



**MÜHENDİSLİK DEĞİŞİKLİK KARARLARININ ÇOK KRİTERLİ KARAR
VERME YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ayçağ ALTUN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2022

ETİK BEYAN

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

- 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 çalışmada 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.

Ayçağ ALTUN

22/06/2022

MÜHENDİSLİK DEĞİŞİKLİK KARARLARININ ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ayçağ ALTUN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2022

ÖZET

Ürün yaşam döngüsü içerisinde kaçınılmaz olan Mühendislik Değişikliği, bu döngünün herhangi bir aşamasında tüm firmalarda karşılaşılabilecek ve farklı yönetim seviyelerinde karar almayı gerektirecek bir süreçtir. Mühendislik Değişikliği Yönetiminde alınacak kararlar firmanın öncelikli hedefleri arasında yer alan süreklilik ve karlılık açısından oldukça önemlidir. Mühendislik Değişiklik Yönetimi kapsamında firmaların çok sayıda karar verici ile değişiklikleri değerlendirmesi ve müşteri memnuniyetini sağlamak için hızlı bir şekilde aksiyon alınması gerekmektedir. Mühendislik Değişiklikleri için karar verilirken etkisi; yayılım ve risk faktörleri ile birlikte göz önünde bulundurularak minimum maliyet amacı ile yönetilmesi beklenmektedir. Mühendislik Değişiklik Yönetimi firmalar açısından stratejik kararlar alınarak yürütülmesi gereken zorlayıcı bir süreçtir. Bu çalışmada Mühendislik Değişiklik Yönetiminin firmalar tarafından daha etkin ve verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için bir karar destek sistemi önerilmektedir. Çalışma Mühendislik Değişiklik Yönetiminin kritik rol oynadığı Savunma Sanayii sektörü için ele alınmış ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden DEMATEL, DANP ve TOPSIS bir arada kullanılarak aynı sektörden iki farklı şirket ile vaka çalışması yapılmıştır. Önerilen çalışma örnek alternatifler senaryosu ile uygulanmıştır. İki farklı şirkette yapılan çalışma ile Mühendislik Değişiklik Yönetiminde şirketler arası farklılık olabileceği tespit edilmiştir ve sürecin şirket kültürüne uygun seçilmesi gerektiği desteklenmiştir. Firmalarda karar vericilerin karar vermesini etkin bir şekilde yürütmesini sağlamak için Mühendislik Değişiklik Kararına neden olan kriterlerin önem ve etki düzeylerini dahil ederek Mühendislik Değişiklik Yönetimi sürecinde karar vermeyi destekleyecek şekilde süreç adımları geliştirilerek bir öneri yapılmıştır.

Bilim Kodu : 90608
Anahtar Kelimeler : Mühendislik Değişiklik Yönetimi, Karar Destek Sistemi, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri
Sayfa Adedi : 73
Danışman : Doç. Dr. Tahsin ÇETİNYOKUŞ

THE EVALUATION OF ENGINEERING CHANGE DECISIONS WITH MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING METHODS

(M. Sc. Thesis)

Ayçağ ALTUN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2022

ABSTRACT

Engineering Change, which is inevitable in the product life cycle, is a process that can be encountered in all companies at any stage of this cycle and requires decision-making at different management levels. Engineering Change Management decisions are very important in terms of continuity and profitability, which are among the priority goals of the company. Within the scope of Engineering Change Management, companies need to act quickly to evaluate changes with numerous decision-makers and to ensure customer satisfaction. During the engineering change decisions, it is expected to be managed with the aim of minimum cost, considering the spread and risk factors. Engineering Change Management is a challenging process that must be carried out by making strategic decisions for companies. In this study, a decision support system is proposed to carry out Engineering Change Management more effectively and efficiently by companies. The study was handled for the Defense Industry sector, where Engineering Change Management plays a critical role, and a case study was conducted with two companies from the same sector by using DEMATEL, DANP, and TOPSIS Multi-Criteria Decision-Making Methods. The proposed study was applied with a sample alternatives scenario. With the study conducted in two different companies, it was detected that there may be differences between companies in Engineering Change Management and it was supported that the process should be chosen under the company culture. In order to enable decision-makers in companies to carry out their decision-making effectively, a proposal has been made by developing process steps to support decision making in the Engineering Change Management process by including the importance and impact levels of the criteria that cause the Engineering Change Decision.

Science Code : 90608

Key Words : Engineering Change Management, Decision Support System, Multi-Criteria Decision-Making Methods

Page Number : 73

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Tahsin ÇETİNYOKUŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. MÜHENDİSLİK DEĞİŞİKLİK KARARI.....	3
2.1. Ürün Yaşam Döngüsü	4
2.2. Mühendislik Değişiklik Yönetimi.....	6
2.2.1. Paydaşlar	7
2.2.2. Konfigürasyon yönetimi	8
2.2.3. Etkileri	9
2.2.4. Sorunları	10
3. LİTERATÜR TARAMASI.....	11
3.1. Mühendislik Değişiklik Kararı	11
3.2. Mühendislik Değişikliği ve Karar Verme Yöntemleri	14
3.3. DEMATEL, DANP ve TOPSIS Yöntemi.....	14
4. METODOLOJİ.....	17
4.1. DEMATEL	17
4.2. DANP	19
4.3. TOPSIS.....	22
5. UYGULAMA	25

	Sayfa
5.1. Savunma Sanayii Sektöründe Mühendislik Değişiklik Yönetimi	25
5.2. Firmalar Hakkında	26
5.3. Mühendislik Değişiklik Kararı Nedenleri	27
5.4. Uygulama Hakkında	29
5.4.1. Veri toplama süreci	29
5.4.2. Limitler	30
5.4.3. Veri analizi	30
5.5. Alternatiflerin Değerlendirilmesi Senaryosu	40
5.6. Bulguların Yorumlanması	43
5.6.1. Acil mühendislik değişikliği	43
5.6.2. Başlatılan mühendislik değişikliği	45
5.6.3. Alternatiflerin sıralanması senaryosu	47
5.7. Mühendislik Değişiklik Yönetimi Süreç Adımlarının Detaylandırılması	48
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	53
EKLER	59
EK-1. Anket formu	60

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Ürün yaşam döngüsü aşamalarında paydaşların etkileme düzeyleri	6
Çizelge 3.1. İlgili çalışmalar	15
Çizelge 4.1. Kriterlerin etki derecelerine göre değerleri.....	17
Çizelge 5.1. Mühendislik değişiklik kararı nedeni kriterleri	28
Çizelge 5.2. Firma 1 acil mühendislik değişikliği direkt ilişki matrisi.....	31
Çizelge 5.3. Firma 1 acil mühendislik değişikliği normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi (M)	31
Çizelge 5.4. Firma 1 acil mühendislik değişikliği toplam ilişki matrisi (T)	31
Çizelge 5.5. Firma 1 acil mühendislik değişikliği gönderici ve alıcı grubun hesaplanması	31
Çizelge 5.6. Firma 1 acil mühendislik değişikliği toplam ilişki matrisi (T) eşik değeri karşılaştırması ($\alpha=1,3246$)	32
Çizelge 5.7. Firma 1 acil mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmamış süper matrisi...	32
Çizelge 5.8. Firma 1 acil mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmış süper matrisi.....	32
Çizelge 5.9. Firma 1 acil mühendislik değişikliği limit süper matrisi ve kriter ağırlıkları.....	33
Çizelge 5.10. Firma 2 acil mühendislik değişikliği direkt ilişki matrisi.....	33
Çizelge 5.11. Firma 2 acil mühendislik değişikliği normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi (M)	33
Çizelge 5.12. Firma 2 acil mühendislik değişikliği toplam ilişki matrisi (T)	34
Çizelge 5.13. Firma 2 acil mühendislik değişikliği gönderici ve alıcı grubun hesaplanması	34
Çizelge 5.14. Firma 2 acil mühendislik değişikliği toplam ilişki matrisi (T) eşik değeri karşılaştırması ($\alpha=1,6611$)	34
Çizelge 5.15. Firma 2 acil mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmamış süper matrisi .	35
Çizelge 5.16. Firma 2 acil mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmış süper matrisi.....	35

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.17. Firma 2 acil mühendislik değişikliği limit süper matrisi ve kriter ağırlıkları.....	35
Çizelge 5.18. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği direkt ilişki matrisi	35
Çizelge 5.19. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi (M)	36
Çizelge 5.20. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği toplam ilişki matrisi (T).....	36
Çizelge 5.21. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği gönderici ve alıcı grubun hesaplanması	36
Çizelge 5.22. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği toplam ilişki matrisi (T) eşik değeri karşılaştırması ($\alpha=1,0742$)	36
Çizelge 5.23. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmamış süper matrisi	37
Çizelge 5.24. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmış süper matrisi	37
Çizelge 5.25. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği limit süper matrisi ve kriter ağırlıkları.....	38
Çizelge 5.26. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği direkt ilişki matrisi	38
Çizelge 5.27. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi (M)	38
Çizelge 5.28. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği toplam ilişki matrisi (T).....	39
Çizelge 5.29. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği gönderici ve alıcı grubun hesaplanması	39
Çizelge 5.30. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği toplam ilişki matrisi (T) eşik değeri karşılaştırması ($\alpha=0,9675$)	39
Çizelge 5.31. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmamış süper matrisi	40
Çizelge 5.32. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmış süper matrisi	40
Çizelge 5.33. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği limit süper matrisi ve kriter ağırlıkları.....	40
Çizelge 5.34. Alternatifler için karar matrisi	41

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.35. Alternatifler için normalize karar matrisi	41
Çizelge 5.36. Alternatiflerin kriterlere göre normalize ağırlıklarının hesaplanması.....	41
Çizelge 5.37. Alternatifler için ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi	42
Çizelge 5.38. Alternatifler için ideal pozitif ve ideal negatif çözümler	42
Çizelge 5.39. Alternatifler için ideal pozitif uzaklıkları	42
Çizelge 5.40. Alternatifler için ideal negatif uzaklıkları.....	42
Çizelge 5.41. Alternatifler için sıralama puanları	42
Çizelge 5.42. Firma 1 acil mühendislik değişikliği gönderici ve alıcı grup	43
Çizelge 5.43. Firma 1 acil mühendislik değişikliği kriter ağırlıkları ve önceliklendirmesi	43
Çizelge 5.44. Firma 2 acil mühendislik değişikliği gönderici ve alıcı grup	44
Çizelge 5.45. Firma 2 acil mühendislik değişikliği kriter ağırlıkları ve önceliklendirmesi	44
Çizelge 5.46. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği gönderici ve alıcı grup.....	45
Çizelge 5.47. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği kriter ağırlıkları ve önceliklendirmesi	46
Çizelge 5.48. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği gönderici ve alıcı grup.....	46
Çizelge 5.49. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği kriter ağırlıkları ve önceliklendirmesi	46
Çizelge 5.50. Alternatiflerin sıralaması	48

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Gereksinimlerin değişimi.....	4
Şekil 2.2. Ürün yaşam döngüsü aşamaları	4
Şekil 2.3. Mühendislik değişikliği paydaşları.....	7
Şekil 2.4. Değişiklik yayılım türleri.....	9
Şekil 2.5. Değişiklik riskine bağlı bileşen sınıflandırması	9
Şekil 4.1. Metodoloji çerçevesi.....	21
Şekil 5.1. Firma 1 katılımcıların departman bilgisi dağılımı	26
Şekil 5.2. Firma 2 katılımcıların departman bilgisi dağılımı	27
Şekil 5.3. Acil mühendislik değişiklik kararı nedeni kriterleri	28
Şekil 5.4. Başlatılan mühendislik değişiklik kararı nedeni kriterleri	29
Şekil 5.5. Firma 1 acil mühendislik değişikliği etki ilişki diyagramı	32
Şekil 5.6. Firma 2 acil mühendislik değişikliği etki ilişki diyagramı	34
Şekil 5.7. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği etki ilişki diyagramı.....	37
Şekil 5.8. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği etki ilişki diyagramı.....	39
Şekil 5.9. Mühendislik değişiklik yönetimi süreci önerisi.....	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

lim

Limit

Kısaltmalar

Açıklamalar

ADVICE

Aktif Dağıtılmış Sanal Değişiklik Ortamı

AHP

Analitik Hiyerarşi Prosesi

ANP

Analitik Ağ Süreci

AS9100

Havacılık Kalite Yönetimi Sistemi Standardı

AQAP

Müttefik Kalite Güvence Yayınları

C-FAR

Olumlu Gösterimi Değiştir AB

CMMI

Yetenek Olgunluk Model Entegrasyonu

CPM

Değişiklik Tahmin Yöntemi

CPP

Değişiklik Yayılım Yolu

CPR

Değişiklik Yayılım Riski

DANP

DEMATEL Tabanlı ANP

DBN

Dinamik Bayes Ağı

DEMATEL

Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı

DSM

Tasarım Yapı Matrisi

DVP

Tasarım Doğrulama Planı

EEC

Acil Mühendislik Değişikliği

ERP

Kurumsal Kaynak Planlaması

FBS

Fonksiyon-Davranış-Yapı

IEC

Başlatılan Mühendislik Değişikliği

ISO

Uluslararası Standartlar Organizasyonu

MDY

Mühendislik Değişiklik Yönetim

MIL

Askeri

Kısaltmalar**Açıklamalar****NATO**

Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü

PDM

Ürün Veri Yönetimi

PLM

Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi

STEP

Ürün Değişimi Standart

TOPSIS

İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıra Tercihi Tekniği

VV&T

Doğrulama Sağlama ve Test Etme



1. GİRİŞ

Ürünün yaşam döngüsü boyunca çeşitli nedenlerden kaynaklı olarak değişiklik yapılması ihtiyacı oluşabilmektedir. Mühendislik değişikliği olarak nitelendirilen bu değişiklikler müşteri memnuniyetini sağlamak, sektördeki firmalar arasında daha rekabetçi olabilmek, teknolojiye yararlanmak, daha kaliteli ürünler sağlamak, oluşabilecek karı arttırmak ve maliyeti azaltmak gibi amaçlarla şirketler tarafından gerçekleştirilmektedir. Üreticilerin maksimum pazar payını yakalamak için fırsat veya yük olarak değerlendirdikleri mühendislik değişikliklerini ürün yaşam döngüsü boyunca etkin ve verimli bir şekilde yürütmesi gerekmektedir (Ullah, Tang ve Yin, 2016).

Özellikle üretim yapan şirketlerin üretilen ürün sayısı, ürün karmaşıklığı, mühendislik değişiklik kararının kullanımı ve şirket büyüklüğüne de bağlı olarak yıllık çok sayıda mühendislik değişiklik talebi ile uğraşması gerekmektedir (Jokinen, Vainio ve Pulkkinen, 2017). Karmaşık ürünler için eğer makina, elektrik ve yazılım gibi farklı mühendislik alanları ürün tasarımına dahil olursa mühendislik değişiklik yönetimi daha da zor olmaktadır (Wilms, Cemmasson, Inkermann, Reik ve Vietor, 2019).

Değişiklik kararları kapsamı doğrultusunda birçok paydaşı etkilemektedir ve ilgililerin ortak karar verebilmesi için doğru bir etki analizi yapması, uygulama stratejisi belirlemesi ve olası müşteri memnuniyetsizliği, maliyet ve itibar kaybı sonuçlarını önleyebilmek için hızlı bir şekilde aksiyon alması gerekmektedir. Mühendislik değişiklik yönetimi kapsamında geliştirilen çeşitli metotlar ve çözümler olmasına rağmen değişikliklerin disiplinler arası olması durumunda etkisi net olarak tespit edilememektedir (Shakirov ve diğerleri, 2019).

Firmalar Mühendislik Değişiklik Yönetimi kapsamı dahilinde çok sayıda karar verici ile birlikte değişiklik önerilerinin değerlendirilmesi ve karar alınması süreçlerinde sorunlar yaşanmaktadır. Her bir değişiklik ihtiyacı için gerekli hazırlıkların yapılması, önerilecek olan değişikliğin etkisinin doğru analiz edilmesi, sürece iletilen mühendislik değişiklik önerileri için ilgili karar vericilerin değerlendirmesi ve hızlı bir şekilde optimal kararı verebilmesi zorlayıcı bir iş yükü oluşturmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Mühendislik Değişiklik Yönetimi kapsamı dahilinde firmaların çok sayıda karar verici ile değişikliklerin değerlendirilmesi ve karar alınması süreçlerinde sorunlar yaşaması konusuna yönelik olarak Mühendislik Değişiklik Yönetiminin firmalar tarafından daha etkin ve verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için bir karar destek sistemi geliştirilmesi planlanmıştır. Bu çalışma ile Mühendislik Değişiklik Kararı nedenleri Acil Mühendislik Değişikliği ve Başlatılan Mühendislik Değişikliği için incelenerek DEMATEL ve DANP Karar Verme Yöntemleri ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Mühendislik Değişikliği kapsamında alternatiflerin değerlendirilmesi sürecinde TOPSIS Karar Verme Yönteminden yararlanılmıştır. Konuyla ilgili olarak Savunma Sanayii sektöründeki Mühendislik Değişiklik Yönetimi incelenmiştir ve Savunma Sanayii sektöründe faaliyet gösteren iki firmanın Mühendislik Değişiklik Yönetiminde rol alan Mühendisleri ile bir vaka çalışması yapılmıştır. Önerilen yöntem sektördeki gizlilik durumundan dolayı alternatifler senaryosu üzerinden ilerlenerek uygulanmıştır ve değerlendirmesi yapılmıştır.

Mühendislik Değişiklik Yönetimi kapsamında süreç adımlarının detaylandırılması önerisi geliştirilmiştir. Araştırma bulguları sonucunda firmaların kullanımı için süreç adımları geliştirilerek karar verme yöntemlerinden elde edilen değerlendirmelerin dahil edildiği ve firmaların kullandıkları sisteme adapte edebileceği şekilde bir karar destek sistemi önerisi sunulmuştur.

Bu çalışmada Bölüm 2’de Mühendislik Değişiklik Kararı’ndan bahsedilmektedir. Literatür Taraması Bölüm 3’te ve Metodoloji Bölüm 4’te anlatılmaktadır. Bölüm 5’te Uygulama hakkında bilgi verilmektedir. Çalışma Bölüm 6 Sonuç ve Öneriler ile tamamlanmaktadır.

2. MÜHENDİSLİK DEĞİŞİKLİK KARARI

Mühendislik Değişiklikleri, ürün tasarımı yayınlandıktan sonra ürün veya bileşenlerdeki boyutlarda, uyumlarda, formlarda, işlevlerde ve malzemelerde yapılan değişiklikler olarak tanımlanabilir (Do, 2015). Yapılan değişiklikler biçim, uygunluk, işlev, çizim veya yazılım ile ilgili olarak ürün yaşam döngüsünün herhangi bir aşamasında dokümanlarda, parçalarda veya süreçlerde herhangi bir boyutta veya türde, herhangi bir sayıda insanı içererek, herhangi bir sürede olabilmektedir (Shankar, Summers ve Phelan, 2017).

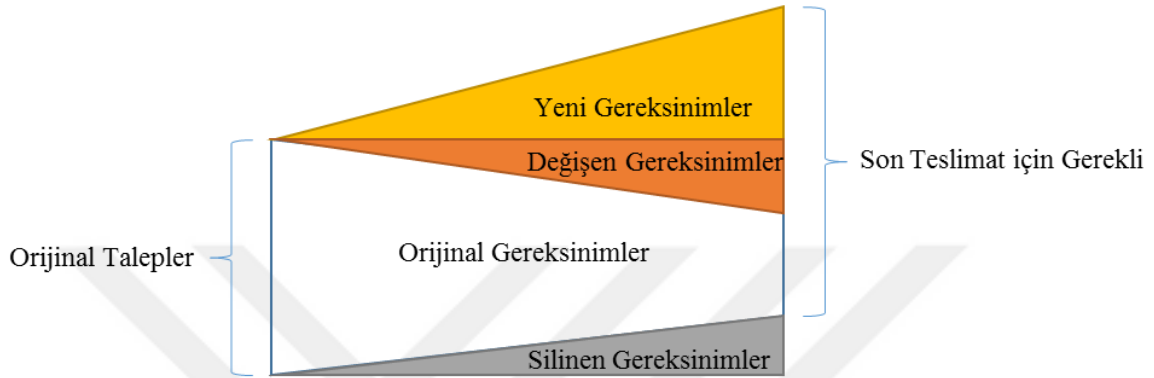
Mühendislik Değişikliği iki temel kategoriye ayrılmaktadır. Bu değişiklikler Acil Mühendislik Değişikliği (Emergent Engineering Change – EEC) ve Başlatılan Mühendislik Değişikliği (Initiated Engineering Change – IEC) olarak sınıflandırılmıştır (Li ve Moon, 2012).

Acil Mühendislik Değişikliği, tasarım sürecinde oluşan hata nedeniyle ürünün kendisinden kaynaklanan değişikliklerdir. Bu değişiklikler aynı zamanda istenmeyen değişiklikler olarak da adlandırılır ve sistem tasarımının bazı özelliklerinin hatalar veya yanlış hesaplamalar nedeniyle değiştirilmesi gerektiğinde meydana gelir (Giffin ve diğerleri, 2009). Bu kapsamda yapılan değişiklikler Tasarım Kaynaklı Hatalar (Ürün Karmaşıklığı, Uzmanlık Seviyesi, Kaynak Bulunabilirliği, Ekip Karmaşıklığı, Süreç Karmaşıklığı, Mükerrer Strateji), Değişiklik Yayılımı, Ürün Özelliklerinin Geç Temini, Tedarikçi Bulunabilirliği ve Performansı olmak üzere dört ana kategoride incelenmektedir (Li ve Moon, 2012).

