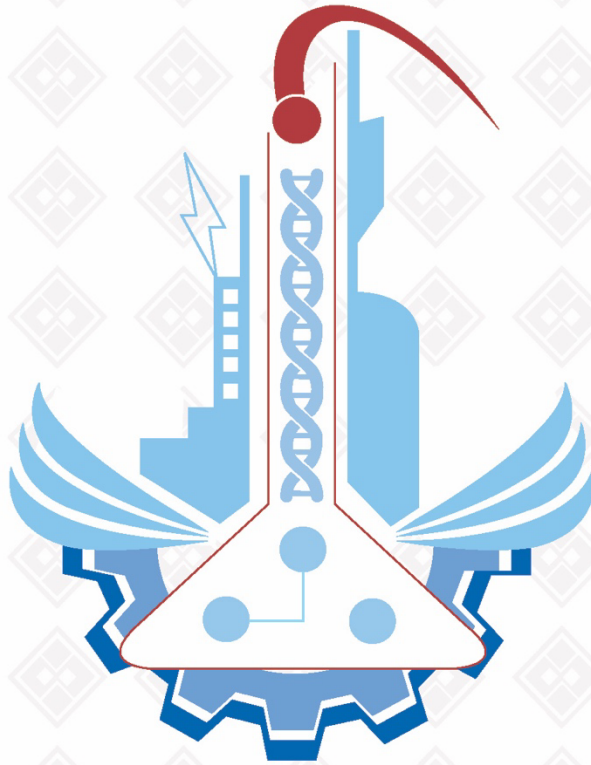


ISSN: 1308-9064

Cilt: 33 / Sayı: 2 / Yıl: 2021

FIRAT ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ



Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Dergisi (FBD)
Cilt:33, Sayı:2, Yıl:2021
ISSN: 1308 - 9064

İletişim

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
23119, ELAZIĞ

Tel: 0 424 212 27 07
Faks: 0 424 236 99 55
e-posta: fenbilim@firat.edu.tr

Bu dergi yılda 2 kez ve hakemli olarak yayımlanır.

Derginin Eski Adı: Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Derginin Eski ISSN Numarası: 1300-2708

<http://dergipark.gov.tr/fufbd>

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Dergisi (FBD)

Sahibi

Prof. Dr. Fahrettin GÖKTAŞ
Fırat Üniversitesi Rektörü

Genel Yayın Yönetmeni

Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Baş Editör

Doç. Dr. Fatih ÖZKAYNAK
Fırat Üniversitesi Enstitüsü Müdür Yrd.

Editör

Doç. Dr. Emrah YILMAZ
Fırat Üniversitesi Enstitüsü Müdür Yrd.

DANIŞMA KURULU

Leyla AÇIK	Gazi Ü., Biyoteknoloji	Turgay SEÇKİN	İnönü Ü., Kimya
Haluk KORALAY	Gazi Ü., Fizik	İbrahim KARATAŞ	Selçuk Ü., Kimya
Mahmut ELP	Kastamonu Ü., Su Ürünleri	Zihni DEMİRBAĞ	K.T.Ü., Biyoloji
Yusuf AYVAZ	S.Demirel Ü., Biyoloji.	Seyfettin ÇAKMAK	S.Demirel Ü., Fizik
Mikail ET	Fırat Ü., Matematik	Orhan ERMAN	Fırat Ü., Biyoloji
Hikmet GEÇKİL	İnönü Ü., Biyoloji	Ömer AKIN	T.O.B.B. Matematik
Kenan GÜLLÜ	Muğla S.K.Ü. Su Ürünleri	Sinan AKPINAR	Fırat Ü., Fizik
Mehmet KAYA	Fırat Ü., Kimya	Ahmet ŞAHİN	Erciyes Ü., Biyoloji
İlhami KIZIROĞLU	Hacettepe Ü., Biyoloji	Kadir DEMİRELLİ	Fırat Ü., Kimya
S.Güneş KÜRKÇÜOĞLU	Osmangazi Ü., Fizik	Kenan GÜLLÜ	Muğla Ü., Su Ürünleri
Dursun ŞEN	Fırat Ü., Su Ürünleri	Vedat ASİL	Fırat Ü., Matematik
Serdar SALMAN	Marmara Ü. Metal. Müh.	Ertan GOKALP	K.T.Ü. Harita. Müh.
İzzet KARA	Pamukkale Ü., Fizik	Ekrem ARTUNÇ	S.Demirel Ü., Fizik

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi (FBD)
33-2, 2021

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

1. **Salisilik Asitin Soya (Glycine max. (L.) Merr.) Tohumlarının Çimlenme ve Gelişimine Etkisi**
The Effect of Salicylic Acid on Germination and Development of Soybean (Glycine max. (L.) Merr.) Seeds
Mahmut DOĞAN, Ayşe TURA, Ceren ODABAŞIOĞLU, Yağmur SEDETALTUN, M. İlhan ODABAŞIOĞLU 115-124
2. **Betonarme Yapılarda Deprem Sonrası Yapısal Hasarların Tahmini İçin Kullanılan Hızlı Değerlendirme Yöntemlerinin Etkinliklerinin Belirlenmesi**
Determining the Effectiveness of Rapid Evaluation Methods Used for Estimate of Post-Earthquake Structural Damage in Reinforced Concrete Structures
Nurbanu DEMİRBAŞ, Hümeyra ŞAHİN, Cengizhan DURUCAN 125-134
3. **Araç-İHA İşbirliği ile Kargo Teslimatları İçin Ortak Rota Optimizasyonu**
Common Route Optimization for Parcel Deliveries with Truck-UAV Collaboration
Hasan YETİŞ, Zeynep GÜNGÖR, Mehmet KARAKÖSE 135-144
4. **Dekapod Kurusanelerde Üremeyi Düzenleyen Bazı Eksternal ve İnternal Faktörler**
Some External and Internal Factors Regulating Reproduction in Decapod Crustaceans Energy and Exergy Analysis of Adiyaman University Research and Application Hospital
Enes VANLI, Ayşe Gül HARLIOĞLU 145-153
5. **Bartın İl Özel İdaresi Mustafa Aydede Anaokulu Bahçesi Peyzaj Tasarım Projesi**
Landscape Design Project of Bartın Mustafa Aydede Pre School Garden
Nurhan KOÇAN, Asım Cenk ASLAN, Furkan ÖCAL 155-165
6. **Endüstri 4.0 Tabanlı Üretim Sistemleri ve Kestirimci Bakım Yaklaşımlarında Digital İkiz Uygulamalarının İncelenmesi**
Examination Of Digital Twin Applications In Industry 4.0 Based Production Systems And Predictive Maintenance Approaches
Özgür AYDIN, Erhan AKIN 167-178

Salisilik Asitin Soya (*Glycine max.* (L.) Merr.) Tohumlarının Çimlenme ve Gelişimine Etkisi

Mahmut DOĞAN^{1*}, Ayşe TURA², Ceren ODABAŞIOĞLU³, Yağmur SEDETALTUN⁴,
M. İlhan ODABAŞIOĞLU⁵

^{1,4}Harran Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

²Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Şanlıurfa, Türkiye

³Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

⁵Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Adıyaman, Türkiye

^{1*}dogan@harran.edu.tr, ²ayse.caglayan@hotmail.com.tr, ³odabasiogluceren@gmail.com, ⁴yagmuraltun99@outlook.com,

⁵milhanodabasioglu@gmail.com

(Geliş/Received: 19/01/2021;

Kabul/Accepted: 06/04/2021)

Öz: Çalışmada soya (*Glycine max.* (L.) Merr.) tohumlarında salisilik asidin farklı konsantrasyonları (kontrol, %25, %50, %75 ve %100 mM) kullanılarak çimlenme denemesi yürütülmüştür. Kontrollü koşullarda salisilik asidin, soya tohumları üzerindeki çimlenme ve gelişmeye etkisi izlenmiş ve denemenin 6.gün, 12. gün ve 18. gün hasatları yapılarak bitki örnekleri alınmıştır. Elde edilen örneklerde salisilik asidin çimlenme yüzdesi (%), ortalama çimlenme zamanı (gün) ve çimlenme indeksi, kök-gövde uzunluğu, klorofil, MDA ve prolin miktarları incelenmiştir. Buna göre salisilik asit uygulamasının çimlenme indeksi, kök-gövde uzunluğu klorofil, MDA ve prolin ile pozitif yönde anlamlı bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Salisilik asidin %75 ve %100 mM konsantrasyonunun soya tohumlarına uygulanması ile çimlenme indeksine, büyüme ve gelişmesine katkı sağladığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Soya, salisilik asit, klorofil, prolin, MDA.

The Effect of Salicylic Acid on Germination and Development of Soybean (*Glycine max.* (L.) Merr.) Seeds

Abstract: In the study, germination experiment was carried out using different concentrations of salicylic acid (control, 0.25%, 0.50%, 0.75% and 1.0% mM) in soybean (*Glycine max.* (L.) Merr.) seeds. The effect of salicylic acid on germination and development on soybean seeds was observed under controlled conditions, and plant samples were harvested on the 6th, 12th and 18th days of the experiment. Germination percentage (%), average germination time (days) and germination index, root-stem length, chlorophyll, MDA and proline amounts of salicylic acid were examined in the samples obtained. Accordingly, it was determined that salicylic acid application had a significant positive effect on the germination index, root-stem length, chlorophyll, MDA and proline. It was concluded that the application of 0.75% and 1.0% mM concentration of salicylic acid to soybean seeds contributed to the germination index, growth and development.

Key words: Soybean, salicylic acid, chlorophyll, proline, MDA.

1. Giriş

Dünya nüfusundaki sürekli artış, insanoğlunun gıda ihtiyacını arttırmaktadır. Buna bağlı olarak kısa sürede maksimum verim elde edebilmek için bilim insanları bu alanda çalışmalarını sürdürmektedir. Gelişmekte olan teknoloji ve bilim her gün ilerleme göstermektedir. Güneş ışığının yetersiz kaldığı yerlerde yapay güneş ışığı, yağmur yağmayan kurak arazilerde su sistemleri bunlara örnektir.

Soya fasulyesi *Fabales* takımı, *Fabaceae* familyasına ait olan tek yıllık bir kültür bitkisidir. Soya fasulyesi, köklerinde toprağın serbest azotunu bağlayabilen *Rhizobium japonicum* bakterisinin bulunması nedeniyle kendi besin ihtiyacını karşılamasıyla beraber toprağı da azotça zenginleştirerek tarımsal açıdan büyük fayda sağlayan bir bitkidir [1].

Dünya'da baklagiller arasında önemli bir yerde olan soyanın, unu ve küspesi protein yönünden zengindir. Soya unu ve soya küspesi, soyanın yağı çıkarıldıktan sonra elde edilir ve gıda sanayilerinde kullanılır. Soya tohumları % 40- 45 aralığında protein ile % 18-20 oranında yağ ihtiva eder. En fazla üretilen yağ, soya yağı olmakla beraber en fazla kullanılan soya küspesi de yem sanayilerinde ilk sırada yer alır. Soya bitkisi yüksek protein içermesi dışında lif, magnezyum ve kalsiyumda bulundurulur. Fazla sayıda vitamin, değerli aminoasit içermesi ve organik madde ile toprağı azot kazandıran bir bitki olması sebebiyle değerlidir [2].

*Sorumlu yazar: dogan@harran.edu.tr Yazarların ORCID Numaraları: ¹0000-0002-4377-2751, ²0000-0003-1395-6389, ³0000-0002-0552-3113, ⁴0000-0002-9994-2983, ⁵0000-0001-8060-3407

Yapılan araştırmalara göre Türkiye’de yağ ithalatı bakımından; ilk sırada 175 bin ton ile soya yağı yer almaktadır. Ayrıca, 1.5 milyon ton soyalı ürünler ülkemize ithal edilmektedir [3]. Bu durum soyanın tüketiminin ülkemizde giderek çoğaldığını ve alışkanlıklar arasına girdiğini göstermektedir. Soya, hem verimli hem de yararlı bir baklagil bitkisidir. Ekilen toprağa azot vererek, kendisinden sonra ekilecek olan ürünün verimini artırır ve gübreten tasarruf ettirir. Bu sebeple ekim nöbetinde yer verilen önemli bitkiler arasında yer almaktadır [4-6].

Salisilik asit (S.A.) uygulanan bitkinin aynı koşullarda yetişen bir diğer bitkiye göre daha verimli olduğu yapılan birçok çalışmada görülmektedir. Örneğin, salisilik asidin, tuz stresi altındaki buğdayda büyümeyi ve verimi arttırdığı [7], toprağa uygulamanın hem normal hem de tuzlu koşullarda mısır bitkisi gelişimini arttırdığı [8] belirtilmektedir. S.A.’in köklenme üzerinde meydana gelen etki mekanizması şimdiye kadar tam net olarak anlaşılamamıştır. Ama diğer fenolik bileşiklerin köklenme sürecindeki meydana gelen etkilerine benzer etkide olduğuna inanılmaktadır [9]. S.A.’in stres altında bulunan bitkide, fotosentez ile bitki büyümesi üzerine yararlı etkileşimde bulunduğu da aktarılmaktadır [10-13].

Soya bitkisinin ürün kalitesinin iyileştirilmesi ve sınırlı tarım alanlarından mümkün olduğunca en fazla verimin alınması amacıyla sürekli çalışmalar yapılmaktadır [14-16]. Bu noktadan hareketle yaptığımız çalışmanın amacı, salisilik asidin soya fasulyesi üzerinde çimlenme ve gelişimine olan etkisini gözlemlemek ve etkilerinin önemini ortaya çıkarmaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada sağlam ve aynı büyüklükte seçilmiş olan soya (*Glycine max.*) tohumlarında; Ellis’in [17] belirtmiş olduğu yüzeysel sterilizasyon yapılmış ve çimlendirme işlemi 25 ± 2 sıcaklığa ayarlı iklim dolabında karanlıkta gerçekleştirilmiştir. Çimlenen tohumların 2. 4. 6. 8. ve 10. günde sayımları yapılmıştır. Çimlenme için Karasu ve ark. [18] ile Güllüoğlu ve Arıoğlu’nun [19] bildirdikleri yöntem; radikulanın testadan çıkmış olması esas alınmıştır. Çimlenmiş olan soya fideleri iklim odasında perlitli saksılara alınmış, 25 ± 2 °C sıcaklık ve % 65 ± 5 bağıl nem sabit tutularak, 14500 lüks ışık şiddeti olacak şekilde büyütülmüştür. İlk gerçek yaprakların çıktığı 12. günde, kültür çözeltisiyle beraber salisilik uygulaması yapılmıştır. Kontrol grubuna $\frac{1}{2}$ kuvvette hoagland besin çözeltisi, diğer gruplara $\frac{1}{2}$ kuvvette hoagland besin çözeltisi ile S.A.’in farklı konsantrasyonları uygulanmıştır. [20-21] ve [22] tarafından daha önce yapılmış olan çalışmalar esas alınarak; araştırmada uygulanacak S.A. konsantrasyonları %25, %50, %75 ve %100 mM olarak belirlenmiştir. Fideler, iki gerçek yaprağa sahip olduklarında %25, %50, %75 ve %100 mM S.A. (Salisilik Asit $C_7H_6O_6S \times 2H_2O$ 5-sülfö salisilik asit dihidrat olarak, 0.2 mM), içeren su bir defa yaprakların her iki yüzeyini tamamen ıslatacak şekilde püskürtülmüştür. Bitkilerden 6. günde, 12. günde, 18. günde, olmak üzere 3 farklı zamanda 3’er defa örnek alınmıştır.

Çimlenme yüzdesini belirlemek için, [23]’ün bildirdiği yöntem uygulanmıştır. Buna göre; 2. 4. 6. 8. ve 10. günlerde çimlenen tohumlar sayılmış ve 2 mm kökçük uzunluğuna sahip tohumlar çimlenmiş kabul edilmiştir. Onuncu günde toplam çimlenen tohumlar sayılarak çimlenme yüzdesi (%) belirlenmiştir. Çimlenme hızını belirlemek amacıyla ortalama çimlenme süresi (OÇS); Ellis ve Roberts’in [24] bildirdiği yöntemle hesaplanmıştır. Çimlenme indeksi (GI) = $(10 \times n_1 + 9 \times n_2 + \dots + 1 \times n_{10}) / (\text{toplam çimlendirme gün sayısı} \times \text{çimlendirmede kullanılan tohum sayısı})$ formülüyle hesaplanmıştır [25]. Formülde $n_1, n_2, n_3, \dots, n_{10}$, 1. gün, 2. gün 3. gün...10. günde çimlenen tohum sayısını ifade etmektedir.

Kök ve gövde boyu ölçümlerinde, toprak seviyesinden başlayarak bitkinin tepe noktasına kadar olan mesafe dikkate alınmıştır. Kök boğazından sürgün ucuna kadar olan kısım gövde, kök boğazından kök ucuna kadar olan kısmı kök olarak kabul ederek, 6., 12. ve 18. günde olmak üzere 3’er defa cm/bitki boyları ölçülmüştür.

Klorofil miktarı; Luna ve ark.’nın [26] uyguladığı yöntemle göre belirlenmiştir. Taze örnekler %80’lik 10 ml etanol içinde porselen havanda öğütülerek tüplere konulmuş, su banyosunda $80^\circ C$ ’de 20 dakika bekletilmiştir. Su banyosundan çıkarılan örnekler oda sıcaklığına geldikten sonra 654 nm’de absorbans (A) değerleri spektrofotometrik olarak okunmuş, $\mu g/mg$ T.A. olarak hesaplanmıştır.

Lipit peroksidasyonu (MDA); Lutts ve ark. [27] yöntemine göre belirlenmiştir. Bu yöntemle göre $-80^\circ C$ ’de dondurulmuş yaprak örneklerinden 200 mg örnek alınarak, üzerine 5 ml %0.1’lik Trichloro Acetic Acid (TCA) ilave edilmiş ve elde edilen karışım 12500 rpm devir hızında 20 dakika süreyle santrifüj edilmiştir. 5 ml’lik ekstraktdan 3 ml süpernatant alınarak, üzerine %20’lik Thio Barbütüric Acid (TBA) bulunan %0.1’lik 3 ml TCA ilave edilmiştir. Daha sonra karışım $90^\circ C$ ’deki sıcak su banyosunda 30 dakika bekletilmiştir. Su banyosundan çıkarılan örnekler oda sıcaklığına geldikten sonra 532 ve 600 nm’ de absorbans değerleri (A) spektrofotometrik olarak $\mu mol/g$ T.A. olarak hesaplanmıştır.

Prolin analizi; Bates ve ark.’nın [28] geliştirdiği yöntemle yapılmıştır. Buna göre yaklaşık 0.5 g taze yaprak örneği 10 ml %3’lük Sulfosalisik asit ile homojenize edilmiştir. Filtre edilen örnekler 1 saat süresince $90^\circ C$ ’ye ayarlı su banyosunda ninhidrin ile reaksiyona sokulmuş ve devamında örnekler buz banyosuna alınarak reaksiyon

tamamlanmıştır. Soğutulmadan sonra ortam toulen ile ekstrakte edilmiş ve pembemsi-kırmızı renkte, standart olarak L prolin kullanılarak 520 nm’de spektrofotometrik olarak $\mu\text{mol/g}$ T.A. hesaplanmıştır.

Araştırma sonunda elde edilen veriler, tesadüf parselleri deneme deseninde faktöriyel düzene göre 3 tekerrürlü olarak MSTAT-C paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuştur. Yüzde değerler arcsin transformasyonu yapılarak analiz edilmiş, tabloda gerçek değerler verilmiştir. Uygulamalar arasındaki farklılıkların önem düzeylerini belirleyebilmek amacıyla Duncan testi yapılmıştır [29].

3. Bulgular ve Tartışma

Farklı miktarda S.A. uygulamasıyla soya tohumlarında çimlenme yüzdesinin incelendiği araştırma sonucunda, artan S.A. uygulamasının ve artan gün sayısının çimlenme yüzdesini artırdığı tespit edilmiştir (Tablo 1). Özellikle %75 mM ve %100 mM S.A. uygulaması soya tohumlarında yüksek oranda çimlenme özelliği göstermiştir. [30] mercimekte, [31] buğdayda çimlenme ile ilgili yaptığı çalışmalarda farklı sonuçlar elde ettiklerini rapor etmişlerdir. [32] çimlenme döneminde farklılığın çeşitten kaynaklandığını bildirmesine rağmen, bulgularımız S.A. uygulamasının çimlenmede etkili olduğunu göstermiştir. Elde edilen veriler sonucunda; çimlenme yüzdesinin 8. gün sonunda %75 mM S.A. uygulamasında %62’den %72’ye, 10. gün sonunda %100 mM S.A. uygulamasında %87’den %95’e yükseldiği görülmüş, yüksek çimlenme kabiliyetinin S.A. ile arttığı [33]’ün sonuçları ile paralellik gösterdiği anlaşılmıştır (Tablo 2).

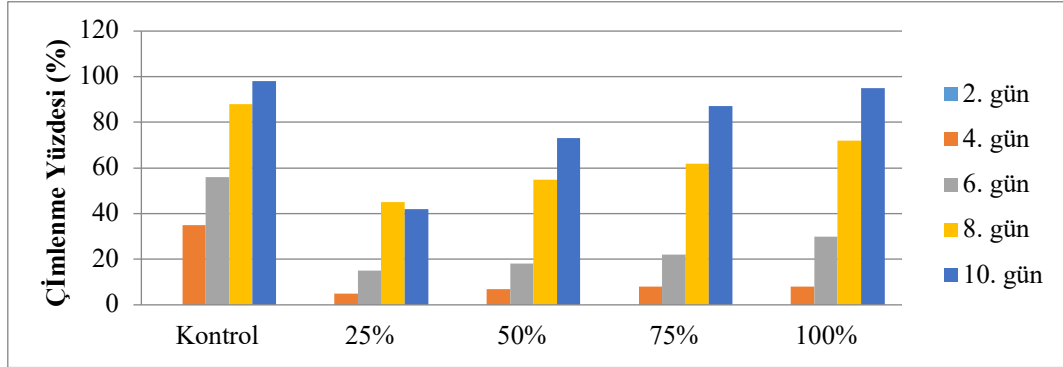
Tablo 1. S.A. uygulamasına bağlı olarak 100 dane soya tohumunda çimlenme yüzdesi (%) (Değerler üç tekrarın ortalaması \pm standart hata olarak verilmiştir)

	Kontrol	%25	%50	%75	%100
2. gün	0 \pm 0d ^y	0 \pm 0 ^y	0 \pm 0d ^y	0 \pm 0d ^y	0 \pm 0d ^y
4. gün	35 \pm 1c	5 \pm 1d	7 \pm 1d	8 \pm 1d	8 \pm 2d
6. gün	56 \pm 2b	15 \pm 1d	18 \pm 2d	22 \pm 2c	30 \pm 3c
8. gün	88 \pm 2a	45 \pm 2b	55 \pm 2b	62 \pm 1b	72 \pm 3a
10. gün	98 \pm 3a	42 \pm 2b	73 \pm 1a	87 \pm 2a	95 \pm 2a
SA önemlilik	***	***	***	***	***

^y:Sütun içinde her özellik Duncan testine göre 0,05 önem düzeyinde farklı ortalamalar ayrı harflerle gösterilmiştir.

