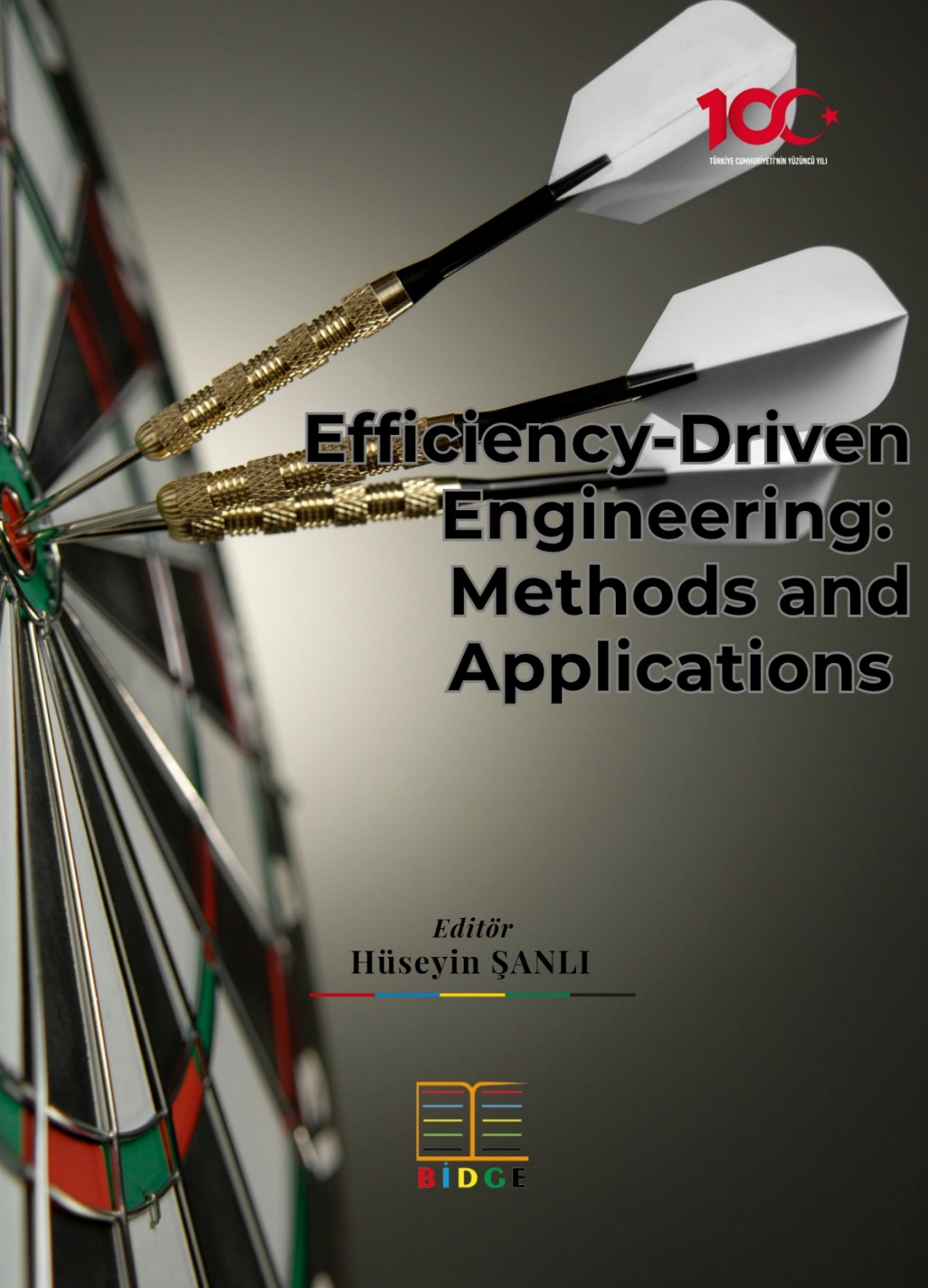


TÜRKİYE CUMHURİYETİ'NİN YÜZÜNCÜ YILI

Efficiency-Driven Engineering: Methods and Applications

Editör

Hüseyin ŞANLI

BİDGE

BİDGE Yayınları

Efficiency-Driven Engineering: Methods and Applications

Editör: Doç. Dr. Hüseyin Şanlı

ISBN: 978-625-372-417-7

1. Baskı
Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL
Yayınlama Tarihi: 25.12.2024
BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374
Yayın hakları © BİDGE Yayınları
www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com
Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.
Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya / Ankara

İçindekiler

Savunma Sanayi Projelerinde Proje Yönetimi Metodolojileri ve Çevik Yaklaşım Karşılaştırması 4

ADEN GÜNSÜREN 4

Proje Karmaşıklığı ve Ölçülebilir Model Önerileri 31

ADEN GÜNSÜREN 31

ESRA BOZDEMİR 31

ÖZGE ERDİNÇ 31

Determination of Performance Criteria in the Turkish Shipbuilding and Repair Sector Using Multi-Criteria Decision-Making Methods 55

Fatma KOSOVALI ÇAVUŞ 55

İrem DÜZDAR 55

Modelıng The Product Yıeld And Kınematıc Vıscosıty Of Bıodıesels Produced From Sıx Dıfferent Feedstocks 79

Hüseyin ŞANLI 79

Aylin DUMAN ALTAN 79

BÖLÜM I

Savunma Sanayi Projelerinde Proje Yönetimi Metodolojileri ve Çevik Yaklaşım Karşılaştırması

ADEN GÜNSÜREN

Giriş

Günümüzde savunma sanayi proje sayılarında geçtiğimiz yıllara oranla artış gözlenmekte ve bu sektörde projelerin hayata geçirilmesi amacıyla ciddi yatırımlar gerçekleştirilmektedir. Savunma sanayi projeleri yürütülürken, takvim, malitet, kalite ve kapsam konularının etkili bir şekilde yürütülmesi gereklidir. Savunma sanayi projelerinde askeri standartların sağlanması önem taşımaktadır. Zorlu askeri standartların karşılanabilmesi, iyi bir kalite yönetim sistemi ile gerçekleştirilir. Yalnızca kalite yönetimi anlayışı değil, zamanı etkili yönetmek, proje süreçlerini ilerletirken belirlenen maliyet sınırları içerisinde kalabilmek, süreç içerisinde riskleri öngörerek tanımlamaları yapmak ve bu riskleri önlemeye yönelik eylem planlarını gerçekleştirmek, proje süreçleri

yürütülürken yapılması ve izlenmesi gereken kritik konu başlıklarıdır.

İşletmeler amaç ve hedeflerine ulaşabilmek için kaynaklarını etkin ve verimli bir şekilde yönetmeli ve kullanabilmelidir. Süre ve maliyet açısından kısıtlı faaliyetlere sahip olan projelerde, ancak etkin bir planlama ile kaynakların verimli bir şekilde kullanımı ve yönetilmesi sağlanabilir. (Alnıaçık, E. (2014), Proje Yönetimi El Kitabı, *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*)

Proje yönetim süreçleri ana başlıklar altında başlangıç, planlama, yürütme, izleme ve kontrol, kapanış olarak sınıflandırılabilir. Bu adımların izlenerek proje yönetim planı süreçleri gerçekleştirilir. Proje yönetimi planları ise; kapsam yönetimi, gereksinim yönetimi, zaman çizelgesi yönetimi, maliyet yönetimi, kalite yönetimi, süreç iyileştirme yönetimi, kaynak yönetimi ve iletişim yönetimi planlarıdır.

Günümüzde proje süreçlerini yürütmek için birçok proje yönetimi metodolojilerinden faydalanılmaktadır. Farklı sektörlerde yer alan, farklı isterleri ve hedefleri olan projeleri başarılı olarak yürütebilmek için uygun proje yönetimi metodolojisi seçilmelidir. Bir metodoloji, bir proje için çok uygun bir yönetim sağlayabilirken, bir başka projede yeterli başarı kriterlerini sağlayamayabilir. Her projenin parametleri ve dinamikleri farklı olduğundan, uygun yönetim biçimi belirlenerek süreç ilerletilir.

Savunma sanayi projelerinde, özellikle prototip aşamada olan ve geliştirmeye açık olan projelerde, hızlı ve dinamik bir süreç ilerletilmektedir. Dolayısıyla, sözleşmede yer alan takvime uyum sağlanması oldukça önemlidir. Bu konuda, değişen süreçlere hızlı

adapte olunması, karşılaşılan zorluklar ve projenin tasarım, üretim, test vb. süreçlerinde yaşanan darboğazlara hızlı çözümler üretilmesi ve iyileştirmeler sunarak, etkili bir şekilde yönetme ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Gelişen teknoloji karşısında, günden güne müşteri isterleri de farklılaşmaktadır. Proje süreci devam ederken, süreç içerisinde isterler farklılaşabilir veya müşteri geribildirimleri doğrultusunda değişiklikler talep edilebilir. Talep edilen ve değişiklik yapılması gereken durumları, proje yöneticilerinin etkili bir şekilde yönetmesi büyük önem taşır. Bu noktada, hızlı adapte olunabilmesi ve kolay uygulama imkanı sunan proje yönetim metodolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. ve değişikliklerin hızlı bir şekilde uygulanabilmesi için geleneksel proje yönetim metodolojilerinin yetersiz kaldığı görülmüştür. Bu ihtiyaçla, yeni metodolojilerin de uygulanabilirliği sorgulanmıştır.

Savunma sanayi projelerinde çevik yaklaşım, esnekliği ve hızlı adaptasyonu sağlarken, aynı zamanda kullanıcı odaklı bir geliştirme süreci sunar. Ancak, bu yaklaşımın başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için sektöre özgü dinamiklerin ve gereksinimlerin dikkatlice değerlendirilmesi gerekmektedir.

Proje ihtiyaçları doğrultusunda sorunsuz olarak sürecin ilerletilmesi için birtakım parametreler belirlenerek, hangi yönetim metodolojsinin uygun olduğu belirlenebilir.

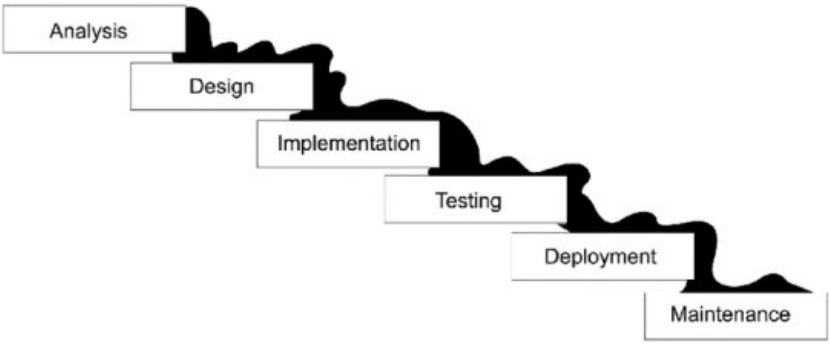
Proje Yönetim Metodolojileri

Proje yönetimi, değişikliklerin bir organizasyon içinde verimli bir şekilde uygulanma şeklini organize etme sürecidir. (Yılmaz, H. (2018), Çevik Proje Yönetiminin Teknoloji Alanında Prince2 Proje

Yönetim Metodolojisi ile Karşılaştırılması, *T.C. Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü)* Proje gereksinimlerinin zamanında karşılanabilmesi amacıyla yapılan tüm işlerin takibi ve doğru yönetilmesi önem teşkil eder bu yönetim için farklı metodolojiler bulunmaktadır. Bazı yönetim metodları bir projede avantaj sağlayabilirken, bir başka projede dezavantajlı duruma gelebilir. Böylece projeler özelinde uygun yönetim metodolojisinin seçilmesi önem arz etmektedir. Projelerin başarılı bir şekilde tamamlanabilmesi için proje yönetimi yaklaşımları detaylı olarak açıklanmıştır.

1.1 Şelale (Waterfall) Metodolojileri

Şelale proje yönetimi geneleksel bir metodoloji olup, doğrusal proje yönetimi olarak da bilinmektedir. Waterfall yönetimde, proje aşamalarının birbirine bağlı olarak aşamalara ayrılması gerekmektedir. Bu durumda, ilk aşama tamamlandıktan sonra ikinci aşamaya geçilmesi beklenmektedir. Bir prosesin tamamlandıktan sonra diğer prosese geçilmesi hedeflenir. Şelale yönetim metodolojisi ilk olarak yazılım projelerinin yönetilmesi sürecinde ortaya çıkmıştır. Yönetim modelinde yer alan adımlar Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Waterfall Yönetim Modeli Adımları

Kaynak: Demirağ, A. (2023) Analysis and Comparison of Waterwall Model and Agile Approach in Software Projects, Academic Journal of Information Technology

Şelale modeli, ilk gereksinimler belirlendikten ve her hedef her türlü belirsizlikten arındırıldıktan sonra, geliştirme ekibinin projeyi bitirmek için izleyeceği engelsiz bir yol olduğunu varsayar. Ancak gerçek hayattaki çoğu durumda bu doğru değildir, çünkü müşteriler farklı özelliklere yönelik fikirlerini değiştirebilir ve bu durumda tüm aşamaların olmasa da bazı aşamaların yeniden değerlendirilmesi gerekecektir. (Andrei, B., Casu-pop, A. & Gheorghe, S. , A Study On Using Waterfall and Agile Methods In Software Project Management, *Journal of Information Systems & Operations Management)*

Şelale proje yönetiminin avatanjları aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

- Kolay anlaşılır bir yönetim şeklidir. Süreçler aşamalarına ayrıldığından ilerleme daha kolay takip edilebilir.
- Belirgin gereksinimler vardır. Proje başında isterler, hedefler ve gereksinimler net bir şekilde tanımlanır. Bu durum kapsamların daha iyi yönetilmesine olanak tanır.
- Planlama kolaylığı sunar. Her aşama tamamlandıktan sonra bir sonraki aşama daha kolay planlanabilir. Aşamanın süresi ve kaynakları daha kolay tahmin edilir.
- Dokümantasyon ile kayıt altına alınabilmesine olanak sağlar. Her aşamada detaylı dokümantasyonun oluşturulması, projenin ilerlemesi ve gelecekteki referanslar için faydaları vardır.
- Çoklu proje yönetimine olanak sağlar. Birden fazla proje üzerinde çalışma gerçekleştirilebilir.
- Bağımlılıklar kolayca yürütülebilmektedir.

Avantajlarının yanısıra Şelale Yönetim Metodolojisinde bazı dezavantajlar da bulunmaktadır. Bunlar;

- Esneklik eksikliği vardır. Projenin belirli aşamalarında isterler değiştiğinde modelin esnekliği sınırlıdır ve bu değişiklikleri uygulamak zorlayıcı olabilmektedir.

- Risk yönetiminin etkili kullanılamaması proje sonunda ortaya çıkan problemlerde, erken aşamalarda farkedilmesini zorlaştırır.
- Müşteri geri bildirimine dayalı değişiklikler projenin son aşamasında tespit edilebileceğinden, müşteri memnuniyetini olumsuz olarak etkilemektedir.
- Uzun süreli projelerde, ilk aşamalarda belirlenen gereksinimler zamanla azalabilir.
- Projede farklı aşamalarda kişilerde bir değişiklik olduğunda net bir belgeleme olmaz ise bilgi kaybına yol açabilir.
- Gereksinimlerin iyi anlaşılmadığı, tanımlanmadığı veya projenin seyri içinde değişebileceği durumlarda Şelale modeli uygun değildir.

1.2 Çevik (Agile) Yaklaşım

Çevik yazılım süreçleri, 1950'lerdeki üretim alanında verimliliğin artırılması için geliştirilen yalın yaklaşımların ve yöntemlerin yazılım sektörüne bir yansıması olarak ortaya çıkmıştır. (Yılmaz, H. (2018), Çevik Proje Yönetiminin Teknoloji Alanında Prince2 Proje Yönetim Metodolojisi ile Karşılaştırılması, *T.C. Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü)*

Oxford sözlüğünde Agile şu şekilde tanımlanmaktadır: Agile yani çeviklik, hızlı düşünme ve anlama ya da hızlı ve kolay hareket etme yeteneği olarak tanımlar.

Bu sektörde çevik - kelimenin etimolojisinde de olduğu gibi- projeyle ilgili değişikliklere hızlı, etkili ve üretken biçimde yanıt

verebilme yetkinliği sağlayan yönetim yaklaşımı, felsefesi ve kültürdür. (Cesur, M. (2021), Türk Yapım Projelerinde Çevik Proje Yönetimi Araçlarından Scrum'ın Uygulanabilirliğinin Vaka Çalışmalarıyla İncelenmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.)*

Kazanılan bu yetkinlik ve beceriler sayesinde projelerde üretilen sonuç ürünün değerinin ve çeviğin ilk prensibi olan müşteri memnuniyetinin artırılması, sürekli gelişmeyi sağlayan başarılı ve mutlu takım veya organizasyonların oluşturulması sağlanır (Çevik Uygulama Kılavuzu [ÇUK], 2017; Yitmen ve Gürbüz, 2020).

