

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MÜHENDİSLİK VE TEKNOLOJİ YÖNETİMİ TEZLİ YÜKSEK
LİSANS PROGRAMI**

**ÇEVİK PROJE YÖNETİMİ YAKLAŞIMI İLE GELİŞTİRİLEN
ELEKTRONİK TEST EKİPMANLARINDA KRİTİK BAŞARI
FAKTÖRLERİNİN KLASİK VE BULANIK DEMATEL
YÖNTEMLERİYLE BELİRLENMESİ**

HAZIRLAYAN

İREM İMREN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA - 2025

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MÜHENDİSLİK VE TEKNOLOJİ YÖNETİMİ TEZLİ YÜKSEK
LİSANS PROGRAMI**

**ÇEVİK PROJE YÖNETİMİ YAKLAŞIMI İLE GELİŞTİRİLEN
ELEKTRONİK TEST EKİPMANLARINDA KRİTİK BAŞARI
FAKTÖRLERİNİN KLASİK VE BULANIK DEMATEL
YÖNTEMLERİYLE BELİRLENMESİ**

HAZIRLAYAN

İREM İMREN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ PELİN TOKTAŞ

ANKARA - 2025

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde İrem İmren tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 13 / 01 / 2025

Tez Adı: Çevik Proje Yönetimi Yaklaşımı ile Geliştirilen Elektronik Test Ekipmanlarında Kritik Başarı Faktörlerinin Klasik ve Bulanık DEMATEL Yöntemleriyle Belirlenmesi

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)	İmza
Doç. Dr. Mükerrerrem Bahar BAŞKIR (Başkan)- Bartın Üniversitesi	
Dr. Öğr. Üyesi Pelin Toktaş (Danışman)- Başkent Üniversitesi	
Dr. Öğr. Üyesi Elmas Burcu Mamak Ekinci- Başkent Üniversitesi	

ONAY

Prof. Dr. Dilek Çökeliler Serdaroğlu

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 08 / 01 / 2025

Öğrencinin Adı, Soyadı: İrem İMREN

Öğrencinin Numarası: 22210248

Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği

Programı: Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Dr. Öğr. Üyesi Pelin Toktaş

Tez Başlığı: Çevik Proje Yönetimi Yaklaşımı ile Geliştirilen Elektronik Test Ekipmanlarında Kritik Başarı Faktörlerinin Klasik ve Bulanık DEMATEL Yöntemleriyle Belirlenmesi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 55 sayfalık kısmına ilişkin, 08 / 01 / 2025 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4'dür. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:

ONAY

Tarih: ... / ... /

Öğrenci Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Pelin TOKTAŞ

.....

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini ve vaktini benimle paylaşarak büyük bir ilgiyle bana yardım eden, fikir ve yönlendirmeleriyle akademik kariyerime katkı sağlayan, hocalığının ötesinde bir arkadaş gibi hissettiren, mentörüm ve değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Pelin Toktaş’a içtenlikle teşekkür ederim.

Süreç içerisinde beni motive eden, çalışmalarına değerli katkılar sağlayan, omuz omuza çalıştığımız yöneticim ve tüm mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Çalışmalarım için beni cesaretlendiren kıymetli dostlarım Hazal Karlıdağ Köroğlu ve Özge Anaç Avnamak’a teşekkür ederim.

Sevgileriyle her zaman güç veren, yalnızca sağlıklı olmalarını dilediğim canım annem ve babama, biricik abime hayatımda var oldukları için minnettarım.

Son olarak sevgili eşim, yol arkadaşım Eren İmren’e sonsuz desteği için çok teşekkür ederim.

ÖZET

İrem İMREN

ÇEVİK PROJE YÖNETİMİ YAKLAŞIMI İLE GELİŞTİRİLEN ELEKTRONİK TEST EKİPMANLARINDA KRİTİK BAŞARI FAKTÖRLERİNİN DEMATEL YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

2025

Ar-Ge projeleri çoğunlukla geleneksel proje yönetimi yaklaşımı ile ele alınmaktadır. Son dönemlerde ise çevik proje yönetimi metodolojisinin gündeme gelmesiyle Ar-Ge projelerinde çevik yaklaşımın proje yönetimine etkileri merak edilmektedir. Özellikle, savunma sektöründeki proje çıktılarının hızlı bir şekilde elde edilme isteği çevik proje yönetimi yaklaşımı ile örtüşmektedir. Buna rağmen çevik proje yönetiminin savunma sektöründe uygulamaları kısıtlıdır. Genellikle yazılım projelerinde tercih edilen yaklaşımın donanım geliştirme faaliyetlerinde olumlu etkilerine yönelik araştırmalar ise sürmektedir. Bu sebeple elektronik test donanımlarının geliştirilmesi projelerinin başarı ile sonuçlanmasında çevik proje yönetiminin faydasını belirleyebilmek önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı, savunma sektörüne hizmet veren bir test ve ölçüm firmasında, elektronik test donanımlarının geliştirilmesinde çevik proje yönetimi yaklaşımının etki ettiği kritik başarı faktörlerinin belirlenmesidir. Elektronik test donanımlarının başarısının birçok faktöre bağlı olması ele alınan problemin çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri ile çözülebilmesine olanak sağlamıştır. Hem proje başarı faktörlerinin önem derecelerinin belirlenmesi hem de faktörlerin birbirlerini etkileme durumlarının ortaya konması için ÇKKV yöntemlerinden Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) ve bulanık Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (B-DEMATEL) yöntemleri birlikte kullanılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Çevik Proje Yönetimi, ÇKKV, DEMATEL, B-DEMATEL, Donanım Geliştirme, Kritik Başarı Faktörleri

ABSTRACT

İrem İMREN

DETERMINATION OF CRITICAL SUCCESS FACTORS IN ELECTRONIC TEST EQUIPMENT DEVELOPED USING THE AGILE PROJECT MANAGEMENT APPROACH THROUGH CLASSICAL AND FUZZY DEMATEL METHODS

Başkent University Institute of Science and Engineering

Department of Industrial Engineering

2025

R&D projects are predominantly managed using traditional project management approaches. However, with the recent prominence of agile project management methodologies, the impact of agile approaches on the management of R&D projects has become a topic of interest. Specifically, the defense sector's desire for rapid project deliverables aligns closely with the principles of agile project management. Despite this, the application of agile project management in the defense sector remains limited. While this approach is generally preferred for software projects, research into its positive effects on hardware development activities is ongoing. Therefore, it is crucial to identify the benefits of agile project management for the successful completion of projects focused on the development of electronic test equipment. The purpose of this study is to determine the critical success factors influenced by the agile project management approach in the development of electronic test equipment within a test and measurement company serving the defense sector. The success of electronic test equipment depends on various factors, which makes it possible to address the problem using multi-criteria decision-making (MCDM) methods. To identify both the significance levels of project success factors and the interactions between these factors, Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) and Fuzzy Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (F-DEMATEL) methods were employed.

KEYWORDS: Agile Project Management, MCDM, DEMATEL, F-DEMATEL, Hardware Development, Critical Success Factors

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLOLAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Çevik Proje Yönetimi ve Metodolojileri	3
2.2. Donanım Geliştirme Projelerinde Çevik Proje Yönetimi Uygulamaları ve Kritik Başarı Faktörleri	10
2.3. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	18
3. MATERYAL VE METOTLAR.....	22
3.1. DEMATEL Yöntemi	23
3.1.1. Adım 1: Kriterlerin Seçimi ve Veri Toplama	23
3.1.2. Adım 2: İlişki Matrisinin Hazırlanması.....	24
3.1.3. Adım 3: Normalizasyon.....	25
3.1.4. Adım 4: Toplam Etki Matrisinin Bulunması	25
3.1.5. Adım 5: Etki-İlişki Diyagramının Oluşturulması	26
3.1.6. Adım 6: Etki-İlişki Diyagramı Görselleştirilmesi	27
3.2. B-DEMATEL Yöntemi	28
3.2.1. Adım 1: Kriterlerin Seçimi ve Veri Toplama	30
3.2.2. Adım 2: İlişki Matrisinin Hazırlanması.....	31
3.2.3. Adım 3: Normalizasyon.....	31
3.2.4. Adım 4: Bulanık Toplam İlişki Matrisinin Hesaplanması	32
3.2.5. Adım 5: Durulaştırma	33
3.2.6. Adım 6: Etki-İlişki Diyagramı Oluşturulması	33

3.2.7. Adım 7: Etki-İlişki Diyagramı Görselleştirilmesi	34
4. UYGULAMA VE BULGULAR.....	35
4.1. DEMATEL Uygulaması.....	36
4.1.1. Adım 1: Kriterlerin Seçimi ve Veri Toplama	37
4.1.2. Adım 2: İlişki Matrisinin Hazırlanması.....	37
4.1.3. Adım 3: Normalizasyon	38
4.1.4. Adım 4: Toplam Etki Matrisinin Hesaplanması.....	39
4.1.5. Adım 5: Etki-İlişki Diyagramı Oluşturulması	40
4.1.6. Adım 6: Etki-İlişki Diyagramı Görselleştirilmesi	41
4.2. B-DEMATEL Uygulaması.....	43
4.2.1. Adım 1: Kriterlerin Seçimi ve Veri Toplama	43
4.2.2. Adım 2: İlişki Matrisinin Hazırlanması.....	43
4.2.3. Adım 3: Normalizasyon	45
4.2.4. Adım 4: Toplam İlişki-Bulanık Matrisinin Hesaplanması.....	46
4.2.5. Adım 5: Durulaştırma	46
4.2.6. Adım 6: Etki-İlişki Diyagramı Oluşturulması	47
4.2.7. Adım 7: Etki-İlişki Diyagramı Görselleştirilmesi	48
4.3. DEMATEL ve B-DEMATEL Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	50
5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	52
KAYNAKLAR.....	56

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Geleneksel ve Çevik Proje Yönetimi Kıyaslama Tablosu.....	5
Tablo 2.2 Çevik kavram tanımları.....	7
Tablo 2.3 Çevik Proje Yönetim Metodolojileri Pratikleri ve Kullanım Alanları.....	10
Tablo 2.4 Çevik proje yönetimi kritik başarı faktörleri literatür araştırması.....	16
Tablo 2.5 Literatürde belirtilen kritik başarı faktörleri.....	18
Tablo 3.1 İkili Karşılaştırma Ölçeği.....	23
Tablo 3.2 Uygulamada Kullanılacak İkili Karşılaştırma Ölçeği	24
Tablo 3.3 B-DEMATEL ölçeği, dilsel terimler ve üçgensel bulanık sayılar	30
Tablo 4.1 Nihai kritik başarı faktörleri.....	37
Tablo 4.2 Karar Verici Değerlendirme Puanları	38
Tablo 4.3 DEMATEL Doğrudan Etki Matrisi(Z).....	38
Tablo 4.4 DEMATEL Normalize edilmiş ilişki matrisi(X)	39
Tablo 4.5 DEMATEL Toplam etki matrisi(T).....	39
Tablo 4.6 DEMATEL Eşik değeri aşan değerler	40
Tablo 4.7 DEMATEL Önem, etkileşim, ağırlıklar ve sıralama tablosu.....	40
Tablo 4.8 Karar verici değerlendirme puanı üçgensel bulanık sayıları	44
Tablo 4.9 B-DEMATEL Bulanık başlangıç doğrudan ilişki matrisi (E)	44
Tablo 4.10 B-DEMATEL Normalleştirilmiş Doğrudan İlişki Bulanık Matrisi (F).....	45
Tablo 4.11 B-DEMATEL Toplam İlişki Bulanık Matrisi (T).....	46
Tablo 4.12 B-DEMATEL Durulaştırma Sonrası T-matrisi.....	47
Tablo 4.13 B-DEMATEL Önem, etkileşim, ağırlıklar ve sıralama tablosu.....	47
Tablo 4.14 DEMATEL ve B-DEMATEL Sonuçları Kıyaslama Tablosu	51

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Scrum işleyişi.....	8
Şekil 3.1 Üçgensel bulanık sayılar	29
Şekil 4.1 Firma ürün geliştirme adımları	36
Şekil 4.2 DEMATEL etki-ilişki diyagramı.....	41
Şekil 4.3 DEMATEL etki-ilişki haritası	42
Şekil 4.4 B-DEMATEL etki-ilişki diyagramı.....	48
Şekil 4.5 B-DEMATEL etki-ilişki haritası	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Evrensel küme U'nun bir alt kümesi
$\tilde{A}$	Bir üçgensel bulanık sayı
AHP	Analytic Hierarchy Process
BNP	Best Non-Fuzzy Performance
C	Sütun toplamaları vektörü
COA	Center of Area
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
D	Karar verici uzman sayısı
DEMATEL	Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory
DSDM	Dynamic Systems Development Method
$\tilde{E}$	Bulanık başlangıç doğrudan ilişki matrisi
F-DEMATEL	Fuzzy Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory
$\tilde{F}$	Bulanık normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisi
F_i	Sistemdeki i-inci faktör.
FDD	Feature-Driven Development
I	Birim matris
l_{ij}	Üçgensel bulanık sayının alt sınır bileşeni
m_{ij}	Üçgensel bulanık sayının orta değer bileşeni
n	Sistemdeki toplam faktör sayısı
R	Satır toplamaları vektörü
T	Toplam etki matrisi
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
U	Evrensel küme
$\mu_{\tilde{A}}(x)$	Bulanık kümenin üyelik fonksiyonu
u_{ij}	Üçgensel bulanık sayının üst sınır bileşeni
VIKOR	VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
WIP	Work in Progress
X	Normalleştirilmiş doğrudan etki matrisi
XP	Extreme Programming
Z	Doğrudan etki matrisi
γ	Üçgensel bulanık sayının en büyük üst sınır değeri

1. GİRİŞ

Savunma sektöründe yürütülen projelerin, yüksek kalite çıktısı ve zamanında teslimat gibi kritik unsurların sağlanabilmesi için etkin bir proje yönetimine ihtiyacı vardır. Bu sektördeki projeler genellikle geleneksel proje yönetimi yöntemleri ile yürütülmektedir. Ancak, son yıllarda hızla değişen teknoloji ve artan talepler doğrultusunda çevik (agile) proje yönetimi yaklaşımı gündeme gelmektedir. Çevik yaklaşımın, esnek, hızlı ve iteratif bir çalışma biçimi sunarak, belirsizliğin yüksek olduğu koşullarda, özellikle yazılım geliştirme projelerinde etkili sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak, bu metodolojinin donanım geliştirme projelerinde, özellikle savunma sektöründe ihtiyaç duyulan elektronik test donanımlarının geliştirilmesinde nasıl bir etki yarattığı, savunma ve test ölçüm sektöründe uygulanabilirliği hala sınırlı bir şekilde araştırılmaktadır.

Çevik proje yönetiminin savunma sektöründe nasıl etkili olabileceği konusunda daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, çalışmada, çevik proje yönetimi yaklaşımının savunma sektöründe, özellikle elektronik test donanımlarının geliştirilmesinde, kritik başarı faktörlerinin belirlenmesi ve bu faktörlerin önceliklendirilmesi amaçlanmıştır. Tez kapsamındaki kritik başarı faktörlerinin belirlenmesinde savunma sektörüne hizmet veren bir test ve ölçüm firmasında çalışan uzmanların görüşlerinden yararlanılmıştır. Bu projelerin başarıyla sonuçlanmasında, çevik proje yönetimi kritik başarı faktörlerinin önceliklendirilmesinde ve birbirleri ile olan ilişkilerinin belirlenmesinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin kullanılması etkili olacaktır. Bu çalışmada, kritik başarı faktörleri Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) ve Bulanık Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (B-DEMATEL) yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Bu yöntem, projede yer alan kritik başarı faktörlerinin önem derecelerini belirlemenin yanı sıra, bu faktörler arasındaki ilişkileri ortaya koymaya da olanak sağlamaktadır.

Çalışma, çevik proje yönetiminin savunma sektöründeki elektronik test donanımlarında uygulanabilirliğine dair önemli bulgular sunmayı ve bu sektördeki donanım geliştirme projelerinde başarıya ulaşmanın yol haritasını çizmeyi amaçlamıştır. Ayrıca, bu araştırmanın, çevik yönetim yaklaşımlarının donanım projelerinde nasıl entegre edilebileceği ve bu entegrasyonun projelerin genel başarısına olan etkilerini değerlendirmek

açısından önemli bir boşluğu dolduracaktır. Sonuç olarak, bu çalışma hem akademik literatüre katkı sağlamayı hem de pratikte savunma sektöründeki test donanımı geliştirme projelerinin yönetiminde etkili stratejiler geliştirmeye yönelik yol gösterici bir rehber sunmayı hedeflemektedir.

Çalışmanın bundan sonraki bölümleri şu şekilde planlanmıştır: İkinci bölümde literatür taraması kapsamında, çevik proje yönetimi ve metodolojileri ele alınmıştır. Ayrıca, donanım geliştirme süreçlerinde çevik proje yönetimi uygulamaları ve bu süreçlerdeki kritik başarı faktörleri incelenmiştir. Bunun yanı sıra, ÇKKV yöntemlerine genel bir bakış sunulmuştur. Üçüncü bölümde, çalışmada önerilen yöntemler detaylandırılmıştır. DEMATEL ve B-DEMATEL yöntemleri için kullanılan adımlar ayrıntılı olarak açıklanmış; her bir adımın teorik altyapısı ve uygulanma süreci tanımlanmıştır. Dördüncü bölümde, uygulama ve bulgular sunulmaktadır. DEMATEL ve B-DEMATEL yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen analizlerin sonuçları, her bir adım için detaylı açıklamalarla birlikte verilmiştir. Son bölümde ise çalışmanın değerlendirilmesi ve elde edilen sonuç bölümü yer almaktadır. Bulgular ışığında, önerilen yöntemlerin etkinliği ve literatüre katkısı tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, donanım geliştirmede çevik proje yönetimine etki eden kritik başarı faktörlerine ilişkin literatür araştırması paylaşılmıştır. Çalışmanın amacı, elektronik test donanımlarının geliştirilmesinde çevik proje yönetimi yaklaşımının etki ettiği kritik başarı faktörlerinin belirlenmesidir. Elektronik test donanımlarının başarısının birçok faktöre bağlı olması ele alınan problemin ÇKKV yöntemleri ile çözülebilmesine olanak sağlamaktadır. Hem proje başarı faktörlerinin önem dereceleri belirlemek, hem de faktörlerinin birbirlerini etkileme durumlarını ortaya koymak için ÇKKV yöntemlerinden DEMATEL ve B-DEMATEL yöntemlerinin kullanılması önerilmiştir.

Literatürde çevik proje yönetiminin birçok alanda uygulanması ve özel çözüm önerileri geliştirilmesi gibi çalışmalara rastlanmış fakat elektronik test donanımlarının geliştirilmesine etki eden çevik proje yönetimi kritik başarı faktörlerinin neler olduğuna yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Araştırmaya katkı sağlayan çalışmalar üç farklı başlık altında incelenmiştir. İlk kısımda, çevik proje yönetimi kavramları ve metodolojilerine yönelik bilgiler yer almaktadır. İkinci kısımda çevik proje yönetimi yaklaşımlarıyla geliştirilen ürünlere ilişkin yapılan çalışmalar ve çalışmalara etki eden başarı faktörleri araştırılmıştır. Son kısımda ise ÇKKV yöntemleri incelenmiş ve kritik başarı faktörleri belirlemede bu yöntemlerin uygulamalarından bahsedilmiştir.

2.1. Çevik Proje Yönetimi ve Metodolojileri

Proje, geçici olarak yapılan ve benzersiz bir ürün, hizmet veya sonuç yaratmayı amaçlayan bir girişimdir, bu girişimler genellikle başlangıç ve bitiş noktalarıyla sınırlıdır ve tek başlarına, program veya portföyün bir parçası olarak yer alabilirler. Proje yönetimi ise, proje gereksinimlerini karşılamak için bilgi, beceri, araç ve tekniklerin proje faaliyetlerine uygulanmasıdır [1].

Literatürde üç tip proje yönetim yaklaşımına rastlanmaktadır: Geleneksel (Predictive), Çevik (Adaptive) ve Hibrid (Hybrid) [2]. Geleneksel proje yönetimi metodolojisi, -Şelale

(Waterfall) olarak da bilinir- projelerin bir dizi aşamada sırasıyla ve doğrusal bir şekilde tamamlandığı geleneksel bir proje yönetimi modelidir. Proje başında oluşturulan proje planına sadık kalarak planlanan zaman, bütçe ve kapsam içinde projeyi tamamlamak üzere; başlatma, planlama, yürütme, izleme ve kontrol, kapanış fazlarını takip eden yaklaşımdır [3]. 2000’li yıllara dek yaygın olarak geleneksel proje yönetimi kullanılmasına rağmen projelerin karmaşıklık seviyesinin ve proje dinamizminin gün geçtikçe artması gibi sebeplerden zamanla bu yöntemin kullanılmasında birtakım dezavantajlar meydana gelmiştir. Belirsizliği yüksek projeler gereksinimleri önceden belirlemeyi amaçlayan ve değişiklikleri bir değişiklik talebi süreciyle kontrol etmeyi hedefleyen geleneksel proje yönetim yaklaşımı için sorun teşkil etmiştir [4].

Çevik (Agile) proje yönetiminin ilk uygulamaları 1980’li yıllarda otomotiv sektöründe görülmüştür. Proje yönetiminde esneklik ve hızlı uyum sağlamak için geliştirilmiş bir metodolojidir [5]. Bu yaklaşım, sürekli müşteri geri bildirimi doğrultusunda kısa döngülerde çıktı üretmek ve artırımı geliştirme üzerine odaklanır [6]. Hibrid metodoloji ise, Çevik ve Şelale proje yönetimi yaklaşımlarının bir projede birlikte uygulanmasıdır.

