

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AR-GE PROJELERİNDE RİSK VE PERFORMANS
YÖNETİMİNDE ÖDÜL-CEZA MODELLERİ VE HİBRİT ÇOK
KRİTERLİ KARAR VERME KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ezgi Gül DİNÇER

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mühendislik Yönetimi Bilim Dalı

ŞUBAT 2025

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AR-GE PROJELERİNDE RİSK VE PERFORMANS
YÖNETİMİNDE ÖDÜL-CEZA MODELLERİ VE HİBRİT ÇOK
KRİTERLİ KARAR VERME KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ezgi Gül DİNÇER

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mühendislik Yönetimi Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Safiye Turgay

ŞUBAT 2025

Ezgi Gül DİNÇER tarafından hazırlanan “AR-GE PROJELERİNDE RİSK VE PERFORMANS YÖNETİMİNDE ÖDÜL-CEZA MODELLERİ VE HİBRİT ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME KARŞILAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması 28.02.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı **Mühendislik Yönetimi** Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans teziolarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz İpek Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Safiye Turgay (Danışman) Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Dr. Öğr. Üyesi Fatih Varçın Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “AR-GE PROJELERİNDE RİSK VE PERFORMANS YÖNETİMİNDE ÖDÜL-CEZA MODELLERİ VE HİBRİT ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME KARŞILAŞTIRILMASI KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(28/02/2025).

(imza)

Ezgi Gül DİNÇER





Eşime ve aileme,



TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimin her aşamasında yanımda olan ve desteğini her daim hissettiren sevgili aileme, tezimin her aşamasında bana yol gösteren saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Safiye Turgay’a ve tez çalışmam boyunca fikirlerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli eşim Furkan Kemal Dinçer’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



Ezgi Gül Dinçer



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3. METODOLOJİ	13
3.1. Ödül-Ceza Çerçevesinin Geliştirilmesi	13
3.2. Performans Metriklerinin Tanımlanması	14
3.3. Ödül ve Ceza Kriterlerinin Belirlenmesi	15
3.4. Belirsizliklerin Yönetimi: Monte Carlo Simülasyonu	15
3.4.1. Monte Carlo simülasyonunun matematiksel modeli	16
3.4.2. Rastgele örnekleme	16
3.4.3. Varyans ve Yakınsama	17
3.4.4. Monte Carlo tahminleri için güven aralığı	17
3.4.5. Monte Carlo simülasyonundaki adımlar ve işleyişi	17
4. HESAPLAMA YÖNTEMİ	21
4.1. Hesaplama Yöntemi Yapısına Genel Bakış	21
4.2. Ödül Fonksiyonu	22
4.3. Ceza Fonksiyonu	23
4.4. Net Teşvik Fonksiyonu	23
4.5. Risk ve Belirsizlik İçin Ayarlama	24
4.6. Beklenen Teşvikler İçin Monte Carlo Simülasyonu	24
4.7. Proje Seçimi	25
4.8. Proje İzleme ve Kontrol	25
5. UYGULAMA	27
5.1. Çalışmanın Amacı	27
5.2. Süreç Adımları	27
6. SONUÇLAR	41
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	49



KISALTMALAR

Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
IRR	: İç Verim Oranı
MAUT	: Multi- Attribute Utility Theory (Çok Nitelikli Fayda Teorisi)
MCDM	: Multi – Criteria Decision -Making
MOORA	: Multi-objective Optimization By Ratio Analysis (Oran Analizi ile Çok Amaçlı Optimizasyon)
NEV	: Net Beklenen Değer
NPV	: Net Bugünkü Değer
SWARA	: Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (Aşamalı Ağırlık Değerlendirme Oranı Analizi)



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Literatür incelemesi.....	7
Tablo 2.2. Literatür araştırması özeti.	9
Tablo 5.1. Ar-Ge projesinde risk yönetimi değişken değerleri.	32
Tablo 5.2. Temel durum senaryosu: çıktıların özeti.....	35
Tablo 5.3. Kasa çalışmasında kullanılan ödül ve ceza oranları tablosu	35
Tablo 5.4. Senaryolar arası sonuçların karşılaştırılması.....	37



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Tez özeti akış şeması.	3
Şekil 3.1. Ar-Ge proje değerlendirmelerinde ödül-ceza modellerinin entegrasyonu için önerilen çerçeve.	14
Şekil 3.2. Monte Carlo simülasyonu akış diyagramı.	19
Şekil 5.1. Nihai ağırlıkların belirlenmesi akışı	28
Şekil 5.2. Uygulama özeti akış şeması.....	38





AR-GE PROJELERİNDE RİSK VE PERFORMANS YÖNETİMİNDE ÖDÜL- CEZA MODELLERİ VE HİBRİT ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) projeleri, modern ekonomilerin yenilik kapasitesini artırmada ve uzun vadeli rekabet avantajı sağlamada kritik bir rol oynar. İlaç, teknoloji, enerji ve imalat gibi sektörlerde temel itici güç olan bu projeler, genellikle önemli yatırım, zaman ve kaynak gerektirir. Ancak Ar-Ge projeleri, sıklıkla belirsizlik ve karmaşıklıkla çevrilidir. Zaman, maliyet, teknik uygunluk ve piyasa koşulları gibi faktörler etrafında şekillenen bu belirsizlikler, gecikmelere, bütçe aşımına veya beklenen hedeflere ulaşılamamasına neden olabilir.

Geleneksel proje yönetimi yöntemleri, Ar-Ge projelerindeki bu karmaşıklıkları yönetmede genellikle yetersiz kalmaktadır. Yalnızca maliyet ve zaman kısıtlarına odaklanmaları, proje hedeflerine daha geniş bir perspektiften bakmayı ihmal etmelerine neden olur. Bu durum, modern Ar-Ge yönetiminde yenilikçi ve entegre yaklaşımlara olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Ödül-ceza modelleri, bu bağlamda önemli bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu modeller, projelerin zamanında ve bütçe dahilinde tamamlanmasını teşvik etmek için finansal ödüller sunarken, performans eksikliklerinde disiplin sağlamak amacıyla cezalar uygular. Bu sayede, kısa vadeli operasyonel hedefler ile uzun vadeli stratejik hedefler uyumlu hale getirilir.

Ödül-ceza modelleri, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) teknikleriyle birleştirildiğinde, Ar-Ge projelerinde risk ve performans yönetimi için kapsamlı bir yaklaşım sunabilir. SWARA, MOORA, GRAVITY ve ENTROPY gibi ÇKKV yöntemleri, risk faktörlerinin sistematik bir şekilde önceliklendirilmesine ve ağırlıklandırılmasına olanak tanır. Bu kombinasyon, yalnızca risk yönetimine değil, aynı zamanda proje çıktılarının optimize edilmesine de katkıda bulunur.

Monte Carlo simülasyonları, bu çerçevenin önemli bir bileşenidir. Bu yöntem, belirsizliklerin etkisini analiz etmek ve olasılık temelli tahminler sunmak için kullanılmıştır. Özellikle zaman, maliyet ve teknik uygunlukla ilgili riskleri değerlendirmede etkilidir. Bu yaklaşım kullanılarak, proje başarısızlığı riski azaltılır ve daha verimli yönetim süreçleri oluşturulur.

Bu entegre yaklaşım, Ar-Ge projelerinin yönetiminde şu avantajları sunar: bütçe ve zaman çizelgesine uyumu iyileştirir, yenilikçi çıktıları maksimize eder ve ekip motivasyonu ile hesap verebilirliği güçlendirir. Tez, Ar-Ge projelerinde hem risk yönetimini hem de performans teşviklerini içeren yenilikçi bir çerçeve önermektedir. Bu metodolojik yaklaşım, teori ve pratiği birleştirerek yöneticilere daha etkili karar verme araçları sunmayı amaçlamaktadır. Önerilen model, sektörel vaka çalışmalarıyla desteklenmiş ve çeşitli örneklerle uygulanabilirliği tartışılmıştır.

Ar-Ge projelerinde risk yönetimi ve performans temelli teşvik sistemleri, literatürde önemli bir ilgi alanıdır. Geleneksel yöntemlerin projelerdeki belirsizlik ve karmaşıklığı ele almada başarısız olması, yenilikçi değerlendirme ve yönetim

yaklaşımlarına olan talebi artırmıştır. Bu tez, ödül-ceza modellerinin teorik temellerini ve uygulamalarını inceleyerek, Ar-Ge projelerinde risk ve performans yönetimi için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır.

Geleneksel yöntemler, Net Bugünkü Değer (NBD) ve İç Verim Oranı (İVO) gibi finansal metrikler üzerinde odaklanırken, performans kilometre taşları ve iş birliği gibi faktörleri genellikle göz ardı eder. Yenilik süreçlerini ölçmek için daha geniş operasyonel metrikler gereklidir. Ödül-ceza modelleri, ekipleri erken tamamlama ve maliyet tasarrufu gibi hedeflere ulaşmaya teşvik ederken, gecikmeler veya yetersiz performans durumunda cezalar uygular. Bu mekanizmalar, ekip motivasyonunu artırır ve hesap verebilirlik ilkelerini güçlendirir.

Ar-Ge projeleri, yüksek düzeyde belirsizlikle karakterize edilir. Monte Carlo simülasyonları gibi araçlar, olasılık temelli tahminler sunarak başarısızlık riskini azaltmaya yardımcı olur. Teşvik mekanizmaları, ilaç sektöründe klinik denemeleri hızlandırmak veya otomotiv sektöründe performans hedeflerine ulaşmak için kullanılmıştır. Bu modeller, sektöre özgü ihtiyaçlara uyarlanabilir.

SWARA, MOORA, GRAVITY ve ENTROPY gibi ÇKKV teknikleri, risklerin önceliklendirilmesinde ve performans hedeflerinin optimize edilmesinde etkilidir. TOPSIS ve gri sistem teorisi gibi yöntemler de belirsizlik yönetimine yardımcı olur. Teşvik mekanizmalarıyla birleştirildiğinde, bu yaklaşımlar başarıyı artırmaya katkıda bulunur. Örneğin, enerji sektöründe yeniliği teşvik etmek için ödüller kullanılırken, savunma sanayisinde başarısızlık riskini azaltmak için cezalar uygulanmıştır.

Yapay Zeka (YZ) ve büyük verinin ÇKKV teknikleriyle entegrasyonu, sektöre özgü modellerin geliştirilmesi ve kültürel etkilerin incelenmesi, literatürde ortaya çıkan yeni konulardır. Bu inceleme, Ar-Ge projelerinde risk yönetimi ve teşvik mekanizmaları üzerine kapsamlı bir literatür çerçevesi sunarak, yenilikçi çözümler için bir yol haritası önermektedir.

Bu tez, Ar-Ge projelerinin performansını optimize etmek için ödül-ceza çerçevesine dayalı bir model geliştirmektedir. Model, zaman, maliyet ve teknik başarı gibi performans göstergelerine dayalı olarak projeleri yönetmeyi ve değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Performans ölçümleri, risk yönetimi ve stratejik hedeflerle uyum gibi temel unsurları içermektedir. Proje değerlendirmesi için üç ana ölçüm alanı belirlenmiştir: zamana dayalı (kilometre taşları, erken tamamlama ve program uyumu), maliyete dayalı (bütçe yönetimi ve maliyet verimliliği) ve teknik performans (yenilik çıktıları, kalite ve teknik başarılar). Ödül-ceza kriterleri, erken teslimat, bütçe tasarrufu ve yenilik hedeflerinin aşılmasını ödüllendirirken, gecikmeler, bütçe aşımaları ve teknik başarısızlıklar için cezalar uygular.

Monte Carlo simülasyonları, belirsizlikleri modellemek ve risk-ödül dengesini anlamak için kullanılmıştır. Bu yöntem, farklı senaryolardaki olasılık dağılımlarını analiz eder. Bu mekanizmanın uygulanabilirliği, ilaç ve teknoloji sektörlerinden örneklerle gösterilmiş ve klinik araştırma ile ürün geliştirme süreçlerindeki etkinliği kanıtlanmıştır.

Teşvikler ve cezaların hesaplanması için matematiksel formüller geliştirilmiştir. Örneğin:

Ödül: $\text{Ödül} = (\text{Hedef Süre} - \text{Gerçek Süre}) \times \text{Zaman Katsayısı}$

Ceza: $Ceza = (Gerçek\ Maliyet - Hedef\ Maliyet) \times Maliyet\ Katsayısı$
Bu yöntem, etkili kaynak tahsisi, stratejik hedeflerle uyumlu karar verme ve hesap verebilirlik sağlayarak Ar-Ge projeleri için yenilikçi bir çözüm sunar.

Bu tezin temel amacı, ödül-ceza modelleri ve ÇKKV yöntemlerini birleştirerek Ar-Ge projelerinde risk yönetimi ve performans analizini optimize etmektir. Çalışma, Alpllas Ar-Ge merkezinde SWARA, GRAVITY ve ENTROPY gibi ÇKKV yöntemleri kullanılarak risk faktörlerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi sürecine ilişkin bulgular içermektedir. Risk faktörleri, teknik, finansal ve yönetsel riskler olmak üzere üç ana gruba ayrılmış ve bu faktörler, SWARA, GRAVITY ve ENTROPY yöntemleriyle ağırlıklandırılmıştır.

Sonuçlar, teknik risklerin en yüksek paya (%45) sahip olduğunu göstermektedir. Teknolojik belirsizlik ve ekip deneyimi eksikliği gibi faktörler, projelerin başarısını tehdit etmektedir. Finansal riskler %35 ağırlıkla ikinci sırada yer alırken, kaynak yetersizliği ve maliyet sapmaları gibi sorunlar önemli tehditlerdir. Yönetsel riskler %20 ağırlıkla daha düşük bir paya sahip olsa da, liderlik eksiklikleri ve proje yönetimindeki zorluklar başarıyı etkileyebilir.

Ödül-ceza modelleri, Ar-Ge projelerinde etkili risk yönetimi için temel bir araçtır. Bu model, başarıları ödüllendirerek ve başarısızlıkları cezalandırarak başarıyı teşvik eden bir mekanizma olarak işlev görür ve ekip motivasyonunu artırır. Proje yöneticileri, riskleri etkili bir şekilde yönetmek için ek önlemler alabilirken, bu model başarı için motive edici bir mekanizma görevi görür.

Bu tezin bulguları, Ar-Ge projelerinde risk yönetimi ve performans optimizasyonu için değerli stratejik araçlar sunmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, bu modellerin etkinliğini farklı sektörler ve projeler üzerinde daha kapsamlı analizler yaparak değerlendirebilir. Ayrıca, gelecekteki değişkenler ışığında risklerin değerlendirilmesi, projelerin sürdürülebilirliğini artırabilir.