Çevik manifesto 4 değere ve 12 prensibe sahiptir.

Bunlar Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Çevik Manifesto Değerleri

Çevik Manifesto Değerleri
Bireyler ve birbirleriyle olan etkileşimleri, süreçler ve araçlardan daha değerlidir
Çalışan yazılım, kapsamlı belgelemeden daha değerlidir
Müşteri ile işbirliği, müşteriyle yapılan sözleşme pazarlıklarından daha değerlidir
Değişikliğe yanıt vermek, bir plana bağlı kalmaktan daha değerlidir.

Kaynak: Cesur, M. (2021), Türk Yapım Projelerinde Çevik Proje Yönetimi Araçlarından Scrum'ın Uygulanabilirliğinin Vaka Çalışmalarıyla İncelenmesi

Tablo 2: Çevik Manifesto Prensipleri

Çevik Manifesto Prensipleri
En önemli öncelik, değerli yazılımların erken ve devamlı teslimatıyla müşteri memnuniyetini sağlamaktır.
Geliştirmenin geç bir evresinde olsa dahi değişiklik talepleri hoş karşılanmalıdır. Çevik süreçleri ile değişiklikler müşteriye rekabet avantajı sağlar.
Çalışan yazılımı birkaç haftadan birkaç aya olacak şekilde kısa zaman dilimleri içerisinde sık sık teslim edin.
Proje boyunca her gün iş insanları ile geliştiriciler birlikte çalışmalıdır.
Projeleri motive bireyler etrafında oluşturun. İhtiyaçları olan çevreyi ve desteği sağlayın, işi yapacaklarına güvenin
Geliştirme takımı ve o takımda bilgi aktarımı için en verimli ve etkili yol yüz yüze iletişim kurmaktır.
Sürecin öncelikli ölçüsü çalışan yazılımdır.
Çevik süreçleri sürdürülebilir gelişimi destekler. Sponsorlar, geliştiriciler ve kullanıcılar sürekli olarak sabit hızı koruyabilmelidir.
İyi tasarıma ve teknik mükemmelliğe devamlı dikkat vermek çevikliği artırır.
Sadelik -değer katmadığı anlaşılan ve elenen iş miktarının en yükseğe çıkarılması sanatı- önemlidir.
En iyi mimari, talepler ve tasarımlar kendi kendine organize olabilen takımlardan ortaya çıkar.
Düzenli aralıklarla takım nasıl daha etkili olabileceği hakkında düşünür ve davranışlarını buna göre belirler, düzeltir.

Kaynak: Cesur, M. (2021), Türk Yapım Projelerinde Çevik Proje Yönetimi Araçlarından Scrum'ın Uygulanabilirliğinin Vaka Çalışmalarıyla İncelenmesi

Çevik (Agile) Proje yönetiminde, yönetilmesi zor olan büyük tüm projenin küçük döngülere veya aşamalara dönüştürülmüş bir yönetimi benimser. Bu yaklaşım, geleneksel olan proje yönetimi metodolojilerinin yetersiz kaldığı zamanlarda bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmış yalın ve modern bir yaklaşımdır.

Küçük parçalara ayrılmış her bir işin çalışma süreci sonucunda katma değerli bir ürün oluşturulur ve bu ürün hızla pazarla paylaşılır. Bahsedilen katma değerli ürün üretim süreçlerinin sonucunda mutlak doğru veya yanlış kavramları içermektedir. (Yeşil, A. (2019), Telekomünikasyon Sektöründe Agile Dönüşüm Etkileri, *T.C. Bahçeşehir Üniversitesi)*

Agile yönetimde, güçlü takım oyununa sahip, değer önceliklendirmesi ile ilerleyen, müşterilerine sürekli değer üreten, müşteri ile yakından çalışılan ve süreç içerisinde sürekli iyileştirme yapılan, öğrenilen, değişime adapte olunabilen bir yönetim anlayışı mevcuttur.

Agile yaklaşımın benimseneceği projelerde öne çıkan konu başlıkları aşağıda sıralanmıştır.

- **Esneklik ve Hız**: Çevik yaklaşım, proje sürecinde anlık geri bildirimlerle esnek bir şekilde hareket etmeyi sağlar. Bu, değişen ihtiyaçlara hızlıca yanıt verme imkanı sunar. Değerlerin ve isterlerin net olmadığı ve belirsizliklerin bulunduğu bir ortamda, sürekli bir değişiklik riski mevcuttur. Bu değişikliklere hızlı tepki verebilme esnekliği yakalanmasına olanak tanır. Hızlı uygulama yapılabilmesi amacıyla, müşteri isteklerine de hızlı cevap verilmesi ve dolayısıyla müşteri

memnuniyeti sağlanacaktır. Projenin her aşamasında esneklik sağlanabilmektedir.

- **Kullanıcı Odaklılık**: Projelerin kullanıcı ihtiyaçlarına göre şekillendirilmesini hedefler. Kullanıcı geri bildirimleri, ürün geliştirme sürecinin merkezinde yer alır. Kullanıcıdan gelen bildirimler ve isterler doğrultusunda bir planlama yapılarak uygulama yapılır.
- **Küçük ve İşlevsel Takımlar:** Projeler, genellikle küçük, çok disiplinli takımlar tarafından yürütülür. Bu takımlar, karar verme süreçlerinde özerkliğe sahiptir.

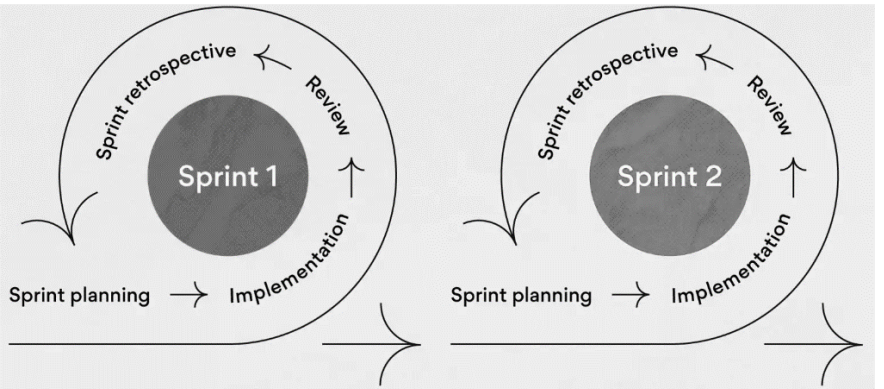
1.2.1 Popüler Çevik (Agile) Yöntemleri

Scrum: Kısa döngülerle (sprintler) çalışan ve belirli roller (Scrum Master, Product Owner) ile süreçleri yöneten bir çerçevedir. Sprintler planlanarak takımların kısa sürede bir yürütme sağlanması hedeflenir. Günlük scrum toplantıları ile ilerlemenin kontrol edilmesi sağlanır. Atanan işlerin doğruluğundan emin olunur. Son aşama olan sprint retrospektifinde ise, scrum sona erdiğinde yönetici hangi işlerin yapıldığının denetlemesini gerçekleştirerek, bir sonraki aşamaya yapılmayan işlerin aktarmasını gerçekleştirir.

Scrum faydalarına;

- Takımların açıkça belirlenmiş kuralları vardır. Sorumluluklar nettir.
- Günlük toplantılar, sprint planlama ve geriye dönük incelemeler ile ekiplerin süreci yakından takip etmesi, sürekli kontrol etme ve iyileştirme olanağı sağlar.

- Sorumluluklar net bir şekilde belirlendiğinden iş ve zaman kapsamları konusunda şeffaflık sağlar.



Şekil 1: Agile Çalışma Döngüsü

Kaynak: URL-2 https://asana.com/resources/waterfall-agile-kanban-scrum

Şekil 1'de Agile metodolojisinin çalışma döngüsü yer almaktadır. Bu döngüde her sprintte, ürün sahibi ürün birikimi hazırlamaktadır. Ürün birikimi projelerde sprint sırasında çalışılacak konularda her görevin listesidir. Genellikle iki haftalık periyotlarda çalışmalar gerçekleştirilir.

Kanban: İş akışını görselleştiren ve sürekli teslimatı hedefleyen bir yöntemdir.

Kanban çerçevesi, 1940'larda Toyota'da Taiichi Ohno tarafından geliştirildi ve birkaç on yıl boyunca dijitalleştirildi, uyarlandı ve rafine edildi. Özünde, modern Kanban çerçevesi işi yönetmek için çevrimiçi, görsel bir yöntemdir. (URL-1)

Extreme Programming (XP): Yazılım geliştirme sürecine odaklanan ve sık geri bildirim döngüleri ile kaliteli yazılım üretmeyi amaçlayan bir yaklaşımdır.

1.3 Çevik Yaklaşım Uygulamaları

Sprint ve Iterasyonlar: Projeler, belirli bir süre (genellikle 2-4 hafta) içinde tamamlanması gereken küçük iş parçalarına bir başka adı ile sprintlere bölünür. Her sprint sonunda bir ürün versiyonu (prototip) ortaya çıkar. Spintlerin her birinde proje yöneticisi işlem adımlarını takip ederek kalan işler var ise yeni bir sprint döngüsü ile bir sonrası sprint döngüsüne süreci aktarır.

Günlük Toplantılar: Takım üyeleri, günün başında kısa toplantılar yaparak ilerlemelerini ve karşılaştıkları engelleri paylaşırlar. Bu, iletişimi artırarak sorunların hızlıca çözülmesine yardımcı olur. Proje takım üyeleri, günlük olarak ilerlemeleri izleyebilir ve karşılaşılan engellere zamanında müdahale edilebilir. İletişimin dinamik tutulması

Geri Bildirim Döngüleri: Her sprint sonunda kullanıcılar veya paydaşlar tarafından geri bildirim alınır. Bu geri bildirimler, bir sonraki sprintin planlanmasında göz önünde bulundurulur. Geri bildirimler sayesinde süreçte iyileştirmeler gerçekleştirilir ve risklerin erken tespit edilmesi sağlanır.

Sürekli İyileştirme: Projelerin her aşamasında öğrenme ve iyileştirme fırsatları değerlendirilir. Takımlar, süreçlerini ve ürünlerini sürekli olarak geliştirmeye çalışırlar. Agile yöntemler, retrospektif toplantılar gibi uygulamalarla sürekli iyileştirmeyi teşvik eder. Ekipler, her sprintin sonunda nelerin iyi gittiğini ve nelerin geliştirilebileceğini değerlendirir.

Entegre Test: Ürün geliştirme sürecinde sürekli testler yapılır. Bu, hataların erken tespit edilmesini ve düzeltme sürecinin hızlanmasını sağlar.

1.4 Agile (Çevik) Yaklaşımın Avantajları ve Dezavantajları

Çevik yaklaşımın uygulanabilirliği konusunda avantajların olmasının yanısıra bazı dezavantajları da bulunabilir.

Tablo 3'te avantajlar ve dezavantajlar belirlenmiştir.

Tablo 4: Agile Avantaj ve Dezavantaj Tablosu

Agile Avantajları	**Agile Dezavantajları**
Boyuttan bağımsız olarak süreç boyunca gereksinimlerdeki değişiklikler hızlıca uygulanabilir.	Ekiplerin müşteri ihtiyaçlarını belirlemesine ve analiz etmesine olanak sağlamak için müşteri katılımı gerektirir.
Daha kısa geri bildirim döngüleri, daha hızlı pivot yeteneği sağlar.	Proje yönetimi çok az yetkiye sahiptir. Yalnızca kolaylaştırma ve sürece odaklanılır.
Mevcut/aktif iş kalemlerinin net görünürlüğü ve zaman içinde görevlerdeki ilerlemelerin değerlendirilmesine olanak sağlar.	Yinelemeli geliştirme, zaman içindeki değişiklikler nedeniyle mühendisliğin yeniden düzenlenmesine yol açabilir.
Mühendislik disiplini ve ön testler için destek imkanı ve kaliteyi arttırma imkanı sağlanır.	Maliyet veya zaman ekleyebilecek ek özellik taleplerine izin verir.

Kaynak: (Reiff, J., Schlegel, R. (2022), Hybrid Project Management – a Systematic Literature Review, International Journal of Information Systems and Project Management

Hibrit Proje Yönetimi

Literatür incelendiğinde, hibrit proje yönetiminin nasıl tanımlandığına ilişkin iki farklı akım olduğu dikkat çekmektedir. 34 makaleden 20'si çevik ve geleneksel proje yönetimi metodolojilerinin bir kombinasyonundan /karışımından

bahsetmektedir. (Reiff, J., Schlegel, R. (2022), Hybrid Project Management – a Systematic Literature Review, *International Journal of Information Systems and Project Management, 45-63.)*

Hibrit proje yönetiminde, proje yönetim metodolojilerinin bir araya getirilerek ortak kombinasyonu ile iki yönetimin de avantajlarını bir araya getirmeyi hedefler. Genellikle operasyonel düzeyde çevik yaklaşım benimsenirken, karar verme düzeyinde geleneksel proje yönetimi yaklaşımı uygulanmaktadır. Böylece her iki proje yönetimi metodolojilerinin de en iyi yönleri kullanılarak ihtiyaçlara yanıt verilmektedir.

Hibrit proje yönetimi modelleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Hibrit Proje Yönetim Modelleri

Yaklaşım	**İlk Aşama**	**Geliştirme Aşaması**	**Final Aşaması**
Water-Scrum-Fall	Waterfall	Scrum	Waterfall
Waterfall-Agile	Waterfall	Agile yaklaşım	Agile yaklaşım
Hybrid V-model	V-model	Scrum	V-model
Agile-Stage-Gate	Stage-Gate	Stage-Gate	Stage-Gate

Kaynak: (Reiff, J., Schlegel, R. (2022), Hybrid Project Management – a Systematic Literature Review, International Journal of Information Systems and Project Management

Water-Scrum-Fall:

Geleneksel proje yönetimi metodolojisi olan Şelale yönetimi ile çevik yaklaşım Scrum'ın birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Proje aşamalarından geliştirme aşaması nispeten süreçlerde en zorlu süreç olarak tanımlanabilir ve bu aşamada çevik yaklaşımın avantajlarından faydanılır.

Şelale yönetim biçimde bitmiş ürüne ulaşılması için bir bir aşamaya geçmek için bir önceki aşamanın tamamlanması gereklidir.

Scrum çevik yaklaşım içerisinde en popüler olan yönetim metodolojilerinden birisidir. Ekipler kendilerini yönetebilir durumdadır. Proje küçük yönetebilir parçalara bölünerek yönetilmektedir.

Water-Scrum-Fall metodolojisinin ilk aşamasında, çevik gerçekleştirmenin hazırlandığı ve zaman, bütçe ve kapsam yönetimi için planların oluşturulduğu bir yukarı akış proje planlama aşaması yer alır. (Wysocki, W., Orłowski, C. (2019), A multi-agent model for planning hybrid software processes, *Procedia Computer Science 23rd International Conference*)

Kullanıcı gereksinimleri ve isterler ilk aşamada oluşturulur. Geliştirme aşamasında Agile yaklaşım uygulanır. Yinemeli aşamalara bölünen süreçlerde kısmi olarak her sprint sonunda bir sonuç açığa çıkar. Çevik aşama, yeniden çalışma, gecikmeler, yeniden planlama ve kaçırılan son tarihler riskini en aza indirir. (West, D. (2011), Water-Scrum-Fall Is The Reality Of Agile For Most Organizations Today: for Application Development & Delivery Professionals, *Forrester Research*, vol. 26, pp. 1–17)

Final aşamasında ise Şelale yönetim ile projenin tamamlanır.

Waterfall-Agile:

Waterfall-Agile metodolojisini kullanan bir projenin son aşaması hala çevik yaklaşım dahilindedir. Proje planının kapsamı belirlenir ve ilk çevik sprint proje başlamadan önce planlanır. (Hassani, R., El I., (2018) Digital Project Management in the Era of Digital Transformation: Hybrid method, *Proceedings of the 2018*

International Conference on Software Engineering and Information Management)

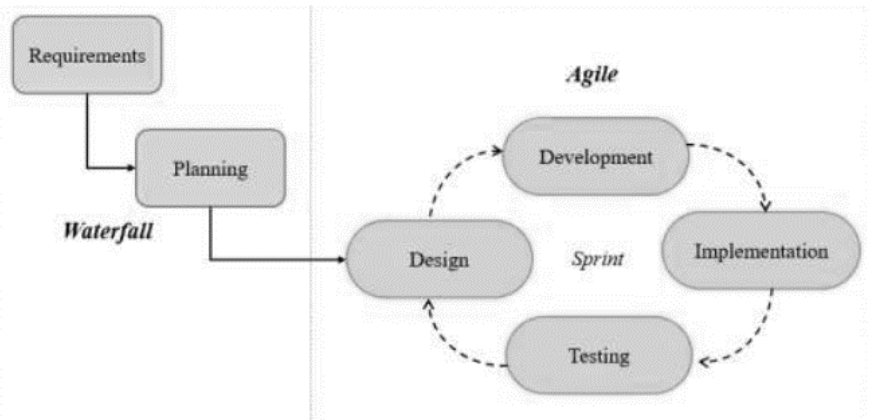
Başlangıç aşamasının geleneksel olduğu bu modelde, geliştirme ve final aşamasında çevik yaklaşım benimsenmiştir. Geliştirme, tasarım ve uygulama adımlarında daha esnek yönetim biçimi vardır. İlk sprint tamamlanana kadar diğer sprintlerin ayrıntıları tanımlanamaz. Her iritasyonda kaydedilen çıktılar ile birlikte müşteri geribildirimleri alınarak sürekli iyileştirme fırsatı sunulur. Test edebilme ve yeniden düzeltme imkanı vardır.