Başlatılan Mühendislik Değişikliği, değişen piyasa koşulları, ortaya çıkan müşteri gereksinimleri ya da yeni talepleri, mevzuat değişikliği ya da yeni bir mevzuat, teknolojik gelişmeler gibi dış kaynaktan kaynaklanan ya da ortaya çıkan değişiklikler sonucunda planlanmaktadır. Bu kapsamda yapılan değişiklikler Yeni Hükümet Yasaları, Yeni Müşteri İhtiyaçları, Maliyeti Düşürmeye Yönelik Öneriler, Kalite/Fonksiyon/Güvenilirlik Geliştirmeye Yönelik Öneriler ve Geçmiş Tasarım ile ilgili problemler olmak üzere beş ana kategori altında değerlendirilmektedir (Li ve Moon, 2012). Daha çok İyileştirme amaçlı gerçekleştirilen değişiklikler zorunluluk olmamakla birlikte rekabetçi olma, maliyeti düşürme, ürünü geliştirme, sürdürülebilirlik, müşteri memnuniyeti gibi nedenler

çerçevesinde yapılmaktadır.

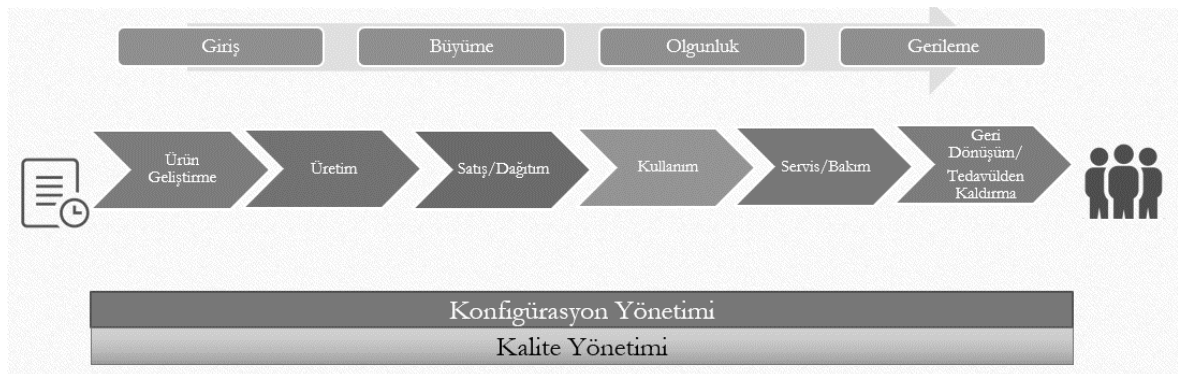
Gereksinimlerin orijinal taleplerden son teslimata kadar değişimi Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Orijinal gereksinimlerin bazıları silinirken bazıları da değiştirilmiştir ve yeni gereksinimler de değişiklik olarak dahil edilmiştir (Xu, Malisetty ve Round, 2013).



Şekil 2.1. Gereksinimlerin değişimi

2.1. Ürün Yaşam Döngüsü

Ürün yaşam döngüsü ürün ihtiyacı sonucunda giriş, büyüme, olgunluk ve gerileme dönemlerini içermektedir. Bu kapsamda gereksinimlerinin tanımlanması ve tasarımının yapılması, doğrulanması gibi aşamaları da içeren ürün geliştirme aşamasıyla başlayıp ürünün tedavülde kalkmasına kadar olan tüm aşamalardaki süreçleri kapsamaktadır. Ürün yaşam döngüsündeki aşamalar genel olarak Şekil 2.2’deki gibi belirtilmektedir (Liu, Zeng, Maletz ve Brisson, 2009).



Şekil 2.2. Ürün yaşam döngüsü aşamaları

Çeşitlilik ve daha kısa sürede yapılan yeniliklerle birlikte gelişen kitlesel bireyselleştirme sonucu üründe ve üretim sistemlerinde ciddi miktarda değişiklik gereksinimi olmaktadır (Shakirov ve diğerleri, 2019). Hızlı bir şekilde artan talep ortamında pazardaki rekabet gücünü korumak için firmalar en kısa sürede minimum maliyetle kaliteli bir ürün üretmeyi ve müşterinin beklentilerini karşılamayı hedeflemektedir. Firmalar bu kapsamda maliyeti, süreyi ve riski azaltmak için mevcut ürünler üzerinde değişiklikler yaparak artırmalı ürünler geliştirmektedir (Ullah ve diğerleri, 2016).

Tasarımda yapılan mühendislik değişikliğinin maliyeti ürün yaşam döngüsünün ilerlemesiyle birlikte artış göstermektedir (Kanike ve Ahmed, 2007). Bir ürün üzerindeki değişiklik etkisi Ürün Mimarisi, Ürün Karmaşıklığı ve Ürün İçerisindeki Yenilik Derecesi unsurlarına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu unsurlar ürünün başarısı için belirleyici olmakla birlikte ürünü değişiklik, çeşitlilik, performans açılarından etkilemektedir (Ullah ve diğerleri, 2016).

Ürün yaşam döngüsü içerisinde mühendislik değişikliği ana sebepleri geliştirme ve prototip aşamasında ağırlık, spesifikasyonda değişiklik, sertifikasyon, üretim/montaj; üretim, oluşturma ve test aşamasında üretim/montaj, güvenilirlik, dayanıklılık, yapılabirlik; servis aşamasında üretim/montaj, maliyet azaltma, operasyonel harcamalar, yapılabirlik olarak belirlenmiştir (Kanike ve Ahmed, 2007).

Ürün yaşam döngüsü boyunca geliştiriciler, tedarikçiler, üreticiler, nakliyeciler, dağıtımıcılar, müşteriler, bakımıcılar ve geri dönüşümcüler paydaş olarak yer almaktadır. Paydaşların ürün yaşam döngüsü aşamalarında ürünün özelliklerinin etkileme düzeyleri orijinal özellikler için “√” ile ve yeni özellik için “•” ile Çizelge 2.1’de gösterilmiştir (Liu ve diğerleri, 2009).

Çizelge 2.1’de görüldüğü üzere geliştiriciler ürünün tüm yaşam döngüsü aşamalarında aktif rol oynamaktadır. Ürün geliştirme maliyetlerinin %70’inin ürünün tasarım aşamasında yapılmasına rağmen tasarım aşaması maliyetinin toplam ürün geliştirme maliyetinin %5’inin oluşturduğu tespit edilmiştir (Subrahmanian, Lee ve Granger, 2015). Ürünün orijinal tasarımının tamamlandığı varsayımıyla yapılan mühendislik değişikliklerinin %75’inden fazlasının üretim, yapım ve test aşamalarında olduğu tespit edilmiş olup tasarım aşamasının ürün yaşam döngüsünün sonraki aşamalarının göz önünde

bulundurularak yapılması gerekliliğinin önemini ortaya çıkarılmıştır (Kanike ve Ahmed, 2007).

Çizelge 2.1. Ürün yaşam döngüsü aşamalarında paydaşların etkileme düzeyleri

	Ürün Geliştirme	Üretim	Satış/Dağıtım	Kullanım	Servis/Bakım	Geri Dönüşüm/ Tedavülden Kaldırma
Geliştiriciler	√ yüksek etki			√ yüksek etki	√ etki	
Tedarikçiler	√ yüksek etki	• etki	• etki	• etki	• etki	• etki
Üreticiler	• etki	√ etki			• etki	
Nakliyeciler	• etki	√ yüksek etki			• etki	
Dağıtımıcılar	• etki		√ yüksek etki			
Müşteriler	• etki		√ etki			
Bakımcılar	• etki			√ etki	√ yüksek etki	
Geri Dönüşümçüler	• etki					√ yüksek etki

2.2. Mühendislik Değişiklik Yönetimi

Şirketlerin ürünlerini sürekli iyileştirmeleri için verimli bir Mühendislik Değişikliği Yönetimi süreci olması hayati önem taşımaktadır. Mühendislik Değişikliği işlem süreleri oldukça değişken olup uzun süren süreçler ciddi çalışmaya, iş gücüne, maliyete ve bazen yeni fırsatların kaçırılmasına, müşteri memnuniyetsizliğine, şirket itibarının kaybına ve hatta para cezaları ile sonuçlanabilmektedir (Jokinen ve diğerleri, 2017).

Mühendislik Değişimi talebinde mevcut bileşenlere ve değişen niteliklere ait bilgiler, ilgili mühendislik belgeleri, yönetim bilgileri ve paydaşların öneriyi değerlendirebilmesi için mühendislik değişiklik analiz araçları sağlanarak Mühendislik Değişiklik Yönetimi sürecine iletilir (Do, 2015).

Mühendislik Değişiklik Yönetiminin amacı değişikliklerin oluşumunu en azlamak, değişikliğin meydana gelmesi durumunda bu değişikliği maliyet, zaman, kalite açısından kaybı en azlayan bir şekilde yönetmektedir. Mühendislik Değişikliklerinin daha iyi yönetilmesi için daha az, daha önce, etkili, verimli ve daha iyi nitelikleri göz önünde bulundurularak yapılması önerilmektedir (Ullah ve diğerleri, 2016).

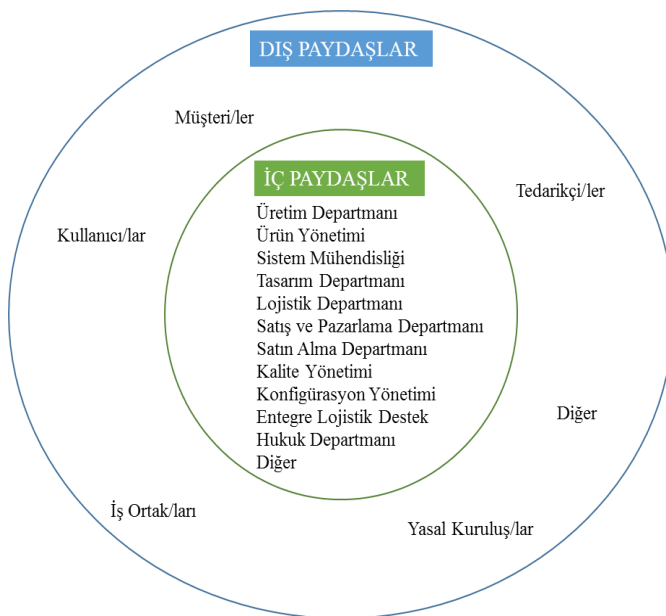
Acil Mühendislik Değişikliği kapsamında tasarım kaynaklı hatalar ve yetersiz gereksinim

yönetimi sonucu yapılması gereken Mühendislik Değişiklikleri bir miktar azaltılabilirse bile ürünün yaşam döngüsünün doğal bir sonucu olarak değişen paydaş ihtiyaçlarına, gelişen teknolojiye, maliyet düşürmeye ve üretilebilirlik, kullanılabilirlik, onarılabilirlik gibi konular için yapılan Başlatılan Mühendislik Değişiklikleri kaçınılmazdır (Jokinen ve diğerleri, 2017).

Mühendislik Değişikliği ürün serisinin tüm yaşam döngüsü boyunca ürün uyarlamasını yönetimi ve ürün stratejisinin sürdürülmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Subrahmanian ve diğerleri, 2015). Ürün yaşam döngüsü boyunca Mühendislik Değişiklik Yönetimini verimli bir şekilde yürütmek için veri yönetiminin sistematik bir şekilde yürütülmesi önemlidir. Bu kapsamda birçok üretici Ürün Veri Yönetimi (PDM – Product Data Management) veya Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (PLM – Product Lifecycle Management) gibi araçlardan yararlanmaktadır (Do, 2015).

2.2.1. Paydaşlar

Mühendislik Değişiklik Yönetimi yapılan değişikliğin kapsamına ve yayılımına bağlı olarak iç ve dış bağlamda birçok paydaşı içerisinde bulundurmaktadır. Mühendislik Değişikliklerinin hazırlık ve plan aşamasından itibaren gerekli koordinasyonların sağlanması sürecin verimli bir şekilde yürütülmesi açısından kritik önem taşımaktadır.



Şekil 2.3. Mühendislik değişikliği paydaşları

Firmaların genel yapısı düşünülerek Mühendislik Değişiklik Yönetimi sürecine dahil edilmesi gereken olası roller Şekil 2.3'te gösterilmiştir. İlgili roller İç ve Dış Paydaşlar için sektöre göre firmadan firmaya değişebilmektedir.

2.2.2. Konfigürasyon yönetimi

Bir Konfigürasyon Biriminin geliştirme, üretim ve destek aşamalarında teknik ve idari açıdan yönlendiren bir yönetim disiplini olan Konfigürasyon Yönetimi ürün yaşam döngüsünün ayrılmaz bir parçasıdır (Xu ve diğerleri, 2013).

Mühendislik Değişiklikleri ile birlikte Konfigürasyon Yönetiminin de düzenli bir şekilde yapılması süreçlerin aksamadan sürdürülebilmesi açısından oldukça önemlidir. MIL-HDBK-61B Konfigürasyon Yönetimi Kılavuzunda Üst Düzey Konfigürasyon Yönetimi Aktivite Modelinin Planlama ve Yönetim, Kimliklendirme, Değişiklik Yönetimi, Durum Muhasebesi ve Doğrulama ve Denetim aşamalarından oluştuğu belirtilmiştir.

Özellikle büyük üreticilerde veya çok sayıda konfigürasyona sahip karmaşık ürünlerde etkili bir konfigürasyon yönetimini sağlamak konfigürasyon yönetim sisteminin kapsamına ve yapılan değişikliğin konfigürasyon sistemi boyunca yayılma derecesine bağlı olarak zor olabilmektedir.

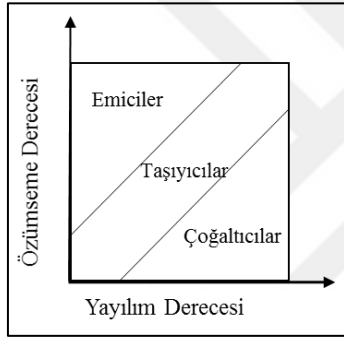
Konfigürasyon yönetimi için kullanılan çeşitli karar araçlarına ilişkin mevcut araştırmalarla ilgili olarak yararlılıklarını doğrulamak için endüstri ortamında uygulanmasının yetersiz olması, firmanın mevcut mühendislik değişiklik yönetimini uyarlamasında yaşanan zorluklardan ötürü kendi araçlarını geliştirmeye yönelmesi, araçların çoğunun gerekli işlevleri sağlamak için büyük miktarda kullanıcı girdisi gerektirmesi gibi tespitlerde bulunulmuştur (Phelan, 2015).

Konfigürasyon Yönetimi Konfigürasyon Tanımlama, Değişiklik Yönetimi, Konfigürasyon Durumu Takibi ve Konfigürasyon Tetkiki olmak üzere dört ana başlık altında yürütülmektedir. Değişiklik Yönetimi kapsamında hem ürüne yönelik hem de dokümantasyona yönelik yapılan değişikliklerin kontrolü yapılmaktadır (Xu ve diğerleri, 2013).

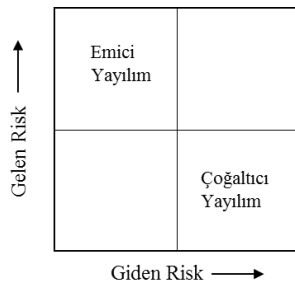
2.2.3. Etkileri

Mühendislik Değişiklik Yönetimi firmanın değişiklik yapılan ürünün farklı bölümler arasındaki bağlantısını doğru koordine edebilmesine ve değişiklik yayılımının etkisine oldukça bağlıdır (Clarkson ve diğerleri, 2004).

Değişiklik yayılımı Çoğaltıcı, Emici, Taşıyıcı ve Sabit olmak üzere Şekil 2.4'te gösterildiği üzere farklı davranış türlerine sahiptir. Değişiklik bir bileşen tarafından başlatıldığında ve diğer bileşenlere aralarındaki bağlantılar yoluyla yayıldığından farklı bileşenler farklı şekillerde davranabilmektedir. Değişikliklerin riske bağlı olarak konumları Şekil 2.5'te gösterilmiştir (Ullah ve diğerleri, 2016).



Şekil 2.4. Değişiklik yayılım türleri



Şekil 2.5. Değişiklik riskine bağlı bileşen sınıflandırması

Çoğaltıcılar özümstediklerinden daha fazla değişiklik üreten, Emiciler neden olduklarından daha fazla değişiklik özümseyen, Taşıyıcılar benzer sayıda değişikliğe neden olan ya da özümseyen ve Sabitler değişiklikten etkilenmeyen bileşenler olarak belirtilmektedir (Giffin ve diğerleri, 2009).

2.2.4. Sorunları

Yaşam döngüsü boyunca sürekli bir gelişim halinde olan ürünler için hataları giderme ya da iyileştirme amacıyla yapılan değişiklikler uygulama açısından sorun olabilmektedir. Değişikliklerin tamamlanmasının uzun sürmesi, kontrolsüz bir şekilde yayılması ve verinin takibinin sistematik olarak yapılmaması başlıca sorunlar olarak öngörülmektedir.

Mühendislik Değişiklik Yönetiminin 4 temel problemi Mühendislik Değişikliğinin Meydana Gelmesi, Uzun Mühendislik Değişikliği Teslim Süresi, Yüksek Mühendislik Değişiklik Maliyeti ve İterasyonların Oluşma Sıklığı olarak belirtilmektedir (Li ve Moon, 2012). Mühendislik Değişiklik Yönetiminin karmaşık ve çok boyutlu yapısının etkileşimleri ve sonuçları özenli bir şekilde araştırılması, çeşitli karar vericilerin bulunması, mühendislik değişikliklerinin parametrik ve görsel olarak detay içermesine yönelik yapılan hazırlık süresinin uzun olması, değişiklik yayılımının analiz edilmesi, değişiklik kararlarının önceliklendirilmesi gibi konular da temel sorunlar arasındadır (Kocar ve Akgunduz, 2010).

Mühendislik Değişiklik Talebi sisteme iletildiği zaman sürecin uzamasında etkisi olan konular Reddedilme, Öneri Durumunun Değişmemesi, Sorumlunun Tepkisizliği, Her Şey Yolunda Algısı, Sübjektif Olarak Yeterli Değerlendirmesi ve Maliyet Kaygısı olarak değerlendirilmiştir (Jokinen ve diğerleri, 2017). Oluşan maliyetler ve olumsuzluklar nedeniyle firmalar Mühendislik Değişiklerini sayısını olabildiğince az miktarda tutmak istemektedir. Mühendislik Değişiklik Yönetimi verimliliği oldukça düşük yoğun iş gücü gerektiren aktivitelerdir. Değişiklik Önerisi hazırlanırken çoğunlukla çeşitli karar alma süreçleri için gerekli olan bilgileri sağlamaya yönelik ilgili verinin toplanması ve işlenmesi için uğraşılmaktadır (Do, 2015).

Değişimin yayılması bir kartopu etkisi yaratabilir ve en kötü durumda, tüm sistemi etkileyebilecek ve onun geliştirilmesinde iş birliği yapan birçok ortağı içeren bir değişim aktivitesi çığ gibi yükselebilir. Ortaya çıkan etki, genellikle hem maliyetlerde bir artış hem de programlarda bir gecikmeye neden olduğundan çok şiddetli olabilir (Hamraz ve Clarkson, 2015).

3. LİTERATÜR TARAMASI

Mühendislik Değişikliği ve Yönetimi üzerine yapılan çalışmalar akademik araştırmalarda ve endüstride giderek popülerlik kazanmıştır (Ullah ve diğerleri, 2016). Literatür taraması Mühendislik Değişiklik Kararı, Mühendislik Değişikliği ve Karar Verme ve DEMATEL, DANP ve TOPSIS Yöntemi olarak yapılmıştır.

3.1. Mühendislik Değişiklik Kararı

Mühendislik Değişiklik Kararı sürecinde yapılan değişikliklerin etki analizi, yayılımının tahmini üzerine araştırmalar yapılmış ve karar vermeye yardımcı olacak çeşitli yöntemler ve araçlar geliştirilmiştir.

Cohen, Navathe ve Fulton (2000) tarafından Ürün Değişimi Standart (STEP – Standard for Exchange of Product) veri modeli kullanılarak geliştirilen Olumlu Gösterimi Değiştir (C-FAR Change Favorable Representation) yöntemi değişikliklerin temsilini, yayılmasını ve nitel değerlendirmeyi kolaylaştırmak için mevcut ürün bilgi modelini kullanmaktadır. Yapılan çalışmada ile bu tür bilgi modelleri kullanımının çeşitli mühendislik bileşenleri arasındaki bağlantıların ve değişimin temsilini sağladığı ve yayılımını değerlendirmek için kullanılabileceği görülmüştür. Diğer yandan C-FAR matrisinin öznel olarak oluşturulması güvenilirliğini sorgulatmaktadır.

Ollinger ve Stahovich (2001) tarafından geliştirilen RedesignIT aracı tasarlanmış cihazlar için tasarıma yönelik mühendislik değişikliklerinde planların yeniden tasarlanması için teklifler oluşturmak ve önerileri değerlendirmek amacıyla tasarımın ilgili fiziksel parametresini ve parametreleri arasındaki ilişkileri kullanarak geliştirilen model tabanlı muhakeme kullanan bir bilgisayar programıdır. Bir tasarım değişikliğinin sisteme yayılmasını sağlayan mekanizmaya doğrudan odaklanarak olası yan etkilerin tespit edilmesini sağlaması avantaj, üretilen yeni tasarım planları için performanslar hedeflerine ulaşmak için hangi miktarların hangi yönlerde değiştirilmesi gerektiğini belirtmesine rağmen sayısal değer vermemesi dezavantaj olarak görülmektedir.