Sonuç olarak, Ar-Ge projelerinde risk yönetimi ve performans optimizasyonu, proje başarısını artıran kritik faktörlerdir. Ödül-ceza modelleri ve ÇKKV yöntemlerinin entegrasyonu, proje yöneticilerine güçlü karar verme araçları sunarak başarı oranlarını artırır. SWARA, GRAVITY ve ENTROPY gibi ağırlık yöntemlerinin kullanımı ile risklerin birbirlerine olan ağırlık ilişkileri belirlenerek risk önem derecesini belirleyen ağırlık faktörleri hesaplanmıştır. Bu yöntemlerin sürekli geliştirilmesi, Ar-Ge projelerinin gelecekteki başarısında belirleyici bir rol oynayacaktır.



COMPARISON OF REWARD-PENALTY MODELS AND HYBRID MULTI-CRITERIA DECISION MAKING IN R&D PROJECT RISK AND PERFORMANCE MANAGEMENT

SUMMARY

Research and Development (R&D) projects play a critical role in enhancing the innovation capacity of modern economies and securing long-term competitive advantages. As fundamental drivers in sectors such as pharmaceuticals, technology, energy, and manufacturing, these projects often require substantial investment, time, and resources. However, R&D projects are frequently surrounded by uncertainty and complexity. Uncertainties revolving around factors such as time, cost, technical suitability, and market conditions can lead to delays, budget overruns, or failure to achieve expected goals.

Traditional project management methods are often insufficient in managing these complexities in R&D projects. Their focus on only cost and time constraints typically results in neglecting a broader perspective on project goals. This has led to the need for innovative and integrated approaches in modern R&D management. Reward-penalty models emerge as an important solution in this context. These models offer financial rewards to encourage projects to be completed on time and within budget while imposing penalties to enforce discipline in cases of performance deficiencies. In this way, short-term operational goals are aligned with long-term strategic objectives.

Reward-penalty models, when combined with Multi-Criteria Decision Making (MCDM) techniques, can provide a comprehensive approach to risk and performance management in R&D projects. MCDM methods such as SWARA, MOORA, GRAVITY, and ENTROPY allow for systematic prioritization and weighting of risk factors. This combination contributes not only to risk management but also helps optimize project outcomes.

Monte Carlo simulations are an important component of this framework. This method, used to analyze the impact of uncertainties and provide probability-based forecasts, is particularly effective in assessing risks related to time, cost, and technical suitability. By using this approach, the risk of project failure is reduced, and more efficient management processes are established.

This integrated approach offers the following advantages in managing R&D projects: it improves compliance with budget and timelines, maximizes innovative outputs, and strengthens team motivation and accountability. The thesis proposes an innovative framework that includes both risk management and performance incentives in R&D projects. This methodological approach aims to provide managers with more effective decision-making tools by combining theory and practice. The proposed model is supported by sectoral case studies, and its applicability is discussed with various examples.

Risk management and performance-based incentive systems in R&D projects are a significant area of interest in the literature. The failure of traditional methods to address

uncertainty and complexity in projects has created a demand for innovative evaluation and management approaches. This thesis examines the theoretical foundations and applications of reward-penalty models, providing a comprehensive framework for risk and performance management in R&D projects.

While traditional methods focus on financial metrics such as Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR), they often overlook factors like performance milestones and collaboration. Broader operational metrics are required to measure innovation processes. Reward-penalty models encourage teams to meet objectives such as early completion and cost savings, while imposing penalties for delays or underperformance. These mechanisms enhance team motivation and reinforce the principles of accountability.

R&D projects are characterized by high levels of uncertainty. Tools like Monte Carlo simulations help reduce the risk of failure by offering probability-based forecasts. Incentive mechanisms have been used in sectors such as pharmaceuticals to accelerate clinical trials or in the automotive industry to meet performance targets. These models can be adapted to sector-specific needs.

MCDM techniques such as SWARA, MOORA, GRAVITY, and ENTROPY are effective in prioritizing risks and optimizing performance goals. Methods like TOPSIS and grey system theory also assist in uncertainty management. When combined with incentive mechanisms, these approaches contribute to increased success. For example, in the energy sector, rewards have been used to encourage innovation, while in the defense industry, penalties have been applied to reduce the risk of failure.

The integration of Artificial Intelligence (AI) and big data with MCDM techniques, the development of sector-specific models, and the exploration of cultural impacts are emerging topics in the literature. This review provides a comprehensive literature framework on risk management and incentive mechanisms in R&D projects, proposing a roadmap for innovative solutions.

This thesis develops a reward-penalty framework-based model to optimize the performance of R&D projects. The model aims to manage and assess projects based on performance indicators such as time, cost, and technical success. It includes key elements such as performance measurements, risk management, and alignment with strategic goals. Three main measurement areas have been identified for project evaluation: time-based (milestones, early completion, and schedule compliance), cost-based (budget management and cost efficiency), and technical performance (innovation outputs, quality, and technical achievements). Reward-penalty criteria reward early delivery, budget savings, and exceeding innovation targets, while penalties are imposed for delays, budget overruns, and technical failures.

Monte Carlo simulations have been used to model uncertainties and understand the risk-reward balance. This method analyzes probability distributions in different scenarios. The applicability of this mechanism has been demonstrated through examples from the pharmaceutical and technology sectors, proving its effectiveness in clinical research and product development processes.

Mathematical formulas have been developed for calculating incentives and penalties. For example:

- **Reward:** $\text{Reward} = (\text{Target Time} - \text{Actual Time}) \times \text{Time Coefficient}$

- **Penalty:** $\text{Penalty} = (\text{Actual Cost} - \text{Target Cost}) \times \text{Cost Coefficient}$
This method provides an innovative solution for R&D projects by supporting effective resource allocation, decision-making aligned with strategic goals, and accountability.

The primary goal of this thesis is to combine reward-penalty models and MCDM methods to optimize risk management and performance analysis in R&D projects. The study includes findings from the risk factor identification and prioritization process using MCDM methods such as SWARA (Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis), GRAVITY, and ENTROPY at the Alpplas R&D center. Risk factors in R&D projects have been identified and categorized into three main groups: technical, financial, and managerial risks. These factors have been prioritized and weighted using the SWARA, GRAVITY, and ENTROPY methods.

The results show that technical risks account for the highest share, with a weight of 45%. Factors such as technological uncertainty and lack of team experience threaten the success of projects. Financial risks rank second with a 35% weight, with issues such as resource shortages and cost deviations being significant threats. Managerial risks hold a lower weight of 20%, but factors such as leadership deficiencies and challenges in project management can still affect success.

Reward-penalty models are an essential tool for effective risk management in R&D projects. This model functions as a mechanism that promotes success by rewarding achievements and penalizing failures, boosting team motivation. Project managers can take extra precautions to manage risks effectively, while this model serves as a motivating mechanism for success.

The findings of this thesis provide valuable strategic tools for risk management and performance optimization in R&D projects. Future research could evaluate the effectiveness of these models by conducting more comprehensive analyses across different sectors and projects. Additionally, evaluating risks in light of future variables could enhance the sustainability of projects.

In conclusion, risk management and performance optimization in R&D projects are critical factors that increase project success. The integration of reward-penalty models and MCDM methods offers project managers powerful decision-making tools, thereby increasing success rates. The use of methods such as SWARA, GRAVITY, and ENTROPY provides an effective approach to determining the significance of risks. The continuous development of these methods will play a decisive role in the future success of R&D projects.



1. GİRİŞ

Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) projeleri, modern ekonomilerin yenilik kapasitesini artırmak ve uzun vadeli rekabet avantajı sağlamak için kritik bir rol oynamaktadır. İlaç, teknoloji, enerji ve üretim gibi çeşitli endüstrilerde yeniliğin temel itici gücü olan bu projeler, büyük ölçekli yatırım ve zaman kaynağı gerektirir. Ancak Ar-Ge projeleri doğası gereği yüksek derecede belirsizlik ve karmaşıklık içermektedir. Bu belirsizlikler; zaman, maliyet, teknik uygunluk ve pazar koşulları gibi faktörlere odaklanarak projelerin gecikmesine, bütçe aşımına veya beklenen hedeflerin altında kalmasına yol açabilmektedir.

Bu dinamik ortam, geleneksel proje yönetim yaklaşımlarının Ar-Ge projelerinin karmaşıklığını yönetmede yetersiz kaldığını göstermekte ve daha sofistike yöntemlere duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Geleneksel risk yönetimi ve performans değerlendirme sistemleri genellikle yalnızca maliyet ve zaman kısıtlarına odaklanmakta, proje hedeflerine daha geniş bir perspektiften bakmayı ihmal etmektedir. Bu nedenle, modern Ar-Ge yönetiminde yenilikçi ve entegre yaklaşımların benimsenmesi gereklidir.

Ödül-ceza modelleri, bu bağlamda Ar-Ge projelerinin yönetimi için önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu modeller, projelerde performansı optimize etmek için ekipleri finansal ödüllerle teşvik etmeyi ve olası hataları azaltmak için cezalar yoluyla disipline etmeyi amaçlamaktadır. Ödüller, projelerin zamanında, bütçe sınırları içinde ve beklenenden daha iyi sonuçlarla tamamlanmasını teşvik ederken, cezalar gecikmeleri ve yetersiz performansı önlemeye yöneliktir. Bu çift yönlü yapı, kısa vadeli operasyonel hedefleri uzun vadeli stratejik hedeflerle uyumlu hale getirerek hesap verebilirliği artırma ve yenilik verimliliğini yükseltme potansiyeline sahiptir.

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımlarıyla ödül-ceza modellerinin birleşimi, Ar-Ge projelerindeki risk ve performans yönetimi için kapsamlı bir çözüm sunmaktadır. SWARA (Adım Adım Ağırlıklandırma) ve MOORA (Oran Analiziyle Çözümler) gibi ÇKKV teknikleri, risk faktörlerinin önceliklendirilmesi ve ağırlıklandırılması konusunda sistematik bir araç sağlarken, ödül-ceza modelleri proje

hedeflerine ulaşmayı teşvik eden performansa dayalı bir yapı oluşturmaktadır. Bu birleşim, yalnızca risk yönetimiyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda proje çıktılarının optimize edilmesini de hedeflemektedir.

Monte Carlo simülasyonları ise bu çerçevenin önemli bir bileşeni olarak öne çıkmaktadır. Belirsizliklerin karmaşıklığını analiz etmek için kullanılan bu teknik, olasılık tabanlı tahminler sunarak proje sonuçlarını daha öngörülebilir hale getirmektedir. Özellikle Ar-Ge projelerinde zaman, maliyet ve teknik uygunluk risklerinin etkisini değerlendirmek için Monte Carlo simülasyonları oldukça etkili bir araçtır. Bu sayede, projelerin başarısızlık riskleri azaltılabilir ve daha verimli yönetim süreçleri oluşturulabilir.

Ödül-ceza modeline dayalı bu entegre yaklaşım, farklı sektörlerdeki Ar-Ge projelerine uyarlanabilir ve şu avantajları sağlayabilir:

- Projelerin bütçe ve zaman çizelgelerine uyumunu geliştirme,
- Yenilik çıktılarını maksimize etme,
- Ekiplerin motivasyonunu artırma ve hesap verebilirlik duygusunu güçlendirme.

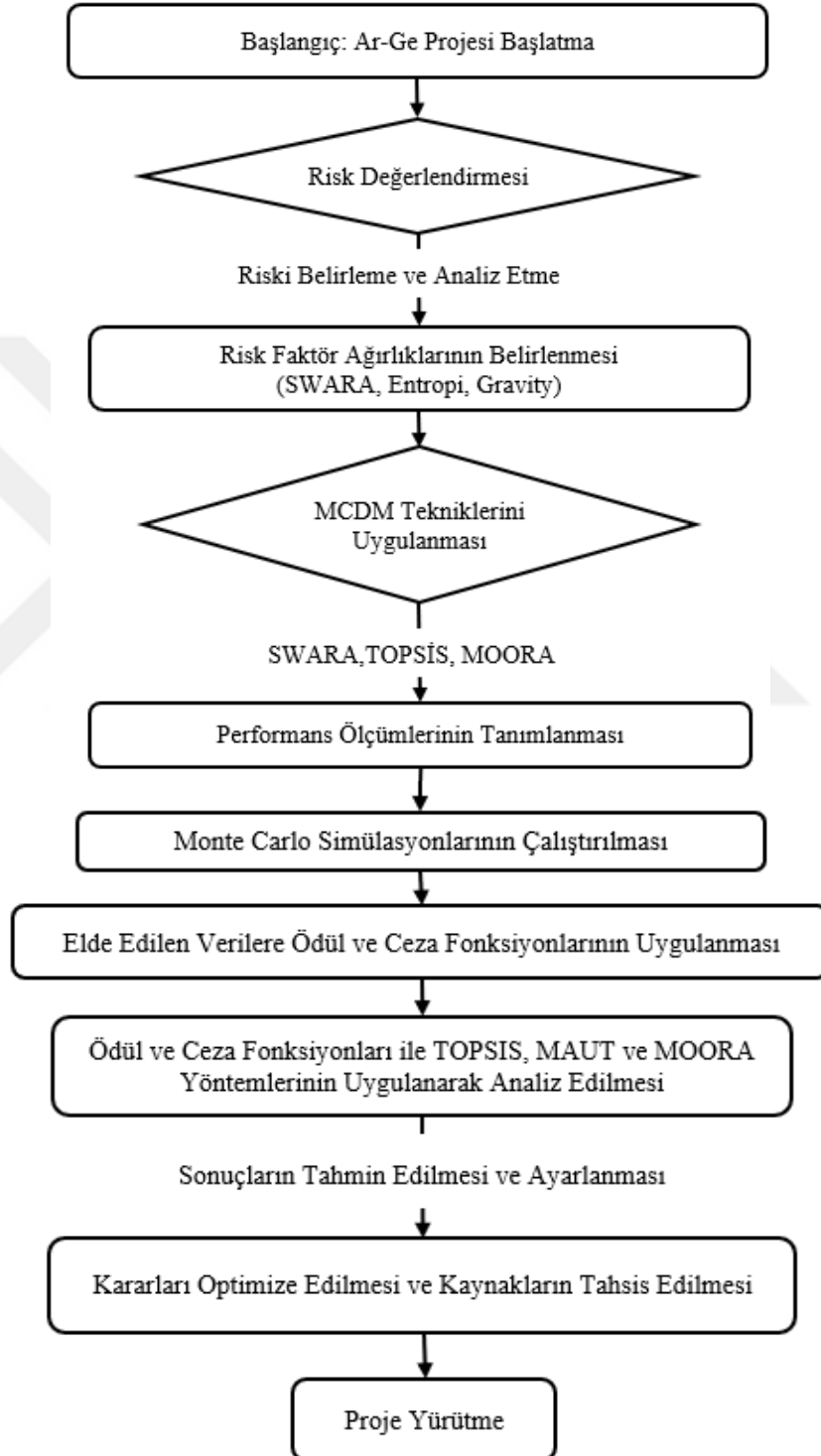
Bu çalışmada, Ar-Ge projelerinde hem risk yönetimini hem de performans teşviklerini ele alan yeni bir metodolojik çerçeve önerilmektedir. Bu çerçeve, teori ile pratiği birleştirerek yöneticilere daha etkin karar alma araçları sunmayı amaçlamaktadır. Önerilen yaklaşım, yalnızca teorik bir altyapı sunmakla kalmayıp, sektörel bazda gerçek hayattan vaka örnekleri ile desteklenmiştir.