^y: Bu gün ve oranlarda çimlenme olmamıştır

***: % 0,1 alfa düzeyinde önemli



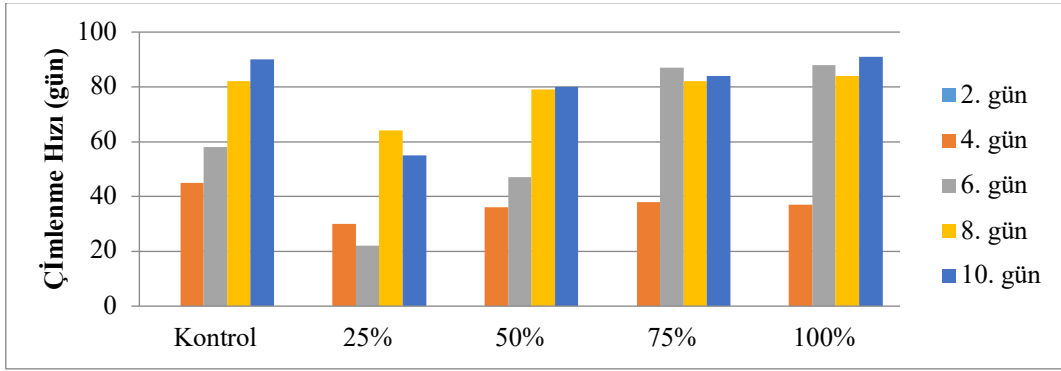
Şekil 1. S.A. uygulamasına bağlı olarak 100 dane soya tohumunda çimlenme yüzdesi (%)

Tablo 2. S.A. uygulamasına bağlı olarak 100 dane soya tohumunda ortalama çimlenme hızı (gün) (Değerler üç tekrarın ortalaması \pm standart hata olarak verilmiştir)

	Kontrol	%25	%50	%75	%100
2. gün	0 \pm 0d ^y	0 \pm 0d ^y	0 \pm 0d ^y	0 \pm 0d ^y	0 \pm 0d ^y
4. gün	45 \pm 1b	30 \pm 2c	36 \pm 1c	38 \pm 1c	37 \pm 2c
6. gün	58 \pm 2b	22 \pm 1c	47 \pm 2b	87 \pm 2a	88 \pm 2a
8. gün	82 \pm 2a	64 \pm 2a	79 \pm 2a	82 \pm 3a	84 \pm 2a
10. gün	90 \pm 3a	55 \pm 1b	80 \pm 2a	84 \pm 2a	91 \pm 3a
SA önemlilik	***	***	***	***	***

^y: Bu gün ve oranlarda çimlenme olmamıştır

***: % 0,1 alfa düzeyinde önemli



Şekil 2. S.A. uygulamasına bağlı olarak 100 dane soya tohumunda ortalama çimlenme hızı (gün)

Ortalama çimlenme hızı, S.A. uygulamasına bağlı olarak daha hızlı çimlenmeye sebep olmuştur. Sonuçlarımıza göre, en yüksek S.A. uygulamasının çimlenme yüzdesi daha yüksek, ortalama çimlenme süresi daha hızlı bulunmuştur. Araştırma sonuçları arasındaki bu paralelliğin, artan S.A. uygulamasından kaynaklandığı ortaya çıkmaktadır. [34] osmotik potansiyelin, uygulamalarla tohumlar arasında istatistiksel fark oluşturabileceğini bildirmiştir.

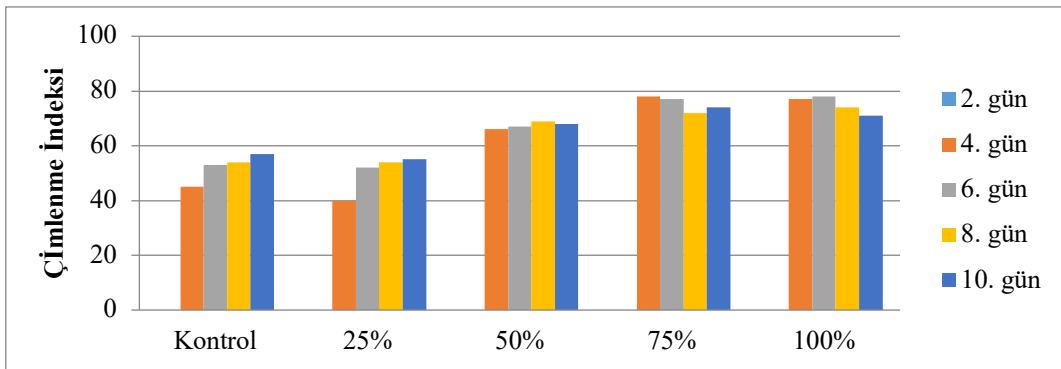
Çimlenme indeksi de artan S.A. uygulamasıyla önemli oranda artmıştır (Tablo 3). Çimlenme indeksindeki artma; tohumların canlı, sağlam ve yüksek çimlenme kabiliyeti ile uygun S.A. dozunun uygulanmasıyla anlaşılmıştır. Özellikle %100 S.A. uygulaması en yüksek çimlenme indeksini oluşturmuştur. Dolayısıyla S.A.'in az miktarlarda uygulanması çimlenmede azalmaya ve düzensiz çimlenmeye neden olmuş ve bu elde ettiğimiz sonuçlar [35]'in sonuçlarıyla benzerlik göstermiştir.

Tablo 3. S.A. uygulamasına bağlı olarak 100 dane soya tohumunda çimlenme indeksi. (Değerler üç tekrarin ortalaması ± standart hata olarak verilmiştir)

	Kontrol	%25	%50	%75	%100
2. gün	0±0c ^y	0±0c ^y	0±0c ^y	0±0c ^y	0±0c ^y
4. gün	45±1b	40±1b	66±1a	78±2a	77±2a
6. gün	53±2b	52±2b	67±1a	77±2a	78±1a
8. gün	54±1b	54±3b	69±2a	72±3a	74±2a
10. gün	57±2b	55±2b	68±1a	74±1a	71±3a
SA önemlilik	***	***	***	***	***

^y: Bu gün ve oranlarda çimlenme olmamıştır

***: % 0,1 alfa düzeyinde önemli



Şekil 3. S.A. uygulamasına bağlı olarak 100 dane soya tohumunda çimlenme indeksi

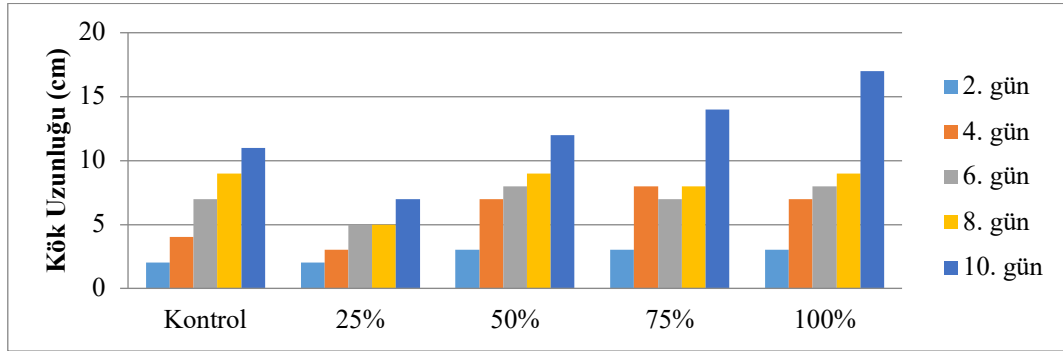
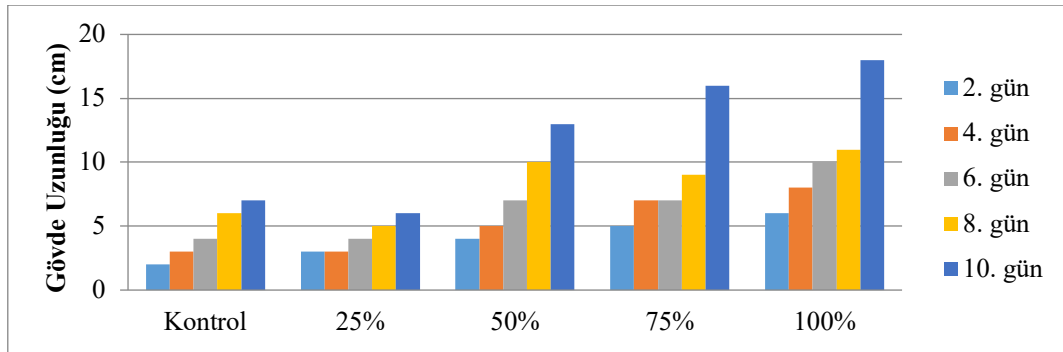
Çimlenmeden sonra S.A. uygulanması (%25, %50 %75 ve %100 mM) kök ve gövde boyunun arttığını göstermiştir. Elde edilen sonuçlara göre, S.A. (%75 ve %100 mM) uygulamasının kontrol grubuna göre kök boyunda artış meydana getirdiği görülmüştür. Kök boyu, %75 mM S.A. uygulaması sonucunda 8. günde 8 cm, 10. günde 14 cm uzamıştır. Bununla birlikte %75 mM S.A. uygulanan grubun; 4., 6. ve 8. günlerinde kök uzunluğu değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık saptanmamıştır. %100 mM S.A. uygulamasının ise, 8. günde 14 cm, 10. günde 17 cm kök boyu uzunluğunun artmasına olumlu yönde etki ettiği görülmüştür.

Tablo 4. S.A. uygulanan soya bitkilerinin kök ve gövde uzunlukları (cm) (Değerler üç tekrarın ortalaması \pm standart hata olarak verilmiştir)

Kök	Kontrol	%25	%50	%75	%100
2. gün	2 \pm 1c ^z	2 \pm 1c	3 \pm 1c	3 \pm 1c	3 \pm 1c
4. gün	4 \pm 1b	3 \pm 2c	7 \pm 3a	8 \pm 2a	7 \pm 3a
6. gün	7 \pm 2a	5 \pm 2b	8 \pm 2a	7 \pm 2a	8 \pm 2a
8. gün	9 \pm 2a	5 \pm 2b	9 \pm 2a	8 \pm 2a	9 \pm 3a
10. gün	11 \pm 2a	7 \pm 1a	12 \pm 3a	14 \pm 3a	17 \pm 3a
Gövde	Kontrol	%25	%50	%75	%100
2. gün	2 \pm 1c ^z	3 \pm 1c	4 \pm 1b	5 \pm 2b	6 \pm 2a
4. gün	3 \pm 1c	3 \pm 2c	5 \pm 1b	7 \pm 1a	8 \pm 1a
6. gün	4 \pm 2b	4 \pm 1b	7 \pm 1a	7 \pm 2a	10 \pm 2a
8. gün	6 \pm 2a	5 \pm 2a	10 \pm 2a	9 \pm 2a	11 \pm 3a
10. gün	7 \pm 1a	6 \pm 2a	13 \pm 3a	16 \pm 3a	18 \pm 3a
<i>SA önemlilik</i>	***	***	***	***	***

^z:Sütun içinde her özellik Duncan testine göre 0,05 önem düzeyinde farklı ortalamalar ayrı harflerle gösterilmiştir.

***: % 0,1 alfa düzeyinde önemli

**Şekil 4.** S.A. uygulanan soya bitkilerinin kök uzunlukları (cm)**Şekil 5.** Salisilik asit uygulanan soya bitkilerinin gövde uzunlukları (cm)

S.A. uygulanan ortamda klorofil düzeyinin kontrole göre artmış olması, yaprak dökülmelerini de büyük bir ölçüde azaltmış olduğu görülmüştür. Klorofil düzeyinin artmasında S.A.'in pozitif bir etki yaptığı görülmektedir (Tablo 5). Klorofil miktarı ile ilgili analiz sonuçları incelendiğinde klorofil miktarı üzerinde S.A. etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu anlaşılmıştır ($p < 0.006$).

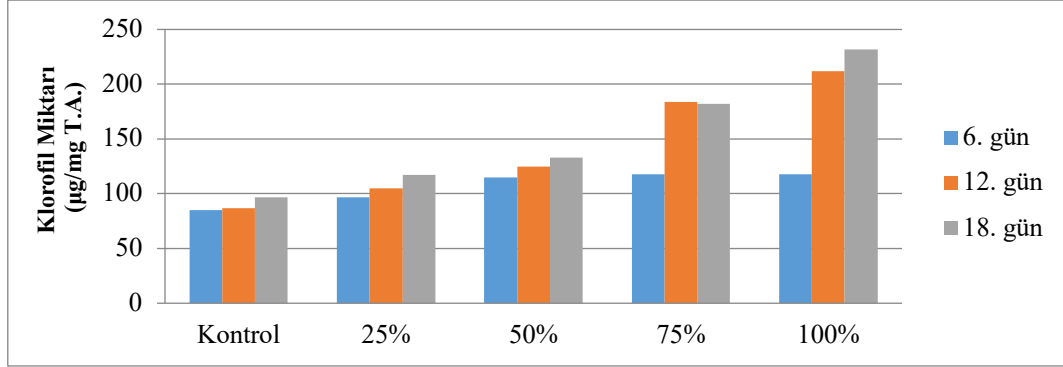
Tablo 5. S.A. uygulanan soyada klorofil miktarı ($\mu\text{g}/\text{mg}$ T.A.) (Değerler üç tekrarın ortalaması \pm standart hata olarak verilmiştir)

	Kontrol	%25	%50	%75	%100
6. gün	85 \pm 1c ^z	97 \pm 2c	115 \pm 1b	118 \pm 3b	118 \pm 2b
12. gün	87 \pm 2c	105 \pm 1b	125 \pm 1b	184 \pm 3a	212 \pm 2a
18. gün	97 \pm 2c	117 \pm 1b	133 \pm 2b	182 \pm 1a	232 \pm 3a
<i>SA önemlilik</i>	***	***	***	***	***

^z:Sütun içinde her özellik Duncan testine göre 0,05 önem düzeyinde farklı ortalamalar ayrı harflerle gösterilmiştir.

***: % 0,1 alfa düzeyinde önemli

Klorofil miktarının stres etkisi süresince genel olarak olumsuz etkilendiği birçok çalışmada vurgulanmaktadır [36, 37, 38]. Bitkiler herhangi biyotik, abiyotik veya farklı bir olumsuz çevre şartlarından olumsuz yönde etkilendiğinde bitkilerde gerek klorofil gerekse verim ve kalitede azalmalar meydana gelmektedir [39]. Araştırmada S.A. stres oluşumunu ortadan kaldırmış ve klorofil miktarının artmasına neden olmuştur (Şekil 6). Elde edilen bulgular; [39] ve [40]'ın bulguları ile paralellik göstermektedir.



Şekil 6. S.A. uygulanan soyada klorofil miktarı (µg/mg T.A.)

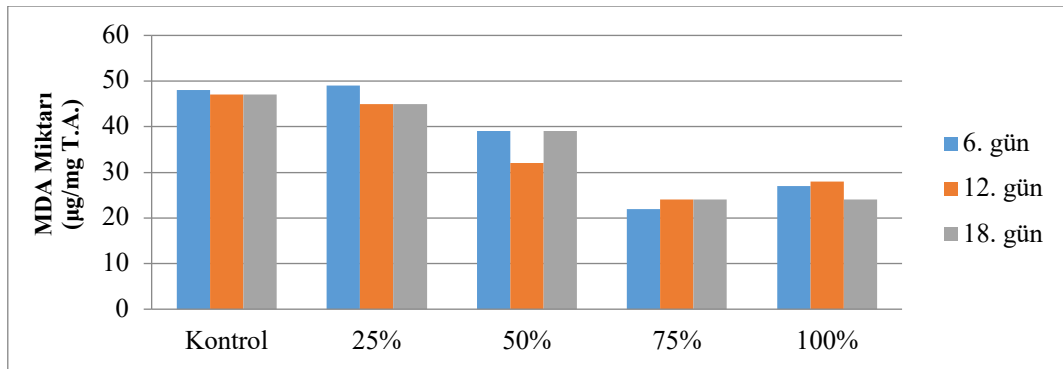
S.A. uygulaması MDA miktarında, kontrol ortamı baz alınarak belirlendiğinde, önemli görülebilecek azalışlar sağlamıştır (Tablo 6). S.A. uygulanan ortamda yetişen soya yapraklarının MDA düzeyinin, kontrole göre önemli oranda değişmiş olması, salisilik asidin hücreye zarar vermediğini, buna karşı bir iyileşme oluşturduğunu göstermektedir. Kontrol dışında lipidperoksidasyon değerlerinin düşük olması salisilik asidin olumlu bir etki yaptığının göstergesidir (Tablo 6).

Tablo 6. S.A. uygulanan soyada MDA miktarı (µg/mg T.A.) (Değerler üç tekrarın ortalaması ± standart hata olarak verilmiştir)

	Kontrol	%25	%50	%75	%100
6. gün	48±1a ^z	49±1a	39±1b	22±2b	27±1b
12. gün	47±2a	45±1a	32±2b	24±3b	28±1b
18. gün	47±2a	45±1a	39±2b	24±3b	24±1b
<i>SA önemlilik</i>	***	***	***	***	***

^z:Sütun içinde her özellik Duncan testine göre 0,05 önem düzeyinde farklı ortalamalar ayrı harflerle gösterilmiştir.

***: % 0,1 alfa düzeyinde önemli



Şekil 7. S.A. uygulanan soyada MDA miktarı (µg/mg T.A.)

MDA açısından kontrol grubu birbirine yakın, diğerleri anlamlı derecede farklıdır ($p < 0,01$). 6., 12. ve 18. günlerde MDA oranları birbirine yakındır. Klorofil ile MDA oranları pozitif bakımdan da anlamlı bulunmuştur. Salisilik asit, MDA miktarında kontrol ortamı dışında önemli görülebilecek artışlar göstermiştir (Tablo 6). Tablo 6 incelendiğinde, MDA oranının kontrolde 48 ile 49 arasında, %25 mM S.A. uygulamasında 59 ile 67 arasında, %50 mM S.A. uygulamasında 49 ile 53 arasında, %75 mM S.A. uygulamasında 64 ile 76 arasında, %100 mM S.A. uygulamasında 67 ile 76 arasında değiştirdiği görülmektedir.

S.A. uygulaması prolin miktarında kontrol ortamına göre önemli görülebilecek artışlar sağlamıştır. Tablo 7 incelendiğinde prolin miktarı, kontrolde 3.7 ile 6.4 arasında, %25 mM S.A. uygulamasında 6.3 ile 13.5 arasında, %50 mM S.A. uygulamasında 7.5 ile 9.3 arasında, %75 mM S.A. uygulamasında 21.3 ile 29.1 arasında ve %100 mM S.A. uygulamasında 18.2 ile 28.5 arasında değişiklik göstermiştir.

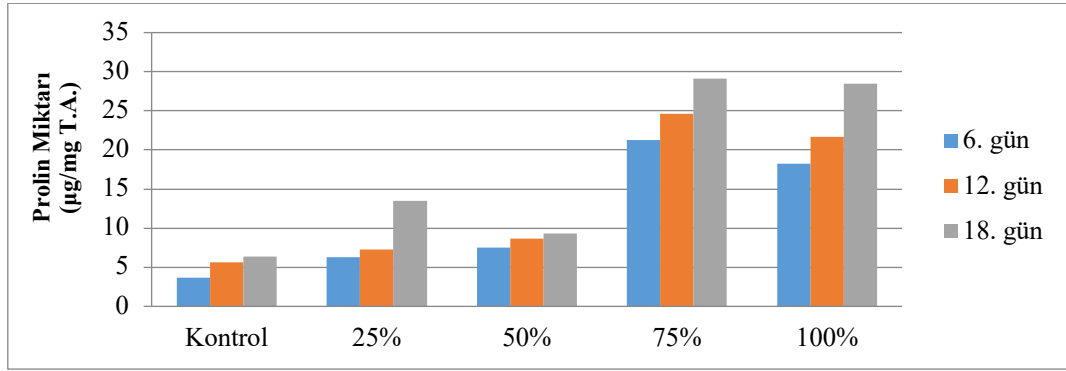
S.A. uygulanan ortamda yetişen soya yapraklarının prolin düzeyinin kontrole göre önemli değişmiş olması, hücre hasarının oluşmadığını veya en az seviyeye indiğini göstermektedir. Prolin açısından kontrol grubu birbirine yakın, diğer uygulamalar anlamlı derecede farklıdır ($p < 0,01$). 6., 12. ve 18. günlerde prolin oranları birbirine yakın meydana gelmiştir. Klorofil ile prolin oranları pozitif bakımdan anlamlı bulunmuştur ($p < 0,006$).

Tablo 7. S.A. uygulanan soyada prolin miktarı ($\mu\text{g}/\text{mg}$ T.A.) (Değerler üç tekrarın ortalaması \pm standart hata olarak verilmiştir)

	Kontrol	%25	%50	%75	%100
6. gün	3.7 \pm 2d ^z	6.3 \pm 3c	7.5 \pm 2c	21.3 \pm 2a	18.2 \pm 3a
12. gün	5.6 \pm 2c	7.3 \pm 3c	8.7 \pm 3c	24.6 \pm 3a	21.7 \pm 3a
18. gün	6.4 \pm 3c	13.5 \pm 3b	9.3 \pm 3c	29.1 \pm 3a	28.5 \pm 2a
<i>SA önemlilik</i>	***	***	***	***	***

^z:Sütun içinde her özellik Duncan testine göre 0,05 önem düzeyinde farklı ortalamalar ayrı harflerle gösterilmiştir.

***: % 0,1 alfa düzeyinde önemli



Şekil 8. S.A. uygulanan soyada prolin miktarı ($\mu\text{g}/\text{mg}$ T.A.)

S.A. uygulaması sonucunda prolinin ozmotik potansiyele katkısı olmuştur. Nitekim; bitkide bağıl su miktarını ve fotosentetik performansın korunmasında ve böylece fidelerin stres koşullarında hayatta kalmasına katkı sağlamadaki önemli rolünü daha önce ortaya koyan çalışmalarla uyumlu sonuçlar elde edilmiştir [41-44].

4. Sonuç

Bitki boyu, her farklı çeşit için genetik bir özellik olmasına rağmen; ışık, nem veya sıcaklık gibi çevresel etkenlerle birlikte S.A. gibi stres uygulamalarında farklılık göstermektedir.

Bitkilerde olumsuz şartlarda meydana gelen absisik asit, etilen ve brassinosteroidler gibi etkenlerin kök gelişimini farklılaştırdığı, özellikle yüksek S.A. dozlarının kök uzamasını olumlu yönde etkileyerek teşvik ettiği gibi, düşük dozlarında kök gelişimini olumsuz yönde etkileyerek azalttığı belirtilmiştir [45].

S.A. uygulamasıyla klorofil miktarında artış olması, S.A.'in olumlu bir etki yaptığı anlamına gelmektedir. Bu amaçla yapılan pek çok araştırma bu görüşümüzü desteklemektedir [46, 47].

Soya dokularında çok fazla miktarda bulunan aminoasitlerden olan prolinin, soya yapraklarında özellikli bir çözünür azot deposu olması, bununla beraber, bitkilerde serbest O² radikallerinin detoksifikasyonuna katıldığı [48] belirtilmektedir. Farklı bitkilerde S.A. uygulamalarının prolin konsantrasyonunu yükseltmesi olumlu bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Buna göre yaprak prolin içeriği ile dona karşı tolerans arasında; portakalda [49], yoncada [50], halofitlerde [51], kışık kolza ve kışık buğdayda [52] pozitif bir ilişki görülmüştür.

S.A. uygulamasının prolin miktarına negatif yönde bir etki edeceği göz önüne alınırsa, bitkilerin aynı zamanda birçok strese karşı oluşabilecek olumsuzluklara da dayanıklılığında önemli rol oynayabileceği söylenebilir. Nitekim [52], bitkilerin tuz stresine karşı yükselen toleransının, dokulardaki prolin düzeyinin artışına bağlı olarak prolin ve argininyne da tanımlanmamış başka bileşiklerin düzeylerinin artışlarıyla ilişkili olduğunu tahmin etmektedir.

S.A. uygulamasına bağlı olarak bitkilerin stomalarını açarak fotosentez aktivitesini en yüksek seviyeye çıkardığı, prolinin koruyucu bir mekanizma olduğu, stoma hareketlerinin yapraktaki birçok fizyolojik ve biyokimyasal olayla bağlantılı olduğu sonucuna varılmıştır. S.A. uygulamasına bağlı olarak bitkilerin su seviyelerini belirli düzeyde tutmak için osmotik potansiyellerini düşürdükleri, prolin, klorofil ve MDA değerlerinin ise S.A. uygulamasıyla değiştiği fark edilmiştir. S.A. uygulamasında klorofil ve prolin seviyesi artmış, MDA miktarı azalmış, her bir bitkinin değişik oranlarda etkilendikleri ve S.A. uygulamasına değişik tepkiler verdikleri belirlenmiştir.

S.A. bitkilerde fizyolojik olayların düzenlenmesinde görev yapan fenolik karakterli içsel bir büyüme düzenleyicisidir. Örneğin: Arumlily'de termogenesisin tabii bir indikatörü olarak görev yapar. Bitkilerin birçoğunda çiçeklenmeyi teşvik eder, kök ve stomalardan iyon alınımını kontrol eder [53]. Arabidopsis bitkisinde ise yaprak sensensi boyunca gen ifadesini düzenleyici sinyal olarak görev aldığını gösteren deneysel veriler bulunmaktadır [54].

Bu çalışmada artan S.A. uygulaması klorofil miktarlarında yükselmeye, MDA miktarında ise azalmaya sebep olmuştur. Ayrıca; bitkilerde çimlenme, büyüme, gelişme, hücre bölünmesi, fotosentez gibi pek çok biyolojik olayın da etkilendiği anlaşılmıştır [55]. S.A. uygulamasına bağlı olarak bitkilerin su seviyelerini belirli düzeyde tutmak için osmotik potansiyellerini düşürdükleri, MDA değerlerinin S.A. uygulaması ile değiştiği fark edilmiştir. S.A., soyada klorofil seviyesini artırmış, MDA miktarını azaltmıştır. Bitki gelişiminin ilerleyen günlerinde bu değerler değişik oranlarda etkilenmiş ve S.A. uygulamasına karşı değişik tepkiler vermişlerdir. S.A. uygulamasının MDA üzerinde etkin olduğunu, hücre hasarının azalması ile meydana gelen MDA miktarının azaldığını söyleyebiliriz.