Tablo 2.1’de geleneksel proje yönetimi ile çevik proje yönetimi yaklaşımına ilişkin kıyaslamalar verilmiştir [2], [7], [8].

Tablo 2.1 Geleneksel ve Çevik Proje Yönetimi Kıyaslama Tablosu

Kriter	Geleneksel Proje Yönetimi	Çevik Proje Yönetimi
Yaklaşım	Aşamaların sıralı ve ardışık olduğu kademeli bir süreç izlenir.	Döngüsel, yinelemeli bir yaklaşım kullanılır.
Proje Planı	Başlangıçta kapsamlı ve sabit bir plan yapılır.	Kısa süreli planlar yapılır, yapılan planlar sürekli değişimlere ve geri bildirimlere açıktır.
Esneklik	Değişiklikler minimumda tutulur, proje planı başlangıçta belirlenen yol haritasına sadık kalır.	Değişikliklere açık ve değişiklikler doğrultusunda hızlı uyarlanabilir.
Teslimat	Proje sonunda bir defada teslimat yapılır.	Sık sık ara teslimatlar yapılır ve her bir ara teslimat çalışan bir ürün sunar.
Proje Kontrolü	Kapsam, maliyet ve zaman üçgenseli ile sıkı şekilde kontrol edilir.	Kontrol, müşteri geri bildirimi ve ekip ile sürekli iletişim aracılığıyla sağlanır.
Müşteri İlişkisi	Müşteri sadece proje başında ve sonunda yoğun şekilde dahil olur.	Müşteri sürecin her aşamasına dahil edilir, geri bildirim sürekli alınır.
Ekip Yapısı	Roller ve sorumluluklar net şekilde tanımlanır; hiyerarşik yapı baskındır.	Ekip üyeleri daha fazla sorumluluk ve özerklik sahibidir, iş birliği ve takım ruhu ön plandadır.
Proje Süresi	Genellikle uzun vadeli projeler için kullanılır.	Kısa vadeli sprintlerle ilerlenir, uzun projeler küçük parçalara bölünür.
Risk Yönetimi	Riskler genellikle projenin erken aşamalarında belirlenir ve değişikliklerden kaçınılır.	Riskler iterasyonlar boyunca sürekli değerlendirilir ve yönetilir.
Başarı Ölçütü	Başarı, kapsamın, bütçenin ve zamanın uyumuna göre ölçülür.	Başarı, müşteri memnuniyeti, ürün kalitesi ve işlevsellik üzerinden değerlendirilir.
Değişiklik Yönetimi	Değişiklikler zordur, değişiklik yönetimi formalize edilmiştir.	Değişiklikler teşvik edilir ve hızlı şekilde entegre edilir.
Belgeleme	Kapsamlı bir belge seti oluşturulur ve belgeler proje boyunca güncel tutulur.	Yeterli düzeyde belgelemeye önem verilir; fazlalıktan kaçınılır.

Çevik Proje Yönetimi kavramı ilk defa 2001 yılında bir grup yazılımcı tarafından "Çevik Yazılım Geliştirme Manifestosu" nun yayınlanmasıyla resmîyet kazanmıştır:

"Bizler yazılım geliştirmenin daha iyi yollarını arıyor ve diğerlerine bu konuda katkı sunmaya çalışıyoruz.

Bu çalışmada alt kavramlara değeri veriyoruz:

*Süreçler ve araçlar yerine **bireyler ve etkileşimlere,***

*Kapsamlı belgelendirme yerine **çalışan yazılıma,***

*Sözleşme müzakereleri yerine **müşteri iş birliğine,***

*Planı takip etmek yerine **değişime** yanıt vermeye.*

Sol tarafta yazılan kavramların değerini bilmekle beraber sağ tarafta yazılan kavramları daha değerli buluyoruz [6].”

Çevik Manifesto’da üst değerlerden yola çıkılarak aşağıdaki 12 ilke açıklanmıştır:

1. *En yüksek önceliğimiz, yazılımın erken ve sürekli teslimi aracılığıyla müşteriye memnun etmektir.*
2. *Geliştirme faaliyetinin son safhası dahi olsa değişen gereksinimleri kabul ederiz. Çevik süreçler müşterinin rekabet avantajını yakalamak için değişimi kullanır.*
3. *Çalışan yazılımı sık sık, kısa zaman dilimlerinde, düzenli olarak teslim ederiz.*
4. *İş süreçleri sahipleri ile geliştiriciler proje boyunca birlikte çalışmalıdırlar.*
5. *Projeleri motive bireyler etrafında inşa ederiz. İşlerini halletmeleri için gereken ortamı ve desteği sağlarız ve yaptıkları işe güveniriz.*
6. *Bir geliştirme ekibi içinde iletişim kurmanın en etkili ve verimli yolu yüz yüze iletişimdir.*
7. *Çalışan yazılım, ilerlemenin temel ölçüsüdür.*
8. *Çevik süreçler sürdürülebilir gelişimi teşvik eder. Sponsorlar, geliştiriciler ve kullanıcılar sabit bir tempoyu sürdürebilmelidir.*
9. *Teknik mükemmelliğe ve iyi tasarıma devamlı sağlanan dikkat, çevikliği artırır.*
10. *Sadelik, yapılmamış iş miktarının artırılması sanatı, zorunluluktur.*
11. *En iyi mimariler, gereksinimler ve tasarımlar, kendini organize eden takımlardan ortaya çıkar.*
12. *Düzenli aralıklarla, ekip nasıl daha etkili olabileceğini düşünür, davranışlarını ona göre ayarlar [6].*

Çevik proje yönetimi yaklaşımı; 4 değer, 12 ilke ve birçok pratikten oluşmaktadır. Çevik proje yönetiminde sık kullanılan kavramlar ve tanımları Tablo 2.2’de verilmektedir [9].

Tablo 2.2 Çevik kavram tanımları

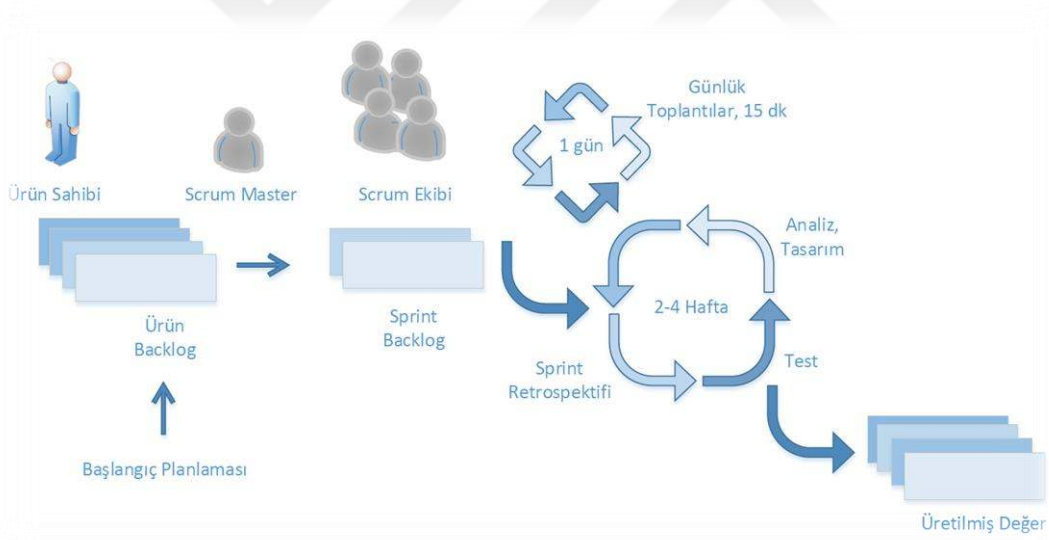
Kavram	Tanım
Sprint	Projelerin kısa zaman dilimlerine bölündüğü, her biri sonunda çalışabilir ürün sunulan döngülerdir.
Scrum	Çevik projelerde kullanılan esnek ve iş birliğine dayalı bir ürün geliştirme pratiğidir. Scrum, ekiplerin karmaşık projelerde daha verimli çalışmasını ve yüksek kaliteli ürünler sunmasını sağlamayı amaçlar.
Scrum master	Ekibin scrum süreçlerine uygun şekilde çalışmasını sağlayan, engelleri ortadan kaldıran ve ekibin verimli çalışmasına destek olan kişi.
Scrum ekibi (Scrum team)	Ürün sahibi, scrum master ve geliştirme ekibinden oluşur.
Ürün backlogu (Product backlog)	Projede yapılması gereken işlerin ve geliştirmelerin önceliklendirildiği listedir.
Kanban	İş akışını görselleştiren bir yöntemdir, işlerin yapılacak, yapılıyor, tamamlandı gibi sütunlara ayrılarak gösteriminin sağlanmasıdır.
Günlük toplantı (Daily Stand-up)	Ekibin her gün 10-15 dakikalık kısa toplantı yaparak bir önceki gün ne yaptıklarını ve o gün ne yapacaklarını tartıştığı görüşmelerdir.
Ürün Sahibi (Product Owner)	Ürün gereksinimlerini belirleyen ve ekibe ileten kişidir, ürünün işleyişinden sorumludur.
Kullanıcı hikayesi (User Story)	Kullanıcının ürünle etkileşim biçimini ve beklentilerini anlatan kısa, kullanıcı odaklı açıklamalardır.
Retrospektif (Retrospective)	Sprint sonunda ekibin çalışma işleyişinin gözden geçirildiği ve iyileştirme önerilerinin sunulduğu toplantılardır.
Artırım (Increment)	Her sprint sonunda üretilen çalışır durumda olan yazılım parçasıdır, önceki artırımların üzerine eklenir.
Takım Anayasası (Team Charter)	Bir takımın hedeflerini, değerlerini, rollerini, çalışma prensiplerini ve iletişim beklentilerini netleştiren bir belgedir. Takımın ortak bir vizyonla uyum içinde çalışmasını sağlar, çatışmaların yapıcı şekilde çözülmesine rehberlik eder. Bu belge, şeffaflık, iş birliği ve sürekli iyileştirme odaklı bir takım dinamiği oluşturmayı hedefler.

Literatürde en yaygın kullanılan çevik metotları arasında Scrum, Kanban, Uç Programlama (Extreme Programming- XP), Yalın Geliştirme (Lean Development), Özellik Odaklı Geliştirme (Feature-Driven Development- FDD), Kristal ve Dinamik Sistem Geliştirme Yöntemi (Dynamic Systems Development Method- DSDM) yer almaktadır [10].

Çevik projelerde en yaygın olarak kullanılan scrum çerçevesi işleyişi şöyledir:

Ürün sahibi (Product Owner), müşteri taleplerini ve iş gereksinimlerini toplar, ürün birikmiş işlerini (product backlog) yönetir ve önceliklendirir. Takım, belirli bir süre (genellikle 2-4 hafta) için gerçekleştireceği işleri planladığı sprintler düzenler. Her gün

yapılan kısa (daily stand-up) toplantılarında takım üyeleri (scrum team), ilerlemelerini, karşılaştıkları engelleri ve o gün yapacakları işleri paylaşır, bu da iletişimi ve takım içi şeffaflığı artırır. Sprint süresince, takım belirlenen işleri tamamlamak için iteratif ve artırımı bir şekilde çalışır. Sprint sonunda, tamamlanan işler ürün sahibine ve diğer paydaşlara sunulur, geri bildirim alınır ve bir sonraki sprint için planlama yapılır. Ayrıca, sprint sonunda yapılan retrospektif toplantılarda takım, kendi süreçlerini değerlendirir ve iyileştirme alanlarını belirler. Bu süreç, takımın sürekli olarak daha iyi çalışmasına yardımcı olur. Her sprint sonunda, çalışır durumda bir üretilmiş değer (increment) teslim edilir ve müşteri tarafından değerlendirilerek geri bildirim verilir. Çevik yöntemlerde değişime hızlı bir şekilde adapte olunması esastır, bu nedenle yeni gereksinimler veya müşteri talepleri doğrultusunda planlarda ve önceliklerde değişiklik yapılabilir. Bu şekilde çevik proje yönetimi, takımın iş birliği yapmasını, müşteri geri bildirimlerini dikkate alarak sürekli iyileştirmeler yapmasını ve hızlı teslimatlar gerçekleştirmesini sağlar. İşleyişe ilişkin görsel Şekil 2.1’de sunulmaktadır [11].



Şekil 2.1 Scrum işleyişi

Kanban, Toyota Üretim Sistemi'nin bir alt sistemidir ve envanter seviyelerini, bileşenlerin üretimini ve tedarikini, bazı durumlarda ise hammaddeyi kontrol etmek amacıyla oluşturulmuştur. Kanban'da, parçaların, öğelerin veya hammaddenin teslimatını ve/veya üretimini yönetmek için kartlar kullanılır. İş akışlarının görselleştirilmesi ve sürekli iyileştirme üzerine odaklanır. İşler, genellikle "Yapılacak", "Yapılıyor" ve "Tamamlandı" sütunlarıyla takip edilir. Kanban, Work In Process (WIP) limiti ile aynı anda üzerinde çalışılabilecek işlerin sayısını sınırlandırarak darboğazları önler ve akış yönetimini optimize eder [12].

Extreme Programming (XP), yazılım geliştirme sürecinde kalite ve esnekliği artırmayı hedefleyen bir çevik yazılım geliştirme çerçevesidir. Küçük ekiplerde uygulanır ve takım odaklıdır; yani, ürün teslimi ekipteki tüm geliştiricilerin ortak sorumluluğudur. Test odaklı geliştirme, sürekli entegrasyon, basit tasarım ve sürdürülebilir tempo gibi pratikler kullanılır. Bu yöntemler, kod kalitesini artırır, hataları erken tespit eder ve uzun vadede sürdürülebilir bir hızda çalışmayı sağlar [13].

Lean metodolojisi, israfı en aza indirme ve sürekli iyileştirme üzerine odaklanır. Değerin belirlenmesi, değer akışı haritalama, akış yaratma, çekme sistemi ve sürekli iyileştirme (Kaizen) gibi prensipler içerir. Lean, müşteri için değerli olan özelliklerin tanımlanması ve süreçlerin optimize edilmesi yoluyla verimliliği artırır [14].

Feature-Driven Development (FDD), özellikle büyük projelerde etkili bir şekilde çalışmak için tasarlanmıştır. FDD, belirli bir işlevsel özellik seti üzerine odaklanarak yazılım geliştirmeyi yönetir. Her bir özellik, belirli bir işlevi yerine getiren, küçük ve yönetilebilir bir yazılım parçasıdır. FDD, her bir özelliği 2-4 hafta içinde tamamlayarak sürekli olarak çalışabilir, test edilebilir ve teslim edilebilir yazılım sonuçları üretir [15].

Crystal, çevik yazılım geliştirme metodolojilerinden biri olup, farklı yazılım projelerinin ihtiyaçlarına göre uyarlanabilir bir modeldir. Crystal, projenin büyüklüğü, karmaşıklığı ve kritikliği gibi faktörlere göre farklı renklerdeki alt metodolojilerle tanımlanır. Crystal metodolojisi, ekip üyeleri arasındaki sık ve etkili iletişimin yazılım projelerinin başarısı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu savunur. Crystal, yazılım geliştirme sürecinde esneklik ve sürekli iyileştirmeyi hedefler [16].

DSDM (Dynamic Systems Development Method), çevik yazılım geliştirme süreçlerinden biri olarak tanımlanmıştır. Hızlı geliştirme, iş birliği ve sürekli teslimat üzerine kuruludur. Özellikle proje teslimatında zaman, maliyet ve kalite üçgeninin dengelenmesine büyük önem verir. Bu yüzden, yazılım geliştirme süreci boyunca sürekli olarak müşteriye çalışan yazılım teslim edilmesi sağlanır. DSDM ayrıca, "altın kural" olarak bilinen bir prensibe sahiptir: "Bütün işlevsel gereksinimler zamanında ve bütçeye uygun bir şekilde tamamlanmalı, ancak her şeyin mükemmel olması beklenmemelidir". Bu, yazılımın istenilen özelliklere sahip olması için minimum gereksinimleri karşılamak amacıyla yapılan bir yaklaşımdır [17].

Belirtilen metotlara özgü pratikler ve metotların kullanımının tercih edildiği alanlar

Tablo 2.3’de derlenmiştir.

Tablo 2.3 Çevik Proje Yönetim Metodolojileri Pratikleri ve Kullanım Alanları

Yöntem	Temel Pratikler	Kullanım Alanı
Scrum	Sprintler, Daily Stand-ups, Product Backlog, Sprint Planlama, Sprint Retrospektif, artırılmış teslimat.	Yazılım ve ürün geliştirme, yüksek belirsizlik ve değişim.
Kanban	Kanban tahtası, WIP limitleri, Görsel yönetim, Sürekli iyileştirme (Kaizen), Akış yönetimi.	Üretim, hizmet yönetimi, yazılım geliştirme.
XP	Çift programlama, Test-Driven Development (TDD), Sürekli entegrasyon, Kısa iterasyonlar, Müşteri geri bildirimi.	Sık değişiklik, yüksek müşteri katılımı gerektiren projeler.
Lean	Değer akış haritalama, israfın ortadan kaldırılması, Kaizen, Pull sistemi, Müşteri odaklılık.	Üretim, hizmetler, yazılım geliştirme
FDD	Özellik listeleri, özellik bazlı planlama ve geliştirme, Sürekli teslimat, müşteri geri bildirimi.	Büyük, karmaşık projeler, özellik bazlı geliştirme.
Crystal	Yüz yüze iletişim, projeye özgü metodolojik adaptasyon, sürekli teslimat, kısa iterasyonlar	Küçük-orta ölçekli projeler, esnek yaklaşımlar.
DSDM	Zaman, bütçe, kalite dengesi, iteratif geliştirme, müşteri iş birliği, sürekli teslimat.	Zaman kısıtlamaları, yüksek işbirliği gerektiren projeler.

2.2. Donanım Geliştirme Projelerinde Çevik Proje Yönetimi Uygulamaları ve Kritik Başarı Faktörleri

Scrum, Kanban, XP, Lean, FDD, Crystal Method ve DSDM gibi çevik metodolojileri, özellikle yazılım projelerinde başarılı bir şekilde uygulanmak üzere tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Bu yöntemler, yazılımın doğası gereği esnek, iteratif ve sürekli geri bildirim gerektiren özellikleri ile uyumludur. Ancak, donanım geliştirme projeleri genellikle daha katı, sabit ve önceden tanımlanmış gereksinimler ve uzun vadeli planlama gerektirdiği için belirtilen çevik yöntemlerin doğrudan uygulamaları sınırlıdır. Donanım projelerinde, yazılımın aksine, değişiklikler ve yenilikler genellikle daha pahalı ve zaman alıcıdır, bu da çevik yöntemlerin uygulamasını daha zor hale getirebilir.

Dolayısıyla, bu çevik metodolojilerin çoğu yazılım geliştirme süreçlerinde yaygınken, donanım projelerinde yaygın bir şekilde kullanılmamaktadır.

Ürün geliştirme süreçlerinde çevik proje yönetiminin uygulanmasına yönelik araştırma bulguları aşağıda paylaşılmaktadır:

Romeral et al., karmaşık donanım bazlı çözümlerin üretilmesinde ürün geliştirme sürecinin mevcut trendlerini araştırmış, ürün kalitesini artırmak üzere çevik pratiklerin kullanımından söz etmiştir [18].

Peterson et al., donanım geliştirme süreçlerinde scrum uygulamasının karşılaştığı zorlukları, literatürde bulunan çevik prensiplerle kesişimlerini inceleyerek ele almıştır. Yapılan karşılaştırmalı analizler sonucunda, Scrum'ın zorluklarında esneklik, bölünebilirlik, ölçeklenebilirlik, dayanıklılık ve ekip uyumluluğu olarak beş temel tema tespit edilmiştir [19].

Mosher et al., donanım ve yazılım geliştirme süreçlerindeki farkları ve benzerlikleri ortaya koymak amacıyla çevik perspektiften bir bakış açısı sunmuştur. Donanım geliştirme sürecinin genellikle daha uzun ve karmaşık olup, tasarım, prototip oluşturma ve test aşamalarını içerirken, üretim için çizim oluşturma, montaj ve özel ekipman kullanımı gerektirdiğini, üretim sürecinin, yazılıma kıyasla günlerden aylara kadar sürebildiğini vurgulamıştır. Donanım projelerinde prototiplerin maliyetlerinin yüksek olduğunu, donanımda projede yapılan değişiklikler daha zor ve pahalı hale gelirken, yazılımda iyi bir mimari ile değişikliklerin daha iyi yönetilebildiğini paylaşmıştır. Bu kıyaslamalar ile birlikte çevik yaklaşımın uzay donanımı geliştirme için etkili bir yaklaşım olup olmadığını araştırmıştır. Geliştirilen yaklaşım, MMA Design ve Spaceflight Industries gibi uzay topluluğundaki çeşitli müşterilerle yapılan geliştirme projeleri ile doğrulanmıştır ve diğer büyük geleneksel havacılık şirketleri tarafından da kullanılmıştır. Synchroness'in Çevik geliştirme yaklaşımının, yörüngede görev başarısını artırmak ve donanım geliştirme süresini azaltmak için bir seçenek olarak doğrulamaya yardımcı olduğu görülmüştür [20].