Agile, teslimat süresini kısaltır ve müşteri gereksinimlerini daha iyi karşılamak için erken aşamada geri bildirim toplanmasını kolaylaştırır. Geliştirme ve test, genellikle Scrum ile uygulanan kısa çevik sprintlerle gerçekleşir. (Reiff, J., Schlegel, R. (2022), Hybrid Project Management – a Systematic Literature Review, *International Journal of Information Systems and Project Management)*

Geleneksel projelerde proje yöneticisinin rolü projenin başarıyla tamamlanması ve hedeflere ulaşılması için projenin planlanması ve yönetilmesidir. Proje yöneticisi, tanımlanmış iş akışlarına uyulmasını sağlar ve projenin başında belirlenen gereksinimleri tanımlanmış maliyet ve zaman çerçevesinde yürütülmesini sağlar. Waterfall-Agile metodolojisi, geleneksel planlamanın çevik uygulamaya nerede, ne zaman veya nasıl geçeceğine dair net bir spesifikasyon olmaması bakımından benzersizdir. Bu, proje bazında karar verilebilecek bir konudur. Projenin çevik bir yaklaşımla tanımlanması ve planlanması ve daha sonra geleneksel prosedürlere göre geliştirilmesi ve uygulanması da

oldukça mümkündür. (Hassani, R., El I., (2018) Digital Project Management in the Era of Digital Transformation: Hybrid method, *Proceedings of the 2018 International Conference on Software Engineering and Information Management*)

Şekil 2'de Şelale ve Agile Yönetim diyagramı bulunmaktadır. Görüldüğü üzere, başlangıç aşamasında gereksinimler ve bu doğrultuda yapılacak planlamalar geleneksel yöntem ile belirlenmektedir. Sonraki tasarım, geliştirme, test ve uygulama aşamalarında agile yönetim benimsenmiştir.



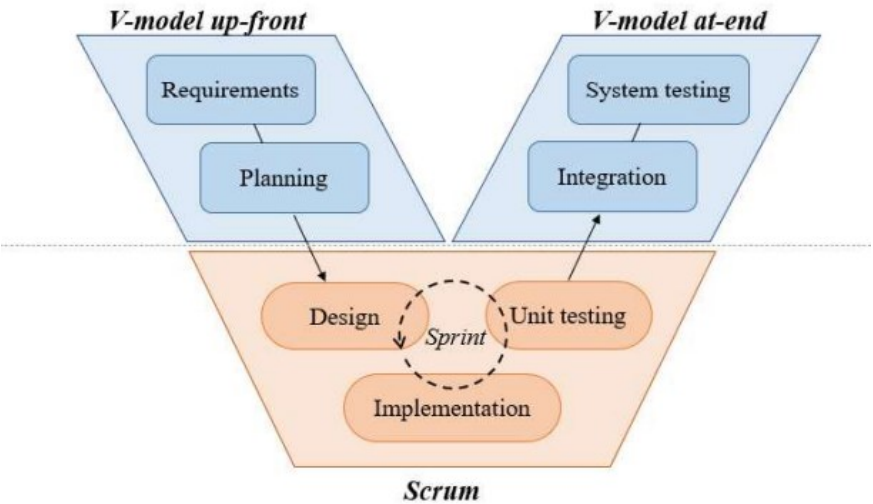
Şekil 2: Waterfall-Agile Diyagram

Kaynak: Hassani, R., El I., (2018) Digital Project Management in the Era of Digital Transformation: Hybrid method, Proceedings of the 2018 International Conference on Software Engineering and Information Management

V-Model:

Bu model Water-Scrum-Fall modeline benzemektedir. Ancak geleneksel proje yönetim metodolojilerinden V-modele dayanmaktadır.

Hibrit V model diyagramı Şekil 3'te belirtilmiştir. Bu hibrit yönetim modelinde, gereksinimlerin belirlenmesi ve planlama aşaması V-model ile geneleksel olarak ele alınır. Tasarım, uygulama ve birim bazında testler ise çevik yaklaşım ile değerlendirilir. Projede kapsamların ayrılarak her sprintte ayrıca değerlendirilmesi sonucu bir çıktı elde edilir. Bu çıktılar birkaç döngü olarak devam edebilmektedir. Uygulama ve sistem seviyesi test aşamasında ise V model yönetim ile projenin son aşaması tamamlanır.



Şekil 3: Hibrit V Model Diyagramı

Kaynak: Hassani, R., El I., (2018) Digital Project Management in the Era of Digital Transformation: Hybrid method, Proceedings of the 2018 International Conference on Software Engineering and Information Management

Hibrit Proje Yönetimi Avantajları

Çeşitli yönetim metodolojilerini bir araya getirerek en iyi şekilde yararlanılmasına olanak sağlar. Proje yönetiminde, projelerin ihtiyaçları doğrultusunda en başarılı sonucu elde etmek

için hibrit proje yönetimleri etkili olmaktadır. Uygun olmayan bir yönetim metodolojisinin negatif yanlarını uygulamama avantajı içermektedir.

Waterfall, Agile ve Hibrit Proje Yönetimi Metodolojileri Farklılıkları

Hibrit metodolojiler, yapılandırılmış süreçleri esneklik ve uyarlanabilirlikle harmanlayarak, çeşitli ve dinamik ortamlarda başarılı proje sonuçları sunmayı amaçlar. Bu uygulamalar sayesinde, projelerin ihtiyaç duyduğu dengelerin uyarlanılmasına olanak tanınır. Optimum sonuçlar elde etmek için yinelemeli geliştirme, paydaş katılımı, sürekli geri bildirim ve aşamalı yaklaşımlar gibi unsurları entegre ederler.

Geleneksel proje yönetimi olan Şelale, çevik yaklaşım ve bu iki metodolojinin ortak olarak uygulandığı hibrit projelerin özellikleri ve farklılıkları mevcuttur. Bu farklılıkları karşılaştırılması Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: Şelale, Agile ve Hibrit Proje Yönetimi Karşılaştırma Tablosu

	Hibrit Proje Yönetimi	**Agile Proje Yönetimi**	**Waterfall (Şelale) Proje Yönetimi**
Yaklaşım	Geleneksel ve Çevik unsurları harmanlanmıştır.	Yinelemeli ve arttırımlı yaklaşım sunar.	Sıralı ve doğrusaldır.
Esneklik	Yüksek	Çok Yüksek	Düşük
Uyarlanabilirlik	Yüksek	Çok Yüksek	Düşük
Dokümantasyon	Orta Düzey	Minimal	Yoğun
Paydaş Katılımı	Vurgulanmıştır.	Yüksek	Orta Düzey
Yinelemeli Geliştirme	Evet	Evet	Hayır
Planlama	Yapılandırılmış ve uyarlanabilirdir.	Uyarlanabilir ve İşbirlikçi	Detaylı ve Kapsamlı
Risk Yönetimi	Risk azaltma ile dengeli yaklaşım	Vurgulanmıştır.	Ele alınmıştır. Daha az esneklik sunar.
Proje Görünürlüğü	Orta Düzey	Yüksek	Yüksek

Savunma Sanayi Projelerinde Proje Yönetimi ve Sonuç

Tanım olarak savunma projeleri, proje yönetim prosedürlerinden yararlanarak, bir takım kısıtlar altında savunma gereksinimlerini sürdürmek için son kullanıcılara operasyonel sistemler sağlamayı amaçlayan girişimlerdir. (Eren, Ö. (2018), The Applicability of Program Management Approach in the Defense

Acquisition Projects in Order to Avoid Deviations, *İnsan & İnsan Dergisi*, 163-193.)

Savunma sanayi projelerinde de diğer sektörlere ait projelerde olduğu gibi bir dizi faktör ortaktır. Zaman, bütçe, kapsam, nitelikli insan kaynağı gibi sınırlamalar projenin başarısını etkileyen kilit faktörler arasındadır.

Savunma sanayi projelerinde, özellikle son yıllarda artan yatırımlar sebebiyle, sayılarda artış yaşanmış olup, dar bir takvim çerçevesinde son kullanıcıya teslimatların gerçekleştirilmesi beklenmektedir. Bu teslimatlar gerçekleştirilirken, aynı zamanda müşteri gereksinimlerinin tam anlamıyla karşılanılması beklenilmekte ve askeri standartların da sağlanıldığından emin olunmalıdır. Kalite, bütçe ve zaman kısıtlarının etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir.

Savunma sanayi projelerinde her ne kadar proje başında müşteri isterleri net ve bir standart içerisinde olsa da, artan teknoloji sebebiyle, müşteri gereksinimleri de süreç içerisinde değişmektedir. Özellikle savunma sanayisi son yıllarda gelişen ülkelerde, ürün yelpazesinin arttırılması hedeflenirken, sürekli bir gelişim de amaçlanmıştır. Üretilen prototip ürünlerin bir sonraki seride değişkliğe uğraması muhtemeldir. Savunma sanayi projelerinde asıl dikkat edilmesi gereken hususlar kaliteli bir ürün veya hizmet sunarken, bunun zamanında ve belirlenen bütçe içerisinde olmasnı hedeflemektir. Projelerin belirli aşamalarında değişiklik talebinin olabileceği ihtimali doğrultusunda, sürekli iyileştirme süreçleri de kaçınılmazdır.

Savunma sanayi projeleri yürüten bir firmada 4 farklı proje üzerinden bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme sonucunda hangi proje yönetim metodolojisinin hangi proje için uygun olduğunun saptanması hedeflenmiştir.

	Proje 1	**Proje 2**	**Proje 3**	**Proje 4**
Müşteri isterleri sürekli değişken mi?	Evet	Evet	Evet	Hayır
Proje süreçlerinde esnek bir yaklaşıma ihtiyaç duyuluyor mu?	Evet	Evet	Hayır	Hayır
Proje ekip üyelerinin süreçlere daha aktif katılması fayda sağlar mı?	Evet	Evet	Evet	Hayır
Dokümantasyon beklentisi yüksek mi?	Evet	Evet	Evet	Evet
Ürün üretildikten sonra değişiklik ihtimali var mı?	Evet	Hayır	Evet	Evet
Proje gereksinimleri projenin en başında net bir şekilde tanımlı mı?	Evet	Hayır	Hayır	Evet

4 farklı projenin üçünde müşteri isteklerinin sürekli olarak değiştiği görülmektedir. Bu süreçlere daha hızlı ve esnek olarak müdahele edilmesi gerektiğini göstermektedir. Proje ekip üyelerinin süreçlere daha aktif katılım sağlanmasının projenin ilerleyişi açısından faydalı olacağı 3 projede değerlendirilmiştir. Dolayısıyla sprintler düzenlenerek, ilgili kişilere rollerin dağıtılması ve sprint sonunda ilerleyişin yakından izlenmesinin de avantaj sağlayacağı görülmüştür. Dokümantasyon beklentisinin 4 projede de yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu bakımdan, geleneksel proje yönetim metodolojilerinde uygulanan teknikler faydalı olacaktır. Ürün üretildikten sonra projelerde değişiklik ihtimali yüksek olarak bulunmaktadır. Gereksinimlerin proje başında net bir şekilde tanımlı olması ise yarı yarıya olarak belirlenmiştir. Bu durumda projelerin kendi içerisinde farklılıkları olduğunu ve net bir ister ile proje başlangıcı yapılıp yapılmayacağı kesin değildir. Örneğin, prototip geliştirme projelerinde sözleşme imzalandığında isterlerin net olmadığını ve süreç içerisinde netlik kazanacağını söylenebilir. Bir başka yönden ise seri olarak nitelendirilebilecek ve daha önce aynısı ve benzeri tamamlanan projelerde ise müşteri istekleri projenin başlangıç aşamasında net olabilir. Ancak proje başlangıcında net olan isterlerin, zaman içerisinde müşteri geribildirimleri doğrultusunda değişmeyeceğinin garantisi bulunmamaktadır.

Sonuç olarak, proje yönetimi metodolojilerinin hangi proje özelinde hangi yöntem ile ilerletilmesi gerektiği konusunda yüksek oranla ‘’ Hibrit Proje Yönetimi Yaklaşımı ‘’ uygulanması daha avantajlı olacaktır. Bu yaklaşımda geleneksel proje yönetimi ile çevik proje yönetiminin kombinasyonu ile başarılı bir proje süreci ilerletilebilecektir.

Müşteri isterlerinin yüksek oranda değişken olduğu bu süreçlerde hızlı ve esnek olarak müşteri geribildirimlerine öncelik verilmesi ve uygulamanın en verimli olacağı düşünülerek hibrit yönetim metodolojisinin uygulanmasının daha faydalı olacağı görünmektedir. Genel anlamda başlangıç ve final aşamalarında ise geneleksel proje yönetimi süreçlerini ilerletmek, sonraki projelere bilgilerin doğru aktarılması, öğrenilmiş derslerin dokümante edilmesi ve potansiyel gelecek benzer projeler için el kitabı oluşturulması için faydalıdır.

Çalışmanın çıktısı olarak, savunma sanayi projelerinin verimli bir şekilde ilerletilebilmesi için yalnızca geneleksel proje yönetimi metodunun kullanılması yeterli olmayacaktır. Water – Scrum – Fall hibrit yaklaşımı veya Water – Agile hibrit yaklaşımının uygulanması avantaj sağlayacaktır ve proje süreçlerinde başarı hedeflerine ulaşılabilecektir.

Kaynakça

Alnıaçık, E. (2014), Proje Yönetimi El Kitabı, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Demirağ, A. (2023) Analysis and Comparison of Waterwall Model and Agile Approach in Software Projects, Academic Journal of Information Technology.

Yılmaz, H. (2018), Çevik Proje Yönetiminin Teknoloji Alanında Prince2 Proje Yönetim Metodolojisi ile Karşılaştırılması, T.C. Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Andrei, B., Casu-pop, A. & Gheorghe, S. , A Study On Using Waterfall and Agile Methods In Software Project Management, Journal of Information Systems & Operations Management.

Cesur, M. (2021), Türk Yapım Projelerinde Çevik Proje Yönetimi Araçlarından Scrum'ın Uygulanabilirliğinin Vaka Çalışmalarıyla İncelenmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.*

(Yeşil, A. (2019), Telekomünikasyon Sektöründe Agile Dönüşüm Etkileri, *T.C. Bahçeşehir Üniversitesi)*

URL-1: https://asana.com/resources/waterfall-agile-kanban-scrum

Reiff, J., Schlegel, R. (2022), Hybrid Project Management – a Systematic Literature Review, *International Journal of Information Systems and Project Management, 45-63.*

Wysocki, W., Orłowski, C. (2019), A multi-agent model for planning hybrid software processes, *Procedia Computer Science 23rd International Conference*.

West, D. (2011), Water-Scrum-Fall Is The Reality Of Agile For Most Organizations Today: for Application Development & Delivery Professionals, *Forrester Research*, vol. 26, pp. 1–17

Hassani, R., El I., (2018) Digital Project Management in the Era of Digital Transformation: Hybrid method, Proceedings of the 2018 International Conference on Software Engineering and Information Management

Eren, Ö. (2018), The Applicability of Program Management Approach in the Defense Acquisition Projects in Order to Avoid Deviations, *İnsan & İnsan Dergisi*, 163-193.

BÖLÜM II

Proje Karmaşıklığı ve Ölçülebilir Model Önerileri

ADEN GÜNSÜREN
ESRA BOZDEMİR
ÖZGE ERDİNÇ

Giriş

Proje yönetimi 1900'lü yılların başında ortaya çıkmış farklı mühendislik türlerinin bir araya gelmesiyle birlikte oluşmuş bir disiplindir. Proje yönetimi, belirli bir projenin hedef ve amaçlarına ulaşıp bitirilmesi için, belirlenen zaman ve bütçe içerisinde kaynakların planlanması, organize edilmesi, tedarik edilmesi ve yönetilmesidir. Yönetimi Bilgi Birikimi Kılavuzuna (PMBOK) göre, proje yönetimi dokuz farklı sürecin yönetilmesine odaklanmaktadır: (i) entegrasyon yönetimi, (ii) kapsam yönetimi, (iii) zaman yönetimi, (iv) maliyet yönetimi, (v) kalite yönetimi, (vi) insan kaynağı yönetimi, (vii) iletişim yönetimi, (viii) risk yönetimi ve (ix) tedarik yönetimi. (PMI Standards Committee. (2004). A

Guide to the project management body of knowledge: (PMBOK Guide). Upper Darby, Pennsylvania, Project Management Institute.) Proje yönetiminde proje yaşam döngüsünde yer alan aşamalar bulunmaktadır. Bunlar başlatma, planlama, yürütme, izleme ve kontrol, kapanış aşamalarından oluşmaktadır. Proje yönetimi aşamasında net roller ve sorumluluklar belirlenerek, isterler doğrultusunda hedef odaklı planlama ve uygulama yapılarak, proaktif iletişim yaklaşımı ile başarılı bir şekilde sürecin sonlanması hedeflenir. Ancak, belirtilen bu aşamalar zaman zaman yönetilmesi zor ve komplike bir hal alabilir.