Sonuç olarak, soya (*Glycine max.*) bitkilerine uygulanan S.A. miktarının, bitkinin fizyolojik özelliklerine ve gelişimine katkı sağladığı, en olumlu etkiyi yapan dozun %75 ile %100 mM olduğu, buna göre birim alandan, en yüksek bitkisel verim alınacağı tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (Proje numarası: 18015) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Anaç H, Ertürk YE. Soya Fasulyesi. TEAE-Bakış 2003; ISSN 1303- 8346.
- [2] Öner T. Soya Sektör Raporu. İstanbul Ticaret Odası; 2006; <http://www.ito.org.tr>
- [3] Üstün A, Homer AD. Karadeniz Bölgesi Soya Islahı Çalışmaları. 2000 Yılı Teklif, Gelişme ve Sonuç Raporları. 2001. ss. 323-330.
- [4] Zhang L, Wang R, Hesketh JD. Effects of Photoperiod on Growth and Development of Soybean Floral Bud in Different Maturity. *Agronomy Journal* 2001; 93: 944-948.
- [5] Bayar R, Yılmaz M. Türkiye'de Soya Fasulyesi ve Önemi. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi* 2005; 2(1): 1-12.
- [6] Bakoğlu A, Ayçiçek M. Elazığ Şartlarında Soya Fasulyesinin (*Glycine Max. L.*) Tarımsal Özellikleri ve Tohum Verimi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2005; 17(1): 52-58.
- [7] Arfan M, Athar HB, Ashraf M. Does exogenous application of salicylic acid through herooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress. *Journal of Plant Physiology* 2007; 164(6): 685-694.
- [8] Güneş A, İnal A, Alpaslan M, Çiçek N, Güneri E, Eraslan F, Güzelordu T. Effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (*Zea mays L.*). *Archives of Agronomy and Soil Science* 2005; 51(6): 687-695.
- [9] de Klerk GJ, van der Krieken W, de Jong JC. The formation of adventitious roots: new concepts, new possibilities. *In vitro Cell. Dev. Biol.* 1999; 35: 189-199.
- [10] Harborne JB. Plant phenolics, In: *Secondary Plant Products*. Bell EA, Charlwood BV, (ed.). Berlin: Springer Verlag, 1980; 329-402.
- [11] Gomez L, Blanca L, Antonio CS. Evidence of the Beneficial Action of the Acetyl Salicylic Acid on Wheat Genotypes Yield under Restricted Irrigation. In: *Proc. Scientific Meeting on Forestry, Livestock and Agriculture, Mexico.*, p.112, 1993.
- [12] Raskin I. Salicylic Acid. In: *Plant Hormones, Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. Davies PJ, (ed.). Kluwer Acad. Pub., London., 1995; pp.188-205.
- [13] Mikolajczyk M, Awotunde OS, Muszynska G, Klessig DF, Dobrowolska G. Osmotic Stress Induces Rapid Activation of a Salicylic Acid-Induced Protein Kinase and a Homolog of Protein Kinase ASK1 in Tobacco Cells. *Plant Cell* 2000; 12(1): 165-178.
- [14] Nazlıcan AN. Soya Yetiştiriciliği. Adana: Çukurova Tarımsal Araştırma Enstitüsü, 2006.

- [15] Kuşvuran Ş. Kavunlarda Kuraklık ve Tuzluluğa Toleransın Fizyolojik Mekanizmaları Arasındaki Bağlantılar. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2010.
- [16] Kang G, Li G, Xu W, Peng X, Han Q, Zhuy, Guo T. Proteomics reveals the effects of salicylic acid on growth and tolerance to subsequent drought stress in wheat. *J Prot Res* 2012; 11(12): 6066-6079.
- [17] Ellis., 1995. Estimation of cardinal temperature and thermal time requirements for nationally registered cultivars of phaseolus beans. PhD, 26, 2:105.
- [18] Karasu A, Öz M, Göksoy T. Bazı Soya Fasulyesi (*Glycinemax* L. merill) Çeşitlerinin Bursa Koşullarına Adaptasyonu. *Uludağ Üniv. Zir. Fak. Derg.* 2002; 16(2): 25-34.
- [19] Güllüoğlu L, Arıoğlu HH. Farklı Yetiştirme Koşullarında Uygulanan Bazı Bitki Büyüme Düzenleyicilerinin Soyada (*Glycinne* Max. L.) Bakla Çatlama Oranı ve Verim Kaybı Üzerine Etkileri. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2005; 9(1): 37-42.
- [20] Senaratna T, Merrit D, Dixon K, Bunn E, Touchell D, Sivasithamparam K. Benzoic Acid May Act as The Functional Group in Salicylic Acid and Derivatives in The Induction of Multiple Stress Tolerance in Plants. *Plant Growth Regulation* 2003; 39: 77-81.
- [21] Korkmaz A, Tiryaki İ, Nas MN, Özbay N. Inclusion of Plant Growth Regulators into Priming Solution Improves Low Temperature Germination and Emergence of Watermelon Seeds. *Canadian Journal of Plant Science* 2004; 84(4): 1161-1165.
- [22] Korkmaz A. Inclusion of Acetyl Salicylic Acid and Methyl Jasmonate into The Priming Solution Improves Low Temperature Germination and Emergence of Sweet Pepper. *Hortscience* 2005; 40(1): 197-200.
- [23] Anonim. T.C. Tarım ve Köy işleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Çeşit Kataloğu. Ankara, 2000. 31s.
- [24] Ellis RH, Roberts EH. Towards a Rational Basis for Testing Seed Quality. In: *Seed Production* Hebblethwaite PD, (Ed.). Butterworths, London, 1980; pp. 605-635.
- [25] Mares DJ, Mrva K. Mapping quantitative trait loci associated with variation in grain dormancy in Australian wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 2001; 52(12): 1257-1265.
- [26] Luna C, Seffino LG, Arias C, Taleisnik E. Oxidative Stress Indicators as Selection Tools for Salt Tolerance in *Chloris gayana*. *Plant Breeding* 2000; 119(4): 341-345.
- [27] Lutts S, Kinet JM, Bouharmont J. NaCl-Induced Senescence in Leaves of Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars Differing in Salinity Resistance. *Annals of Botany* 1996; 78(3): 389-398.
- [28] Bates LS, Waldren RP, Teare ID. Rapid Determination of Free Proline for Water- Stress Studies. *Plant and Soil* 1973; 39(1): 205-207.
- [29] Düzgüneş O, Kesici T, Kavuncu O, Gürbüz F. Araştırma ve Deneme Metodları (İstatistik Metodları II). Ankara Üniv. Zir. Fak. Yay. 1021: Ankara, 1987, 381s.
- [30] Al-Karaki G. Seed size and water potential effects on water uptake, germination and growth of lentil. *Journal of Agronomy and Crop Science* 1998; 181(4): 237-242.
- [31] Mian MAR, Nafziger ED. Seed size and water potential effects on germination and seedling growth of winter wheat. *Crop Science* 1994; 34(1): 169-171.
- [32] Dutt NRG, Sharma RK. Screening chickpea cultivars with polyethylene glycol for drought tolerance during germination. *International Chickpea Newsletter* 1982; 7: 11.
- [33] Esehie HA, Al-Saidi A, Al-Khanjari S. Effect of sodium chloride salinity on seedling emergence in chickpea. *Journal of Agronomy and Crop Science* 2002; 188(3):155-160.
- [34] Soltani A, Galeshi S, Zeinali E, Latifi N. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Sci. and Technol.* 2002; 30(1): 51-60.
- [35] Day S, Kaya MD, Kolsarıcı Ö. Bazı Çerezlik Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) Genotiplerinin Çimlenmesi Üzerine NaCl Konsantrasyonlarının Etkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi* 2008; 14(3): 230-236.
- [36] Güneri Bağcı E. Nohut Çeşitlerinde Kuraklığa Bağlı Oksidatif Stresin Fizyolojik ve Biyokimyasal Parametrelerle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 2010.
- [37] Zengin FK. Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) pigment içeriği üzerine bazı ağır metallerin etkileri. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi* 2007; 10(2): 164-172.
- [38] Amira MS, Qados A. Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* (L.). *Journal of The Saudi Society of Agricultural Sciences* 2011; 10: 7-15.
- [39] Kabayı T, Şensoy S. Kuraklık Stresinin Bazı Fasulye Genotiplerinde Oluşturduğu Enzim, Klorofil ve İyon Değişimleri. *YYÜ Tar. Bil. Dergisi* 2016; 26(3): 380-395.
- [40] Kabayı T, Şensoy S. Yüksek Sıcaklığın Fasulyede Enzim, Klorofil ve İyon Değişimine Etkisi. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 2017; 54(4): 429-437.
- [41] Silva-Ortega CO, Ochoa-Alfaro AE, Reyes-Agüero JA, Aguado-Santacruz GA, Jiménez-Bremont JF. Salt stress increases the expression of P5CS gene and induces proline accumulation in cactus pear. *Plant Physiol. Biochem.* 2008; 46: 82-92.
- [42] Rejeb KB, Abdelly C, Savouré A. How reactive oxygen species and proline face stress together, *Plant Physiol. Biochem.* 2014; 80: 278-284.
- [43] Turkyilmaz UB, Aktas LY, Guven A. Effects of salinity on antioxidant enzymes and proline in leaves of barley seedlings in different growth stages. *Bulg. J. Agric. Sci.* 2014; 20: 883-887.
- [44] Aktas LY, Akça H. Prolin Uygulamasının Defne Fidelerinin Kuraklık Toleransının Uyarılması Üzerine Etkileri. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi (CFD)* 2015; 36(1): 17-27.

- [45] Julkowska MM, Hoefsloot HCJ, Mol S, Feron R, de Boer GJ, Haring MA, Testerink C. Capturing Arabidopsis root architecture Dynamics with ROOT-FIT reveals diversity in responses to salinity. *Plant Physiology*, 2014; 166(3): 1387-1402.
- [46] Srivastava MK, Dwivedi UN. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. *Plant Science* 2000; 158(1-2): 87-96.
- [47] Simaei M, Khavarinejad RA, Saadatmand S, Bernard F, Fahimi H. Interactive Effects of Salicylic Acid and Nitric Oxide on Soybean Plants under NaCl Salinity. *Russian Journal of Plant Physiology* 2011; 58(5): 783-790.
- [48] Bohnert HJ, Sheveleva E. Plant stress adaptations-making metabolism move. *Current Opinion in Plant Biology* 1998; 1(3): 267-274.
- [49] Yelenosky G, Vu JCV. Ability of Valencia sweet orange to cold-acclimate on cold-sensitive citron rootstock. *HortScience* 1992; 27(11): 1201-1203.
- [50] Paquin R. Effet des basses températures sur la résistance au gel de la luzerne (*Medicago media* Pers.) et son contenu en proline libre. *Physiol. Veg.* 1977; 15(4): 657-665.
- [51] Popp M, Albert R. Jahreszeitlich und altersbedingte Variationen im Stickstoffhaushalt von Halophyten. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* 1981; 94(1): 171-180.
- [52] Stefl M, Tracka I, Vratny P. Proline biosynthesis in winter plants due to exposure to low temperatures. *Biologia Plantarum* 1978; 20(2): 119-128.
- [53] Raskin I. Role of Salicylic Acid in Plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. and Plant Mol. Biology* 1992; 43(1): 439-463.
- [54] Morris K, Mackerness SAH, Page T, John CF, Murphy AM, Carr JP, Wollaston VB. Salicylic acid has a role in regulating gene expression during leaf senescence. *The Plant Journal* 2000; 23(5): 677-685.
- [55] Bressan RA. Stres Fizyolojisi, Bitki Fizyolojisi. Taiz L, Zeiger E. (Ed.) (Çev. Ed. Türkan İ.). Palme Yayıncılık, Ankara, 2008; ss.591-620.

Betonarme Yapılarda Deprem Sonrası Yapısal Hasarların Tahmini İçin Kullanılan Hızlı Değerlendirme Yöntemlerinin Etkinliklerinin Belirlenmesi

Nurbanu DEMİRBAŞ^{1*}, Hümeysra ŞAHİN², Cengizhan DURUCAN³

^{1,3} İnşaat Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹n.demirbas@firat.edu.tr, ²hsahin@firat.edu.tr, ³cdurucan@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 01/02/2021;

Kabul/Accepted: 03/04/2021)

Öz: Bu çalışmanın amacı, hızlı değerlendirme yöntemlerinin betonarme binalarda meydana gelen deprem hasarlarını tahmin etmedeki etkinliğinin belirlenmesidir. Bu amaçla çalışmada, Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrasında yapılan hasar tespit çalışmalarında ağır hasarlı olarak belirlenen 130 adet betonarme binanın risk dağılımı, hızlı değerlendirme yöntemleri (Riskli Binaların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslarda sunulan basitleştirilmiş yöntem ve Kanada Sismik Tarama Yöntemi) kullanılarak değerlendirilmiştir. Hızlı değerlendirme yöntemlerinden elde edilen sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmış ve bu yöntemlerin deprem sonrası karşılaşılan mevcut hasar durumuyla uyumu incelenmiştir. Yapılan kıyaslamalarla çalışma sonucunda; (i) Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrası ağır hasar derecesine sahip binaların, Kanada Sismik Tarama Yöntemine göre orta ve yüksek öncelikli bina sınıfında bulunduğu, (ii) Riskli Binaların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslarda sunulan basitleştirilmiş yöntemle göre ise oldukça geniş bir puan aralığında dağılım gösterdiği, (iii) her iki yöntemin mevcut hasar durumuyla uyumlu sonuçlar verdiği, (iv) hasar tespit çalışmaları sonucunda binalara verilen hasar derecesi ile hızlı değerlendirme yöntemlerinden elde edilen risk dağılımları ve deprem sonrası mevcut hasar durumu arasında tam bir uyumun olmadığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Elazığ-Sivrice Depremi, RBTEİE yöntemi, Kanada sismik tarama yöntemi, hasar tespit çalışmaları, yapısal düzensizlikler

Determining the Effectiveness of Rapid Evaluation Methods Used for Estimate of Post-Earthquake Structural Damage in Reinforced Concrete Structures

Abstract: The aim of this study is to determine the effectiveness of rapid evaluation methods in estimate earthquake damages in reinforced concrete buildings. In this study for this purpose, risk distribution of 130 reinforced concrete buildings with severe damage rating in the damage assessment studies carried out post- Elazig-Sivrice (2020) earthquake was evaluated using rapid assessment methods (Simplified method presented in Principles Regarding Definition of Risky Buildings and Canada Seismic Screening method). The results obtained from the rapid evaluation methods were compared with each other and the compatibility of these methods with the existing damage situation post-earthquake was examined. Results of the study showed that; (i) buildings with severe damage post-Elazig-Sivrice (2020) earthquake are classified as medium and high priority buildings according to the Canada Seismic Screening method, (ii) according to the simplified method presented in principles regarding definition of risky buildings, the scores of the building vary in a very wide range, (iii) both methods have results compatible with the current damage situation, (iv) the current damage status of the buildings and scores obtained from the rapid evaluation methods are not fully consistent with the damages status of the buildings defined with the post earthquake studies.

Key words: Elazig-Sivrice Eartquake, RBTEIE method, Canada seismic screening method, damage assessment studies, structural irregularities

1.Giriş

Mevcut bina stokunun tasarım yönetmeliklerindeki koşullara uymaması, tasarım ve yapımdan kaynaklı kusurların var olması binaların deprem karşısındaki performansını düşürmekte, yapısal veya yapısal olmayan hasarlara neden olmaktadır [1-2]. Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrasında Fırat Yapısal Hasarları İnceleme Grubu tarafından Elazığ il merkezinde yapılan saha incelemelerinde, özellikle belirli bir dönem aralığında (1975-

* Sorumlu yazar: n.demirbas@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ ORCID 0000-0003-4439-9706, ² ORCID 0000-0001-9563-8450, ³ ORCID 0000-0002-1933-8218

1998 yılları arasında) inşa edilmiş binalarda hasarların yoğun olduğu ve bu hasarların oluşumunda tasarım ve yapımdan kaynaklanan kusurların etkili olduğu görülmüştür [3].

Geçmiş depremlerden elde edilen tecrübeler, olası bir deprem sonrasında, can ve mal kayıplarının önlenmesi bakımından riskli bina stokunun hızlı bir şekilde belirlenmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu noktada deprem riski yüksek bölgelerde, risk tespitinde binada var olan kusurları (yumuşak kat, zayıf kat, kısa kolon, ağır çıkma, çarpışma etkisi, plan düzensizlikleri vb.) dikkate alan hızlı değerlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Binaların risk tespitinde ilk adım olarak kabul edilen bu yöntemler, sokak taramalarıyla binanın deprem performansı üzerinde etkili olan kusurlarının (yöntemlerde değerlendirme parametreleri olarak tanımlanan) gözlemsel olarak belirlenmesi, veri formlarına işlenmesi ve puanlanması şeklinde bir değerlendirme sunmaktadır.

Standartlarda ve literatürde sunulan birçok hızlı değerlendirme yönteminden söz edilirken, günümüzde daha hızlı ve daha güvenilir değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi amacıyla bu konu üzerine çalışmalar devam etmektedir. FEMA-154 Hızlı Görsel Tarama (Rapid Visual Screening - RVS) Yöntemi [4], Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5], Japon Sismik İndeks Yöntemi [6], Hindistan Hızlı Görsel Tarama Yöntemi [7], Yeni Zelanda Standardı [8], Riskli Binaların Tespit Edilmesine İlişkin Esasların (RBTEİE) EK-A bölümünde açıklanan “Binaların Bölgesel Deprem Risk Dağılımını Belirlemek için Kullanılabilecek Basitleştirilmiş Yöntemler” adı altında sunulan hızlı değerlendirme yöntemi [9], Sucuoğlu Hızlı Değerlendirme Yöntemi [10] ve P25 Yöntemi [11] başta olmak üzere standartlarda ve literatürde önerilen birçok yöntem sıralanabilir. Genel olarak yöntemlerin amaç ve işlem adımları benzerdir. Hızlı değerlendirme yöntemlerinde; binanın taşıyıcı sistem tipi ve bulunduğu bölgenin deprem riskine bağlı olarak binalara taban puanı ile mevcut kusurlara bağlı olarak olumsuzluk puanları atanmakta ve genellikle taban puanından olumsuzluk puanları çıkarılarak performans puanı hesaplanmaktadır. Değerlendirme sonucunda hesaplanan performans puanı ile binalar arasında risk öncelik sıralaması yapılmakta veya belirlenen bir sınır değerle karşılaştırılarak binanın risk durumuna (riskli veya risksiz) karar verilmektedir.

Ülkemizde riskli binaların tespiti, 2012 yılında yürürlüğe giren 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun uyarınca yapılmaktadır. 6306 sayılı kanunda ifade edilen RBTEİE Yönteminde diğer bazı hızlı değerlendirme yöntemlerden farklı olarak değerlendirmede kat sayısı dikkate alınmakta ve yöntem en fazla 7 katlı binalara uygulanabilmektedir [9]. Ayrıca diğer hızlı değerlendirme yöntemlerinden farklı olarak RBTEİE [9] ile yapılan değerlendirme sonucunda, binanın risk sınıflandırılmasının yapılabileceği herhangi bir sınır değerde bulunmamakta, belirli alanlarda sadece risk bakımından öncelikli binaların bölgesel dağılımı belirlenebilmektedir. Diğer hızlı değerlendirme yöntemleri incelendiğinde ise riskli binaların tespitinde performans puanlarının kıyaslandığı sınır değerler veya değer aralıkları bulunmaktadır. Örneğin, RVS [4] yönteminde hesaplanan performans puanı sınır değer (cut-off=2) ile kıyaslanarak, performans puanının sınır değerden küçük olması halinde bina riskli bina sınıfına alınmaktadır. Kanada Sismik Tarama Yöntemiyle [5] yapılan değerlendirme sonucunda ise binalar belirli performans puan aralıklarına bağlı olarak dört farklı öncelik sınıfında (düşük, orta, yüksek öncelikli ve çok tehlikeli binalar) değerlendirilmektedir. Bina, performans puanının 10 sınır değerinden düşük olması halinde düşük öncelikli, 10 ile 20 sınır değerleri aralığında bulunması halinde orta öncelikli, 20 ile 30 sınır değerleri aralığında bulunması halinde yüksek öncelikli, 30 sınır değerinin aşılması halinde ise çok tehlikeli bina sınıfında değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, olası bir deprem sonrası binanın risk durumunu belirleyen hızlı değerlendirme yöntemlerinin, Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrası betonarme binalarda meydana gelen deprem hasarlarını tahmin etmedeki etkinliği incelenmektedir. Bu amaçla, Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrası yapılan hasar tespit çalışmaları neticesinde ağır hasarlı olduğu belirlenen 130 adet betonarme bina, çalışma kapsamında hızlı değerlendirme yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Binaların değerlendirilmesinde, öncelikle ülkemizde riskli binaların tespiti için geliştirilmiş basitleştirilmiş yöntem (RBTEİE [9]) kullanılmış ve binaların performans puanlarının dağılımları belirlenmiştir. Ancak RBTEİE [9] ile yapılan değerlendirme sonucunda binanın risk durumunu belirleyen sınır bir değer bulunmadığı için binalar riskli ve risksiz olarak değerlendirilememiştir. Bu nedenle Elazığ-Sivrice (2020) depremi sonrası ağır hasar derecesine sahip binaların performans puanlarının risk sınıflandırılmasında kullanılabilmesi amacıyla RBTEİE [9]'ye ek olarak Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5] kullanılarak da değerlendirme yapılmıştır. Böylelikle deprem sonrası aynı hasar derecesine sahip binaların RBTEİE [9] ve Kanada Sismik Tarama Yönteminden [5] elde edilen risk değerlendirme sonuçları kıyaslanmış, hızlı değerlendirme yöntemlerinin deprem sonrası hasar durumuyla uyumu incelenmiştir. Bu amaçla öncelikle hızlı değerlendirme yöntemleri ve bu yöntemlerde dikkate alınan parametreler hakkında özet bilgi verilmiştir. Sonrasında ise çalışma kapsamında kullanılan hızlı değerlendirme yöntemlerinin (RBTEİE [9] ve Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5]) hesap yöntemleri saha uygulamaları ve veri çalışması başlığı altında özetlenmiştir. Depremden sonra ağır hasar aldığı belirlenen 130 adet betonarme binanın, hızlı değerlendirme yöntemi

kullanılarak elde edilen performans puanlarının dağılımı bulgular ve değerlendirme başlığı altında verilmiştir. Ayrıca seçilen üç bina için hızlı değerlendirme, performans puanı ve performans puanının belirlenmesinde etkili olan parametreler ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. En son olarak çalışmada dikkate alınan hızlı değerlendirme yöntemlerinin, mevcut hasarı tahmin etmedeki etkinliği sonuç ve öneriler başlığında verilmiştir.

2. Hızlı değerlendirme yöntemlerinde kullanılan değerlendirme parametreleri

Hızlı değerlendirme, binanın yapısal özelliklerinin bina dışından gözlemsel olarak belirlenmesi ve bu yapısal özellikler üzerinden puanlama esasına dayanan değerlendirme şeklidir. Riskli bina tespitinde özellikle eski bina stokunun bulunduğu ve daha yüksek deprem tehlikesiyle karşı karşıya olan bölgelerde başlangıç için yeterli ve etkili bir değerlendirme de sunarlar [4]. Hızlı değerlendirme yöntemlerinde değerlendirmede binanın yapısal özellikleri (değerlendirme parametreleri) dikkate alınırken, yöntemler arasında değerlendirme parametreleri bakımından farklılıklar da bulunmaktadır. Bu nedenle yöntemlerde kullanılan değerlendirme parametreleri yöntemler arasında kullanılma oranları ve puanlamaya katılma biçimleri bakımından kıyaslanmış, hızlı değerlendirme yöntemlerinin anlaşılabilmesi için aşağıda kısaca açıklanmıştır. Ayrıca, konunun daha iyi anlaşılabilmesi için dünyada ve ülkemizde sık kullanılan hızlı değerlendirme yöntemleri ve bu yöntemlerin risk değerlendirmesinde dikkate aldıkları parametreler Tablo 1’de özetlenmiştir.