Clarkson, Simons ve Eckert (2004) tarafından geliştirilen Değişiklik Tahmin Yöntemi

(CPM – Change Prediction Method) değişikliğin bir tasarıma nasıl yayılacağını tahmin etmeye yönelik bir ürünün bileşenlerinden oluşan bir ağ olarak modelleyerek bileşenler arasındaki doğrudan bağlantıların miktarını belirlemekte ve değişimin yayılma riskini hesaplamak için stokastik bir algoritma kullanmaktadır. Ürün modeli ile olası yayılma yollarını belirleyerek tahmin edilen olasılık ve bir değişim riskini temsil eden Tasarım Yapı Matrisleri (DSM – Design Structure Matrix) oluşturmak ve oluşan matrislerden bir değişikliğin olası etkisini tahmin etmek mümkündür. Browning (2001) tarafından geliştirilen Tasarım Yapısı Matrisi ürün geliştirme, proje planlama, proje yönetimi, sistem mühendisliği gibi alanlardaki yenilikçi çözümleri desteklemeye yönelik olarak karmaşık bir sistemin basit ve görsel bir temsilini sağlamaktadır.

Mühendislik Değişiklik Talebinin oluşmasının mümkün olduğunca önüne geçmek için Kalite Fonksiyon Göçerimi (Quality Function Deployment) ve değişiklikleri tasarım sürecinde olabildiğince erken yapabilmek için Eşzamanlı Mühendislik (Concurrent Engineering) teknikleri geliştirilmiştir (Tavčar ve Duhovnik, 2005).

Kocar ve Akgunduz (2010) tarafından geliştirilen Aktif Dağıtılmış Sanal Değişiklik Ortamı (ADVICE – Active Distributed Virtual Change Environment) kullanıcıların değişiklikleri incelemesi için gereken süreci hızlandırmaya yönelik sürece dahil olan grafiksel ve parametrik verileri sanal bir platformda birleştirerek mühendislik değişiklik yönetimi çözümü sunmaktadır. Önceliklendirme ve değişiklik yayma mekanizmalarıyla mühendislik değişiklik geçmişini işlemek için sıralı model madenciliği tekniklerini kullanılmaktadır.

Habhoub, Cherkaoui ve Desrochers (2011) tarafından önerilen EchoMah aracı tasarımcılara ve uzmanlara değişiklik yönetimi sürecine dahil olan çeşitli disiplinler arası verilerin tutarlılığını sağlarken değişiklik talepleri üzerinde mutabık kalınmaması durumunda alternatif çözümler üreterek karar vermeye yardımcı olmaktadır.

Hamraz ve diğerleri (2012) tarafından önerilen Fonksiyon-Davranış-Yapı (FBS – Function-Behaviour-Structure) Bağlantı Yöntemi FBS şeması ile Değişiklik Tahmin Yöntemini geliştirerek mühendislik değişikliklerinin daha ayrıntılı modellenmesine ve analiz edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca Hamraz ve diğerleri (2015) bu yönteme yönelik endüstriyel değerlendirmesini de yapmıştır.

Hamraz, Caldwell, Ridgman ve Clarkson (2014) proaktif değişiklik yönetimi için sırasıyla değişikliklerin meydana gelmesinden olabildiğince kaçınılmasını, etkilerini azaltmak için değişikliklerin mümkün olduğu kadar erken tespit edilmesini, değişikliklerin daha verimli seçilmesini, değişikliklerin daha verimli bir şekilde uygulanmasını ve organizasyonun geçmişteki değişikliklerden öğrenerek mühendislik değişiklik yönetimini sürekli iyileştirmesini kılavuz olarak belirtmiştir.

Erol (2015) tarafından mühendislik değişiklik yönetimi uygulaması bir seri yat üretimi fabrikası için incelemiş ve değişiklik önerisinden devreye alınmasına kadar olan süreçle yönelik ERP (Enterprise Resource Planning), MDY (Mühendislik Değişiklik Yönetimi) ile PLM (Product Lifecycle Management) uygulamalarının kullanımı değerlendirilmiştir.

Shankar, Summers ve Phelan (2017) tarafından geliştirilen Doğrulama Sağlama ve Test Etme (VV&T – Verification Validation and Testing) planlama yöntemi mühendislik değişikliği yayılımının negatif etkilerini hafifletmeye ve insan hatası olasılıklarını en azlamak için yardımcı olmaktadır. Önerilen yöntemin adımları gereksinimlerin belirlenmesi, sistem analizinin yapılması, montaj konfigürasyonlarının tanımlanması, gereksinimlerin montaj konfigürasyonları ile eşleştirilmesi, Tasarım Doğrulama Planı (DVP – Design Validation Plan) matrisinin geliştirilmesi, test stratejisinin geliştirilmesi ve takas analizi matrisinin geliştirilmesi olarak belirlenmiştir.

Yin ve diğerleri (2017) tarafından montaj araçlarının mühendislik değişiklik ilerlemesinin etkilenen görevler üzerine değişiklik yayılma şemalarını analiz etmek için deterministik bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Model, montaj araçlarının mühendislik değişiklik süreci sırasında görev paralelliği, kaynak kısıtlamaları ve değişiklik yayılmasının birleşik etkilerini araştırarak optimum mühendislik değişiklik şemasının elde edilmesi için rehberlik sağlamaktadır.

Dinamik Bayes Ağı (Dynamic Bayesian Network- DBN) yaklaşımı Değişiklik Yayılım Riskini (Change Propagation Risk- CPR) ve Değişiklik Yayılım Yollarını (Change Propagation Paths- CPPs) değerlendirmek için kullanılmıştır (Yeasin, Grenn ve Roberts, 2020).

3.2. Mühendislik Değişikliği ve Karar Verme Yöntemleri

Literatürde önerilen yöntemler ile değişikliğin analizi açısından değerli sonuçlar elde edilmesine rağmen firmaların Mühendislik Değişiklik Yönetimi kapsamında çok sayıda karar verici ile etkin bir şekilde yürütülen bir süreç için karar vermeye yönelik olarak yeterli çalışma olmadığı görülmüştür.

Mühendislik değişim süreçlerinde bilgi yönetimi ve iş birliği için AHP (Analytic Hierarchy Process) yöntemi kullanılarak bir model geliştirilmiştir (Lee, Ahn, Kim ve Park, 2006). ANP yöntemi modüle ürünlerdeki tasarım değişikliklerinin etkilerini ve yayılımı açısından göreceli önemini ölçmek için kullanılmıştır (Lee, Seol, Sung, Hong ve Park, 2010). Değişiklik emri yönetiminin etkili bir şekilde yürütülmesine yönelik olarak bir sistem önermek için AHP yönteminden yararlanılmıştır (Gunduz ve Khan, 2018).

Literatür araştırması ve saha incelemesi sonucunda problemin veri yapısına uygun olarak DEMATEL Karar Verme yöntemi ile kriterlerin incelenmesi, DANP Karar Verme yöntemi ile kriterlerin ağırlıklarının tespit edilmesi ve TOPSIS Karar Verme yöntemi ile alternatiflerin karşılaştırılması uygun olarak değerlendirilmiştir.

3.3. DEMATEL, DANP ve TOPSIS Yöntemi

DEMATEL Yöntemi kriterler arasındaki karşılıklı ilişkinin tespiti, neden sonuç ilişkilerinin tespiti ve karşılıklı ilişki derecesine bağlı olarak öncelikli kriterlerin belirlenmesi ve kriterlerin etki düzeyleri ile karşılıklı ilişkilerin göz önünde bulundurularak kriter ağırlıklarının hesaplanması amaçlarıyla kullanılabilir. (Si, You, Liu ve Zhang, 2018)

DANP Yöntemi ağ sistemini oluşturmak, her bir kriterin diğerleri üzerindeki etkisini tespit etmek ve kriterler arasındaki ağırlıkları hesaplamak için kullanılmaktadır. DANP Yöntemi neden-sonuç ilişkilerini analiz etmesi, kriterleri nicel olarak sunması, yapısal bir model açısından değerlendirmesi avantajları ile karmaşık problemlerde ilgili kriterlerin grupları arasındaki birbirlerine bağlı ilişkilerinin anlaşılması açısından karar vericilere destek vermektedir. DANP Yönteminin özellikle ANP Yöntemindeki eşit ağırlık varsayımını

çözerek kriterlerin etki ağırlıklarını hesaplaması açısından gerçek dünyada daha kullanışlı olduğu düşünülmektedir (Chuang, Hu, Liou ve Lo, 2018; Lee, 2014).

TOPSIS Yöntemi pozitif ideal çözüme en yakın olan uzaklığı önceliklendirerek alternatiflerin ideal çözüme göre sıralanması uygulaması ile mesafe bazlı yöntemler grubunda yer almaktadır. (Kabak ve Çınar, 2021)

Literatürde DEMATEL, ANP, DANP ve TOPSIS Yönteminin kullanıldığı çalışmalardan bazıları Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. İlgili çalışmalar

Yazarlar	Araştırma Alanları	Kullanılan Yöntemler
Chen, Lien ve Tzeng, 2010	Çevre Havza Planları	DEMATEL-ANP
Shen, Lin ve Tzeng, 2011	Organik Işık Yayan Diyot Teknolojisi Seçimi	DEMATEL-ANP
Vujanović, Momčilović, Bojović, ve Papić, 2012	Araç Filo Bakım Yönetimi	DEMATEL-ANP
Wang, 2012	Etkileşimli Ticaret	DEMATEL-ANP
Hsu ve Liou, 2013	Havayolu Endüstrisi	DANP
Lee, 2014	Yeşil Tedarik Zinciri	DANP
Chen, Chuang, Sangaiah, Lin ve Huang, 2018	Proje Risk Yönetimi	DEMATEL-ANP
Chuang ve diğerleri, 2018	Yer Seçimi- Gayrimenkul Aracılığı Hizmetleri	DANP-VIKOR
Stokic, Vujanovic ve Sekulic, 2020	Karayolu Aracı Temini	DANP- TOPSIS
Ozkaya ve Erdin, 2020	Akıllı ve sürdürülebilir şehirlerin değerlendirilmesi	ANP- TOPSIS
Mohammed, Naghshineh, Spiegler ve Carvalho, 2021	Bir arz ve talep esnekliği metodolojisinin kavramsallaştırılması	DEMATEL- TOPSIS



4. METODOLOJİ

Karar verme sürecinde değişikliğin nedeni kapsamında kriterlerin incelenmesi, birbirleriyle ilişkilerinin tespiti ve önceliklendirilmesine yönelik olarak DEMATEL yöntemi kriterlerin geri bildirimlerini de göz önünde bulundurarak ağırlıklarının hesaplanması için DANP yöntemi ve alternatifler arasında seçim yapma sürecinde TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

4.1. DEMATEL

DEMATEL yöntemi uygulanması 4 adımdan oluşmaktadır (Aktaş, Doğanay, Gökmen, Gazibey ve Türen, 2015; Kabak ve Çınar, 2021; Kumar ve Dash, 2016; Si ve diğerleri, 2018).

Adım 1 direkt ilişki matrisinin oluşturulması

Uzmanlardan i kriterinin j kriterini etkileme derecesi Çizelge 4.1’de verilen değerlere göre değerlendirmesi sonucu direkt ilişki matrisi oluşturulur ve uzman görüşlerinin ortalaması alınarak başlangıç matrisi (A) Eş. 4.1’deki gibi elde edilir.

Çizelge 4.1. Kriterlerin etki derecelerine göre değerleri

Tanım	Değer
Etkisiz	0
Düşük Etki	1
Orta Etkili	2
Yüksek Etki	3
Çok Yüksek Etki	4

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.1)$$

Adım 2 normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi belirlenmesi

Normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi (M) Eş. 4.2 ve 4.3 kullanılarak bulunur.

$$M = kxA \quad (4.2)$$

$$k = \min \left[\frac{1}{\max_i \sum_{j=1}^n |s_{ij}|}, \frac{1}{\max_j \sum_{i=1}^n |s_{ij}|} \right], \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.3)$$

Adım 3 toplam ilişki matrisi ile gönderici ve alıcı grubu hesaplanması

Toplam ilişki matrisi (T), Eş. 4.4 ve birim matris (I) ile hesaplanır.

$$T = M(I-M)^{-1} \quad (4.4)$$

Eş. 4.5, Eş. 4.6 ve Eş. 4.7 kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda D_i-R_i ve D_i+R_i değerleri bulunur. Kriterin D_i-R_i değeri negatif ise Alıcı Gruba ve pozitifse Gönderici Gruba dahil olmaktadır. D_i+R_i değeri kriterin diğer kriterler ile arasındaki ilişkiyi göstermektedir. D_i+R_i değeri yüksek ise diğer kriterler ile ilişkisi daha çok ve düşük ise daha azdır.

$$T = [t_{ij}]_{n \times n}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.5)$$

$$D = (d_i)_{n \times 1} = \left[\sum_{j=1}^n t_{ij} \right]_{n \times 1} \quad (4.6)$$

$$R = (r_j)_{n \times 1} = (r_j)'_{1 \times n} = \left[\sum_{i=1}^n t_{ij} \right]' \quad (4.7)$$

Adım 4 eşik değerinin ayarlanması ve etki ilişki diyagramının elde edilmesi

Eşik değeri Karar Vericilerin seçimi ya da T matrisindeki değerlerin ortalaması alınarak Eş. 4.8 ile bulunur.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [t_{ij}]}{n \times n} \quad (4.8)$$

Etki ilişki diyagramı T matrisinde eşik değerinden büyük olan değerler seçilerek elde edilir. Yatay eksen $D+R$ ve dikey eksen $D-R$ olan bir koordinat düzlemi üzerinde ($D+R$, $D-R$) noktaları gösterilmesiyle diyagram çizimi yapılır.

4.2. DANP

DANP yöntemi uygulanması 3 adımdan oluşmaktadır. (Chiu, Tzeng ve Li, 2013; Gölcük ve Baykasoğlu, 2016; Hsu ve Wang, 2012; Kuan ve Chen, 2014b)

Adım 1 ağırlıklandırılmamış süper matris oluşturulması

DEMATEL yöntemi Adım 3 ile elde edilen Toplam İlişki Matrisindeki (T) her bir değer bulunduğu grup içerisindeki satır toplamına bölünerek normalize edilir ve bulunan matrisin transpozesi alınarak ağırlıklandırılmamış süper matris (W) oluşturulur.

Kriterlere göre oluşturulmuş Toplam İlişki Matrisi $T_C = [t_{ij}]_{n \times n}$ olsun. Ağırlıklandırılmamış süper matrisin oluşturulması için Eş. 4.9, Eş. 4.10, Eş. 4.11, Eş. 4.12 ve Eş. 4.13 uygulanır.

$$T_C = \begin{matrix} & \begin{matrix} D_1 & & D_j & & D_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} D_1 \\ \vdots \\ D_i \\ \vdots \\ D_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \begin{matrix} c_{11} \\ c_{12} \\ \vdots \\ c_{1m_1} \end{matrix} & \dots & \begin{matrix} c_{j1} \dots c_{jm_j} & \dots & c_{n1} \dots c_{nm_n} \\ T_c^{11} & \dots & T_c^{1j} & \dots & T_c^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \begin{matrix} c_{i1} \\ c_{i2} \\ \vdots \\ c_{im_i} \end{matrix} & T_c^{i1} & \dots & T_c^{ij} & \dots & T_c^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & \\ \begin{matrix} c_{n1} \\ c_{n2} \\ \vdots \\ c_{nm_n} \end{matrix} & T_c^{n1} & \dots & T_c^{nj} & \dots & T_c^{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.9)$$

$$T_C^\alpha = \begin{matrix} & \begin{matrix} D_1 & & D_j & & D_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} D_1 \\ \vdots \\ D_i \\ \vdots \\ D_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \begin{matrix} c_{11} \\ c_{12} \\ \vdots \\ c_{1m_1} \end{matrix} & \dots & \begin{matrix} c_{j1} \dots c_{jm_j} & \dots & c_{n1} \dots c_{nm_n} \\ T_c^{\alpha 11} & \dots & T_c^{\alpha 1j} & \dots & T_c^{\alpha 1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \begin{matrix} c_{i1} \\ c_{i2} \\ \vdots \\ c_{im_i} \end{matrix} & T_c^{\alpha i1} & \dots & T_c^{\alpha ij} & \dots & T_c^{\alpha in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & \\ \begin{matrix} c_{n1} \\ c_{n2} \\ \vdots \\ c_{nm_n} \end{matrix} & T_c^{\alpha n1} & \dots & T_c^{\alpha nj} & \dots & T_c^{\alpha nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.10)$$

$$d_{ci}^{11} = \sum_{j=1}^{m_1} t_{cij}^{11}, \quad i = 1, 2, \dots, m_1 \quad (4.11)$$

$$T_C^{\alpha 11} = \begin{bmatrix} t_{c11}^{11}/d_{c1}^{11} & \dots & t_{c1j}^{11}/d_{c1}^{11} & \dots & t_{c1m_1}^{11}/d_{c1}^{11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{cd1}^{11}/d_{cd}^{11} & \dots & t_{cdj}^{11}/d_{cd}^{11} & \dots & t_{cdm_1}^{11}/d_{cd}^{11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{cm_11}^{11}/d_{cm_1}^{11} & \dots & t_{cm_1j}^{11}/d_{cm_1}^{11} & \dots & t_{cm_1m_1}^{11}/d_{cm_1}^{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{c11}^{\alpha 11} & \dots & t_{c1j}^{\alpha 11} & \dots & t_{c1m_1}^{\alpha 11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{cd1}^{\alpha 11} & \dots & t_{cdj}^{\alpha 11} & \dots & t_{cdm_1}^{\alpha 11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{cm_11}^{\alpha 11} & \dots & t_{cm_1j}^{\alpha 11} & \dots & t_{cm_1m_1}^{\alpha 11} \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

$$W = (T_C^\alpha)' = \begin{matrix} & \begin{matrix} D_1 & & D_j & & D_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} D_1 \\ \vdots \\ D_j \\ \vdots \\ D_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1j} & \dots & c_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ c_{j1} & c_{j2} & \dots & c_{jj} & \dots & c_{jn} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nj} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.13)$$

Adım 2 ağırlıklandırılmış süper matrisin elde edilmesi

Toplam ilişki matrisinin normalize hali ile ağırlıklandırılmamış süper matrisinde (W) her kriter ait olduğu boyutun ağırlığı ile çarpılarak ağırlıklandırılmış süper matris (W^α) elde edilir.

T_C 'den gruptaki boyutlara göre oluşturulmuş $T_D = [t_{ij}^D]_{m \times m}$ olsun.

Ağırlıklandırılmış süper matrisin oluşturulması için Eş. 4.14, Eş. 4.15 ve Eş. 4.16 uygulanır.

$$T_D = \begin{bmatrix} t_D^{11} & \dots & t_D^{1j} & \dots & t_D^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{i1} & \dots & t_D^{ij} & \dots & t_D^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{n1} & \dots & t_D^{nj} & \dots & t_D^{nn} \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

$$T_D^\alpha = \begin{bmatrix} t_D^{11}/d_1 & \dots & t_D^{1j}/d_1 & \dots & t_D^{1n}/d_1 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{i1}/d_i & \dots & t_D^{ij}/d_i & \dots & t_D^{in}/d_i \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{n1}/d_n & \dots & t_D^{nj}/d_n & \dots & t_D^{nn}/d_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_D^{\alpha 11} & \dots & t_D^{\alpha 1j} & \dots & t_D^{\alpha 1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha i1} & \dots & t_D^{\alpha ij} & \dots & t_D^{\alpha in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha n1} & \dots & t_D^{\alpha nj} & \dots & t_D^{\alpha nn} \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

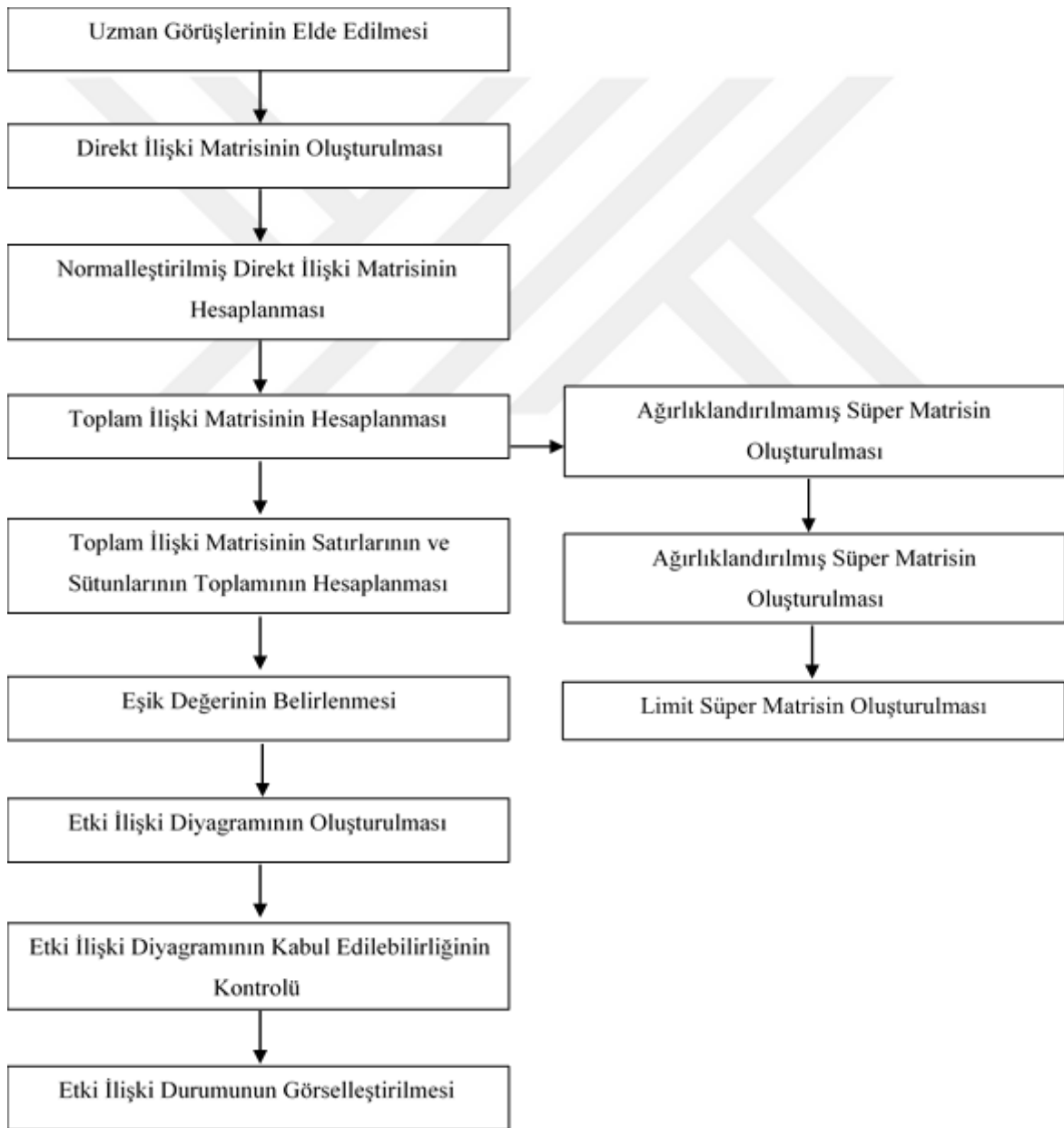
$$W^\alpha = T_D^\alpha \times W = \begin{bmatrix} t_D^{\alpha 11} \times W^{11} & \dots & t_D^{\alpha i1} \times W^{i1} & \dots & t_D^{\alpha n1} \times W^{n1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha 1j} \times W^{1j} & \dots & t_D^{\alpha ij} \times W^{ij} & \dots & t_D^{\alpha nj} \times W^{nj} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha 1n} \times W^{1n} & \dots & t_D^{\alpha in} \times W^{in} & \dots & t_D^{\alpha nn} \times W^{nn} \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