Zaman, kapsam ve maliyet konularının dışında kalan ve hangi başlığa ne derece etki edeceği belirsiz, karmaşık konuların, proje süreçlerini negatif olarak etkilememesi amacıyla belirlenerek tanımlanması ve ölçülmesi gerekir.

Proje yönetim süreçlerinde karşılaşılan sorunlardan birisi olan karmaşıklığı birçok farklı şekilde ifade etmek mümkün olabilir. Standart bir tanım olmadığı sürece, karmaşıklık, sonuçları tahmin edilemeyen, detayları tam olarak anlaşılamayan ya da bunlar dışında normal dışı olarak algılanan sayısız durumdan birini içeren projeler için, farklı şekillerde algılanabilir. Proje uzmanları ve takımları bir projenin karmaşık olup olmadığını sezgileri ile hissedebilirler. Ancak karmaşıklığın sebepleri çok çeşitli olabilir ve objektif ya da sübjektif farklı birçok kaynağa bağlı olabilir. (Gönen, E. & Soyer, A., (2020), Proje Karmaşıklığının Ölçülmesine Yönelik Bir Model Önerisi, *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci.* 32(4): 430-449.)

Projenin bileşenleri, süreçleri, etkileşimleri arasındaki ilişkilerin karmaşıklığı projenin yürütülmesi için zorlayıcı

olabilmektedir. Bu unsurların, proje yönetimini zorlaştırmasının yanı sıra belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir. Karmaşıklığa ve belirsizliklere neden olan birçok faktöre süreç içersinde rastlanabilir ve bu durumlar proje başarısını da doğrudan etkilemektedir. Proje karmaşıklığının ve bunun nasıl yönetilebileceğinin anlaşılması, karmaşıklıkla ilişkili görünen karar verme ve hedefe ulaşma ile ilgili farklılıklar nedeniyle proje yöneticileri için büyük önem taşımaktadır. (Carral, L., Diaz, E., & Fraguela, J. (2018), Complexity and Project Management A General Overview)

Proje kavramı her ne kadar kompleks, rutin olmayan, bir defaya mahsus, zaman, bütçe, kaynak ve performans spesifikasyonları ile sınırlı, belirli müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak çaba (C. F. Gray, E. W. Larson, (2004), Project Management: The Management Process 3rd Edition, *McGraw-Hill, London)* olarak tanımlanmış olsa da, proje karmaşası süreç içerisinde gelişebilir ve yönetilmesi gerekir. Yönetilmesini kolaylaştıran bir takım teknikler bulunmaktadır. Kritik yol yönetimi 1950'lerde geliştirilen orijinal proje yönetimi metodolojilerinden biri olup, karmaşık ve bağlantılı görevler arasında kritik yolu haritalamak için bir algoritma sağlar.

Proje karmaşıklığı, projenin başarıyla sonuçlanması yolunda karşılaşılan zorluğu ifade eder. Tasarım, uygulama, koordinasyon ve yönetim gibi boyutları kapsamaktadır.

Karmaşık projeler istisnai bir yönetim düzeyi gerektirmektedir ve sıradan projeler için geliştirilen geleneksel araç ve tekniklerin uygulanmasının karmaşık projeler için uygun olmadığı görülmüştür. Karmaşık Proje Yönetimi, belirli bir dizi yetkinlik ve proje ile

çevresinin derinlemesine anlaşılmasını gerektiren uzmanlık gerektiren bir meslektir. Proje yöneticileri, artan karmaşıklık bağlamında bir projeyi başarılı bir şekilde yürütmek amacıyla karmaşıklığı tanımlayarak ve giderek daha karmaşık hale gelen bir ortamın taleplerine ayak uydurmak veya yeni zorlukların üstesinden gelmek için doğru stratejileri geliştirmeleri, aynı zamanda liderlik tarzını değiştirmeye istekli olmaları da gerekecektir. Proje yöneticileri, sürekli değişen ve rastgele bir şekilde gelişen ve tahmin edilmesi zor olan dinamik ve istikrarsız ortamlarda karar verebilmelidir. (Cristobal J., Diaz, E., Carral L. (2018), Complexity and Project Management: Challenges, Opportunites and Future Research)

Proje karmaşıklığını belirlemek, ölçmek, değerlendirmek ve çözümlemek için günümüzde kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada proje karmaşıklığının detaylandırılması kullanılan yöntemler ve modeller hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Proje Karmaşıklığı Nedir?

Literatürde sıkça kullanılan tanımlar karmaşıklığı en basit haliyle "etkileşim halinde bulunan çok sayıda ögeye sahip olma karakteristiği" şeklinde açıklamaktadır. (Gönen, E. & Soyer, A., (2020), Proje Karmaşıklığının Ölçülmesine Yönelik Bir Model Önerisi, *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci.* 32(4): 430-449.) Bir sonuç elde etmek için geçici ve benzersiz çaba gösterilen projelerde, her ne olursa olsun süreç içersinde, performansta her zaman bir değişim vardır. Zaman ve kaynaklar olabilecek en iyi sonuçlar için tüketilmektedir.

(Cicmil, S., Cooke-Davis, T., Crawford, L., & Richardson, K. (2009). Exploring the complexity of projects: Implications of complexity theory for project management practice. *Newtown Square: Project Management Institute*) Proje karmaşıklığını "planlama ve kontrol uygulamalarının kararlaştırılmasına yardımcı olan amaç ve hedeflerin tanımlanmasını engelleyen ya da projenin zaman, maliyet ve kalitesini etkileyen bir faktör olarak betimlemiştir. Bir başka tanımda ise proje sistemi ile ilgili kabul edilebilir bütünlükte bir bilgi verilmiş olsa dahi, projenin tüm hareketlerinin anlaşılmasını, öngörülmesini ve kontrol altında tutulmasını zorlaştıran bir özellik olarak tanımlamıştır. (Vidal, L. A., Marle, F., & Bacquet, J. (2011). Measuring project complexity using the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Project Management*, 29(6), 718-727.)

Her proje benzersizdir çünkü proje girdileri ve çıktıları her zaman farklılık gösterir. İsterlerin, beklentilerin, kaynakların, zamanın ve ortam faktörlerininden en az birisinin farklı olduğu bir parametre mutlaka vardır. Yapılan araştırmalarda proje öngörülebilirliği konusunda sınırlar tespit etmiştir. Bu durumda projeler karmaşıklığının seviyelerinin belirlenmesi, modern proje yönetimine yardımcı olmak için önem arz etmektedir.

Literatürde proje yönetimi ile ilgili hemen hemen bütün kaynaklarda, bu temel süreçlerin yanı sıra, karmaşıklık, zorluk, belirsizlik, vb. farklı kavramlar da yer almaktadır. (Gönen, E. & Soyer, A., (2020), Proje Karmaşıklığının Ölçülmesine Yönelik Bir Model Önerisi, *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci.* 32(4): 430-449.)

Gidado, karmaşıklığın dört farklı kaynağını belirler. Bunlar; istihdam edilen kaynaklar, çevre, gerekli bilimsel ve teknolojik bilgi düzeyi ve iş akışındaki farklı parçaların sayısıdır. (Cristobal, J.R. (2017), Complexity in Project Management, *International Conference on Project Management,* 8-10.) Bir projede büyük miktarda gerekli kaynak kullanımı, değişen çalkantılı çevre, teknolojinin sınırında çalışma ve sayısız olası etkileşim olması karmaşık bir proje olduğunu göstermektedir.

Bu tanımlar yalnızca görev karmaşıklığı olarak görünmektedir. Ancak yalnızca görev karmaşıklığı ile sınırlandırılmamalıdır. Örneğin; sosyal karmaşıklık; yani birbirleriyle iletişim kuran ve çalışan kişilerin sayısı ve çeşitliliği, kültürel karmaşıklık; bir projede çabayı ortaklaştıran farklı birimlerin ve kişilerin tecrübeleri, deneyimleri, proje ilgilisi ve anlamlandırma becerileri, operasyonel karmaşıklık; projenin hedeflerine ulaşabilmesi için hiyerarşik süreçlere ne derece maruz kaldığı ve bağımsız olarak süreçlerin ilertilmesi durumu, biliçsel karmaşıklık; bir kimliğin veya kurum kültürünün ortaya çıkmasının mümkün olma derecesi gibi konular da karmaşıklık göstergeleri arasında değerlendirilir.

Proje Karmaşıklığını Belirleyen Faktörler Nelerdir?

Projelerin karmaşık olarak nitelendirilmesi için bazı faktörlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Karmaşıklığı belirleyen faktörler aşağıda sıralanmıştır.

- **Proje Büyüklüğü:** Projenin kapsamı ve ölçeği, karmaşıklığı artıran önemli bir unsurdur. Daha büyük projeler genellikle daha fazla kaynak, zaman ve insan

gücü gerektirir. Bu durum, koordinasyon zorluklarına yol açabilir. Karmaşıklık durumunun olduğunun nitelendirilmesi için projenin organizasyon yapısının asgari bir kritik boyutun üzerinde olması ve unsurlarının birbiriyle ilişkili olması gerekir.

- **Ekip Üyelerinin Sayısı:** Proje ekibinde yer alan bireylerin sayısı arttıkça, iletişim ve işbirliği gereksinimleri de artar. Farklı uzmanlık alanlarına sahip ekip üyeleri arasındaki etkileşim, karmaşıklığı artırabilir.

- **Paydaş Çeşitliliği:** Projeye dahil olan paydaşların sayısı ve çeşitliliği, karmaşıklığı etkileyen bir diğer faktördür. Farklı beklentilere, hedeflere ve ihtiyaçlara sahip paydaşlar arasında uzlaşma sağlamak zor olabilir.

- **Teknolojik Unsurlar:** Genel olarak teknoloji, girdileri malzeme, araç, teknik, bilgi ve beceri kullanarak çıktılara dönüştüren dönüşüm süreci olarak tanımlanabilir. (Baccarini, D. (1996), The Concept of Project Complexity a review, *International Journal of Project Management*, 201–204.) Projeler genellikle çeşitli teknolojilerin entegrasyonunu gerektirir. Farklı teknolojiler arasındaki uyumsuzluklar, karmaşıklığı artırabilir ve projeyi zorlaştırabilir.

- **Değişken Gereksinimler:** Proje süresince müşteri veya paydaşların gereksinimlerinin değişmesi, projenin yönünü etkileyerek karmaşıklığı artırabilir.

Bu tür değişiklikler, projede yeniden planlama ve ek kaynak tahsisi gerektirebilir.

- **Karşılıklı Bağımlılık ve İlişkiler:** Birbirine bağlı bir yapıdaki bir olay, yapı içindeki başka bir varlık üzerinde tamamen bilinmeyen etkilere neden olabilir. Projeyi bütünleştiren sistem ve alt sistemlerin sayısı, bu sistemler arasındaki farklı metodolojik ve felsefi varsayımlar, faaliyetler arasındaki çapraz organizasyonel ve programsal bağımlılıklar, iyileştirme ve yenileme çalışmaları ve projenin büyüklüğü ve karmaşıklığı, karmaşıklığı etkileyen temel faktörlerdir. (Carral, L., Diaz, E., & Fraguela, J. (2018), Complexity and Project Management A General Overview)

- **Amaçlar ve Hedefler:** Bunlar hem stratejik hem de operasyonel düzeyde yeterli ve uygun bir şekilde tanımlanmalıdır. Bir projede stratejik ve operasyonel düzeyde nelerin başarılması amaçlanmakta, hedefler neler tam olarak tanımlanmalıdır.

- **Paydaşlar ve Altyükleniciler:** Proje katılımcılarının sayısı ve aralarındaki bilgi akışının nasıl gerçekleştiği, proje karmaşıklığını etkileyen önemli bir faktördür. Projeye dahil olan altyüklenicilerin sayısı ve altyüklenici yeterliliği de karmaşıklığı etkileyen faktörler içerisinde sınıflandırılır.

- **Yönetim Uygulamaları:** Proje katılımcıları, tedarikçiler, örtüşen ve üst üste gelen faaliyetler,

yöntemler ve teknikler arasındaki ilişkiler proje karmaşıklığını etkileyen faktörlerdir.

- **İş Gücü Dağılımı ve İş Bölümü:** İşbölümü yoluyla proje organizasyon yapısının belirlenmesidir. Personel seçiminin nasıl yapılacağı ve bu personel üzerinde proje hedeflerine ulaşma baskısının düzeyi proje karmaşıklığını artıran faktörlerdir.
- **Eş Zamanlı Mühendislik:** Genellikle çapraz fonksiyonel ekipler olarak bilinen farklı disiplin geçmişlerine sahip ekip üyelerini entegre ederek fonksiyonel ve departman engellerini ortadan kaldırmayı amaçlayan bir uygulamadır. Bu durumda Projelerin daha hızlı yürütülmesi için giderek artan baskı, birçok şirketin dağıtık ve genellikle dış kaynaklı ekiplerden oluşan proje organizasyonları kurmasına ve çoğu durumda birçok faaliyeti aynı anda yürütmesine yol açmıştır. (R. E. Levitt, J. Thomsen, T. R. Christiansen, J. C. Kunz, Y. Jin,and C. Nass, (1999), Simulating project work processes and organiza-tions: toward a micro-contingency theory of organizationaldesign, *Management Science*, 1479–149)

Proje Karmaşıklığının Etkileri

Karmaşıklığın sebepleri tanımlandığında, belirtilen faktörlerin proje üzerinde etkileri gerçekleşecektir. Karmaşık projelerin yönetiminde, karmaşıklığa yol açan etkilere ait konu başlıkları aşağıda yer almaktadır.

- **Planlama Zorluğu:** Karmaşık projelerde etkili bir planlama yapmak, özellikle de tüm bileşenler arasındaki etkileşimlerin dikkate alınması gerektiğinde zor olabilir. Bu durum, projede beklenmedik sorunların ortaya çıkmasına yol açabilir. Birçok belirsizliğin sebep olduğu en önemli konu süreçlerle ilgili plan yapmaktır. Karmaşıklığa etki eden onlarca faktör içerisinde, nasıl bir yol izleneceği ile ilgili karar almak ve plan yapmak oldukça zordur.
- **İletişim Problemleri:** Ekip üyeleri ve paydaşlar arasındaki iletişim karmaşık hale gelebilir. Farklı disiplinlerden gelen bireylerin aynı dilde anlaşamaması veya bilgi paylaşımının yetersiz olması, yanlış anlamalara ve hatalara neden olabilir. Karmaşık süreçlerde kişilerde yer alan bilgi seviyesindeki farklılıklar, kişilerin süreçleri bağımsız ilerletmek istemesi beraberinde iletişim problemlerini de getirmektedir.
- **Risk Yönetimi:** Karmaşık projelerde risklerin tanımlanması ve etkin bir şekilde yönetilmesi daha zor olabilir. İlgili tüm faktörlerin dikkate alınmaması, projenin başarısını tehdit eden faktörlerin gözden kaçmasına yol açabilir. Aynı zamanda, karmaşık proje yönetiminde, normal süreçlere nispeten risklerin ortaya çıkma frekansının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sürekli olarak risklerin analiz edilmesi ve yönetilmesi, karmaşık süreçlerde zorlayıcıdır.

- **Zaman ve Maliyet Aşımı:** Proje karmaşıklığı, zamanında tamamlanmasını ve bütçeye uygun kalmasını zorlaştırabilir. Proje sürecindeki belirsizlikler, beklenmedik harcamalara ve gecikmelere neden olabilir. Zaman yönetimi ve maliyet yönetimi süreçlerinin yönetilememesi belirsizliklerin ve karmaşanın yüksek olduğu projelerde, kaynakların verimli kullanılamaması, ek giderlerin çıkması, zamansal kayıpların meydana gelmesi risklerini arttırmaktadır.
- **Değişiklik Yönetimi:** Proje sürecinde değişiklikler yapmak karmaşık hale gelir. Projeye yönelik değişiklik talepleri, ek kaynak gereksinimlerini ve yeniden planlamayı beraberinde getirebilir, bu da projenin ilerlemesini olumsuz etkileyebilir. Karmaşık ve belirsizliğin yüksek olduğu bu projelerde, değişiklik taleplerini yönetmek daha da zorlayıcı olmaktadır.

Proje Karmaşıklığını Yönetme Stratejileri

Karmaşık projelerin yönetiminde başarı için bazı stratejiler geliştirmek önemlidir.