Weichbroth, yaptığı vaka çalışmasında donanım geliştirmede çevik tekniklerin

uygulanmasının iş dünyası üzerindeki etkilerini değerlendirmiş ve bu süreçte ortaya çıkan faydalar ile engelleri ayrıntılı bir şekilde ortaya koymuştur. Çalışma, çevik lı yöntemlerin donanım geliştirme projelerinde nasıl etkili bir şekilde uygulanabileceğine dair önemli bilgiler sunmaktadır. Çalışmada çevik proje yönetiminin donanım geliştirme projelerine etkili risk azaltma stratejisinin başarılması, uyum sağlama ve yenilik kapasitesi, etkili iletişim ve iş birliği alanlarında katkı sağladığı belirtilmiştir [21].

Garzaniti et al., çalışmasında hibrit çevik ürün geliştirme süreçlerinin uzay donanımı projelerindeki performansını incelemiştir. Bir ürünün piyasaya sürülebilecek en basit versiyonuna -Minimum Viable Product (MVP)- yönelik stratejilerin zaman ve maliyet üzerindeki etkilerini analiz etmek için bir modelleme çerçevesi sunmuştur. Simülasyonların, ürün geliştirme sürecinin etkinliğini artırmaya yönelik karar verme sürecini desteklediği saptanmıştır [22].

Reynisdóttir, yaptığı vaka analizi çalışmasında Scrum'ın mekanik geliştirme ekipleri tarafından donanım ortamında kullanılabileceği, ancak uyarlamaların yapılmasının gerekebileceğini gözlemlemiştir [23].

Ajay Guru Dev et al., üretimde çevikliğin sağlanabilmesi için yönetim doğası, üretim metodolojisi, çalışan katılımı ve müşteri yanıtı adaptasyonu gibi faktörlere odaklanılması gerektiğini ortaya koymuştur [24].

Montero et al., donanım geliştirmede üretimi yapılacak parçaların çevik üretimi için bir model geliştirmiştir ve bu sayede üretilen malzemelerin kalitesinin artırılması ve teslim süresinin azaltılmasını hedeflemiştir [25].

Atzberger ve Paetzold yayınında, çevik manifestonun başlangıçta donanım gereksinimlerine uygun olarak tasarlanmadığını belirtmiştir. Şirketlerin kısıtlarından kaynaklanan "ölçeklendirme" ve "ekip dağılımı" gibi zorlukların, çevik manifestonun küçük ve bir arada çalışan ekipler önerisine aykırı olduğunu gözlemlemiştir. Bu durum göz önüne alındığında, donanım geliştirme alanında kullanılan yöntemlerin uyumlanması ve donanıma özgü ilkeler ve uygulamalar geliştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır [26].

Iamratanakul et al., çalışmasında Tayland elektronik endüstrisinde teknoloji ürün

geliştirmede en iyi uygulamalar için uzmanlarla yapılan röportajlar ve vaka analizleri ile yapısal modelleme kullanarak stratejik uyumun en önemli kritik başarı faktörü olduğunu ortaya koymuştur [27].

Schuh et al., çevik yönetim ile yeni donanım ürünü geliştirme bağlamında satın alma faaliyetlerinin gereksinimlerinin ve yapılandırma seçeneklerinin neler olması gerektiğini araştırmış, süreç, ekip ve kullanılan teknoloji bakımından farklı konfigürasyonlar sunmuştur [28].

Berg et al., start-up firmalarda ürün geliştirirken çevikliğin ve yüksek kalitenin nasıl sağlanabileceğine yönelik yaptığı çalışmada özelleştirilmiş iteratif pratiklerin, takım yetkinliğinin ve işbirlikçi karar verme teknikleri ile çevikliğin sağlanabileceğini paylaşmıştır [29].

Peterson et al., makalesinde donanım geliştirmede karşılaşılan zorlukların, literatürdeki çevik ilkelerle nasıl kesiştiğini incelemiş, donanım ürün mühendislerinin Scrum'ı uygulamalarına yardımcı olacak kılavuzların geliştirilmesi gerektiğini paylaşmıştır [30].

Dikert et al., çevik yöntemlerin uygulanmasının zorluğunun değişime karşı uygulanan direnç olduğunu, başarı faktörünün ise çevik yaklaşımın seçilmesi ve özelleştirilmesi, yönetim desteği, zihin yapısı ve uyum, eğitim ve koçluk olduğunu savunmuştur [31].

Böhmer et al., scrum'un donanım geliştirmede oldukça etkili olabileceği sonucuna varmış, ancak özellikle prototip üretimi, bileşen temini ve test etme gibi fiziksel ürün tasarımına özgü kısıtlamalara uyması için belirli uyarlamalar gerektirdiğini vurgulamıştır [32].

Modranský et al., Çek Cumhuriyeti'nde yer alan küçük ve orta ölçekli firmalarda donanım geliştirmede lean ve çevik proje yönetimi uygulamalarını araştırmış, ekiplerin aynı lokasyonda yer alması, yönetim desteği, ekip yetkinliği ve destekleyici bir organizasyon kültürünün anahtar faktörler olduğunu saptamıştır [33].

Noteboom et al., literatür araştırması sonucunda çevik proje yönetimi kritik başarı faktörlerinin; doğru ürün tanımının yapılması, ürün kabulü için net bir kriter sağlanması ve sprint tahmini doğruluğu olduğu sonuçlarına ulaşmıştır [34].

Chow ve Cao, çevik yazılım geliştirme projelerinin kritik başarı faktörlerini, 25 ülkeden 109 çevik projeden veri toplanarak hazırlanan bir anket üzerinden yapmıştır. Araştırmada yapılan çoklu regresyon analizleri sonucunda; teslimat stratejisi, çevik yazılım mühendisliği teknikleri, ve takım yetenekleri kritik başarı faktörlerini ortaya koymuştur [35].

Heper, çalışmasında proje başarısına etki eden faktörleri; yönetim desteği, işletme yapısı, proje ekibi motivasyonu, çalışan yetkinlikleri, bilgi sistem ve teknolojileri ve proje özellikleri olarak tespit etmiştir. Bu faktörlerin proje başarısıyla ilişkileri korelasyon ve regresyon analizleri ile değerlendirilmiş ve yapısal eşitlik modeli kullanılarak etkileri doğrulanmıştır. Sonuçlar, belirlenen tüm faktörlerle algılanan proje başarısı arasında pozitif yönde bir ilişki olduğunu ve özellikle yönetim ve iklim ile proje özellikleri faktörlerinin proje başarısı üzerinde anlamlı pozitif etkileri olduğunu göstermiştir [36].

Alan, çalışmasında özellikle scrum çerçevesinde çevik proje yönetiminin tüm faydalarını elde etmenin ardındaki faktörleri ortaya çıkarmayı amaçlamıştır. Bunun için yaptığı vaka çalışmasında; çapraz fonksiyonel ve kendi kendini yöneten scrum ekip üyelerine sahip olmak, paydaşların proje aşamalarına katılımı, scrum etkinlikleri aracılığıyla artırılmış şeffaflık içinde düzenli aralıklarla denetim ve adaptasyon yapmak ve scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürüne sahip olmak faktörlerini edinmiştir [37].

Saghazadeh, tezinde, çevik yazılım geliştirmeye geçişte değişim yönetiminin kritik başarı faktörlerini incelemiştir [38].

Virmani et al., leagile (yalın-çevik) üretimin başarısını etkileyen kritik faktörlerini neden-sonuç ilişkisi çerçevesinde değerlendirmiştir. Analiz sonucunda, iş birliğine dayalı ilişkiler, stratejik yönetim, müşteri ve pazar duyarlılığı, insan kaynakları yönetimi, esnek üretim sistemi, bilgi yönetimi, fonların mevcudiyeti ve kıyaslama gibi faktörlerin neden grubunda yer aldığı tespit edilmiştir. Yönetimin politika uygulamasına desteği, eğitim ve

geliştirme programları, tasarım ve mühendislik, sanal işletmeler, ileri üretim teknolojilerinin kullanımı, tedarik zinciri yönetimi ve hızlı yeniden yapılandırma gibi faktörler ise sonuç grubunda sınıflandırılmıştır [39].

Fekri et al., çalışmasında İran firmalarında yapılan çevik ürün geliştirme süreçlerindeki neden ve sonuç faktörlerinin belirlenmesini B-DEMATEL yöntemi kullanarak gerçekleştirmiştir. Elde ettiği 6 faktörden bilgiye dayalı ve sanal entegre sürecin en etkili faktör olduğunu belirlemiştir [40].

Bathrinath et al., metal işleme endüstrisi için çevik üretimi uygularken dikkate alınması gereken en etkili kriterleri DEMATEL yöntemi ile belirlemek üzere çalışmıştır. Analiz sonuçlarına göre, müşteri memnuniyeti, metal işleme endüstrisinde en etkili kriter olarak öne çıkmıştır [41].

Tablo 2.4 ve Tablo 2.5'te, kritik başarı faktörlerinin literatürde nasıl tanımlandığı ve hangi faktörlerin ne sıklıkla anıldığı incelenmiştir. Farklı araştırmacıların çalışmaları arasında, aynı veya benzer kavramlar farklı isimlerle ifade edilebilmektedir. Bu durum, literatürdeki heterojenliğin bir yansımasıdır ve analiz sürecinde dikkate alınmıştır. Bu çeşitliliği göz önünde bulundurarak, benzer anlam taşıyan faktörler arasındaki paralellikleri ortaya koymak amacıyla anlamdaş terimler birleştirilmiş ve aynı ya da benzer faktörler birleştirilerek bir ortak kavramsal çerçeve oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, literatürdeki kavramların dilsel çeşitliliğini dikkate alırken, analizdeki bütünlüğü sağlamak amacıyla tercih edilmiştir. Faktörlerin birbirine yakın anlamlar taşıyan terimlerle ifade edilmesi, araştırmanın amacına hizmet eden bir metodolojik adımdır. Bununla birlikte, her bir faktörün ve kavramın literatürdeki farklı kullanımlarını yansıtabilecek şekilde birleştirilmesi, bulguların daha genel geçer bir çerçevede değerlendirilmesini sağlamıştır.

Tablo 2.4 Çevik proje yönetimi kritik başarı faktörleri literatür araştırması

Sıra	Yazar	Alan-Sektör	Yöntem	Başarı faktörleri
1	Heper, 2023, [36]	-	regresyon analizi	Yönetim desteği ve projenin uygunluğu
2	Weichbroth, 2022, [21]	-	vaka çalışması	Yönetim desteği
3	Alan, 2021, [37]	Telekom-ünikasyon	kalitatif araştırma yöntemleri kapalı mülakat soruları	Değişime adaptasyon ve güçlü iletişim Kendi kendini yöneten scrum ekibi, müşteri ile güçlü iş birliği, düzenli aralıklarla ürün testi ve scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü müşteri ile güçlü işbirliği düzenli aralıklarla ürün testi Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü
4	Garzaniti et al., 2019, [22]	Havacılık ve uzay	vaka çalışması sistematiik inceleme	Uygun çevik pratiği seçimi
5	Mosher et al., 2018, [20]	Havacılık ve uzay	-	Uygun çevik pratiği seçimi
6	Chow ve Cao, 2008, [35]	Yazılım	regresyon analizi	Teslimat stratejisi, uygun çevik pratiği seçimi ve scrum ekibi yetkinliği
7	Iamratanakul et al., 2014, [27]	Elektronik	ISM	Stratejik uyum
8	Dikert et al., 2016, [31]	-	vaka çalışması sistematiik inceleme	Yönetim desteği, scrum ekibi yetkinliği, uygun çevik pratiği seçimi ve scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü scrum ekibi yetkinliği uygun çevik pratiği seçimi Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü
9	Ajay Guru Dev et al., 2016, [24]	Üretim	AHP	Yönetim desteği, müşteri ile güçlü iş birliği, uygun çevik pratiğinin seçimi ve scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü Uygun çevik pratiğinin seçimi Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü
10	Berg et al., 2020, [29]	Donanım	deneysel araştırma	Scrum ekibi yetkinliği ve uygun çevik pratiğinin seçimi

11	Modranský et al., 2020, [33]	Donanım	mülakat	Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü, yönetim desteği, scrum ekibi yetkinliği ve Ekiplerin aynı lokasyonda yer alması Yönetim desteği Scrum ekibi yetkinliği
12	Noteboom et al., 2021, [34]	-	sistematik inceleme	Doğru ürün tanımının yapılması, ürün kabulü için net bir kriter sağlanması ve sprint tahmini doğruluğu
13	Saghazadeh, 2020, [38]	IT	Hipotez testi	Sprint tahmini doğruluğu, güçlü iletişim ve zaman yönetimi güçlü iletişim zaman yönetimi
14	Raharjo, 2023, [42]	IT	AHP	Yönetim desteği ve scrum ekibi yetkinliği
15	Chang et al., 2013, [43]	Üretim	ANP	scrum ekibi yetkinliği Tedarikçi ile güçlü iş birliği, süreçlerin esnekliği ve scrum ekibi yetkinliği Süreçlerin esnekliği
16	Subramaniya et al., 2017, [44]	Tekstil	TOPSIS	Scrum ekibi yetkinliği Doğru ürün tanımının yapılması ve müşteri ile güçlü iş birliği
17	Bathaei et al., 2019, [45]	Gıda	VIKOR	Tedarikçi ile güçlü iş birliği, scrum ekibi yetkinliği ve esnek üretim kapasitesi Esnek üretim kapasitesi
18	Virmani et al., 2018, [39]	Üretim	B-DEMATEL	Müşteri ile güçlü işbirliği Stratejik uyum
19	Fekri et al., 2009, [40]	-	B-DEMATEL	Müşteri ile güçlü iş birliği ve stratejik uyum
20	Bathrinath et al., 2019, [41]	Üretim	DEMATEL	Süreçlerin esnekliği

Tablo 2.4 devam ediyor

Tabloda "Alan-Sektör" sütununda boş bırakılan alanlar, ilgili çalışmada sektör veya alan bilgisinin açıkça belirtilmemesinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 2.5 Literatürde belirtilen kritik başarı faktörleri

No	Başarı faktörleri	Literatürde geçme sıklığı	Ref no
1	Scrum ekibi yetkinliği	8	[29], [31], [33], [35], [37], [42], [43], [45]
2	Yönetim desteği	6	[21], [24], [31], [33], [36], [42]
3	Müşteri ile güçlü iş birliği	4	[24], [37], [41], [44]
4	Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü	4	[24], [31], [33], [37]
5	Uygun çevik pratiği seçimi	3	[24], [29], [31]
6	Güçlü iletişim	2	[21], [38]
7	Doğru ürün tanımının yapılması	2	[34], [44]
8	Sprint tahmini doğruluğu	2	[34], [38]
9	Tedarikçi ile güçlü işbirliği	2	[43], [45]
10	Stratejik uyum	2	[27],[40]
11	Süreçlerin esnekliği	2	[43],[40]
12	Projenin uygunluğu	1	[36]
13	Değişime adaptasyon	1	[21]
14	Düzenli aralıklarla ürün testi	1	[37]
15	Teslimat stratejisi	1	[35]
16	Ekiplerin aynı lokasyonda yer alması	1	[33]
17	Ürün kabulü için net bir kriter sağlanması	1	[34]
18	Zaman yönetimi	1	[38]
19	Esnek üretim kapasitesi	1	[45]

İncelendiği üzere bulunan çalışmalarda farklı perspektiflerde çevik proje yönetiminin katkıları, dezavantajları ya da kritik başarı faktörleri irdelenmiş ancak elektronik test donanımlarının geliştirilmesinde çevik proje yönetimi kullanımının etkilerine ve ürün geliştirmeye etki eden faktörlere ilişkin bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2.3. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Çok kriterli karar verme yöntemleri, birden fazla alternatife önceliklendirilmesi için farklı kriterlerin söz konusu olduğu karmaşık karar problemlerini çözmek için kullanılan araçlardır. Günümüz dünyasında, özellikle projelerde ve stratejik kararlar

alınırken birden fazla değişkenin (kriterin) aynı anda ele alınması gereken durumlarla sıkça karşılaşılır. ÇKKV yöntemleri, karar vericilerin alternatifler arasında en uygun olanını seçebilmesi için çeşitli kriterleri karşılaştırmasını, değerlendirip ağırlıklandırmasını ve nihayetinde objektif bir karar almalarını sağlar. Özellikle teknoloji, mühendislik ve proje yönetimi gibi alanlarda, çok sayıda faktörün bir arada değerlendirildiği durumlar sıklıkla karşılaşıldığı için, ÇKKV yöntemlerinin kullanımı önemli bir yer tutmaktadır.

ÇKKV yöntemlerinin her biri, farklı problem türlerine ve çözüm ihtiyaçlarına göre farklı avantajlar sunar. Bu yöntemler genel olarak, karar vericilerin kriterlere göre alternatifleri sıralamasını ve en uygun çözümü seçmesini sağlar. Kritik başarı faktörlerinin belirlenmesinde literatürde sıklıkla kullanılan ÇKKV yöntemleri ve uygulamalarından bazıları şöyle özetlenebilir:

The Analytical Hierarchy Process (AHP), öncelikli karar kriterlerinin belirlenmesi ve alternatiflerin sıralanması gibi hedeflerle kullanılır. Raharjo, Endonezyadaki bir IT projesinin kritik başarı faktörlerini AHP yöntemi kullanarak bulmuştur [42]. Bir başka örnek; Ajay Guru Dev et al., üretimde çevikliğin sağlanabilmesi için gerekli kritik başarı faktörlerini bulabilmek için bu metodu kullanmıştır [24].

Fuzzy AHP (F-AHP) ise AHP'nin klasik yöntemine bulanıklık ekler, yani karar vericilerin değerlendirmelerindeki belirsizlikleri ve subjektifliği daha iyi modellemeyi hedefler. Yaghoobi, yazılım projesi kritik başarı faktörlerini bu yöntemi uygulayarak değerlendirmiştir [46].

The Analytic Network Process (ANP), AHP'nin aksine hiyerarşik değil, ağ yapısı kurarak kriterler ve alternatifler arasında karşılıklı bağımlılık ve geri bildirim ilişkilerini dikkate alır. Chang et al. araştırmalarında, yeni bir ürünün seri üretime başlatılmasında kritik çeviklik faktörlerini keşfetmek için çeviklik faktörlerinin etkileşimli nedensel ilişkilerini belirlenmesi diğer faktörler arasındaki bağımlılık veya geri bildirim ilişkilerine dayalı olarak çeviklik kriterlerinin önem ağırlıklarını elde etmek için ANP metodunu uygulamıştır [43].

The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), karar

alternatiflerini ideal çözüme olan benzerliklerine göre sıralar ve genellikle bağımsız kriterler ile çalışır. Subramaniya et al., TOPSIS ile tekstil sektörü için yaptığı bir çalışmada ürün özellikleri ve müşteri geri bildirimlerini önceliği yüksek kriterler olarak tanımlamıştır [44].

VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) yöntemi, çeşitli kriterler arasında mutlak bir denge sağlamak isteyen karar vericiler için önemli olup en iyi çözüm ile en iyi ikinci çözüm arasında bir uzlaşma sağlayarak karar vericilere daha uygulanabilir ve pragmatik çözümler sunmayı amaçlar. Bathaei et al., İran'daki süt ürünleri şirketlerinde yeşil çevik faktörler ve alt faktörleri değerlendirmek için Fuzzy ANP ve VIKOR yöntemlerini entegre ederek tedarikçi ile güçlü iş birliği, esnek üretim kapasitesi ve çok yönlü çalışanların olmasını çeviklik kriterleri olarak tanımlamıştır [45].

Her bir yöntem, belirli bir tür problem için daha uygun olabilir, ancak karmaşık ve etkileşimli faktörlerin olduğu durumlarda bazı yöntemler sınırlı kalabilir. Bu bağlamda, karar vericilerin en doğru analizi yapabilmesi için, doğru yöntemi seçmek kritik bir öneme sahiptir.

Projelerin başarısı birçok faktörü barındırır ve bu faktörlerin birbirlerine olan etkilerini anlamak, doğru kararlar alabilmek için büyük önem taşır. Bu noktada, DEMATEL yöntemi, ilişkilerin ve nedensel bağlantıların açık bir şekilde ortaya konması, elde edilen sonuçların bir ilişki ağı (network) olarak görselleştirilmesi gibi sebeplerle diğer çok kriterli karar verme yöntemlerine göre bir dizi avantaja sahiptir. Bulanık DEMATEL (B-DEMATEL) yönteminin ise, literatürde farklı kriter seçim çalışmalarında kullanıldığı görülmektedir [47], [48], [49], [50] .

AHP ve ANP gibi yöntemler, kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde oldukça faydalıdır, ancak bu yöntemler faktörler arasındaki nedensel ilişkileri dikkate almaz. Bu nedenle, bir faktörün diğerini nasıl etkilediğini anlamak için DEMATEL daha etkili bir çözüm sunar. TOPSIS ve Élimination Et Choix Traduisant la REalité (ELECTRE) gibi sıralama yöntemleri ise, alternatifleri birbirleriyle karşılaştırarak sıralama yapar. Ancak, bu yöntemler de etkileşimli faktörlerin analizine dair sınırlamalara sahiptir. DEMATEL, faktörler arasındaki ilişkileri ve etkileşimleri net bir şekilde ortaya koyarak, daha kapsamlı bir analiz sağlar. Bu sebeple bu çalışmada faktörler arası ilişkileri de göz önünde

bulundurduğu için DEMATEL yönteminin kullanılması önerilmiştir. DEMATEL ile, bulanık mantığı kullanarak bu belirsizliği modellemeye olanak tanıyan ve karar vericilere değerlendirmelerini aralıklar ya da bulanık sayılarla ifade etme imkânı sunan B-DEMATEL yöntemi de kullanılmıştır. Bundan sonraki bölümde, DEMATEL ve B-DEMATEL yöntemlerinin uygulama adımları ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.