Adım 3 limit süper matrisin hesaplanması

Ağırlıklandırılmış süper matrisin belli bir sayıda (n) kuvvetinin alınması ile her satır bir değerde sabit kalana kadar Eş. 4.17'deki gibi hesaplama yapılır.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (W^a)^n \quad (4.17)$$

Uygulanan yöntem Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Metodoloji çerçevesi

4.3. TOPSIS

TOPSIS yöntemi uygulanması 6 adımdan oluşmaktadır. (Aktaş ve diğerleri, 2015; Kabak ve Çınar, 2021; Lin, Hsieh ve Tzeng, 2010)

Adım 1 karar matrisinin oluşturulması

Alternatif i için kriter j 'ye göre değerinin yer aldığı X matrisi Eş. 4.18'deki gibi oluşturulur. Karar matrisinde alternatif sayısı (m) ve kriter sayısı (n) doğrultusunda vektör yer almaktadır.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (4.18)$$

Adım 2 karar matrisinin normalizasyonu

Karar matrisindeki değerler bulundukları sütuna göre Eş. 4.19 kullanılarak normalize edilir ve Eş. 4.20'deki normalize karar matrisi (B) bulunur.

$$b_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_i^m x_{ij}^2}}, \quad i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n \quad (4.19)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1j} & \dots & b_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ b_{i1} & \dots & b_{ij} & \dots & b_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ b_{m1} & \dots & b_{mj} & \dots & b_{mn} \end{bmatrix}, \quad i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n \quad (4.20)$$

Adım 3 ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin elde edilmesi

Her kriter için Eş. 4.21'deki gibi Eş. 4.22 sağlanacak şekilde Karar Verici tarafından belirlenen ağırlıklar (e_j) doğrultusunda Eş. 4.23 kullanılarak B matrisindeki değerler ilgili kriterlerin ağırlıklarına göre hesaplanarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi V elde edilir.

$$E = [e_1 \quad e_2 \quad \dots \quad e_n] \quad (4.21)$$

$$\sum_{j=1}^n E_j = 1 \quad , \quad j=1,2, \dots , n \quad (4.22)$$

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{1j} & \dots & v_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ v_{i1} & \dots & v_{ij} & \dots & v_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ v_{m1} & \dots & v_{mj} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1 b_{11} & \dots & e_2 b_{12} & \dots & e_n b_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ e_1 b_{21} & \dots & e_2 b_{22} & \dots & e_n b_{21} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ e_1 b_{m1} & \dots & e_2 b_{m2} & \dots & e_n b_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

Adım 4 ideal pozitif ve ideal negatif çözümlerin belirlenmesi

İdeal pozitif çözüm değerleri (F^*) Eş. 4.24 ve ideal negatif çözüm değerleri (F^-) Eş. 4.25 kullanılarak belirlenir.

$$F^* = \{(\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J')\} \quad (4.24)$$

$$F^- = \{(\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J')\} \quad (4.25)$$

Kriterin fayda olması durumunda pozitif ideal kriterdeki en büyük değerleri ve negatif ideal kriterdeki en küçük değerleri kapsamaktadır. Kriterin maliyet olması durumunda pozitif ideal kriterdeki en küçük değerleri ve negatif ideal kriterdeki en büyük değerleri içermektedir.

Adım 5 alternatiflerin ideal pozitif ve ideal negatif çözüme uzaklıklarının hesaplanması

Alternatiflerin ideal pozitif çözüme olan uzaklıkları Eş. 4.26 ve ideal negatif çözüme olan uzaklıkları Eş. 4.27 kullanılarak hesaplanır.

$$U_i^* = [\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2]^{1/2} \quad (4.26)$$

$$U_i^- = [\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2]^{1/2} \quad (4.27)$$

Adım 6 alternatiflerin sıralama puanlarının hesaplanması

Alternatifler ideal çözüme olan uzaklıklarına göre sıralama puanları (Q_i^*) Eş. 4.28 kullanılarak hesaplanır.

$$Q_i^* = \frac{v_i^-}{(v_i^- + v_i^*)} \quad , \quad 0 < Q_i^* < 1 \quad (4.28)$$

Alternatifler ideal pozitive yakın olmaları ve ideal negatife daha uzak olmaları durumuna göre sıralanır.

5. UYGULAMA

Mühendislik Değişiklik Kararı sınıflarına göre belirlenen kriterler Savunma Sanayii sektöründe faaliyet gösteren iki firmadan Mühendislik Değişiklik Yönetimi ile ilgili olan mühendislerden DEMATEL Karar Verme Yöntemine uygun olarak görüşleri toplanmıştır. DEMATEL Yönteminden elde edilen Toplam İlişki Matrisi ile DANP Yöntemi uygulanmıştır.

Mühendislik Değişikliği Yönetiminde alternatifler arasında karar verme sürecinde kriterler için DANP yönteminden elde edilen ağırlıklardan yararlanılmıştır ve TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Önerilen yöntem örnek alternatifler arasında seçim yapma senaryosu üzerinde uygulanmıştır. Savunma Sanayii sektöründeki güvenlik/gizlilik vb. nedenlerle veri paylaşımı çalışmada kısıt oluşturmuştur. Uygulamada örnek senaryolar bu kısıta uygun olarak fakat gerçek veri setine de uyumlu olarak geliştirilmiştir.

5.1. Savunma Sanayii Sektöründe Mühendislik Değişiklik Yönetimi

İlk olarak 1950'lerde havacılık ve uzay sektöründe başlayan konfigürasyon yönetimi 1990'larda konfigürasyon yönetim standartlarının kullanımı ile yaygınlaşmıştır. Konfigürasyon yönetimi tüm sistem bileşenlerini yaşam döngüsü boyunca gereksinim, tasarım, yazılım, dokümantasyon ve donanım ile ilgili olabilecek değişikliklerin kontrol etmek ve sistemin bütünlüğünü korumak için oluşturulan süreçtir (Sage, 2009).

Savunma Sanayii ile ilgili faaliyet gösteren firmaların süreçlerinin standartların konfigürasyon yönetimi şartlarına uygun olması beklenmektedir. Konfigürasyon yönetimi ISO, AS9100, AQAP, CMMI, NATO ve MIL Serisi gibi birçok standart içerisinde yönlendirici olarak yer almaktadır. Bu standartlar içerisinde mühendislik değişiklikleri konfigürasyon yönetimi kapsamında etkili bir şekilde yürütülmesi gereken kritik bir konu olarak değerlendirilmektedir (Watts, 2011). Amerika Savunma Bakanlığı projelerindeki tüm kolaylaştırıcı ve engelleyici faktörlerin konfigürasyon yönetimi sürecinin başarısı ile ilgili olduğu tespit edilmiştir. Hızlandıran faktörlerden yönetim desteği, önceki konfigürasyon yönetimi tecrübesi, profesyonel gelişim ve paydaşların etkili desteği pozitif korelasyona sahip önemli etmenler olarak ileri sürülmüştür (Threatt, 2019).

Bu çalışmada Mühendislik Değişiklik Yönetiminin kritik rol oynadığı Savunma Sanayii sektöründe çalışan iki firma ile Mühendislik Değişiklik Kararı nedenlerinin önem derecesini anlamaya yönelik olarak bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

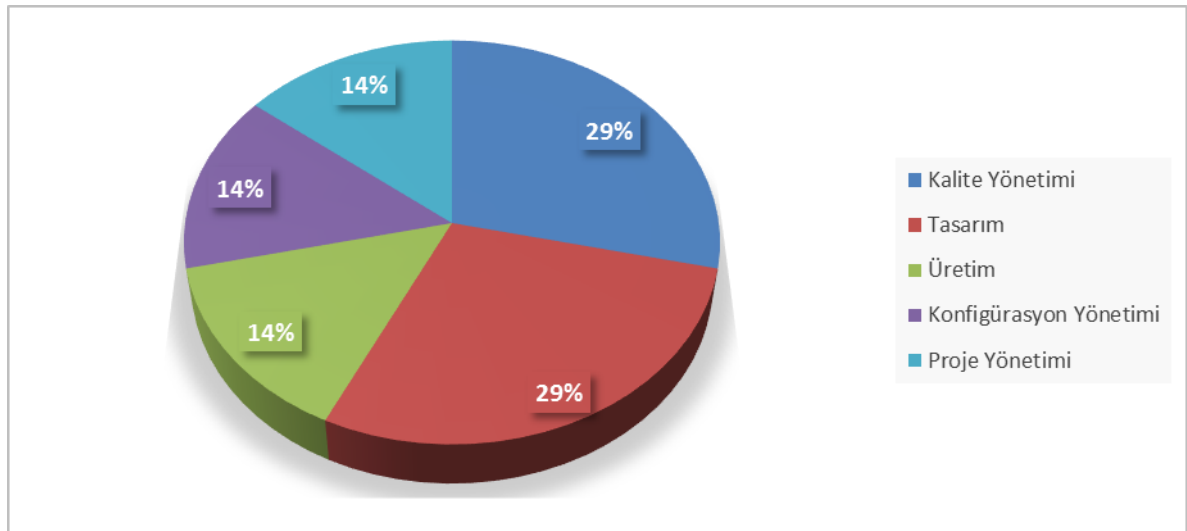
5.2. Firmalar Hakkında

Firmaların bilgisi gizlilik kapsamında çalışmada belirtilmemektedir. Firma 1 ve Firma 2 olarak adlandırılarak anket verisi analiz edilmiştir.

Firma 1

Demografik Özellikler

Ankete ilgili departmanlarda Mühendislik Değişiklik Yönetimi sürecinde yer almış olan (Kalite Yönetimi 2, Tasarım 2 (Sistem Tasarım 1, Yazılım Tasarım 1), Üretim 1, Konfigürasyon Yönetimi 1 ve Proje Yönetimi 1 olmak üzere) toplam 7 mühendis katılım sağlamıştır. 5 adedi Elektrik Elektronik Mühendisi ve 2 adedi Endüstri Mühendisi olan katılımcıların ortalama iş tecrübesi 14,14 yıldır.

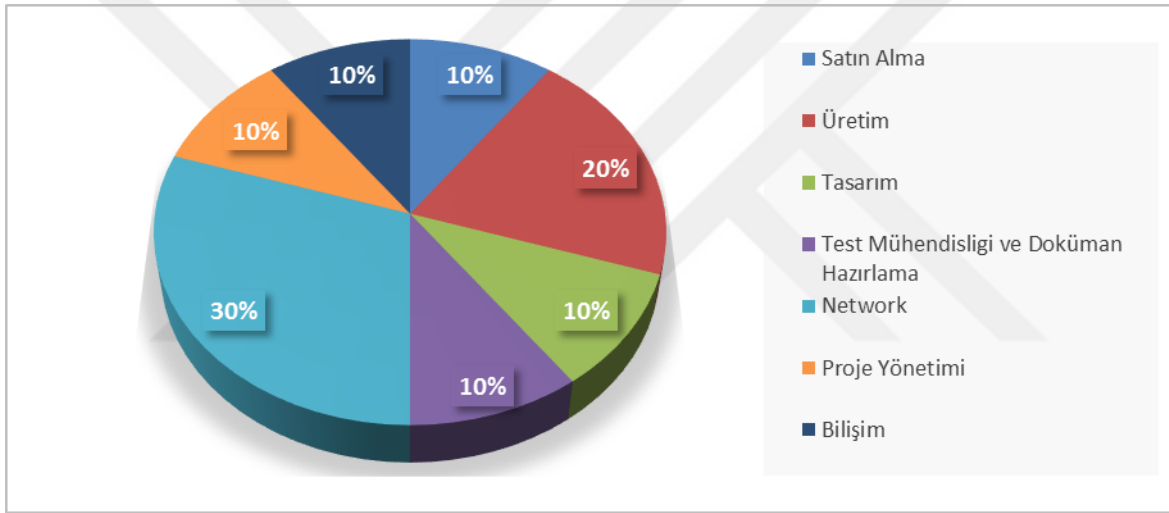


Şekil 5.1. Firma 1 katılımcıların departman bilgisi dağılımı

Firma 2

Demografik Özellikler

Ankete ilgili departmanlarda Mühendislik Değişiklik Yönetimi sürecinde yer almış olan (Satın Alma 1, Üretim 2, Tasarım 1 (Yazılım Tasarım 1), Test Mühendisliği ve Doküman Hazırlama 1, Şebeke 3, Proje Yönetimi 1 ve Bilişim 1 olmak üzere) toplam 10 mühendis katılım sağlamıştır. 7 adedi Bilgisayar Mühendisi, 1 adedi Elektrik Elektronik Mühendisi, 1 adedi İnşaat Mühendisi ve 1 adedi Endüstri Mühendisi olan katılımcıların ortalama iş tecrübesi 1,65 yıldır.



Şekil 5.2. Firma 2 katılımcıların departman bilgisi dağılımı

5.3. Mühendislik Değişiklik Kararı Nedenleri

Mühendislik Değişiklik Kararı nedeni kriterleri Acil Mühendislik Değişikliği ve Başlatılan Mühendislik Değişikliği için literatür ve uzman görüşleri göz önünde bulundurularak Çizelge 5.1'deki gibi belirlenmiştir (Jokinen ve diğerleri, 2017; Giffin ve diğerleri, 2009; Li ve Moon, 2012; Ullah ve diğerleri, 2016).

Acil Mühendislik Değişikliği ve Başlatılan Mühendislik Değişikliği için Grup 1 destekleyici faaliyetleri ve Grup 2 ana faaliyetleri temsil etmektedir.

Çizelge 5.1. Mühendislik değişiklik kararı nedeni kriterleri

	Acil Mühendislik Değişikliği	Başlatılan Mühendislik Değişikliği
Grup 1	Kalite Yönetimi Konfigürasyon Yönetimi Tedarik Yönetimi	Kalite Yönetimi Maliyeti Düşürme Müşteri Memnuniyetini Arttırma
Grup 2	Proje Yönetimi Sistem/Ürün Tasarımı Üretim	Güvenilirlik Kullanılabilirlik Üretilebilirlik

Acil Mühendislik Değişikliği için oluşan herhangi bir uygunsuzluğa yönelik acil bir Mühendislik Değişiklik Kararı verilirken kriterlerin birbirini etkileme düzeyini inceleme kapsamında Kalite Yönetimi, Konfigürasyon Yönetimi, Tedarik Yönetimi, Proje Yönetimi, Sistem/Ürün Tasarımı ve Üretim kriterleri arasındaki sebep sonuç ilişkisi sorgulanarak Şekil 5.3 doldurulmuştur.

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi						
Konfigürasyon Yönetimi						
Tedarik Yönetimi						
Proje Yönetimi						
Sistem/Ürün Tasarımı						
Üretim						

Şekil 5.3. Acil mühendislik değişiklik kararı nedeni kriterleri

Başlatılan Mühendislik Değişikliği için iyileştirmeye yönelik şirket stratejisi (pazar payı, rekabet, prestij vb.) olarak risk azaltıcı, önleyici gibi çeşitli nedenlerle Mühendislik Değişiklik Kararı alınırken kriterlerin birbirini etkileme düzeyini ölçme kapsamında Kalite Yönetimi, Maliyeti Azaltma, Müşteri Memnuniyetini Arttırma, Güvenilirlik, Kullanılabilirlik ve Üretilebilirlik kriterleri arasındaki sebep sonuç ilişkisi araştırılarak Şekil 5.4 doldurulmuştur.

	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilebilirlik
Kalite Yönetimi						
Maliyeti Düşürme						
Müşteri Memnuniyetini Arttırma						
Güvenilirlik						
Kullanılabilirlik						
Üretilebilirlik						

Şekil 5.4. Başlatılan mühendislik değişiklik kararı nedeni kriterleri

5.4. Uygulama Hakkında

Anket kapsamında Mühendislik Değişiklik Yönetiminde alan uzmanı mühendislerin tecrübelerine dayalı olarak Acil Mühendislik Değişikliği ve Başlatılan Mühendislik Değişikliğine neden olan kriterleri değerlendirmeleri hedeflenmektedir.

5.4.1. Veri toplama süreci

Hazırlanan anket formu Savunma Sanayii sektöründe faaliyet gösteren 2 firmada Mühendislik Değişiklik Yönetimi sürecinde yer almış olan mühendisler tarafından doldurulmuştur.

Anket formu Google Forms kullanılarak dijitalleştirilmiş olup katılımcılara mail aracılığıyla gönderilmiştir. (İlgili form görselleri için bkz. EK-1) Anketler iletilirken 15 gün içerisinde dönüş beklenildiği belirtilmiştir, bu süre içerisinde katılımcılara 7. gün hatırlatma maili gönderilmiştir.

Firmaların bilgileri gizlilik kapsamında çalışmada belirtilmemektedir. Ankete katılım sağlayan kişilerden anketin başlangıcında gönüllülük rızası sorgulanmış olup onaylayarak katılım sağlayan katılımcılara kişisel hiçbir bilgi sorulmamıştır.

Katılımcılardan kitlenin demografik özelliklerini analiz etmeye yönelik olarak sektör, çalışılan alan, meslek ve tecrübe bilgisi sorulmuştur. DEMATEL yönetimin uygulanmasına yönelik olarak bir örnek paylaşılmıştır ve katılımcılardan örneğe benzer olarak Mühendislik Değişiklik Kararı Nedeni Kriterlerini karşılaştırmaları istenmiştir. Karşılaştırılması talep edilen kriterlerin katılımcılar tarafından aynı şekilde anlaşılması için standartlarda yer alan tanımları karşılaştırma bölümünden önce bilgi olarak paylaşılmıştır.

5.4.2. Limitler

Çalışma kapsamında Savunma Sanayii sektörüne yönelik olarak inceleme yapılmıştır. Bu alanda 2 firmadan uzman mühendislerinin tecrübelerine dayalı sorgulama yapılmış olup katılımcılar sadece Mühendislik Değişiklik Yönetimi sürecinde rol alan mühendisler ile sınırlandırılmıştır. Savunma Sanayii sektörünün gizlilik politikası nedeniyle firmalar hakkında bilgi verilememektedir.

5.4.3. Veri analizi

DEMATEL ve DANP Yöntemleri uygulama adımları firmanın uzman görüşleri doğrultusunda Acil Mühendislik Değişikliği ve Başlatılan Mühendislik Değişikliği için uygulanarak elde edilen veri analiz edilmiştir.

Acil Mühendislik Değişikliğine yönelik olarak ilgili adımlar Firma 1 için Çizelge 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 ve 5.9 ile Şekil 5.4 ve Firma 2 için Çizelge 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16 ve 5.17 ile Şekil 5.5'te gösterilmiştir.

Başlatılan Mühendislik Değişikliğine yönelik olarak ilgili adımlar Firma 1 için Çizelge 5.18, 5.19, 5.20, 5.21, 5.22, 5.23, 5.24 ve 5.25 ile Şekil 5.6 ve Firma 2 için Çizelge 5.26, 5.27, 5.28, 5.29, 5.30, 5.31, 5.32 ve 5.33 ile Şekil 5.7'de gösterilmiştir.