Hızlı değerlendirme yöntemlerinde; bina kat sayısı, taşıyıcı sistem tipi, yumuşak kat/zayıf kat varlığı, ağır çıkma, görünen bina kalitesi/yapının fiziksel durumu ve bozulmalar, düşey ve plandaki düzensizlikler, kısa kolon etkisi, bitişik nizam durumu/çarpışma etkisi, deprem tehlike bölgesi ve zemin sınıfı dikkate alınan ortak değerlendirme parametreleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kat sayısı, binanın deprem davranışı üzerinde etkili bir parametre olması nedeniyle birçok hızlı değerlendirme yönteminde (Tablo 1 de sıralanan yöntemlerin %50’si) kullanılmaktadır. 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinden sonra yapılan saha incelemelerinde, Türkiye’deki binalar için kat sayısı ile yapısal hasarın şiddeti arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir [10]. Özellikle bu depremlere ait hasarlı bina verileri kullanılarak geliştirilen RBTEİE [9] ve Sucuoğlu Hızlı Değerlendirme Yönteminde [10] kat sayısına bağlı puanlama sistemi benimsenmiştir.

Tablo 1’de sıralanan hızlı değerlendirme yöntemlerinin tamamında, deprem tehlike bölgeleri ve zemin tipi değerlendirme parametresi olarak kullanılmaktadır. Bina stokunun değerlendirilmesinin, bölgeye uygun deprem kayıtları göz önünde tutularak yapılması oldukça önemlidir. Geçmiş depremlerde de, hasar seviyelerinin depremin karakteristik özellikleri ile yakın bir ilişki içerisinde olduğu kanıtlanmıştır [12,13]. Bu nedenle yöntemlerde depremin karakteristik özelliklerine bağlı deprem tehlike bölgeleri tanımlanmış ve değerlendirmede kullanılmıştır.

Binanın deprem performansını belirleyen ve önemli bir değerlendirme parametresi olarak görülen taşıyıcı sistem tipi (betonarme çerçeve sistem, betonarme perdeli sistem, çelik çerçeve sistem, yığma binalar vb.) Tablo 1’de sıralanan hızlı değerlendirme yöntemlerinin yaklaşık %60’ında dikkate alınmaktadır. Tablo 1’de sıralanan bazı yöntemlerde taşıyıcı sistem tipinin dikkate alınmaması ise bu yöntemlerin belirli taşıyıcı sistemlere özel olarak geliştirilmiş olmalarından kaynaklanmaktadır.

Yumuşak/zayıf kat düzensizliği, kat rijitliğinde ve dayanımında ani değişimlere sebep olmakta ve ana cadde üzerindeki binalarda zemin katın ticari, otopark vb. amaçlarla kullanılma durumlarında karşımıza çıkmaktadır. Yönetmeliklerde bu tip düzenlemelerden kaçınılması gerektiği belirtilirken, Tablo 1’de verilen hızlı değerlendirme yöntemlerinin tamamında yumuşak/zayıf katın varlığı puanlama sisteminde dikkate alınmaktadır.

Kısa kolon düzensizliği ile kolonun serbest boyunun, bulunduğu kattaki diğer kolonların boylarından daha az olması durumunda karşılaşılmaktadır. Gevrek bir güç tükenmesine neden olan kesme kırılmasına maruz kalarak binanın deprem performansı düşüren kısa kolon, hızlı değerlendirme yöntemlerinde de dikkate alınmaktadır [14]. Tablo 1’de sıralanan hızlı değerlendirme yöntemlerinin %75’inde puanlama sisteminde kullanılmaktadır.

Düşey düzensizlikler (düşey taşıyıcı elemanların süreksizliği, geri çekme) ve plan düzensizlikleri (burulma, taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmaması durumu, planda çıkıntılar bulunması ve döşeme süreksizlikleri) diğer değerlendirme parametreleri gibi bina dışından kolayca gözlemsel olarak belirlenmekte ve Tablo 1’de sıralanan hızlı değerlendirme yöntemlerinin %88’inde kullanılmaktadır.

Değerlendirme parametreleri içerisinde sıklıkla karşılaştığımız ağır çıkma durumu, bazı hızlı değerlendirme yöntemlerinde (Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5] ve Yeni Zelanda Standardı [8]) puanlamada düşey düzensizlik parametresi altında dikkate alınmaktadır. Tablo 1’de sıralanan diğer yöntemlerde ağır çıkma durumu puanlama sisteminde doğrudan kullanılırken, özellikle P25 yönteminde [11] ağır çıkmaların cephelerde bulunma oranları da (tek cephe, iki cephe gibi) dikkate alınmaktadır.

Bitişik binaların birbirlerine göre konumları ve binalar arasındaki boşluk miktarının minimum derz boşluğu değerinden küçük olması halinde binalarda çarpışma (çekişme etkisi) durumundan söz edilmekte ve bu durum deprem performansını olumsuz etkileyebilmektedir [3]. Bu nedenle hızlı değerlendirme yöntemlerinde değerlendirme parametresi olarak karşımıza çıkmaktadır. RVS yönteminde [4] ise çarpışma etkisinin varlığında puanlama sistemine bakılmaksızın binalar riskli olarak değerlendirilmektedir.

Görünen bina kalitesi ile malzeme, işçilik kalitesi ve binanın bakımına verilen önem anlatılmaktadır [14]. Birçok hızlı değerlendirme yönteminde, yapının kullanım ömrü içerisinde dış etkiler nedeniyle bozulma veya yıpranma durumu (binanın terkedilmiş olması, giriş ve döşeme gibi elemanlarda sehim durumu, giriş ve kolonlardaki çatlak durumu, donatıda korozyon durumu vb.) binanın risk durumu hesaplanırken dikkate alınmaktadır. RVS yönteminde [4] binanın fiziksel durumundaki bozulmalardan dolayı binalar puanlama sistemine bakılmaksızın riskli olarak değerlendirilir. Diğer yöntemlerde binanın fiziksel durumu puanlama sistemine katılırken, RBTEİE [9], Hindistan Hızlı Görsel Tarama Yöntemi [7] ve Sucuoğlu Hızlı Değerlendirme Yönteminde [10] ise binanın fiziksel durumu puanlama sisteminde iyi-orta-kötü dereceleriyle dikkate alınmakta ve gözlemcilerin mühendislik yargılarına dayanarak öznel bir değerlendirme yapılmaktadır.

Değerlendirme parametreleri içerisinde bina inşa yılı, binanın tasarımında kullanılan yönetmeliklerin yürürlüğe girme yılı ile kıyaslanarak puanlama sistemine katılmaktadır. Genellikle diğer ülkelerin standartlarında (RVS Yöntemi [4], Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5] ve Yeni Zelanda Standardı [8]) bu parametre değerlendirmeye alınırken, RBTEİE [9], Sucuoğlu Yöntemi [10], P25 Yöntemi [11] ve Hindistan Hızlı Görsel Tarama Yönteminde [7] değerlendirmeye alınmamaktadır. Bu yöntemlerde bina inşa yılının değerlendirmeye alınmaması ülkemizde ve Hindistan'da binaların tasarımında, deprem yönetmeliklerinin tasarım koşullarına uyum konusunun oldukça tartışılır olmasından kaynaklanmaktadır [7].

Tablo 1. Hızlı değerlendirme yöntemlerinde dikkate alınan değerlendirme parametrelerinin karşılaştırılması

<u>Hızlı Değerlendirme Yöntemi</u>	FEMA-154 RVS yöntemi	Kanada Sismik Tarama Yöntemi	Japon Sismik İndeks Yöntemi	Hindistan Hızlı Görsel Tarama Yöntemi	Yeni Zelanda Standardı	RBTEİE	Sucuoğlu Yöntemi	P25 Yöntemi
<u>Hızlı Değ. Yönt. Kullanılan Değ. Parametreleri</u>								
Kat sayısı				✓	✓	✓	✓	
Taşıyıcı sistem tipi	✓	✓	✓		✓	✓		
Yumuşak kat/Zayıf kat	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ağır çıkma		✓		✓	✓	✓	✓	✓
Düşey düzensizlik	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Plan düzensizliği	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Kısa kolon	✓	✓		✓	✓	✓		✓
Çarpışma etkisi	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Bina önem sınıfı		✓			✓			✓
Görünen bina kalitesi	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Bina inşa yılı	✓	✓			✓			
Tabi zemin eğimi	✓					✓		✓
Deprem tehlike bölgesi	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zemin sınıfı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

3. Saha Uygulamaları ve Veri Çalışması

Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrasında, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı bünyesinde oluşturulan teknik elemanlar tarafından hasar tespit çalışmaları yapılmıştır. Hasar tespit çalışmalarında depremin binalarda oluşturduğu hasarlar gözlemsel olarak değerlendirilmiş ve binalar hasarsız, az hasarlı, orta hasarlı ve ağır/yıkık olarak sınıflandırılmıştır [15,16]. Yapılan hasar sınıflandırmasında, depremden önce var olan bina hasar ve

kusurları değerlendirme dışında tutularak sadece depremin neden olduğu hasar dikkate alınmıştır. Hasar tespit çalışmalarında, betonarme binaların hasar değerlendirilmesinde dikkate alınan yaklaşım aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Deprem sonrası herhangi bir hasar oluşmayan binalar hasarsız,
- Sıvalarında, duvarlarında ince çatlakları olan veya yer yer sıva dökülmelerinin meydana geldiği binalar az hasarlı,
- Duvarlarında derin çatlaklar olan binalar ile taşıyıcı elemanlarda ince çatlaklar olan binalar orta hasarlı,
- Taşıyıcı elemanlarında geniş ve yaygın kesme kırılmaları/çatlakları ve/veya eğilme kırılmaları olan binalar ise ağır hasarlı olarak değerlendirilmiştir [15,16].

Çevre ve Şehircilik Bakanlığında alınan sayısal veriler neticesinde, Elazığ il merkezinde tamamlanan hasar tespit çalışmalarında 51792 adet bina gözlemsel olarak incelenmiş, incelenen binaların %45'inin hasarsız, %27,4'ünün az hasarlı, %2,7'sinin orta hasarlı ve %11,8'inin ise ağır hasarlı olduğu belirlenmiştir [3].

Bu çalışma kapsamında, ağır hasarlı binaların içerisinde 1975-1998 yılları arasında inşa edilmiş olan 130 adet betonarme bina hızlı değerlendirme yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından incelenen binalar ile ilgili detaylı verilerin paylaşıldığı veri bankasından, 130 adet betonarme bina ile ilgili veriler indirilmiş ve hızlı değerlendirmeye uygun bir şekilde veri formlarına işlenmiştir. Çalışma kapsamında, ağır hasarlı olarak belirlenen 130 adet betonarme binanın, RBTEİE [9] ve Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5] kullanılarak risk değerlendirmeleri yapılmıştır. Ancak RBTEİE [9]'de sunulan değerlendirmede en fazla 7 katlı betonarme binaların değerlendirilmesine izin verildiği için ancak 123 adet betonarme binanın değerlendirilmesi yapılabilmektedir.

RBTEİE Yöntemi [9]'ne göre yapılan değerlendirmede binanın deprem davranışı üzerinde etkili yapısal özellikleri (kat sayısı, deprem tehlike bölgesi, yumuşak kat, görünen kalite, ağır çıkma, bitişik nizam durumu, düşey ve plan düzensizlikleri, kısa kolon etkisi) bina dışından belirlenerek veri toplama formlarına işlenir. Yöntem, veri formlarına işlenen bilgiler üzerinden binanın performans puanı hesabına dayanmaktadır. Performans puanı hesabında, öncelikle bina kat sayısı ve deprem tehlike bölgesine bağlı olarak binanın taban puanı (TP) belirlenmektedir (Tablo 2). Daha sonra binanın deprem performansını düşüren yapısal özelliklerine bağlı olumsuzluk parametre değerleri (O_i) Tablo 3'de verilen olumsuzluk parametre puanları (OP_i) ile çarpılarak, taban puanına eklenmektedir. Taşıyıcı sistemin betonarme çerçeve (BAÇ) veya betonarme çerçeve-perde (BAÇP) olmasına bağlı olarak yapısal sistem puanı (YSP) da eklenerek binanın performans puanı elde edilmektedir. Olumsuzluk parametre değerleri, görünen kalite ve bina nizam durumu dışındaki tüm olumsuzluk parametreleri (değerleri) için var (1) veya yok (0), görünen bina kalitesi için iyi (0), orta (1), kötü (2), yapı nizam durumu için ise ayırık (0) veya bitişik olma (1) durumlarına bağlı belirlenmektedir. Yöntemde değerlendirme, kısaca Denklem 1 ile hesaplanan performans puanının (PP) binalar arasında risk öncelik sıralaması amacıyla kullanılmasıyla tamamlanmaktadır.

$$PP = TP + \sum(O_i * OP_i) + YSP \quad (1)$$

Tablo 2. Taban puanı ve yapısal sistem puan tablosu [9].

Toplam kat sayısı	Taban puanı (TP)				Yapısal sistem puanı (YSP)	
	Tehlike Bölgesi				Yapısal sistem	
	I	II	III	IV	BAÇ	BAÇP
1 ve 2	90	120	160	195	0	100
3	80	100	140	170	0	85
4	70	90	130	160	0	75
5	60	80	110	135	0	65
6 ve 7	50	65	90	110	0	55

Kanada Sismik Tarama Yöntemine [5] göre yapılan değerlendirmede, binanın yapısal ve yapısal olmayan özellikleri (değerlendirme parametreleri) bina dışından gözlemsel olarak belirlenmekte, değerlendirme bu parametreler üzerinden yapılmaktadır. Bu yöntemle yapılan değerlendirme sırasında kullanılan parametreler; taşıyıcı sistem tipi, yumuşak kat/zayıf kat, ağır çıkma, plan ve düşey düzensizlik durumları, kısa kolon etkisi,

bina nizam durumu, inşa yılı, bina önem sınıfı, deprem tehlike bölgesi, zemin sınıfı şeklinde sıralanabilir. Değerlendirmede, binanın yapısal bileşenlerinin olası hasar ve kusurlarının dikkate alındığı yapısal indeks (SI) (Denklem 2) ve binanın yapısal olmayan bileşenlerinin hasar görmesi ile ilgili yapısal olmayan indeks (NSI) (Denklem 3) puanları hesaplanmakta ve bu puanlarının toplanmasıyla sismik öncelik indeksi (SPI) elde edilmektedir. Denklem 4 kullanılarak hesaplanan SPI puanına bağlı olarak binanın risk öncelik sınıfına karar verilmektedir.

Tablo 3. Olumsuzluk parametreleri puan tablosu [9].

Toplam kat sayısı	Yumuşak kat	Görünen kalite	Ağır çıkma	Kat seviyesi / Bağımsız bina durumu				Düşeyde düzensizlik	Planda düzensizlik/Burulma	Kısa kolon	Tabii zemin etkisi
				Aynı		Farklı					
				Orta	Kenar	Orta	Kenar				
1 ve 2	-10	-10	-10	0	-10	-5	-15	-5	-5	-5	-3
3	-20	-10	-20	0	-10	-5	-15	-10	-10	-5	-3
4	-30	-15	-30	0	-10	-5	-15	-15	-10	-5	-3
5	-30	-25	-30	0	-10	-5	-15	-15	-10	-5	-3
6 ve 7	-30	-30	-30	0	-10	-5	-15	-15	-10	-5	-3

$$SI = A \times B \times C \times D \times E \quad (2)$$

$$NSI = B \times E \times F \quad (3)$$

$$SPI = SI + NSI \quad (4)$$

Denklem 2’de, A bölgenin deprem tehlikesini, B zemin tipini, C taşıyıcı sistem tipini, D yapısal düzensizlik durumunu (plandaki düzensizlik/burulma, düşey düzensizlikler, kısa kolon, yumuşak kat, bitişik nizam binalarda çarpışma etkisi, binanın görünen kalitesi), E bina kullanım sınıfına bağlı bina önem katsayısını temsil etmektedir. Denklem 3’de bulunan, F simgesi ise deprem sonrası hayati tehlike oluşturacak durumları temsil etmektedir.

Puanlama sisteminde kullanılan A değeri, binanın bulunduğu bölgenin deprem tehlikesi ve inşa yılı dikkate alınarak 1-4 arasında; B değeri zemin tipi ve inşa yılına bağlı olarak 1-2 arasında; C değeri binanın taşıyıcı sistem tipi ve inşa yılına bağlı olarak 1-3.5 arasında değişen değerler almaktadır. D değeri ise binanın yapısal düzensizlik durumlarına 1-2 arasında değişen değerlerin atanması ve bu düzensizlik durumlarına atanan değerlerin çarpılmasıyla elde edilmektedir. Ancak puanlama sisteminde bu değer maksimum 4 ile sınırlandırılmıştır. E değeri binanın kullanım sınıfına ve inşa yılına bağlı olarak 0.7-3 değerleri arasında değişirken, yapısal olmayan tehlikeleri ifade eden F değerinin ise 1-6 arasında değişen değerler aldığı yöntemde sunulan değerlendirme formu üzerinden görülmektedir [5].

Değerlendirme sonunda, hesaplanan SPI puanı üzerinden binalar belirli performans puan aralıklarına bağlı olarak dört farklı öncelik sınıfına (düşük, orta, yüksek öncelikli ve çok tehlikeli binalar) ayrılmaktadır. SI veya NSI puanlarının 1-2 değerlerine sahip olma durumunda ise binanın yeterli deprem güvenliğine sahip olduğu kabul edilmektedir.

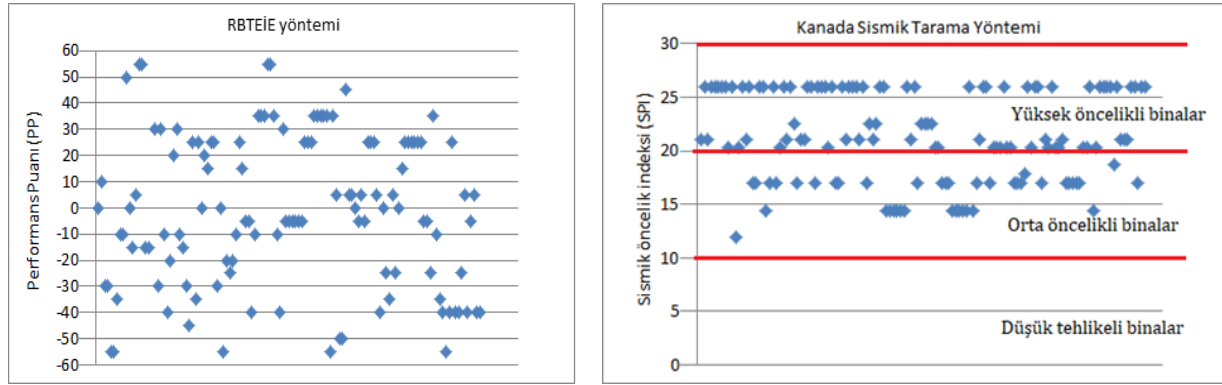
- SPI < 10 olması durumunda düşük öncelikli
- 10 ≤ SPI < 20 olması durumunda orta öncelikli
- 20 ≤ SPI ≤ 30 olması durumunda yüksek öncelikli
- SPI > 30 olması durumunda çok tehlikeli bina sınıfına alınmaktadır.

Bu çalışmada Kanada Sismik Tarama Yöntemi’ne [5] göre değerlendirme yapılırken RBTEİE [9]’den farklı olarak değerlendirmede bina inşa yılı/yönetmelik yılı parametresi değerlendirmeye alındığından, binaların değerlendirilmesinde yönetmelik yılları ile ilgili bazı kabuller yapılmıştır. Kanada Sismik Tarama yönteminde dikkate alınan 1965 Kanada Bina Yönetmeliğine [17] 1975 Türk Deprem Yönetmeliği [18]; 1985 Kanada Bina Yönetmeliğine [19] ise 1998 Türk Deprem Yönetmeliği’nin [20] nitelik yönünden eşit olduğu kabul edilmiştir.

4. Bulgular ve Değerlendirme

Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrası yapılan hasar tespit çalışmalarında ağır hasarlı olarak sınıflandırılan 130 adet betonarme bina hızlı değerlendirme yöntemleri (RBTEİE ve Kanada Sismik Tarama Yöntemi) kullanılarak incelenmiştir. RBTEİE yöntemi ve Kanada Sismik Tarama Yöntemi kullanılarak yapılan değerlendirme sonucunda binalara ait performans puanı ve risk dağılımı Şekil 1’de verilmiştir.

RBTEİE [9]’de sunulan hızlı değerlendirme yöntemi kullanılarak değerlendirilen binaların performans puan dağılımı Şekil 1’de gösterilmiştir. Performans puanlarının -55 ile +55 arasında değiştiği ve ağır hasarlı olarak derecelendirilen bu binaların performans puanlarının geniş bir puan aralığında dağıldığı gözlenmiştir. Deprem sonrası aynı hasar derecesine (hasar tespit çalışmalarında ağır hasar olarak belirlenmiş) sahip binaların performans puanları arasındaki büyük fark (-55 ile +55 puanları arasındaki fark) dikkat çekicidir. Bu nedenle değerlendirilen binalar içerisinde RBTEİE Yöntemine [9] göre yüksek-orta-düşük puana sahip herhangi üç binanın (BI, BII ve BIII kodlu binalar) deprem performansı üzerinde etkili parametreleri (kusurları), binaların dış cephe ve iç cephe fotoğrafları üzerinden incelenerek hasar durumları kıyaslanmıştır (Tablo 4).



Şekil 1. Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrası incelenen ağır hasarlı binaların risk dağılımlarının RBTEİE yöntemi ve Kanada Sismik Tarama yöntemiyle değerlendirilmesi.

BI, BII, BIII kodlu ağır hasarlı binaların deprem performansını etkileyen bina özellikleri Tablo 4 üzerinden incelendiğinde binalar arasındaki puan farklılıklarında değerlendirme parametrelerinin (kat sayısı, yumuşak kat, ağır çıkımlar, bina nizamı gibi) etkili olduğu görülmüştür. Özel olarak incelenen üç binanın SPI hesaplamaları Tablo 5’te verilmiş ve BI–BII binaları arasında 55 puan, BI–BIII binaları arasında ise 110 puan fark olduğu görülmüştür.

RBTEİE [9]’de önerilen hızlı değerlendirme yönteminde kat sayısı puanlama sisteminde etkili olmakta, kat sayısının artmasıyla binalara verilen taban puanları azalmakta, olumsuzluk parametre puanları ise artmaktadır. BIII, BII, BI binalarının kat sayılarının giderek artması (sırasıyla 4, 5 ve 6 katlı) performans puanı üzerinde düşüşe sebep olmuştur. Ayrıca ticari+konut kullanım amaçlı BI binasında, yumuşak kat varlığı puanlamada azaltıcı bir etkide yaratmaktadır. Yumuşak kat parametresine benzer şekilde bina üzerinde ağır çıkımların varlığı performans puanını düşürmekte ve riski artırmaktadır. RBTEİE [9] kullanılarak yapılan değerlendirme sonucunda puan farklılıklarının bir başka nedeni ise bitişik nizamlı binanın değerlendirilmesinde, hem binanın komşu binalara göre konumu (bitişik, köşede bitişik) hem de komşu binaların döşemeleri arasındaki kot farkının (aynı, farklı) dikkate alınmasıdır.

Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrasında BI, BII ve BIII kodlu binalarda oluşan hasarlar Tablo 4’de verilen hasar fotoğrafları yardımıyla incelendiğinde, BI kodlu binanın zemin katında bir kolonda kabuk betonda dökülmeler, çekirdek betonunda ezilme ve boyuna donatılarında burkulmaların olduğu görülmektedir. BII kodlu binada taşıyıcı sistem elemanlarında ince çatlaklar, bölme duvarında kısmi yıkılma ve ayrılmalar gözlenmiştir. BIII kodlu binanın ise zemin katında oturma çatlakları gözlenmiştir. Bu nedenle RBTEİE [9]’de sunulan yöntemle elde edilen performans puanlarının, deprem sonrası oluşan hasarlarla uyumlu sonuçlar verdiği söylenebilir. Ancak performans puanı ile deprem sonrasında gözlenen hasarlar arasındaki uyumun yanında binaların hasar tespit çalışmaları sonrasında aynı hasar derecesine sahip olmaları çelişkili bir durum oluşturmaktadır. Bu çelişkili durum, hasar tespitinde görevli teknik ekiplerin mühendislik yargılarından kaynaklanmaktadır. Çünkü sistemin hasar derecesi belirlenirken taşıyıcı elemanların sistem içindeki görevleri ve

hasar gören eleman sayısı dikkate alınmakta, hasar görmüş olan taşıyıcı elemanın sistem içerisindeki önemine teknik ekipler mühendislik yargılarını kullanarak karar vermektedir [15].