3. MATERYAL VE METOTLAR

Tezin araştırma yöntemi olan DEMATEL ve B-DEMATEL yöntemleri, çevik ürün geliştirme süreçlerinde etkili olan faktörlerin analiz edilmesi için kullanılacaktır. DEMATEL yöntemi, bu faktörler arasındaki ilişkiyi ve önem düzeylerini belirlemede etkili bir araç olarak kullanılacaktır. Bu bağlamda, firmanın elektronik test ekipmanları geliştirme süreçlerindeki başarı faktörlerinin çevik proje yönetimi çerçevesinde analiz edilmesi ve DEMATEL yöntemiyle bu faktörler arasındaki ilişkilerin incelenmesi, firmanın iş süreçlerini optimize etmesine yönelik somut bir katkı sunacaktır.

Tercih edilen DEMATEL ve B-DEMATEL yöntemleri ÇKKV yöntemleri içerisinde yer almaktadır. ÇKKV ise, birden fazla kriterin dikkate alındığı karar verme süreçlerinde kullanılan bir genel terimdir ve AHP, TOPSIS gibi birçok farklı yöntemi kapsamaktadır. DEMATEL, özellikle faktörler arasındaki ilişkileri ve etkileşimleri analiz etmeye odaklanmaktadır. Kriterler arasındaki nedensel bağlantıları haritalayarak, hangi faktörlerin birbirini nasıl etkilediğini ve hangi faktörlerin daha kritik olduğunu ortaya koyar. Yani, DEMATEL, ÇKKV'nin bir tekniği olarak karmaşık sistemlerdeki faktörler arasındaki bağlantıları anlamak ve doğru kararlar almak için kullanılmaktadır. Bu sebeple DEMATEL yönteminin kullanılması, faktörlerin önem derecelerini belirlemede etkili bir yaklaşım sunmaktadır.

Gerçek dünyada ise karar vericiler, faktörler arasındaki ilişkileri tam olarak belirlemekte zorlanabilir ve değerlendirmelerinde belirsizlik bulunabilir. Bu noktada, B-DEMATEL devreye girer. B-DEMATEL, bulanık mantığı kullanarak bu belirsizliği modellemeye olanak tanır ve karar vericilere değerlendirmelerini aralıklar ya da bulanık sayılarla ifade etme imkânı sunar.

DEMATEL ve B-DEMATEL'in bir arada kullanılmasının en temel nedeni, belirsizliğin ve karmaşıklığın daha iyi yönetilmesiyle ilgilidir. İlk aşamada, DEMATEL genel yapı ve ilişki dinamiklerini anlamak için kullanılır. Bu aşamada faktörler arasındaki temel neden-sonuç bağlantıları oluşturulur. Daha sonra, B-DEMATEL devreye girerek, bu ilişkilerdeki belirsizliği ve karar vericilerin değerlendirme subjektifliğini daha hassas bir şekilde modele dahil eder. Bu yöntem, özellikle insan düşüncesindeki belirsizliklerin ve çelişkilerin sistematik bir şekilde ele alınmasını sağlar.

Birlikte kullanım, analiz sonuçlarının güvenilirliğini artırırken, faktörler arasındaki ilişkileri daha esnek bir şekilde yorumlama olanağı da sunar. Geleneksel DEMATEL'in kesin değerlendirmeleri sonuçların basitçe yorumlanmasını sağlarken, B-DEMATEL sonuçların daha geniş bir perspektiften ele alınmasını sağlar. Karmaşık ve değişken sistemlerde bu iki yöntemin entegrasyonu, hem geneli anlamayı hem de detaylarda belirsizliği modellemeyi mümkün kılar. Bu yaklaşımla, analizlerin doğruluğu ve karar süreçlerine katkısı önemli ölçüde artar. Özellikle kritik kararların alınacağı ya da birden fazla karar vericinin farklı bakış açılarına sahip olduğu durumlarda, DEMATEL ile B-DEMATEL'in birlikte kullanımı son derece etkili bir yöntemdir. Bu sebeple çalışmada belirtilen iki yöntem uygulanmıştır.

3.1. DEMATEL Yöntemi

DEMATEL yöntemi adımları şu şekilde listelenmiştir [51]:

3.1.1. Adım 1: Kriterlerin Seçimi ve Veri Toplama

Bir grup karar verici tarafından problemle ilgili kriterler gözden geçirilir ve n sayıda faktör ortak uzlaşa doğrultusunda belirlenir. Bir sistemdeki n sayıda faktörün birbirleriyle olan doğrudan etkileşimleri değerlendirilir. D adet uzman, her bir faktörün diğer faktörler üzerindeki doğrudan etkisini bir ölçek aracılığıyla belirler. Literatürde yaygın kullanılan DEMATEL ölçeği Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1 İkili Karşılaştırma Ölçeği

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

Bu çalışmada, değerlendirilen kriterlerin çok boyutlu yapısı ve uzman

görüşlerindeki çeşitlilik dikkate alınarak, Tablo 3.2’de verilen ölçek kullanılmıştır [52]. Sayısal değerler, bir kriterin diğerini hangi ölçüde etkilediğini göstermektedir.

Tablo 3.2 Uygulamada Kullanılacak İkili Karşılaştırma Ölçeği

Değer	Etkileşim Derecesi
0	Hiç
1	Çok Düşük
2	Düşük
3	Oldukça Düşük
4	Aşağı yukarı düşük
5	Orta
6	Aşağı yukarı iyi
7	Oldukça İyi
8	İyi
9	Çok İyi
10	Mükemmel

3.1.2. Adım 2: İlişki Matrisinin Hazırlanması

Uzmanlardan alınan veriler, kriterlerin birbirleriyle olan etkileşimlerini analiz etmek amacıyla kullanılır. Her bir kriterin diğer kriterler üzerindeki etkisi bir ölçek kullanılarak derecelendirilir. Doğrudan etki matrisi, birden fazla karar vericilerin katkılarıyla elde edilen verilerin birleştirilmesiyle oluşturulur. Bu süreçte, her uzman, bir i . faktörün j . faktör üzerindeki etkisini değerlendirir. $z_{ij}^{(k)}$ değeri, k . karar vericisinin i . faktörün j . faktör üzerindeki etkisi için verdiği puanı göstermektedir. Her bir z_{ij} değeri, D adet uzmanın aynı ilişki için yaptığı değerlendirmelerin geometrik ortalaması alınarak hesaplanır. Bu hesaplama eşitlik 3.1 kullanılarak elde edilir:

$$z_{ij} = \sqrt[D]{\prod_{k=1}^D z_{ij}^{(k)}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3.1)$$

Uzmanların bu değerlendirmeleri, z_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$) olarak ifade edilen doğrudan etki matrisine kaydedilir. Uzmanların değerlendirmeleri sonucunda, kriterler arası ilişkileri temsil eden bir doğrudan etki matrisi Z , eşitlik 3.2’deki gibi oluşturulur.

$$Z = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Doğrudan etki matrisinin köşegen elemanları sıfırdır, çünkü bir faktörün kendisi üzerinde etkisi olmadığı varsayılır.

3.1.3. Adım 3: Normalizasyon

Grup doğrudan etki matrisinin her bir elemanı, normalizasyon işlemi ile 0 ile 1 arasında bir değere dönüştürülür. Bu adım, faktörler arasındaki etkileşimlerin karşılaştırılabilir olmasını sağlar. Normalizasyon için kullanılan yöntemde, öncelikle ilişki matrisinin satır ve sütun toplamaları bulunur. Daha sonra bulunan toplamalar arasında en büyük değer eşitlik 3.3'teki gibi bulunur ve ilişki matrisinin tüm elemanları bulunan s değeri ile bölünür.

$$s = \max \left(\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n z_{ij}, \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n z_{ij} \right) \quad (3.3)$$

Bu hesaplama ile elde edilen normalleştirilmiş doğrudan etki matrisi x_{ij} değerleri eşitlik 3.4'e göre hesaplanır ve X matrisi eşitlik 3.5'te verildiği gibi uygulanır.

$$x_{ij} = \frac{z_{ij}}{s}, \quad 0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad (3.4)$$

$$X = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

3.1.4. Adım 4: Toplam Etki Matrisinin Bulunması

Normalleştirilmiş doğrudan etki matrisi X kullanılarak, faktörler arasındaki tüm doğrudan ve dolaylı etkiler hesaplanır. Toplam etki matrisi T , doğrudan etkilerle birlikte dolaylı etkileri de kapsar. Bu hesaplama, eşitlik 3.6 ile hesaplanır:

$$T = X(I - X)^{-1} \quad (3.6)$$

Eşitlik 3.6'da I birim matristir. T matrisi gösterimi eşitlik 3.7'de verilmiştir.

$$T = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & t_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{n1} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.7’de T matrisindeki i . faktörün j . faktöre yaptığı etkiyi ifade eder. Faktörler arasındaki etkileşimlerin önem derecesini belirlemek için Eşitlik 3.8’de belirtilen formülden yararlanılır:

$$Eşik\ Değeri = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij}}{n^2} \quad (3.8)$$

Eşitlik 3.7’de verilen matrisin hücrelerinde yer alan değerlerden eşitlik 3.8’de hesaplanan eşik değerinden büyük olanlar, i . faktörün j . faktöre anlamlı bir etkisi olduğunu gösterir.

3.1.5. Adım 5: Etki-İlişki Diyagramının Oluşturulması

Bu adımda, toplam etki matrisi T kullanılarak, faktörlerin sisteme yaptıkları ve aldıkları etki hesaplanır ve görselleştirilir. İki önemli vektör tanımlanır:

- **R:** Satır toplamaları vektörü, her faktörün diğer faktörlere yaptığı toplam etkiyi gösterir ve eşitlik 3.9’deki gibi hesaplanır.

$$R = [r_i]_{n \times 1} = \left[\sum_{j=1}^n t_{ij} \right]_{n \times 1} \quad (3.9)$$

- **C:** Sütun toplamaları vektörü, her faktörün diğer faktörlerden aldığı toplam etkiyi gösterir ve eşitlik 3.10’deki gibi hesaplanır.

$$C = [c_j]_{1 \times n} = \left[\sum_{i=1}^n t_{ij} \right]_{1 \times n} \quad (3.10)$$

Buradan sonra **Önem** ve **İlişki** vektörleri hesaplanır:

- **Önem ($R + C'$):** Bir faktörün hem sisteme yaptığı hem de aldığı etkiyi toplar. Bu, faktörün sistemdeki "önem" derecesini gösterir.
- **İlişki ($R - C'$):** Bir faktörün sisteme yaptığı net etkiyi gösterir. Yani, bir faktörün verdiği etki ile aldığı etki arasındaki farkı gösterir.

Eğer $r_i - c_j > 0$ ise, faktör "etkileyen" bir faktördür. $r_i - c_j < 0$ ise, faktör "etkilenen" bir faktördür. Faktörlerin ağırlıklandırılmalarının yapılabilmesi içinse faktörlerin toplam etki büyüklüğü (d_i) ile faktörlerin göreceli ağırlıkları (w_i) 'den faydalanılır. d_i , faktörün sistem içindeki "etki büyüklüğünü" ölçer ve eşitlik 3.11 kullanılarak hesaplanır:

$$d_i = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i^2 + r_i^2)} \quad (3.11)$$

Bu, faktörün hem neden hem de sonuç olarak nasıl bir toplam etkileşim içinde olduğunu ifade eder. Daha yüksek d_i değerleri, faktörün sistemin genel işleyişinde daha merkezi bir rol oynadığını gösterir. w_i ise bir faktörün sistemdeki diğer faktörlere göre ne kadar etkili olduğunu belirtir. Ağırlıklandırma, d_i değerini normalize ederek, tüm faktörler arasında kıyaslanabilir bir ölçüt sunar. w_i hesaplaması eşitlik 3.12'de verilmektedir:

$$w_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^n d_i} \quad (3.12)$$

Faktör ağırlıkları w_i 'lerin büyükten küçüğe sıralanması ile hangi faktörün daha fazla önem taşıdığı ortaya konmuş olur.

3.1.6. Adım 6: Etki-İlişki Diyagramı Görselleştirilmesi

Etki ve ilişki vektörleri kullanılarak bir etki ilişki diyagramı ve haritası hazırlanır. Etki-ilişki haritası faktörlerin sisteme yaptığı ve aldığı etkilerin görsel bir temsilini sunar ve karar vericilere, hangi faktörlerin sisteme etki yaptığını ve hangi faktörlerin etkilendiğini gösterir. Haritada her bir düğüm bir faktörü temsil eder. Faktörler arasındaki yönlü bağlantılar ise, bir faktörün diğerine olan etkisini gösterir. Ok yönü, etki eden faktörden etkilenene doğru gider.

Etki-ilişki diyagramında ise faktörler, iki boyutlu bir düzlemde yerleştirilir. X eksen, ilişki vektörünü $(R + C')$ temsil eder: Bu eksen, faktörlerin etki eden mi yoksa etkilenen mi olduğunu belirtir. Pozitif değerler etki eden faktörleri, negatif değerler ise etkilenen faktörleri temsil eder. Y eksen, etki vektörünü $(R - C')$ temsil eder: Faktörlerin sisteme olan toplam etkisini ifade eder. Daha yüksek Y değerleri, sistemin işleyişinde kritik bir rol oynayan faktörleri işaret eder.

3.2. B-DEMATEL Yöntemi

Bulanık mantık, literatüre ilk kez Zadeh'in 1965 yılında yaptığı bulanık kümeler üzerine çalışmasıyla girmiştir[53]. Çalışmada, bulanık mantığın, günlük hayatta belirsizliklerin bulunduğu, bilginin kesin olmadığı ve insanların kararlar aldığı süreçlerde kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

Bulanık mantık, küme teorisine dayanmaktadır. Klasik küme teorisinde, U kümesinin bir alt kümesi olan A kümesi, bir karakteristik fonksiyon olan μ_A ile temsil edilir. Bu karakteristik fonksiyon, U 'nun bir elemanını, eğer A kümesinin bir elemanıysa 1'e, değilse 0'a dönüştürür. Diğer yandan, bulanık mantık teorisinde U 'nun bir elemanı, bir kümeye bir dereceye kadar ait olabilir ve bu değer $[0,1]$ aralığında değişir.

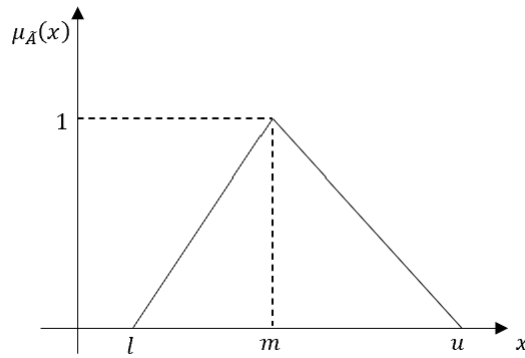
Bulanık kümede, x eksenindeki her bir reel sayı, y ekseninde 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerine dönüştürülür. Böylece, x eksenindeki bir reel sayı x ile temsil ediliyorsa, bunun üyelik derecesi $\mu_A(x)$ ile temsil edilir ve $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$ sağlanır. Bir bulanık küme, üyelerinin 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerine sahip olduğu fonksiyonlarla tanımlanır. Üyelik fonksiyonu, kümenin elemanlarının kümeye ne derece ait olduğunu ifade eder. Bu, $x \in A$ ve $A \subseteq U$ ve $\mu_A(x): U \rightarrow [0,1]$ olarak gösterilir [54].

Bulanık kümelerin sonsuz sayıda alt kümesi vardır. Bulanık kümelerle yapılan işlemler karmaşık olduğu için bazı özel bulanık sayılar tanımlanmıştır. Özellikle çok kriterli karar verme problemlerinde, karar vericilerin bireysel veya grup kararlarında kullandıkları dilsel terimlerin bulanık sayılara çevrilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Üçgensel bulanık sayılar, literatürde yaygın olarak kullanılan özel bir bulanık sayı

sınıfıdır.

Bu çalışmada, kritik başarı faktörleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla karar vericilerin değerlendirmeleri için üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır.

Bir üçgensel bulanık sayı, $\tilde{A}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ olarak tanımlanır. l_{ij}, m_{ij} ve u_{ij} , sırasıyla minimum, orta ve maksimum değerleri temsil eder. Şekil 3.1’de gösterilen üçgensel bulanık sayılar için üyelik fonksiyonu eşitlik 3.13’de tanımlandığı gibi ifade edilir.



Şekil 3.1 Üçgensel bulanık sayılar

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = f(x) = \begin{cases} (x - l)/(m - l), & l \leq x \leq m \\ (u - x)/(u - m), & m \leq x \leq u \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (3.13)$$

İki farklı üçgensel bulanık sayı $\tilde{A} = (l_a, m_a, u_a)$ ve $\tilde{B} = (l_b, m_b, u_b)$ için işlemler eşitlik 3.14-18’de verildiği gibi uygulanır:

$$\text{Toplama: } \tilde{A} \oplus \tilde{B} = (l_a + l_b, m_a + m_b, u_a + u_b) \quad (3.14)$$

$$\text{Çıkarma: } \tilde{A} \ominus \tilde{B} = (l_a - u_b, m_a - m_b, u_a - l_b) \quad (3.15)$$

$$\text{Çarpma: } \tilde{A} \otimes \tilde{B} = (l_a \times l_b, m_a \times m_b, u_a \times u_b) \quad (3.16)$$

$$\text{Bölme: } \tilde{A} \oslash \tilde{B} = (l_a/u_b, m_a/m_b, u_a/l_b) \quad (3.17)$$

$$\text{Ters Alma: } \tilde{A}^{-1} = (1/u_a, 1/m_a, 1/l_a) \quad (3.18)$$

Bu çalışmada kullanılması önerilen DEMATEL yöntemi ile birlikte karar vericilerden kaynaklı belirsizliklerin varlığı sebebiyle B-DEMATEL yönteminin de

kullanılması önerilmiştir. Böylece bu yöntemlerin faktör sıralamalarına ve etkileşimlerine etkisi gözlemlenmiş olacaktır. B-DEMATEL yöntemi, özellikle belirsizlik ve karmaşıklık içeren karar verme süreçlerinde tercih edilen bir tekniktir. Bu yöntem, kriterler veya faktörler arasındaki ilişkilerin bulanık mantıkla değerlendirilmesini sağlar ve uzman görüşlerinden kaynaklanan belirsizlikleri yönetmek için etkili bir araçtır. Özellikle, karmaşık ve birbirine bağlı kriterlerin bulunduğu, doğrusal olmayan ilişkilerin olduğu durumlarda kullanılmaya uygundur. Ayrıca, uzman görüşlerine dayalı değerlendirmelerde, farklı uzmanların görüşleri arasında tutarsızlıklar bulunuyorsa, bulanık mantık bu tutarsızlıkları daha iyi bir şekilde yönetir.

Çalışmanın bundan sonraki alt bölümünde B-DEMATEL adımları verilmiştir [55]:

3.2.1. Adım 1: Kriterlerin Seçimi ve Veri Toplama

Bir grup karar verici tarafından problemle ilgili kriterler gözden geçirilir ve n sayıda faktör ortak uzlaşa doğrultusunda belirlenir. Bir sistemdeki n sayıda faktörün birbirleriyle olan doğrudan etkileşimleri değerlendirilir. D adet uzman, her bir faktörün diğer faktörler üzerindeki doğrudan etkisini Tablo 3.3’de verilen ölçek aracılığıyla belirler.

Faktörler arasındaki ilişkileri tanımlamak için kullanılan Tablo 3.2’deki puanların ve dilsel terimlerin, üçgensel bulanık sayı karşılıkları Tablo 3.3’de verilmiştir [52]:

Tablo 3.3 B-DEMATEL ölçeği, dilsel terimler ve üçgensel bulanık sayılar

Puan	Dilsel terim	Alt (l)	Orta (m)	Üst (u)
0	Yok	0	0	0,1
1	Çok Düşük	0	0,1	0,2
2	Düşük	0,1	0,3	0,5
3	Oldukça Düşük	0,3	0,4	0,5
4	Aşağı yukarı düşük	0,4	0,45	0,5
5	Orta	0,3	0,5	0,7
6	Aşağı yukarı iyi	0,5	0,55	0,6
7	Oldukça İyi	0,5	0,6	0,7
8	İyi	0,5	0,7	0,9
9	Çok İyi	0,8	0,9	1
10	Mükemmel	0,9	1	1

3.2.2. Adım 2: İlişki Matrisinin Hazırlanması

Uzmanlardan alınan değerlendirmeler bulanık sayılar ile ifade edilir. Grup karar vericilerinin değerlendirmelerinden bulanık başlangıç doğrudan ilişki matrisi ($\tilde{E}$), eşitlik 3.19'daki gibi oluşturulur:

$$\tilde{E} = \begin{bmatrix} \tilde{e}_{11} & \cdots & \tilde{e}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{e}_{n1} & \cdots & \tilde{e}_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

$\tilde{E}$ her bir faktörün diğer faktörler üzerindeki bulanık etkisini temsil eder. Burada $\tilde{e}_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, n$, i . faktörün j . faktör üzerindeki doğrudan etkisini temsil eden bir üçgensel bulanık sayıdır. Her $\tilde{e}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ şeklinde ifade edilir. Dolayısıyla, matrisin her bir elemanı üçgensel bulanık sayıların özelliklerini taşır.