Acil Mühendislik Değişiklik Kararı – Firma 1

Çizelge 5.2. Firma 1 acil mühendislik değişikliği direkt ilişki matrisi

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi	0	2,71	3,00	2,57	2,86	3,29
Konfigürasyon Yönetimi	2,57	0	2	2,57	3,14	2,43
Tedarik Yönetimi	2,14	2,00	0	3,29	2,14	3,29
Proje Yönetimi	2,43	2,29	3,14	0	3,43	3,29
Sistem/Ürün Tasarımı	2,57	3,29	2,00	3,14	0	2,86
Üretim	2,86	2,14	2,29	2,86	2,14	0

Çizelge 5.3. Firma 1 acil mühendislik değişikliği normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi (M)

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi	0,0000	0,1792	0,1981	0,1698	0,1887	0,2170
Konfigürasyon Yönetimi	0,1698	0,0000	0,1321	0,1698	0,2075	0,1604
Tedarik Yönetimi	0,1415	0,1321	0,0000	0,2170	0,1415	0,2170
Proje Yönetimi	0,1604	0,1509	0,2075	0,0000	0,2264	0,2170
Sistem/Ürün Tasarımı	0,1698	0,2170	0,1321	0,2075	0,0000	0,1887
Üretim	0,1887	0,1415	0,1509	0,1887	0,1415	0,0000

Çizelge 5.4. Firma 1 acil mühendislik değişikliği toplam ilişki matrisi (T)

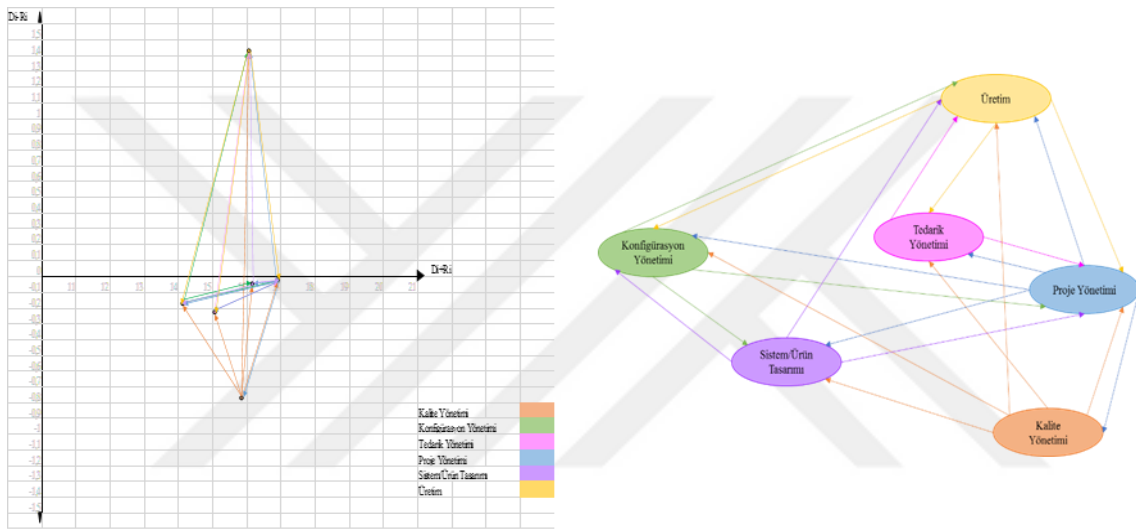
	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi	1,2019	1,3364	1,3524	1,4930	1,4461	1,5823
Konfigürasyon Yönetimi	1,2309	1,0723	1,1890	1,3617	1,3378	1,4053
Tedarik Yönetimi	1,2163	1,1916	1,0804	1,4036	1,2949	1,4553
Proje Yönetimi	1,3516	1,3279	1,3705	1,3618	1,4852	1,5963
Sistem/Ürün Tasarımı	1,3112	1,3292	1,2686	1,4776	1,2522	1,5185
Üretim	1,2138	1,1639	1,1755	1,3410	1,2566	1,2332

Çizelge 5.5. Firma 1 acil mühendislik değişikliği gönderici ve alıcı grubun hesaplanması

	D_i	R_i	D_i+R_i	D_i-R_i
Kalite Yönetimi	7,5256	8,4121	15,9377	-0,8865
Konfigürasyon Yönetimi	7,4213	7,5969	15,0182	-0,1757
Tedarik Yönetimi	7,4364	7,6422	15,0786	-0,2058
Proje Yönetimi	8,4387	8,4933	16,9320	-0,0546
Sistem/Ürün Tasarımı	8,0728	8,1573	16,2301	-0,0844
Üretim	8,7909	7,3839	16,1748	1,4070

Çizelge 5.6. Firma 1 acil mühendislik değişikliği toplam ilişki matrisi (T) eşik değeri karşılaştırması ($\alpha=1,3246$)

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi	1,2019	1,3364	1,3524	1,4930	1,4461	1,5823
Konfigürasyon Yönetimi	1,2309	1,0723	1,1890	1,3617	1,3378	1,4053
Tedarik Yönetimi	1,2163	1,1916	1,0804	1,4036	1,2949	1,4553
Proje Yönetimi	1,3516	1,3279	1,3705	1,3618	1,4852	1,5963
Sistem/Ürün Tasarımı	1,3112	1,3292	1,2686	1,4776	1,2522	1,5185
Üretim	1,2138	1,1639	1,1755	1,3410	1,2566	1,2332



Şekil 5.5. Firma 1 acil mühendislik değişikliği etki ilişkisi diyagramı

Çizelge 5.7. Firma 1 acil mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmamış süper matrisi

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi	0,3089	0,3525	0,3487	0,3337	0,3354	0,3416
Konfigürasyon Yönetimi	0,3435	0,3071	0,3416	0,3279	0,3400	0,3276
Tedarik Yönetimi	0,3476	0,3405	0,3097	0,3384	0,3245	0,3308
Proje Yönetimi	0,3302	0,3317	0,3379	0,3065	0,3478	0,3501
Sistem/Ürün Tasarımı	0,3198	0,3259	0,3117	0,3343	0,2948	0,3280
Üretim	0,3500	0,3424	0,3503	0,3593	0,3574	0,3219

Çizelge 5.8. Firma 1 acil mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmış süper matrisi

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi	0,1500	0,1712	0,1694	0,1686	0,1694	0,1725
Konfigürasyon Yönetimi	0,1668	0,1491	0,1659	0,1656	0,1717	0,1654

Çizelge 5.8. (devam) Firma 1 acil mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmış süper matrisi

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Tedarik Yönetimi	0,1688	0,1654	0,1504	0,1709	0,1639	0,1671
Proje Yönetimi	0,1698	0,1706	0,1738	0,1517	0,1721	0,1732
Sistem/Ürün Tasarımı	0,1645	0,1676	0,1603	0,1654	0,1459	0,1623
Üretim	0,1800	0,1761	0,1802	0,1778	0,1769	0,1593

Çizelge 5.9. Firma 1 acil mühendislik değişikliği limit süper matrisi ve kriter ağırlıkları

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi	0,1669	0,1669	0,1669	0,1669	0,1669	0,1669
Konfigürasyon Yönetimi	0,1641	0,1641	0,1641	0,1641	0,1641	0,1641
Tedarik Yönetimi	0,1645	0,1645	0,1645	0,1645	0,1645	0,1645
Proje Yönetimi	0,1685	0,1685	0,1685	0,1685	0,1685	0,1685
Sistem/Ürün Tasarımı	0,1611	0,1611	0,1611	0,1611	0,1611	0,1611
Üretim	0,1749	0,1749	0,1749	0,1749	0,1749	0,1749

Acil Mühendislik Değişiklik Kararı – Firma 2

Çizelge 5.10. Firma 2 acil mühendislik değişikliği direkt ilişki matrisi

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi	0	2,80	2,90	3,10	3,10	3,40
Konfigürasyon Yönetimi	2,50	0	3,10	2,90	3,00	2,90
Tedarik Yönetimi	2,90	2,80	0	2,70	2,60	2,90
Proje Yönetimi	3,20	3,30	2,80	0	3,50	3,50
Sistem/Ürün Tasarımı	2,90	2,50	2,50	2,70	0	3,40
Üretim	3,30	2,80	3,10	2,80	3,00	0

Çizelge 5.11. Firma 2 acil mühendislik değişikliği normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi (M)

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi	0,0000	0,1718	0,1779	0,1902	0,1902	0,2086
Konfigürasyon Yönetimi	0,1534	0,0000	0,1902	0,1779	0,1840	0,1779
Tedarik Yönetimi	0,1779	0,1718	0,0000	0,1656	0,1595	0,1779
Proje Yönetimi	0,1963	0,2025	0,1718	0,0000	0,2147	0,2147
Sistem/Ürün Tasarımı	0,1779	0,1534	0,1534	0,1656	0,0000	0,2086
Üretim	0,2025	0,1718	0,1902	0,1718	0,1840	0,0000

Çizelge 5.12. Firma 2 acil mühendislik değişikliği toplam ilişki matrisi (T)

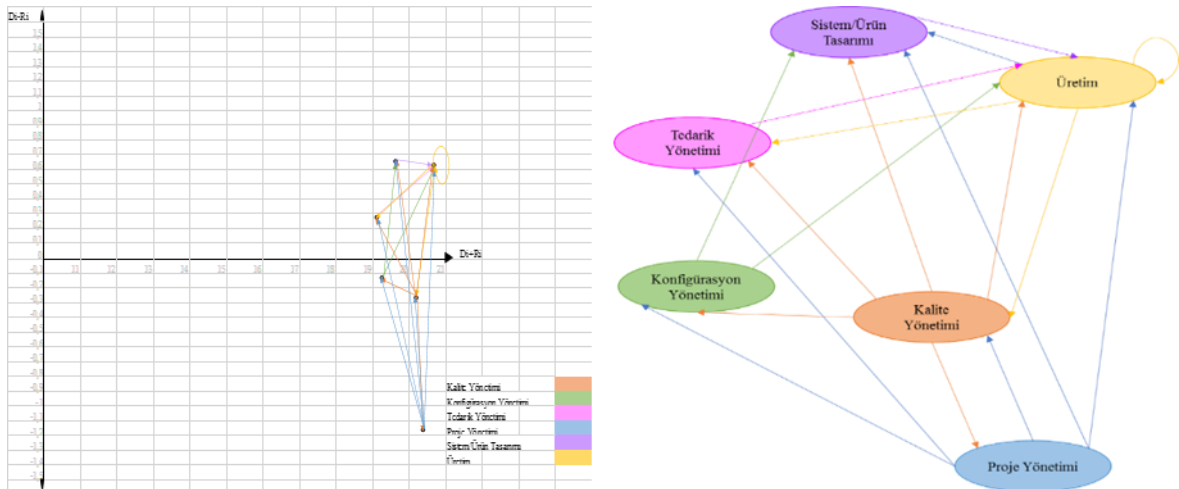
	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi	1,5790	1,6658	1,6907	1,6807	1,7710	1,8654
Konfigürasyon Yönetimi	1,6293	1,4397	1,6190	1,5921	1,6820	1,7547
Tedarik Yönetimi	1,6051	1,5461	1,4186	1,5433	1,6217	1,7098
Proje Yönetimi	1,8280	1,7695	1,7695	1,6031	1,8755	1,9611
Sistem/Ürün Tasarımı	1,6162	1,5425	1,5619	1,5533	1,4948	1,7434
Üretim	1,7187	1,6382	1,6718	1,6403	1,7372	1,6620

Çizelge 5.13. Firma 2 acil mühendislik değişikliği gönderici ve alıcı grubun hesaplanması

	D_i	R_i	D_i+R_i	D_i-R_i
Kalite Yönetimi	9,9763	10,2526	20,2289	-0,2763
Konfigürasyon Yönetimi	9,6018	9,7168	19,3186	-0,1150
Tedarik Yönetimi	9,7317	9,4446	19,1763	0,2871
Proje Yönetimi	9,6128	10,8067	20,4196	-1,1939
Sistem/Ürün Tasarımı	10,1821	9,5121	19,6942	0,6701
Üretim	10,6964	10,0683	20,7647	0,6280

Çizelge 5.14. Firma 2 acil mühendislik değişikliği toplam ilişki matrisi (T) eşik değeri karşılaştırması ($\alpha=1,6611$)

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi	1,5790	1,6658	1,6907	1,6807	1,7710	1,8654
Konfigürasyon Yönetimi	1,6293	1,4397	1,6190	1,5921	1,6820	1,7547
Tedarik Yönetimi	1,6051	1,5461	1,4186	1,5433	1,6217	1,7098
Proje Yönetimi	1,8280	1,7695	1,7695	1,6031	1,8755	1,9611
Sistem/Ürün Tasarımı	1,6162	1,5425	1,5619	1,5533	1,4948	1,7434
Üretim	1,7187	1,6382	1,6718	1,6403	1,7372	1,6620



Şekil 5.6. Firma 2 acil mühendislik değişikliği etki ilişkisi diyagramı

Çizelge 5.15. Firma 2 acil mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmamış süper matrisi

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi	0,3199	0,3475	0,3512	0,3406	0,3424	0,3418
Konfigürasyon Yönetimi	0,3375	0,3071	0,3383	0,3297	0,3268	0,3258
Tedarik Yönetimi	0,3426	0,3453	0,3104	0,3297	0,3309	0,3325
Proje Yönetimi	0,3161	0,3166	0,3166	0,2947	0,3242	0,3255
Sistem/Ürün Tasarımı	0,3331	0,3345	0,3327	0,3448	0,3120	0,3447
Üretim	0,3508	0,3489	0,3507	0,3605	0,3639	0,3298

Çizelge 5.16. Firma 2 acil mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmış süper matrisi

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi	0,1568	0,1703	0,1722	0,1700	0,1709	0,1706
Konfigürasyon Yönetimi	0,1654	0,1505	0,1658	0,1646	0,1631	0,1626
Tedarik Yönetimi	0,1679	0,1693	0,1522	0,1646	0,1652	0,1660
Proje Yönetimi	0,1612	0,1614	0,1614	0,1476	0,1624	0,1630
Sistem/Ürün Tasarımı	0,1698	0,1705	0,1696	0,1727	0,1562	0,1726
Üretim	0,1789	0,1779	0,1788	0,1806	0,1822	0,1652

Çizelge 5.17. Firma 2 acil mühendislik değişikliği limit süper matrisi ve kriter ağırlıkları

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi	0,1685	0,1685	0,1685	0,1685	0,1685	0,1685
Konfigürasyon Yönetimi	0,1621	0,1621	0,1621	0,1621	0,1621	0,1621
Tedarik Yönetimi	0,1642	0,1642	0,1642	0,1642	0,1642	0,1642
Proje Yönetimi	0,1596	0,1596	0,1596	0,1596	0,1596	0,1596
Sistem/Ürün Tasarımı	0,1686	0,1686	0,1686	0,1686	0,1686	0,1686
Üretim	0,1771	0,1771	0,1771	0,1771	0,1771	0,1771

Başlatılan Mühendislik Değişiklik Kararı – Firma 1

Çizelge 5.18. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği direkt ilişki matrisi

	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilabilirlik
Kalite Yönetimi	0	2,43	3,29	3,57	2,71	2,43
Maliyeti Düşürme	2,57	0	2,57	2,14	2,00	2,29
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	3,14	2,29	0	2,71	3,29	2,29

Çizelge 5.18. (devam) Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği direkt ilişki matrisi

	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilebilirlik
Güvenilirlik	3,29	2,14	3,71	0	2,57	1,86
Kullanılabilirlik	2,71	2	3,29	2,57	0	2,14
Üretilebilirlik	3,29	2,43	2,29	2,29	1,86	0

Çizelge 5.19. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi (M)

	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilebilirlik
Kalite Yönetimi	0,0000	0,1604	0,2170	0,2358	0,1792	0,1604
Maliyeti Düşürme	0,1698	0,0000	0,1698	0,1415	0,1321	0,1509
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	0,2075	0,1509	0,0000	0,1792	0,2170	0,1509
Güvenilirlik	0,2170	0,1415	0,2453	0,0000	0,1698	0,1226
Kullanılabilirlik	0,1792	0,1321	0,2170	0,1698	0,0000	0,1415
Üretilebilirlik	0,2170	0,1604	0,1509	0,1509	0,1226	0,0000

Çizelge 5.20. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği toplam ilişki matrisi (T)

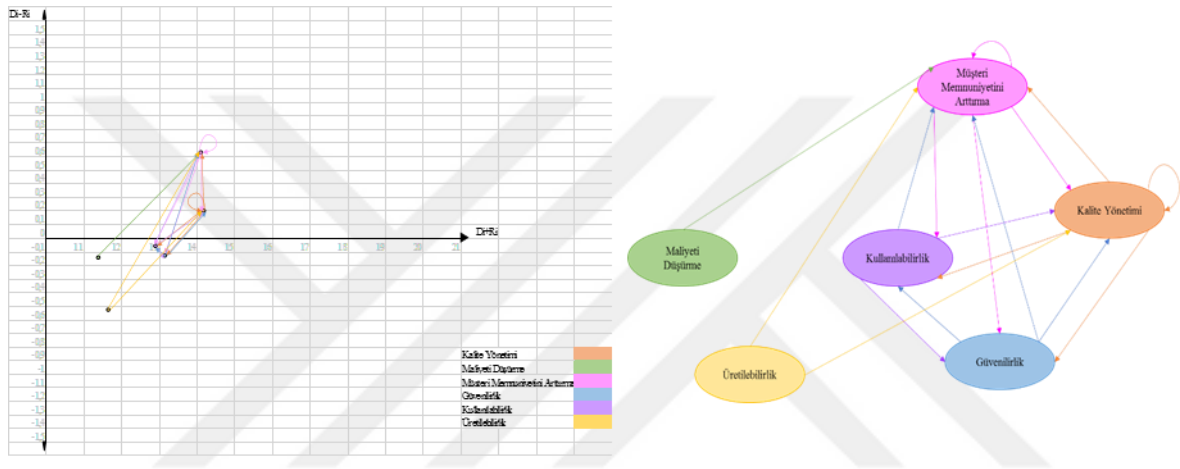
	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilebilirlik
Kalite Yönetimi	1,1667	1,0504	1,3650	1,2575	1,1632	1,0309
Maliyeti Düşürme	1,1067	0,7534	1,1210	1,0025	0,9500	0,8688
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	1,2876	1,0043	1,1351	1,1721	1,1467	0,9864
Güvenilirlik	1,2917	0,9952	1,3312	1,0185	1,1127	0,9633
Kullanılabilirlik	1,2009	0,9378	1,2451	1,1036	0,9104	0,9278
Üretilebilirlik	1,1842	0,9260	1,1519	1,0506	0,9801	0,7711

Çizelge 5.21. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği gönderici ve alıcı grubun hesaplanması

	D _i	R _i	D _i +R _i	D _i -R _i
Kalite Yönetimi	7,2379	7,0337	14,2716	0,2042
Maliyeti Düşürme	5,6671	5,8024	11,4695	-0,1354
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	7,3493	6,7323	14,0817	0,6170
Güvenilirlik	6,6047	6,7127	13,3174	-0,1079
Kullanılabilirlik	6,2633	6,3255	12,5888	-0,0623
Üretilebilirlik	5,5483	6,0638	11,6121	-0,5156

Çizelge 5.22. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği toplam ilişki matrisi (T) eşik değeri karşılaştırması ($\alpha=1,0742$)

	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilbilirlik
Kalite Yönetimi	1,1667	1,0504	1,3650	1,2575	1,1632	1,0309
Maliyeti Düşürme	1,1067	0,7534	1,1210	1,0025	0,9500	0,8688
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	1,2876	1,0043	1,1351	1,1721	1,1467	0,9864
Güvenilirlik	1,2917	0,9952	1,3312	1,0185	1,1127	0,9633
Kullanılabilirlik	1,2009	0,9378	1,2451	1,1036	0,9104	0,9278
Üretilbilirlik	1,1842	0,9260	1,1519	1,0506	0,9801	0,7711



Şekil 5.7. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği etki ilişki diyagramı

Çizelge 5.23. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmamış süper matrisi

	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilbilirlik
Kalite Yönetimi	0,3257	0,3712	0,3757	0,3570	0,3549	0,3630
Maliyeti Düşürme	0,2932	0,2527	0,2931	0,2751	0,2771	0,2839
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	0,3811	0,3760	0,3312	0,3679	0,3680	0,3531
Güvenilirlik	0,3643	0,3553	0,3546	0,3291	0,3751	0,3750
Kullanılabilirlik	0,3370	0,3367	0,3469	0,3596	0,3095	0,3498
Üretilbilirlik	0,2987	0,3079	0,2984	0,3113	0,3154	0,2752

Çizelge 5.24. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmış süper matrisi

	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilbilirlik
Kalite Yönetimi	0,1606	0,1831	0,1853	0,1857	0,1846	0,1888
Maliyeti Düşürme	0,1446	0,1247	0,1445	0,1431	0,1441	0,1476
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	0,1880	0,1855	0,1634	0,1914	0,1914	0,1837
Güvenilirlik	0,1846	0,1801	0,1797	0,1580	0,1800	0,1800

Çizelge 5.24. (devam) Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmış süper matrisi

	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilebilirlik
Kullanılabilirlik	0,1708	0,1706	0,1758	0,1726	0,1485	0,1679
Üretilebilirlik	0,1514	0,1561	0,1512	0,1494	0,1514	0,1321

Çizelge 5.25. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği limit süper matrisi ve kriter ağırlıkları

	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilebilirlik
Kalite Yönetimi	0,1810	0,1810	0,1810	0,1810	0,1810	0,1810
Maliyeti Düşürme	0,1419	0,1419	0,1419	0,1419	0,1419	0,1419
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	0,1836	0,1836	0,1836	0,1836	0,1836	0,1836
Güvenilirlik	0,1769	0,1769	0,1769	0,1769	0,1769	0,1769
Kullanılabilirlik	0,1678	0,1678	0,1678	0,1678	0,1678	0,1678
Üretilebilirlik	0,1488	0,1488	0,1488	0,1488	0,1488	0,1488

Başlatılan Mühendislik Değişiklik Kararı – Firma 2

Çizelge 5.26. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği direkt ilişki matrisi

	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilebilirlik
Kalite Yönetimi	0	2,50	3,80	3,80	3,50	2,90
Maliyeti Düşürme	3,00	0	2,60	1,90	2,30	2,60
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	3,00	2,70	0	3,30	3,10	2,30
Güvenilirlik	3,10	1,70	3,40	0	3,20	2,70
Kullanılabilirlik	3,10	1,90	3,50	3,20	0	2,90
Üretilebilirlik	2,60	2,50	2,20	2,50	2,20	0