Tablo 4. Ağır hasarlı binalar içerisinde incelenen örnek binaların değerlendirilmesi

Bina Kodu	BI	BII	BIII
Hasar derecesi	Ağır hasarlı	Ağır hasarlı	Ağır hasarlı
PP (RBTEİE)	-55	0	55
SPI (Kanada Yöntemi)	26	20,3	14,45
Bina Fotoğrafı			
Değerlendirme parametreleri	Deprem tehlike böl: I Taşıyıcı sistem tipi: Çerçeve Yapım yılı: 1989 Kat sayısı: Z+5 Yumuşak kat: Var Görünen kalite: Orta Ağır çıkma: Var Yapı nizamı/döşeme seviyeleri: Köşede bitişik/farklı Düşey düzensizlik: Yok Plan düzensizliği: Yok Kısa kolon: Yok Tabi zemin etkisi: Düz	Deprem tehlike böl: I Taşıyıcı sistem tipi: Çerçeve Yapım yılı: 1980 Kat sayısı: Z+4 Yumuşak kat: Yok Görünen kalite: Orta Ağır çıkma: Var Yapı nizamı/döşeme seviyeleri: Bitişik orta/farklı Düşey düzensizlik: Yok Plan düzensizliği: Yok Kısa kolon: Yok Tabi zemin etkisi: Düz	Deprem tehlike böl: I Taşıyıcı sistem tipi: Çerçeve Yapım yılı: 1990 Kat sayısı: Z+3 Yumuşak kat: Yok Görünen kalite: Orta Ağır çıkma: Yok Yapı nizamı/döşeme seviyeleri: Ayrık Düşey düzensizlik: Yok Plan düzensizliği: Yok Kısa kolon: Yok Tabi zemin etkisi: Düz
Hasar fotoğrafı			

* Tablo 4’de verilen tüm fotoğraflar [21] numaralı kaynaktan alınmıştır.

RBTEİE’de [9] önerilen yöntemin yanında Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrası yapılan hasar tespit çalışmalarında, ağır hasarlı olarak derecelendirilen 130 adet betonarme binanın risk değerlendirilmesi Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5] kullanılarak incelenmiş ve risk dağılımları Şekil 1 ile verilmiştir. Kanada Sismik Tarama Yönteminde binalar belirli puan aralıklarına göre öncelik sınıflarına (düşük tehlikeli, orta öncelikli, yüksek öncelikli binalar) ayrılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda binaların %68’inin yüksek öncelikli bina sınıfında, %32’sinin ise orta öncelikli bina sınıfında bulunduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında özel olarak ele alınan üç binanın Kanada Sismik Tarama Yöntemine göre hesaplanan Sismik Öncelik İndeksi (SPI) değerleri ise BI, BII ve BIII kodlu binalarda sırasıyla 26, 20.3 ve 14.45 olarak belirlenmiş (Tablo 6) ve yöntemin deprem sonrası meydana gelen hasarlarla uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ayrıca Şekil 1’de RBTEİE [9] ile elde edilen performans puan dağılımına karşı Kanada Sismik Tarama Yönteminde [5] binalar belirli puan aralıklarında (10-20 ve 20-30 puan aralığı) toplanmıştır. Bu durum Kanada Sismik Tarama Yönteminde [5] yapısal düzensizlik durumunu belirten D indeksinin (plandaki düzensizlik/burulma, düşey düzensizlikler, kısa kolon, yumuşak kat, bitişik nizam binalarda çarpışma etkisi, fiziksel bozulma durumu) 4 değeri ile sınırlandırılmış olmasıyla ilişkilendirilebilir. Örneğin, Kanada Sismik Tarama Yöntemine [4] göre incelenen bir binada düşey düzensizlik, yumuşak kat, çarpışma etkisi ve fiziksel bozulma durumu ile karşılaştırılması halinde D indeksi yaklaşık 4 değerini alırken; düşey düzensizlik, yumuşak kat, çarpışma etkisi ve fiziksel bozulma durumlarının yanında planda düzensizlik, kısa kolon durumları vb. düzensizliklerin bulunması halinde ise D indeksi yaklaşık olarak 10 değerini almaktadır. Ancak bu yöntemle yapılan değerlendirmede D indeksinin maksimum 4 değeri ile sınırlandırılmış olması, belirli birkaç düzensizlikten sonra binaların aynı puan aralığında toplanmalarına neden olmaktadır.

Tablo 5. RBTEİE yöntemiyle incelenen örnek binaların performans puanı değerleri

	Kat Sayısı	Deprem Tehlike Böl.	Taban Puanı	Yapısal sistem puanı	Yumuşak kat	Görünen bina kalitesi	Ağır çıkma	Bitişik nizam durumu	Düşey düzensizlik	Plan düzensizliği	Kısa Kolon	Topografik Etki	Performans puanı
BI	6	I	50	0	-30	-30	-30	-15	0	0	0	0	-55
BII	5	I	60	0	0	-25	-30	-5	0	0	0	0	0
BIII	4	I	70	0	0	-15	0	0	0	0	0	0	55

Tablo 6. Kanada Sismik Tarama yöntemiyle incelenen örnek binaların SPI değerleri

	A	B	C	D	E	F	SI	NSI	SPI
BI	2	1	2,5	4	1	6	20	6	26
BII	2	1	2,5	2,86	1	6	14,3	6	20,3
BIII	2	1	2,5	1,69	1	6	8,45	6	14,45

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrası il merkezinde, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından oluşturulan teknik ekiplerce, ağır hasarlı olarak belirlenen betonarme binalar hızlı değerlendirme yöntemleri RBTEİE [9] ve Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5] kullanılarak incelenmiş ve binaların performans puan dağılımları belirlenmiştir. RBTEİE [9] ve Kanada Sismik Tarama Yöntemi [5] kullanılarak elde edilen değerlendirme sonuçları mevcut hasar durumuyla karşılaştırılmıştır.

Yapılan değerlendirme neticesinde;

- Hızlı değerlendirme yöntemleri ile mevcut hasar durumları arasında uyumlu sonuçlarla karşılaşılmıştır. Böylelikle olası bir deprem sonrası oluşabilecek can ve mal kayıplarının önlenmesi bakımından bu yöntemlerin riskli bina tespitinde önemli bir yere sahip olduğu görülmüştür.
- Çalışma kapsamında incelenen binaların, Kanada Sismik Tarama Yöntemiyle [5] yapılan değerlendirme sonucunda orta ve yüksek öncelikli bina sınıfında bulunduğu belirlenmiştir. RBTEİE Yöntemine [9] göre yapılan değerlendirme sonucunda ise sınır değer bulunmaması nedeniyle herhangi bir risk sınıfı tanımlanamamış, ancak performans puanları oldukça geniş bir puan aralığında dağılım göstermiştir.
- Hızlı değerlendirme yöntemleriyle incelenen binaların, performans puanları (PP) ile sismik öncelik indeksleri (SPI) ve mevcut hasar durumu arasında uyum söz konusuysen, Elazığ-Sivrice Depremi (2020) sonrası binalara verilen hasar derecesi ile mevcut hasar durumu arasında tam bir uyumdan söz edilemez. Bu durum (incelenen tüm binaların ağır hasar derecesine sahip olması) deprem sonrası hasar tespit çalışmalarının kısa sürede tamamlanması gerekliliği nedeniyle teknik personelin hızlı, yüzeysel bir değerlendirme yapmaları ve teknik personellerin mühendislik yargısını kullanarak hasar derecesini belirlemesi ile açıklanabilir.

Ülkemizde riskli bina tespitinde kullanılan RBTEİE Yönteminde [9] sınır değer tanımının yapılmamış olması, Kanada Sismik Tarama Yönteminin [5] yanında eksiklik olarak düşünülebilir. RBTEİE Yöntemine [9] sınır değer tanımlaması için çalışmalar genişletilmelidir. Ancak yöntemin mevcut hasar durumuyla oldukça uyumlu olması nedeniyle yöntem bu eksikliğe rağmen riskli binaların tespitinde anlamlı sonuçlar vermektedir.

İncelenen binaların mevcut hasar durumları üzerinde, özellikle kat sayısı, yumuşak kat, ağır çıkma, çarpışma etkisi gibi kusurların etkili olduğu görülmüştür. Bu nedenle hızlı değerlendirme yöntemlerinde değerlendirmenin kusurlar üzerinden yapılmasının oldukça doğru bir yaklaşım olduğu Elazığ ili özelinde görülmüştür. RBTEİE [9] ve Kanada Sismik Tarama Yönteminde [5] kullanılan değerlendirme parametrelerinin çoğu benzerdir. Ancak RBTEİE Yönteminde [9] bazı değerlendirme parametrelerinin daha ayrıntılı ele alınması nedeniyle değerlendirme sonucunda birbirinden oldukça farklı puan dağılımıyla (risk dağılımı) karşılaşmıştır. Yöntemlerin birbirleriyle uyumu bakımından, risk dağılımlarının benzeştirilmesi amacıyla puanlama sistemlerinin tekrar gözden geçirilmesi, mevcut yöntemlerin eksikliklerini giderebilecek iyileştirmelerin önerileceği yeni çalışmalarla desteklenmesi uygun olacaktır.

Kaynaklar

- [1] İnel M, Özmen HB, Çaycı BT. Simav ve Van Depremleri (2011) Yapı Hasar Nedenlerinin Değerlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2013; 19(6): 256-265.
- [2] Temür R, Damcı E, Öncü-Davas S, Öser C, Sarğın S, Şekerci Ç. Structural and geotechnical investigations on Sivrice earthquake (Mw = 6.8), January 24, 2020. Natural Hazards 2021, <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04468-w>.
- [3] Şahin H, Alyamaç KE, Durucan AR, Demirel B, Ulaş Açıkgenç M, Bildik AT, Durucan C, Demir T. ve diğerleri. 24 Ocak 2020 Mw 6.8 Sivrice/Elazığ Depremi Elazığ Bölgesi Yapısal Hasarlar İnceleme ve Analiz Raporu. Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2020/D001, 2020.
- [4] Federal Emergency Management Agency. Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook (FEMA P-154). Federal Emergency Management Agency, Washington, USA, 2015.
- [5] Institute for Research in Construction National Research Council Canada. Manual for Screening of Buildings for Seismic Investigation. Institute for Research in Construction National Research Council Canada, Ottawa, Canada, 1992.
- [6] Japan Building Disaster Prevention Association. Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings. Japan Building Disaster Prevention Association, Tokyo, Japan, 2001.
- [7] Mishra S. Integrated Rapid Visual Screening of Buildings for Seismic Hazard. 1nd ed. Gurgaon, India, Taru, 2014.
- [8] New Zealand Society for Earthquake Engineering. Assessment and Improvement of the Structural Performance of Buildings in Earthquakes. NZSEE Study Group on Earthquake Risk Buildings, New Zealand, 2006.
- [9] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar, 6306 Sayılı Kanunun Uygulama Yönetmeliği. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 28695, 2013.
- [10] Sucuoğlu H, Yazgan U, Yakut A. A screening procedure for seismic risk assessment in urban building stocks". Earthquake Spectra, 2007; 23(2): 441-458.
- [11] Gülay FG, Kaptan K, Bal EI, ve Tezcan SS. P25-Scoring Method for The Collapse Vulnerability Assessment of R/C Buildings. Procedia Engineering ,2011;14:1219-28.
- [12] Akkar S, Sucuoğlu H. Peak Ground Velocity Sensitive Deformation Demands and a Rapid Damage Assessment Approach. Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings. Springer, 2003; 77-96.
- [13] Wasti ST, Özcebe G. Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings. Springer Science & Business Media, 2003
- [14] Sucuoğlu H, Yazgan U. Simple Survey Procedures for Seismic Risk Assessment in Urban Building Stocks. Seismic assessment and rehabilitation of existing buildings. Springer, 2003; 97-118
- [15] Sönmez A, Kuran F, Demirok E, Yılmaz H, Ülker D. Afet Sonrası Hasar Tespit Çalışmaları. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Ankara, Türkiye, Afad-01, 2011.
- [16] https://hasartespit.csb.gov.tr/brosur/hasar_tespit-sunum.pdf, Erişim: 15 Ocak 2021
- [17] National Research Council Canada. National Building Code of Canada. National Research Council Canada. Canada, Ottawa, 1965.
- [18] T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 1975.
- [19] National Research Council Canada. National Building Code of Canada. National Research Council Canada. Canada, Ottawa, 1985.
- [20] T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 1998.
- [21] <https://hasartespit.csb.gov.tr/#/>, Erişim: 15 Ocak 2021.

Araç-İHA İşbirliği ile Kargo Teslimatları İçin Ortak Rota Optimizasyonu

Hasan YETİŞ^{*1}, Zeynep GÜNGÖR², Mehmet KARAKÖSE³

^{1,2,3} Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
h.yetis@firat.edu.tr, zeynep.gungor95@outlook.com, mkarakose@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 12/02/2021;

Kabul/Accepted: 10/04/2021)

Öz: Teknolojik gelişmelerle birlikte artan e-ticaret işlemleri, beraberinde, müşterilerin daha kısa teslimat süresi beklenti ve ihtiyaçlarını da ortaya çıkarmıştır. Geleneksel yöntemlerle yapılan teslimatlar, işletme ve operatör maliyetlerine ilave olarak; teslimat sürelerini de artırmaktadır. İnsansız Hava Araçlarının (İHA), işletme maliyetlerini düşürmesi ve ulaşım sürelerini kısaltması nedeniyle, paket teslimatlarında bu araçların kullanımının önünü açmıştır. Bu çalışmada, araç ve İHA'nın birlikte teslimat yapacağı kargolar için yönlendirme problemi incelenmiştir. Araç-İHA işbirliğinde önemli problemlerden biri olan rotanın optimize edilme işlemi için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ilk olarak araç rotası en kısa yol algoritmasına göre belirlenmiştir. Araç bu rota üzerinden ilerlerken, sahip olduğu kısıtlamalar da göz önüne alınarak İHA'nın dağıtım için uygun ve etkili olup olmayacağı belirlenmiştir. Dağıtım uygun görülen müşterilerin paketleri İHA aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Önerilen yöntem ve senaryo Python programlama dilinde simüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlar araç-İHA işbirliği ile yapılan dağıtımda toplam mesafede artış olmasına rağmen, maliyette kazanç elde edildiğini göstermektedir. Problemin boyutuna göre %4-6.24 arasında kazanç elde edildiği görülmektedir.

Anahtar kelimeler: araç-İHA, optimizasyon, ortak rota, kargo teslimatı

Common Route Optimization for Parcel Deliveries with Truck-UAV Collaboration

Abstract: E-commerce transactions, which increased with technological developments, also revealed the expectations and needs of customers for shorter delivery times. Deliveries made by traditional methods, in addition to operating and operator costs; It also increases delivery times. Unmanned aerial vehicles (UAVs) have paved the way for the use of these vehicles in parcel deliveries, as they reduce operating costs and shorten transportation times. In this study, the routing problem for the cargo that the truck and the UAV will deliver together has been examined. Efforts are made to optimize the route, which is one of the important problems in truck-UAV cooperation. For this purpose, firstly, the truck route is determined according to the shortest path algorithm. While the truck is moving on this route, it is determined whether the UAV would be suitable and effective for distribution, taking into account the restrictions it had. The packages of customers deemed suitable for distribution via UAV are carried with UAV. The proposed method and scenario is simulated in the Python programming language. The obtained results show that although there is an increase in the total distance in the distribution made in cooperation with the truck-UAV, there is a cost gain. It is seen that the gain between 4-6.24% is obtained depending on the size of the problem.

Key words: truck-UAV, optimization, common route, parcel delivery.

1. Giriş

Son yıllarda artan online alışveriş işlemleri ile birlikte, satın alınan paketlerin dağıtımını konusunda kargo taşımacılığına olan ihtiyaç artmıştır [1, 2]. Özellikle belirli zamanlarda yapılan özel alışveriş günlerinde bu istek maksimum seviyeye çıkmış ve müşterilerde de paket teslimatlarının daha hızlı yapılması ihtiyacı doğmuştur [3]. Online alışverişler ülkelerin her noktasından kolayca yapılabiliyorken, şehir merkezlerinden biraz daha uzakta ya da daha engebeli yerlerde yaşayan insanlar teslimatlarını daha geç alabilmektedirler [4]. İlave olarak şehir merkezinde, trafik yoğunluğunun yüksek olduğu yerlerde de ekstra maliyetler meydana gelmektedir [5]. Geleneksel yöntemlerle yapılan kargo taşımacılığı maliyet ve teslimat sürelerinde tatmin edici bir cevap veremediği için artan talebi karşılamada kullanımı pratik olan İHA'lara karşı ilgi artmıştır [6]. Teslimatlarda İHA kullanmanın 4 avantajını Ha ve arkadaşları [7] şöyle sıralamıştır:

- 1- Bir insanın yönlendirmesi olmadan kullanılabilir
- 2- Hedeflerine hava yolu ile ulaştıkları için karayollarındaki tıkanıklıklardan etkilenmez
- 3- Karayollarını kullanan araçlara nazaran daha hızlıdır
- 4- Km başına transfer maliyetleri daha düşüktür.

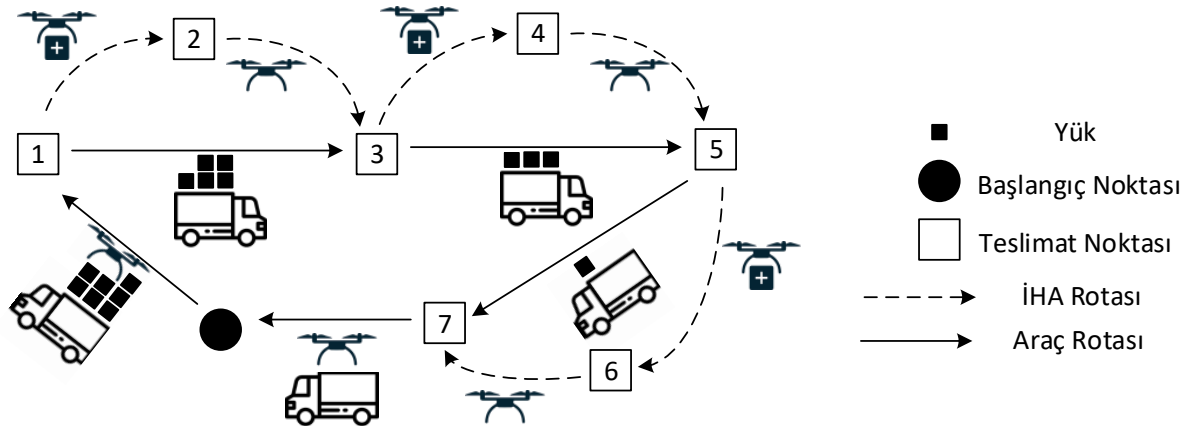
* Sorumlu yazar: h.yetis@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0001-7608-3293, ²0000-0002-3923-706X, ³0000-0002-3276-3788

Tüm bu avantajlara karşı İHA kullanmanın birkaç dezavantajı vardır. İHA'ların taşıyabileceği yük miktarı belli bir değerin altında olmalıdır [8]. Yani İHA'lar kargo araçları gibi ağır paketleri taşıyamazlar. Kargo araçları daha uzun mesafe kat edebilirken, İHA bataryalarının limitli uçuş sürelerinden dolayı gidebilecekleri mesafe sınırlıdır. Tablo 1'de geleneksel araçların ve İHA'ların kullanılan yol, teslimat hızı, taşıyabileceği yük ve taşıyabileceği mesafe açısından karşılaştırmaları verilmiştir.

Tablo 1. İHA ve Araç Karşılaştırması.

	Kullanılan Yol	Teslimat Hızı	Taşıyabileceği Yük	Taşıyabileceği Mesafe
İHA	Hava Yolu	Hızlı	Hafif Paketler	Kısa
Araç	Kara Yolu	Yavaş	Ağır Paketler	Uzun

Her ne kadar İHA'ların dezavantajları olsa da, avantajlarına uygun olarak kullanımları giderek artmaktadır [9-11]. Amazon, DHL, Google teslimatlarda bu avantajları kullanan ilk şirketlerdendir [7,12,13]. Paket teslimatlarında İHA'ların kullanımının başlanması, çözülmesi gereken zorlukları da beraberinde getirmiştir. İHA'ların teslimat yapacağı müşterilerin seçimi, daha az enerji tüketimi için hangi rotayı takip ederek bu müşterilere ulaşacakları, batarya süresi sonunda batarya değişimini ya da şarj işlemi nerede yapacağı, iniş ve kalkış noktaları gibi zorluklar bunlara örnektir. Araç-İHA işbirliği ile kargo teslimatlarının gerçekleştirilmesine dair örnek Şekil 1'de verilmiştir. Burada siyah yuvarlak başlangıç noktası olmak üzere araç güzergahı depo $\rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow$ depo şeklindeyken; İHA güzergahı $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3, 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5, 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7$ şeklinde olmaktadır. Yük olarak araçtan uzaklaşan İHA'lar yüklerini bırakıp araca geri dönmektedir.



Şekil 1. Araç-İHA işbirliği ile kargoların dağıtılması örneği.

Optimizasyon işlemi birçok problemde uygulanmaktadır [14-16]. Araç-İHA alanında yapılan çalışmaların birinde, tek bir İHA'nın bir araçla nasıl kullanıldığı (FSTSP) ve paralel iki İHA'nın bir araç ile nasıl kullanıldığı (PDSTSP) anlatılmaktadır [12]. Makalede anlatılan FSTSP algoritması, bir araç ile birlikte çalışan İHA'nın müşteri rotasını belirleme amacı ile kullanılan gezgin satıcı probleminin bir çeşididir. Burada İHA'ya bir kargo aracı eşlik eder. Bu problem ise yardımcı gezgin satıcı (FSTSP) olarak ifade edilir. Murray ve Chu, öncelikle araç için bir rota çizip, sonrasında İHA'yı bu ana rota üzerinden ilerleterek, bir sonraki müşteriye hizmet verip veremeyeceğini belirleyen bir sezgisel yöntem önermişlerdir. Y. Liu ve arkadaşları [17], araç ve İHA'nın beraber teslimat yaptığı, aracın aynı zamanda İHA için bir gezici istasyon görevi gördüğü durumlardaki yönlendirme problemini araştırmışlardır. Aracın ağır, İHA'nın ise kendisinin taşıyabileceği kadar hafif yükleri müşterilere ulaştırması gereken bu çalışmada, Y.Liu ve arkadaşları, yapay tavlama algoritmasını kullanarak önce araç için bir rota çizmiş, daha sonra bu rota üzerinde ilerlerken İHA'nın rotası için her bir müşteriye analiz etmiştir. İHA-aracın işbirliği ile yapılan teslimatların rota maliyetleri kıyaslandığında, İHA-aracın iş birliğinin %17'lik bir kazanç elde ettiği sonucunu çıkarmışlardır. Ham [18], birden fazla İHA ve aracın yer aldığı senaryolarda, İHA'nın bir teslimatı yaptıktan sonra, diğer müşteriye direkt uçabileceği ya da önce depoya geleceği durumları incelemiştir. Kim ve Moon [19], İHA'nın şarj sorununa odaklanmış ve bunu çözebilmek için bir aracı, İHA istasyonu, yani İHA'ları ve

İHA'ların batarya ve diğer ekipmanlarını depolamak için kullanmışlardır. Önerdikleri algoritma ile optimal şekilde teslimatları yapabilmek için minimum kaç tane İHA ihtiyaç olacağını hesaplamaktadırlar.

Sundar and Rathinam [20], tek bir İHA'nın yakıt ikmali yaparken birden fazla depo kullanabildiği ve bu İHA'nın tüm müşterileri ziyaret ederken tüketeceği yakıt miktarını en aza indiren bir yönlendirme problemi ile uğraşmışlardır. San ve arkadaşları [21], paketleri müşterilere teslim ederken birden fazla İHA'dan efektif bir şekilde yararlanabilmek için kullanılacak algoritmalar üzerinde çalışmışlardır. Burada Genetik Algoritmalar (GA) kullanılmış olup, Şekil 2'den de görüleceği üzere dikey ve yatay olmak üzere 2 farklı uygunluk fonksiyonu ile optimal çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Yatay fonksiyonda İHA'ların yük paylaşımı yani birden fazla İHA kullanmak ve yükleri paylaşmak teslimat sürelerini kısaltmıştır. Tablo 2'de önerilen genetik algoritma hesaplamaları sonucunda, 34 paket taşıma için sonuçlar verilmiştir. Dikey ve dikey + yatay fonksiyonlara bakıldığında, dikey + yatay fonksiyonların beraber ele alınması teslimat süresini ciddi derecede düşürmüştür. Ancak kullanılan İHA süresi ve tüm İHA'ların toplam uçuş süresinde artışlar meydana gelmiştir.

Dikey Uygunluk

Sipariş	Sipariş	Sipariş	Sipariş
Konum	Konum	Konum	Konum
Kargo Paketi	Kargo Paketi	Kargo Paketi	Kargo Paketi
İHA	İHA	İHA	İHA

Yatay Uygunluk

Şekil 2. GA'da kullanılan Dikey ve Yatay uygunluk Fonksiyonların Gösterimi.