Bulanık başlangıç doğrudan ilişki matrisi ($\tilde{E}$)'nin elde edilebilmesi için karar vericilerin değerlendirme puanları, $\tilde{e}_{ij}^{(k)} = (l_{ij}^{(k)}, m_{ij}^{(k)}, u_{ij}^{(k)}), k = 1, 2, \dots, D$ şeklinde üçgensel bulanık sayılar kümesinde karşılık gelen bulanık sayılara dönüştürülür. Her bir $\tilde{e}_{ij}$ değeri, D adet uzmanın aynı ilişki için yaptığı değerlendirmelerin geometrik ortalaması alınarak hesaplanır. Bu hesaplama eşitlik 3.20 kullanılarak elde edilir:

$$\tilde{e}_{ij} = \left(\sqrt[D]{\prod_{k=1}^D l_{ij}^{(k)}}, \sqrt[D]{\prod_{k=1}^D m_{ij}^{(k)}}, \sqrt[D]{\prod_{k=1}^D u_{ij}^{(k)}} \right), i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3.20)$$

3.2.3. Adım 3: Normalizasyon

Başlangıç bulanık doğrudan ilişki matrisi ($\tilde{E}$) kullanılarak normalleştirilmiş bulanık doğrudan ilişki matrisi ($\tilde{F}$) oluşturulur. Bu işlem için ilk olarak, $\tilde{\beta}_i$ ve γ , üçgensel bulanık sayıları tanımlanır.

$\tilde{\beta}_i$, hesabında üçgensel bulanık sayılar bileşenlerine göre eşitlik 3.21'deki gibi toplanır:

$$\tilde{\beta}_i = \sum \tilde{e}_{ij} = \left(\sum_{j=1}^n l_{ij}, \sum_{j=1}^n m_{ij}, \sum_{j=1}^n u_{ij} \right) \quad (3.21)$$

Eşitlik 3.21’de, l_{ij} , m_{ij} ve u_{ij} sırasıyla üçgensel sayıların alt, orta ve üst sınır bileşenlerini göstermektedir. Daha sonra üçgensel bulanık sayıların en büyük üst sınır değeri γ bulunur. Bu değer eşitlik 3.22’deki gibi hesaplanır.

$$\gamma = \max \left(\sum_{j=1}^n u_{ij} \right) \quad (3.22)$$

Eşitlik 3.22’de, γ , tüm i ve j değerleri için en büyük toplam üst sınır değerini alır.

Bulanık doğrudan ilişki matrisi, $\tilde{f}_{ij}$ üçgensel bulanık sayıları ile oluşturulur. Bu sayılar, $\tilde{e}_{ij}$ değerlerinin γ ’ya bölünmesiyle eşitlik 3.23’teki gibi hesaplanır.

$$\tilde{f}_{ij} = \frac{\tilde{e}_{ij}}{\gamma} = \left(\frac{l_{ij}}{\gamma}, \frac{m_{ij}}{\gamma}, \frac{u_{ij}}{\gamma} \right), \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3.23)$$

Eşitlik 3.23’te, her bir $\tilde{f}_{ij}$ üçgensel bulanık sayılar formunda normalleştirilmiş değerleri temsil eder.

Bulanık normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisi ($\tilde{F}$), eşitlik 3.24’ de belirtilen genel forma sahiptir.

$$\tilde{F} = \begin{bmatrix} \tilde{f}_{11} & \cdots & \tilde{f}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{f}_{n1} & \cdots & \tilde{f}_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Bu matris, tüm karar vericilerin doğrudan ilişkilerini puanlarının birleştirilmiş, normalleştirilmiş ve bulanık sayılar formunda ifadesidir.

3.2.4. Adım 4: Bulanık Toplam İlişki Matrisinin Hesaplanması

Bulanık toplam ilişki matrisi ($\tilde{T}$), Adım 3’te hesaplanan bulanık normalleştirilmiş

doğrudan ilişki matrisi (eşitlik 3.24) kullanılarak eşitlik 3.25'teki gibi hesaplanır.

$$\tilde{T} = \tilde{F} \cdot (I - \tilde{F})^{-1} \quad (3.25)$$

Elde edilen $\tilde{T}$ matrisi eşitlik 3.26' da verildiği üzere $\tilde{t}_{ij}$ 'lerden oluşur.

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \tilde{t}_{11} & \cdots & \tilde{t}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{t}_{n1} & \cdots & \tilde{t}_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

3.2.5. Adım 5: Durulaştırma

Durulaştırma, bulanık bir değeri net (kesin) bir değere dönüştürme sürecidir. Bu çalışmada, durulaştırma için Centre of Area (COA) yöntemi kullanılmıştır. Özellikle üçgensel bulanık sayılar için yaygın olarak kullanılan bu yöntem, sayının alan merkezine dayalıdır.

COA yöntemi, bu üç değeri kullanarak bulanık olmayan bir performans değeri (BNP_{ij}), eşitlik 3.27'ye göre hesaplar.

$$BNP_{ij} = \frac{u_{ij} - l_{ij} + m_{ij} - l_{ij}}{3} + l_{ij} \quad (3.27)$$

$(u_{ij} - l_{ij})$, üçgenselin toplam genişliğini (maksimum ve minimum arasındaki farkı), $(m_{ij} - l_{ij})$ ise minimum değer ile en olası değer arasındaki mesafeyi temsil eder. Bu mesafelerin toplamının 3'e bölünmesi ile Şekil 3.1'de verilen üçgenselin ağırlıklandırılmış merkezi bulunur. Alt sınır l_{ij} eklendiğinde ise toplam alan merkeze göre dengelenmiş olur. T matrisi defüze edildikten sonra, eşitlik 3.8'de belirtilen formülden yararlanılarak eşik değer hesaplaması yapılır. Matrisin hücrelerinde yer alan değerlerden eşik değerinden büyük olanlar, i . faktörün j . faktöre anlamlı bir etkisi olduğunu gösterir.

3.2.6. Adım 6: Etki-İlişki Diyagramı Oluşturulması

Bu adımda, toplam etki matrisi T kullanılarak, faktörlerin sisteme yaptıkları ve aldıkları etki hesaplanır ve görselleştirilir. İki önemli vektör tanımlanır:

- **R**: Satır toplamları vektörü, her faktörün diğer faktörlere yaptığı toplam etkiyi gösterir ve eşitlik 3.28'deki gibi hesaplanır.

$$R = [r_i]_{n \times 1} = \left[\sum_{j=1}^n \tilde{t}_{ij} \right]_{n \times 1} \quad (3.28)$$

- **C**: Sütun toplamaları vektörü, her faktörün diğer faktörlerden aldığı toplam etkiyi gösterir ve eşitlik 3.29'daki gibi hesaplanır.

$$C = [c_j]_{1 \times n} = \left[\sum_{i=1}^n t_{ij} \right]_{1 \times n} \quad (3.29)$$

Buradan sonra **Önem** ve **İlişki** vektörleri hesaplanır:

- **Önem** ($R + C'$): Bir faktörün hem sisteme yaptığı hem de aldığı etkiyi toplar. Bu, faktörün sistemdeki "önem" derecesini gösterir.
- **İlişki** ($R - C'$): Bir faktörün sisteme yaptığı net etkiyi gösterir. Yani, bir faktörün verdiği etki ile aldığı etki arasındaki farkı gösterir.

Eğer $r_i - c_j > 0$ ise, faktör "etkileyen" bir faktördür. $r_i - c_j < 0$ ise, faktör "etkilenen" bir faktördür.

3.2.7. Adım 7: Etki-İlişki Diyagramı Görselleştirilmesi

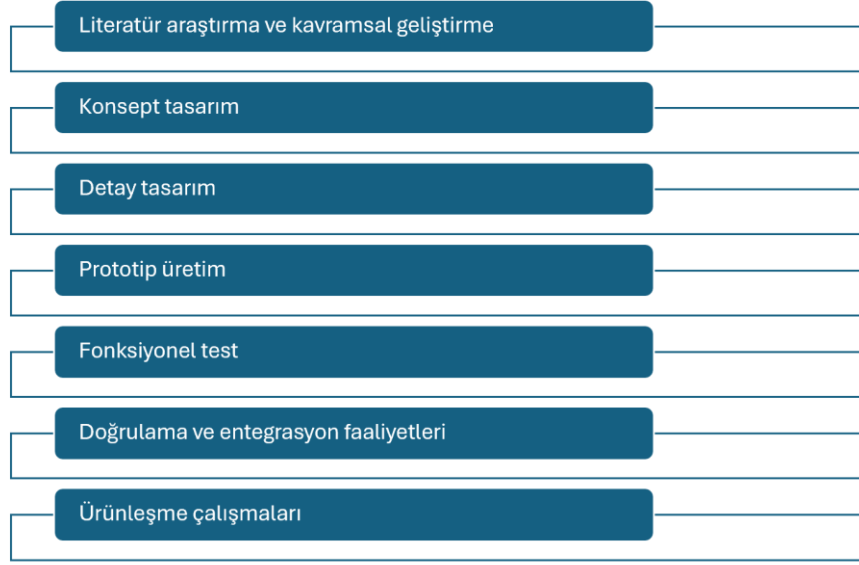
Etki ilişki diyagramı ile, faktörlerin hem önem derecesini hem de birbirine olan net etkisi görselleştirilir. Alt bölüm Başlık 3.1.6 'ya uygun şekilde çalışma gerçekleştirilir.

4. UYGULAMA VE BULGULAR

Tez çalışmasına konu olan firma 10 yıldır faaliyet gösteren bir mühendislik firmasıdır. Şirket, savunma, havacılık, otomotiv ve diğer sektörler için test sistemleri geliştirme faaliyetlerinde bulunmaktadır. Ürün portföyü arasında otomatik test istasyonları, test yazılımları, test kablağı ve elektromekanik test cihazları yer almaktadır. Geliştirdiği ürünler arasında USB/Ethernet dönüştürücüler, batarya yönetim sistemi test cihazları, navigasyon sistemleri, video anahtarlama çözümleri ve dinamik test sistemleri bulunmaktadır. Ayrıca MIL-STD-1553 veri yolu bağlayıcıları, SLSC modüler sistemleri ve PXI Express tabanlı çözümler gibi farklı teknolojik ihtiyaçlara yönelik ürünler de sunmaktadır. Şirketin çalışma alanları, gerçek zamanlı ve döngüde donanım test sistemlerinin geliştirilmesi, otomatik test ve ölçüm çözümleri ile üretim hizmetleri olarak özetlenebilir. Firma, test ve ölçüm sistemleri alanında çeşitli sektörlerle yönelik ürün ve hizmet sağlamaktadır. Şirket, elektronik test ekipmanları geliştirme sürecinde mühendislik tabanlı yaklaşımlar benimsemekte ve karmaşık projelerde yenilikçi yöntemler kullanmaktadır. Bu bağlamda, firmanın çevik proje yönetimi prensiplerini uygulayarak elektronik test ekipmanlarının geliştirilmesine odaklandığı belirlenmiştir.

Firmanın, otomatik test istasyonları, donanım test yazılımları ve modüler sistem çözümleri gibi ürünlerini geliştirme süreçlerinde müşteri taleplerine hızlı yanıt verme, ekipler arası koordinasyon ve sürekli iyileştirme gibi çevik yaklaşımların uygulanması sağlanmaktadır. Bu süreçler, çevik proje yönetiminin temel unsurlarını içermekte ve firmanın proje yönetimindeki başarı faktörlerini belirlemede etkili olmaktadır.

Firmanın ürün geliştirme süreci adımları Şekil 4.1.'de verilmektedir.



Şekil 4.1 Firma ürün geliştirme adımları

Ürün geliştirme kararının verilmesi için ilk olarak literatür araştırması ve kavramsal geliştirme çalışmaları yürütülür. Ürün fizibilite araştırmasının olumlu değerlendirilmesi halinde ürün konsept tasarımı gerçekleştirilir ve ürün gereksinimleri belirlenmiş olur. Gereksinimler doğrultusunda sistem tasarımı ve akabinde donanım, yazılım ve mekanik tasarımlar gerçekleştirilir. Tasarımların dondurulması ertesi tasarıma konu ürünün prototip üretimleri yapılır. Bu aşamada donanım içerisinde yer alan alt komponentlerin üretimi (elektronik kartların üretimi ile mekanik üretimler) yapılır. Üretilen elektronik kartların fonksiyonel olarak çalışırılığı kontrol edilir. Testlerin beklenen performansı karşılamaması halinde yeniden tasarım ve üretim faaliyetleri gerçekleştirilir. Alt komponentlerin doğrulanması sonrası geliştirmeye konu ürünün alt bileşenleri bir araya getirilerek nihai ürünün entegrasyon faaliyetleri yürütülür. Ortaya çıkan ürünün son iyileştirmeleri yapılarak raftan hazır satışa uygun hale getirilir. Çevik proje yönetimi tasarım ve doğrulama aşamalarında uygulanmaktadır.

4.1. DEMATEL Uygulaması

Bu bölümde elektronik test ekipmanlarının çevik proje yönetimi ile geliştirilmesine etki eden kritik başarı faktörleri belirlenmiş ve faktörler arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir.

4.1.1. Adım 1: Kriterlerin Seçimi ve Veri Toplama

Tablo 2.5'te verilen 19 kritik başarı faktörü, savunma sektöründe donanım geliştirme alanında 15 yıldan uzun süredir çalışan ve konuya dair derin bilgiye sahip 4 uzmanın yüz yüze bir toplantıda, ortak uzlaşısı ile elektronik test donanımlarının çevik proje yönetimi ile geliştirilmesine etki eden en önemli faktörler olarak 7 faktöre indirgenmiştir. Bu kriterlerin daraltılması süreci, yalnızca literatüre dayalı verilerle değil, aynı zamanda uzmanların sektörel deneyim ve görüşleriyle de şekillendirilmiştir. Uzmanlar, çevik proje yönetimi bağlamında elektronik test donanımlarının geliştirilmesine etki eden faktörleri belirleyerek, bu faktörlerin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamışlardır. Sonuç olarak, bu 7 faktör, hem teorik hem de pratik açıdan en kritik başarı unsurları olarak kabul edilmiştir. Tablo 4.1'de ilgili kriterlerin hangi bağlamda ele alındığı tanımları ile verilmiştir.

Tablo 4.1 Nihai kritik başarı faktörleri

F. no	Faktör Adı	Tanım
F1	Yönetim desteği	Üst yönetimin çevik süreçleri desteklemesi
F2	Müşteri ile güçlü iş birliği	Müşteriyle sıkı iş birliği, ihtiyaçların müşteriden doğru aktarımı ve karşılanması
F3	Scrum ekibi yetkinliği	Ekip üyelerinin çevik süreçlerin uygulanmasında yetkin olması
F4	Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü	Çevik prensipleri benimseyen bir kültürün oluşması
F5	Doğru ürün tanımının yapılması	Proje başında ürünün doğru şekilde tanımlanması, gereksinimlerinin netleştirilmesi
F6	Güçlü iletişim	Proje paydaşları arası etkili iletişim
F7	Projenin uygunluğu	Çevik yöntemlerle yönetilmeye uygun proje

4.1.2. Adım 2: İlişki Matrisinin Hazırlanması

Tablo 3.2'deki etkileşim dereceleri ölçeği kullanılarak uzmanlar, faktörler arasındaki ilişkiyi değerlendirmiştir. Değerlendirme sonuçları Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Karar Verici Değerlendirme Puanları

	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>F4</i>	<i>F5</i>	<i>F6</i>	<i>F7</i>
<i>F1</i>	(0;0;0;0)	(6;3;6;7)	(8;6;8;8)	(10;8;9;9)	(3;1;1;2)	(8;6;7;8)	(1;1;1;1)
<i>F2</i>	(7;1;1;2)	(0;0;0;0)	(7;2;5;6)	(6;3;3;5)	(9;10;9;10)	(4;10;10;9)	(7;1;1;1)
<i>F3</i>	(8;1;1;6)	(7;9;8;10)	(0;0;0;0)	(10;7;7;8)	(7;9;9;2)	(8;8;8;5)	(8;7;2;7)
<i>F4</i>	(6;7;6;4)	(3;3;4;7)	(8;8;6;8)	(0;0;0;0)	(3;5;5;6)	(8;9;7;8)	(8;4;6;8)
<i>F5</i>	(7;1;1;9)	(8;4;6;8)	(3;7;7;2)	(7;2;1;5)	(0;0;0;0)	(4;3;6;7)	(7;9;8;7)
<i>F6</i>	(5;7;9;6)	(6;10;10;10)	(7;8;7;8)	(7;7;6;9)	(1;4;7;7)	(0;0;0;0)	(5;4;1;8)
<i>F7</i>	(9;6;8;9)	(7;7;8;8)	(3;2;6;7)	(6;3;4;6)	(4;7;6;7)	(2;2;4;3)	(0;0;0;0)

Tablo 4.2’de verilen her bir hücrede verilen değerlerler sırasıyla dört ayrı karar vericinin etkileşim puanlarını $(z_{ij}^{(k)}, k = 1,2,3,4; i, j = 1,2, \dots, 7)$ göstermektedir.

Eşitlik 3.1 kullanılarak Eşitlik 3.2’de verilen doğrudan etki matrisi (*Z*) oluşturulmuştur. Oluşturulan matristeki değerler tam sayıya yuvarlanmış ve ilgili matris Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3 DEMATEL Doğrudan Etki Matrisi(*Z*)

	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>F4</i>	<i>F5</i>	<i>F6</i>	<i>F7</i>	Toplam
<i>F1</i>	0	5	7	9	2	7	1	31
<i>F2</i>	2	0	5	4	9	8	2	30
<i>F3</i>	3	8	0	8	6	7	5	37
<i>F4</i>	6	4	7	0	5	8	6	36
<i>F5</i>	3	6	4	3	0	5	8	29
<i>F6</i>	7	9	7	7	4	0	4	38
<i>F7</i>	8	8	4	5	6	3	0	34
Toplam	29	40	34	36	32	38	26	

4.1.3. Adım 3: Normalizasyon

Bu adımda Eşitlik (3.2) ‘de verilen doğrudan etki matrisinin elemanları Eşitlik (3.3) ve Eşitlik (3.4) kullanılarak normalize edilir. Normalizasyon için her değer *s* değerine bölünerek doğrudan etki matrisinin her bir elemanı, normalizasyon işlemi ile 0 ile 1 arasında bir değere dönüştürülüp normalize edilmiştir. Her bir ilişki matrisi değeri (*z_{ij}*), toplamda bulunan en büyük değer (*s* = 40) ile normalize edilmiştir.

Normalize edilen değerler Eşitlik 3.5’te verilen *X* matrisini oluşturur. *X* Matrisi

Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4 DEMATEL Normalize edilmiş ilişki matrisi(X)

	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>F4</i>	<i>F5</i>	<i>F6</i>	<i>F7</i>
<i>F1</i>	0,0000	0,1304	0,1852	0,2232	0,0389	0,1791	0,0249
<i>F2</i>	0,0481	0,0000	0,1126	0,1008	0,2360	0,1927	0,0405
<i>F3</i>	0,0655	0,2096	0,0000	0,1968	0,1444	0,1770	0,1316
<i>F4</i>	0,1402	0,0991	0,1852	0,0000	0,1146	0,1982	0,1557
<i>F5</i>	0,0701	0,1557	0,1030	0,0720	0,0000	0,1179	0,1917
<i>F6</i>	0,1640	0,2189	0,1862	0,1784	0,0931	0,0000	0,0885
<i>F7</i>	0,1964	0,1862	0,0991	0,1134	0,1457	0,0655	0,0000

4.1.4. Adım 4: Toplam Etki Matrisinin Hesaplanması

Bu adımda, kriterler arasındaki ilişkiler; eşitlik 3.6 ile hesaplanarak eşitlik 3.7’de verilen Toplam Etki Matrisi (T) oluşturulmuştur. Tablo 4.5’de verilen matris, her bir kriterin diğer kriterlere olan etki düzeylerini göstermektedir. Toplam etki değeri (T) belirlenmiş ve eşik değeri eşitlik 3.8 kullanılarak 0,6857 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.5 DEMATEL Toplam etki matrisi(T)

	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>F4</i>	<i>F5</i>	<i>F6</i>	<i>F7</i>
<i>F1</i>	0,4700	0,7922	0,7698	0,8016	0,5927	0,8124	0,4803
<i>F2</i>	0,4709	0,6179	0,6436	0,6312	0,7022	0,7481	0,4610
<i>F3</i>	0,5926	0,9382	0,6744	0,8388	0,7554	0,8796	0,6264
<i>F4</i>	0,6476	0,8443	0,8245	0,6720	0,7093	0,8811	0,6331
<i>F5</i>	0,4824	0,7330	0,6148	0,5923	0,4920	0,6664	0,5598
<i>F6</i>	0,6701	0,9497	0,8430	0,8402	0,7160	0,6856	0,5883
<i>F7</i>	0,6228	0,8145	0,6753	0,6890	0,6667	0,6971	0,4341

Eşik değer, kriterler arasındaki anlamlı etkilerin belirlenmesi için referans noktası olarak kullanılmıştır. Tablo 4.6’da eşik değeri aşan etki değerleri kırmızı ile işaretlenmiştir. Kırmızı ile boyanmış etki değerlerinin anlamı, satırdaki faktörlerin sütundaki faktörlere etkisi olduğunu göstermektedir. Tablo diğer açıdan ele alındığında sütundaki faktörlerin satırdaki hangi faktörlerden etkilendiğini göstermektedir.