Bu kapsamda, çalışmanın yapısı aşağıdaki gibi düzenlenmiştir:

- **Bölüm 2:** Ödül-ceza modellerinin teorik temelleri ve uygulama alanları.
- **Bölüm 3:** Önerilen çerçevenin detaylı açıklaması ve matematiksel formülasyonları.
- **Bölüm 4:** Monte Carlo simülasyonlarının belirsizlik yönetimindeki rolü ve bu yöntemin uygulanması.
- **Bölüm 5:** Farklı endüstrilerden vaka çalışmaları.
- **Bölüm 6:** Sonuç ve öneriler.

Bu yapı, çalışmanın kapsamını ve katkısını açık bir şekilde ifade etmek için tasarlanmıştır. Tezin çıktılarının hem akademik literatüre hem de uygulamalı proje yönetimine değerli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.

Şekil 1.1’de Tez Özeti Akış Şeması yer almaktadır.



Şekil 1.1. Tez özeti akış şeması.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) projelerinde risk yönetimi ve performansa dayalı teşvik sistemleri, literatürde önemli bir ilgi odağı olmuştur. Ar-Ge projelerinin içerdiği belirsizlikler ve karmaşıklıklar, risk yönetimi ve performans değerlendirme yaklaşımlarında geleneksel yöntemlerin ötesine geçmeyi gerektirmektedir.

Bu bölüm, Ar-Ge proje değerlendirmesi, performansa dayalı teşvikler ve yenilik odaklı endüstrilerde risk yönetim teknikleri üzerine teorik çerçevenin literatür taramasını sunmaktadır. Ödül-ceza modellerinin kullanımına, teorik temellerine ve ampirik uygulamalarına ilişkin ana bulguların tanımlanması da dahildir.

Geleneksel Ar-Ge proje değerlendirme yaklaşımları, belirsiz bir sonuçla ilişkili mali değeri yakalamak için net bugünkü değer (NPV), iç verim oranı (IRR) ve gerçek opsiyon analizi gibi metriklere odaklanmıştır. Ancak bu yaklaşımlar çoğu zaman mali olmayan boyutları, örneğin performans kilometre taşları, zaman çizelgesine uyum ve iş birliği dinamikleri gibi unsurları yeterince ele alamamaktadır. Yenilik gelişimini temsil eden operasyonel metriklerin benimsenmesi gerekliliğine dikkat çeken araştırmalar da mevcuttur.

Performansa dayalı teşvikler, proje yönetimi bağlamında inşaat, kamu altyapısı ve büyük mühendislik projeleri gibi alanlarda geniş ilgi görmüştür. Örneğin, erken tamamlanma, maliyet tasarrufu veya üstün sonuçlara ilişkin ödül mekanizmaları ekiplerde motivasyonu artırarak hesap verebilirlik ilkelerini oluşturduğu kanıtlanmıştır (Jørgensen & Emblemşvåg, 2008). Buna karşılık ceza yapıları, gecikme ve maliyet aşımalarının risklerini azaltmaya yardımcı olmaktadır.

Ar-Ge projeleri doğası gereği belirsizliklerle çevrilidir ve performans değerlendirmesi, organizasyonların çığır açıcı yeniliklerden elde edilecek potansiyel yararları başarısızlık riskine karşı tartması gerektiğinden dolayı zordur. Monte Carlo simülasyonları gibi araçlar, çeşitli sonuçları tahmin etmek için kullanılmaktadır (Pich ve diğerleri, 2002).

Bazı endüstriler, Ar-Ge'yi yönetmek amacıyla ödül-ceza çerçevelerini test etmeye başlamıştır. Örneğin, ilaç sektöründe klinik denemeleri hızlandırmak ve düzenleyici sistemle uyum sağlamak için kilometre taşına dayalı teşvikler kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe ise süreklilik ve performans hedeflerine ulaşmak için bileşenleri hızlı bir şekilde teslim eden ekiplere ödüller verilmektedir.

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) teknikleri, karar verme süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Figueira, Greco ve Ehrgott (2005), teorik temelleri ve pratik uygulamaları dahil olmak üzere ÇKKV tekniklerinin kapsamlı bir araştırmasını sunmuştur. Benzer şekilde, Mardani ve diğerleri (2017), çevresel süreklilik zorluklarını ele almada ÇKKV'nin önemini vurgulamıştır. Bu bağlamda, SWARA uzman görüşlerine dayanarak kriterlerin ağırlıklandırılmasını sağlayan sistematik bir yöntem sunarken, MOORA çok kriterli kompleks projelerde etkin bir araç olarak değerlendirilmektedir (Zavadskas ve diğerleri, 2018). Gri Sistem Teorisi, belirsizlik altında karar almada yenilikçi bir yaklaşım sunarken (Deng, 2007), TOPSIS risklerin derecelendirilmesi ve çözüm önerileri sunmada basit ve etkili bir araçtır.

Ar-Ge projelerinde risklerin sınıflandırılması ve önceliklendirilmesinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır (Almeida & Ciferri, 2019). Özellikle belirsizlik seviyelerinin yüksek olduğu durumlarda, risklerin etkili bir şekilde modellenmesi ve yönetilmesi önemlidir. Monte Carlo simülasyonları, senaryo analizi ve duyarlılık analizi gibi nicel yöntemler bu tür durumlar için sıklıkla önerilmektedir.

Ödül-ceza modelleri, Ar-Ge projelerinde risk yönetiminde proaktif bir yaklaşım sunar. Bu mekanizmalar motivasyonu artırarak ekiplerin daha hızlı ve daha etkin bir şekilde sonuç üretmelerini teşvik ederken, cezalar başarısızlığa ilişkin caydırıcı bir etki yaratmaktadır. Aynı zamanda, proje paydaşları arasında sorumluluk dağılımını netleştirerek bireysel risk algısını azaltmakta ve performansa dayalı kilometre taşlarının net tanımları, proje üyelerinin önceliklerini doğru bir şekilde belirlemesine yardımcı olmaktadır. Yenilenebilir enerji projelerinde risklerin minimize edilmesi ve inovasyon süreçlerinin hızlandırılması için teşvik mekanizmaları uygulanmış, savunma sanayisinde ise kritik teknolojik projelerde başarısızlık riskini azaltmak amacıyla cezai yaptırımlar içeren sözleşmeler benimsenmiştir.

Risk modellemesinde SWOT analizi projelerdeki güçlü ve zayıf yönleri tespit ederek risklere stratejik çözümler sunarken, SWARA kriterlerin ağırlıklandırılmasını sağlayarak risk yönetiminde karar verme süreçlerini optimize etmektedir. Monte Carlo simülasyonu ise belirsizlik içeren çoklu senaryoların sonuçlarını simüle ederek karar alma süreçlerini desteklemektedir. Yapılan çalışmalar, teşvik mekanizmalarının risk modelleme yaklaşımlarıyla entegre edildiğinde daha yüksek başarı oranlarıyla sonuçlandığını ortaya koymaktadır (Pich ve diğerleri, 2002). Ancak bu modellerin etkili olabilmesi için hem finansal hem de operasyonel olarak uygulanabilir olmaları gerekmektedir.

Proje yönetimi ve teşvik mekanizmalarındaki literatür, halen çözülmesi gereken birçok sorunu ve fırsatı işaret etmektedir. İleriye dönük olarak, ÇKKV ve yapay zeka entegrasyonu, büyük veri ve makine öğrenimi araçlarının karar verme süreçlerine dahil edilmesi gibi alanlarda çalışmaların artırılması önerilmektedir. Ayrıca, biyoteknoloji ve yeşil enerji gibi sektörlere özgü teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi ve ödül-ceza modellerinin kültürler arası uygulanabilirliği üzerine yapılan çalışmaların genişletilmesi, literatürde önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır.

Tablo 2.1’de literatür incelemesi sunulmuştur.

Tablo 2.1. Literatür incelemesi

Başlık	Ana Bulgular	Yöntemler	Uygulamalar
Ar-Ge Proje Değerlendirmesi ve Performans Metrikleri	- Geleneksel değerlendirme yöntemleri, mali boyutlar üzerinde yoğunlaşmakta. - Performans kilometre taşları, zaman çizelgesi uyumu gibi operasyonel metriklerin benimsenmesi gerektiği vurgulanmıştır.	- NPV, IRR, gerçek opsiyon analizi	- Performans metriklerinin operasyona entegre edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Tablo 2.1. (Devamı) Literatür incelemesi

Başlık	Ana Bulgular	Yöntemler	Uygulamalar
Teşvik Mekanizmaları: Proje Yönetiminde Ödül ve Cezalar	- Performansa dayalı ödüller, motivasyonu artırarak hesap verebilirlik sağlamaktadır. - Ceza yapıları, gecikme ve maliyet aşımalarını azaltmada etkilidir.	- Ödül ve ceza yapıları	- İnşaat, altyapı ve mühendislik projelerinde yaygın kullanılmaktadır.
Ar-Ge Projelerinde Risk ve Belirsizlik	- Ar-Ge projeleri belirsizliklerle çevrilidir, bu nedenle risk yönetimi karmaşıktır.	- Monte Carlo simülasyonları, senaryo analizi	- Çeşitli riskler için simülasyonlar ve senaryo analizleri kullanılmıştır.
Ödül-Ceza Modellerinin Sektörel Uygulamaları	- Endüstrilerde Ar-Ge projelerinde risk yönetimi için ödül-ceza çerçeveleri test edilmeye başlanmıştır.	- Ödül-ceza yapıları	- İlaç sektörü, otomotiv sektörü, enerji sektörü, savunma sanayi gibi sektörlerde kullanılmaktadır.
Çok Kriterli Karar Alma (ÇKKV) ve Yöntemleri	- ÇKKV, karmaşık kararlar ve risklerin yönetimi için etkili bir yaklaşımdır.	- SWARA, MOORA, Gri Sistem Teorisi, TOPSIS	- SWARA, MOORA, TOPSIS gibi yöntemler çeşitli endüstrilerde kullanılmıştır.
Proje Risk Modellemesi ve Teşvikler	- Riskler, ödül-ceza modelleriyle yönetilmektedir.	- SWOT analizi, Monte Carlo simülasyonu, SWARA	- Yenilenebilir enerji projeleri, savunma sanayi projelerinde uygulanmıştır.

Tablo 2.1. (Devamı) Literatür incelemesi

Başlık	Ana Bulgular	Yöntemler	Uygulamalar
İleriye Dönük Araştırma Alanları	- ÇKKV ve yapay zeka entegrasyonu. - Endüstri spesifik teşvik modelleri geliştirilmesi.	- ÇKKV, Yapay zeka	- Biyoteknoloji ve yeşil enerji sektörlerine özgü araştırmalar önerilmiştir.

Tablo 2.2’de literatür özeti sunulmuştur.

Tablo 2.2. Literatür araştırması özeti.

Yazar(lar)	Yıl	Uygulama Alanı (Sektör)	Çalışma Başlığı
Figueira, J., Greco, S., Ehr Gott, M.	2005	Çok Kriterli Karar Alma	Teorik Temelleri ve Pratik Uygulamaları ile Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Tekniklerinin İncelenmesi
Mardani, A., et al.	2017	Çevresel Süreklilik	Çevresel Süreklilik Zorlukları ve ÇKKV’nin Önemi
Moussa, N.	2019	İnşaat	SWARA Methodology for Prioritizing Risks in Construction Projects
Zavadskas, E.K., Turskis, Z.	2018	Çok Kriterli Karar Alma	MOORA Method for Multi-Criteria Complex Project Management
Deng, J.	2007	Belirsizlik Yönetimi	Grey Relational Analysis for Decision Making under Uncertainty
Figueira, J., Greco, S., Ehr Gott, M.	2005	ÇKKV ve Uygulamalar	ÇKKV Tekniklerinin Teorik Temelleri ve Uygulama Alanları

Tablo 2.2. (Devamı) Literatür araştırması özeti.

Yazar(lar)	Yıl	Uygulama	
		Alanı (Sektör)	Çalışma Başlığı
Pich, M., Loch, C.H., Meyer, A.	2002	Proje Yönetimi	Risk Modeling and Project Management Frameworks
Jørgensen, M., Emblemssvåg, J.	2008	Mühendislik Projeleri	Ödül Mechanisms and Accountability in Engineering Projects
Lüdeke-Freund, F., et al.	2012	Yenilenebilir Enerji	Incentive Mechanisms for Risk Mitigation in Renewable Energy Projects
El-Kady, A.H., Halim, S.	2023	Emniyet-Güvenlik	Safety and Security Challenges and Opportunities Related to Cyber-Physical Systems
Almeida, M., Ciferri, R.	2019	Ar-Ge Projeleri	Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemleri ile Risk Değerlendirmesi
Moussa, N.	2019	İnşaat	SWARA Methodology for Prioritizing Risks in Construction Projects
Zavadskas, E.K., Turskis, Z.	2018	Çok Kriterli Karar Alma	MOORA Method for Multi-Criteria Complex Project Management
Deng, J.	2007	Belirsizlik Yönetimi	Grey Relational Analysis for Decision Making under Uncertainty
Lüdeke-Freund, F., et al.	2012	Yenilenebilir Enerji	Incentive Mechanisms for Risk Mitigation in Renewable Energy Projects

Tablo 2.2. (Devamı) Literatür araştırması özeti.