Açık İletişim: Proje boyunca iletişim kanallarının açık tutulması, ekip üyeleri ve paydaşlar arasında bilgi akışını kolaylaştırır. Proje ekipleri arasında düzenli ve açık bir iletişim sağlamak, bilgi akışını arttır ve yanlış anlaşılmaların önüne geçer. Rutin olarak gerçekleştirilen proje toplantıları, yapılacak listelerinin paylaşılması ve ekip üyelerinin ne zaman kiminle hangi bilgileri

paylaşacağının planlanması sürecin düzenli ilerletilmesine katkı sağlar.

Aşamalı Planlama: Projeyi daha küçük parçalara bölmek, her bir aşamanın yönetimini kolaylaştırabilir. Tüm aşamaların ve hedeflerin planlanarak sistematik bir şekilde ilerletmek hedeflenir. Bu aşamada planlamaların yapılması projenin ilerleyişini izlemeyi kolaylaştırır. Proje planı yapılması, tüm ekibin aynı hedefe odaklanmasını ve belirlenen hedeflerin gerçekleştirilmesinde yardımcı olur. Bu yaklaşım, karmaşıklığı azaltarak daha iyi bir kontrol sağlar.

Risk Analizi: Proje başlangıcında ve ilerleyen aşamalarda risk analizi yapmak, potansiyel sorunların önceden belirlenmesine yardımcı olur. Potansiyel sorunların önceden belirlenmesini ve olasılıkların değerlendirilmesi aşamasıdır. Önceden tespit edilen sorunlar için önleyici ve düzeltici stratejiler geliştirmek, beklenmedik durumlarla başa çıkmayı kolaylaştırmaktadır.

Esneklik: Proje planında esnek olmak, değişen gereksinimlere hızlı bir şekilde yanıt verme yeteneğini artırır. Beklenmedik bir durum ile karşılaşılmasında, planlamada esnek olmak uygun yanıtların uygulanabilmesine olanak tanır. Agile metodolojileri gibi esnek yönetim modellerini benimsemek, projenin ihtiyaçlarına hızlı yanıt geliştirme olanağı tanımaktadır.

Eğitim ve Gelişim: Ekip üyelerinin sürekli eğitim alması, karmaşık projelerde daha etkili bir şekilde çalışmalarını sağlar. Yeni teknolojiler ve bilgi birikimlerinin arttırılması sonucunda, karmaşık süreçlere uygun çözüm yollarının bulunmasına imkan sağlar.

Sonuç olarak, proje karmaşıklığı, projelerin yönetiminde dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Etkili yönetim stratejileri ile karmaşıklık azaltılabilir ve projenin başarılı bir sonuca ulaşmasını sağlar.

Proje Karmaşıklığını Ölçüm Modelleri

Proje karmaşıklığını belirlemek, ölçmek ve çözümlemek için çeşitli modeller ve yöntemler kullanılabilir. Bu modeller, projenin karmaşıklık seviyesini anlamak ve yönetmek için yardımcı olur.

5.1 Hedefler ve Yöntemler Matrisi

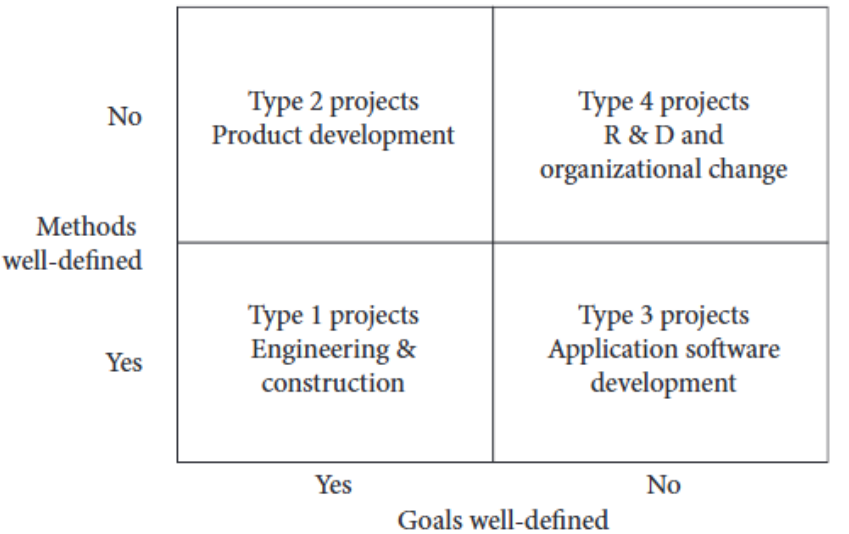
Bir projedeki hedeflerin ve bu hedeflere ulaşma yöntemlerinin ne kadar iyi tanımlandığına bağlı olarak, Şekil 1'de gösterilen ve dört tip projenin bulunabileceği hedefler ve yöntemler matrisini geliştirmiştir. (R, Turner. A, Cochrane, (1993), Goals-and-methods matrix:coping with projects with ill defined goals and/or methods of achieving them, *International Journal of Project Manage-ment*, 93–102.)

Tip 1 projelerde, hedefler ve hedeflere ulaşma yöntemleri net olarak belirlenmiştir. Bu durumda proje yöneticisinin rolü orkestra şefi rolüdür. İnşaat sektöründe daha çok bu tip projelere rastlanmaktadır.

Tip 2 projelerde, hedefler iyi tanımlanmıştır ancak yöntemler yeterince tanımlanmamıştır. Bu durumda proje yöneticisinin rolü koçun rolüdür. Ürün geliştirme projeleri örnek olarak gösterilebilir.

Tip 3 projelerde, yaşam döngüsü aşamalarında hedefler zayıf tanımlanmıştır ancak yöntemlerin iyi tanımlandığı projelerdir.

Tip 4 projelerde, tanımlanmış hedefler bulunmaz ve yöntemler de belirlenmemiştir. Tip 3 ve tip 4 projelere yazılım geliştirme, Ar-Ge, organizasyonel değişim projeleri örnek gösterilebilir.



Şekil 1: Hedefler ve Yöntemler Matrisi

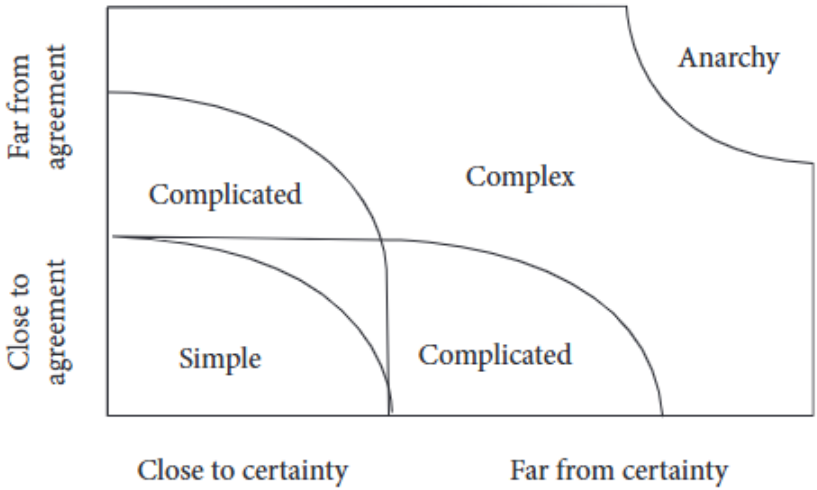
Kaynak: Carral, L., Diaz, E., & Fraguela, J. (2018), Complexity and Project Management A General Overview

5.2 Cynefin Karar Verme Çerçevesi

Yöneticilerin yeni bakış açılarından yeni şeyler görmelerine, karmaşık kavramları özümsemelerine ve gerçek dünya sorunlarını ve fırsatlarını ele almalarına olanak tanıyan Cynefin çerçevesini geliştirilmiştir. (D. J, Snowden, M. E. Boone, (2007), A leader's frameworkfor decision making, *Harvard Business Review*, 68.)

5 alana ayrılan karar verme çerçevesinde; basit, karmaşık, kompleks, kaotik ve düzensiz olarak kategorileştirilir.

Karmaşık ve kaotik alanlar net bir neden-sonuç ilişkisine sahip değildir. Kararların verilmesi sürecinde eksik bilgiler doğrultusunda plan yapılır. Şekil 2'de her bağlamın özellikleri, liderin görevi, tehlikeler ve tehlikelere verilen yanıtları göstermektedir.



Şekil 1: Anlaşma ve Kesinlik Matrisi

Kaynak: Carral, L., Diaz, E., & Fraguela, J. (2018), Complexity and Project Management A General Overview

5.3 Cocomo Modeli

Cocomo (Constructive Cost Model), yazılım geliştirme projelerinde karmaşıklığı ve maliyet hesaplamalarını belirlemek için kullanılan bir modeldir. Proje büyüklüğüne, ekip tecrübesine ve projenin karmaşıklığına bağlı olarak tahminler yapar.

5.4 Function Point Analysis (FPA)

Function Point Analysis, yazılım projelerinin karmaşıklığını ölçmek için kullanılan bir yöntemdir. Kullanıcı işlevlerinin sayısını

ve karmaşıklığını değerlendirerek, projenin büyüklüğünü ve karmaşıklığını belirler.

5.5 Karmaşıklık Göstergeleri

Bu göstergeler, projenin karmaşıklığını ölçen niceliksel ve niteliksel faktörleri içerir. Örneğin, proje bileşenlerinin sayısı, ekip üyesi sayısı, paydaş sayısı, değişken gereksinimler gibi faktörler göz önünde bulundurulur.

5.6 Büyüklük ve Kapsam Modelleri

Projenin büyüklüğünü ve kapsamını belirleyen modellerdir. Örneğin, iş kırılım yapısı (WBS) kullanarak projeyi daha küçük parçalara ayırmak.

5.7 Çeşitlilik ve Etkileşim Modelleri

Proje içinde yer alan bileşenlerin çeşitliliği ve bu bileşenlerin birbirleriyle olan etkileşimlerini değerlendirir. Bu tür modeller, karmaşıklığı artıran unsurları anlamaya yardımcı olur.

5.8 Dinamik Sistem Modelleri

Projelerde zamanla değişen faktörleri ve bu faktörlerin projeye etkisini inceleyen modellerdir. Örneğin, geri bildirim döngüleri ve zaman gecikmeleri gibi unsurlar dikkate alınır.

5.9 Risk Yönetimi Modelleri

Proje karmaşıklığını etkileyen riskleri tanımlamak ve yönetmek için kullanılan modeller. Risk matrisleri ve SWOT analizi gibi araçlar bu kapsamda değerlendirilebilir.

5.10 Proje Yönetim Modelleri

Proje yönetimi prosesleri ve tekniklerine ait detaylı bilgiler Tablo 1'de gösterilmiştir. Bir projenin amacı veya ürettiği ürünün türü, bir projenin nasıl yönetileceğini tanımlayan ve onu diğerlerinden ayıran faktörlerden biridir. Bununla birlikte, farklı projeler benzer hedeflere sahip olsalar bile, yürütüldükleri bağlama ve yöneticileri için temsil ettikleri karmaşıklık derecesine bağlı olarak birbirlerinden farklılık göstereceklerdir.

Tablo 1: Proje yönetimi Süreçleri ve Teknikleri

SÜREÇLER	**SÜREÇ GRUPLARI**
Proje Sözleşmesi	Entegrasyon
Başlangıç Toplantısı	İletişim
Değişim Kontrolü	Entegrasyon
Proje Gereksinimlerinin Belirlenmesi	Kapsam
WBS - İş kırılım yapısı	Kapsam
WBS Sözlüğü	Kapsam
Kaynak Tahmini	Zaman
Proje Takvimi	Zaman
Maliyet Tahmini	Maliyet
Proje Bütçesi	Maliyet
Kazanılmış Değer Analizi	Maliyet
Kalite Yönetim Planı	Kalite
Proje Organizasyon Şeması	İnsan
Sorumluluk Atama Matrisi	İnsan
Takım Oluşturma	İnsan
Proje İletişim Planı	İletişim
Paydaş Yönetimi	İletişim
Proje Performans Raporları	İletişm
Proje Kayıtlarının Tutulması	İletişim
Risk Analizi Matrisi	Risk
Risk Yanıtlarına Yönelik Strateji	Risk
Satın Alma Yönetim Planı	Satınalma
Sözleşme Yönetimi	Satınalma
Öğrenilen Derslerin Kaydı	Bilgi
Müşteri Tarafından Verilen Kabul Beyanı	Entegrasyon

Kaynak: Yugue, R. T. & Maximiano, A. C. A. (2012). Project Complexity and Management Processes

5.10.1 Agile Yaklaşımlar

Agile yöntemler, projelerin karmaşıklığını yönetmek için iteratif ve esnek bir yapı sunar. Proje gereksinimlerinin sürekli olarak gözden geçirilmesi ve değişikliklere hızlı yanıt verilmesi, karmaşıklığın yönetilmesine yardımcı olur.

5.10.2 Waterfall Modeli

Waterfall modeli, proje süreçlerini belirli aşamalara ayırarak yönetir. Her aşama tamamlandığında bir sonraki aşamaya geçilir. Bu model, karmaşıklığı azaltmak için önceden planlama yapmayı sağlar. Karmaşık süreçlerde doğru planlama yapılması ve yöntemlerin önceden belirli olması, karmaşık süreçlerin düzgünce ilerletilmesini sağlar.

5.11 Sistem Teorisi ve Analizi

Sistem teorisi, projelerin karmaşıklığını anlamak için kullanılabilecek bir diğer yaklaşımdır. Projeleri bir sistem olarak ele alarak, bileşenler arasındaki etkileşimleri incelemeye olanak tanır. Bu yaklaşım, sistemin genel karmaşıklığını anlamak için faydalıdır.

5.12 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (MCDM)

Bu yöntemler, projenin karmaşıklığını değerlendirmek için çeşitli kriterlerin bir arada göz önünde bulundurulmasına olanak sağlar. Proje yönetimi süreçlerinde farklı kriterler ve alternatifler arasından en uygun seçeneği belirlemek için kullanılan analitik bir yöntemdir. Bu yöntemler, genellikle karmaşık durumlarda, çok sayıda değişken ve kriterin göz önünde bulundurulması gerektiği durumlarda kullanılır. Kriterlerin belirlenmesi, alternatiflerin tanımlanması, veri toplanması, değerlendirilmesi sonucunda analiz edilerek karar verilmesi aşamasıdır.

Çok kriterli karar verme yöntemlerine aşağıdaki uygulamalar örnek gösterilir.

- Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)
- TOPSIS Metodu
- VIKOR Metodu
- PROMETHEE Metodu

5.13 Simülasyon ve Modelleme

Simülasyon teknikleri, karmaşık projelerin dinamiklerini anlamak için kullanılabilir. Proje sürecinin çeşitli senaryolar altında nasıl işleyeceğini simüle ederek, karmaşıklığın etkilerini analiz etmeye yardımcı olabilir.

AnyLogic: Karmaşık sistemlerin simülasyonu için kullanılan çok yönlü bir yazılımdır. Sistem dinamikleri, ajan tabanlı ve olay tabanlı simülasyonları destekler.

Simul8: Süreç simülasyonu için kullanılan bir yazılımdır. İş akışlarını ve süreçleri görselleştirerek analiz etmeye olanak tanır.

Arena: Üretim ve hizmet sistemlerinin simülasyonu için yaygın olarak kullanılan bir yazılımdır. Süreçleri modelleyerek performans analizi yapmaya imkan sağlar.

NetLogo: Ajan tabanlı modelleme ve simülasyon yazılımıdır. Karmaşık sistemlerin dinamiklerini anlamak için kullanılır.

MATLAB/Simulink: Matematiksel modelleme ve simülasyon için güçlü bir araçtır. Özellikle mühendislik ve bilimsel araştırmalarda sıkça tercih edilir.

Bu modeller ve simülasyon yazılımları, proje karmaşıklığını anlamak ve yönetmek için kullanışlı araçlar sunar. Projelerin başarıyla tamamlanabilmesi için bu tür araçların etkin bir şekilde kullanılması önemlidir.

5.14 Proje Performans Göstergeleri

Proje performansını izlemek için kullanılan göstergeler, karmaşıklığı anlamak açısından önemlidir. Zaman, maliyet, kalite, kapsam, iletişim, riskler, değişiklik yönetim göstergeleri, performans göstergeleri gibi kriterler üzerinden projelerin durumu değerlendirilerek karmaşıklık hakkında bilgi edinilebilir.

5.15 Sürekli İyileştirme Süreçleri

Karmaşık projelerde sürekli iyileştirme metodolojileri, sürecin gözden geçirilmesi ve iyileştirilmesi için önemlidir. Lean ve Six Sigma gibi yöntemler, proje süreçlerini optimize ederek israfı azaltıp kalite süreçlerini arttırken, karmaşıklığı azaltabilir. Sürekli iyileştirme yöntemleri, projelerin etkinliğini artırmakta önemli rol oynamaktadır. Proje başarısı oranını arttırmak için sistematik bir yaklaşım içerir. Bu süreçte, geri bildirim mekanizmaları kullanılarak ekiplerin ve süreçlerin güçlü ve zayıf yönlerinin tespiti hızlandırılarak kayıt altına alınabilir. Performans ölçüm ve analiz, düzenli değerlendirme toplantıları, dokümantasyon ve bilgi paylaşımı gibi yaklaşımlar da sürekli iyileştirme süreçlerine katkı sağlar.