Tablo 4.6 DEMATEL Eşik değeri aşan değerler

	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>F4</i>	<i>F5</i>	<i>F6</i>	<i>F7</i>
<i>F1</i>	0,4700	0,7922	0,7698	0,8016	0,5927	0,8124	0,4803
<i>F2</i>	0,4709	0,6179	0,6436	0,6312	0,7022	0,7481	0,4610
<i>F3</i>	0,5926	0,9382	0,6744	0,8388	0,7554	0,8796	0,6264
<i>F4</i>	0,6476	0,8443	0,8245	0,6720	0,7093	0,8811	0,6331
<i>F5</i>	0,4824	0,7330	0,6148	0,5923	0,4920	0,6664	0,5598
<i>F6</i>	0,6701	0,9497	0,8430	0,8402	0,7160	0,6856	0,5883
<i>F7</i>	0,6228	0,8145	0,6753	0,6890	0,6667	0,6971	0,4341

4.1.5. Adım 5: Etki-İlişki Diyagramı Oluşturulması

Toplam Etki Matrisi kullanılarak kriterlerin etkileyici (r_i) ve etkilenen (c_j) değerleri Eşitlik (3.9) ve Eşitlik (3.10) kullanılarak hesaplanmıştır. Bu iki değer kullanımı ile $r_i + c_j$ (kriterin toplam önemi) ve $r_i - c_j$ (kriterin etkileyici veya etkilenen doğası) hesaplanmıştır.

Tablo 4.7 sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

- $r_i + c_j$ değeri yüksek olan kriterler, sistemdeki toplam önem derecesi en yüksek olan kriterlerdir.
- $r_i - c_j$ değeri pozitif olan kriterler, diğer kriterleri daha fazla etkileyen kriterlerdir. Negatif değerler ise daha çok etkilenen kriterleri ifade eder.

Tablo 4.7 DEMATEL Önem, etkileşim, ağırlıklar ve sıralama tablosu

	c_j	r_i	$r_i + c_j$	$r_i - c_j$	d_i	w_i	Sıralama
<i>F1</i>	4,7190	3,9565	8,6755	-0,7626	8,7089	0,1292	6
<i>F2</i>	4,2749	5,6897	9,9646	1,4148	10,0646	0,1493	4
<i>F3</i>	5,3055	5,0454	10,3509	-0,2601	10,3542	0,1536	2
<i>F4</i>	5,2119	5,0653	10,2772	-0,1466	10,2782	0,1525	3
<i>F5</i>	4,1407	4,6343	8,7751	0,4936	8,7890	0,1304	5
<i>F6</i>	5,3490	5,4262	10,7753	0,0772	10,7755	0,1599	1
<i>F7</i>	4,5995	3,7832	8,3827	-0,8163	8,4223	0,1250	7

Tablo 4.7'deki sonuçlarına göre:

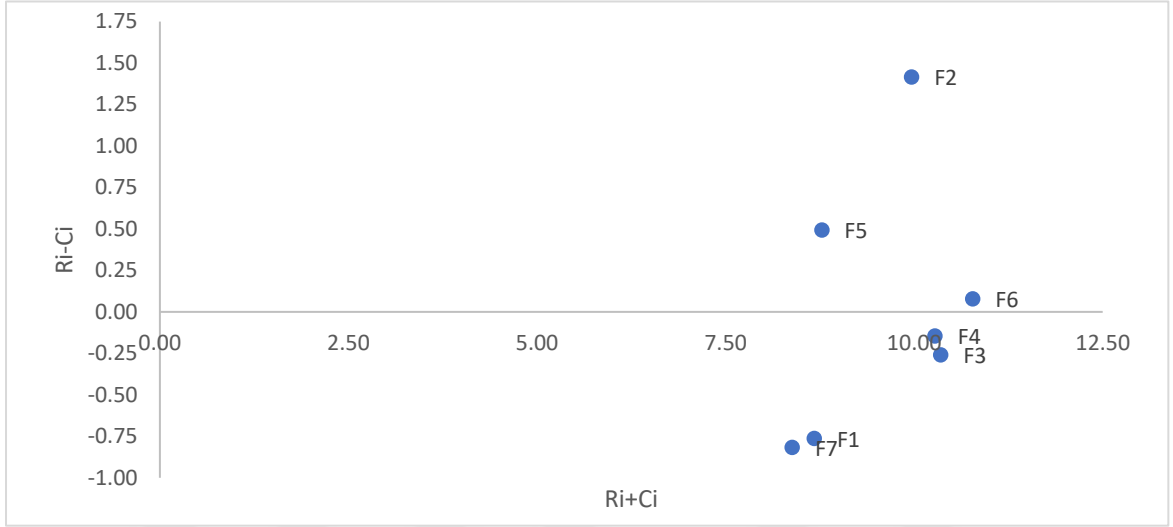
- En önemli kriter *F6* (Güçlü iletişim) olarak belirlenmiştir.
- İkinci sırada *F3* (Scrum ekibi yetkinliği) ve üçüncü sırada *F4* (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü) gelmektedir.

- $F7$ (Projenin uygunluğu) ise en düşük toplam öneme sahip kriterdir.

-

4.1.6. Adım 6: Etki-İlişki Diyagramı Görselleştirilmesi

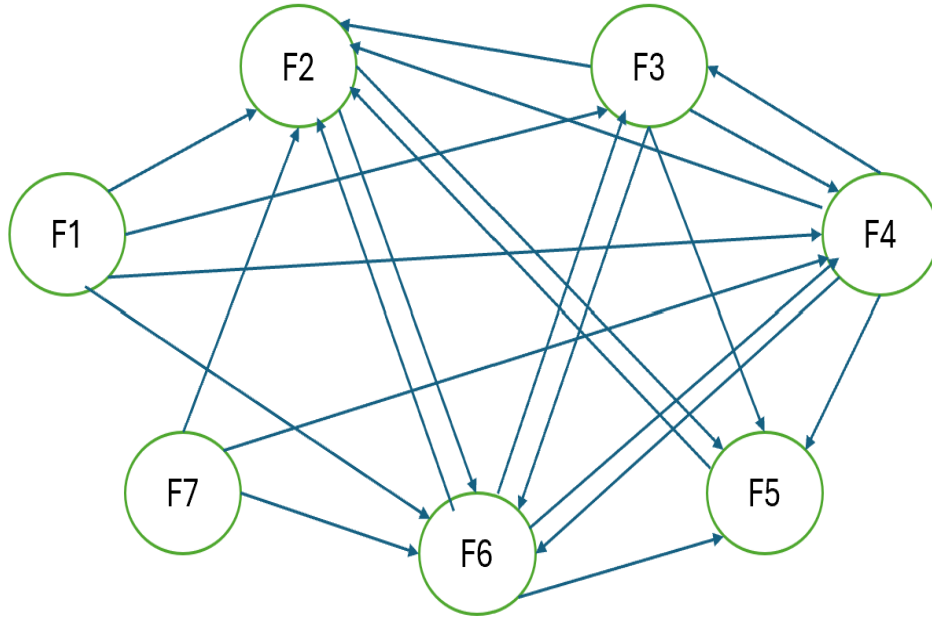
Tablo 4.7’de hesaplanan $r_i + c_j$ ve $r_i - c_j$ değerleri kullanılarak etki-iliski diyagramı Şekil 4.2’de görselleştirilmiştir.



Şekil 4.2 DEMATEL etki-iliski diyagramı

Şekil 4.2’ye bakıldığında $F2$ (Müşteri ile güçlü iş birliği), $F5$ (Doğru ürün tanımının yapılması) ve $F6$ (Güçlü iletişim) faktörlerinin diğer faktörleri etkilediği görülmektedir. $F1$ (Yönetim desteği), $F3$ (Scrum ekibi yetkinliği), $F4$ (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü) ve $F7$ (Projenin uygunluğu)’nin ise diğer faktörlerden etkilendiği görülmektedir.

Şekil 4.3’de DEMATEL yöntemi ile Tablo 4.6 aracılığıyla elde edilen etki ilişki haritası yer almaktadır.



Şekil 4.3 DEMATEL etki-ilişki haritası

Şekil 4.3'e bakıldığında ise;

- *F1 (Yönetim desteği):* F2 (Müşteri ile güçlü iş birliği), F3 (Scrum ekibi yetkinliği), F4 (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü), F6 (Güçlü iletişim) faktörlerini etkilemektedir. Diğer faktörlerden etki almadığı gözlemlenmiştir.
- *F2 (Müşteri ile güçlü iş birliği):* F5 (Doğru ürün tanımının yapılması) ve F6 (Güçlü iletişim) faktörlerini etkilemektedir. Tüm faktörlerden etkilenmektedir.
- *F3 (Scrum ekibi yetkinliği):* F2 (Müşteri ile güçlü iş birliği), F4 (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü), F5 (Doğru ürün tanımının yapılması) ve F6 (Güçlü iletişim) faktörlerini etkilemektedir. F1 (Yönetim desteği), F4 (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü) ve F6 (Güçlü iletişim) faktörlerinden ise etkilenmektedir.
- *F4 (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü):* F2 (Müşteri ile güçlü iş birliği), F3 (Scrum ekibi yetkinliği), F5 (Doğru ürün tanımının yapılması) ve F6 (Güçlü iletişim) faktörlerini etkilemektedir. F1 (Yönetim desteği), F3 (Scrum ekibi yetkinliği), F6 (Güçlü iletişim), F7 (Projenin uygunluğu) faktörlerinden ise etkilenmektedir.
- *F5 (Doğru ürün tanımının yapılması):* F2 (Müşteri ile güçlü iş birliği) faktörünü etkilemektedir. F2 (Müşteri ile güçlü iş birliği), F3 (Scrum ekibi yetkinliği), F4 (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü) ve F7 (Projenin uygunluğu) faktörlerinden etkilenmektedir.

- *F6 (Güçlü iletişim):* *F2* (Müşteri ile güçlü iş birliği), *F3* (Scrum ekibi yetkinliği), *F4* (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü) ve *F5* (Doğru ürün tanımının yapılması) faktörlerini etkilemektedir. *F1* (Yönetim desteği), *F2* (Müşteri ile güçlü iş birliği), *F3* (Scrum ekibi yetkinliği), *F4* (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü) ve *F7* (Projenin uygunluğu) faktörlerinden etkilenmektedir.
- *F7 (Projenin uygunluğu):* *F2* (Müşteri ile güçlü iş birliği), *F4* (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü) ve *F6* (Güçlü iletişim) faktörlerini etkilemektedir. Diğer faktörlerden ise etki almadığı gözlemlenmiştir.

4.2. B-DEMATEL Uygulaması

4.2.1. Adım 1: Kriterlerin Seçimi ve Veri Toplama

Bu adımda öncelikle problem kapsamında değerlendirilecek kriterler belirlenmiştir. Kriterler arasındaki etkileşim derecelerini ölçmek amacıyla karar vericilerin Tablo 4.2'ye göre yaptıkları değerlendirmeler Tablo 3.3 kullanılarak bulanık sayılara dönüştürülmüştür.

Bu çalışmada, değerlendirilen kriterlerin çok boyutlu yapısı ve uzman görüşlerindeki çeşitlilik dikkate alınarak, Tablo 3.3'de verilen ölçek kullanılmıştır [53]. Bu ölçek, yöntemin uygulanabilirliğini artırmıştır.

4.2.2. Adım 2: İlişki Matrisinin Hazırlanması

Tablo 4.2'de verilen karar vericilerin değerlendirme puanları Tablo 3.3'te verilen ölçek göz önünde bulundurularak Tablo 4.8'de verilen bulanık sayılar ile ifade edilir.

Tablo 4.8 Karar verici değerlendirme puanı üçgensel bulanık sayıları

	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>F4</i>	<i>F5</i>	<i>F6</i>	<i>F7</i>
<i>F1</i>	((0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1))	((0.5; 0.55; 0.6), (0.3; 0.4; 0.5), (0.5; 0.55; 0.6), (0.5; 0.6; 0.7))	((0.5; 0.7; 0.9), (0.5; 0.55; 0.6), (0.5; 0.7; 0.9), (0.5; 0.7; 0.9))	((0.9; 1; 1), (0.5; 0.7; 0.9), (0.8; 0.9; 1), (0.8; 0.9; 1))	((0.3; 0.4; 0.5), (0; 0.1; 0.2), (0; 0.1; 0.2), (0.1; 0.3; 0.5))	((0.5; 0.7; 0.9), (0.5; 0.55; 0.6), (0.5; 0.6; 0.7), (0.5; 0.7; 0.9))	((0; 0.1; 0.2), (0; 0.1; 0.2), (0; 0.1; 0.2), (0; 0.1; 0.2))
<i>F2</i>	((0.5; 0.6; 0.7), (0; 0.1; 0.2), (0; 0.1; 0.2), (0.1; 0.3; 0.5))	((0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1))	((0.5; 0.6; 0.7), (0.1; 0.3; 0.5), (0.3; 0.5; 0.7), (0.5; 0.55; 0.6))	((0.5; 0.55; 0.6), (0.3; 0.4; 0.5), (0.3; 0.4; 0.5), (0.3; 0.5; 0.7))	((0.8; 0.9; 1), (0.9; 1; 1), (0.8; 0.9; 1), (0.9; 1; 1))	((0.4; 0.45; 0.5), (0.9; 1; 1), (0.9; 1; 1), (0.8; 0.9; 1))	((0.5; 0.6; 0.7), (0; 0.1; 0.2), (0; 0.1; 0.2), (0; 0.1; 0.2))
<i>F3</i>	((0.5; 0.7; 0.9), (0; 0.1; 0.2), (0; 0.1; 0.2), (0.5; 0.55; 0.6))	((0.5; 0.6; 0.7), (0.8; 0.9; 1), (0.5; 0.7; 0.9), (0.9; 1; 1))	((0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1))	((0.9; 1; 1), (0.5; 0.6; 0.7), (0.5; 0.6; 0.7), (0.5; 0.7; 0.9))	((0.5; 0.6; 0.7), (0.8; 0.9; 1), (0.8; 0.9; 1), (0.1; 0.3; 0.5))	((0.5; 0.7; 0.9), (0.5; 0.7; 0.9), (0.5; 0.7; 0.9), (0.3; 0.5; 0.7))	((0.5; 0.7; 0.9), (0.5; 0.6; 0.7), (0.1; 0.3; 0.5), (0.5; 0.6; 0.7))
<i>F4</i>	((0.5; 0.55; 0.6), (0.5; 0.6; 0.7), (0.5; 0.55; 0.6), (0.4; 0.45; 0.5))	((0.3; 0.4; 0.5), (0.3; 0.4; 0.5), (0.4; 0.45; 0.5), (0.5; 0.6; 0.7))	((0.5; 0.7; 0.9), (0.5; 0.7; 0.9), (0.5; 0.55; 0.6), (0.5; 0.7; 0.9))	((0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1))	((0.3; 0.4; 0.5), (0.3; 0.5; 0.7), (0.3; 0.5; 0.7), (0.5; 0.55; 0.6))	((0.5; 0.7; 0.9), (0.8; 0.9; 1), (0.5; 0.6; 0.7), (0.5; 0.7; 0.9))	((0.5; 0.7; 0.9), (0.4; 0.45; 0.5), (0.5; 0.55; 0.6), (0.5; 0.7; 0.9))
<i>F5</i>	((0.5; 0.6; 0.7), (0; 0.1; 0.2), (0; 0.1; 0.2), (0.8; 0.9; 1))	((0.5; 0.7; 0.9), (0.4; 0.45; 0.5), (0.5; 0.55; 0.6), (0.5; 0.7; 0.9))	((0.3; 0.4; 0.5), (0.5; 0.6; 0.7), (0.5; 0.6; 0.7), (0.1; 0.3; 0.5))	((0.5; 0.6; 0.7), (0.1; 0.3; 0.5), (0; 0.1; 0.2), (0.3; 0.5; 0.7))	((0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1))	((0.4; 0.45; 0.5), (0.3; 0.4; 0.5), (0.5; 0.55; 0.6), (0.5; 0.6; 0.7))	((0.5; 0.6; 0.7), (0.8; 0.9; 1), (0.5; 0.7; 0.9), (0.5; 0.6; 0.7))
<i>F6</i>	((0.3; 0.5; 0.7), (0.5; 0.6; 0.7), (0.8; 0.9; 1), (0.5; 0.55; 0.6))	((0.5; 0.55; 0.6), (0.9; 1; 1), (0.9; 1; 1), (0.9; 1; 1))	((0.5; 0.6; 0.7), (0.5; 0.7; 0.9), (0.5; 0.6; 0.7), (0.5; 0.7; 0.9))	((0.5; 0.6; 0.7), (0.5; 0.6; 0.7), (0.5; 0.55; 0.6), (0.8; 0.9; 1))	((0; 0.1; 0.2), (0.4; 0.45; 0.5), (0.5; 0.6; 0.7), (0.5; 0.6; 0.7))	((0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1))	((0.3; 0.5; 0.7), (0.4; 0.45; 0.5), (0; 0.1; 0.2), (0.5; 0.7; 0.9))
<i>F7</i>	((0.8; 0.9; 1), (0.5; 0.55; 0.6), (0.5; 0.7; 0.9), (0.8; 0.9; 1))	((0.5; 0.6; 0.7), (0.5; 0.6; 0.7), (0.5; 0.7; 0.9), (0.5; 0.7; 0.9))	((0.3; 0.4; 0.5), (0.1; 0.3; 0.5), (0.5; 0.55; 0.6), (0.5; 0.6; 0.7))	((0.5; 0.55; 0.6), (0.3; 0.4; 0.5), (0.4; 0.45; 0.5), (0.5; 0.55; 0.6))	((0.4; 0.45; 0.5), (0.5; 0.6; 0.7), (0.5; 0.55; 0.6), (0.5; 0.6; 0.7))	((0.1; 0.3; 0.5), (0.1; 0.3; 0.5), (0.4; 0.45; 0.5), (0.3; 0.4; 0.5))	((0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1), (0; 0; 0.1))

Grup karar vericilerinin değerlendirmelerinden oluşturulan bulanık başlangıç doğrudan ilişki matrisi ($\tilde{E}$), Tablo 4.8’de yer alan sayılar üzerinden eşitlik (3.20) kullanılarak Tablo 4.9’da oluşturulmuştur ve ondalık sayılara yuvarlanmıştır. Bu matris, kriterler arasındaki etkileşimleri bulanık sayılar şeklinde gösterir.

Tablo 4.9 B-DEMATEL Bulanık başlangıç doğrudan ilişki matrisi ($\tilde{E}$)

	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>F4</i>	<i>F5</i>	<i>F6</i>	<i>F7</i>
<i>F1</i>	(0, 0, 0.1)	(0.4, 0.5, 0.6)	0.5, 0.7, 0.8)	(0.7, 0.9, 1)	(0, 0.2, 0.3)	(0.5, 0.6, 0.8)	(0, 0.1, 0.2)
<i>F2</i>	(0, 0.2, 0.3)	(0, 0, 0.1)	(0.3, 0.5, 0.6)	(0.3, 0.5, 0.6)	(0.8, 0.9, 1)	(0.7, 0.8, 0.8)	(0, 0.2, 0.3)
<i>F3</i>	(0, 0.2, 0.4)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0, 0, 0.1)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.3, 0.5, 0.7)
<i>F4</i>	(0.5, 0.5, 0.6)	(0.4, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.7, 0.8)	(0, 0, 0.1)	(0.3, 0.5, 0.6)	(0.6, 0.7, 0.9)	(0.5, 0.6, 0.7)
<i>F5</i>	(0, 0.3, 0.4)	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.3, 0.5, 0.6)	(0, 0.3, 0.5)	(0, 0, 0.1)	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.6, 0.7, 0.8)
<i>F6</i>	(0.5, 0.6, 0.7)	(0.8, 0.9, 0.9)	(0.5, 0.6, 0.8)	(0.6, 0.6, 0.7)	(0, 0.4, 0.5)	(0, 0, 0.1)	(0, 0.4, 0.5)
<i>F7</i>	(0.6, 0.7, 0.9)	(0.5, 0.6, 0.8)	(0.3, 0.4, 0.6)	(0.4, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.6)	(0.2, 0.4, 0.5)	(0, 0, 0.1)

4.2.3. Adım 3: Normalizasyon

Başlangıç bulanık direkt-ilişki matrisi ($\tilde{E}$) kullanılarak normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisi ($\tilde{F}$)'in oluşturulabilmesi için, öncelikle $\tilde{\beta}_i$ ve γ değerleri bulunmalıdır.

Her faktör i ($Fi, i = 1, 2, \dots, 7$) için, bulanık doğrudan ilişki matrisinin sütunları toplanarak $\tilde{\beta}_i, i = 1, 2, \dots, 7$ değerleri eşitlik 3.21 kullanılarak hesaplanır. Sonuçta, $\tilde{\beta}_1 = (2.1, 3, 3.7)$, $\tilde{\beta}_2 = (2.1, 3.1, 3.6)$, $\tilde{\beta}_3 = (2.4, 3.4, 4.5)$, $\tilde{\beta}_4 = (2.8, 3.5, 4.1)$, $\tilde{\beta}_5 = (1.8, 2.9, 3.6)$, $\tilde{\beta}_6 = (2.4, 3.5, 4.1)$ ve $\tilde{\beta}_7 = (2.5, 3.1, 3.9)$ bulunur. Bulunan $\tilde{\beta}_i, i = 1, 2, \dots, 7$ bulanık sayıları göz önünde bulundurulduğunda eşitlik 3.22 kullanılarak γ değeri 4.5 olarak hesaplanmıştır.

Bulanık doğrudan matrisinin elemanları olan $\tilde{e}_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, 7$ değerlerinin γ 'ye bölünmesiyle bulanık normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisinin elemanları $\tilde{f}_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, 7$ değerleri eşitlik 3.23 kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen $\tilde{F}$ matrisi Tablo 4.10'de verilmiştir.

