik Olmayan Regresyon ve Tahmin Yöntemleri: İMKB'de İşlem Gören Hisse Senetlerine Ait Piyasa Riskinin Tahmini Üzerine Bir Uygulama*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

41. Patanakul, P. ve Aronson, Z. H. (2011). Managing a group of multiple projects: do culture and leader's competencies matter? *Journal of Knowledge Economy*, 3(2), 217-232.

42. İnternet: NASA (2014). *NASA Space Flight Program and Project Management Handbook*, 334 URL: https://ntrs.nasa.gov, Son Erişim Tarihi: 17.09.2024.

43. Grabov, P. ve Sommer, A. (2016). Stochastic Model for project performance control. *Second International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering*, *Life Science and Operations Management.* Isreal: IEEE, 583-585.

44. Li, D., Wang, J. ve Sun, X. L. (2007). Computing exact solution to nonlinear integer programming: Convergent Lagrangian and objective level cut method. *Journal of Global Optimization,* 39, 127–154.

45. Anjidani, M. ve Effati, S. (2007). Steepest descent method for solving zero-one nonlinear programming problems. *Applied Mathematics and Computation*, 193, 197–202.

46. Sahinidis, N.V. (2011). *BARON: branch and reduce optimization navigator, user's manual ver. 4.0.* Urbana Champaign: Department of Chemical Engineering, the University of Illinois at Urbana Champaign.



Gazili olmak ayrıcalıktır