SONUÇ

Temelde sürekli değişen ve dinamik olarak tanımlanabilecek süreçler, istatistiksel olarak ele alındığında, gecikmeler, kalite hataları, bütçe aşımı gibi problemlerle karşılaşılması yaygındır.

Proje süreçlerinde zaman, kapsam, maliyet konularında hedefler ve bu hedeflerin gerçekleştirilebilmesi için yöntemler iyi tanımlanamadığında, geleneksel proje yönetim araçları yetersiz olmaktadır. Bu durumda, proje yöneticileri geleneksel yaklaşımlar doğrultusunda, projelerle ilgili doğrusal olmayan ilişkileri de göz ardı ederek, doğru olmayan veriler üzerinden gerçekçi olmayan tahminler yürütür. Bir projede karşılıklı olarak ilişkiler, geleneksel tekniklerin önerdiğinden daha karmaşıktır. Bu durum günümüzde dinamik proje süreçlerinin zorluklarının yönetilmesi konusunu yetersiz kılmaktadır.

Karmaşık ve dinamik bu ortamlarda, proje yöneticileri farklı yönetim metodoloji geliştirmeli ve belirsizlik ortamında karar alarak projenin başarılı bir şekilde yürütülmesine ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyaç neticesinde, farklı ve yeni olan birçok parametre içerisinde karmaşıklığın belirlenmesi, analiz edilmesi ve uygun eylem planlarının gerçekleştirilmesi amacıyla yöntemler geliştirilmiştir.

Proje karmaşıklığını etkileyen faktörler ve bu faktörülerin belirlenmesi sonucunda model önerileri belirtilmiştir.

Proje karmaşıklığını belirlemek, ölçmek ve çözümlemek için belirtilen farklı modeller ve yöntemler kullanılabilir. Bu modeller, projenin doğasına, gereksinimlerine ve ekibin yetkinliklerine bağlı olarak seçilmeli ve uygulanmalıdır. Doğru yaklaşım, projenin yönetimini kolaylaştırarak başarı oranını artırabilir.

Yakın gelecekte, çalışmada geçen proje karmaşıklığının ölçülebilmesinde uygulanabilecek metotlar ve modellerin yanı sıra, ilerleyen teknolojinin getireceği bir takım yenilikler de uygulanabilir hale gelecektir. Yapay zeka ve makine öğrenimi karmaşık veri

setlerini analiz ederek risk tahminlemesi yapabilecek ve kaynakların ve süreçlerin optimizasyonunu sağlayabilecektir. Makine öğreniminde ise geçmiş proje deneyimlerinin de incelenerek karar alınmasını kolaylaştırabilecektir.

Agile ve hızlı prototipleme metodu da mevcut durumda uygulanabilir yeni trendler arasındadır. Karmaşık olan projelerde daha esnek hareket edilebilmesi ve hızlı karar alınabilmesi için bu metotların kullanımı faydalı olacaktır.

Bulut tabanlı çözümler, büyük veri analizi, robotik süreç otomasyonu (RPA) gibi inovasyonlar da proje karmaşıklığının çözümlenmesi ve başarılı bir proje sürecinin ilerletilmesine katkı sağlayacak diğer yöntemler arasındadır.

Bu yeni trendler sayesinde de projelerin karmaşıklığını yönetme yeteneği gelişecek olup, daha başarılı sonuçlar elde edilmesine yardımcı olacaktır.

Kaynakça

C. F. Gray, E. W. Larson, (2004), Project Management: The Management Process 3rd Edition, *McGraw-Hill, London.*

Vidal, L. A., Marle, F., & Bacquet, J. (2011). Measuring project complexity using the Analytic Hierarchy Process. International Journal of Project Management, 29(6), 718-727.

Gönen, E. & Soyer, A., (2020), Proje Karmaşıklığının Ölçülmesine Yönelik Bir Model Önerisi, Int. J. Adv. Eng. Pure Sci. 32(4): 430-449.

Cicmil, S. (2009), Cooke-Davis, T., Crawford, L., & Richardson, K.

PMI Standards Committee. (2004). A Guide to the project management body of knowledge: (PMBOK Guide). Upper Darby, Pennsylvania, Project Management Institute.

Cristobal, J.R. (2017), Complexity in Project Management, International Conference on Project Management, 8-10.

Carral, L., Diaz, E., & Fraguela, J. (2018), Complexity and Project Management A General Overview.

Cristobal J., Diaz, E., Carral L. (2018), Complexity and Project Management: Challenges, Opportunites and Future Research.

R. E. Levitt, J. Thomsen, T. R. Christiansen, J. C. Kunz, Y. Jin,and C. Nass, (1999), Simulating project work processes and organiza-tions: toward a micro-contingency theory of organizationaldesign, Management Science, 1479–149.

Yugue, R. T. & Maximiano, A. C. A. (2012). Project Complexity and Management Processes, PMI Research and Education Conference.

Baccarini, D. (1996), The Concept of Project Complexity a review, *International Journal of Project Management*, 201–204.

R, Turner. A, Cochrane, (1993), Goals-and-methods matrix:coping with projects with ill defined goals and/or methods of achieving them, *International Journal of Project Manage-ment*, 93–102.

BÖLÜM III

Determination of Performance Criteria in the Turkish Shipbuilding and Repair Sector Using Multi-Criteria Decision-Making Methods

Fatma KOSOVALI ÇAVUŞ[1]
İrem DÜZDAR[2]

1.Introduction

The shipbuilding sector is an industry characterized by a high level of competition and complex production processes. Companies operating in this sector must meticulously determine and continuously improve their performance criteria in order to gain a sustainable competitive advantage. Performance criteria cover various elements such as cost, quality, delivery time and customer

[1] Dr. Öğr. Üyesi., Haliç Üniversitesi, Elektronik Teknolojileri Bölümü, 34060, İstanbul/Türkiye, Orcid: 0000-0003-2725-2876, fatmacavus@halic.edu.tr
[2]Dr. Öğr. Üyesi, Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce/Türkiye, Orcid: 0000-0002-7642-8121, iremduzdar@duzce.edu.tr

satisfaction and are used as key indicators to improve the operational efficiency of businesses (Smith & Johnson, 2020; Lee & Kim, 2018).

In recent years, academic studies on determining and managing performance criteria in the shipbuilding industry have increased. These studies reveal the best practices in the sector using different methods and approaches and guide companies. For example, methods such as benchmarking and lean production principles offer effective strategies to increase the efficiency of the production process and reduce waste (Brown & Davis, 2019; Garcia & Martin, 2021). Studies examining the relationship between risk management and project performance reveal critical factors to increase project success (Turner & Hall, 2019; Wright & Thompson, 2020).

This sector requires a comprehensive approach to performance management and evaluation due to its high level of competition, complex production processes and cost structure. In this context, Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods stand out as an important tool for determining and optimizing performance criteria. MCDM methods aim to determine the best solution alternatives and improve decision-making processes by taking into account various performance criteria (Wang & Huang, 2017).

In recent years, academic studies on the use of MCDM methods in the shipbuilding industry have increased. These studies offer solutions to complex decision-making problems faced by industry, considering various performance criteria such as cost, quality, delivery time and environmental impacts. For example, MCDM methods such as Analytic Hierarchy Process (AHP) and

TOPSIS are used as effective tools in determining and ranking performance criteria (Chen, Lee & Lin, 2018; Gavalas et al., 2022).

In a study conducted by Wang and Huang (2017), the AHP method was used in the performance evaluation process in shipbuilding projects and different criteria were prioritized (Wang & Huang, 2017). Similarly, in a study conducted by Chen et al. (2018), performance criteria in shipbuilding projects were evaluated using the TOPSIS method and the best performing alternatives were determined (Gavalas et al. 2022).

Gavalas et al. (2022) stated that establishing key performance indicators is challenging for shipbuilding policy makers and proposed an approach based on three different MCDM techniques: Fuzzy DEMATEL, Fuzzy ANP and MOORA. The study considered 25 variables, including four different perspectives of a balanced scorecard approach, and showed that shipyards that are effective in the customer variable have higher performance, while the variables that constitute the learning and growth dimension have a lower impact (Görçün, 2020). Görçün (2020) used AHP methodology to evaluate the factors affecting ship type selection. In this study, which was conducted to provide a scientific and practical approach to decision makers working in the maritime sector, decision alternatives for tankers, containers, dry cargo and RoRo ships were evaluated (Görçün, 2020).

Erol et al. (2017) examined how shipbuilding shipyards should be chosen among different ship types. In the study, Fuzzy TOPSIS and Fuzzy VIKOR, which are fuzzy logic multi-criteria decision-making methods, were used to take into account the economic

factors that should be taken into account in ship management, as well as the factors affecting the ship management process (Erol et al., 2017).

As a result of Turkey's geographical location and global developments, Turkey has an important place in the world in shipbuilding. The shipbuilding industry in Turkey has developed rapidly in recent years and made significant economic contributions to the country. Shipyards not only build ships from scratch, but also repair ships flying the flags of different countries. The growth in this sector has also made a significant contribution to the country's employment (OECD, 2020). The importance of using performance criteria in shipbuilding and repair stems from the fact that they play a vital role in improving the efficiency, quality and competitiveness of the industry.

The aim of this study is to help the shipping industry draw a road map to maintain its high standards, adapt to technological innovations and compete effectively in the global market by prioritizing performance criteria. The findings obtained from this study provide significant information on determining and evaluating performance criteria in the shipbuilding and repair industry. Multi-criteria decision-making methods in literature enable decision makers in the sector to make more effective and efficient decisions and demonstrate the applicability of these methods.

MCDM methods offer a more systematic, inclusive and sensible approach when analyzing the importance of performance metrics in shipbuilding and repair. These methods improve the decision-making process, provide optimal solutions and manage

risks, increasing the efficiency and competitiveness of the industry. In our study, the Analytical Hierarchy Process (AHP) method is used to determine and rank performance criteria in the Turkish shipbuilding and repair industry. This method is frequently preferred in literature and is successful in solving similar complex problems. By transforming the findings of this study into practice, several recommendations can be given including strategic applications for improving performance in the Turkish shipbuilding and maintenance sector.

2.Material And Methods

2.1 Key Performance Indicator (KPI)

Companies organize performance criteria to achieve their vision and mission and measure whether resources are used professionally through these criteria. KPIs (Key Performance Indicators) control income and expenses and evaluate whether company resources are used efficiently. KPIs have been used by many companies today and in the past; however, companies generally focused on economic indicators. However, non-financial indicators were also evaluated using a balanced performance scorecard. Performance indicators are used not only as an internal evaluation tool, but also in comparison with other companies through secondary data (Özdemir & Küçükçolak, 2021). An organization analyzes its activities and uses KPIs to measure its progress after identifying its stakeholders. KPIs are usually considered long-term and are not changed frequently, which provides the opportunity to demonstrate continuity and improvement (Akal, 2005).

Key performance indicators are measures that show how well the organization or individual controls the operational, tactical and strategic actions critical to its current and future success. These are critical metrics that must be defined, measured, reported and managed for a project to be seen as successful by all stakeholders. According to Kerzner (2014), every word in KPIs can be fully understood and used as a set of standards for number optimization and verification of correct KPIs (Kerzner, 2014). There are important factors to consider in the KPI development process. KPIs are general performance indicators that focus on critical outcomes and should be kept in only a limited, manageable number. Having too many and complex KPIs wastes time and resources. Systematic and consistent use of KPIs increases their value (Kartal, 2020). The data collection process should be as simple as possible. A large sample size is required to reduce the influence of project-specific variables. For performance measurements to be effective, they must be accepted, understood and owned throughout the organization. Additionally, KPIs should evolve and improve over time. Graphical representations of KPIs should be simple, easy to update and accessible (Chan & Chan, 2004).

2.2 Analytical Hierarchy Process (AHP)

AHP is a method that can be used to solve decision-making problems, developed by Saaty in 1977, which allows the decision maker to model the complex problem in a hierarchical structure showing the relationship between target-criteria-sub-criteria-alternatives (Saaty, 1977). It provides a hierarchical structure for complex problems by being able to evaluate quantitative and qualitative criteria in decision making, including the intuitions,

preferences, experiences, knowledge, judgment and thoughts of the group or individual in the decision process (Sümeyra & Kazan, 2016). It involves building a hierarchy of decision elements and making comparisons between each possible pair to calculate the weight of each element within a cluster (or level of hierarchy) with a decision consistency ratio. In the first step of AHP, the problem is defined by the decision maker and the purpose of the decision problem is determined. In line with the goal to be achieved in the decision problem, the criteria that the alternative expected to be chosen must have been determined. When explaining the main and sub-criteria, it is important to provide a detailed definition. At the same time, expert opinions in the field of study can be used during the criterion determination phase. The structure in which the purpose, main criteria, sub-criteria and alternatives are listed in accordance with the hierarchy and their relationships with each other are shown is established at this stage. At the third stage, for each of the criteria, pairwise comparisons are made by experts in the field based on the importance scale (Sümeyra & Kazan, 2016).

Table 1 Scale Used in Analytical Hierarchy Method (Urfalıoğlu & Tüter, 2015)

IMPORTANCE LEVEL	DEFINITION	DESCRIPTION
1	Equal Importance	Both activities contribute equally.
3	Moderately More Important Than the Other	Experience and judgment slightly favour one activity over the other.
5	Strongly More Important	Experience and judgment strongly favour one activity over the other.
7	Very Strongly More Important	One activity is strongly preferred, and its dominance is evident.
9	Extremely More Important	There is strong evidence supporting the preference for one activity over the other.
2,4,6,8	Intermediate Values Between Adjacent Judgments (Average Values)	Values used when compromise is needed between two consecutive judgments.

The scale used for pairwise comparison by Thomas L. Saaty is as in Table 1.

Pairwise comparison(A). The matrix is shown in Equation 1.

$$A = \begin{vmatrix} 1 & a_{12} \dots\dots\dots. & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{21}} & 1 \dots..\dots\dots. & a_{2n} \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} \dots\dots\dots. & 1 \end{vmatrix} \quad (1)$$

a_{ij}: i. criterion and j. is the pairwise comparison value of the criterion

Each a_{ij} value in the pairwise comparison matrices show how important criterion i is compared to criterion j. Pairwise comparison matrices are square matrices of size n×n and the

elements are all positive numbers. The diagonals of the matrix are 1. There is aij=1/aji relationship between the elements of the matrix.

To calculate weight vectors, it is first necessary to perform normalization. To do this, the normalized matrix is obtained by dividing the element in each column of the pairwise comparison matrix by the column total. Normalized matrix elements bij (ij=1,2,3….n). If we represent it with, the elements of the normalized matrix are found with Equation 2 (Çakıl, 2017).

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \qquad (2)$$

It is the matrix created with the values calculated by taking the average of the row sum of the normalized matrix. The elements of the matrix are calculated by equation 3.

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} b_{ij}}{n} \qquad (3)$$

W column vector

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \cdots \\ w_n \end{bmatrix} \qquad (4)$$

Each wi value in this matrix, Equation 4. The criterion is called its weight and importance, and the sum of the elements of this vector is equal to 1.

The consistency of the comparison matrices is calculated to ensure the accuracy of the result. First, the Consistency Index (CI) coefficient is calculated. This coefficient is calculated by Equation 6 and Equation 7.

$$\mathrm{CI} = (\lambda_{\mathrm{MAKS}} - \mathrm{n})./(\mathrm{n} - 1) \qquad (6)$$

$$\lambda_{MAKS} = \left(\frac{1}{n}\right) . \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\, w_j}{w_i}\right] \qquad (7)$$

After the CI coefficient, the Random Index (RI) value is obtained from table 2 (Çakıl, 2017).

Table 2 Random Index (RI) Values (Çakıl, 2017)

Matrix size(n).	1	2	3	4	5	6	7	8
Random Index Value	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41
Matrix size(n).	9	10	11	12	13	14	15	
Random Index Value	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59	

Finally, Consistency Ratio (CR) is calculated using Equation 8.

$$CR = CI/R \qquad (8)$$

CR value If is less than 0.10, it is concluded that the matrix is consistent (Saaty, 2008).At evaluation and conclusion stage, AHP

scores are determined, and alternatives are ranked according to these scores. The alternative with the highest score is first in line for selection.

3. Application

There is no widely accepted definition and/or measure for shipyard performance key criteria in the shipbuilding industry. Therefore, it should be noted that most of the researchers working on this topic have made their own definitions and suggested different parameters for their approaches.