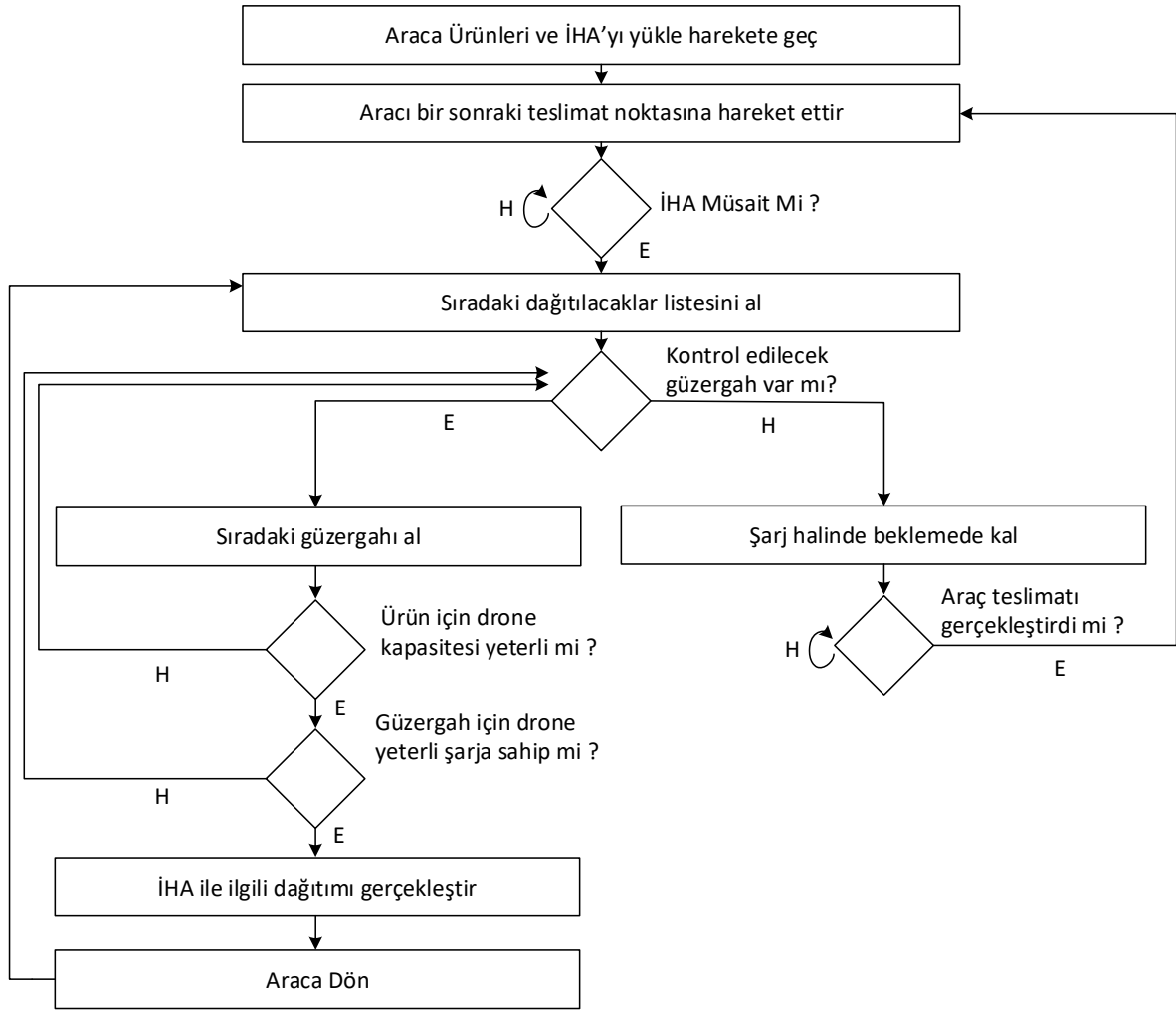
Tablo 2. 34 Teslimatın Yapıldığı Sonuçlar.

	Dikey	Dikey + Yatay
Toplam Görev Sayısı	34	34
Teslimat Süresi (dk.)	193.5	131.13
Toplam uçuş süresi (dk.)	387.63	471.14
Kullanılan İHA sayısı	2	4

Bu çalışmada İHA ve aracın işbirliği içinde olduğu durumda karşılaşılabilecek problemler incelenmiştir. İHA'nın enerji tüketimi, taşıdığı paketin ağırlığı, gideceği mesafe analiz edilmiş; hem aracın hem de İHA'nın rotaları önerilen algoritmalar ışığında çizilmiştir.

2. Önerilen Yöntem

Bu çalışmada İHA ve aracın iş birliği içinde, İHA'nın hafif paketleri, aracın ise daha ağır paketleri taşıyarak teslimatlarını tamamlamaları için birleşik bir yönlendirme rotası çıkarmak hedeflenmiştir. Bir aracın, bir İHA aldığı ve tüm paketlerin araca yüklendikten sonra depodan hareket edildiği varsayılmıştır. Ayrıca İHA'nın her seferinde tek bir müşteriye teslimat yapacağı varsayılmıştır. Yani İHA her seferinde tek bir paket taşıyacaktır. Amaç öncelikle en yakın komşuluk algoritması ile aracın rotasının çıkarılması, ardından bu ana rota üzerinden hareketle hangi müşterilere İHA'nın hizmet edebileceğini belirlemektir [22-24]. Araç İHA'yı sadece müşterideyken uçurabilir ve alabilir. Bu nedenle İHA bataryasının, İHA'nın aracın bir sonraki müşteri yakalaması için yeterli olup olmayacağı önemlidir ve dikkate alınmalıdır. İHA kontrolünün sağlanması ile ilgili akış diyagramı Şekil 3'te verilmiştir. Akış diyagramına göre araç teslimat noktasına ulaştığında İHA en yakın konumdan başlamak üzere gidebileceği yerleri inceleyecektir. İHA'nın taşıyabileceği yük kapasitesi taşınacak kargodan fazla ise, yani İHA kargoyu taşımaya elverişli ise sahip olduğu şarj miktarının işlem için yeterli olup olmadığına bakılacaktır. Yapılan incelemeler sonunda tahmini varış süreleri de hesaba katılarak İHA rotası çizilecektir. Tahmini İHA rotasının gidildikten sonra minimum 30% şarjı kaldığı hesaplanan İHA için yükleme ve gönderme işlemi başlatılacaktır.



Şekil 3. Araç-İHA işbirliğinin sağlanması için önerilen akış diyagramı.

Genel akış diyagramı Şekil 3'te verilen sistem için uygun rotaların hesaplanması işlemi gerçekleştirilecektir. Aracın rotası için optimum yol hesaplandıktan sonra uygun İHA rotası için çizilmektedir. Ardından maksimum tasarruf elde edecek şekilde İHA'nın rotası çizilmektedir.

2.1. Araç Rotasının Bulunması

Aracın depodan başlayarak, tüm müşterileri kapsayacak şekilde bir rota izlemesi için en yakın komşuluk algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmaya göre depodan sonra gidilecek bir sonraki müşteri, ona en yakın koordinatlarda yer alan müşteridir. Bu şekilde rota tüm müşterileri kapsayacak şekilde genişletilir. Algoritmanın basit bir tanımı aşağıdaki şekilde yapılabilir.

- 1- Başlangıç_düğümü =Depo_düğümü
- 2- Başlangıç_düğümü =mevcut_düğüm
- 3- Rota = rota \cup mevcut_düğüm
- 4- En_yakın_komsuluk(mevcut_düğüm) \rightarrow sonraki_düğüm
- 5- Sonraki_düğüm = \emptyset ise sonlandır, değilse sonraki_düğüm \rightarrow mevcut_düğüm
- 6- Adım 3'e dön.

Burada en yakın komşuluk fonksiyonu koordinatları verilen 2 nokta arası Öklid uzaklığını hesaplar.

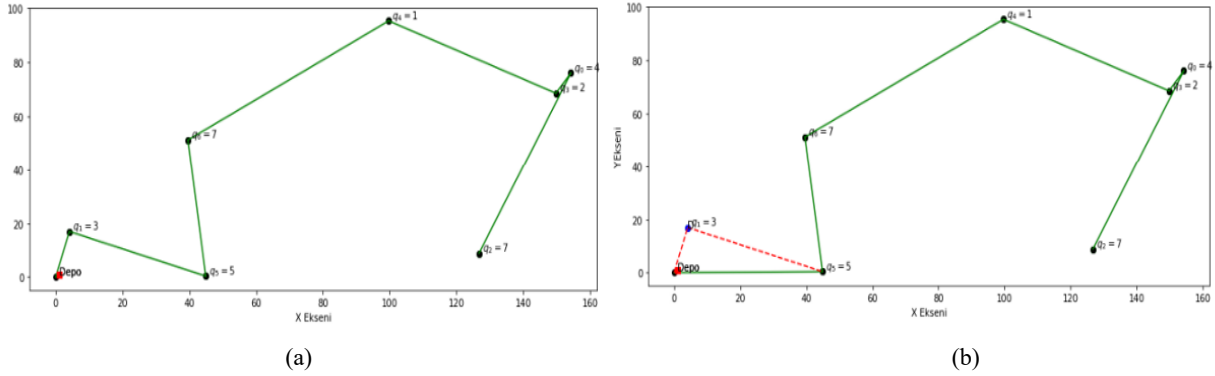
2.2. İHA Rotasının Bulunması

İHA'nın rotası ana rota üzerinde ilerlenerek tespit edilmektedir. Depodan başlayarak aracın gideceği bir sonraki müşterinin teslimatının İHA tarafından yapılıp yapılamayacağına bakılarak çizilmektedir. Bu kontrol işlemi aşağıdaki kısıtlamalar dikkate alınarak yapılmaktadır.

- Müşterinin paketi İHA tarafından taşınabilecek ağırlıkta olmalıdır
- İHA bu müşteriye teslimat yaptıktan sonra, araç ile buluşmak üzere gideceği müşteriye, araç daha önce varmalıdır. Bu kısıtlama İHA'nın güvenliği içindir.
- İHA'nın bataryası bu teslimatı yapmak için yeterli olmalıdır.
- Değişim sonucundaki toplam maliyet, bir önceki rota maliyetinden küçük olmalıdır.

Şekil 4 örneği ile açıklanacak olursa; (a)'da araç rotası görülmektedir. (b)'deki gibi q1'deki müşteriye İHA'nın servis yapılması için;

- q1 müşterisinin paketi İHA'nın taşıyacağı ağırlıkta olmalıdır.
- İHA (Depo → q1) (q1 → q5) rotasını tamamlamadan önce, araç (Depo → q5) rotasını tamamlamalıdır.
- İHA'nın (Depo → q1) (q1 → q5) için harcadığı güç, toplam batarya gücünün 30%'undan fazla olmamalıdır.
- İHA'nın ve aracın değişen düğümler arası maliyet toplamları, önceki durumdan küçük olmalıdır.
 $Maliyet_{Kamyon}(Depo \rightarrow q5) + Maliyet_{İHA}(Depo \rightarrow q1 \rightarrow q5) < Maliyet_{Kamyon}(Depo \rightarrow q1 \rightarrow q5)$



Şekil 4. Bir Araç Rotasının İHA ile Değiştirilmesi (a) Araç rotası, (b) 1 paketin İHA ile dağıtılması.

İHA'nın müşteriye servis verebilmesi için gerekli kontroller arasında ağırlık, süre ve batarya durumları yer almaktadır. Bunun dışındaki şartlar optimizasyon için eklenebilecek şartlardır. Hizmetin İHA tarafından sunulabilmesi şartını değerlendiren sözde kod Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. İHA'nın Müşteriye Servis Verebilme Şartı Kontrolünü Sağlayan Sözde Kod.

	Parametreler: konum, hedef1, hedef2, İHABatarya, müşteriPaketAğırlığı
	Çıkış Değeri: Uçuş
	Sabitler : İHABirimMaliyet, İHAMaxBatarya, İHAKapasitesi
1	Başla
2	T İHA = TahminiİHASüresiHesapla(konum, hedef1, hedef2)
3	T Araç = TahminiAraçSüresiHesapla(konum, hedef2)
4	tahminiBataryaKullanımı = T İHA * İHABirimMaliyet
5	Uçuş = false;
6	İf (İHABatarya – tahminiBataryaKullanımı >= (30/100)*İHAMaxBatarya && İHAKapasitesi >= müşteriPaketAğırlığı && T İHA >= T Araç)
7	Uçuş = true;
8	Endif
9	Bitir

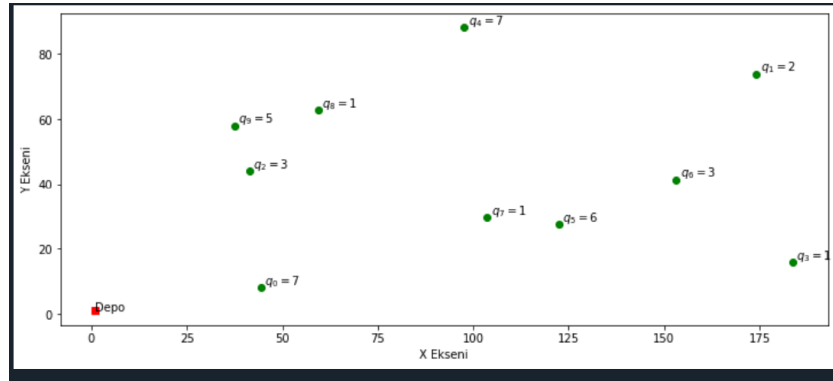
3. Simülasyon Sonuçları

İHA ve aracın beraber teslimat yapacağı yönlendirme problemi için geliştirilen simülasyonda Python programlama dili ve Spyder geliştirme ortamı kullanılmıştır. Hazırlanan simülasyonda müşteri sayısı isteğe bağlı olarak değiştirilmektedir. Müşterilerin koordinatları rastgele olarak x eksenini için 200, y eksenini için 100 olarak belirlenmiştir. Her müşterinin paket ağırlığı 1-8 birim arasında rastgele olarak atanmıştır. Her bir müşteri ağırlık, koordinat ve teslimatın hangi araç tarafından yapılacağına dair bir düğüme atanarak işlem görmektedir. İHA ve aracın sabit bilgileri ve müşteri bilgisi Tablo 4'teki gibi tanımlanmıştır. Aracın maliyeti İHA'nın 25 misli kadar olduğundan simülasyon başlangıç değerlerinde bu şekilde belirtilmiştir [17].

Tablo 4. Simülasyon Başlangıç Değerleri.

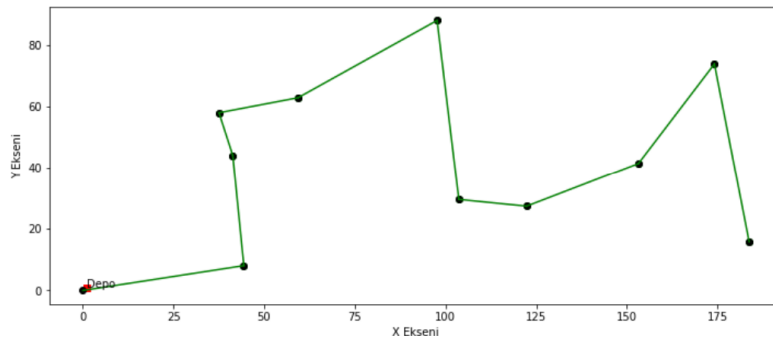
Taşınabilecek Azami Yük	3
İHA hızı	1
Araç hızı	2.5
Birim zaman İHA maliyeti	1
Birim zaman araç maliyeti	25
İHA batarya durumu	100

Araç ve İHA paketlerin teslimatına koordinatı (0,0) olarak belirlenen bir depodan başlayacaktır. Bu hazırlıklar ile birlikte müşterilerin ve depoların koordinat düzlemindeki gösterimleri 10 müşteri için Şekil 5'te gösterilmiştir. Her bir q değeri müşterileri ve müşterilerin teslim edilecek paket ağırlıklarını temsil etmektedir.



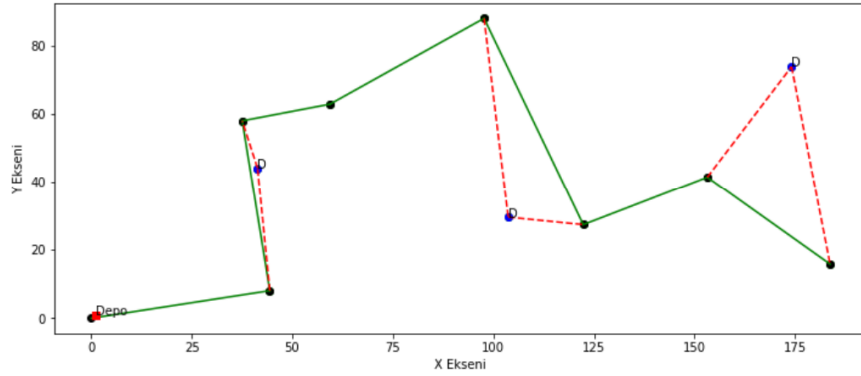
Şekil 5. 10 Müşterili Bir Düzlem.

Aracın rotasını belirlemek için başlangıç noktası olarak depo koordinatları, bitiş noktası olarak da rastgele üretilen son müşteri koordinatı kullanılmıştır. Rotanın tüm müşterileri kapsamaya şartıyla en yakın komşuluk algoritması kullanılmıştır. Bu fonksiyon sonrası oluşturulan araç rotası Şekil 6'da gösterilmiştir.



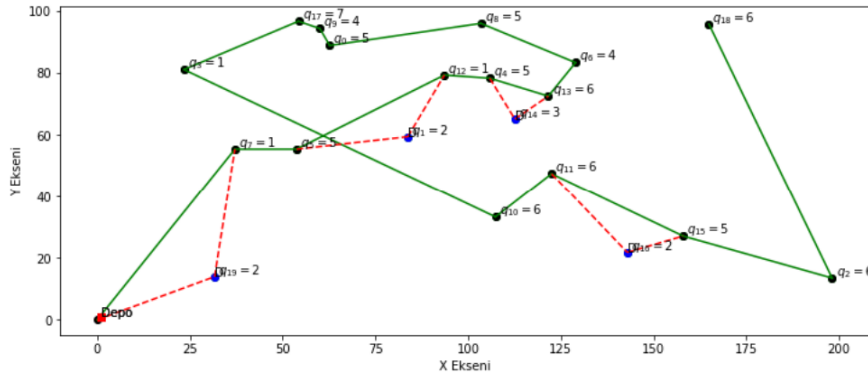
Şekil 6. Aracın 10 Müşteri için Teslimat Yaptığı Ana Rota.

Şekil 5'teki müşterilerin tamamını kapsayacak şekilde aracın ana rotası en yakın komşuluk algoritması ile çizilmiş ve Şekil 6'da ana rota gösterilmiştir. Bu ana rota üzerinden İHA'nın rotasını çizebilmek için yazılan fonksiyona ana rota girişi olarak verilir ve bir hibrit rota üretilir. İHA'nın bir sonraki müşteriye teslimatı gerçekleştirip gerçekleştirilemeyeceğinin kontrolü Tablo 3'te belirtilen sözde koddaki gibi gerçekleştirilir. İHA'nın teslimat yapıp yapmayacağı müşterinin paket ağırlığına, uçulacak mesafeye ve dolayısıyla İHA'nın bataryasının uçuş için yeterli olup olmadığına ve aracın buluşma noktasına İHA'dan önce gidip gidemeyeceğine bakılarak karar verilmiştir. İHA ile müşteriye gitmenin maliyeti daha düşük ise bu müşterinin teslimat şekli İHA olarak değiştirilmiştir. İHA'nın ana rotayı takip ederek hangi müşterilere teslimat yapacağı bu şekilde hesaplanmaktadır. İHA ve aracın birlikte gerçekleştirdikleri hibrit rota örneği Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekilde kesikli çizgi İHA'nın, düz çizgi ise aracın rotasıdır.



Şekil 7. İHA ve Aracın Beraber Teslimat Yaptığı Rota.

Çalışmada gerçekleştirilen simülasyon için müşteri sayısı, ağırlıklar ve koordinatlar değiştirilerek farklı sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 8'de koordinat ve paket ağırlıkları rastgele üretilen 20 müşteri için hibrit bir rota bulunmuştur. İlgili senaryoya ait bilgiler Tablo 5 ile verilmiştir.

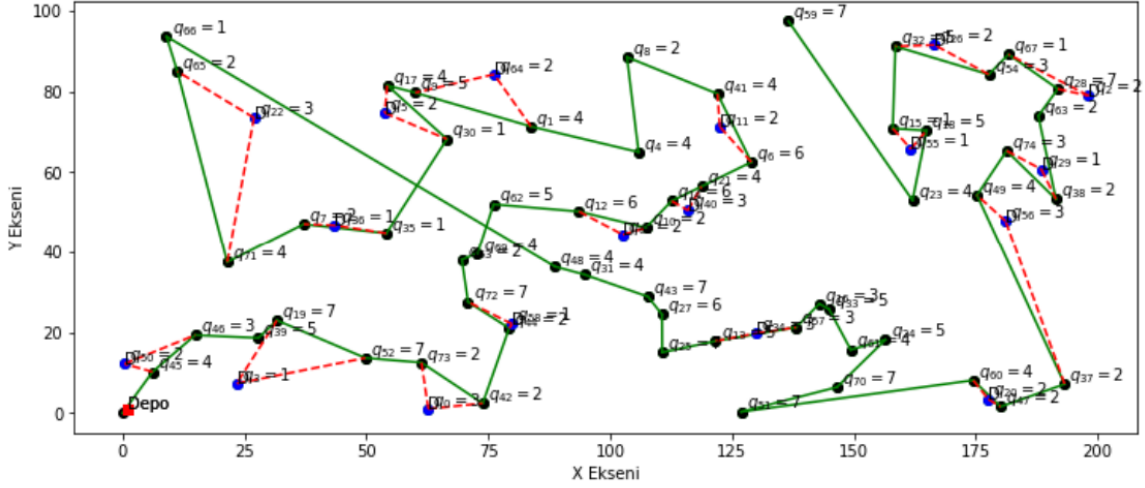


Şekil 8. 20 Müşterili Bir Teslimat İçin İHA Araç Hibrit Rotası.

Tablo 5. Şekil 8'deki Rotanın Analiz Sonuçları.

Müşteri Adedi	20
İHA taşıma kapasitesi	3
İHA Full Şarjlı Uçuş Süresi	100
Müşteri Paket Ağırlıkları	5, 2, 6, 1, 5, 5, 4, 1, 5, 4, 6, 6, 1, 6, 3, 5, 2, 7, 6, 2
Ana Araç Rotası Yaklaşık Toplam Mesafe	611
Araç + İHA Rotası Yaklaşık Toplam Mesafe	781
Ana Araç Rotası Yaklaşık Toplam Maliyet	15.277
Araç + İHA Rotası Yaklaşık Toplam Maliyet	14.651
Yaklaşık Maliyet Tasarrufu	4%

Tablo 5'teki sonuçlara göre sadece aracın teslimat yaptığı bir rotaya göre hibrit bir rota %4 tasarruf sağlamıştır. Şekil 9'da 75 müşteri için hibrit bir rota önerisinde bulunulmuştur. Tablo 6'da ise bu rotanın sonuçları analiz edilmiştir. Tablo 5'teki sonuçlardan, sadece aracın teslimat yaptığı rotaya göre üretilen hibrit rotanın yaklaşık %6.2 kadar maliyetten tasarruf sağladığı görülmektedir.



Şekil 9. 75 Müşterili Bir Teslimat İçin Araç-İHA Hibrit Rotası.

Tablo 6. Şekil 9.'daki Rotanın Analiz Sonuçları.