Çizelge 5.27. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi (M)

	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilebilirlik
Kalite Yönetimi	0,0000	0,1515	0,2303	0,2303	0,2121	0,1758
Maliyeti Düşürme	0,1818	0,0000	0,1576	0,1152	0,1394	0,1576
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	0,1818	0,1636	0,0000	0,2000	0,1879	0,1394
Güvenilirlik	0,1879	0,1030	0,2061	0,0000	0,1939	0,1636
Kullanılabilirlik	0,1879	0,1152	0,2121	0,1939	0,0000	0,1758
Üretilebilirlik	0,1576	0,1515	0,1333	0,1515	0,1333	0,0000

Çizelge 5.28. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği toplam ilişki matrisi (T)

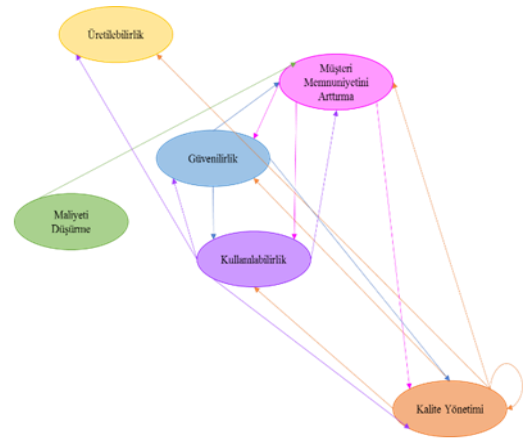
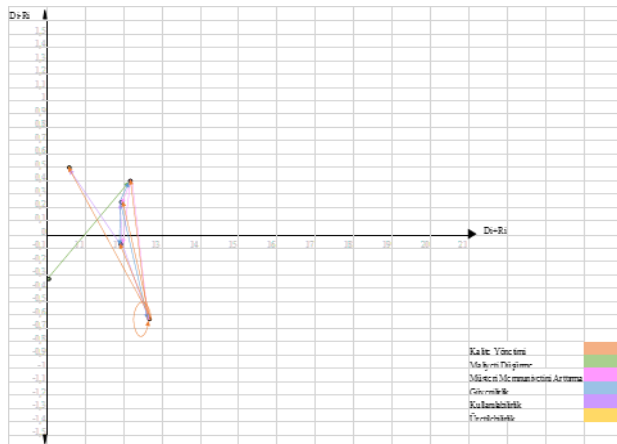
	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilebilirlik
Kalite Yönetimi	1,0185	0,9361	1,2565	1,2159	1,1749	1,0829
Maliyeti Düşürme	0,9485	0,6305	0,9686	0,9059	0,9015	0,8653
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	1,0615	0,8572	0,9522	1,0817	1,0485	0,9551
Güvenilirlik	1,0529	0,8031	1,1106	0,9047	1,0415	0,9611
Kullanılabilirlik	1,0771	0,8315	1,1397	1,0910	0,9024	0,9921
Üretilebilirlik	0,9065	0,7414	0,9253	0,9071	0,8730	0,7070

Çizelge 5.29. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği gönderici ve alıcı grubun hesaplanması

	D _i	R _i	D _i +R _i	D _i -R _i
Kalite Yönetimi	6,0650	6,6847	12,7497	-0,6198
Maliyeti Düşürme	4,7997	5,2203	10,0200	-0,4207
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	6,3529	5,9561	12,3091	0,3968
Güvenilirlik	6,1063	5,8739	11,9802	0,2324
Kullanılabilirlik	5,9418	6,0339	11,9757	-0,0920
Üretilebilirlik	5,5635	5,0602	10,6237	0,5033

Çizelge 5.30. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği toplam ilişki matrisi (T) eşik değeri karşılaştırması ($\alpha=0,9675$)

	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilebilirlik
Kalite Yönetimi	1,0185	0,9361	1,2565	1,2159	1,1749	1,0829
Maliyeti Düşürme	0,9485	0,6305	0,9686	0,9059	0,9015	0,8653
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	1,0615	0,8572	0,9522	1,0817	1,0485	0,9551
Güvenilirlik	1,0529	0,8031	1,1106	0,9047	1,0415	0,9611
Kullanılabilirlik	1,0771	0,8315	1,1397	1,0910	0,9024	0,9921
Üretilebilirlik	0,9065	0,7414	0,9253	0,9071	0,8730	0,7070



Şekil 5.8. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği etki ilişki diyagramı

Çizelge 5.31. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmamış süper matrisi

	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilbilirlik
Kalite Yönetimi	0,3172	0,3723	0,3697	0,3549	0,3533	0,3523
Maliyeti Düşürme	0,2915	0,2475	0,2986	0,2707	0,2728	0,2881
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	0,3913	0,3802	0,3317	0,3744	0,3739	0,3596
Güvenilirlik	0,3500	0,3389	0,3506	0,3112	0,3654	0,3647
Kullanılabilirlik	0,3382	0,3373	0,3398	0,3582	0,3023	0,3510
Üretilbilirlik	0,3117	0,3238	0,3096	0,3306	0,3323	0,2843

Çizelge 5.32. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği ağırlıklandırılmış süper matrisi

	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilbilirlik
Kalite Yönetimi	0,1590	0,1866	0,1853	0,1860	0,1852	0,1847
Maliyeti Düşürme	0,1461	0,1240	0,1497	0,1419	0,1430	0,1510
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	0,1961	0,1906	0,1662	0,1962	0,1960	0,1885
Güvenilirlik	0,1746	0,1691	0,1749	0,1481	0,1739	0,1735
Kullanılabilirlik	0,1687	0,1682	0,1695	0,1705	0,1438	0,1670
Üretilbilirlik	0,1555	0,1615	0,1544	0,1573	0,1581	0,1353

Çizelge 5.33. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği limit süper matrisi ve kriter ağırlıkları

	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilbilirlik
Kalite Yönetimi	0,1807	0,1807	0,1807	0,1807	0,1807	0,1807
Maliyeti Düşürme	0,1431	0,1431	0,1431	0,1431	0,1431	0,1431
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	0,1885	0,1885	0,1885	0,1885	0,1885	0,1885
Güvenilirlik	0,1691	0,1691	0,1691	0,1691	0,1691	0,1691
Kullanılabilirlik	0,1647	0,1647	0,1647	0,1647	0,1647	0,1647
Üretilbilirlik	0,1538	0,1538	0,1538	0,1538	0,1538	0,1538

5.5. Alternatiflerin Değerlendirilmesi Senaryosu

Mühendislik Değişiklik Kararı önerisi için alternatiflerin değerlendirilmesi sürecinde TOPSIS yönteminden yararlanılmıştır. Herhangi bir değişiklik önerisi için Acil Mühendislik Değişikliği ve Başlatılan Mühendislik Değişikliği önerisi olmak üzere iki seçenek bulunmaktadır.

Bu senaryoda Acil Mühendislik Değişikliği seçeneği kurgulanmıştır ve Firma 1 kriter ağırlıkları kullanılmıştır. Uygulama Mühendislik Değişiklik Kararı sınıfı ve firmanın

değerlendirmesi doğrultusunda bulunan ağırlıklara göre genişletilebilir.

Alternatif 4 seçenek için ilgili kriterin pozitif etkilemesi/etkilememesi/negatif etkilemesi durumuna göre 1/0/-1 değerleri verilerek karar matrisi X Çizelge 5.34'teki gibi oluşturulmuştur. Acil Mühendislik Değişikliği kriterleri fayda grubuna dahil olduğu için değerlerde herhangi bir düzenleme yapılmamıştır.

Normalize edilen Çizelge 5.35'teki matriste yer alan değerlerin ağırlıklandırılmasında DANP yönteminden elde edilen ağırlıklardan yararlanılmıştır. Alternatifler için aynı kriterler geçerli olmadığı için alternatiflerin aynı kapsamda değerlendirilmesine yönelik olarak ilgili kriter ağırlıkları alternatiflere göre Çizelge 5.36'daki gibi normalize edilerek kullanılmıştır ve Çizelge 5.37'deki ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilmiştir.

Alternatiflerin ideal pozitif çözüm ve ideal negatif çözüm hesaplamaları Çizelge 5.38, 5.39, 5.40 ve 5.41'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.34. Alternatifler için karar matrisi

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Alternatif 1	1	0	1	1	0	0
Alternatif 2	0	1	1	0	0	1
Alternatif 3	-1	1	-1	-1	-1	0
Alternatif 4	0	1	0	0	-1	0

Çizelge 5.35. Alternatifler için normalize karar matrisi

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Alternatif 1	0,7071	0,0000	0,5774	0,7071	0,0000	0,0000
Alternatif 2	0,0000	0,5774	0,5774	0,0000	0,0000	1,0000
Alternatif 3	-0,7071	0,5774	-0,5774	-0,7071	-0,7071	0,0000
Alternatif 4	0,0000	0,5774	0,0000	0,0000	-0,7071	0,0000

Çizelge 5.36. Alternatiflerin kriterlere göre normalize ağırlıklarının hesaplanması

	Kalite Yönetimi (0,1669)	Konfigürasyon Yönetimi (0,1641)	Tedarik Yönetimi (0,1645)	Proje Yönetimi (0,1685)	Sistem/Ürün Tasarımı (0,1611)	Üretim (0,1749)
Alternatif 1	0,3338	0,0000	0,3291	0,3371	0,0000	0,0000
Alternatif 2	0,0000	0,3259	0,3267	0,0000	0,0000	0,3474
Alternatif 3	0,2022	0,1989	0,1994	0,2042	0,1953	0,0000

Çizelge 5.36. (devam) Alternatiflerin kriterlere göre normalize ağırlıklarının hesaplanması

	Kalite Yönetimi (0,1669)	Konfigürasyon Yönetimi (0,1641)	Tedarik Yönetimi (0,1645)	Proje Yönetimi (0,1685)	Sistem/Ürün Tasarımı (0,1611)	Üretim (0,1749)
Alternatif 4	0,0000	0,5046	0,0000	0,0000	0,4954	0,0000

Çizelge 5.37. Alternatifler için ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Alternatif 1	0,2360	0,0000	0,1900	0,2384	0,0000	0,0000
Alternatif 2	0,0000	0,1882	0,1886	0,0000	0,0000	0,3474
Alternatif 3	-0,1430	0,1148	-0,1151	-0,1444	-0,1381	0,0000
Alternatif 4	0,0000	0,2913	0,0000	0,0000	-0,3503	0,0000

Çizelge 5.38. Alternatifler için ideal pozitif ve ideal negatif çözümler

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
İdeal pozitif değerler	0,2360	0,2913	0,1900	0,2384	0,0000	0,3474
İdeal negatif değerler	-0,1430	0,0000	-0,1151	-0,1444	-0,3503	0,0000

Çizelge 5.39. Alternatifler için ideal pozitif uzaklıkları

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim	U_i^*
Alternatif 1	0,0000	0,0849	0,0000	0,0000	0,0000	0,1207	0,4534
Alternatif 2	0,0557	0,0106	0,0000	0,0568	0,0000	0,0000	0,3510
Alternatif 3	0,1437	0,0312	0,0931	0,1465	0,0191	0,1207	0,7444
Alternatif 4	0,0557	0,0000	0,0361	0,0568	0,1227	0,1207	0,6261

Çizelge 5.40. Alternatifler için ideal negatif uzaklıkları

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim	U_i^-
Alternatif 1	0,1437	0,0000	0,0931	0,1465	0,1227	0,0000	0,7113
Alternatif 2	0,0204	0,0354	0,0922	0,0209	0,1227	0,1207	0,6421
Alternatif 3	0,0000	0,0132	0,0000	0,0000	0,0450	0,0000	0,2413
Alternatif 4	0,0204	0,0849	0,0132	0,0209	0,0000	0,0000	0,3734

Çizelge 5.41. Alternatifler için sıralama puanları

	İdeal çözüme uzaklık değeri	Sıralama
Alternatif 1	0,6107	2
Alternatif 2	0,6466	1
Alternatif 3	0,2448	4
Alternatif 4	0,3736	3

5.6. Bulguların Yorumlanması

Bu çalışma ile elde edilen bulgular Acil Mühendislik Değişikliği ve Başlatılan Mühendislik Değişikliği için değerlendirilmiştir.

Uzman görüşleri sonucunda DEMATEL ve DANP yöntemleri kullanılarak elde edilen bulgular Acil Mühendislik Değişikliği ve Başlatılan Mühendislik Değişikliği için yorumlanmıştır. Alternatiflerin TOPSIS yöntemi ile sıralanması senaryosu değerlendirilmesi yapılmıştır.

5.6.1. Acil mühendislik değişikliği

Firmaların uzman görüşleri doğrultusunda bulunan Acil Mühendislik Değişikliği gönderici ve alıcı grubu ile DANP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları ve önceliklendirmesi Firma 1 için Çizelge 5.42 ve Çizelge 5.43'te, Firma 2 için Çizelge 5.44 ve 5.45'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.42. Firma 1 acil mühendislik değişikliği gönderici ve alıcı grup

Gönderici Grup	Alıcı Grup
Üretim	Kalite Yönetimi Konfigürasyon Yönetimi Tedarik Yönetimi Proje Yönetimi Sistem/Ürün Tasarımı

Çizelge 5.43. Firma 1 acil mühendislik değişikliği kriter ağırlıkları ve önceliklendirmesi

	Kriter Ağırlıkları	Kriter Öncelikleri
Kalite Yönetimi	0,1669	3
Konfigürasyon Yönetimi	0,1641	5
Tedarik Yönetimi	0,1645	4
Proje Yönetimi	0,1685	2
Sistem/Ürün Tasarımı	0,1611	6
Üretim	0,1749	1

Firma 1 acil mühendislik değişikliği – bulguların yorumlanması

Acil Mühendislik Değişikliği kapsamında firma uzmanlarına göre Üretim kriteri daha önemli olarak değerlendirilmektedir. Kriterler arasında Gönderici olarak tespit edilen tek

kriter olan Üretim önem derecesi yüksek ve diğer kriterleri etkileme derecesinin (D-R değeri pozitif olarak) fazla olması nedeniyle odaklanılması gereken bir kriterdir. Kalite Yönetimi, Konfigürasyon Yönetimi, Tedarik Yönetimi, Proje Yönetimi ve Sistem/Ürün Tasarımı kriterleri Alıcı Grupta yer almaktadır.

Kriterlerin ağırlık sıralamasına bakıldığında Üretim kriterinin önceliklendirmede 1.sırada olduğu görülmektedir. Üretim kriterinin D+R değerinin görece yüksek olanların arasında yer alması ve Gönderici Grupta bulunan tek kriter olması nedeniyle diğer kriterler üzerinde daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Üretim kriterini takiben Proje Yönetimi ve Kalite Yönetimi de öncelikli kriterlerdir. Bu kriterlerin de D+R değerlerine istinaden diğer kriterlerle arasındaki ilişki daha fazla olarak düşünülmektedir. Firma Tedarik Yönetimi, Konfigürasyon Yönetimi ve Sistem/Ürün Tasarımı kaynaklı başlatılan Acil Mühendislik Değişikliği kararlarının daha az olduğu görüşüne sahiptir.

Çizelge 5.44. Firma 2 acil mühendislik değişikliği gönderici ve alıcı grup

Gönderici Grup	Alıcı Grup
Tedarik Yönetimi Sistem/Ürün Tasarımı Üretim	Kalite Yönetimi Konfigürasyon Yönetimi Proje Yönetimi

Çizelge 5.45. Firma 2 acil mühendislik değişikliği kriter ağırlıkları ve önceliklendirmesi

	Kriter Ağırlıkları	Kriter Öncelikleri
Kalite Yönetimi	0,1685	3
Konfigürasyon Yönetimi	0,1621	5
Tedarik Yönetimi	0,1642	4
Proje Yönetimi	0,1596	6
Sistem/Ürün Tasarımı	0,1686	2
Üretim	0,1771	1

Firma 2 acil mühendislik değişikliği – bulguların yorumlanması

Gönderici Grupta yer alan Üretim kriteri (D+R değeri en yüksek ve D-R değeri pozitif) kriter önceliklendirmesi sıralamasında 1. olarak yer almaktadır. Sistem/Ürün Tasarımı Gönderici Grupta bulunan diğer bir kriter olarak öncelikli kriterler arasındadır. Tedarik Yönetimi kriteri Gönderici Grupta yer almasına rağmen diğer kriterler görece (D+R değeri doğrultusunda) ilişkisi yüksek olmadığı için öncelik sıralamasında daha aşağıda bulunduğu düşünülmektedir. Alıcı grubunda yer alan Kalite Yönetimi, Konfigürasyon Yönetimi ve

Proje Yönetimi kriterlerinden Konfigürasyon Yönetimi ve Proje Yönetimi kriterlerinin önem sıralamalarının görece daha az olduğu görülmektedir.

Firma 1 – firma 2 acil mühendislik değişikliği bulguların karşılaştırması

Acil Mühendislik Değişikliği kapsamında Firma 1 ve Firma 2 açısından Üretim kriterinin daha önemli olduğu değerlendirilmiştir. Firma 1 açısından Proje Yönetimi kriterini 2. sırada ve Sistem/Ürün Tasarımı 6. sırada yer alırken Firma 2 açısından bu sıralama tam tersi olarak bulunmuştur. Kalite Yönetimi, Tedarik Yönetimi ve Konfigürasyon Yönetimi önem dereceleri firmalar için aynı sıralamada yer almaktadır.

Analiz sonucunda firmaların Acil Mühendislik Değişikliği için 1. öncelikleri aynı olsa da diğer kriterlerin önceliğinde farklılıklar olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Üretim kriterinin hem önem derecesi hem de diğer kriterleri etkileme düzeyinin yüksek olması sebepleriyle firmalar açısından kritik olduğu çıkarımı elde edilmiştir.

İki firmada da kriter önceliklendirmesindeki ağırlıkların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Acil Mühendislik Değişikliği kapsamında kriterlerin öncelik sıralamalarında derece yönünden farklılıklar olsa da her birinin etkisi olduğu değerlendirilmektedir.

5.6.2. Başlatılan mühendislik değişikliği

Firmaların uzman görüşleri doğrultusunda bulunan Başlatılan Mühendislik Değişikliği gönderici ve alıcı grubu ile DANP Yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları ve önceliklendirmesi Firma 1 için Çizelge 5.46 ve Çizelge 5.47’de, Firma 2 için Çizelge 5.48 ve 5.49’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.46. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği gönderici ve alıcı grup

Gönderici Grup	Alıcı Grup
Kalite Yönetimi Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Maliyeti Düşürme Güvenilirlik Kullanılabilirlik Üretilebilirlik

Çizelge 5.47. Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği kriter ağırlıkları ve önceliklendirmesi

	Kriter Ağırlıkları	Kriter Öncelikleri
Kalite Yönetimi	0,1810	2
Maliyeti Düşürme	0,1419	6
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	0,1836	1
Güvenilirlik	0,1769	3
Kullanılabilirlik	0,1678	4
Üretilebilirlik	0,1488	5

Firma 1 başlatılan mühendislik değişikliği – bulguların yorumlanması

Kriterler arasında Kalite Yönetimi ve Müşteri Memnuniyetini Arttırma Gönderici Grupta ve Maliyeti Düşürme, Güvenilirlik, Kullanılabilirlik ve Üretilebilirlik kriterleri Alıcı Grupta yer almaktadır.

Müşteri Memnuniyetini Arttırma kriter önceliklendirmesinde ilk sırada ve Kalite Yönetimi 2. sırada yer almaktadır. Gönderici grupta olan ve D+R değerleri diğer kriterlere göre yüksek olan bu kriterlerin diğer kriterleri etkileme düzeylerinin daha fazla olduğu düşünülmektedir. Güvenilirlik, Kullanılabilirlik ve Üretilebilirlik sırasıyla önceliklendirmede takip eden kriterlerdir. Alıcı grupta olan Maliyeti Düşürme kriteri (D-R değeri negatif ve D+R değeri düşük) etkilenen ve sonucu diğer kriterler kadar etkilemeyen bir kriter olarak değerlendirilmiştir. İyileştirme amacının ön planda olduğu Başlatılan Mühendislik Değişikliklerinde Müşteri Memnuniyetini Arttırma ve Kalite Yönetimi kriterlerinin daha çok neden olduğu düşünülürken Maliyeti Düşürme kriterinin daha az rol oynadığı yönünde görüş verilmiştir.

Çizelge 5.48. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği gönderici ve alıcı grup

Gönderici Grup	Alıcı Grup
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Kalite Yönetimi
Güvenilirlik	Maliyeti Düşürme
Üretilebilirlik	Kullanılabilirlik

Çizelge 5.49. Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği kriter ağırlıkları ve önceliklendirmesi

	Kriter Ağırlıkları	Kriter Öncelikleri
Kalite Yönetimi	0,1807	2
Maliyeti Düşürme	0,1431	6

Çizelge 5.49. (devam) Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği kriter ağırlıkları ve önceliklendirmesi

	Kriter Ağırlıkları	Kriter Öncelikleri
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	0,1885	1
Güvenilirlik	0,1691	3
Kullanılabilirlik	0,1647	4
Üretilbilirlik	0,1538	5

Firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği – bulguların yorumlanması

Gönderici grupta yer alan Müşteri Memnuniyetini Arttırma kriterinin önceliklendirme sıralamasında 1. olarak yer aldığı görülmektedir. Müşteri Memnuniyetini Arttırma kriterinin (D+R değeri yüksek olan) diğer kriterleri etkileme düzeyinin yüksek olması da öncelikli sırada olmasını desteklemektedir.

Kriterler arasında en az öneme sahip olan Maliyet Düşürme kriterinin Başlatılan Mühendislik Değişikliği önerisine daha az neden olduğu değerlendirilmektedir.