The aim of this study is to determine the performance criteria in the Turkish Shipbuilding and Repair Sector using Multi-Criteria Decision-Making Methods and to rank them according to their importance. In this context. AHP method, one of the multi - criteria decision making methods, was used. The criteria determined in this study were created using literature research, expert opinions and BS EN 15341:2007 Maintenance Performance Key Indicators Standards. Pairwise comparisons of performance indicators were made by 6 experts working in different shipyards and different departments. Shipyard employees were asked to make a comparison verbally through a survey. The hierarchical structure consisting of 7 main criteria and 41 sub-criteria is shown in Table 3. As seen in Table 3, Economic Criteria, Operational Activities (Marketing & Planning & Production & Design). Seven main criteria have been established: Customer, Environment and Occupational Health, Supply Chain, Equipment Maintenance and Human Resources. There are sub-criteria under each main criterion.

During the application, first the criterion weights were found with the help of AHP, and then, using the weights found, the companies' basic performance criteria were listed in order of importance. First, AHP pairwise comparisons of performance indicators were requested by 6 experts. Both the main performance key criteria were compared with each other and comparison matrices were created by comparing the sub-criteria under the main performance key criteria with each other. 6 Criteria compared with expert support were combined by taking the geometric mean.

Table 3 Main criteria and sub-criteria

Sub-criteria of the Economic Decision Variable
Cost of Permanent Personnel Number (E1).
Subcontractor Personnel Number Cost (E2).
Tax Cost (E3).
Labor and Material Cost (E4).
Outsourcing Cost (Labour and equipment). (E5).
Sub-criteria of the Operational Activities Decision Variable
Ship mooring, dock and dock density at the shipyard (O1).
Planning the number and density of ships (O2).
Ship Shipyard Location (Docking). (O3).
Transfer time of the ship specification to the planning and production department (O4).
Zero number of work and environmental accidents (O5).
Zero amount of environmental pollution (O6).
Material and Equipment and Labor Planning speed (O7).
Project Plan Readiness status (O8).

Rate of Receiving Work Orders from the Customer on Time (O9).
The rate of work being done and delivered according to quality standards (O10).
Timely completion rate of projects (O11).
Fire/Time reduction ratio (O12).
Sub-criteria of the Customer Decision Variable
Profit per Customer (M1).
Customer Growth Rate (M2).
Ability to retain existing customers (M3).
Customer Retention Rate (M4).
Customer satisfaction Rate (M5).
Sub-criteria of the Environmental and Occupational Health Decision Variable
Number of Work Accidents with Injury (OHS1).
Number of Fatal Work Accidents (OHS2).
Number of Occupational Diseases (OHS3).
Removal rate/number of Near Miss incidents (OHS4).
Personnel Training (OHS5).
Environmental Pollution (OHS6).
Legislation legal requirements (Compliance & adaptation). (OHS7)
Subcriteria of the Supply Chain Decision Variable
Stock Keeping (Min. stock rate). (T1).
Demand Lead Time (T2).
Rate of returning (unused) materials to stock (T3).
Audit Rate of Suppliers (T4).
Number of New Suppliers (T5).

Sub-criteria of the Equipment Maintenance Decision Variable
Equipment Periodic Maintenance Rate (EB1).
Equipment Daily Weekly Check Rate (EB2).
Equipment Spare Part Quantity (EB3).
Equipment Failure Response Speed (EB4).
Sub-criteria of the Human Resources Decision Variable
Frequency of Staff Training (HR1).
Personnel Change Rate (HR2).
Personnel Supply Time (HR3).

Each indicator was calculated by normalizing the combined criterion weights using the geometric mean. After the weights of the performance criteria were obtained, the consistency of the matrix was calculated. According to the literature, if the consistency value is greater than 10%, expert evaluations need to be reconsidered. Pairwise comparison matrix (V) according to Equation 7 to calculate the consistency value. Each value found by multiplying the weighted eigenvector matrix (W) is divided by the eigenvector corresponding to that value. The average of the values obtained because of the division is taken and the maximum eigenvalue λmax is calculated. C and CR coefficients were calculated and were considered consistent if CR was less than 0.1. Tables regarding consistency calculation are shown. The results of the consistency calculation, λmax , v, w, v/w, C I , CR values, are given in Tables 4-5. From the consistency calculations for the matrices belonging to each category, it was observed that all evaluations were consistent within their own category

Table 4 AHP consistency calculation for main criteria

Decision Variables	V	W	V/W
Economic Criteria	0.176	1,283	7,273
Operational Activities	0.089	0.632	7,116
Customer	0.194	1,448	7,457
Environmental and Occupational Health	0.390	2,931	7,516
Supply chain	0.058	0.416	7,172
Equipment Maintenance	0.048	0.348	7,236
Human Resources	0.045	0.316	7,084
λ_{MAX}	7.26		
C.I.	0.044		
C.R.	0.033		

The evaluations for all criteria are consistent because the condition C.R. < 0.1 is satisfied. The maximum eigenvalue and other consistency indices show that the method is applied correctly.The highest weight was found as 0.390 for "Environmental and Occupational Health Criterion." This shows that this category is the most important criterion in the decision process. The results show that the decision matrix is consistent. This consistency means that the weights obtained are reliable. The fact that environmental and occupational health criteria have the highest weight reveals that this

area should be taken into consideration as a priority in the decision-making process.

Table 5 AHP consistency calculation for sub-criteria of the Economic Main criterion

Decision Variables	W	V	V/W
E1	0.085	0.432	5,097
E2	0.255	1,326	5,191
E3	0.120	0.611	5,087
E4	0.424	2,242	5,283
E5	0.116	0.584	5,053
λ_{MAX}	5.14		
C.I.	0.036		
C.R.	0.032		

After calculating the weights of the basic performance indicators, the weight rankings calculated by comparing the 7 main criteria among themselves (Figure 1) and each sub-criteria with other criteria in their own category are shown in Tables 6 and 7.

Table 6 Weight ranking of main criteria

Order	**Main Criteria**	**Weight**
1	Occupational And Environmental Health	0.390
2	Customer	0.194
3	Economic Criteria	0.176
4	Operational Activities	0.089
5	Supply Chain	0.058
6	Equipment Maintenance	0.048
7	Human Resources	0.045

Table 6 shows the weighting order of the 7 main criteria in evaluating the performance indicators. Occupational Health and Environment (0.390) has the highest weight, emphasizing the importance given to safety, sustainability and environmental regulations. Customer (0.194) and Economic Criteria (0.176) are in second and third place respectively, revealing the critical role of customer satisfaction and financial performance.

Other criteria, Operational Activities (0.089), Supply Chain (0.058), Equipment Maintenance (0.048) and Human Resources (0.045), have lower weights. This shows that health, safety and customer-oriented factors are prioritized, while operational and resource-oriented criteria are less important.

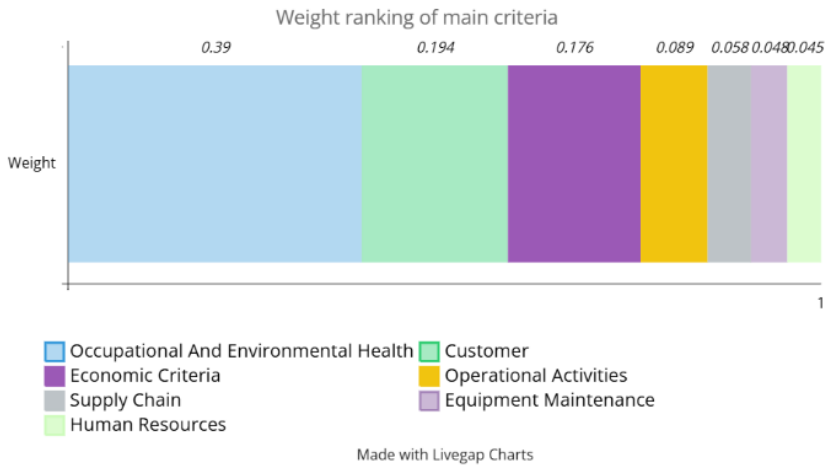


Figure 1 Weight ranking of main criteria

Table 7 Weight ranking of economic sub-criteria

Order	**Economic Criteria**	**Weight**
1	Labor and Material Cost	0.424
2	Number of Subcontractor Personnel Cost	0.255
3	Tax Cost	0.120
4	Outsourcing Cost (Labour and equipment)	0.116
5	Number of Permanent Personnel Cost	0.085

4. Results

KPIs are a measure of success and are necessary for tracking projects in a ship repair field and for performance evaluations of shipyards. Also, the most difficult parts are the ranking of indicators according to their importance in performance evaluations for shipyards and the method by which this ranking is determined.

In this study, it is aimed to determine the performance criteria in the Turkish shipbuilding and repair sector and to rank the importance of these criteria with the Analytical Hierarchy Process (AHP), one of the multi-criteria decision-making methods. The study provided important information on determining key performance indicators (KPIs) in the sector and ranking these criteria. Literature review, expert opinions and BS EN 15341:2007 Maintenance Performance Key Indicators Standards are used to determine performance indicators.

As a result of pairwise comparisons made with the participation of 6 experts, performance indicators in the sector were evaluated and their importance rankings are made. The significant gap between the first-ranked criterion (**Occupational and Environmental Health**) and the others indicates a strong focus on health, safety, and environmental concerns. This trend aligns with global movements toward sustainability and responsible business practices.

According to the results, among the main criteria among the main performance indicators for repair and maintenance shipyards in the shipbuilding sector, Environment and Occupational Health have the highest weight with a rate of 0.39, and the Customer criterion comes in second with a rate of 0.194. These results are also compatible with the literature. For sub-criteria; in the Economic Criterion, the Labor and Material Cost has the highest importance with a rate of 0.424. In the operational activities criterion, the number of Zero work and environmental accidents has the highest rate with a rate of 0.207, while the Zero environmental pollution amount criterion has approximately the same level of importance.

The highest sub-criterion in the Customer criterion is Customer Satisfaction Rate with 0.425, the highest sub-criterion in the Supply Chain criterion is Demand Lead Time with 0.424, the highest sub-criterion in the Equipment Maintenance criterion is Equipment Daily & Weekly Control Rate with 0.419, the highest sub-criterion in the Human Resources criterion is 0.634. The highest sub-criterion in the Personnel Supply Time, Occupational and Environmental Health criteria was determined as Number of Fatal Work Accidents, with 0.39.

5. Conclusion And Recommendations

This study is aimed to provide an infrastructure for future studies in the shipbuilding industry. This study will support shipyards that aim to improve and adjust their current situation. It will help direct the investment to be made through improvement to the right areas and prevent both financial loss and loss of time by preventing wrong investments in key performance indicators that will not have a significant return effect. It is possible to get results in a short time by investing in the right performance indicators. By transforming the findings of this study into practice, several recommendations can be given including strategic applications for improving performance in the Turkish shipbuilding and maintenance sector.

Proactive Safety Management: Proactive safety management policies should be implemented to minimize occupational accidents and ensure employee safety. Regular safety training and risk assessments play an important role in preventing accidents.

Regular Inspections: Regular inspections should be conducted to ensure compliance with environmental and occupational health standards, and improvement areas should be identified as a result of these inspections.

Zero Accident Target: Risk analyses and safety measures should be strictly implemented to prevent occupational and environmental accidents. Continuous training and awareness campaigns should be organized to achieve this goal.

Performance Monitoring: The performance of operational activities should be regularly monitored and improvement opportunities should be identified. Performance indicators should be monitored, especially to achieve the zero occupational and environmental accident target.

Periodic Maintenance Programs: Maintenance programs should be created to ensure that daily and weekly maintenance checks of equipment are performed regularly. This application will help prevent equipment failures and production interruptions.

Personnel Supply Period: Accelerating and optimizing new personnel recruitment processes will be effective in meeting the human resources needs of the business.

References

Akal, Z. (2005). Long-term performance indicators. Industrial Management, 24(4), 299–310.

Brown, T., & Davis, R. (2019). Lean production in shipbuilding. Manufacturing and Service Operations Management, 21(1), 98–110.

Çakıl, İ. (2017). Performance evaluation in shipyards using AHP. Engineering Management Journal, 29(4), 378–389.

Chan, F., & Chan, H. (2004). Development of performance measurement system in shipbuilding. European Journal of Operational Research, 156(2), 305–316.

Chen, Y., Lee, J., & Lin, Z. (2018). Application of TOPSIS in shipbuilding performance evaluation. Ocean Engineering, 160, 106–117.

Erol, H., et al. (2017). Decision making in shipbuilding using fuzzy TOPSIS and fuzzy VIKOR. Journal of Naval Engineering, 29(3), 301–319.

Garcia, P., & Martin, L. (2021). Benchmarking in the maritime industry. Operations Research Perspectives, 8, 100157.

Gavalas, D., et al. (2022). MCDM techniques in shipbuilding. Maritime Policy & Management, 49(3), 389–406.

Görçün, Ö. (2020). Factors influencing ship type selection. Maritime Business Review, 5(1), 1–18.

Kartal, K. (2020). Key performance indicators: A comprehensive guide. Management Review Quarterly, 70(2), 233–256.

Kerzner, H. (2014). Project management 2.0: Leveraging tools, distributed collaboration, and metrics for project success. New York, NY: John Wiley & Sons.

Lee, S., & Kim, H. (2018). Evaluating shipyard performance. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 10(2), 456–467.

OECD. (2020). Peer review of the Turkish shipbuilding industry. Retrieved from https://one.oecd.org/document/C/WP6(2020)11/FINAL/En/pdf

Özdemir, A., & Küçükçolak, H. (2021). KPI development in maritime industry. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 45(2), 210–225.

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences, 1(1), 83–98.

Sümeyra, G., & Kazan, H. (2016). Analytical hierarchy process in decision making. Decision Sciences, 47(3), 123–145.

Shepherd, V. (2020). Solar energy plants project selection with AHP decision-making method based on hesitant fuzzy linguistic evaluation. Complex & Intelligent Systems, 6, 507–529.

Smith, J., & Johnson, M. (2020). Performance indicators in shipbuilding. Journal of Maritime Studies, 32(4), 123–134.

Turner, J., & Hall, P. (2019). Risk management in shipbuilding projects. Project Management Journal, 50(5), 600–612.

Urfalıoğlu, F., & Tüter, K. (2015). An application on selection of appropriate granite in terms of customer satisfaction with the analytical hierarchy method. Marmara University Journal of Economics and Administrative Sciences, 37(1), 233–260.

Wang, X., & Huang, Y. (2017). Multi-criteria decision making in shipbuilding. Journal of Marine Science and Technology, 22(1), 56–67.

Wright, T., & Thompson, G. (2020). Project performance and risk management. Journal of Civil Engineering and Management, 146(7), 04020064.

BÖLÜM IV

Modelıng The Product Yıeld And Kınematıc Vıscosıty Of Bıodıesels Produced From Sıx Dıfferent Feedstocks

Hüseyin ŞANLI[1]
Aylin DUMAN ALTAN[2]

Giriş

The finite nature of fossil fuels and their negative environmental effects push the whole world to use sustainable alternative resources. Biodiesel is a promising alternative due to its environmental friendliness, availability, biodegradability, non-toxicity, attractive fuel properties and engine efficiency comparable to petrodiesel (Das et. al., 2024). Biodiesel fuel is preferred especially in the transportation sector due to its many advantages, including its compatibility with the existing fuel distribution

[1] Assoc. Prof. Tekirdağ Namik Kemal University Corlu Vocational School, Automotive Technology, ORCID: 0000-0002-1297-2419, hsanli@nku.edu.tr
[2] Assist. Prof. Tekirdağ Namik Kemal University Corlu Engineering Faculty Industrial Engineering, ORCID: 0000-0002-5651-1366, aduman@nku.edu.tr

infrastructure and its superior exhaust emission profile (Asaad et. al. 2024).

Biodiesel, a biomass-derived fuel, is usually produced by the reaction of vegetable or animal fats with short-chain alcohols in the presence of alkali catalysts (known as a transesterification reaction) (Mostafaei, 2018). The efficiency of this chemical reaction is indexed on many reaction-related parameters. Therefore, biodiesel properties vary depending on different types of raw materials (feedstocks) or variations in production processes. Standards such as ASTM D6751, EN 14214, etc. have been developed to guarantee the reliability of the produced biodiesel. Therefore, one of the biggest challenges in biodiesel production is to ensure that the product qualities are within the acceptance values determined by the standards while trying to maximize product yield. In order to optimize transesterification, a considerable number of physical experiments are required to predict the reaction responses and interactions given to each parameter (Xing et. al., 2021). This is time consuming and costly. To overcome this problem, model development studies are carried out to estimate experimental parameters. It is clearly seen that machine learning techniques such as ANN and ANFIS demonstrate superior predictive ability compared to traditional methods, especially when it comes to complex processes (Aghbashlo et. al, 2021).

This study aimed to evaluate the potentiel of developing a robust and accurate model for the prediction of biodiesel yield and kinematic viscosity value of biodiesel, which is considered as a function of reaction time (which is one of the most important operational parameters), and feedstock type. In the study where the ANFIS method was used to develop the prediction model, the results (especially due to the low RMSE values) are promising.

Predicting of reaction parameters for biodiesel production

By a stoichiometric transesterification reaction (see Figure 1), theoretically, the alcohol (3 mol) reacts with the oil (1 mol) to produce the alkyl monoester (biodiesel) (3 mol) and the glycerol (1 mol) is obtained as a by-product.