Müşteri Adedi	75
İHA taşıma kapasitesi	3
İHA Full Şarjlı Uçuş Süresi	100
Müşteri Paket Ağırlıkları	3, 4, 2, 1, 4, 2, 6, 2, 2, 5, 2, 2, 6, 5, 6, 1, 3, 4, 5, 7, 2, 4, 3, 4, 5, 7, 2, 6, 7, 1, 1, 4, 5, 5, 3, 1, 1, 2, 2, 5, 3, 4, 2, 7, 2, 4, 3, 2, 4, 4, 2, 7, 7, 2, 3, 1, 3, 3, 1, 7, 4, 4, 5, 2, 2, 2, 1, 1, 2, 4, 7, 4, 7, 2, 3
Ana Araç Rotası Yaklaşık Toplam Mesafe	1.087
Araç + İHA Rotası Yaklaşık Toplam Mesafe	1.427
Ana Araç Rotası Yaklaşık Toplam Maliyet	27.184
Araç + İHA Rotası Yaklaşık Toplam Maliyet	25.488
Yaklaşık Maliyet Tasarrufu	6.24%

5. Sonuçlar

Günümüzde sanayileşme ile seri üretim hızı oldukça yüksektir. Yerel olarak satışların yanında, üreticiler dünya geneline açılmayı hedeflemektedir. İnternet kullanımının yaygınlaşması ve elektronik ticarete olan güvenin de artmasıyla birlikte, tüketiciler ürünlerini farklı şehirlerden ve hatta farklı ülkelerden sipariş verebilmektedir. Siparişlerin teslim edilmesi işlemi kargo firmaları aracılığıyla gerçekleştirildiğinden dolayı, kargo şirketleri için yoğunluğa sebep olmaktadır. Öyle ki müşterinin bulunduğu şehirdeki dağıtım merkezine ulaşan kargolar, günlerce dağıtıma çıkmayı bekleyebilmektedir. Bu tarz yoğunluklar genellikle internet alışverişlerinin fazla olduğu indirim kampanyaları sürecinde oluşmaktadır. Kampanya süreleri dışında yoğunluğun nispeten daha düşük olduğu bir gerçektir. Kargo araçlarının ve çalışan personelin sayısını artırmak, dağıtımın az olduğu zamanlar için kargo firmalarına maliyet getirecektir. Diğer taraftan geleneksel yöntemlerle yapılan dağıtımlar kara yolu üzerinden gerçekleştiğinden, yolun engebeli olmasından veya trafiğin sıkışık olmasından olumsuz etkilenmektedir. Bu durum gün içerisinde dağıtılacak kargo miktarını düşürmekle birlikte kargo firmaları için ekstra maliyetlere yol açmaktadır. Sayılan dezavantajları gidermek adına dağıtım İHA kullanılması oldukça pratik bir çözüm sunmaktadır. Ancak günümüzde İHA'ların sahip oldukları kısıtlı taşıma kapasiteleri ve batarya süreleri bütün

kargoların İHA aracılığıyla yapılmasının önünde engel teşkil etmektedir. Dağıtımın tamamen İHA aracılığıyla gerçekleştirilmesinin mümkün olmadığı bu dönemde, araç-İHA işbirliği ile geleneksel yöntemlerle yapılan dağıtımların maliyetini nispeten düşürmek hedeflenmektedir. Bu çalışmada, teslimat hız ve kalitesini artırmak, geleneksel yöntemlere göre maliyetleri düşürmek için İHA ve araç iş birliği incelenmiştir. Araç-İHA işbirliği ile gerçekleştirilen dağıtımlarda hangi kargonun hangi araçla gerçekleştirileceğini belirlemek önemli bir konudur. Gerçekleştirilen çalışmada her iki aracın da artılarını kullanabilecek şekilde bir hibrit rota önerilmektedir. Hibrit rotanın belirlenmesi sürecinde öncelikle en yakın komşuluk algoritmasına göre araç güzergahı çizilmektedir. Ardından sahip oldukları kısıtlamalar göz önüne alınarak araç bir dağıtım gerçekleştirirken, diğer dağıtımın İHA aracılığıyla yapılıp yapılamayacağı incelenmiştir. İHA dağıtımını gerçekleştirmek için gerekli şartlar sağlanmışsa, yani kargonun ağırlığı ve İHA'nın şarjı dağıtım için uygun ise bu durumda dağıtımın İHA ile yapılmasının maliyet açısından kazanç sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. İHA ile gerçekleştirilen dağıtımlar daha kısa yoldan ve daha ucuz bir şekilde gerçekleştiğinden genellikle daha uygun olmaktadır. Dağıtım gerçekleştirilen İHA'nın aracı bir sonraki dağıtım noktasında yakalaması önemlidir. Tüm bu hususlar dikkate alınarak çalışma kapsamında bir simülasyon hazırlanmıştır. Hazırlanan simülasyonda rastgele konumlarda oluşturulan 10, 20 ve 75 müşteri için rastgele ağırlıkta kargolar atanmıştır. Yapılan simülasyonlarda, araç ve İHA'nın kargoyu teslim etmesi için alması gereken yol iki nokta arasındaki mesafe olarak ayarlanmıştır. Çeşitli müşteri sayıları ve rastgele koordinatlar ile yapılan simülasyonlarda toplam maliyetin % 4 ile 6.24 arasında azaldığı görülmektedir. Bu kazanç karşılık toplam kat edilen yolda bir artış olduğu göze çarpmaktadır. Ancak gerçek problemlerde aynı dağıtımın gerçekleşmesi için aracın alması gereken yol İHA'nın alması gerekenden daha fazla olacağından kat edilen yolun beklenenden yüksek çıktığı görülmektedir. Diğer taraftan yapılan simülasyonlarla problem boyutunun artması ile elde edilen kazancın arttığı görülmektedir. Ayrıca müşteri konumlarının yöntemin sağladığı kazanç üzerinde doğrudan etkisi olduğu açık bir şekilde görülmektedir.

Bu çalışmada tek araç ve tek İHA içeren bir araç-İHA işbirliği problemi için, rotayı optimize ederek dağıtımın daha az maliyetli bir şekilde gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Gelecek çalışmalarda birden fazla araç ve İHA içeren araç-İHA işbirliği problemi için optimizasyonların gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Dertwinkel-Kalt M, Köster M. Attention to Online Sales: The Role of Brand Image Concerns, 2020; s. 87.
- [2] Yetis, H, Karakose M. A New Smart Cargo Cabinet Application for Unmanned Delivery in Smart Cities, International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), Malatya, Turkey, Eyl. 2018, ss. 1-5. doi: 10.1109/IDAP.2018.8620938.
- [3] Handayani S, Arda M. Effect Of Discount And Hedonic Shopping Motives Against Buying Impulse", 2019; 1(1). s. 9.
- [4] Conrad J. Costs and Challenges of Log Truck Transportation in Georgia, USA, Forests, c. 9, sy 10, s. 650, Eki. 2018, doi: 10.3390/f9100650.
- [5] Arnott R, Small K. The Economics of Traffic Congestion, s. 11, 2021.
- [6] Frachtenberg E. Practical Drone Delivery, Computer, c. 52, sy 12, ss. 53-57, Ara. 2019, doi: 10.1109/MC.2019.2942290.
- [7] Ha QM, Deville Y, Pham, QD, Hà MH. On the min-cost Traveling Salesman Problem with Drone, Transp. Res. Part C Emerg. Technol., c. 86, ss. 597-621, Oca. 2018, doi: 10.1016/j.trc.2017.11.015.
- [8] Dorling K, Heinrichs J, Messier GG, Magierowski S. Vehicle Routing Problems for Drone Delivery, IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Syst., c. 47, sy 1, ss. 70-85, Oca. 2017, doi: 10.1109/TSMC.2016.2582745.
- [9] Boysen N, Briskorn D, Fedtke S, Schwerdfeger S. Drone delivery from trucks: Drone scheduling for given truck routes. Networks, c. 72, sy 4, ss. 506-527, Ara. 2018, doi: 10.1002/net.21847.
- [10] Chang YS, Lee HJ. Optimal delivery routing with wider drone-delivery areas along a shorter truck-route, Expert Syst. Appl., c. 104, ss. 307-317, Ağu. 2018, doi: 10.1016/j.eswa.2018.03.032.
- [11] Das DN, Sewani R, Wang J, Tiwari MK. Synchronized Truck and Drone Routing in Package Delivery Logistics, IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., ss. 1-11, 2020, doi: 10.1109/TITS.2020.2992549.
- [12] Murray CC, Chu AG. The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery. Transp. Res. Part C Emerg. Technol., c. 54, ss. 86-109, May. 2015, doi: 10.1016/j.trc.2015.03.005.
- [13] Patrik A. GNSS-based navigation systems of autonomous drone for delivering items, s. 14, 2019.
- [14] Aydin I, Karakose M, Karakose E. A navigation and reservation based smart parking platform using genetic optimization for smart cities, 5th International Istanbul Smart Grid and Cities Congress and Fair (ICSG), Istanbul, Turkey, Nis. 2017, ss. 120-124. doi: 10.1109/SGCF.2017.7947615.
- [15] Yaman O, Karakose E, Karakose M. PSO Based Traffic Optimization Approach for Railway Networks. International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), Malatya, Turkey, Eyl. 2018, ss. 1-4. doi: 10.1109/IDAP.2018.8620891.

- [16] Yetis H, Karakose M. Optimization of Mass Customization Process using Quantum-inspired Evolutionary Algorithm in Industry 4.0. IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE), Vienna, Austria, Eki. 2020, ss. 1-5. doi: 10.1109/ISSE49799.2020.9272247.
- [17] Liu Y, Liu Z, Shi J, Wu G, Pedrycz W. Two-Echelon Routing Problem for Parcel Delivery by Cooperated Truck and Drone. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Syst., ss. 1-16, 2020, doi: 10.1109/TSMC.2020.2968839.
- [18] Ham AM. Integrated scheduling of m-truck, m-drone, and m-depot constrained by time-window, drop-pickup, and m-visit using constraint programming, Transp. Res. Part C Emerg. Technol., c. 91, ss. 1-14, Haz. 2018, doi: 10.1016/j.trc.2018.03.025.
- [19] Kim S, Moon I. Traveling Salesman Problem With a Drone Station. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Syst., c. 49, sy 1, ss. 42-52, Oca. 2019, doi: 10.1109/TSMC.2018.2867496.
- [20] Sundar K, Rathinam S. Algorithms for Routing an Unmanned Aerial Vehicle in the Presence of Refueling Depots. IEEE Trans. Autom. Sci. Eng., c. 11, sy 1, ss. 287-294, Oca. 2014, doi: 10.1109/TASE.2013.2279544.
- [21] San KT, Lee EY, Chang YS. The delivery assignment solution for swarms of UAVs dealing with multi-dimensional chromosome representation of genetic algorithm. IEEE 7th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON), New York City, NY, USA, Eki. 2016, ss. 1-7. doi: 10.1109/UEMCON.2016.7777839.
- [22] Bhatia N, Author C. Survey of Nearest Neighbor Techniques. c. 8, sy 2, s. 4, 2010.
- [23] Biau G, Devroye L. Lectures on the Nearest Neighbor Method. Cham: Springer International Publishing, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-25388-6.
- [24] Hoffmann M, Noé F. Generating valid Euclidean distance matrices. ArXiv191003131 Cs Stat, Kas. 2019, Erişim: Şub. 11, 2021. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://arxiv.org/abs/1910.03131>

Dekapod Kurustaselerde Üremeyi Düzenleyen Bazı Eksternal ve İnternal Faktörler

Enes VANLI¹, Ayşe Gül HARLIOĞLU^{2*}

^{1,2} Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, Su Ürünleri Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

¹ enesvanli@hotmail.com, ² aharlioglu@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 16/02/2021;

Kabul/Accepted: 14/05/2021)

Öz: Dekapod (on ayaklı) krustase (kabuklular) olarak bilinen karides, istakoz ve yengeçlerin bazı türleri ekonomik önem taşıyan su canlıları arasındadır. İnsanların protein ihtiyacına olan artış bu canlıların doğadan avlanılan miktarlarının tüketim ihtiyacını karşılayamamasına ve genel olarak lüks bir gıda maddesi olarak tüketilmelerine neden olmaktadır. Bu nedenle, özellikle son yıllarda dekapod krustaselerin üretim ve yetiştiricilik çalışmalarında önemli artışlar yaşanmıştır. Dekapodların üretimlerinin artırılması çalışmalarında üreme sistemlerinin bilinmesi ve bu sistemi etkileyen faktörlerin araştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, krustaselerde üremenin düzenlenmesinde etkili olan eksternal ve internal faktörler, krustaselerin üremelerinde hormonların ve nörotransmitterlerin rolü konularındaki bilgiler derlenilmiştir. Krustaselerde üremenin düzenlenmesinde etkili olan eksternal faktörlerin başında; su sıcaklığı, fotoperiyot, beslenme, tuzluluk gibi faktörlerin geldiği, diğer taraftan internal faktörler arasında ise, genel olarak gonad gelişimi üzerinde nöroendokrin ve nöroendokrin olmayan salgıların etkili olduğu görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Dekapod, nörotransmitter, hormon, nöroendokrin, üreme.

Some External and Internal Factors Regulating Reproduction in Decapod Crustaceans

Abstract: Some species of shrimp, lobster and crabs known as decapod (ten feet) crustace are among the economically important aquatic organisms. The increase in peoples protein needs leads to the inadequate consumption of these organisms caught from the nature and the consumption of them as a luxury food in general. Therefore, there has been a significant increase in the reproduction and rearing of decapod crustaceans, especially in recent years. It is of great importance to know the reproductive systems and to investigate the factors affecting this system in the studies to increase the production of decapods. In this study, informations on the external and internal factors that are effective in the regulation of growth in crustaceans, and the role of hormones and neurotransmitters in the reproduction of crustaceans were reviewed. The most important external factors in growth regulations in crustaceans are water temperature, photoperiod, feeding, salinity on the other hand, among internal factors, neuroendocrine and non-neuroendocrine secretions appear to be effective on gonadal growth in crustaceans.

Key words: Decapod, neurotransmitters, hormones, neuroendocrine, reproduction.

1. Giriş

Su ürünleri yetiştiriciliğinde verimi artırmaya yönelik çalışmalar önem kazanmaktadır. Teknolojik gelişmelerdeki artışa paralel olarak kontrol altında kültürü yapılan akuatik türlerin sayısı hızla artmaktadır. Akauakültürde farklı balık türlerinin üretiminin yanısıra son yıllarda kabuklu canlıların (karides, yengeç ve istakoz) değerli bir besin kaynağı olmaları nedeniyle kültürleri de önem kazanmıştır. Ancak akuakültürde en büyük sorunlar arasında üretimde yeterli ve kaliteli yumurta ve sperma elde edilememesi bulunmaktadır. Sürdürülebilir bir su ürünleri üretiminin ön şartlarından biri üreme aşamalarının kontrol altında olması ve kaliteli gamet elde edilmesidir. Bu nedenle, balık üreme fizyolojisi ile birlikte, son yıllarda kabuklu su canlılarının üreme fizyolojilerine yönelik çalışmalar da artmaktadır [1, 2, 3, 4, 5]. Kabuklularda üreme fizyolojisi karmaşık bir yapıya sahiptir. Üremenin düzenlenmesinde etkili olan çevresel faktörlerin yanı sıra, peptidler, steroidler, terpenoidler ve biyojenik aminler gibi biyolojik bileşimler üremenin düzenlenmesinde rol oynayan önemli faktörlerdir [3].

Bu derlemede, dekapod krustaselerde üreme sistemi üzerinde etkili olan su sıcaklığı, fotoperiyot, beslenme, tuzluluk gibi eksternal faktörlerle birlikte gonad gelişimi üzerinde etkili olan bazı nöroendokrin ve nöroendokrin olmayan salgılar gibi internal faktörler konusunda yapılan çalışmaların araştırılması amaçlanmıştır.

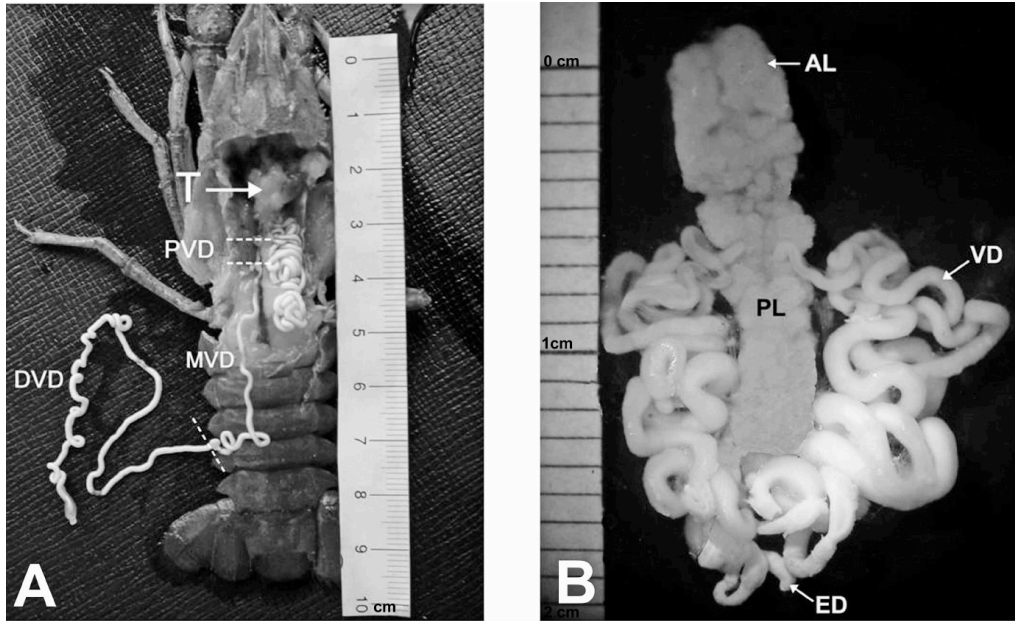
* Sorumlu yazar: aharlioglu@firat.edu.tr ¹ 0000-0001-9537-0310, ² 0000-0001-9478-6419

2. Dekapod Krustaselerde Üreme Sistemi

Dekapod krustaselerde üreme sisteminin cinsler arasında farklılıklar gösterdiği ve cinsiyetlerin ayrı olduğu bilinmektedir. İlk pleopodlar (bazen 2. pleopodlar) erkeklerde dişilerden daha geniştir. Ancak, birçok malakostraca kabuklularda (örneğin, isopodlar, amfipodlar, dekapodlar) cinsiyetin belirlenmesi kuluçka öncesi veya süresince belirlenmemektedir. Androjenik gland hormonu kabuklularda cinsiyet farklılığını düzenlemektedir. Anrojenik bezlerin gelişmesiyle erkek kabuklularda androjenik gland hormonu salgılanmakta ve erkek cinsiyetine ait karakteristikler görülmektedir. Diğer taraftan, dişilerde anrojenik bezler gelişmemekte dişi üreme organları oluşmaktadır [6]. Dolayısıyla, erkek ve dişiler kolaylıkla ayırt edilebilmektedir.

Örneğin karideslerde; genital açıklıklar (gonoforlar), erkeklerde 5. çift pereopodların, dişilerde ise 3. çift pereopodların koksa parçasının içyüzeyine açılırlar. Erkek üreme sistemi internal olarak bir çift testis, vas deferans ve bir çift terminal ampul eksternal olarak bir petesma ve bir çift appendiks maskulinadan oluşur. Petesma, 1. pleopodların her iki endopodların birleşmesiyle oluşan ve spermilerin paketlendiği, spermatoforların dişi bireylere transferinde kullanılan tübüler şekilli bir organdır. Dişi üreme sistemi internal olarak bir çift ovaryum ve bir çift ovidukt, eksternal olarak bir telikumdan oluşur. Bir çift olan gonadlar dorsal bölgede vücudun baş kısmından kuyruk ucuna kadar uzanır. Karideslerde erkeklerdeki spermatoforların dişilere aktarıldığı yer olan telikum 5. çift yürüme bacakları arasında bulunur [7].

Tatlı su ıstakozlarında ise erkeklerde, 1. ve 2. pleopodlar gonopod olarak adlandırılır ve spermatoforların dişi kerevitlerin seminal reseptakulum denilen kısma transferini sağlar. Dişilerde yumurta kanalları 3. çift pereopodların, erkeklerde ise vas deferensler 5. çift pereopodların koksasına açılır [7]. Erkeklerde üreme sisteminde üç loptan oluşan testis ve vas deferens bulunmaktadır [8] (Şekil 1). Dişilerde üreme sisteminde üç loptan oluşan ovaryum ve ovidukt yer almaktadır (Şekil 2) [9].

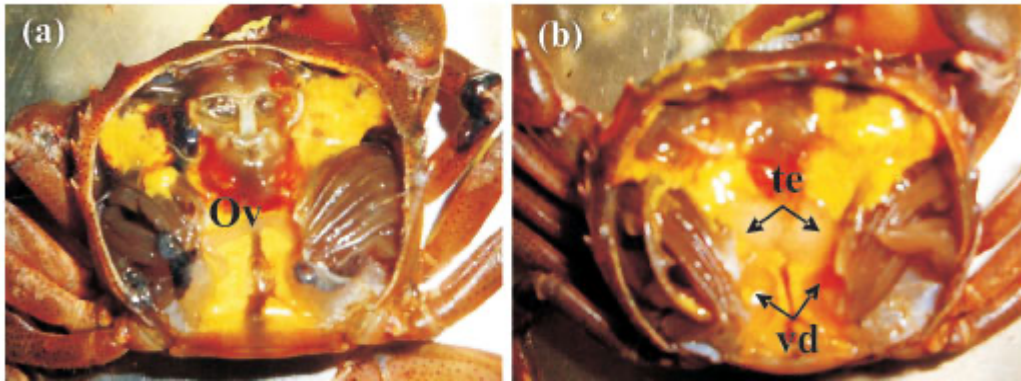


Şekil 1. Erkek *A. leptodactylus*'un üreme sistemi. A, üç loplu testis (T), proksimal vas deferens (PVD), medial vas deferens (MVD) ve distal vas deferens (DVD). B, testis ve vas deferens, üç loptan oluşan testiste iki anterior lop (AL), bir orta posterior lop (PL), vas deferens (VD), boşaltım kanalı (ED) [8].



Şekil 2. Dişi *A. leptodactylus*'un üreme sistemi. A, üç loptan oluşan ovaryumda iki anterior lop (AL), bir posterior lop (PL). B, ovaryumda anterior lop (AL) ve ovidukt (OVD) [9].

Gonadların olgunluğunun belirlenmesinde ise ovaryumun rengi ve gonad indeksi başlıca kullanılan metotlardır. Örneğin tatlısu yengeçlerinde *Oziotelphusa senex senex*, olgunlaşmayan ovaryum ve previtellogenik ovaryumlar küçük ve opak beyaz renktedir. Birinci dönem vitellogenesisin başlangıcında açık sarı, 2. dönemde turuncu, 3. dönem olan üreme döneminin başlangıcında ise kahverengiden koyu kahverengiye değişen renk alır [10]. Testis ve vas deferenslerde olgun olmayan dönemde şeffaf renkte olup olgun dönemde beyaz renk alır. Yengeçlerde (*Sylviocarcinus pictus*) üreme sisteminin dorsal görünümü, dişilerde ovaryum, erkeklerde testis ve vas deferens Şekil 3'de görülmektedir [11].



Şekil 3. Yengeçlerde (*Sylviocarcinus pictus*), (a) dişilerde ovaryum (Ov), (b) erkeklerde testis (te) ve vas deferens (vd)'in dorsal görünümü [11].

Ayrıca ovaryum büyüklüğünde de oosit artışı ve yumurta sarısı depolanması nedeniyle artış olur. Diğer taraftan son yıllarda hemolif ve ovarian vitellogenin seviyesi de ovaryum olgunluğunun bir indeksi olarak belirlenmektedir [10].

3. Krustaselerde Üremenin Düzenlenmesi

Krustaselerde üremenin düzenlenmesi hem eksternal hemde internal faktörlerin etkisindedir.

3.1 Eksternal Faktörler

Üreme aktivitesi, su sıcaklığı, fotoperiyot, beslenme, tuzluluk gibi faktörler tarafından etkilenmektedir [12, 13]. Örneğin yapılan araştırmalarda fotoperiyotun ovaryumun büyüme ve gelişme zamanının düzenlenmesinde etkili olduğu görülmüştür. Kerevitlerde *Orconectes virilis* türünde yapılan çalışma sonucunda ışık süresinin artırılmasına bağlı olarak ovaryumun olgunlaşma sürecinin hızlandığı, diğer taraftan tatlı su yengeçleri üzerinde yapılan bir çalışmada da *Oziotelphusa senex* türünde ışığın azalması ile ovaryum gelişiminin teşvik edildiği belirlenmiştir [14]. Ayrıca sıcaklığın da ovaryum gelişimi ve yumurtaların kuluçka dönemleri üzerinde etkili olduğu birçok krustasede belirlenmiştir. *Pseudodiaptomus dubia*'larda su sıcaklığının maksimum 30 °C'ye artması ile total fekundite ve üreme sıklığının arttığı belirlenmiştir. Oosit gelişimi yumurta da protein ve yağların sentezlenmesi için beslenme de üreme üzerinde etkili olan önemli bir faktördür [15].

3.2 İnternal Faktörler

Gonadların üzerinde etkili olan faktörler genel olarak nöroendokrin ve nöroendokrin olmayan salgılardır. Kabuklularda nöroendokrin ve nöroendokrin olmayan hormonların etkilediği dokular ve fizyolojik etkileri, Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kabuklularda nöroendokrin ve nöroendokrin olmayan hormonların etkilediği dokular ve fizyolojik etkileri [3].