Yazar(lar)	Yıl	Uygulama	Çalışma Başlığı
		Alanı (Sektör)	
Almeida, M., Ciferri, R.	2019	Ar-Ge Projeleri	Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemleri ile Risk Değerlendirmesi
Pich, M., Loch, C.H., Meyer, A.	2002	Proje Yönetimi	Risk Modeling and Project Management Frameworks
Jørgensen, M., Emblemsvåg, J.	2008	Mühendislik Projeleri	Ödül Mechanisms and Accountability in Engineering Projects
Moussa, N.	2019	İnşaat	SWARA Methodology for Prioritizing Risks in Construction Projects
Zavadskas, E.K., Turskis, Z.	2018	Çok Kriterli Karar Alma	MOORA Method for Multi-Criteria Complex Project Management
Deng, J.	2007	Belirsizlik Yönetimi	Grey Relational Analysis for Decision Making under Uncertainty
Lüdeke-Freund, F., et al.	2012	Yenilenebilir Enerji	Incentive Mechanisms for Risk Mitigation in Renewable Energy Projects



3. METODOLOJİ

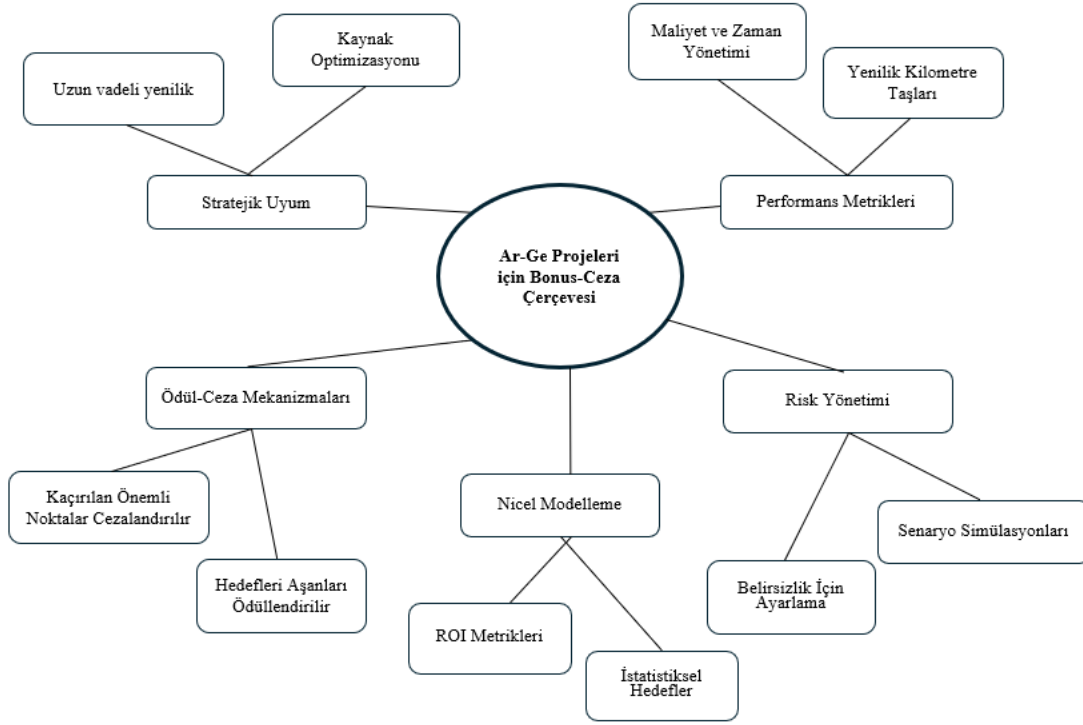
Bu çalışma, Ar-Ge projelerinin performansını optimize etmek amacıyla **Ödül-Ceza Çerçevesinin** entegrasyonunu ele alan bir yöntem geliştirmektedir. Çalışmanın yöntem kısmı, hem teorik altyapıyı hem de pratik uygulama adımlarını içermektedir. Bu model, projelerin zaman, maliyet ve teknik başarı gibi temel performans göstergelerine dayalı olarak değerlendirilmesine olanak tanır. Aşağıdaki aşamalar çerçevesinde yapılandırılmıştır:

3.1. Ödül-Ceza Çerçevesinin Geliştirilmesi

Ödül-ceza modeli, Ar-Ge projelerinin yönetimi için aşağıdaki alt bileşenleri içermektedir:

- **Performans Ölçümleri:** Proje çıktılarının objektif bir şekilde değerlendirilmesi için zaman, maliyet ve teknik performansa dayalı metrikler belirlenmiştir.
- **Risk Yönetimi:** Belirsizliklerin simülasyon teknikleriyle ele alınarak yönetilmesi.
- **Stratejik Hedeflerle Uyum:** Projelerin organizasyonun uzun vadeli inovasyon stratejileri ile uyumlu hale getirilmesi.

Şekil 3.1, bu çerçevenin temel bileşenlerini ve bu bileşenlerin birbiriyle ilişkisini özetlemektedir:



Şekil 3.1. Ar-Ge proje değerlendirmelerinde ödül-ceza modellerinin entegrasyonu için önerilen çerçeve.

3.2. Performans Metriklerinin Tanımlanması

Ödül-ceza mekanizmasının etkili bir şekilde uygulanabilmesi için Ar-Ge projelerine ilişkin **nicel performans ölçütleri** tanımlanmıştır. Bu ölçütler üç ana başlık altında toplanmaktadır:

1. Zaman Tabanlı Ölçümler:

- Kilometre taşlarına ulaşılma süreleri.
- Proje tamamlanma zamanlarının planlanan takvime uygunluğu.
- Erken tamamlanma veya pazara çıkış süresinin kısaltılması gibi hedefler.

2. Maliyet Tabanlı Ölçümler:

- Bütçe dahilinde proje yürütülmesi.
- Kaynak kullanımındaki verimlilik ve maliyet düşüşleri.

3. Teknik Performans Tabanlı Ölçümler:

- Teknik başarıların gerçekleştirilmesi.

- Ürün kalite hedefleri, inovasyon çıktıları (ör. patent başvuruları, alınan patentler).

Bu metrikler, teşvik eşiklerinin belirlenmesi ve projelerin objektif değerlendirilmesi için temel oluşturmaktadır.

3.3. Ödül ve Ceza Kriterlerinin Belirlenmesi

Ödül-Ceza Mekanizması, projelerin stratejik değerine ve karmaşıklığına göre uyarlanmış teşvik ve yaptırım kriterlerini içerir:

1. Ödüller:

- Zaman tasarrufu: Örneğin, bir kilometre taşının belirlenen süreden önce tamamlanması.
- Bütçe hedeflerine ulaşılması: Kaynakların planlanandan daha verimli kullanımı.
- Yenilik hedeflerinin aşılması: Daha iyi işlevsellik, ürün sertifikasyonu veya yeni patentler gibi çıktılar.

2. Cezalar:

- Gecikmeler: Proje teslim tarihlerine uyulmaması.
- Bütçe aşımı: Planlanan bütçenin üzerine çıkılması.
- Teknik başarısızlık: Anahtar özelliklerin geliştirilmemesi veya hedeflere ulaşılmaması.

Teşviklerin büyüklüğü ve eşikleri, projenin stratejik değerini yansıtacak şekilde belirlenmiştir. Ödüller, yüksek performansı teşvik ederken, cezalar verimsizlik ve rehabetin önüne geçmeyi amaçlamaktadır.

3.4. Belirsizliklerin Yönetimi: Monte Carlo Simülasyonu

Monte Carlo Simülasyonu (MCS) matematiksel modeli olasılık teorisi ve sayısal yaklaşım ilkelerine dayanır. Rastgele değişkenleri simüle ederek ve istatistiksel özelliklerini analiz ederek belirsiz sonuçları tahmin etmek için kullanılır. Aşağıda Monte Carlo yönteminin genel bir formülasyonu bulunmaktadır.

3.4.1. Monte Carlo simülasyonunun matematiksel modeli

Monte Carlo yöntemi genellikle beklenen değeri tahmin etmek için kullanılmaktadır:

$$E[f(X)] = \int_{\Omega} f(X)P(X)dX \quad (1)$$

- $f(X)$ sistemi veya süreci temsil eden fonksiyondur,
- X rastgele değişkendir (veya rastgele değişkenlerin vektörüdür),
- $P(X)$ olasılık yoğunluk fonksiyonudur (PDF) X ,
- Ω 'nin etki alanıdır X .

Analitik entegrasyon genellikle zor olduğundan, Monte Carlo simülasyonu rastgele örnekleme kullanarak bu beklenen değeri yaklaşık olarak hesaplanmaktadır.

3.4.2. Rastgele örnekleme

dağılımdan $P(X)$ bağımsız örnekler $X_1, X_2, \dots, X_N$ üretmek için rastgele örnekleme güvenmektedir. N . Beklenen değer daha sonra şu şekilde yaklaşık olarak hesaplanmaktadır:

$$E[f(X)] \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(X_i) \quad (2)$$

Neresi:

- X_i rastgele örnekler alınır $P(X)$,
- N simülasyonların (denemelerin) toplam sayısıdır.

$N \rightarrow \infty$ **Büyük Sayılar Yasası** gereğince, yaklaşım gerçek beklenen değere yakınsar.

Monte Carlo, belirli integralleri yaklaşık olarak hesaplamak için kullanılabilir:

$$I = \int_a^b g(x)dx \quad (3)$$

İntegrali beklentiye dönüştürerek yeniden yazılmaktadır:

$$I = (b - a) \cdot E[g(X)] \quad (4)$$

Burada, X_i içinde eşit olarak dağılmıştır $[a, b]$. Monte Carlo tahmini aşağıdaki gibidir:

$$I \approx \frac{b-a}{N} \sum_{i=1}^N g(X_i) \quad (5)$$

yani $X_i \sim U(a, b)$, tekdüze rastgele örneklerdir.

3.4.3. Varyans ve Yakınsama

Monte Carlo simülasyonları, örnekleme hatası olarak bilinen içsel bir hataya sahiptir.

Tahminin varyansı:

$$\text{Var}[\hat{I}] = \frac{\sigma^2}{N} \quad (6)$$

- $\sigma^2, f(X)$ fonksiyonunu varyansdır.
- N Örnek sayısıdır.

$O(1/\sqrt{N})$ hata oranında azalmaktadır, yani örneklem büyüklüğünde dört kat artış hatayı yarı yarıya azaltmaktadır.

3.4.4. Monte Carlo tahminleri için güven aralığı

Monte Carlo simülasyonu rastgelelik içerdiğinden, sonuçlar güven aralıkları kullanılarak yorumlanır. Çok sayıda örnek için, Merkezi Limit Teoremi (CLT), tahmin edicinin dağılımını şu şekilde tahmin edilmesine olanak tanımaktadır:

$$\hat{I} \approx N(\mu, \sigma^2/N) \quad (7)$$

Tahmin için % 95 güven aralığı şu şekildedir:

$$\hat{I} \pm 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (8)$$

Burada 1,96, %95 güven aralığı için standart normal kritik değerdir.

3.4.5. Monte Carlo simülasyonundaki adımlar ve işleyişi

1. Sorunun Tanımlanması:

Simülasyonun uygulanacağı sorun veya süreç açık bir şekilde tanımlanmalıdır.

Bu süreç finansal modelleme, proje planlaması veya risk değerlendirmesi gibi alanları içerebilir.

Problemi etkileyen temel değişkenler ve parametreler belirlenmelidir.

2. Modelin Oluşturulması:

Simüle edilecek sistem veya süreci temsil eden matematiksel bir model geliştirilmelidir.

Değişkenler arasındaki ilişkiler tanımlanarak belirsizlikler ve olası dağılımlar (örneğin, normal, uniform, üçgen dağılımlar) belirlenmelidir.

3. Girdi Değişkenlerinin ve Dağılımlarının Tanımlanması:

Belirsiz giriş değişkenleri ve bu değişkenlerin olasılık dağılımları belirlenmelidir. Simülasyonun doğruluğu, uygun dağılımların seçimine bağlıdır.

Yaygın olarak kullanılan olasılık dağılımları şunlardır:

Normal dağılım: Sürekli değişkenler için kullanılır.

Uniform dağılım: Değişkenlerin belirli bir aralıkta eşit olasılıkla dağılması durumunda tercih edilir.

Üçgen dağılım: Minimum, maksimum ve en olası değeri bilinen değişkenler için uygundur.

4. Rastgele Girdi Değerlerinin Üretilmesi:

Rastgele sayı üreteçleri kullanılarak her belirsiz giriş değişkeni için tanımlanan olasılık dağılımlarına dayalı örnek değerler oluşturulmalıdır.

Bu rastgele girdiler, simülasyon kapsamında analiz edilen farklı senaryoları temsil etmektedir.

5. Simülasyonun Çalıştırılması:

Rastgele seçilen her bir girdi seti için modelin sonucu hesaplanmalıdır. Bu süreç, tek bir simülasyon çalıştırma olarak tanımlanır.

Bu işlem, geniş bir olası sonuç aralığını kapsayacak şekilde genellikle binlerce veya milyonlarca kez tekrarlanır.

6. Sonuçların Analiz Edilmesi:

Tüm simülasyon çalıştırmaları tamamlandıktan sonra, elde edilen sonuçlar analiz edilerek ortalama, standart sapma ve güven aralıkları gibi temel istatistikler türetilmelidir.

Sonuçların daha iyi anlaşılabilmesi için histogramlar, olasılık dağılımları ve diğer ilgili grafikler kullanılarak görselleştirme yapılmalıdır.

7. Karar Sürecine Katkı Sağlanması:

Simülasyon sonuçları, karar alma süreçlerinde kullanılmalıdır. Bu analizler, riskleri, değişkenliği ve farklı senaryoların olasılıklarını değerlendirme imkânı sağlar.

Örneğin, finans alanında yatırım risklerinin değerlendirilmesi, proje yönetiminde tamamlanma olasılıklarının tahmin edilmesi gibi çeşitli karar süreçlerinde Monte Carlo simülasyonu etkili bir araç olarak kullanılabilir.

Şekil 3.2’de Tez Özeti Akış Şeması yer almaktadır.



Şekil 3.2. Monte Carlo simülasyonu akış diyagramı.