Firma 1 – firma 2 başlatılan mühendislik değişikliği bulguların karşılaştırması

Başlatılan Mühendislik Değişikliği kapsamında Firma 1 ve Firma 2 görüşlerinin birbiriyle aynı sıralamada olduğu görülmektedir. Firma 1 ve Firma 2 Müşteri Memnuniyetini Arttırma kriterinin daha çok neden olduğunu ve Maliyeti Düşürme kriterinin en az öneme sahip olduğu yönünde görüş belirtmiştir. Firmaların Başlatılan Mühendislik Değişikliği için aynı öncelikleri olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Acil Mühendislik Değişikliği nedeni kriterleriyle karşılaştırıldığında Başlatılan Mühendislik Değişikliği nedeni kriterinin önceliklendirmesi sıralamasında ağırlıklar arasında daha belirgin fark bulunmaktadır.

5.6.3. Alternatiflerin Sıralanması Senaryosu

Acil Mühendislik Değişikliği kapsamında önerilen 4 alternatifin değerlendirildiği senaryoda TOPSIS yöntemi ve Firma 1 DANP yöntemi sonucunda elde edilen kriter ağırlıklarının kullanılması sonucunda elde edilen alternatiflerin sıralaması Çizelge 5.50’de

gösterilmiştir.

Alternatif 1 Proje Yönetimi, Kalite Yönetimi ve Tedarik Yönetimi kriterlerini ve Alternatif 2, Üretim Tedarik Yönetimi ve Konfigürasyon Yönetimi kriterlerini pozitif olarak desteklemektedir. Proje Yönetimi ve Kalite Yönetimi kriterleri Tedarik Yönetimi ve Konfigürasyon Yönetimi kriterlerine oranla daha öncelikli sırada yer alsa da Üretim kriterinin 1.öncelikli kriter olmasının Alternatif 2'yi ilk sırada yer almasına neden olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 5.50. Alternatiflerin sıralaması

	Sıralama (Kriter Önem Sıralaması)	Kalite Yönetimi (3)	Konfigürasyon Yönetimi (5)	Tedarik Yönetimi (4)	Proje Yönetimi (2)	Sistem/Ürün Tasarımı (6)	Üretim (1)
Alternatif 1	2	1	0	1	1	0	0
Alternatif 2	1	0	1	1	0	0	1
Alternatif 3	4	-1	1	-1	-1	-1	0
Alternatif 4	3	0	1	0	0	-1	0

Alternatif 3 firmanın öncelikli bir kriteri olmayan Konfigürasyon Yönetimi kriterini pozitif olarak etkilerken Proje Yönetimi, Kalite Yönetimi, Tedarik Yönetimi ve Sistem/Ürün Tasarımı kriterlerini negatif etkilemektedir. Alternatif 4 Konfigürasyon Yönetimi kriterini pozitif yönde etkilerken Sistem/Ürün Tasarımı kriterini negatif yönde etkilemektedir.

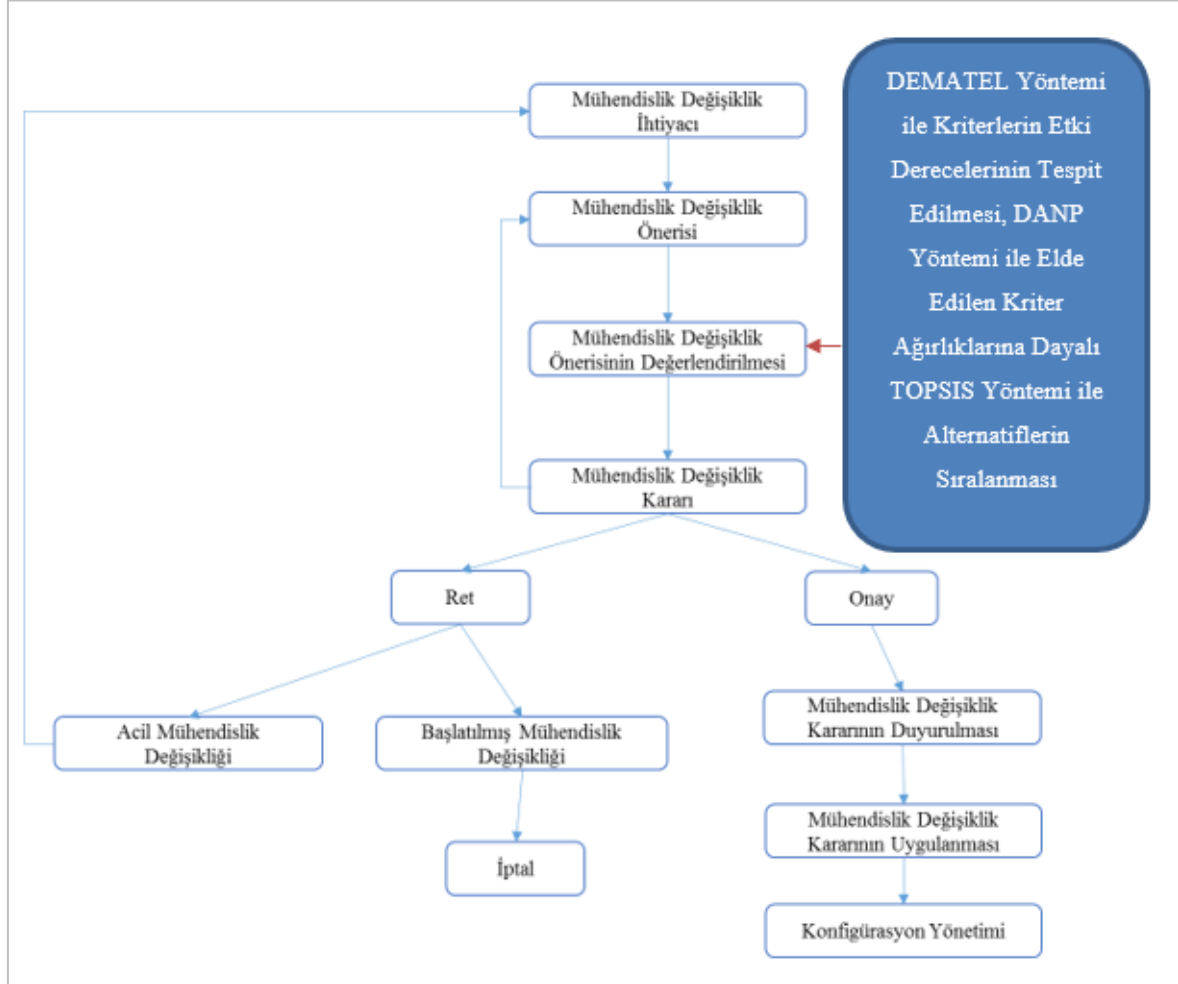
5.7. Mühendislik Değişiklik Yönetimi Süreç Adımlarının Detaylandırılması

Literatür taraması ve yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlar doğrultusunda Mühendislik Değişiklik Yönetimi süreç adımlarının detaylandırılarak çalışmadan elde edilen kriter ağırlıkların firmaların karar verme sürecine dahil edilmiştir.

Mühendislik Değişiklik Yönetimi değişikliğin talep edilmesi, değerlendirilmesi, onaylanırsa planlanarak uygulanması ve dokümantasyonu ana aşamalarından oluşmaktadır. (Reddi ve Moon, 2011)

Mühendislik Değişiklik Yönetimi süreç akışına yönelik literatürde çeşitli öneriler mevcuttur. Reddi ve Moon (2011), Phelan (2015), Ullah ve diğerleri (2016) tarafından yapılan öneriler ve bu çalışma kapsamında incelenen firmaların faaliyetleri göz önünde

bulundurularak süreç akışı geliştirilmiştir. Önerilen sürecin ana aşamaları Şekil 5.9’da gösterilmektedir.



Şekil 5.9. Mühendislik değişiklik yönetimi süreci önerisi

Mühendislik Değişiklik İhtiyacı aşamasını takiben ilgili mühendis/ler tarafından değişiklik önerisi hazırlığı yapılır ve bu hazırlık kapsamında olası çözüm/ler geliştirilir. Mühendislik Değişiklik Önerisi sisteme iletdikten sonra değişiklik içeriğine göre ilgili İç Paydaşlar bilgilendirilir. Mühendislik Değişiklik Önerisinin Değerlendirilmesi aşamasında olası çözümler için risk ve etki analizi yapılır. Olası uygulama senaryoları da bu aşamada ele alınır. Mühendislik Değişiklik Önerisinin Değerlendirilmesi aşamasında karar vericilere destek olmak amacı ile DEMATEL Karar Verme Yöntemi ile kriterlerin etki derecelerinin tespit edilerek DANP Karar Verme yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıklarına dayalı TOPSIS Karar Verme yöntemi ile alternatiflerin sıralanması çalışması önerilmektedir. Mühendislik Değişiklik Önerisi içerisindeki detayların yeteri olmadığı düşünülürse ek

hazırlık ve bilgi talebi ile Mühendislik Değişiklik Önerisi aşamasına geri dönülür. Değerlendirme sonrası Mühendislik Değişiklik Kararı Ret ya da Onay olarak sonuçlandırılır. Kararın çeşitli nedenlerle Ret olarak belirlenmesi durumunda Değişiklik İhtiyacının kaynağına göre eğer Acil Mühendislik Değişikliği ise yeniden Mühendislik Değişiklik İhtiyacı aşamasına dönülür. Mühendislik Değişiklik Kararının Onay olması durumundan sonra Mühendislik Değişiklik Kararının Duyurulması aşamasında Karar gerekli paydaşlara iletilir. Bu aşamada Müşteri ile yapılan anlaşmaya bağlı olarak Müşteri Onayı aşaması eklenebilir. Müşteri Onayının Ret olarak sonuçlanması durumunda Mühendislik Değişiklik İhtiyacı aşamasına geri dönülebilir. Mühendislik Değişiklik Kararının Duyurulması aşamasından sonra Mühendislik Değişiklik Kararının Uygulanması aşamasına geçilmektedir ve Konfigürasyon Yönetimi aşamasında da yapılan Mühendislik Değişikliği kapsamında konfigürasyonda gerekli veri kaydı, güncellenmesi ve kontrolü yapılır.

Mühendislik Değişiklik Yönetimi karar kapsamına bağlı olarak çeşitli sayıda Karar Verici ile birlikte yürütüldüğü için Grup Karar Verme şeklinde değerlendirilmektedir. Aynı zamanda farklı ortamlarda bulunan Karar Vericilerin süreci verimli bir şekilde sürdürebilmesi için Mühendislik Değişiklik Yönetimi hakkında önerilen süreç adımlarının firmaların kullandığı kurumsal kaynak planlama yazılımlarına entegre etmesi ile mümkün olacağı öngörülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatürde Mühendislik Değişikliği Karar Verme süreciyle ilgili yeterli sayıda çalışma olmadığı tespitine yönelik olarak bu alanda bir çalışma yapılmıştır. DEMATEL ve DANP Karar Verme yöntemlerinden yararlanılan bu çalışmada Mühendislik Değişiklik Kararına neden olan kriterlerin birbirlerini etkileme düzeyleri incelenerek önem dereceleri tespit edilmiş ve kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Bulunan değerlerin Mühendislik Değişikliği Yönetimi sürecine dahil edilmesinin daha etkin sonuçlar alınması açısından faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Alternatiflerin değerlendirilmesi sürecine DANP yöntemi sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları da dahil edilerek TOPSIS yöntemi ile seçeneklerin sıralamasının bulunması bir senaryo ile gerçekleştirilmiştir.

Mühendislik Değişikliği Yönetiminin firmalara bağlı olarak farklılık gösterebilmesi sebebiyle literatürde saha araştırması ile ilgili de az sayıda çalışma bulunduğu görülmüştür. Mühendislik Değişiklik Kararı sınıflarına göre neden olan kriterler literatür ve uzman görüşleri doğrultusunda oluşturulmuş ve Savunma Sanayii sektöründen iki firmanın uzman görüşleri toplanarak bir vaka analizi ile literatüre katkı sağlanmıştır. Bu çalışmadaki yöntem ile farklı sektörlerde saha araştırması yapılması ve Mühendislik Değişiklik Yönetimi kapsamında diğer Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden yararlanılması sonraki araştırma konuları olarak önerilmektedir.

Firmaların kendi faaliyetlerine göre Mühendislik Değişiklik Kararı nedeni kriterlerini değerlendirerek önceliklendirmesi ve kriterler arasındaki etki düzeylerini göz önünde bulundurarak karar vermesi sürecin daha etkin bir şekilde yürütülmesine yardımcı olacaktır.

Acil Mühendislik Değişikliği kapsamında Firma 1 ve Firma 2 Üretim kriterini daha önemli olarak değerlendirmiştir. Firmaların kriter değerlendirmeleri sıralamalarında farklılıklar bulunmasına rağmen Üretim kriteri iki firma için de önem derecesi ve etkileme düzeyi açısından kritik olduğu değerlendirilmektedir. Firmalar Konfigürasyon Yönetimi ve Tedarik Yönetimi kaynaklı başlatılan Acil Mühendislik Değişikliği kararlarının daha az olduğu görüşüne sahiptir. Firma1 Sistem/Ürün Tasarımı kriterinin ve Firma 2 de Proje

Yönetimi kriterinin en az Acil Mühendislik Değişikliği Kararına neden olduğu değerlendirilmesini yapmıştır.

Başlatılan Mühendislik Değişikliği kapsamında iki firmanın değerlendirmeleri sonucunda elde edilen kriterlerin sıralamasının birbiriyle aynı olduğu görülmektedir. İyileştirme amacının ön planda olduğu Başlatılan Mühendislik Değişikliklerinde Kalite Yönetimi kriterinin daha çok neden olduğu düşünülürken Maliyeti Düşürme kriterinin daha az rol oynadığı yönünde görüş verilmiştir.

Çalışmada Mühendislik Değişiklik Yönetiminin firmalara göre farklılık gösterebildiği sonucuna ulaşılmıştır. Firmaların kendi faaliyetlerine göre Mühendislik Değişiklik Kararı nedeni kriterlerini değerlendirerek önceliklendirmesi ve kriterler arasındaki etki düzeylerini göz önünde bulundurarak karar vermesi sürecin daha etkin bir şekilde yürütülmesine yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Aktaş, R., Doğanay, M., Gökmen, Y., Gazibey, Y., ve Türen, U. (2015). *Sayısal Karar Verme Yöntemleri* (Birinci Baskı). İstanbul: Beta Yayınları, 225-227, 229-231.
- Altun, A., ve Çetinyokuş T. (2021, 13-18 Aralık). *Mühendislik Değişiklik Yönetimi İçin Karar Destek Sistemi*. Uluslararası İDU Mühendislik Sempozyumu – IES'21, İzmir, 244-251.
- Browning, T.R. (2001) Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48(3), 292-306.
- Chen, Y. C., Lien, H. P., & Tzeng, G. H. (2010). Measures and Evaluation for Environment Watershed Plans Using a Novel Hybrid MCDM Model. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 926–938.
- Chen, Y. S., Chuang, H. M., Sangaiah, A. K., Lin, C. K., & Huang, W. B. (2018). A Study for Project Risk Management Using an Advanced MCDM-based DEMATEL-ANP Approach. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(7), 2669–2681.
- Chiu, W. Y., Tzeng, G. H., & Li, H. L. (2013). A New Hybrid MCDM Model Combining DANP with VIKOR to Improve E-Store Business. *Knowledge-Based Systems*, 37, 48–61.
- Chuang, Y. C., Hu, S. K., Liou, J. J. H., & Lo, H. W. (2018). Building a Decision Dashboard for Improving Green Supply Chain Management. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 17(05), 1363–1398.
- Cohen, T., Navathe S.B. ve Fulton R.E. (2000). C-FAR, Change Favorable Representation. *Computer-Aided Design*, 32(5-6), 321-338.
- Clarkson, P. J., Simons, C. ve Eckert., C. (2004). Predicting Change Propagation in Complex Design. *Journal of Mechanical Design*, 126(5), 788–797.
- Do, N. (2015). Integration of Engineering Change Objects in Product Data Management Databases to Support Engineering Change Analysis. *Computers in Industry*, 73, 69–81.
- Erol, N. (2015). *Bir Seri Yat Üretimi Fabrikası İçin Mühendislik Değişiklik Yönetimi Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 49-50.
- Giffin, M., de Weck, O., Bounova, G., Keller, R., Eckert, C., & Clarkson, P. J. (2009). Change Propagation Analysis in Complex Technical Systems. *Journal of Mechanical Design*, 131(8), 1-14.

- Gölcük, L., ve Baykasoğlu, A. (2016). An Analysis of DEMATEL Approaches for Criteria Interaction Handling within ANP. *Expert Systems with Applications*, 46, 346–366.
- Gunduz, M., ve Khan, O. H. (2018). Effective Framework For Change Order Management Using Analytical Hierarchy Process (AHP). *Gazi University Journal of Science*, 31(4), 1079-1091.
- Habhoub, D., Cherkaoui, S. ve Desrochers, A. (2011). Decision-Making Assistance In Engineering-Change Management Process. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part C, Applications and Reviews*, 41(3), 344-349.
- Hamraz, B., Caldwell, N.H.M. ve Clarkson, P. J. (2012). A Multidomain Engineering Change Propagation Model to Support Uncertainty Reduction and Risk Management in Design. *Journal of Mechanical Design*, 134(10), 01–14.
- Hamraz, B., Caldwell, N.H.M., Ridgman, T.W. ve Clarkson, P.J. (2014). FBS Linkage Ontology and Technique to Support Engineering Change Management. *Research in Engineering Design*, 26(1), 3-35.
- Hamraz, B., ve Clarkson, P. J. (2015). Industrial Evaluation of FBS Linkage – A Method to Support Engineering Change Management. *Journal of Engineering Design*, 26(1–3), 24–47.
- Hsu, C. C., ve Liou, J. J. (2013). An Outsourcing Provider Decision Model for the Airline Industry. *Journal of Air Transport Management*, 28, 40–46.
- Hsu, C. H., Wang, F. K., ve Tzeng, G. H. (2012). The Best Vendor Selection for Conducting the Recycled Material based on a Hybrid MCDM Model Combining DANP with VIKOR. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 95–111.
- İnternet: Department of Defense United States of America. (2001). *Military Handbook Configuration Management Guidance*. Product Lifecycle Management. Web: [https://www.product-lifecycle-management.com/download/MIL-HDBK-61B%20\(Draft\).pdf](https://www.product-lifecycle-management.com/download/MIL-HDBK-61B%20(Draft).pdf), Son Erişim Tarihi: 4 Kasım 2021.
- Jokinen, L., Vainio, V., ve Pulkkinen, A. (2017). Engineering Change Management Data Analysis from the Perspective of Information Quality. *Procedia Manufacturing*, 11, 1626–1633.
- Kanike, Y., ve Ahmed, S. (2007). *Engineering Change During a Product's Lifecycle*. International Conference on Engineering Design, ICED'07, Paris.
- Kabak, M., ve Çınar, Y. (ed.). (2021). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri: MS Excel® Çözümlü Uygulamalar* (1. ed.). Nobel Akademik Yayıncılık, 65-67, 125-127.
- Kocar, V., ve Akgunduz, A. (2010). ADVICE: A Virtual Environment for Engineering Change Management. *Computers in Industry*, 61(1), 15–28.

- Kuan, M. J., ve Chen, Y. M. (2014b). A Hybrid MCDM Framework Combined with DEMATEL-based ANP to Evaluate Enterprise Technological Innovation Capabilities Assessment. *Decision Science Letters*, 3(4), 491–502.
- Kumar, A., ve Dash, M. K. (2016). Using DEMATEL to Construct Influential Network Relation Map of Consumer Decision-Making in E-Marketplace. *International Journal of Business Information Systems*, 21(1), 48.
- Lee, H. J., Ahn, H. J., Kim, J. W., ve Park, S. J. (2006). Capturing and Reusing Knowledge in Engineering Change Management: A Case Of Automobile Development. *Information Systems Frontiers*, 8(5), 375–394.
- Lee, H., Seol, H., Sung, N., Hong, Y. S., ve Park, Y. (2010). An Analytic Network Process Approach to Measuring Design Change Impacts in Modular Products. *Journal of Engineering Design*, 21(1), 75–91.
- Lee, W. S. (2014). A New Hybrid MCDM Model Combining DANP with VIKOR for the Selection of Location — Real Estate Brokerage Services. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 13(01), 197–224.
- Li, W., ve Moon, Y. B. (2012). Modeling and Managing Engineering Changes in a Complex Product Development Process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 63(9–12), 863–874.
- Lin, C. L., Hsieh, M. S., ve Tzeng, G. H. (2010). Evaluating Vehicle Telematics System by Using a Novel MCDM Techniques with Dependence and Feedback. *Expert Systems with Applications*, 37(10), 6723–6736.
- Liu, W., Zeng, Y., Maletz, M., ve Brisson, D. (2009, Ocak). *Product Lifecycle Management: A Survey*. ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2009 San Diego, California, 1213-1225.
- Mohammed, A., Naghshineh, B., Spiegler, V., ve Carvalho, H. (2021). Conceptualising a Supply and Demand Resilience Methodology: A Hybrid DEMATEL-TOPSIS-Possibilistic Multi-Objective Optimization Approach. *Computers & Industrial Engineering*, 160(5), 107589.
- Ollinger, G. ve Stahovich, T. (2001). *Redesignit- A Constraint-Based Tool For Managing Design Changes*. ASME 2001 Design Engineering Technical Conference and Computers and Information in Engineering Conference, 1–11.
- Ozkaya, G., & Erdin, C. (2020). Evaluation of Smart and Sustainable Cities Through a Hybrid MCDM Approach based on ANP and TOPSIS Technique. *Heliyon*, 6(10), e05052.
- Phelan, K.T.A. (2015). *Configuration Management in Manufacturing and Assembly: Case Study and Enabler Development*, Doktora Tezi, Clemson University, South Carolina, 9-10.