Tablo 4.10 B-DEMATEL Normalleştirilmiş Doğrudan İlişki Bulanık Matrisi ($\tilde{F}$)

	$F1$	$F2$	$F3$	$F4$	$F5$	$F6$	$F7$
$F1$	(0.0000, 0.0000, 0.0222)	(0.0889, 0.1111, 0.1333)	(0.1111, 0.1556, 0.1778)	(0.1556, 0.2000, 0.2222)	(0.0000, 0.0444, 0.0667)	(0.1111, 0.1333, 0.1778)	(0.0000, 0.0222, 0.0444)
$F2$	(0.0000, 0.0444, 0.0667)	(0.0000, 0.0000, 0.0222)	(0.0667, 0.1111, 0.1333)	(0.0667, 0.1111, 0.1333)	(0.1778, 0.2000, 0.2222)	(0.1556, 0.1778, 0.1778)	(0.0000, 0.0444, 0.0667)
$F3$	(0.0000, 0.0444, 0.0889)	(0.1556, 0.1778, 0.2000)	(0.0000, 0.0000, 0.0222)	(0.1333, 0.1556, 0.1778)	(0.0889, 0.1333, 0.1778)	(0.0889, 0.1333, 0.1778)	(0.0667, 0.1111, 0.1556)
$F4$	(0.1111, 0.1111, 0.1333)	(0.0889, 0.1111, 0.1111)	(0.1111, 0.1556, 0.1778)	(0.0000, 0.0000, 0.0222)	(0.0667, 0.1111, 0.1333)	(0.1333, 0.1556, 0.2000)	(0.1111, 0.1333, 0.1556)
$F5$	(0.0000, 0.0667, 0.0889)	(0.1111, 0.1333, 0.1556)	(0.0667, 0.1111, 0.1333)	(0.0000, 0.0667, 0.1111)	(0.0000, 0.0000, 0.0222)	(0.0889, 0.1111, 0.1333)	(0.1333, 0.1556, 0.1778)
$F6$	(0.1111, 0.1333, 0.1556)	(0.1778, 0.2000, 0.2000)	(0.1111, 0.1333, 0.1778)	(0.1333, 0.1333, 0.1556)	(0.0000, 0.0889, 0.1111)	(0.0000, 0.0000, 0.0222)	(0.0000, 0.0889, 0.1111)
$F7$	(0.1333, 0.1556, 0.2000)	(0.1111, 0.1333, 0.1778)	(0.0667, 0.0889, 0.1333)	(0.0889, 0.1111, 0.1111)	(0.1111, 0.1111, 0.1333)	(0.0444, 0.0889, 0.1111)	(0.0000, 0.0000, 0.0222)

4.2.4. Adım 4: Toplam İlişki-Bulanık Matrisinin Hesaplanması

Normalize edilmiş ilişki matrisi kullanılarak eşitlik (3.25) doğrultusunda, kriterler arasındaki toplam etkileşim değerlerini içeren toplam bulanık ilişki matrisi ($\tilde{T}$) elde edilmiştir. Elde edilen matris eşitlik 3.26'da belirtildiği üzere Tablo 4.11'de sunulmuştur.

Tablo 4.11 B-DEMATEL Toplam İlişki Bulanık Matrisi ($\tilde{T}$)

	$F1$	$F2$	$F3$	$F4$	$F5$	$F6$	$F7$
$F1$	(0.0549, 0.1981, 0.9052)	(0.1930, 0.4103, 1.2851)	(0.1866, 0.4115, 1.2757)	(0.2333, 0.4504, 1.2841)	(0.0718, 0.3028, 1.1077)	(0.2034, 0.4121, 1.3319)	(0.0479, 0.2343, 0.9343)
$F2$	(0.0479, 0.2453, 0.9129)	(0.1099, 0.3167, 1.1413)	(0.1387, 0.3731, 1.1895)	(0.1356, 0.3709, 1.1594)	(0.2247, 0.4339, 1.1942)	(0.2308, 0.4457, 1.2765)	(0.0543, 0.2619, 0.9235)
$F3$	(0.0601, 0.2646, 1.0983)	(0.2591, 0.4939, 1.5079)	(0.0875, 0.2963, 1.2947)	(0.2077, 0.4318, 1.3947)	(0.1697, 0.4071, 1.3520)	(0.1917, 0.4378, 1.4920)	(0.1182, 0.3316, 1.1552)
$F4$	(0.1717, 0.3277, 1.0861)	(0.2233, 0.4518, 1.3716)	(0.2051, 0.4414, 1.3672)	(0.1151, 0.3111, 1.2014)	(0.1498, 0.3896, 1.2484)	(0.2410, 0.4615, 1.4411)	(0.1575, 0.3528, 1.1015)
$F5$	(0.0468, 0.2542, 0.9369)	(0.1946, 0.4117, 1.2592)	(0.1256, 0.3530, 1.1882)	(0.0722, 0.3213, 1.1422)	(0.0682, 0.2464, 1.0228)	(0.1583, 0.3722, 1.2393)	(0.1588, 0.3330, 1.0079)
$F6$	(0.1553, 0.3403, 1.0917)	(0.2773, 0.5185, 1.4312)	(0.1936, 0.4240, 1.3595)	(0.2217, 0.4287, 1.3137)	(0.0868, 0.3758, 1.2295)	(0.1171, 0.3302, 1.2849)	(0.0491, 0.3116, 1.0558)
$F7$	(0.1773, 0.3376, 1.0806)	(0.2201, 0.4253, 1.3479)	(0.1536, 0.3550, 1.2619)	(0.1770, 0.3774, 1.2187)	(0.1817, 0.3563, 1.1853)	(0.1542, 0.3733, 1.3003)	(0.0541, 0.2048, 0.9217)

4.2.5. Adım 5: Durulaştırma

Bulanık değerler, Eşitlik 3.27'de belirtilen durulaştırma yöntemi ile tekil değerlere dönüştürülmüştür. Elde edilen T matrisi Tablo 4.12'de verilmiştir. Eşitlik 3.8 kullanılarak eşik değeri 0,5732 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.12 B-DEMATEL Durulaştırma Sonrası T-matrisi

	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>F4</i>	<i>F5</i>	<i>F6</i>	<i>F7</i>
<i>F1</i>	0,3861	0,6295	0,6246	0,6559	0,4941	0,6491	0,4055
<i>F2</i>	0,4020	0,5226	0,5671	0,5553	0,6176	0,6510	0,4132
<i>F3</i>	0,4743	0,7536	0,5595	0,6781	0,6429	0,7072	0,5350
<i>F4</i>	0,5285	0,6822	0,6712	0,5425	0,5959	0,7145	0,5373
<i>F5</i>	0,4126	0,6218	0,5556	0,5119	0,4458	0,5899	0,4999
<i>F6</i>	0,5291	0,7423	0,6590	0,6547	0,5640	0,5708	0,4722
<i>F7</i>	0,5318	0,6644	0,5902	0,5910	0,5744	0,6093	0,3935

Eşik değer, kriterler arasındaki anlamlı etkilerin belirlenmesi için referans noktası olarak kullanılmıştır. Tablo 4.12 B-DEMATEL Durulaştırma Sonrası T-matrisi Tablo 4.12’de eşik değeri aşan değerler kırmızı ile işaretlenmiştir. İşaretlenmiş bu değerler, satırdaki faktörlerin sütundaki faktörlere etkisi olduğunu göstermektedir.

4.2.6. Adım 6: Etki-İlişki Diyagramı Oluşturulması

Durulaştırma sonuçları kullanarak, kriterlerin önem dereceleri ve etkileşim seviyeleri eşitlik 3.28 ve eşitlik 3.29 kullanılarak analiz edilmiştir. Kriterler önem sıralamalarına göre listelenmiş ve bu sıralama Tablo 4.13’de sunulmuştur. Elde edilen değerler görsel olarak B-DEMATEL etki-ilişki diyagramı şekil 4.4’te ve B-DEMATEL Etki-ilişki haritası şekil 4.5 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 4.13 B-DEMATEL Önem, etkileşim, ağırlıklar ve sıralama tablosu

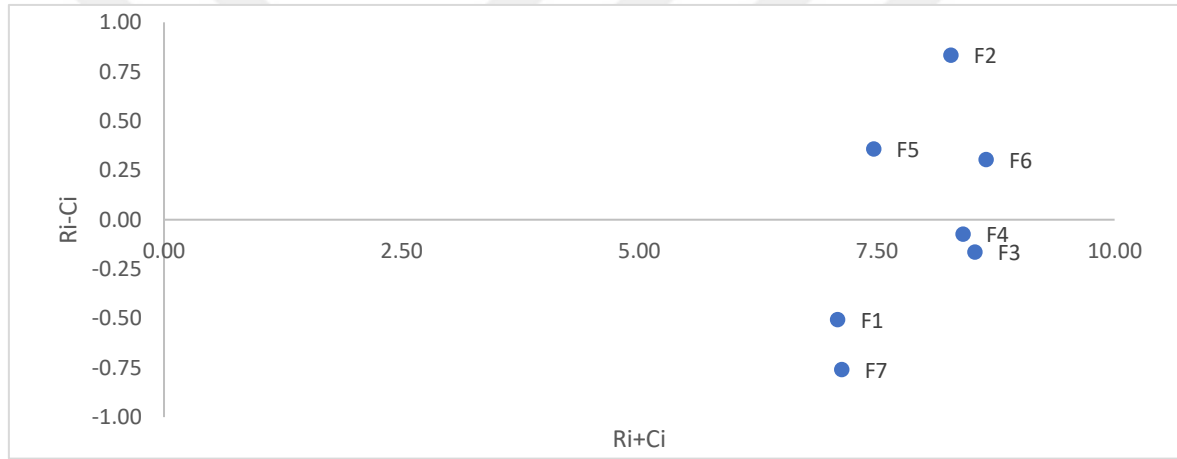
	c_j	r_i	$r_i + c_j$	$r_i - c_j$	d_i	w_i	Sıralama
<i>F1</i>	3,8448	3,2645	7,1093	-0,5803	25,4394	0,1128	7
<i>F2</i>	3,7289	4,6166	8,3455	0,8877	35,2177	0,1562	4
<i>F3</i>	4,3506	4,2272	8,5778	-0,1234	36,7969	0,1632	2
<i>F4</i>	4,2722	4,1895	8,4617	-0,0827	35,8036	0,1588	3
<i>F5</i>	3,6376	3,9348	7,5724	0,2972	28,7148	0,1273	5
<i>F6</i>	4,1657	4,4653	8,6310	0,2996	37,2920	0,1654	1
<i>F7</i>	3,9547	3,2566	7,2113	-0,6981	26,2451	0,1164	6

Sıralama sonuçlarına göre:

- En önemli kriter *F6* (Güçlü iletişim) olarak belirlenmiştir.
- İkinci sırada *F3* (Scrum ekibi yetkinliği) ve üçüncü sırada *F4* (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü) gelmektedir.
- *F1* (Yönetim desteği) ise en düşük toplam öneme sahip kriter olarak sıralanmıştır.

4.2.7. Adım 7: Etki-İlişki Diyagramı Görselleştirilmesi

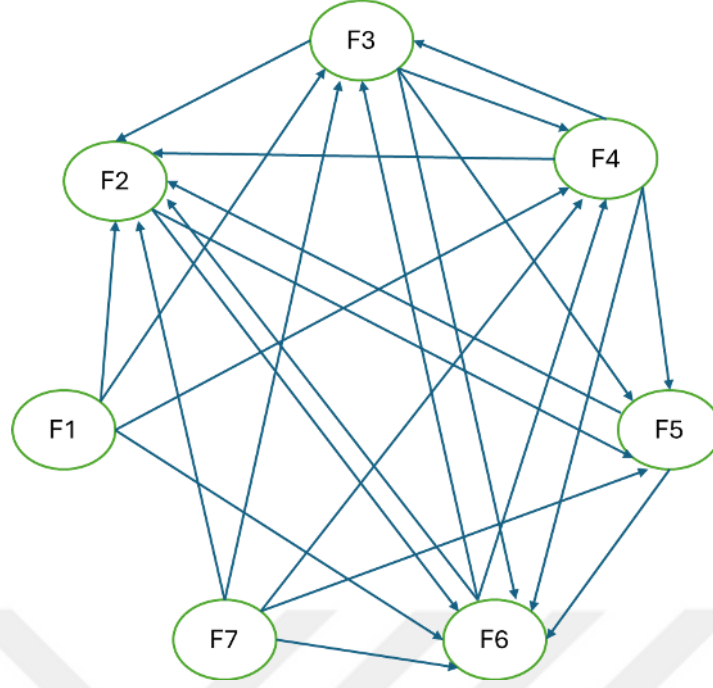
Tablo 4.13'te hesaplanan $r_i + c_j$ ve $r_i - c_j$ değerleri kullanılarak etki-ilişki diyagramı Şekil 4.4'te görselleştirilmiştir.



Şekil 4.4 B-DEMATEL etki-ilişki diyagramı

Şekil 4.4'e bakıldığında *F2* (Müşteri ile güçlü iş birliği), *F5* (Doğru ürün tanımının yapılması) ve *F6* (Güçlü iletişim) faktörlerinin diğer faktörleri etkilediği görülmektedir. Diğer açıdan ele alındığında *F1* (Yönetim desteği), *F3* (Scrum ekibi yetkinliği), *F4* (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü) ve *F7* (Projenin uygunluğu) faktörlerinin diğer faktörlerden etkilendiği görülmektedir.

Şekil 4.5'de ise B-DEMATEL yöntemi ile Tablo 4.12 aracılığıyla elde edilen etki-ilişki haritası yer almaktadır.



Şekil 4.5 B-DEMATEL etki-ilişki haritası

Şekil 4.5'e bakıldığında;

- *F1 (Yönetim desteği):* *F2 (Müşteri ile güçlü iş birliği)*, *F3 (Scrum ekibi yetkinliği)*, *F4 (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü)*, *F6 (Güçlü iletişim)* faktörlerini etkilemektedir. Diğer faktörlerden etki almadığı gözlemlenmiştir.
- *F2 (Müşteri ile güçlü iş birliği):* *F5 (Doğru ürün tanımının yapılması)* ve *F6 (Güçlü iletişim)* faktörlerini etkilemektedir. Tüm faktörlerden etkilenmektedir.
- *F3 (Scrum ekibi yetkinliği):* *F2 (Müşteri ile güçlü iş birliği)*, *F4 (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü)*, *F5 (Doğru ürün tanımının yapılması)* ve *F6 (Güçlü iletişim)* faktörlerini etkilemektedir. *F1 (Yönetim desteği)*, *F4 (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü)*, *F6 (Güçlü iletişim)* ve *F7 (Projenin uygunluğu)* faktörlerinden ise etkilenmektedir.
- *F4 (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü):* *F2 (Müşteri ile güçlü iş birliği)*, *F3 (Scrum ekibi yetkinliği)*, *F5 (Doğru ürün tanımının yapılması)* ve *F6 (Güçlü iletişim)* faktörlerini etkilemektedir. *F1 (Yönetim desteği)*, *F3 (Scrum ekibi yetkinliği)*, *F6 (Güçlü iletişim)*, *F7 (Projenin uygunluğu)* faktörlerinden ise etkilenmektedir.
- *F5 (Doğru ürün tanımının yapılması):* *F2 (Müşteri ile güçlü iş birliği)* ve *F6 (Güçlü iletişim)* faktörlerini etkilemektedir. *F2 (Müşteri ile güçlü iş birliği)*, *F3 (Scrum ekibi yetkinliği)*, *F4 (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon*

kültürü) ve *F7* (Projenin uygunluğu) faktörlerinden etkilenmektedir.

- *F6* (Güçlü iletişim): *F2* (Müşteri ile güçlü iş birliği), *F3* (Scrum ekibi yetkinliği), ve *F4* (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü) faktörlerini etkilemektedir. Tüm faktörlerden etkilenmektedir.
- *F7* (Projenin uygunluğu): *F2* (Müşteri ile güçlü iş birliği), *F3* (Scrum ekibi yetkinliği), *F4* (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü), *F5* (Doğru ürün tanımının yapılması) ve *F6* (Güçlü iletişim) faktörlerini etkilemektedir. Diğer faktörlerden ise etki almadığı gözlemlenmiştir.

4.3. DEMATEL ve B-DEMATEL Yöntemlerinin Karşılaştırılması

DEMATEL ve B-DEMATEL analizlerinde de *F6* (Güçlü İletişim) en önemli faktör olarak belirlenmiştir. Her iki analizde de *F2* (Müşteri ile Güçlü İş Birliği), *F5* (Doğru Ürün Tanımı) ve *F6* (Güçlü İletişim) etkileyici faktörler olarak değerlendirilirken, *F1* (Yönetim Desteği), *F3* (Scrum Ekibi Yetkinliği), ve *F4* (Scrum Çerçevesini Destekleyen Organizasyon Kültürü), *F7* (Projenin uygunluğu) etkilenen faktörler olarak tanımlanmıştır.

DEMATEL yönteminde, etkileşim dereceleri uzmanlar tarafından doğrudan verilen sayısal değerlerle (0-10 ölçeği) kullanılmıştır. B-DEMATEL’de ise belirsizliği ve uzmanlar arası farklılıkları hesaba katmak için üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Bu yöntem, daha geniş bir görüş spektrumu sunmuş ve dilsel belirsizlikleri azaltmıştır. B-DEMATEL yönteminde, bulanık değerlerin tekil değerlere indirgenmesi için durulaştırma işlemi yapılmıştır. Bu süreç, sonuçları daha kesin hale getirmiş ve yorumlamayı kolaylaştırmıştır.

DEMATEL sonuçlarına göre sıralama $F6 > F3 > F4 > F2 > F5 > F1 > F7$ şeklindedir. B-DEMATEL sonuçlarına göre sıralama $F6 > F3 > F4 > F2 > F5 > F7 > F1$ şeklindedir. Görüldüğü üzere iki yöntemde de öncelikli faktörler aynı olup *F1* ve *F7* sıralamalarında farklılıklar bulunmaktadır. Bu durum, sistemin temel dinamiklerinin korunduğunu göstermektedir.

DEMATEL ve B-DEMATEL yöntemlerinin sonuçlarına ilişkin kıyaslama tablosu Tablo 4.14’te verilmiştir.

Tablo 4.14 DEMATEL ve B-DEMATEL Sonuçları Kıyaslama Tablosu

	DEMATEL				B-DEMATEL			
	$r_i + c_j$	$r_i - c_j$	w_i	Sıralama	$r_i + c_j$	$r_i - c_j$	w_i	Sıralama
<i>F1</i>	7,2210	-0,7625	0,1292	6	7,1093	-0,5803	0,1128	7
<i>F2</i>	10,3063	1,4147	0,1493	4	8,3455	0,8877	0,1562	4
<i>F3</i>	9,2726	-0,2601	0,1536	2	8,5778	-0,1234	0,1632	2
<i>F4</i>	9,2547	-0,1466	0,1525	3	8,4617	-0,0827	0,1588	3
<i>F5</i>	8,5692	0,4936	0,1304	5	7,5724	0,2972	0,1273	5
<i>F6</i>	9,8916	0,0772	0,1599	1	8,6310	0,2996	0,1654	1
<i>F7</i>	7,0398	-0,8163	0,1250	7	7,2113	-0,6981	0,1164	6

Tablo 4.14 incelendiğinde şu çıkarımlar yapılabilmektedir:

- $r_i + c_j$ değerleri kıyaslandığında B-DEMATEL’de faktörlerin toplam önem düzeyinin daha dar bir aralıkta toplandığı görülmektedir.
- $r_i - c_j$ değerleri kıyaslandığında ise B-DEMATEL uygulamasında DEMATEL’e kıyasla sistemdeki faktörler arasındaki ilişkinin zayıfladığı görülmektedir.
- w_i değerlerine bakıldığında ise ağırlık sıralamalarının her iki yöntemde benzer, temel dinamiklerin ise sabit kaldığı görülmüştür.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.5 incelendiğinde, faktörlerin birbirleri arasındaki etki seviyeleri her iki yöntemde de oldukça benzer görünmektedir. Farklı olarak; B-DEMATEL yönteminde *F7* (Projenin uygunluğu) faktörü *F3* (Scrum Ekibi Yetkinliği) ve *F5* (Doğru Ürün Tanımı) faktörlerini etkilerken aynı ilişkiye DEMATEL analizinde rastlanmamıştır. Bir diğer farklılık olarak B-DEMATEL yönteminde *F5* (Doğru Ürün Tanımı) faktörünün *F6* (Güçlü İletişim) üzerinde etkisi olduğu görülürken DEMATEL yönteminde bu ilişkiye rastlanmamıştır.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Savunma sektöründe kullanılan elektronik test donanımları, askeri sistemlerin güvenilirliğini, doğruluğunu ve performansını değerlendirmek için kritik bir rol oynar. Bu donanımlar, radar, haberleşme, aviyonik, silah sistemleri ve çevresel dayanıklılık gibi alanlarda geniş bir yelpazeye yayılır. Uydu ve insansız hava araçları gibi ileri teknolojiler için yer kontrol istasyonları ve simülasyon sistemleri, kritik test çözümleri sunmaktadır. Bu sistemlerin geliştirilmesinde askeri standartlara uyumluluk, yüksek hassasiyet, çevresel dayanıklılık, güvenilirlik ve modüler tasarım gibi kriterler öncelikli değerlendirme ölçütleri arasında yer alır.