Önerilen ödül-ceza çerçevesi, ilaç ve teknoloji geliştirme gibi farklı sektörlerden alınan vaka çalışmalarıyla test edilmiştir. Bu vaka çalışmaları, mekanizmanın gerçek hayatta nasıl uygulandığını ve performans üzerindeki etkisini göstermektedir. İlaç sektöründe, klinik araştırmaların zamanında tamamlanması ve maliyet yönetiminin sağlanması; teknoloji sektöründe ise ürün geliştirme süreçlerinde inovasyon çıktılarının değerlendirilmesi esas alınmıştır. Ayrıca, ödül ve ceza kriterlerinin uygulanabilirliğini artırmak amacıyla, teşvik ve yaptırımların hesaplanmasına yönelik sayısal formüller geliştirilmiştir. Bu formüller, performans hedeflerine ulaşma düzeyini matematiksel olarak ifade eder; örneğin:

- **Ödül Formülü:** $\text{Ödül} = (\text{Hedef Zaman} - \text{Gerçekleşen Zaman}) \times \text{Zaman Katsayısı}$
- **Ceza Formülü:** $\text{Ceza} = (\text{Gerçekleşen Maliyet} - \text{Hedef Maliyet}) \times \text{Maliyet Katsayısı}$

şeklinde tanımlanmıştır. Bu yaklaşım, projelerin objektif ve adil bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Sonuç olarak, önerilen yöntem Ar-Ge projelerinde daha etkili kaynak tahsisini, stratejik hedeflerle uyumlu karar alımını ve hesap verebilirlik ile verimlilik artışını desteklemekte; böylece teşvik temelli performans yönetimiyle stratejik hedeflere ulaşılmasını sağlayan yenilikçi bir çözüm sunmaktadır.



4. HESAPLAMA YÖNTEMİ

Bu bölüm, Ar-Ge projelerinin performansına yanıt olarak farklı ödül ve cezaların nasıl hesaplanacağını açıklayan ödül-ceza çerçevesinin temel hesaplama yöntemini ele almaktadır. Zaman, maliyet ve performans metriklerini bir araya getirerek proje ekiplerinin gecikmeler, bütçe aşımı ve hedef başarısızlıklarından kaçınmasını teşvik eder. Ar-Ge'nin doğasında bulunan risklerin doğrusal olmadığı düşünülerek, uyarlamalı ağırlıklandırma, proje önceliklerini ve belirsizlikleri yansıtır.

4.1. Hesaplama Yöntemi Yapısına Genel Bakış

Ödül-ceza modeli, üç anahtar alan için önceden tanımlanmış hedef değerlerden sapma kavramına dayanır:

- **Zaman (T):** Projenin kilometre taşlarını gerçekleştirme süresi veya tamamlanma süresi.
- **Maliyet (C):** Bütçeyle karşılaştırıldığında genel maliyet.
- **Performans (P):** Teknik performans, ürün kalitesi veya yenilik ölçütleri.

Bu yapıda model, her bir alan için farklı hedefleri ve bu hedeflere göre belirlenen ödül-ceza sistemini kapsar.

Genel teşvik fonksiyonu, ödüllerin ve cezaların net değeri olarak belirlenebilir:

$$I = B(T, C, P) - P(T, C, P) \quad (9)$$

Burada:

- I : Net teşvik – pozitif ise ödül; negatif ise ceza
- $B(T, C, P)$: Zaman, maliyet ve performans iyileştirmelerine bağlı ödül fonksiyonu
- $P(T, C, P)$: Zaman gecikmeleri, bütçe aşımı veya performans düşüşlerine bağlı ceza fonksiyonu

4.2. Ödül Fonksiyonu

Ödüller, hedef değerlerden pozitif sapmaya göre hesaplanır. Bu ödüller, projeyle ilgili her bir ölçüm değişkeninin göreceli önemine göre ağırlıklandırılır.

$$Bonus = B_t \cdot \Delta T + B_c \cdot \Delta C + B_p \cdot \Delta P \quad (10)$$

Burada:

B_t, B_c, B_p : Zaman, maliyet ve performans için ağırlık faktörleri sırasıyla:

ΔT : Hedefe karşılık gelen gerçek süre azaltımı,

ΔC : Tasarruf edilen maliyet.

ΔP : Teknik performansın veya ürün kalitesinin artırılması.

$$B(T, C, P) = B_t \cdot \max(0, T_{target} - T_{actual}) + B_c \cdot \max(0, C_{target} - C_{actual}) + B_p \cdot \max(0, P_{target} - P_{actual}) \quad (11)$$

Burada:

B_t, B_c, B_p : Zaman tasarrufu, maliyet tasarrufu ve performans iyileştirmesi başına birim ödül oranları sırasıyla.

$T_{target}, C_{target}, P_{target}$: Zaman, maliyet ve performans için hedef değerler.

$T_{actual}, C_{actual}, P_{actual}$: Zaman, maliyet ve performans için gerçek sonuçlar.

$\max(0, x)$: Ödüllerin, yalnızca gerçek performans hedefin üzerinde olduğunda ödenmesini sağlamak.

Örneklerin Yorumu:

Eğer bir proje iki ay önceden tamamlanırsa, ödül $B_t \cdot 2$

Maliyetler %10 azaltılabilirse, ödül $B_c \cdot 10$

Hedef ölçütüne karşı her aşırı performans için, ödüller gerçek iyileşme seviyesine göre üst üste eklenir.

4.3. Ceza Fonksiyonu

Cezalar, hedef değerden kaynaklanan gecikmeleri veya aşırı harcamaları teşvik etmemek için kullanılır.

$$P(T, C, P) = P_t \cdot \max(0, T_{actual} - T_{target}) + P_c \cdot \max(0, C_{actual} - C_{target}) + P_p \cdot \max(0, P_{target} - P_{actual}) \quad (12)$$

Burada:

- P_t, P_c, P_p : Zaman gecikmesi, maliyet aşımı ve performans düşüşü başına ceza oranları.
- $\max(0, x)$: Bir cezanın yalnızca performans düşüklüğü olduğunda uygulanmasını sağlar.
- $Penalty = P_t \cdot \Delta T + P_c \cdot \Delta C + P_p \cdot \Delta P$

Burada:

P_t, P_c, P_p : Zaman, maliyet ve performans ceza oranlarına atanan ağırlıklar:

- ΔT : Proje tamamlama gecikmesi (ay olarak geç tamamlanma).
- ΔC : Maliyet aşımı.
- ΔP : İdeale karşı genel performans açığı.

Bu modeller, bir organizasyona belirli bir projeye ilişkin geçerli önceliklere göre ödül/ceza miktarını belirleme imkânı sağlar.

Örnek Yorumu:

- Üç aylık bir gecikme, **ceza** ile sonuçlanacaktır. $P_t \cdot 3$
- Bütçe %15 aşılsa, **ceza** uygulanacaktır. $P_c \cdot 15$
- Eğer gerçek performans hedefin altında kalırsa, cezalar açıkla orantılı olarak uygulanacaktır.

4.4. Net Teşvik Fonksiyonu

Projenin net teşviki, tüm ödülların toplamından tüm cezaların toplamının çıkarılmasıyla hesaplanır:

$$I = [B_t \cdot \max(0, T_{target} - T_{actual}) + B_c \cdot \max(0, C_{target} - C_{actual}) + B_p \cdot \max(0, P_{actual} - P_{actual})] - [P_t \cdot \max(0, T_{actual} - T_{actual})] \quad (13)$$

Yorum:

- Eğer ödüller cezaları geçiyorsa, $I > 0$; ekip net bir ödül alır.
- Eğer cezalar ödüllardan fazlaysa, $I < 0$; ekip net bir ceza alır.
- $I = 0$, gerçek performans hedefe uygundur; ödül/ceza uygulanmaz.

4.5. Risk ve Belirsizlik İçin Ayarlama

Ar-Ge projeleri oldukça belirsiz olduğu için, ödül ve ceza oranları *risk değerlendirmeleri* kullanılarak risk ağırlıklı hale getirilebilir. Daha belirsiz veya daha yüksek etki alanı olan ölçümler daha yüksek ağırlıklar alır. Bu yaklaşım, teşvik yapısının Ar-Ge projelerindeki risk-getiri dengesini yansıtmayı sağlar.

$$B_t = B_t \cdot (1 + R_t), \quad P_t = P_t \cdot (1 + R_t) \quad (14)$$

Burada:

R_t Zamanla ilgili belirsizlik için risk faktörü, örneğin teknolojik zorluklar nedeniyle yaşanan gecikmeler.

Benzer ayarlamalar maliyet (R_c) ve performans (R_p) riskleri için de yapılabilir.

4.6. Beklenen Teşvikler İçin Monte Carlo Simülasyonu

Ar-Ge projelerinin belirsiz doğası göz önüne alındığında, birden fazla potansiyel senaryoyu modellemek için Monte Carlo simülasyonları kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, karar vericilerin:

1. Projenin istenen zaman, maliyet ve performans hedefleri içinde tamamlanma olasılığını tahmin etmelerini sağlar.
2. Zaman, maliyet ve performans için rastgele değerler, önceden tanımlanmış dağılımlardan (örneğin, normal veya üçgen dağılımlar) çekilir.
3. Her senaryo için ödül-ceza fonksiyonu değerlendirilir.
4. Performansı etkileyebilecek kritik riskler, örneğin teknolojik zorluklar veya piyasa dalgalanmaları, belirlenir.

5. Teşviklerin beklenen değeri $E[I]E[I]E[I]$, tüm simülasyonlar boyunca net teşviklerin ortalamasını alarak hesaplanır:

$$E[I] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i \quad (15)$$

Burada N, simülasyon koşullarının toplam sayısını ve I_i ise i^{th} senaryo için teşvik değerini temsil eder.

Simülasyon, ana parametrelerde (örneğin, proje süresi veya bütçe) rastgele varyasyonlarla binlerce senaryo oluşturmayı içerir ve beklenen ödül-ceza etkisinin sağlam bir tahminini sağlar.

4.7. Proje Seçimi

- **Net Beklenen Değer (NEV) Modeli:**

Ar-Ge projelerinin seçimi, potansiyel ödül ve cezaları dikkate alan ayarlanmış NEV'lerine dayanır:

$$NEV = E(\text{Benefits}) - E(\text{Costs}) + E(\text{Ödül}) - E(\text{Ceza}) \quad (16)$$

Seçilen projeler, NEV çıktısına göre sıralanır. Bu, seçilen projelerin en yüksek yenilik düzeyine sahip olmasını ve daha iyi performans teşvik uyumu sağlamasını garanti eder.

Seçilen projeler, NEV çıktısına göre sıralanır. Bu, seçilen projelerin en yüksek yenilik düzeyine sahip olmasını ve daha iyi performans teşvik uyumu sağlamasını garanti eder.

4.8. Proje İzleme ve Kontrol

Proje metriklerinin düzenli takibi, gerçek zamanlı performans izlemeyi sağlar.

Takımlar, erken milestonelere ulaşmaları durumunda ara ödüller olarak motivasyonlarını pekiştirir.

Adaptif yönetim, proje koşulları değiştiğinde (örneğin, piyasa aksaklıkları veya yeni teknolojik gelişmeler) ödül ve ceza eşiklerinin ayarlanmasına olanak tanır.

Özetle, burada önerilen, Ar-Ge değerlendirmesi için performans metrikleri, hesaplama yöntemleri ve Monte Carlo simülasyonlarıyla entegre edilen ödül-ceza modellerinin bir metodolojisidir. Bu, teşviklerin yalnızca operasyonel hedeflerle değil, aynı zamanda stratejik önceliklerle de uyumlu olmasını sağlamak için önerilmektedir. Bu yaklaşım, proje sonuçlarının daha iyi şeffaflık ve kontrolünü sağlar ve Ar-Ge faaliyetlerindeki belirsizlikleri dikkate alır.

Ödül-ceza modeli, finansal teşvikleri zaman, maliyet ve performans metriklerine bağlayarak verimli ve yenilikçi sonuçları teşvik eden esnek, performansa dayalı bir çerçeve sunar. Monte Carlo simülasyonlarının entegrasyonu, belirsizliklerin içeri alınmasına yardımcı olarak organizasyonun projeleri seçme ve yönetme konusundaki kararlarını iyileştirmesine olanak tanır.

Gelecek projelerde, özellik geliştirme için verilen ödüllerin artırılması, teşvikleri ürün yenilik hedefleriyle daha iyi uyumlu hale getirebilir. Bu, projelerin başarıya ulaşması için daha net bir yön sağlayarak organizasyonel hedeflerle daha güçlü bir bağ kurar.

Gecikmelere yönelik cezalar, projelerin zaman çizelgelerinde risk değerlendirmeleri ve tampon sürelerin gerekliliğini vurgulamaktadır. Planlama aşamasında Monte Carlo simülasyonlarının kullanılması, zaman ve maliyet tahminlerini iyileştirerek projelerin yönetilmesinde daha sağlam bir temel oluşturabilir.

Proje geliştikçe, piyasa veya teknoloji değişiklikleri nedeniyle teşvikler için hedeflerin gözden geçirilmesi gerekebilir. Bu tür ara değerlendirmeler, teşvik yapısının uygun kalmasını sağlayarak dinamik ödül-ceza eşiklerinin uyarlanabilirliğini destekler.

5. UYGULAMA

5.1. Çalışmanın Amacı

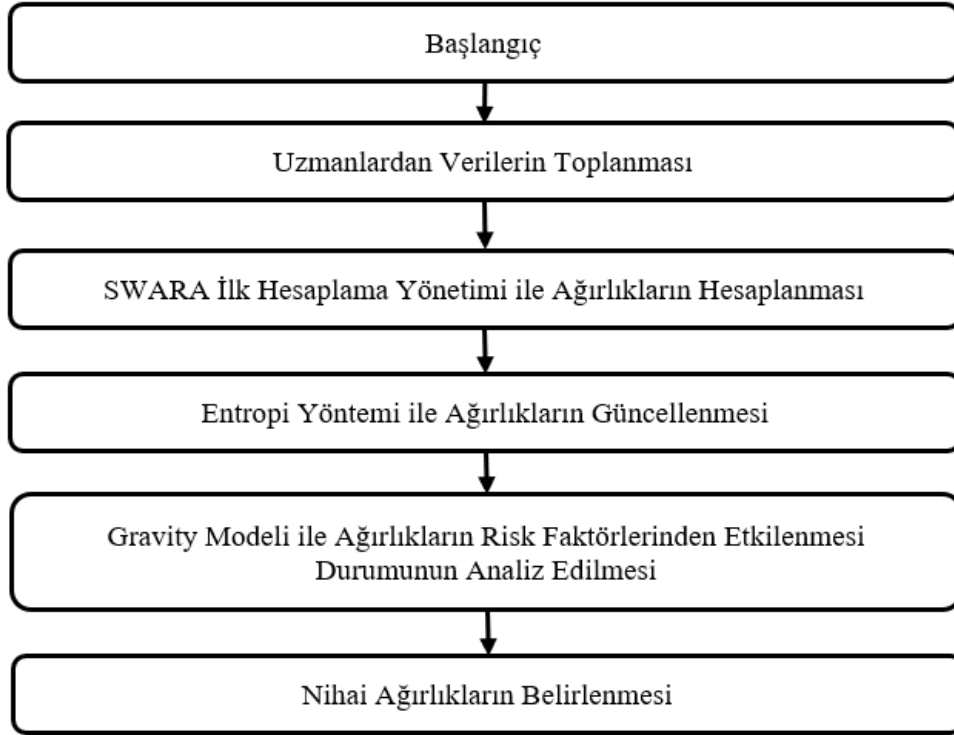
Bu yöntem, Ar-Ge projelerinde performans hedeflerini teşvik ederken riskleri yönetmeyi amaçlar. Ödül-ceza modelleri ile SWARA, TOPSIS, MAUT ve MOORA gibi MCDM yöntemleri birleştirilerek hem performans hem de risk odaklı bir değerlendirme süreci sağlanır.