- Reddi, K.R. ve Moon, Y.B. (2011). System Dynamics Modeling of Engineering Change Management In A Collaborative Environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55(9), 1225-1239.
- Sage, A. P. (Editör). (2009). *Systems Engineering and Management for Sustainable Development- Volume I*, Ramsey: EOLSS Publications, 218.
- Shakirov, E., Brandl, F. J., Bauer, H., Kattner, N., Becerril, L., Fortin, C., Lindemann, U., Reinhart, G., ve Uzhinsky, I. (2019). Integration of Engineering and Manufacturing Change Management: Infrastructure and Scenarios for Teaching and Demonstration. *Procedia CIRP*, 81, 535–540.
- Shankar, P., Summers, J. D. ve Phelan, K. (2017). A Verification and Validation Planning Method to Address Propagation Effects in Engineering Design and Manufacturing, *Concurrent Engineering*, 25(2), 151-162.
- Shen, Y. C., Lin, G. T., ve Tzeng, G. H. (2011). Combined DEMATEL Techniques with Novel MCDM for the Organic Light Emitting Diode Technology Selection. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1468–1481.
- Si, S. L., You, X. Y., Liu, H. C., ve Zhang, P. (2018). DEMATEL Technique: A Systematic Review of the State-of-the-Art Literature on Methodologies and Applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018(1), 1–33.
- Subrahmanian, E., Lee, C., ve Granger, H. (2015). Managing and supporting Product Life Cycle Through Engineering Change Management for a Complex Product. *Research in Engineering Design*, 26(3), 189–217.
- Stokic, M., Vujanovic, D., ve Sekulic, D. (2020). A New Comprehensive Approach for Efficient Road Vehicle Procurement Using Hybrid DANP-TOPSIS Method. *Sustainability*, 12(10), 4044.
- Tavčar, J., ve Duhovnik, J. (2005). Engineering change management in individual and mass production. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 21(3), 205–215.
- Threatt, M. (2019). *Exploring Configuration Management in Department of Defense (DoD) Projects*, Doktora Tezi, Nathan M. Bisk College of Business – Florida Tech, Melbourne, 116.
- Ullah, I., Tang, D., ve Yin, L. (2016). Engineering Product and Process Design Changes: A Literature Overview. *Procedia CIRP*, 56, 25–33.
- Vujanović, D., Momčilović, V., Bojović, N., ve Papić, V. (2012). Evaluation of Vehicle Fleet Maintenance Management Indicators by Application of DEMATEL and ANP. *Expert Systems with Applications*, 39(12), 10552–10563.
- Wang, T. C. (2012). The Interactive Trade Decision-Making Research: An Application Case of Novel Hybrid MCDM Model. *Economic Modelling*, 29(3), 926–935.

- Watts, F. B. (2011). *Engineering Documentation Control Handbook: Configuration Management and Product Lifecycle Management* (Dördüncü Baskı.). Oxford: William Andrew, xiv-xv.
- Wilms, R., Cemmasson, V. F., Inkermann, D., Reik, M., ve Vietor, T. (2019). Identifying Cross-Domain Linkage Types to Support Engineering Change Management and Requirements Engineering. *Procedia CIRP*, 84, 719–724.
- Xu, Y., Malisetty, M. K., & Round, M. (2013). Configuration Management in Aerospace Industry. *Procedia CIRP*, 11(4), 183–186.
- Yeasin, F. N., Grenn, M., & Roberts, B. (2020). A Bayesian Networks Approach to Estimate Engineering Change Propagation Risk and Duration. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 67(3), 869–884.
- Yin, L., Tang, D., Ullah, I., Wang, Q., Zhang, H. ve Zhu, H. (2017). Analyzing Engineering Change of Aircraft Assembly Tooling Considering Both Duration and Resource Consumption. *Advanced Engineering Informatics*, 33, 44-59.





EK-1. Anket formu

15.09.2021 23:28

Gönüllülük

Gönüllülük

Bu anket çalışması, Mühendislik Değişiklik Kararı konusunda kriterlerin birbirlerini etkileme derecesini ölçmeye yönelik olarak yapılmakta olup toplanan veriler sadece bilimsel amaçlar doğrultusunda kullanılacak ve sonuçlar şirket ya da katılımcı bilgisi belirtilmeden bilimsel araştırma ve yazılarda yer alacaktır.

Bu çalışmaya katılım gönüllülük esasına dayanmaktadır.

Katılımınız ve vakit ayırdığınız için teşekkürler.

* Required

1. Anket sorularını gönüllü olarak cevaplandırmayı kabul ediyor musunuz? *

Mark only one oval.

- ☐ Evet Skip to question 2
☐ Hayır

Genel Bilgi

Anket kitlesine yönelik genel sorular bulunmaktadır.

2. Çalıştığınız firma hangi ülkede bulunmaktadır? *

Mark only one oval.

- ☐ Türkiye
☐ İsveç
☐ İngiltere
☐ İtalya
☐ Other: _____

Şekil 1.1. DEMATEL yöntemi uygulaması anketi sayfa 1

EK-1. (devam) Anket formu

15.09.2021 23:28

Gönüllülük

3. Çalıştığınız firma hangi alanda faaliyet göstermektedir? *

Mark only one oval.

- ☐ Elektronik
- ☐ Enerji
- ☐ İnşaat
- ☐ Savunma Sanayi
- ☐ Telekomünikasyon
- ☐ Üretim
- ☐ Other: _____

4. Hangi departmanda görev almaktasınız? *

Mark only one oval.

- ☐ Kalite Yönetimi
- ☐ Konfigürasyon Yönetimi
- ☐ Proje Yönetimi
- ☐ Satın Alma
- ☐ Satış Sonrası Hizmetler
- ☐ Tasarım Skip to question 7
- ☐ Tedarik Yönetimi
- ☐ Üretim
- ☐ Other: _____

EK-1. (devam) Anket formu

15.09.2021 23:28

Gönüllülük

5. Mesleğiniz nedir? *

Birden fazla alan seçebilirsiniz.

Check all that apply.

- ☐ Bilgisayar Mühendisi
- ☐ Elektrik Elektronik Mühendisi
- ☐ Endüstri Mühendisi
- ☐ Havacılık ve Uzay Mühendisi
- ☐ İnşaat Mühendisi
- ☐ Makina Mühendisi
- ☐ Metalurji ve Malzeme Mühendisi

Other: ☐ _____

6. Kaç yıllık çalışma tecrübeniz bulunmaktadır? *

Tasarım Alanı

7. Hangi tasarım alanında çalışmaktasınız? *

Mark only one oval.

- ☐ Donanım
- ☐ Mekanik
- ☐ Yazılım
- ☐ Sistem
- ☐ Other: _____

Mühendislik
Değişiklik
Kararı

Mühendislik Değişiklik Kararı alınması kapsamında kriterlerin birbirlerini etkileme derecesini karşılaştırmak için görüşleriniz beklenmektedir.

Karşılaştırma ifadelerinin tanımları ve karşılık gelen değerleri tabloda bulunmaktadır.

Konu kapsamında örnek bir karşılaştırma aşağıda paylaşılmıştır.

Sonraki iki bölümde örneğe benzer şekilde Acil Mühendislik Değişiklik Kararı ve Başlatılmış Mühendislik Değişiklik Kararı için kriterleri karşılaştırabilir misiniz?

Şekil 1.3. DEMATEL yöntemi uygulaması anketi sayfa 3

EK-1. (devam) Anket formu

15.09.2021 23:28

Gönüllülük

Karşılaştırma İfadelerinin Tanımlı Değerleri

Tanım	Değer	İfade
Etkisiz	0	Etkilemiyor
Düşük Etkili	1	Düşük derecede etkiliyor
Orta Etkili	2	Orta derecede etkiliyor
Yüksek Etkili	3	Yüksek derecede etkiliyor
Çok Yüksek Etkili	4	Çok yüksek derecede etkiliyor

Örnek

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi			3			
Konfigürasyon Yönetimi						
Tedarik Yönetimi	0					
Proje Yönetimi						
Sistem/Ürün Tasarımı						
Üretim						

Örnek Karşılaştırma

Kriterler arası değerlendirmeyi Karşılaştırma İfadelerinin Tanımlı Değerleri tablosundaki skalaya göre yapınız.

Örneğin, Kalite Yönetimi ve Tedarik Yönetimi arasında Kalite Yönetimi kriterinin Tedarik Yönetimi kriterini yüksek derecede etkilediğini düşünüyorsanız kriterlerin kesiştiği hücre için Yüksek Etkili ilişkisinin tanımlı sayısal karşılığı olan "3 (Yüksek Etkili)" değerini seçiniz.

Diğer yandan tersi olan Tedarik Yönetimi kriterinin Kalite Yönetimi kriteri üzerinde herhangi bir etkisi olmadığını düşünüyor iseniz kriterlerin kesiştiği hücre için Etkilemiyor ilişkisinin tanımlı sayısal karşılığı olan "0 (Etkisiz)" değerini seçiniz.

Buna göre kriterlerin diğer kriterleri etkileme derecelerine göre seçimleri yapmanız beklenmektedir.

Şekil 1.4. DEMATEL yöntemi uygulaması anketi sayfa 4

EK-1. (devam) Anket formu

15.09.2021 23:28

Gönüllülük

Acil
Mühendislik
Değişiklik
Kararı

Acil Mühendislik Değişikliği (Emergent Engineering Change – EEC) için oluşan herhangi bir uygunsuzluğa yönelik acil bir Mühendislik Değişiklik Kararı verilirken hangi kriter diğer kriteri ne derecede etkilemektedir?

Kriterler

- Kalite Yönetimi – Quality Management
- Konfigürasyon Yönetimi – Configuration Management
- Tedarik Yönetimi – Procurement Management
- Proje Yönetimi (Proje Planı, Yönetim Kararı vb.) – Project Management (Project Schedule, Managerial Decision etc.)
- Sistem/Ürün Tasarımı – System/Product Design
- Üretim – Production

Tanımlar

• Kalite Yönetimi: Bir organizasyonu kalite açısından yönlendirmek ve kontrol etmek için yönetim sistemidir. (ISO 9000:2005)

• Konfigürasyon Yönetimi: Bir konfigürasyon ögesinin işlevsel ve fiziksel özelliklerini belirlemek ve belgelemek, bu özelliklerdeki değişiklikleri kontrol etmek, değişiklik işleme ve uygulama durumunu kaydetmek ve raporlamak ve belirtilen gereksinimlere uygunluğu doğrulamak için teknik ve idari yönlendirme ve gözetimi uygulayan disiplindir. (ISO/IEC 15408-1:2009)

• Tedarik Yönetimi: Proje ekibi dışından ihtiyaç duyulan ürünleri, hizmetleri veya sonuçları satın almak veya elde etmek için gerekli süreçlerdir. (ISO/IEC/IEEE 24765:2017)

• Proje Yönetimi: Bir projenin tüm yönlerinin planlanması, organize edilmesi, izlenmesi, kontrol edilmesi ve raporlanması ve proje hedeflerine ulaşmak için projede yer alan herkesin motivasyonunun sağlanması kapsamındaki faaliyetlerdir. (ISO 22886:2020)

• Sistem/Ürün Tasarımı: Belirtilen gereksinimleri karşılamak için bir sistem/ürün için donanım ve yazılım mimarisini, bileşenleri, modülleri, arayüzleri ve verileri tanımlama sürecidir. (ISO/IEC 2382:2015)

• Üretim: Üretim ve paketleme işlemleri faaliyetleridir. (ISO 22716:2007)

Şekil 1.5. DEMATEL yöntemi uygulaması anketi sayfa 5

EK-1. (devam) Anket formu

15.09.2021 23:28

Gönüllülük

Acil Mühendislik Değişiklik Kararı - Kriterler

	Kalite Yönetimi	Konfigürasyon Yönetimi	Tedarik Yönetimi	Proje Yönetimi	Sistem/Ürün Tasarımı	Üretim
Kalite Yönetimi						
Konfigürasyon Yönetimi						
Tedarik Yönetimi						
Proje Yönetimi						
Sistem/Ürün Tasarımı						
Üretim						

8. Kalite Yönetimi aşağıdaki diğer kriterleri ne derecede etkilemektedir? *

Mark only one oval per row.

	0 (Etkisiz)	1 (Düşük Etkili)	2 (Orta Etkili)	3 (Yüksek Etkili)	4 (Çok Yüksek Etkili)
Konfigürasyon Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarik Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Proje Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Sistem/Ürün Tasarımı	☐	☐	☐	☐	☐
Üretim	☐	☐	☐	☐	☐

Şekil 1.6. DEMATEL yöntemi uygulaması anketi sayfa 6

EK-1. (devam) Anket formu

15.09.2021 23:28

Gönüllülük

9. Konfigürasyon Yönetimi aşağıdaki diğer kriterleri ne derecede etkilemektedir? *

Mark only one oval per row.

	0 (Etkisiz)	1 (Düşük Etkili)	2 (Orta Etkili)	3 (Yüksek Etkili)	4 (Çok Yüksek Etkili)
Kalite Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarik Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Proje Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Sistem/Ürün Tasarımı	☐	☐	☐	☐	☐
Üretim	☐	☐	☐	☐	☐

10. Tedarik Yönetimi aşağıdaki diğer kriterleri ne derecede etkilemektedir? *

Mark only one oval per row.

	0 (Etkisiz)	1 (Düşük Etkili)	2 (Orta Etkili)	3 (Yüksek Etkili)	4 (Çok Yüksek Etkili)
Kalite Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Konfigürasyon Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Proje Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Sistem/Ürün Tasarımı	☐	☐	☐	☐	☐
Üretim	☐	☐	☐	☐	☐

Şekil 1.7. DEMATEL yöntemi uygulaması anketi sayfa 7

EK-1. (devam) Anket formu

15.09.2021 23:28

Gönüllülük

11. Proje Yönetimi aşağıdaki diğer kriterleri ne derecede etkilemektedir? *

Mark only one oval per row.

	0 (Etkisiz)	1 (Düşük Etkili)	2 (Orta Etkili)	3 (Yüksek Etkili)	4 (Çok Yüksek Etkili)
Kalite Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Konfigürasyon Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarik Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Sistem/Ürün Tasarımı	☐	☐	☐	☐	☐
Üretim	☐	☐	☐	☐	☐

12. Sistem/Ürün Tasarımı aşağıdaki diğer kriterleri ne derecede etkilemektedir? *

Mark only one oval per row.

	0 (Etkisiz)	1 (Düşük Etkili)	2 (Orta Etkili)	3 (Yüksek Etkili)	4 (Çok Yüksek Etkili)
Kalite Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Konfigürasyon Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarik Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Proje Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Üretim	☐	☐	☐	☐	☐

Şekil 1.8. DEMATEL yöntemi uygulaması anketi sayfa 8

EK-1. (devam) Anket formu

15.09.2021 23:28

Gönüllülük

13. Üretim aşağıdaki diğer kriterleri ne derecede etkilemektedir? *

Mark only one oval per row.

	0 (Etkisiz)	1 (Düşük Etkili)	2 (Orta Etkili)	3 (Yüksek Etkili)	4 (Çok Yüksek Etkili)
Kalite Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Konfigürasyon Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Tedarik Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Proje Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Sistem/Ürün Tasarımı	☐	☐	☐	☐	☐

Başlatılan
Mühendislik
Değişiklik
Kararı

Başlatılan Mühendislik Değişikliği (Initiated Engineering Change – IEC) için iyileştirmeye yönelik şirket stratejisi (pazar payı, rekabet, prestij vb.) olarak risk azaltıcı, önleyici gibi çeşitli nedenlerle Mühendislik Değişiklik Kararı alınırken hangi kriter diğer kriteri ne derecede etkilemektedir?

Kriterler

- Kalite Yönetimi – Quality Management
- Maliyeti Düşürme – Cost Reduction
- Müşteri Memnuniyetini Arttırma – Customer Satisfaction Increase
- Güvenilirlik – Reliability
- Kullanılabilirlik – Usability
- Üretilebilirlik – Producibility

Tanımlar

• Kalite Yönetimi: Bir kuruluşu kalite açısından yönlendirmek ve kontrol etmek için yönetim sistemidir. (ISO 9000:2005)

• Maliyet: Sağlanan hizmet için yanıtlayan tarafından istenen, alınan veya faturalandırılan tutardır. (ISO 10161-1:2014)

• Müşteri Memnuniyeti: Kalite yönetim sistemi içinde, müşteri tarafından değerlendirme anında değerlendirildiği üzere, müşterinin beklentilerinin, müşterinin beklendiği deneyimler için karşılandığı veya aşıldığı bir tatmin durumudur. (ISO/IEC/IEEE 24765:2017)

• Güvenilirlik: Bir cihazın veya sistemin, belirli bir süre veya döngü sayısı boyunca belirli kullanım koşulları altında amaçlanan işlevini yerine getirme yeteneğidir. (ISO/TS 14907-1:2015)

• Kullanılabilirlik: Belirli bir kullanım bağlamında etkinlik, verimlilik ve memnuniyetle belirtilen hedeflere ulaşmak için belirli kullanıcılar tarafından bir ürün kullanılabilmesi kapsamıdır. (ISO 9241-210:2019)

• Üretilebilirlik: Göreceli üretim kolaylığının bir ölçüsüdür. (MIL-HDBK-727)

EK-1. (devam) Anket formu

15.09.2021 23:28

Gönüllülük

Başlatılan Mühendislik Değişiklik Kararı - Kriterler

	Kalite Yönetimi	Maliyeti Düşürme	Müşteri Memnuniyetini Arttırma	Güvenilirlik	Kullanılabilirlik	Üretilebilirlik
Kalite Yönetimi						
Maliyeti Düşürme						
Müşteri Memnuniyetini Arttırma						
Güvenilirlik						
Kullanılabilirlik						
Üretilebilirlik						

14. Kalite Yönetimi aşağıdaki diğer kriterleri ne derecede etkilemektedir? *

Mark only one oval per row.

	0 (Etkisiz)	1 (Düşük Etkili)	2 (Orta Etkili)	3 (Yüksek Etkili)	4 (Çok Yüksek Etkili)
Maliyeti Düşürme	☐	☐	☐	☐	☐
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	☐	☐	☐	☐	☐
Güvenilirlik	☐	☐	☐	☐	☐
Kullanılabilirlik	☐	☐	☐	☐	☐
Üretilebilirlik	☐	☐	☐	☐	☐

EK-1. (devam) Anket formu

15.09.2021 23:28

Gönüllük

15. Maliyeti Düşürme aşağıdaki diğer kriterleri ne derecede etkilemektedir? *

Mark only one oval per row.

	0 (Etkisiz)	1 (Düşük Etkili)	2 (Orta Etkili)	3 (Yüksek Etkili)	4 (Çok Yüksek Etkili)
Kalite Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	☐	☐	☐	☐	☐
Güvenilirlik	☐	☐	☐	☐	☐
Kullanılabilirlik	☐	☐	☐	☐	☐
Üretilebilirlik	☐	☐	☐	☐	☐

16. Müşteri Memnuniyetini Arttırma aşağıdaki diğer kriterleri ne derecede etkilemektedir? *

Mark only one oval per row.

	0 (Etkisiz)	1 (Düşük Etkili)	2 (Orta Etkili)	3 (Yüksek Etkili)	4 (Çok Yüksek Etkili)
Kalite Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Maliyeti Düşürme	☐	☐	☐	☐	☐
Güvenilirlik	☐	☐	☐	☐	☐
Kullanılabilirlik	☐	☐	☐	☐	☐
Üretilebilirlik	☐	☐	☐	☐	☐

EK-1. (devam) Anket formu

15.09.2021 23:28

Gönüllülük

17. Güvenilirlik aşağıdaki diğer kriterleri ne derecede etkilemektedir? *

Mark only one oval per row.

	0 (Etkisiz)	1 (Düşük Etkili)	2 (Orta Etkili)	3 (Yüksek Etkili)	4 (Çok Yüksek Etkili)
Kalite Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Maliyeti Düşürme	☐	☐	☐	☐	☐
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	☐	☐	☐	☐	☐
Kullanılabilirlik	☐	☐	☐	☐	☐
Üretilebilirlik	☐	☐	☐	☐	☐

18. Kullanılabilirlik aşağıdaki diğer kriterleri ne derecede etkilemektedir? *

Mark only one oval per row.

	0 (Etkisiz)	1 (Düşük Etkili)	2 (Orta Etkili)	3 (Yüksek Etkili)	4 (Çok Yüksek Etkili)
Kalite Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Maliyeti Düşürme	☐	☐	☐	☐	☐
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	☐	☐	☐	☐	☐
Güvenilirlik	☐	☐	☐	☐	☐
Üretilebilirlik	☐	☐	☐	☐	☐

Şekil 1.12. DEMATEL yöntemi uygulaması anketi sayfa 12

EK-1. (devam) Anket formu

15.09.2021 23:28

Gönüllülük

19. Üretilebilirlik aşağıdaki diğer kriterleri ne derecede etkilemektedir? *

Mark only one oval per row.

	0 (Etkisiz)	1 (Düşük Etkili)	2 (Orta Etkili)	3 (Yüksek Etkili)	4 (Çok Yüksek Etkili)
Kalite Yönetimi	☐	☐	☐	☐	☐
Maliyeti Düşürme	☐	☐	☐	☐	☐
Müşteri Memnuniyetini Arttırma	☐	☐	☐	☐	☐
Güvenilirlik	☐	☐	☐	☐	☐
Kullanılabilirlik	☐	☐	☐	☐	☐

This content is neither created nor endorsed by Google.

Google Forms

Şekil 1.13. DEMATEL yöntemi uygulaması anketi sayfa 13



GAZİ GELECEKTİR..