Savunma sanayinde elektronik test donanımlarının geliştirilmesi sürecinde, çevik proje yönetimi yaklaşımı, yenilikçi çözümler üretebilme ve hızla değişen gereksinimlere uyum sağlayabilme açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Savunma projeleri genellikle yüksek karmaşıklığa ve uzun geliştirme döngülerine sahiptir. Çevik metodolojiler, geleneksel yöntemlerin aksine, yüksek karmaşıklığa sahip savunma projelerinde daha kısa geliştirme döngüleri, hızlı prototipleme ve dinamik geri bildirim süreçleri sağlamaktadır. Bu yaklaşım, risklerin erken aşamada tespit edilmesine ve etkin bir şekilde yönetilmesine olanak tanır. Bu süreçte, geleneksel yöntemlerin aksine çevik proje yönetimi, müşteri beklentilerindeki ani değişikliklere ve teknolojik yeniliklere hızlı adaptasyon yeteneği ile öne çıkmaktadır, küçük ve yönetilebilir adımlar halinde sürekli teslimat ve iyileştirme sağlayarak süreci daha esnek ve verimli hale getirir.

Bu çalışma, savunma sanayinde elektronik test donanımları geliştiren bir firmada çevik proje yönetiminin etkili bir şekilde uygulanabilmesi için gerekli kritik başarı faktörlerini belirlemeyi ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerini analiz etmeyi amaçlamıştır. İlk aşamada, literatürde çevik proje yönetiminin başarısını etkileyen faktörler sistematik bir şekilde incelenmiş ve uzman görüşleri doğrultusunda yedi kritik başarı faktörü belirlenmiştir. *F1* (Yönetim desteği), *F2* (Müşteri ile güçlü iş birliği), *F3* (Scrum ekibi yetkinliği), *F4* (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü), *F5* (Doğru ürün tanımının yapılması), *F6* (Güçlü iletişim) ve *F7* (Projenin uygunluğu) kriterleri bu süreçte öne çıkan faktörler olarak belirlenmiştir.

Analiz sürecinde, DEMATEL ve B-DEMATEL yöntemleri, faktörlerin karşılıklı

etkilerini ve bu etkilerin karar süreçlerindeki ağırlıklarını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Analiz sonuçları, her iki yöntemin tutarlı sonuçlar sunduğunu, ancak B-DEMATEL'in bulanık mantık yaklaşımı sayesinde daha ayrıntılı içgörüler sağladığını ortaya koymuştur. DEMATEL ve B-DEMATEL yöntemleriyle yapılan sıralamalar, her iki yaklaşımda da *F6* (Güçlü iletişim) faktörünün en önemli kriter olarak belirlendiğini göstermektedir. İkinci sırada *F3* (Scrum ekibi yetkinliği) ve üçüncü sırada *F4* (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü) gelmektedir. Bu sıralama, iletişim ve ekip yetkinliklerinin öncelikli olarak ele alınması gerektiğini, organizasyon kültürünün ise bu süreçlere destekleyici bir yapı sunması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Analizler sonucu, *F2* (Müşteri ile Güçlü İş Birliği), *F5* (Doğru ürün tanımının yapılması) ve *F6* (Güçlü iletişim) faktörlerinin diğer faktörleri etkilediği görülmektedir. Bu sonuçlar, etkileyen faktörlerin bir organizasyonda stratejik yönlendirme, ekip yetkinlikleri ve organizasyonel kültür gibi temeller üzerine inşa edilmesi gerektiğini doğrulamaktadır. *F1* (Yönetim desteği), *F3* (Scrum ekibi yetkinliği), *F4* (Scrum çerçevesini destekleyen bir organizasyon kültürü) ve *F7* (Projenin uygunluğu) faktörlerinin ise diğer faktörlerden etkilenici grupta yer aldığı görülmüştür. Bu faktörler, doğrudan etkilenme seviyeleri ile, projenin nihai başarısına yönelik çıkış parametreleri olarak değerlendirilebilir. Öte yandan her iki analizde de *F1* (Yönetim desteği) ve *F7* (Projenin uygunluğu) faktörlerinin diğer faktörlerden doğrudan bir etki almadığı görülmüştür ve bu sebeple iki faktörün sistemden etkilenme seviyesi bakımından bağımsızdır.

DEMATEL analizi, faktörlerin birbirini nasıl etkilediğini net bir şekilde tanımlarken, B-DEMATEL analizi, bu ilişkilerdeki belirsizlikleri ve gri alanları daha iyi modellemiştir. Bu durum, bulanık yöntemin daha esnek bir karar analizi sunduğunu göstermektedir. B-DEMATEL yönteminde *F7* (Projenin uygunluğu) faktörü *F3* (Scrum Ekibi Yetkinliği) ve *F5* (Doğru Ürün Tanımı) faktörlerini etkilerken aynı ilişkiye DEMATEL analizinde rastlanmamıştır. Bir diğer farklılık olarak B-DEMATEL yönteminde *F5* (Doğru Ürün Tanımı) faktörünün *F6* (Güçlü İletişim) üzerinde etkisi olduğu görülürken DEMATEL yönteminde bu ilişkiye rastlanmamıştır. Bu farklılık, bulanık analizin örgütsel faktörlerin karşılıklı etkilerini daha detaylı ele alabileceğini göstermektedir.

Savunma sektöründe ürün geliştirmesi yapılırken yazılımdaki alışılğelen çevik uygulamaların yerine tüm paydaşlar ile etkili bir iş birliğı ve iletişim önem kazanmaktadır. Altyüklenici ve tedarikçi yönetimi, şirket içi ekipler arası koordinasyon ile müşteri beklentilerine sürekli yanıt verme süreci ürün geliştirme sürecini karmaşıklaştırmaktadır. Tüm bu süreçlerde kurulması gereken güçlü iletişim, sektör uzmanları tarafından da vurgulanmaktadır. Ofori, Gana'daki organizasyonların proje yönetimindeki kritik başarı faktörlerini incelemiş, yaptığı çalışmada güçlü iletişim ilk sırayı almıştır [56]. Weichbroth'un, çevik teknik ve uygulamaların donanım geliştirmeye uygulanmasının iş dünyası üzerinde sağladığı faydalarda odaklandığı temel unsurlardan biri de güçlü iletişim olmuştur [21]. Etki eden ve etkilenen faktörlerin her iki analizde aynı sonuçları vermesi sonuçların tutarlı olduğunun göstergesidir. Sonuçlara bakılarak firma uzmanlarınca daha önce detaylı ele alınmayan çevik proje yönetimi yaklaşımında kullanılan takım anayasası (team charter) belgesinin işletilmesinin ve kapsayıcılığının artırılmasının bir yol haritası görevi görerek tüm paydaşların aynı anlayış ve beklentiyle hareket etmesini destekleyeceğı, iletişimi güçlendireceğı, organizasyon kültürünün oluşmasını kolaylaştıracığı değerlendirilmiştir.

Bu çalışmanın, mevcut literatüre aşağıdaki katkıları sağladığı düşünölmektedir:

- I. Bu çalışma, elektronik test donanımlarının çevik proje yönetimiyle geliştirilmesinde kritik başarı faktörlerinin belirlenmesi ve bu doğrultuda DEMATEL ve B-DEMATEL yöntemlerinin uygulanması açısından literatüre özgün bir katkı sağlamaktadır.
- II. Çevik proje yönetiminin kritik başarı faktörlerini araştıran makaleler olsa dahi elektronik test donanımlarının geliştirilmesine etki eden kritik başarı faktörleri üzerinde bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu açılardan çalışma anlamlı olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmanın sonuçları, sadece elektronik test donanımlarının çevik proje yönetimiyle geliştirilmesinde kritik başarı faktörlerini netleştirmekle kalmayıp, aynı zamanda farklı sektörlere ve firmalara uygulanabilir bir yol haritası sunma potansiyeline de sahiptir. Özellikle, benzer karmaşıklığa sahip ürünlerin veya projelerin yönetiminde kullanılan yöntemlerin sektörel farklılıklara göre uyarlanmasıyla, elde edilen bulgular daha geniş bir yelpazede değerlendirilebilir.

Bunun yanı sıra, çalışmanın sonuçları, sektörel sınırların ötesine geçerek operasyonel süreç iyileştirmeleri veya kurumsal dönüşüm projelerinin yönetiminde de yol gösterici olabilir. Ayrıca, aynı sektörde faaliyet gösteren farklı firmaların kritik başarı faktörlerini analiz etmek, sektörel standartların oluşturulması veya iyileştirilmesine yönelik faydalı bilgiler sunabilir. Çalışmanın uluslararası boyutta ele alınması da farklı coğrafyalardaki proje yönetimi dinamiklerini daha iyi anlamayı sağlayabilir ve küresel ölçekte rekabet eden firmaların başarı faktörlerine ilişkin önemli çıkarımlarda bulunulmasına katkı sağlayabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma, kullanılan yaklaşım ve elde edilen bulgularıyla diğer firmalar ve sektörler için örnek teşkil edebilir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, metodolojinin farklı sektörlerle uyarlanmasıyla daha kapsamlı sonuçlara ulaşabilir ve literatüre daha geniş bir katkı sunabilir. Bu nedenle, çalışmanın hem akademik hem de pratik anlamda genişletilebilir bir yapıya sahip olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Project Management Institute (PMI), *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*, 6th ed. USA: Project Management Institute, 2017.
- [2] T. Thesing, C. Feldmann, and M. Burchardt, "Agile versus Waterfall Project Management: Decision model for selecting the appropriate approach to a project," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2021, pp. 746–756. doi: 10.1016/j.procs.2021.01.227.
- [3] H. Kerzner, *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling, 13th Edition*, 12th ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2017.
- [4] K. Petersen, C. Wohlin, and D. Baca, "The Waterfall Model in Large-Scale Development," 2009, pp. 386–400. doi: 10.1007/978-3-642-02152-7_29.
- [5] G. Garel, "A history of project management models: From pre-models to the standard models," *International Journal of Project Management*, vol. 31, pp. 663–669, 2013, doi: 10.1016/j.ijproman.2012.12.011.
- [6] "Manifesto for Agile Software Development." Accessed: Nov. 29, 2024. [Online]. Available: <https://agilemanifesto.org/iso/en/manifesto.html>
- [7] R. G. Cooper and A. F. Sommer, "The Agile–Stage-Gate Hybrid Model: A Promising New Approach and a New Research Opportunity," *Journal of Product Innovation Management*, vol. 33, pp. 513–526, Sep. 2016, doi: 10.1111/jpim.12314.
- [8] A. MacCormack, W. Crandall, P. Henderson, and P. Toft, "Do you need a new product-development strategy?," *Research Technology Management*, vol. 55, pp. 34–43, Jan. 2012, doi: 10.5437/08956308X5501014.
- [9] K. Schwaber and J. Sutherland, "The Scrum Guide," Nov. 2020. Accessed: Nov. 29, 2024. [Online]. Available: <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-US.pdf#zoom=100>
- [10] M. V. Zelkowitz, *Advances in Computers*, 1st ed., vol. 62. Great Britain: ELSEVIER, 2004.

- [11] M. Hron and N. Obwegeser, “Why and how is Scrum being adapted in practice: A systematic review,” *Journal of Systems and Software*, vol. 183, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.jss.2021.111110.
- [12] M. Lage Junior and M. Godinho Filho, “Variations of the kanban system: Literature review and classification,” May 2010. doi: 10.1016/j.ijpe.2010.01.009.
- [13] A. Shrivastava, I. Jaggi, N. Katoch, D. Gupta, and S. Gupta, “A Systematic Review on Extreme Programming,” in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Jul. 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1969/1/012046.
- [14] H. Carvalho, S. Duarte, and V. C. Machado, “Lean, agile, resilient and green: Divergencies and synergies,” *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 2, pp. 151–179, Jan. 2011, doi: 10.1108/20401461111135037.
- [15] S. R. Palmer, *A practical guide to feature-driven development*. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall PTR, 2002.
- [16] F. Anwer, S. Aftab, and U. Waheed, “Agile Software Development Models TDD, FDD, DSDM, and Crystal Methods: A Survey,”
- [17] J. Stapleton, *DSDM: Dynamic Systems Development Method - The Method in Practice*, 1st ed. Harlow: U.K.: Addison-Wesley, 1997.
- [18] P. A. de A. F. Romeral, E. Zancul, and D. Nakano, “Product Development Process for complex hardware-based solutions: current trends,” in *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., 2023, pp. 885–890. doi: 10.1016/j.procir.2023.03.133.
- [19] M. Peterson and J. Summers, “WHEN WORLDS COLLIDE – A COMPARATIVE ANALYSIS OF ISSUES IMPEDING ADOPTION OF AGILE FOR HARDWARE,” *Proceedings of the Design Society*, vol. 1, pp. 3451–3460, Aug. 2021, doi: 10.1017/pds.2021.606.
- [20] T. Mosher, J. Kolozs, C. Colegrove, and E. Wilder, “Agile hardware development approaches applied to space hardware,” in *2018 AIAA SPACE and Astronautics Forum and Exposition*, American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc, AIAA, 2018. doi: 10.2514/6.2018-5233.

- [21] P. Weichbroth, "A Case Study on Implementing Agile Techniques and Practices: Rationale, Benefits, Barriers and Business Implications for Hardware Development," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 17, Sep. 2022, doi: 10.3390/app12178457.
- [22] N. Garzaniti, S. Briatore, C. Fortin, and A. Golkar, *Effectiveness of the Scrum Methodology for Agile Development of Space Hardware*. IEEE, 2019.
- [23] Þ. Reynisdóttir, "Scrum in Mechanical Product Development Case Study of a Mechanical Product Development Team using Scrum," CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Gothenburg, Sweden, 2013.
- [24] C. Ajay Guru Dev and V. S. Senthil Kumar, "Analysis on critical success factors for agile manufacturing evaluation in original equipment manufacturing industry-an AHP approach," *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, vol. 29, no. 5, pp. 880–888, Sep. 2016, doi: 10.3901/CJME.2016.0608.071.
- [25] J. Montero, S. Weber, M. Bleckmann, and K. Paetzold, "A methodology for the decentralised design and production of additive manufactured spare parts," *Prod Manuf Res*, vol. 8, no. 1, pp. 313–334, Jan. 2020, doi: 10.1080/21693277.2020.1790437.
- [26] A. Atzberger and K. Paetzold, "Current challenges of agile hardware development: What are still the pain points nowadays?," in *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED*, Cambridge University Press, 2019, pp. 2209–2218. doi: 10.1017/dsi.2019.227.
- [27] S. Iamratanakul, Y. F. Badir, S. Siengthai, and V. Sukhotu, "Indicators of best practices in technology product development projects: Prioritizing critical success factors," *International Journal of Managing Projects in Business*, vol. 7, no. 4, pp. 602–623, Aug. 2014, doi: 10.1108/IJMPB-06-2012-0036/FULL/PDF.
- [28] G. Schuh, S. Schröder, F. Lau, and T. Wetterney, "Next generation hardware development: Requirements and configuration options for the organization of procurement activities in the context of Agile new Product Development," *PICMET 2016 - Portland International Conference on Management of Engineering and Technology: Technology Management For Social Innovation, Proceedings*, pp. 2583–2591, Jan. 2017, doi: 10.1109/PICMET.2016.7806809.

- [29] V. Berg, J. Birkeland, A. Nguyen-Duc, I. O. Pappas, and L. Jaccheri, “Achieving agility and quality in product development - an empirical study of hardware startups,” *Journal of Systems and Software*, vol. 167, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.jss.2020.110599.
- [30] M. Peterson and J. Summers, “When worlds collide – A comparative analysis of issues impeding adoption of agile for hardware,” in *Proceedings of the Design Society*, Cambridge University Press, 2021, pp. 3451–3460. doi: 10.1017/pds.2021.606.
- [31] K. Dikert, M. Paasivaara, and C. Lassenius, “Challenges and success factors for large-scale agile transformations: A systematic literature review,” *Journal of Systems and Software*, vol. 119, pp. 87–108, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.jss.2016.06.013.
- [32] A. I. Bohmer, P. Hugger, and U. Lindemann, “Scrum within hardware development insights of the application of scrum for the development of a passive exoskeleton,” *2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation: Engineering, Technology and Innovation Management Beyond 2020: New Challenges, New Approaches, ICE/ITMC 2017 - Proceedings*, vol. 2018-January, pp. 790–798, Jul. 2017, doi: 10.1109/ICE.2017.8279965.
- [33] R. Modranský, S. Jakabová, M. Hanák, and A. Oláh, “Lean and Agile Project Management and the Challenges for its Implementation in SMEs in Czech Republic,” *Technium Social Sciences Journal*, vol. 9, pp. 413–440, Jul. 2020, doi: 10.47577/tssj.v9i1.1145.
- [34] C. Noteboom, K. Suttrave, M. Ofori, and O. El-Gayar, *Agile Project Management: A Systematic Literature Review of Adoption Drivers and Critical Success Factors*. [Online]. Available: <http://agilemanifesto.org/>
- [35] T. Chow and D. B. Cao, “A survey study of critical success factors in agile software projects,” *Journal of Systems and Software*, vol. 81, pp. 961–971, Jun. 2008, doi: 10.1016/j.jss.2007.08.020.
- [36] S. Heper, “Çevik Proje Yönetiminde Kritik Başarı Faktörleri,” 2023.
- [37] A. Alan, “Factors Behind Achieving the Full Benefits of Agile Project Management in Scrum Framework - A Case Study,” İSTANBUL, 2021.
- [38] S. Saghazadeh, “Change Management: Critical success factors of product development in Agile,” KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, STOCKHOLM, SWEDEN, 2020.

- [39] N. Virmani, R. Saha, and R. Sahai, "Empirical assessment of critical success factors of leagile manufacturing using fuzzy DEMATEL approach," *International Journal of Agile Systems and Management*, vol. 11, pp. 293–314, 2018, doi: 10.1504/IJASM.2018.095511.
- [40] R. Fekri, A. Aliahmadi, and M. Fathian, "Identifying the cause and effect factors of agile NPD process with fuzzy DEMATEL method: The case of Iranian companies," *J Intell Manuf*, vol. 20, pp. 637–648, Dec. 2009, doi: 10.1007/s10845-008-0153-x.
- [41] S. Bathrinath, V. Sai Charan, S. G. Ponnambalam, and S. Saravanasankar, "Identification and Evaluation of Criteria of Agile Manufacturing Using DEMATEL: A Case from an Indian Metal Fabrication Industry," *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology*, vol. 2, pp. 61–74, Mar. 2019, doi: 10.15282/jmmst.v2i1.1801.
- [42] T. Raharjo, "Model of Critical Success Factors for Agile Information Technology Project in Indonesia using Analytic Hierarchy Process (AHP)," *ADI Journal on Recent Innovation (AJRI)*, vol. 5, no. 1Sp, pp. 68–77, Aug. 2023, doi: 10.34306/ajri.v5i1Sp.968.
- [43] A. Y. Chang, K. J. Hu, and Y. L. Hong, "An ISM-ANP approach to identifying key agile factors in launching a new product into mass production," *Int J Prod Res*, vol. 51, pp. 582–597, 2013, doi: 10.1080/00207543.2012.657804.
- [44] K. P. Subramaniya, C. Ajay Guru Dev, and V. S. Senthilkumar, "Critical Success Factors: A TOPSIS approach to increase Agility Level in a Textile Industry," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2017, pp. 1510–1517. doi: 10.1016/j.matpr.2017.01.173.
- [45] A. Bathaei *et al.*, "Application of fuzzy analytical network process (ANP) and VIKOR for the assessment of green agility critical success factors in dairy companies," *Symmetry (Basel)*, vol. 11, Feb. 2019, doi: 10.3390/sym11020250.
- [46] T. Yaghoobi, "Prioritizing key success factors of software projects using fuzzy AHP," *Journal of Software: Evolution and Process*, vol. 30, Jan. 2018, doi: 10.1002/smr.1891.
- [47] B. Chang, C. W. Chang, and C. H. Wu, "Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria," *Expert Syst Appl*, vol. 38, pp. 1850–1858, Mar. 2011, doi: 10.1016/j.eswa.2010.07.114.

- [48] M. N. Muhammad and N. Cavus, "Fuzzy DEMATEL method for identifying LMS evaluation criteria," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2017, pp. 742–749. doi: 10.1016/j.procs.2017.11.304.
- [49] Y. C. Chou, C. C. Sun, and H. Y. Yen, "Evaluating the criteria for human resource for science and technology (HRST) based on an integrated fuzzy AHP and fuzzy DEMATEL approach," *Applied Soft Computing Journal*, vol. 12, pp. 64–71, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.asoc.2011.08.058.
- [50] M. T. Çelik and S. Arslankaya, "Analysis of quality control criteria in an business with the fuzzy DEMATEL method: Glass business example," *Journal of Engineering Research (Kuwait)*, vol. 11, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.jer.2023.100039.
- [51] S. L. Si, X. Y. You, H. C. Liu, and P. Zhang, "DEMATEL Technique: A Systematic Review of the State-of-the-Art Literature on Methodologies and Applications," *Math Probl Eng*, vol. 2018, no. 1, p. 3696457, Jan. 2018, doi: 10.1155/2018/3696457.
- [52] I. Baihaqi, I. Lazakis, and H. Supomo, "Integrated Value Engineering and Risk Assessment Performance Measurement Framework in Ship-Manufacturing Industry towards Net Zero Emissions Using Fuzzy DEMATEL-AHP," *Machines*, vol. 11, Aug. 2023, doi: 10.3390/machines11080799.
- [53] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, pp. 338–353, 1965, doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- [54] H.-J. Zimmermann, *Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems*. Springer Netherlands, 1987. doi: 10.1007/978-94-009-3249-4.
- [55] V. Başhan and H. Demirel, "Application of Fuzzy Dematel Technique to Assess Most Common Critical Operational Faults of Marine Boilers," *Journal of Polytechnic*, May 2018, doi: 10.2339/politeknik.426644.
- [56] D. F. Ofori, "Project Management Practices and Critical Success Factors—A Developing Country Perspective," *International Journal of Business and Management*, vol. 8, no. 21, Oct. 2013, doi: 10.5539/ijbm.v8n21p14.