5.2. Süreç Adımları

- **Performans Metrikleri:**
 - Zaman (kilometre taşlarına ulaşım, erken tamamlama vb.)
 - Maliyet (bütçe içinde kalma, maliyet optimizasyonu)
 - Teknik Performans (patent sayısı, ürün kalitesi)
- **Risk Metrikleri:**
 - **Teknolojik Risk:** Geliştirme zorlukları, teknik başarısızlıklar.
 - **Finansal Risk:** Bütçe aşımı, yatırım riskleri.
 - **Pazar Riski:** Ürün talep belirsizliği, rekabet koşulları.
 - **Organizasyonel Risk:** Kaynak yönetimi, ekip performansı.
 - **Çevresel Risk:** Mevzuat değişiklikleri, dışsal etkiler.
- **Ağırlık Belirleme Süreci**

Ağırlık belirleme süreci, Şekil'3de görüldüğü üzere ardışık adımlar halinde yürütülmektedir. İlk olarak, uzmanlardan risk ve performans metriklerini önem sırasına göre değerlendirmeleri istenir. Bu aşamada elde edilen veriler, SWARA Yöntemi, Entropi Yöntemi ve Gravity Modeli olmak üzere üç temel yaklaşım çerçevesinde işlenir ve her adımın ardından ağırlıklar güncellenir.

Şekil 5.1'de Nihai Ağırlıkların Belirlenmesi Akışı yer almaktadır.



Şekil 5.1. Nihai ağırlıkların belirlenmesi akışı

Uzmanlar tarafından her bir kriter için verilen puanlar temel alınarak kriter ağırlıkları belirlenir. Bu işlem,

$$W_i = \frac{s_i}{\sum s_j} \quad (17)$$

- W_i : Kriter ağırlığı
- s_i : Kriterin puanı

formülüyle yapılır. Bu yöntem, uzman görüşlerini sistematik bir şekilde değerlendirerek kriterler arasındaki öncelik sıralamasını sayısal olarak ortaya koyar.

SWARA aşamasından elde edilen ilk ağırlıklar, verilerin belirsizlik düzeyini yansıtan Entropi Yöntemi ile güncellenir. Her bir kriterin entropisi,

$$E_j = - \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (18)$$

formülü kullanılarak hesaplanır. Burada p_{ij} 'inci kriterin i 'inci alternatif için ifade ettiği olasılık dağılımıdır. Entropi değeri, kriterin ne kadar belirsiz olduğunu yansıtır;

belirsizliği düşük olan kriterlere daha yüksek ağırlık verilerek karar sürecinin doğruluğu artırılır.

Entropi yöntemiyle güncellenen ağırlıklar, alternatifler arasındaki “çekim kuvvetini” esas alan Gravity Modeli ile yeniden ele alınır. Model, alternatifler arasındaki benzerlik veya yakınlık arttıkça, ilgili ağırlıkların birbirlerini daha fazla etkilemesini sağlar. Hesaplama genellikle,

$$G_{ij} = \frac{W_i \cdot W_j}{d_{ij}} \quad (19)$$

Burada G_{ij} , alternatifler i ve j arasındaki çekim gücünü, W_i ve W_j alternatiflerin ağırlıklarını, d_{ij} ise aralarındaki uzaklığı gösterir. Bu model, alternatiflerin etkileşimini göz önünde bulundurarak daha dinamik bir karar verme süreci sağlar.

Şekil’3de özetlenen bu adımlar tamamlandıktan sonra, her bir kriter için güncellenmiş ve etkileşimleri de hesaba katan nihai ağırlıklar elde edilir. Böylelikle uzman görüşleri (SWARA), veri belirsizlik düzeyleri (Entropi) ve alternatifler arası etkileşim (Gravity) bir arada değerlendirilerek, karar verme sürecinin çok boyutlu ve tutarlı bir şekilde yürütülmesi sağlanır.

Proje verileri normalleştirilir ve pozitif/negatif ideal çözümler tanımlanır. Normalizasyon işlemi, metriklerin farklı birim ve ölçeklere sahip olmasından kaynaklanan etkileri ortadan kaldırır.

TOPSIS Yöntemi ile Değerlendirme: Her bir metrik, ideal çözüme olan uzaklığına göre değerlendirilir. Ağırlıklar, entropi ve gravity hesaplamalarına dayalı olarak güncellenir. Normalizasyon sonrası pozitif ve negatif ideal çözümlere göre projeler sıralanır.

$$C_i = \frac{D^-}{D^+ + D^-} \quad (20)$$

- D^- : Negatif ideal çözüme uzaklık
- D^+ : Pozitif ideal çözüme uzaklık

Fayda Fonksiyonları: Risk ve performans metrikleri için fayda fonksiyonları oluşturulur ve her bir kriterin fayda puanı hesaplanır.

$$U(x) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot u_j(x_j) \quad (21)$$

- **$U(x)$** : Genel fayda
- **w_j** : Kriter ağırlığı
- **$u_j(x_j)$** : Kriter fayda puanı

Burada, **w_j** kriter ağırlığı, **$u_j(x_j)$** ise kriterin fayda puanıdır. Entropi ve gravity ağırlıkları bu hesaplamada kullanılır.

Normalleştirilmiş puanlar, avantaj sağlayan ve sağlamayan özelliklere göre hesaplanır.

Fayda sağlamayan özellikler için ters oran uygulanır.

$$P_i = \frac{X_{ij}}{x_j^{max}} \quad (22)$$

Bu adımda da entropi ve gravity yöntemlerine dayalı olarak metrikler arasındaki denge sağlanır.

Performans ve risk değerlendirme sonuçları, ödül-ceza hesaplamalarında kullanılır: Ödül ve ceza fonksiyonları, projedeki sapmalara göre hesaplanır:

$$I = B(T,C,P) - P(T,C,P) \quad (23)$$

- **B**: Ödül fonksiyonu (pozitif sapmalara göre)
- **P**: Ceza fonksiyonu (negatif sapmalara göre)

Risk düzeyleri, teşvik eşiklerini belirlemek için Monte Carlo simülasyonlarıyla analiz edilir. Entropi ve gravity hesaplamaları, riskin daha doğru bir şekilde modellenmesini sağlar.

Proje ekipleri, riskleri azaltma ve performansı artırma hedeflerine göre teşvik edilir:

- **Ödüller**: Erken tamamlanma, bütçe tasarrufu, teknik başarılar.
- **Cezalar**: Gecikmeler, bütçe aşımı, performans eksiklikleri.

Risk yönetimine katkıda bulunan ekip üyelerine özel ödüller veya tanınma sağlanır. Bu süreçte entropi ve gravity, belirsizliği ve riskin etkisini minimize etmeye yardımcı olur.

Çeşitli MCDM yöntemlerinden elde edilen sonuçlar, duyarlılık analiziyle doğrulanır. Entropi ve gravity tabanlı ağırlıklarla elde edilen sonuçların ne kadar güvenilir olduğu değerlendirilir.

İlgili parametrelere sayısal değerler atayalım ve daha önce belirtilen hesaplama yöntemini uygulayalım. Bu, bu faktörleri göz önünde bulundurarak bir Ar-Ge projesi için ödülleri, cezaları ve riskleri hesaplamamıza olanak sağlayacaktır.

Varsayımlar

Proje kriterleri çerçevesinde, 20 adet risk faktörü (örneğin; teknolojik riskler, hukuki riskler vb.) belirlenmiştir. Bu risk faktörleri, projenin başarısını etkileyen kritik unsurlar olarak değerlendirilmiş ve her birine, öneme uygun ağırlık değerleri atanmıştır. Ayrıca, her risk faktörü için istenen azaltım hedefleri belirlenmiş ve projenin mevcut ilerlemesine dayalı olarak her bir riskin gerçek performans değeri ölçülmüştür. Ödül ve ceza ölçekleme faktörleri, ilgili risk türlerinin değerlendirilmesinde kullanılmak üzere tanımlanmıştır. Basitlik sağlamak amacıyla, bu risk faktörlerine rastgele ağırlıklar, hedef değerler, gerçek performans değerleri ve ölçekleme faktörleri atama yöntemi uygulanmış; aşağıda bu süreci basitleştirilmiş bir örnekle açıklanmaktadır.

Uygulama: Ar-Ge Projesinde Risk Yönetimi

Adım 1: Değişkenleri Tanımlanması

- P_i : Risk i'nin gerçek performansı veya değeri.
- T_i : Risk i için hedef değer (istenen risk azaltma seviyesi).
- W_i : Risk i'nin ağırlığı (riski ne kadar önemli olduğunun göstergesi).
- B_i : Risk i için prim (gerçek değer hedefi karşılar veya aşarsa).
- C_i : Risk i için ceza (gerçek değer hedefi karşılamazsa).
- R_i : Risk faktörü i ile ilişkili risk."

Adım 2: Değerlerin Atanması

Tablo 5.1’de Risk Yönetimi Değişken Değerleri yer almaktadır.

Tablo 5.1. Ar-Ge projesinde risk yönetimi değişken değerleri.

Risk Faktörü	Hedef Değer (T_i)	Gerçek Değer (P_i)	Ağırlık (W_i)
Teknolojik Riskler	10	15	0.10
Yasal ve Patent Riskleri	8	12	0.05
Pazar Kabulü	7	5	0.08
Teknolojik Bağımlılık	6	6	0.06
Rekabet	5	8	0.07
Zaman Riskleri	9	13	0.10
Finansal Riskler	6	10	0.09
Kaynak Kıtlığı	7	4	0.08
İletişim Sorunları	8	7	0.05
Tedarik Zinciri Sorunları	9	11	0.06
Ekip Üyesi Ayrılmaları	7	5	0.06
Sağlık ve Güvenlik Sorunları	8	9	0.05
Veri Güvenliği ve Gizliliği	6	4	0.04
Değişen Müşteri İhtiyaçları	7	8	0.06
Kalite Sorunları	9	8	0.07
Ulaşım ve Lojistik Sorunları	5	7	0.05
Politik Riskler	4	6	0.06

Tablo 5.1. (Devamı) Ar-Ge projesinde risk yönetimi değişken değerleri.

Risk Faktörü	Hedef Değer (T_i)	Gerçek Değer (P_i)	Ağırlık (W_i)
Kapsam Değişiklikleri	5	6	0.05
Doğal Afetler ve Dış Etkenler	3	2	0.07
Sendikalar ve Grevler	4	3	0.06
Hedeflenen Karlılığı Gerçekleştirememe	8	7	0.09
Pandemi ve Salgın Hastalıklar	10	5	0.10
İşgücü Kaynaklarının Eksikliği	6	9	0.05

Adım 3: Ödülları ve Cezaların Hesaplanması

Her risk faktörü için, gerçek değer hedefi karşılayıp karşılamadığına veya aşım aşmadığına göre ödülü veya cezayı hesaplarız

Ödül Hesaplaması:

$$B_i = \begin{cases} \alpha_i(P_i - T_i) & \text{if } P_i \geq T_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (24)$$

Ceza Hesaplaması:

$$C_i = \begin{cases} \beta_i(T_i - P_i) & \text{if } P_i < T_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (25)$$

Adım 4: Toplam Risk ve Ödülün Hesaplanması

Ödül Hesaplaması:

$$R_i = W_i \times |P_i - T_i| \quad (26)$$

Her risk faktörü için, gerçek değer hedefi karşılayıp karşılamadığına veya aşım aşmadığına göre ödülü veya cezayı hesaplarız

Ceza Hesaplaması:

$$\text{Total Reward} = \sum_{i=1}^{20} (B_i - C_i) - \sum_{i=1}^{20} R_i \quad (27)$$

Adım 5: Bazı Risk Faktörleri İçin Örnek Hesaplama

Örnek olarak Teknolojik Riskler ve Piyasa Kabulü için hesaplama yaparsak;

Teknolojik Riskler:

- $T_1 = 10, P_1 = 15, W_1 = 0.10, \alpha_1 = 2, \beta_1 = 5$
- **Ödül:** $B_1 = 2 \times (15 - 10) = 10$
- **Ceza:** $C_1 = 0$ (since $P_1 \geq T_1$)
- **Risk:** $R_1 = 0.10 \times |15 - 10| = 0.10 \times 5 = 0.5$

Pazar Kabulü:

- $T_2 = 7, P_2 = 5, W_2 = 0.08, \alpha_2 = 3, \beta_2 = 6$
- **Ödül:** $B_2 = 0$ (since $P_2 < T_2$)
- **Ceza:** $C_2 = 6 \times (7 - 5) = 12$
- **Risk:** $R_2 = 0.08 \times |5 - 7| = 0.08 \times 2 = 0.16$

Adım 6: Son Hesaplama

Şimdi, 20 faktörün tamamındaki toplam ödül ve riski hesaplıyoruz.

Tüm faktörler için toplam ödül ve risk yönetimi benzer şekilde hesaplanacaktır. Bu örnekte, Teknolojik Riskler bir ödül gösterirken, Pazar Kabulü bir ceza gösterir ve risk değerleri toplanarak proje üzerindeki toplam etki değerlendirilecektir.

Senaryolar

Bu bölüm, ödül-ceza yaklaşımının vaka çalışması ile ilgili modelin nicel analizini tartışacaktır. Alternatif proje sonuçlarının net teşvik değerini nasıl etkileyebileceğini ortaya çıkarmayı ve dalgalanan zaman, maliyet ve performansın nihai sonucu sunma üzerindeki etkisini belirlemeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, çeşitli ödül ve ceza oranlarının proje kararları üzerindeki etkilerini incelemek için duyarlılık analizi yapılmaktadır.

Temel Senaryo: Sonuçların Özeti

Giyilebilir cihaz ile ilgili proje sonuçları, X Firmasının orijinal vaka çalışmasında aşağıdaki gibi olmuştur:

Tablo 5.2’de Temel Durum Senaryosu sunulmuştur.