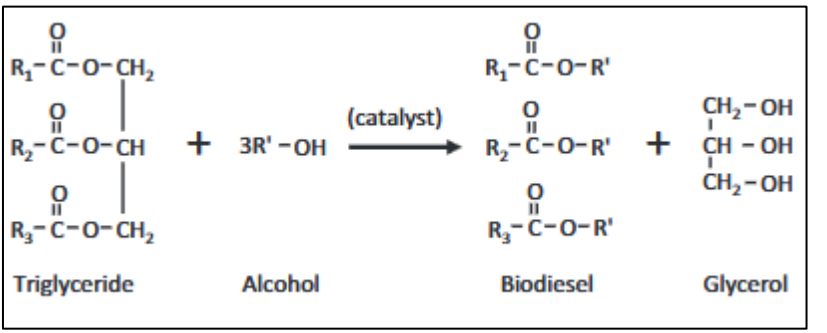


Figure 1. Stoichiometric Transesterification Reaction (Hada et al., 2024)

The product yield obtained at the end of the transesterification reaction (calculated as the mass of biodiesel obtained / mass of feedstock reacted) is one of the most important indicators affecting the unit cost of biodiesel fuel. Considering the consistently high cost of the feedstock, which accounts for approximately 70-85% of the total biodiesel production cost, it becomes clear that this is the biggest obstacle to the full adoption of biodiesel as an alternative to traditional fossil diesel fuel (Ishola et. al. 2024). Therefore, for biodiesel production that meets the desired specifications under varying conditions, it is an important finding that the maximum product yield can be predicted by analyzing the interactions of process parameters. The product yield based on transesterification reaction can be significantly affected by diverse operating parameters such as reaction time, reaction temperature, oil/alcohol mole ratio, catalyst dosage, etc. (Gupta et al. 2021). For

the success of the reaction performance, it is necessary to determine the appropriate reaction conditions based on these parameters. Due to all these, examining the relationships between the relevant parameters is a very popular subject. For example, in a study conducted by (Mohamad et. al., 2017), the yield of biodiesel obtained using palm oil was modeled with the RSM methodology and it was determined that the parameter that most affects the biodiesel yield is the reaction time. In another study (Betiku et. al. 2021), the yield of biodiesel produced using palm oil was successfully estimated with ANFIS, ANN, RSM methods based on methanol/oil ratio, catalyst loading and time parameters and it was determined that the most effective parameter was reaction time. The yield of biodiesel produced from flaxseed oil was successfully predicted using various machine learning methods as a function of the molar ratio of methanol/oil, catalyst weight, temperature and reaction time parameters (Gupta et al. 2021).

Kinematic viscosity is one of the basic criteria specified by the standards (like ASTM, EN) to ensure the appropriate use of biodiesel in diesel engines. Although the use of biodiesel is favourable due to its lower carbon dioxide emissions and higher kinematic viscosity to counter the problems of leakage and poor atomisation, incomplete combustion, deposit formation and cold-weather breakdown that can be caused by low kinematic viscosity, too high biodiesel kinematic viscosity leads to a reduction in atomisation quality and increases deposit formation in engine (Santos et al., 2021). These factors make it clear how important it is to be able to predict the viscosity value based on experimental conditions. In addition to all this, considering that the variability in the composition of biodiesel produced from different raw materials significantly affects the change in physical properties such as viscosity (Krishnasam & Bukkarapu, 2021), it becomes much more

important to be able to predict viscosity as a function that can be generalized using different raw materials. Briefly, since the high accuracy of viscosity prediction is contingent upon the composition and chemical properties of each compound in the mixture, their interactions, temperature and the type of prediction model (Santos et al., 2021), studies are carried out based on different experimental conditions and different methods. In some studies conducted for this purpose (Mehrizadeh et . al. 2020, Kassem et. al. 2018), kinematic viscosity values were estimated with various machine learning methods using an experimental set consisting of experimental data from different studies in the literature. In the study conducted by (Meng et. al., 2014), it was determined that the ANN method gave more successful results compared to empirical formulas in estimating kinematic viscosity using a data set compiled from studies in the literature and based on different raw material types.

The accurate estimation of the effects of reaction time on the product yield and kinematic viscosity of a biodiesel fuel produced with the generally used reaction conditions will provide lots of advantages such as cost, labour and time. However, when the relevant literature was examined, it was determined that the number of studies in this scope was quite limited and that existing studies generally focused on a limited number of raw material types. This study aimed to partially eliminate this deficiency in the literature.

Material and Method

The data were obtained from a study in the literature published specifically in this field (Sanlı, 2005). The used data includes product yield and kinematic viscosity values (for 6 different feedstocks: sunflower oil, corn oil, soybean oil, rapeseed oil, hazelnut oil, and cottonseed oil) when the reaction time was increased from 30 minutes to 8 hours (the data set consists of a total

of 54 experimental measurement points as 9x6 at 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 hours, respectively) under transesterification reaction conditions where the mole ratio of methanol to oil is 6:1, 1% KOH and room temperature.

In order to develop a prediction model, the ANFIS model, which combines artificial neural networks and fuzzy logic methods as a hybrid, was used since chemical reactions have nonlinear behaviour and therefore nonlinear models should be used for accurate prediction (Mostafaei, 2018). In this study, Sugeon's system, which is the most frequently used and widely accepted validity system, was preferred. Since the study was carried out to derive a generalized model, the experiment times and oil type were used as the inputs and prediction values were obtained for each output. 90% of the data was used as training and 10% as test data. The two-input-one-output ANFIS network structure developed with MATLAB software is presented in Figure 2.

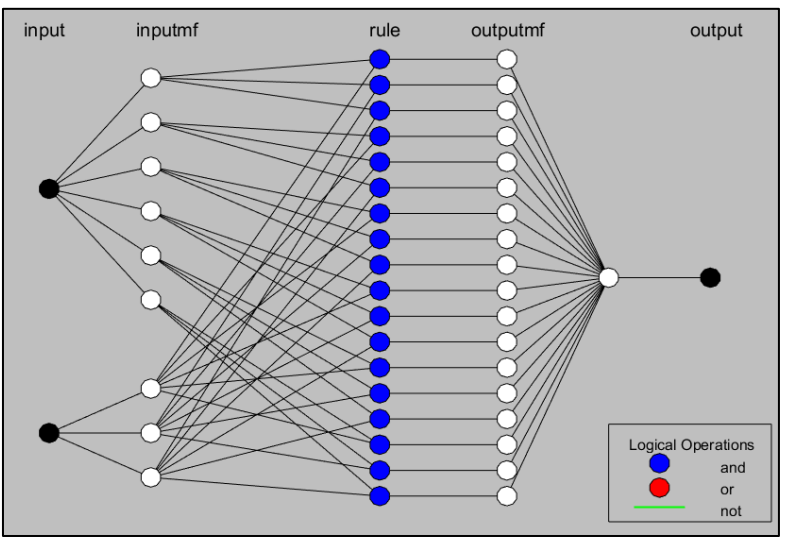


Figure 2: Developed model structure

Root mean square error (RMSE) and coefficient of determination (R^2) indicators were utilized to evaluate the accuracy performance (similar to the study conducted by Yıkmış et al., 2024) of the obtained prediction results. The equations used for performance indicators are presented below.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_{predicted} - Y_{experimental})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Y_{average} - Y_{experimental})^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_{predicted} - Y_{experimental})^2\right)}$$

Results And Discussion

The summary table showing the raw data and forecasting results and the summary table containing the values of the indicators used in the evaluation of the model performance are presented in Table 1 and 2, respectively.

Table 1: Forecasting values based on inputs and outputs

Inputs		**Output Yield (%)**		**Output Viscosity ($mm^2.s^{-1}$)**	
Oil Type	**Time**	**Actual**	**ANFIS**	**Actual**	**ANFIS**
Sunflower	0.5	98	98.01	4.72	4.71
Sunflower	1	99.1	99.09	4.49	4.55
Sunflower	2	99.1	99.14	4.62	4.541
Sunflower	3	98.9	98.84	4.5	4.52
Sunflower	4	99.5	99.52	4.18	3.37
Sunflower	5	99.3	99.26	4.34	4.40
Sunflower	6	98.8	98.87	5.2	5.13
Sunflower	7	99.2	99.17	4.29	4.30
Sunflower	8	99.9	99.1	4.43	4.44

Corn	0.5	96.8	96.79	4.75	4.74
Corn	1	97.7	97.71	4.62	4.56
Corn	2	99.9	99.86	4.32	4.46
Corn	3	99.1	99.14	4.42	4.41
Corn	4	98.7	98.71	4.46	4.34
Corn	5	99.6	97.96	4.38	4.40
Corn	6	98	97.98	4.36	4.54
Corn	7	98.7	98.69	4.42	4.51
Corn	8	99.1	99.12	4.53	4.48
Soybean	0.5	99.5	99.52	4.28	4.36
Soybean	1	98.9	98.88	4.38	4.29
Soybean	2	99.7	99.68	4.44	4.41
Soybean	3	99.7	99.74	4.44	4.45
Soybean	4	99.4	99.38	4.25	4.77
Soybean	5	99.5	99.49	4.09	4.22
Soybean	6	99.9	99.1	4.1	3.973
Soybean	7	98.6	98.64	4.2	4.21
Soybean	8	99.1	99.08	4.07	4.09
Rapeseed	0.5	99.5	99.45	4.65	4.69
Rapeseed	1	98.7	98.75	4.76	4.65
Rapeseed	2	99.5	99.56	4.84	4.96
Rapeseed	3	99	98.91	4.7	4.70
Rapeseed	4	99.9	99.84	4.71	4.60
Rapeseed	5	99.7	99.78	4.47	4.68
Rapeseed	6	98.8	98.74	5.05	4.83
Rapeseed	7	98.7	98.67	4.31	4.50
Rapeseed	8	98.7	98.74	4.77	4.70
Hazelnut	0.5	98.3	98.33	4.46	4.47
Hazelnut	1	98.2	98.17	4.32	4
Hazelnut	2	99.5	99.48	4.58	4.32
Hazelnut	3	99.8	98.52	4.34	4.55
Hazelnut	4	99.6	99.68	4.5	4.34
Hazelnut	5	99.6	99.45	4.45	4.58
Hazelnut	6	98.3	98.47	4.27	4.43
Hazelnut	7	99	98.92	4.41	4.27
Hazelnut	8	99.2	99.21	4.3	4.35
Cottonseed	0.5	95.37	95.37	5.06	5.00
Cottonseed	1	99.3	99.30	4.12	4.22
Cottonseed	2	98	98.04	4.66	4.60

Cottonseed	3	99.2	99.09	4.53	4.54
Cottonseed	4	98.1	98.23	4.54	5.58
Cottonseed	5	98.7	98.54	4.38	4.38
Cottonseed	6	98.5	98.70	4.22	4.20
Cottonseed	7	98.5	98.34	4.5	4.53
Cottonseed	8	99.5	99.56	4.26	4.25

Table 2. Summary of model performance indicators

Indicators	**Yield**		**Viscosity**	
	Training	**Testing**	**Training**	**Testing**
R^2	0.99	0.77	0.73	0.76
RMSE	0.06	1.8	0.12	0.12

R^2 : Correlation coefficient; RMSE: Root mean square error

The R^2 values of the models developed for the estimation of yield (%) and kinematic viscosity ($mm^2.s^{-1}$, 40 ^0C) ranged between 0.99 and 0.73 (Table 2). The RMSE values of the models developed for the prediction of yield (%) and viscosity (mm^2s^{-1}, 40 ^0C) ranged between 0.06 and 1.8.

In the study conducted by (Kumar & Bansal, 2023), the biodiesel yield obtained from soybean oil was estimated and the predictive performance indicators based on the ANFIS method were found to be R^2 = 0.99 and RMSE = 0.56. In this study, although the training performance is more satisfactory, it is clear that the testing performance is less satisfactory. In another study (Ude et al., 2022), biodiesel production from African pear seeds was carried out and the viscosity values were predicted by the ANFIS method and the performance indicators were presented as R^2 = 0.99 and RMSE = 0.15. In this study, although the R^2 value is less satisfactory, the RMSE values are lower and therefore it reveals a better result in terms of predictive performance. Moreover, while the comparative studies are based on the estimations of the properties of biodiesel obtained from a single product, this study is based on the estimations

of the properties of biodiesel obtained from six different products in biodiesel production. Although this difference is one of the main reasons for the deviations, our study results are promising for the creation of a generalizable estimation model.

Conclusion

The aim of this study was to show that the search for a generalized formula can be successful. It is clear that a generalized formula can be derived for biodiesel totals produced from 6 different feedstocks, especially with low RMSE values. In this respect, the study carried out has the characteristics of a guide. In future studies, it is possible to obtain better results by increasing the number of experiments and to predict the properties of biodiesel obtained from different types of products with high accuracy.

References

Aghbashlo, M., Peng, W., Tabatabaei, M., Kalogirou, S. A., Soltanian, S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., ... & Lam, S. S. (2021). Machine learning technology in biodiesel research: A review. Progress in Energy and Combustion Science, 85, 100904.

Asaad, S. M., Inayat, A., Ghenai, C., & Shanableh, A. (2024). Response surface methodology in biodiesel production and engine performance assessment. International Journal of Thermofluids, 21, 100551.

Betiku, E., Osunleke, A. S., Odude, V. O., Bamimore, A., Oladipo, B., Okeleye, A. A., & Ishola, N. B. (2021). Performance evaluation of adaptive neuro-fuzzy inference system, artificial neural network and response surface methodology in modeling biodiesel synthesis from palm kernel oil by transesterification. Biofuels, 12(3), 339-354.

Das, A., Kumbhakar, B., Pachfule, P., Baskar, G., Li, H., Kodgire, P., & Rokhum, S. L. (2024). Valorization of Bambusa striata shavings into functional superparamagnetic material and its application in biodiesel production: Response surface optimization, kinetics, thermodynamics and economic assessment. Process Safety and Environmental Protection, 189, 894-910.

Gupta, K. K., Kalita, K., Ghadai, R. K., Ramachandran, M., & Gao, X. Z. (2021). Machine learning-based predictive modelling of biodiesel production—A comparative perspective. Energies, 14(4), 1122.

Hada, S., Solvason, C. C., & Eden, M. R. (2014). Characterization-based molecular design of bio-fuel additives using chemometric and property clustering techniques. Frontiers in Energy Research, 2, 20.

Ishola, N. B., Epelle, E. I., & Betiku, E. (2024). Machine learning approaches to modeling and optimization of biodiesel production systems: State of art and future outlook. Energy Conversion and Management: X, 100669.

Kassem, Y., Çamur, H., & Bennur, K. E. (2018). Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and artificial neural network (ANN) for predicting the kinematic viscosity and density of biodiesel-petroleum diesel blends. American Journal of Computer Science and Technology, 1(1), 8-18.

Krishnasamy, A., & Bukkarapu, K. R. (2021). A comprehensive review of biodiesel property prediction models for combustion modeling studies. Fuel, 302, 121085.

Kumar, S., & Bansal, S. (2023). Performance evaluation of ANFIS and RSM in modeling biodiesel synthesis from soybean oil. Biosensors and Bioelectronics: X, 15, 100408.

Mehrizadeh, M., Nikbin-Fashkacheh, H., Zand, N., & Najafi-Marghmaleki, A. (2020). Accurate prediction of kinematic viscosity of biodiesels and their blends with diesel fuels. Journal of the American Oil Chemists' Society, 97(10), 1083-1094.

Meng, X., Jia, M., & Wang, T. (2014). Neural network prediction of biodiesel kinematic viscosity at 313 K. Fuel, 121, 133-140.

Mohamad, M., Ngadi, N., Wong, S. L., Jusoh, M., & Yahya, N. Y. (2017). Prediction of biodiesel yield during transesterification process using response surface methodology. Fuel, 190, 104-112.

Mostafaei, M. (2018). Prediction of biodiesel fuel properties from its fatty acids composition using ANFIS approach. Fuel, 229, 227-234.

Sanlı, H. (2005). Effects of different alcohol and catalyst usage onbiodiesel production. (Master's Thesis, Kocaeli University, Institute of Science).

Santos, S. M., Maciel, M. R., & Fregolente, L. V. (2021). Kinematic Viscosity Prediction Guide: Reviewing and Evaluating Empirical Models for Diesel Fractions, and Biodiesel–Diesel Blends According to the Temperature and Feedstock. International Journal of Thermophysics, 42(8), 121.

Yıkmış, S., Altan, A. D., Türkol, M., Gezer, G. E., Ganimet, Ş., Abdi, G., ... & Aadil, R. M. (2024). Effects on quality characteristics of ultrasound-treated gilaburu juice using RSM and ANFIS modeling with machine learning algorithm. Ultrasonics Sonochemistry, 107, 106922.

Xing, Y., Zheng, Z., Sun, Y., & Agha Alikhani, M. (2021). A review on machine learning application in biodiesel production studies. International Journal of Chemical Engineering, 2021(1), 2154258.

BİDGE