Tablo 5.2. Temel durum senaryosu: çıktıların özeti

Ölçüt	Hedef	Gerçekleşen	Sapma
Zaman	12 ay	14 ay	+2 ay (gecikme)
Maliyet	5 Milyon Dolar	5.3 Milyon Dolar	+ 300,000 \$ (Bütçe Aşımı)
Performans	3 Özellik + Uyum	2 Özellik + Uyum	-1 Özellik (ECG eksik)

Tablo 5.3’te Kasa Çalışmasında Kullanılan Ödül Ve Ceza Oranları Tablosu yer almaktadır.

Tablo 5.3. Kasa çalışmasında kullanılan ödül ve ceza oranları tablosu

Ölçüt	Ödül Oranı	Ceza Oranı	Ölçüt
Zaman	Kurtarılan her ay için \$50,000	Geciken her ay için \$75,000	Zaman
Maliyet	Bütçe tasarrufunun 2% ‘si	Aşırı maliyetin 3%’ü	Maliyet
Performans	Ekstra her özellik/sertifika için \$100,000	Eksik her özellik için \$150,000	Performans

Temel senaryo için net teşvik:

$$I = 200.000 - 309.000 = -109.000 \text{ USD}$$

Bu negatif teşvik, **gecikmeler, bütçe aşımı ve karşılanmayan performans hedefleri** nedeniyle oluşan cezaları yansıtmaktadır.

Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizimiz, proje koşullarının zaman, maliyet ve performans sonuçları değiştikçe nasıl değişebileceğini belirlemeye yardımcı oldu. Aşağıdaki üç senaryo, bu koşullar altında net teşvikin nasıl değişebileceğini göstermektedir.

Senaryo 1: Zamanında Tamamlama ile Maliyet Aşımı

- Zaman: 12 ay (zamanında)
- Maliyet: 5,3 milyon \$ (+300.000 \$)
- Performans: 2 özellik + uygunluk (1 özellik eksik)

Hesaplama:

- Zaman ödülü/cezası: 0 \$ (zamanında)
- Maliyet cezası: Maliyet cezası: $3 \times 300.000 = 9.000$ \$
- Performans cezası: 150.000\$
- Performans ödülü: $2 \times 100.000 = 200.000$ \$

$$I = 200.000 - (9.000 + 150.000) = 41.000\$$$

Bu senaryoda, proje 41.000 \$ net ödül elde ediyor ve bu durum, maliyet aşımına rağmen zaman çizelgesine uyulmasının önemini vurguluyor.

Senaryo 2: Tam Özellikler ile Erken Tamamlanma Ancak Daha Yüksek Maliyet Aşımı

- Süre: 11 ay (1 ay erken)
- Maliyet: 5.5 milyon \$ (+500.000 \$)
- Performans: 3 özellik + uygunluk

Hesaplama:

- Zaman ödülü: $50.000 \times 1 = 50.000$ \$
- Maliyet cezası: $3 \times 500.000 = 15.000$ \$
- Performans ödülü: $3 \times 100.000 = 300.000$ \$

$$I = 50.000 + 300.000 - 15.000 = 335.000\$$$

Bu senaryo, erken tamamlanmanın ve tüm planlanan özelliklerin teslim edilmesinin maliyet aşımını önemli ölçüde aşabileceğini göstererek 335.000 \$ net ödül ile sonuçlanmaktadır.

Senaryo 3: Ciddi Gecikmeler ama Bütçenin Altında

- Zaman: 16 ay (+4 ay gecikmeli)
- Maliyet: 4.8 milyon \$ (-200.000 \$)
- Performans: 2 özellik + uyum

Hesaplama:

- Zaman cezası: $75.000 \times 4 = 300.000\$$
- Maliyet ödülü: $\%2 \times 200.000 = 4.000\$$
- Performans cezası: $150.000\$$
- Performans ödülü: $2 \times 100.000 = 200.000\$$

$$I = (4.000 + 200.000) - (300.000 + 150.000) = -246.000\$$$

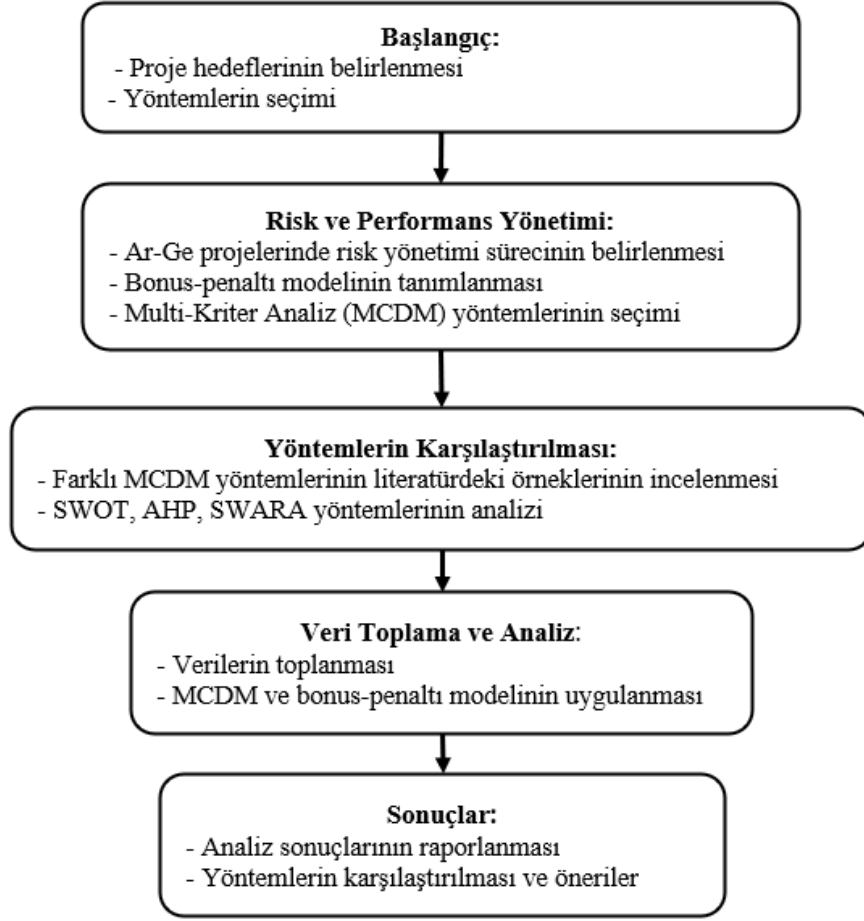
Bu senaryo, 246.000 \$ net ceza ile sonuçlanarak ciddi gecikmelerin modeldeki en zararlı faktör olduğunu vurgulamaktadır.

Tablo 5.4'te Senaryolar Arası Sonuçların Karşılaştırılması yer almaktadır.

Tablo 5.4. Senaryolar arası sonuçların karşılaştırılması

Senaryo	Net Teşvik (USD)	Anahtar İç Görüler
Temel Senaryo	-109,000	Gecikmeler ve eksik özellikler ağır şekilde cezalandırılır
Senaryo 1 (Zamanında Aşırı Maliyet)	41,000	Zamanında teslimat, maliyet aşımına karşı daha ağır basar
Senaryo 2 (Erken, Yüksek Maliyet)	335,000	Erken tamamlanma ve tam özellikler en iyi sonucu sağlar
Senaryo 3 (Şiddetli Gecikmeler)	-246,000	Gecikmeler en büyük finansal cezayı doğurur

Yukarıda yer olan uygulama örneklerinin özet niteliğinde ki akış şeması Şekil 5.2, Uygulama Özeti Akış Şeması'nda sunulmaktadır.



Şekil 5.2. Uygulama özeti akış şeması.

Gecikmeler, net teşvikler üzerinde en büyük etkiye sahiptir; bu nedenle, uygun programlama ve zaman yönetimi herhangi bir Ar-Ge projesi için kritik hale gelir. Ek özellikler veya ek sertifikalar önemli ödüller sağlar ve bu da yeniliği teşvik eder. Bütçeyi aşan projeler, teslimatları üstün performansa sahip veya zaman çizelgesine uyması durumunda yine de pozitif bir net teşvik sağlayabilir.

Sayısal sonuçlar, herhangi bir ölçüt üzerinde aşırı ağırlık vermenin – örneğin, zamanın – suboptimal karar alma süreçlerine yol açabileceğini göstermektedir. Dengeli bir ödül-ceza modeli, ekiplerin tüm boyutlar üzerinden teşvik edilmesini sağlayacaktır. Aşağıda gösterilen sayısal sonuçlar, ödül-ceza modelinin Ar-Ge projelerinin sonuçlarını etkilemedeki etkinliğini göstermektedir. Hassasiyet analizi, erken tamamlama ve yeniliğin, maliyetler artsa bile en iyi sonuçları sağladığını açıkça göstermektedir. Gecikmeler, zaman kontrolünün ne kadar katı olduğunu gösteren en ağır cezaları uygulamaktadır.

Analiz ayrıca, teşvik yapısındaki esnekliğin mümkün olduğunu ve bu sayede zaman ve maliyet gibi çeşitli ölçütler arasında değiş tokuş yapılmasına olanak tanıdığını ortaya koymaktadır. Bu bulgulara dayanarak, şirketler Ar-Ge teşvik politikalarını ince ayar yaparak finansal performans ile yenilik hedeflerini bir arada başarmayı amaçlayabileceklerdir.

Sonuç Bu kadar rekabetçi ve yenilikçi bir senaryoda, Ar-Ge projelerinin verimliliği, bir organizasyonun pazar konumunu koruması ve daha fazla büyüme sağlaması açısından kritik hale gelmiştir. Bu makalede, finansal teşvikler ve stratejik hedeflerle uyumlu olarak Ar-Ge performansını optimize edecek **ödül-ceza modeli** tanıtılmıştır. Zaman, maliyet ve performans ölçümleri, organizasyonun daha iyi sonuçlar yaratmak için hesap verebilirliği artırdıkça bir proje değerlendirme çerçevesinde analiz edilmelidir.

Ödül-ceza modeli, herhangi bir Ar-Ge ekibinin projede talep edilen sonuçları teslim etmesini kesinlikle sağlayacaktır. Diğer bir deyişle, finansal ödüllerin sonuç ölçütleri ile bağlantılı olması, organizasyonun zamanında tamamlama, bütçelere uyma veya yenilik hedeflerine ulaşma konusunda yönlendirme yapmasına olanak tanır. Hassasiyet analizi, yalnızca bir tek ölçüte güvenmenin istenmeyen sonuçlara yol açabileceğini -örneğin zaman çizelgelerini karşılamama veya hiç performans gösterememe gibi- göstermiştir. Zaman, maliyet ve performansı teşvik etme konusundaki dengeli yaklaşım, projelerin değerlendirilmesinin bütüncül olmasını ve ekiplerin tüm boyutlarda mükemmellik için çaba göstermesini sağlayacaktır. Gerçekten de, vaka çalışması, projedeki dinamiklerin, gecikmeler veya maliyet aşımı gibi, genel teşvikleri nasıl güçlü bir şekilde etkileyebileceğini göstermiştir. Bulgular, zaman ve bütçe ile ilgili riskleri azaltabilecek proaktif proje yönetimi stratejilerine ihtiyaç duyulduğunu vurgulamaktadır ve dolayısıyla projenin sonucunu optimize etmektedir. Model esnek olduğundan, bir organizasyon, herhangi bir bağlamda, ödül ve ceza oranlarını değiştirebilir. Bu, teşviklerin organizasyonel hedefler ve proje gerçeklikleri ile daha odaklı bir şekilde uyumlu hale getirilmesini sağlayabilir ve etkinliği daha da artırabilir. Modelin X Firmasının vaka çalışmasındaki pratik uygulaması, ne kadar uygulanabilir ve etkili olabileceğini göstermiştir. Sonuçlar, bazı zorluklar olabilse de, eğer doğru bir şekilde tasarlanırsa, bir teşvik çerçevesinin stratejik başarıları ödüllendirerek ve istenmeyen varyasyonları cezalandırarak kesinlikle olumlu sonuçlar üreteceğini kanıtlamıştır.

Bu sonuç ümit verici olsa da, ödül-ceza modelinin daha fazla iyileştirme ve geliştirme gerektirdiği ortadadır. Bu, ödül-ceza modellerinin farklı endüstrilerdeki Ar-Ge verimliliği üzerindeki uzun vadeli etkilerini uzun dönemli analizlerde de araştırılabilir.

Sektöre özgü ayarlamalar, modelin ilaç, teknoloji veya otomotiv gibi endüstri dinamiklerine uyumlu hale getirilmesi açısından kritik öneme sahiptir; çünkü Ar-Ge'nin belirlediği zorluklar ve hedefler farklılık gösterebilir.

Niceliksel Ölçümler Geliştirme: Performans değerlendirmesi için daha hassas ölçütler geliştirilirken, Ar-Ge çıktılarının yenilik etkisi ve piyasa hazırlığı gibi niteliksel boyutları da içeren ölçütler geliştirilir.

Teşvik yapılarının psikolojik yönleri: Ekip dinamikleri, yaratıcılık ve Ar-Ge ortamlarında risk alma üzerinde etkili faktörler.

Öncelikle, bu tezde ödül-ceza modelini Ar-Ge performansının verimliliği ve optimizasyonu açısından önemli bir adım olarak görmektedir. Bu nedenle, yaklaşım, organizasyonların Ar-Ge süreçlerinin sürekli iyileştirilmesi ve tüm paydaşlar için değer yaratmada rekabet avantajı sağlaması amacıyla hesap verebilirlik ve yenilik kültürünü geliştirmesine olanak tanıyacaktır. Bu yaklaşım, Ar-Ge ekiplerinin finansal teşvikleri stratejik proje yönetimi ile birleştirerek işleri farklı bir şekilde yapmalarına olanak tanır. Bu nedenle, organizasyonel hedeflerle ve piyasa talepleriyle tutarlı başarılı sonuçlar elde edilecektir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmanın temel amacı, Ar-Ge projelerindeki risk yönetimi ve performans analizi süreçlerini optimize etmek amacıyla ödül-penaltı modelleri ile çok kriterli karar analizi (MCDM) yöntemlerinin entegrasyonunu incelemektir. Alpplas Ar-Ge merkezi örneği üzerinden yürütülen çalışma, risk faktörlerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi süreçlerini, SWARA (Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis) gibi MCDM yöntemlerinin uygulanmasını ve ödül-penaltı modelinin Ar-Ge projeleri üzerindeki etkilerini kapsamlı bir biçimde değerlendirmiştir.

Çalışmanın bulguları, Ar-Ge projelerindeki risklerin doğrudan projelerin başarısını etkileyen temel unsurlar olduğunu göstermektedir. Teknik, finansal ve yönetsel risk faktörlerinin her birinin önceliklendirilmesi, projelerdeki başarısızlıkları minimize etmek ve başarıyı artırmak açısından belirleyici stratejik araçlar olarak öne çıkmıştır. Özellikle, teknik risklerin yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve mevcut teknolojilerin entegrasyonundaki belirsizlikler nedeniyle projelerin başarısını tehdit ettiği ve bu risklerin %45'lik ağırlığa sahip olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda, “teknolojik belirsizlik” faktörü projelerdeki en büyük tehditlerden biri olarak %25'lik bir ağırlığa ulaşmış; ayrıca, proje ekibinin deneyim eksikliği de teknik risklerin yönetilmesinde karşılaşılan önemli zorluklar arasında yer almıştır.

Finansal riskler, Ar-Ge projelerinde bütçeleme ve kaynak yönetimi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Yapılan analizler, finansal risklerin %35'lik bir ağırlığa sahip olduğunu ortaya koymuş; en büyük tehdit faktörü olarak “kaynak yetersizliği” öne çıkmıştır. Proje yönetiminde finansal kaynakların önemi, belirlenen hedeflere ulaşılmasında temel bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Kaynak yetersizliği, projelerin planlanan hedeflere ulaşamamasına neden olurken, maliyet sapmaları başlangıç bütçesinin aşılmasına yol açarak projenin sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu tür finansal risklerin doğru bir şekilde yönetilmesi, proje yöneticilerinin dikkat etmesi gereken önemli hususlardan biridir.

Yönetsel riskler ise, teknik ve finansal risklere kıyasla daha düşük bir ağırlığa sahip olmakla birlikte, proje yönetiminde göz ardı edilmemesi gereken önemli bir boyut

olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda, yönetimsel risklerin %20’lik bir ağırlığa sahip olduğu tespit edilmiş; özellikle “liderlik eksiklikleri” ve “proje yönetimindeki zorluklar” gibi etmenlerin projelerin başarı oranlarını olumsuz yönde etkileyebileceği belirlenmiştir. Bu durum, yönetimsel risklerin etkisinin daha düşük olmasına rağmen, etkin yönetiminin projenin genel başarısı açısından vazgeçilmez olduğunu göstermektedir.

Risk faktörlerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi sürecinde kullanılan SWARA yöntemi, proje yöneticilerinin ve karar vericilerin risklerin önem derecelerini sistematik bir yaklaşım çerçevesinde belirlemelerine olanak tanımıştır. SWARA yöntemi sayesinde, teknik riskler kategorisinin proje başarısını en fazla etkileyen alan olarak ortaya çıktığı; özellikle “teknolojik belirsizlik” faktörünün projelerin başarı oranlarını doğrudan etkileyen en kritik unsurlardan biri olduğu saptanmıştır. Ayrıca, “proje ekibinin deneyim eksikliği” gibi faktörlerin de proje başarısızlıklarını artıran etmenler olarak değerlendirilmesi, Ar-Ge projelerindeki ekip yapılarına ve uzmanlık seviyelerine dikkat edilmesi gereken önemli noktaları işaret etmiştir. Finansal riskler kapsamında ise “kaynak yetersizliği” faktörünün, projelerin finansal sağlığı üzerinde en fazla etkisi olan unsur olarak %30’luk bir ağırlığa ulaşması, finansal planlama ve kaynak yönetiminin ne denli kritik olduğunu ortaya koymuştur. Yönetimsel risklerde ise, liderlik eksiklikleri ve proje yönetimindeki zorluklar, teknik ve finansal riskler kadar olmasa da projelerin başarısını düşürebilecek unsurlar olarak değerlendirilmiştir.

Ödül-ceza modelleri, proje yöneticilerinin riskleri daha etkin bir şekilde yönetebilmesine ve projelerin performansını artırabilmesine önemli katkılar sağlamıştır. Uygulanan modelde, belirli risk faktörlerinin etkileri doğrudan performans puanlarına yansıtılarak, yüksek performans gösteren ekiplerin ödüllendirilmesi ve riskleri yönetmede yetersiz kalan ekiplerin cezalandırılması sağlanmıştır. Hesaplama yöntemleri ve veri analizi kullanılarak ödül ve ceza miktarlarının objektif olarak belirlenmesi, hem finansal hem de yönetimsel açıdan projelerin başarı oranlarını artıran etkili bir mekanizma oluşturmuştur. Özellikle yüksek teknik risk içeren projelerde, proje yöneticilerinin risklerin etkisini azaltmak için ek önlemler almak durumunda kalması, ödül-penaltı modelinin riskleri doğru bir şekilde yönetmeye yönelik teşvik sağlayıcı etkisini ortaya koymuştur.

Araştırmanın bulguları, Ar-Ge projelerinde risk yönetiminin ve performansın optimize edilmesinin projelerin başarısını artıran kritik faktörler olduğunu net bir şekilde

göstermektedir. Bununla birlikte, çalışmanın sınırlı bir sektörel analiz üzerinden elde edilmiş sonuçlara dayanması, gelecekteki araştırmaların daha geniş bir sektörel yelpazede ve farklı Ar-Ge projeleri üzerinde gerçekleştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Gelecekte, farklı MCDM tekniklerinin entegrasyonu ile daha kapsamlı bir risk analizinin yapılması, projelerin dinamik bir şekilde değerlendirilebilmesine olanak tanıyacak; ayrıca, risklerin gelecekteki olası değişkenler ışığında analiz edilmesi, projelerin uzun vadeli planlamalarında sürdürülebilirliğin artırılmasına katkıda bulunacaktır.

Sonuç olarak, Ar-Ge projelerinde risk yönetimi ve performansın optimize edilmesi, projelerin başarısını doğrudan etkileyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Ödül-penaltı modelleri ile MCDM yöntemlerinin entegrasyonu, proje yöneticilerine güçlü bir karar verme aracı sunmakta, risklerin önceliklendirilmesi ve etkili yönetimi sayesinde projelerin başarı oranlarını artırmaktadır. Bu yöntemlerin sürekli olarak geliştirilmesi ve uygulanabilir hale getirilmesi, Ar-Ge projelerinin gelecekteki başarıları üzerinde belirleyici bir rol oynayacak stratejik yaklaşımların temelini oluşturmaktadır.



KAYNAKLAR

- Almeida, M. R., & Ciferri, A. A. (2019). Multi-criteria decision analysis: a tool for enhancing project risk management in R&D. *Journal of Risk and Financial Management*, 12(1), 1-15. <https://doi.org/10.3390/jrfm12010001>.
- Arora, A., & Gambardella, A. (2005). The globalization of the research and development model: The challenge for emerging economies. *Research Policy*, 34(5), 621-642.
- Bessant, J., & Tidd, J. (2015). *Innovation and entrepreneurship*. Wiley.
- Bonetti, M., Bisi, L., & Restelli, M. (2023). Risk-averse optimization of reward-based coherent risk measures. *Artificial Intelligence*, 316, 103845. <https://doi.org/10.1016/j.artint.2022.103845>.
- Bruni, M. E., Di Puglia Pugliese, L., Beraldi, P., & Guerriero, F. (2017). An adjustable robust optimization model for the resource-constrained project scheduling problem with uncertain activity durations. *Omega*, 71, 66-84. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.09.009>.
- Chen, S., & Huang, Y., A. (2009). Study of innovation capability and performance: The case of manufacturing industry. *Journal of Business Research*, 62(4), 489-495.
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive Capacity: A new perspective on learning and innovation, *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128-152.
- Deng, H. (2007). Developing a grey relational analysis model for the evaluation of innovative product design alternatives. *Journal of Grey System*, 19(3), 67-75. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.08.022>.
- Edquist, C. (1997). *Systems of innovation: Technologies, institutions, and organizations*. Pinter Publishers.
- El-Tannir, A. (2019). Optimal project deadlines for mean-variance incentive contract designs. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106018. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106018>.
- Etgar, R., Gelbard, R., & Cohen, Y. (2017). Optimizing version release dates of research and development long-term processes. *European Journal of Operational Research*, 259(2), 642-653. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.10.029>.
- Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (2005). *Multiple-Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer.
- Fu, F., & Xing, W. (2021). An agent-based approach for project-driven supply chain problem under information asymmetry and decentralized decision-making. *Computers & Industrial Engineering*, 158, 107410. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107410>.

- Gassmann, O., & Zeschky, M. (2008). Opening up the Innovation Process: From R&D to Innovation and Commercialization, *R&D Management*, 38(4), 333-344.
- Hall, B. H., & van Reenen, J. (2000). How Effective Are Fiscal Incentives for R&D? A New Review of the Evidence, *Research Policy*, 29(4), 649-659.
- He, Z. L., & Wong, P. K. (2004). Exploration vs. exploitation: An empirical study of the role of innovation in firm performance, *International Journal of Technology Management*, 27(2), 206-226.
- Katz, J. S. (2006). The Role of research and development in globalization: The case of biotechnology, *Research Policy*, 35(7), 1111-1123.
- Kline, S. J., & Rosenberg, N. (1986). An overview of innovation. In *The positive sum strategy: Harnessing technology for economic growth* (pp. 275-304), National Academy Press.
- Mardani, A., Jusoh, A., Zavadskas, E. K., & Kadir, M. M. (2017). A review of multi-criteria decision-making applications to sustainable energy: A case study of topology in wind energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 360-372. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.195>.
- Machlup, F. (1980). *Knowledge: Its creation, distribution, and economic significance*. Princeton University Press.
- Moussa, S. (2019). Application of the SWARA method for prioritization of risk factors in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(6), 04019035. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001681](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001681).
- Öztürk, N., & Arda, S. (2017). Multi-criteria decision-making in logistics: A comparison of MAUT, AHP, and TOPSIS approaches. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(5), 495-513. <https://doi.org/10.1080/13675567.2016.1164084>.
- Oprić, S., & Tzeng, G.-H. (2003). Defuzzification within a multicriteria decision model. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 11(5), 517-528. <https://doi.org/10.1142/S0218488503001873>.
- Parimala, M., Prakash, K., Al-Quran, A., Riaz, M., & Jafari, S. (2023). Optimization algorithms of PERT/CPM network diagrams in linear diophantine fuzzy environment. *Computer Modeling in Engineering and Sciences*, 139(1), 1095-1118. <https://doi.org/10.32604/cmescs.2023.031193>.
- Pisano, G. P. (2006). Can science be opened up?, *Science*, 314(5802), 24-25.
- Purnus, A., & Bodea, C.-N. (2014). Project prioritization and portfolio performance measurement in project oriented organizations. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 339-348. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.039>.
- Roper, S., & Love, J. H. (2002). Innovation and export performance: evidence from the uk and german manufacturing sectors. *Research Policy*, 31(7), 1073-1090.
- Turgay, S., Dinçer, E.D., & Kaznacı, S. (2023). Navigating uncertainty: A comprehensive approach to risk management in R&D projects with the gravity search algorithm based MCDM, *Industrial Engineering and Innovation Management*, 6(10), 95-103. <https://doi.org/10.23977/ieim.2023.061013>.

- Salamai, A. A. (2024). Curriculum learning empowered reinforcement learning for graph-based portfolio management: performance optimization and comprehensive analysis. *Neural Networks*, 179, 106537. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2024.106537>.
- Shahsavari, M., Akhavan Niaki, S. T., & Najafi, A. A. (2010). An efficient genetic algorithm to maximize net present value of project payments under inflation and bonus–penalty policy in resource investment problem. *Advances in Engineering Software*, 41(7–8), 1023–1030. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2010.03.002>.
- Song, Y., Wang, J., Lu, J., & Si, X. (2023). Research on collaborative scheduling of multiple projects of prefabricated building based on the niche genetic-raccoon family optimization algorithm. *Alexandria Engineering Journal*, 64, 1015–1033. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.08.054>.
- Spruytte, J., Van der Wee, M., Bouchrika, I., Rip, K., Verbrugge, S., & Colle, D. (2020). Optimizing a joint multi-operator planning to reduce deployment costs and urban hinder. *Computers & Industrial Engineering*, 144, 106424. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106424>.
- Tidd, J., Bessant, J., & Pavitt, K. (2005). *Managing innovation: Integrating technological, market and organizational change*. Wiley.
- Tomczak, M., & Jaśkowski, P. (2022). Harmonizing construction processes in repetitive construction projects with multiple buildings. *Automation in Construction*, 139, 104266. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104266>.
- Van de Ven, A. H. (1986). Central problems in the management of innovation. *Management Science*, 32(5), 590–607.
- Von Hippel, E. (2005). *Democratizing innovation*. MIT Press.
- Watanabe, C., & Yamakawa, Y. (2007). Innovation and R&D efficiency: The Japanese case. *International Journal of Technology Management*, 38(4), 358–373.
- Wu, X., & Liao, H. (2023). A compensatory value function for modeling risk tolerance and criteria interactions in preference disaggregation. *Omega*, 117, 102836. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2023.102836>.
- Xing, W., Fu, F., & Xie, H. (2020). Optimal pricing strategy for product innovation: A game theoretic approach. *International Journal of Industrial Engineering*, 27(3), 153–164.
- Xu, S., Liu, Q., Hu, Y., Xu, M., & Hao, J. (2023). Decision-making models on perceptual uncertainty with distributional reinforcement learning. *Green Energy and Intelligent Transportation*, 2(2), 100062. <https://doi.org/10.1016/j.geits.2022.100062>.
- Yuan, Y., Yuan, X., Wang, H., & Li, M. (2024). Model exploration of grid adjustment and restoration strategy based on intelligent decision system. *International Journal of Thermofluids*, 21, 100580. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.100580>.
- Zahra, S. A., & George, G. (2002). Absorptive capacity: A review, reconceptualization, and extension. *Academy of Management Review*, 27(2), 185–203.

- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Kildienė, S. (2014). Risk assessment of construction projects: an integrated approach based on MCDM methods. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 9(1), 40-49. <https://doi.org/10.3846/bjrbe.2014.06>.
- Zhou, Y., & Liu, X. (2018). Application of MOORA method to evaluate the risk factors of innovation projects in high-tech enterprises. *International Journal of Technology*, 9(6), 1181-1190. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i6.1750>.
- Zhang, Y., Li, X., & Zhang, H. (2016). Combining SWARA and TOPSIS for risk assessment in software projects. *Journal of Software: Evolution and Process*, 28(9), 736-749. <https://doi.org/10.1002/smr.1914>.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ezgi Gül Dinçer

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, Nişantaşı Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri M.
- **Yükseklisans** : Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Yönetimi