Hormon	Üretim yeri	Hedef organ	Fizyolojik etki
Krustasean hiperglisemik hormon	Göz sapında bulunan X-organ sinüs bezleri	Birçok organ	Glikoz seviyesi, üremenin ve büyümenin düzenlenmesi
Gonad (vitellogenik)ları inhibe eden hormon	Göz sapında bulunan X-organ sinüs bezleri	Gonadlar ve hepatopankreas	Gonad olgunluğunu inhibe eder
Kabuk değişimini inhibe eden hormon	Göz sapında bulunan X-organ sinüs bezleri	Y- organ	Büyümeyi inhibe eder Vitellogenезisi sitimüle eder
Gonad sitimüle eden faktör	Beyin, torakik ganglia	Gonadlar ve hepatopankreas	Gonad gelişimini sitimüle eder
Nörotransmitterler:5HT (Serotonin), DA (Dopamin) ve Oktopamin	Göz sapı X-organ sinüs bezi, beyin, torakik ganglia	Gonadlar, hepatopankreas, Beyin, torakik ganglia vb.	Gonad gelişimi, büyüme ve metabolizmayı etkiler
Metil farnesoat	Mandibular organ	Gonadlar, hepatopankreas, Y-organ, Beyin, torakik ganglia vb.	Gonad gelişimi ve ekydisteroid gelişimini sitimüle eder
Farnesoik asit	Mandibular organ	Gonadlar, hepatopankreas	Gonad gelişimini sitimüle eder
Ekydisteroid	Y- organ	Göz sapı, Gonadlar, hepatopankreas	Büyüme ve gonad gelişimini sitimüle eder

Opioid peptidler	Göz sapı	Beyin, torakik ganglia, ovaryum ve hepatopankreas	Kabuk değişimini sitümüle edebilir Gonad olgunluğunu inhibe edebilir veya sitümüle edebilir
Prostaglandinler	-	X-organ sinüs bezi, Beyin, torakik ganglia ve hepatopankreas	Kabuk değişimini sitümüle edebilir Gonad olgunluğunu inhibe edebilir veya sitümüle edebilir
Folikül sitümüle eden hormon, lutein hormon ve human korionik gonodotropin	-	Ovaryum	Ovaryum olgunluğunu sitümüle eder
Estrojen, progesteron	-	Hemolenf ve ovaryum	Ovaryumu sitümüle edebilir
Androjenik hormon	Androjenik hormon	Testis, hepatopankreas, Beyin, torakik ganglia	Testiste spermatogenezis, sekonder erkek özellikleri, eril özellikleri

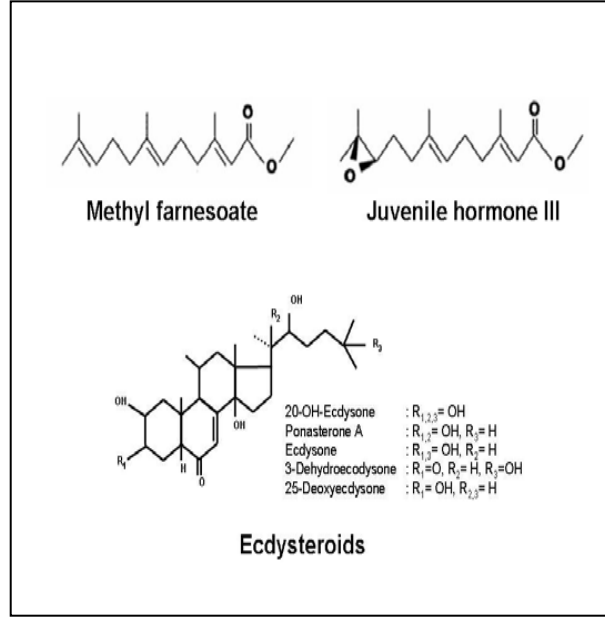
4. Dekapod Krustaselerin Üremelerinde Hormonların Rolü

Üremede hormonal kontrol birçok krustase türünde örneğin kerevit, karides, yengeç, ıstakozlarda araştırılmaktadır [3]. Nöroendokrin organlarda bazı hormonlar gonadların olgunlaşmasında esansiyel öneme sahiptir [16]. Krustaselerde gonadların olgunlaşması iki antagonistik nöropeptid hormon tarafından düzenlenmektedir. Genel olarak gonad inhibe eden hormon olarak tanımlanan bu hormon dişilerde vitellogenesisini inhibe eden hormon olarak tanımlanmaktadır. Bu hormon göz sapında bulunan X-organ-sinus bezlerinden salgılanmaktadır [17]. İkinci hormon ise gonadları sitümüle eden hormondur. Beyin ve torakik ganglion tarafından üretilmektedir. Ovaryum olgunlaşmasının düzenlenmesinde bu iki hormon arasında önemli bir bağlantı olduğu belirlenmiştir. Gonadları inhibe eden hormon ve stimüle eden hormonların sentezi ve salgılanmasının biyojenik aminler tarafından düzenlendiği bildirilmektedir [18].

Diğer taraftan krustasean hyperglysemik hormon üzerinde yapılan araştırmalar bu hormonun hem kabuk değiştirme hem de üreme üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Kabuk değişimini inhibe eden hormonun seviyesinin nöropeptid mRNA transkripti ile ilişkili olduğu göz sapında gonad olgunlaşmasının ilk fazında (previtellogenik) azaldığı, olgunlaşmanın sonuna (vitellogenik III. dönem) doğru arttığı belirlenmiştir. Zmora ve ark. [] tarafından yapılan çalışmada da krustasean hyperglysemik hormonun mavi yengeçte (*Callinectes sapidus*) dişilerde erken ovarian dönemlerinde vitellogenesisini stimüle ettiği belirlenmiştir.

Krustaselerde kabuk değişimini inhibe eden hormonun endokrin düzenini sağladığı, kabuk değişimi ve üremenin kordinasyonunda önemli rol aldığı ve kabuk değişimini inhibe ederken aynı zamanda ovaryumun olgunlaşmasını da uyardığı belirlenmiştir. Bunlarla birlikte, üremede mandibular organ tarafından salgılanan metil farnesoat ve Y-organ tarafından salgılanan ekidysteroidlerde üremeyi düzenleyici önemli faktörlerdendir [12] (Şekil 4).

Dekapod Kurustaselerde Üremeyi Düzenleyen Bazı Eksternal ve İnternal Faktörler

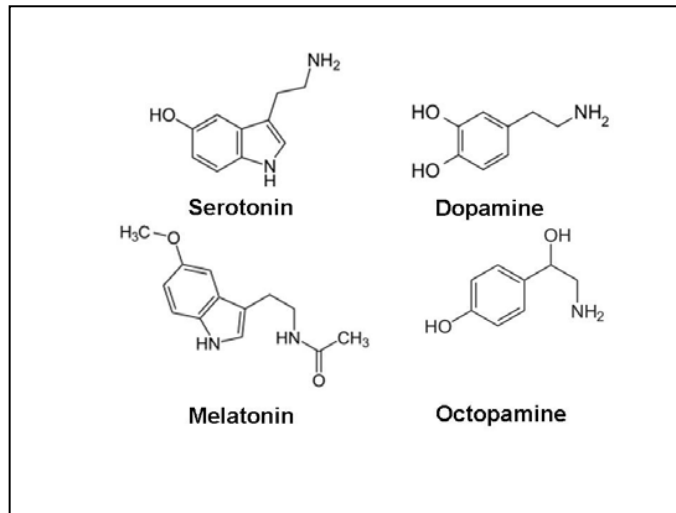


Şekil 4. Metil farnesoat, juvenil hormonu III ve ekidyosteroidlerin yapısı [12].

5. Nörotransmitterlerin Üremedeki Rolü

Nörotransmitterler karides, ıstakoz, kerevit, yengeç gibi dekapod türlerinin büyümesini, fizyolojisini ve üremesini kontrol eder. Nöronlar arasındaki iletişimden sorumludurlar. Aynı zamanda kimyasal muhabir olarak da kabul edilen nörotransmitterler, nörotransmisyon sağlayan endojen kimyasallardır. Nörotransmitterlerin sayısı tam olarak tanımlanmamasına rağmen, 100'den fazla kimyasal haberci tanımlanmıştır [20, 21].

Nörotransmitterler dekapodlarda fizyolojik aktivitenin içindedir. Hem nöroregulator olarak hem de nörohormon olarak görev yaparlar. Krustaselerde nörohormonların üremede önemli rolü vardır ve nörotransmitterlerin nörohormonun oluşumunu ve serbest bırakılmasını sağlarlar [12]. Nörotransmitterlerin ovaryumu stimüle eden hormonların salınımını sağladığı belirlenmiştir. Krustaselerde en önemli nörotransmitterler serotonin, dopamin, melatonin ve oktopamindir [12, 22]. Kimyasal yapıları Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Serotonin, dopamin, melatonin ve oktopamin'in yapısı [12].

Bir nörotransmitter olan 5- hidroksitriptamin (5-HT), serotonin olarakta adlandırılmakta krustaselerin merkezi sinir sisteminde bulunmaktadır. Serotonin göz sapında üretilerek salgılanmaktadır. Beyin ve torasik ganglion gonadları stimüle eden hormonun salınımını teşvik etmektedir [12].

Dekapod krustaselerde serotonin ve dopamin gibi nörotransmitterlerin ovaryumun olgunlaşmasını da kapsayan farklı görevleri bulunmaktadır. Dopamin krustaselerde merkezi sinir sisteminde de mevcuttur. Bazı krustaselerde göz sapında belirlenmiştir. Hemolenfte de bulunmaktadır. Dopamin enjekte edilen dişi *Procambarus clarkii*'lerde dopamin enjekte edilmesiyle ovaryumun olgunlaşmasının engellendiği belirlenmiştir [12].

Yengeçlerde melatonin (N-acetyl-5-methoxy tryptamine)'in üreme fizyolojisi üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Yengeçler üzerinde melatonin enjeksiyonunun dişi *O. senex*'lerde ovaryumun olgunlaşmasını uyardığı belirlenmiştir [23]. Bir nörotransmitter olarak görev yapmaktadır. Ayrıca hem pigment konsantrasyon hormonu hem de distal retinal pigment karanlık-adaptasyon hormonunun sitimülasyonundan sorumludur. Yapılan araştırmalarda Krustaselerde nörotransmitterlerin üremedeki önemini belirlenmesi için birkaç krustase türünde araştırmalar yapılmıştır. Örneğin *H. americanus*'larda biyojenik aminlerden 5- hidroksitriptamin ve oktopamin'in çiftleşmede önemli rolü olduğu belirlenmiştir [24]. Ayrıca *Procambarus clarkii* ve *M. rosenbergi* türlerinde HPLC ile merkezi sinir sistemi ve ovaryumda 5- hidroksitriptamin belirlenmiştir [20, 24, 25].

Tinikul ve ark. [21] tarafından *M. rosenbergii* üzerinde 5- hidroksitriptamin ve spiperon uygulanması ile ovaryumun olgunlaşmasının, embriyonik gelişmenin, ovaryum indeksinin ve yumurta çapının artmasının uyarıldığı bildirilmektedir. Rodriguez ve ark. [26] tarafından *P. clarkii*'de vitellogeniz öncesi enjekte edilen spiperon ile gonadosomatik indeksin arttığı belirlenmiştir. Erkek krustaselerde de 5- hidroksitriptamin'in üremede dişilerde olduğu gibi pozitif etki gösterdiği bildirilmektedir [27].

6. Krustaselerde Üremede Etkili Olan Diğer Hormonlar

Farklı krustase türlerinde üremede böceklerdeki yavru hormonunun yapısal bir homoloğu olan metil farnesoat ve ayrıca ekydsteroidler ve omurgalılardaki gibi 17 β -östradiol gibi steroidler ve progesteron önemli görev yapar.

Bazı krustaselerde metil farnesoatın ovaryumun olgunlaşmasında, testislerdeki gelişimde teşvik edici rolü olduğu bildirilmektedir [28]. Örneğin, Alnawafleh ve ark. [29] tarafından yapılan araştırmada metil farnesoatın *Litopenaeus vannamei* karideslerinde büyüme ve ovaryum olgunlaşmasını artırdığı belirlenmiştir. *Oziotelphusa senex* yengeçlerinde metil farnesoat enjeksiyonunun bireysel testiküler foliküller büyüklüğü artırdığı belirlenmiştir [30].

Bazı krustaselerin vertebra tipi üreme hormonlarını progesteron, 17 β -östradiol veya testesteron gibi hormonları üreme organı olan veya olmayan organlarda örneğin mandibular organ, böbrek, hepatopankreas, hemolenf, ovaryum ve testislerde sentezleyebildikleri bildirilmektedir [13, 31].

Dekapodlarda ekydsteroidler hem kabuk değişimi hem de vitellogenizinin düzenlenmesi, ovaryumun olgunlaşması ve protein sentezinde görev yapar [32]. Kabuklularada ekydsteroidlerin dişilerin üreme fizyolojisinde düzenleyici olarak önemli bir rol aldığı belirlenmiştir [33].

Hansen ve ark. [34] tarafından yapılan araştırmada dişi *Calanus finmarchicus*'larda ekydsteroid konsantrasyonunun büyük yumurta keselerinde yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumun yumurtaların olgunlaşmasında ve üremede ekydsteroidlerin görevi olduğunu gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, ekydsteroidlerin *Macrobrachium rosenbergi* türünde testislerde DNA sentezini artırdığı belirlenmiştir [35].

Fairs ve ark. [36] tarafından *Penaes monodon* üzerinde vitellogeniz süresince steroid değişimi araştırılmıştır. Vitellojenik evrelerde yüksek östrojenler bulunmuş vitellogenizin stimüle edilmesinde önemli rolü olabileceği belirlenmiştir.

Progesteron (17 α -hidroksiprogesteron, 20 α -hidroksiprogesteron ve 6 β -hidroksiprogesteron) ve estradiol (17 β -östradiol, östron ve testosteron) omurgalı tipi steroidlerdir. Hemolenfte vitellogenin seviyeleri arasında pozitif ilişki ve hem progesteron hem de 17 β -östrodiolün dolaşım seviyeleri *Penaes monodon* karidesleri, Quinitio ve ark. [37] tarafından, *Mictyris brevidactylus* yengeçleri ise Shih [38] tarafından gözlemlenmiştir. Ayrıca, dalgalanan estradiol ve progesteron düzeyleri ovaryum ve hemolenfte *Scylla serrata* yengeçlerinde farklı vitellogenin aşamalarında bildirilmiştir [39]. Diğer taraftan, ovaryum olgunlaşması ve hemolenfteki steroidlerin düzeyleri arasında olumsuz bir ilişki kuruma karidesi *Marsupenaes japonicus*'ta bulunmuştur [40]. Yengeçler üzerinde yapılan bir araştırmada ise *Oziotelphusa senex*'lerde 17 α -hidroksiprogesteron enjeksiyonunun ovaryum olgunlaşmasını teşvik ettiği bildirilmiştir [10].

Sonuç

Dekapod kurustaselerde üreme fonksiyonları hem eksternal hemde internal faktörlerin etkisi altındadır. Üreme üzerinde etkili olan beslenme, su sıcaklığı, fotoperiyot, tuzluluk gibi eksternal faktörler önemli olmakla birlikte internal faktörlerin (nöropeptidler, nörotransmitterler, opioidler, gonad uyarıcı hormonlar, metil farnesoat, ekydsteroidler ve omurgalı tipi steroidler gibi farklı biyolojik faktörler) yapısal ve fonksiyonel etkilerinin araştırılması ve uygulanması da üreme başarısını artıracaktır. Nöroendokrin ve nöroendokrin olmayan salgıların üremedeki etkilerinin belirlenmesi dekapodların kontrollü üretiminde fayda sağlayacaktır. Örneğin, biyojenik aminlerden 5- hidroksitriptamin (5-HT) dekapodlarda üreme sistemini stimüle ettiği belirlenmiştir. Diğer taraftan epinefrin gibi bazı biyojenik aminlerin ise etkileri tam olarak belirlenememiştir. Benzer şekilde kurustaselerin sinir sisteminde bulunan ve bir opioid olan methionin enkefalinin dişi yengeçlere enjekte edilmesiyle ovarian olgunlaşması yavaşlamıştır. Buna karşılık, opioid antagonist naloxon enjeksiyonu ovarian olgunlaşmasını sağlamıştır. Bir başka çalışmada ise, dopamin enjeksiyonu ile erkek ve dişilerde gonadların olgunlaşmasının engellediği belirlenmiştir. Red pigment konsantre hormonun da 5-HT gibi ovarian olgunlaşmasını stimüle ettiği belirlenmiştir. Kurustaselerde vertebra tipi steroidlerin de vitellogenезisi ve ovaryum olgunlaşmasını artırdığı ancak bu steroid hormonların fonksiyonları ile ilgili ayrıntılı çalışmaların yapılması gerektiği bildirilmektedir. Sonuç olarak, üreme üzerinde etkili olan, endokrin hormonların ve diğer faktörlerin fonksiyonlarının belirlenmesi amacıyla bu konudaki çalışmaların artırılması dekapod kurustase üretiminde verimi artırmaya yönelik çalışmalarda ekonomik ve biyolojik yönden önem taşımaktadır.

Kaynaklar

- [1] Mananos E, Carrillo M, Sorbera LS, Mylonas CC, Asturiano JF, Bayarri MJ, Zohar Y, Zanuy S. Luteinizing hormone and sexual steroid plasma levels after treatment of European sea bass with sustained-release delivery systems for gonadotropin-releasing hormone analogue. *J. Fish Biol.* 2002; 60: 328–339.
- [2] Kaminski R, Kuszniarz J, Myszkowski L, Wolnicki J. The first attempt to artificially reproduce the endangered cyprinid lake minnow *Eupallasella peremurus* (Pallas). *Aquacult. Int.* 2004; 12: 3–10.
- [3] Nagaraju GPC. Reproductive regulators in decapod crustaceans: an overview. *The Journal of Experimental Biology* 2011; 214:3-16.
- [4] Harlioğlu AG. Kültür balıklarında döl alımında hormon kullanımı. *Menba Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 2014; 3: 35-38.
- [5] Şahin E, Aksu Ö, Kutluyar F. Evaluation of reproductive parameters of males in wild freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus*). *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 2019; 12(1): 3-7.
- [6] Hasegawa Y, Hirose E, Katakura Y, 1993. Hormonal control of sexual differentiation and reproduction in Crustacea. *Am Zool* 2014; 33:403–411.
- [7] Kumlu M. Karides, İstakoz ve Midye Yetiştiriciliği. Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No: 6, s. 305, Adana- Türkiye, 2001.
- [8] Erkan M, Tunalı Y, Sancar-Bas S. Male reproductive system morphology and spermatophore formation in *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823) (Decapoda: Astacidae). *Journal of Crustacean Biology*, 2009; 29(1): 42–50.
- [9] Uniş Ç, Erkan MB. Morphology and development of the female reproductive system of *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823) (Decapoda, Astacidae). *Turk J Zool* 2012; 36(6): 775-784
- [10] Reddy PR, Reddy PS. Isolation of peptide hormones with pleiotropic activities in the freshwater crab, *Oziotelphusa senex senex*. *Aquaculture* 2006; 259:424-431.
- [11] Silva LS, Martinelli-Lemos JM, Ferreira MAP, Rocha RM. Gonadal development in the freshwater crab *Sylviocarcinus pictus* (H. Milne Edwards, 1853) (Brachyura: Trichodactylidae) from the Guama River, state of Para, Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* 2012, 84(3): 789-798.
- [12] Swetha CH, Sainath SB, Ramachandra Reddy P, Sreenivasula Reddy P. Reproductive Endocrinology of Female Crustaceans: Perspective and Prospective 2011; 3:1-13.
- [13] Aprajita, K, Pandey AK, Singh R, Chauhan UK. Reproductive Endocrinal Regulation in Decapod Crustaceans: A review. *J. Ecophysiol. Occup. Hlth.*, 2014; 14(1, 2):55–65.
- [14] Aiken DE. Ovarian maturation and egg laying in the crayfish *Orconectes virilis*: influence of temperature and photoperiod. *Can J Zool.* 1969; 47: 931-935.
- [15] Li C, Luo X, Huang X, Gu B. Influences of temperature on development and survival, reproduction and growth of a calanoid copepod (*Pseudodiaptomus dubia*). *Scientific World Journal*, 2009; 9: 866-879.
- [16] Raviv S, Parnes S, Sagi A. Coordination of reproduction and molt in decapods. In *Reproductive Biology of Crustaceans* (ed. E. Mente), Enfield, NH: Science Publishers, 2008.

- [17] Quackenbush LS. Vitellogenesis in the shrimp, *Penaeus vannamei*: in vitro studies of the isolated hepatopancreas and ovary. *Comp. Biochem. Phys. B* 1989; 94:253–261.
- [18] Fingerman M. Roles of neurotransmitters in regulating reproductive hormone release and gonadal maturation in decapod crustaceans. *Invert. Reprod. Dev.* 1997; 31: 47–54.
- [19] Zmora N, Trant J, Zohar Y, Chung J. Molt-inhibiting hormone stimulates vitellogenesis at advanced ovarian developmental stages in the female blue crab, *Callinectes sapidus*, an ovarian stage dependent involvement. *Saline Systems* 2009; 5(7):1-11.
- [20] Tinikul Y, Joffre Mercier, A, Soonklang N, Sobhon P. Changes in the levels of serotonin and dopamine in the central nervous system and ovary, and their possible roles in the ovarian development in the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 2008;158:250-258.
- [21] Tinikul Y, Soonthornsumrith B, Phoungpetchara I, Meeratana P, Poljaroen J, Duangsuwan P, Soonklang N, Mercier A, Sobhon P. Effects of serotonin, dopamine, octopamine, and spiperone on ovarian maturation and embryonic development in the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879). *Crustaceana* 2009; 82:1007-1022.
- [22] Richardson HG, Deccaraman M, Fingerman M. The effect of biogenic amines on ovarian development in fiddler crab, *Uca pugilator*. *Comp. Biochem. Physiol.* 1991; 99: 53–56.
- [23] Sainath SB, Reddy PS. Effect of selected biogenic amines (dopamine, serotonin and melatonin) on ovarian maturation in the fresh water edible crab, *Ozotyelphusa senex senex*. *Aquaculture* 2010; 313:144-148.
- [24] Beltz B. Crustacean neurohormones. In *Endocrinology of Selected Invertebrate Types 2* (ed. H. Laufer and R. G. H. Downer), Alan Liss, New York, 1988. pp:235-258.
- [25] Kulkarni G, Fingerman M. Quantitative analysis by reverse phase high performance liquid chromatography of 5-hydroxytryptamine in the central nervous system of the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*. *Biol. Bull.* 1992; 182:341.
- [26] Rodríguez E, Medesani D, Greco L, Fingerma, M. Effects of some steroids and other compounds on ovarian growth of the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, during early vitellogenesis. *J. Exp. Zool.* 2001; 292A, 82-87.
- [27] Sarojini R, Nagabhushanam R, Fingerman M. 5-Hydroxytryptaminergic control of testes development through the androgenic gland in the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*. *Invert. Reprod. Dev.* 1994; 26:127-132.
- [28] Nagaraju GPC, Borst DW. Methyl farnesoate couples environmental changes to testicular development in the crab *Carcinus maenas*. *The Journal of Experimental Biology* 2008; 211:2773-2778.
- [29] Alnawafleh T, Kim BK, Hye-Eun Kang HE, Tae-Ho Yoon TH, Kim HW. Stimulation of Molting and Ovarian Maturation by Methyl Farnesoate in the Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Fish Aquat Sci.* 2014; 17(1): 115-121.
- [30] Reddy PR, Nagaraju GPC, Reddy PS. Involvement of methyl farnesoate in the regulation of molting and reproduction in the freshwater crab *Ozotyelphusa senex senex*. *J Crust Biol.* 2004; 24:511-515.
- [31] Subramoniam T. Endocrine regulation of egg production in economically important crustaceans. *Current Sci.* 1999; 76:350–368.
- [32] Brown M, Sieglaff D, Rees H. Gonadal ecdysteroidogenesis in Arthropoda: occurrence and regulation. *Annu. Rev. Entomol.* 2009; 54:105-125.
- [33] Chang ES, Kaufman WR. Endocrinology of Crustacea and Chelicerata. In: *comprehensive moleküler Insect Science*, 3. L.I. Gilbert, K. Latrou and SS. Gill (eds) Elsevier B.V. Oxford, 2005. pp:805-842.
- [34] Hansen B, Altin D, Hessen K, Dahl U, Breitholtz M, Nordtug T, Olsen A. Expression of ecdysteroids and cytochrome P450 enzymes during lipid turnover and reproduction in *Calanus finmarchicus* (Crustacea: Copepoda). *Gen. Comp. Endocrinol.* 2008; 158:115-121.
- [35] Sagi A, Homola E, Laufer H. Methyl farnesoate in the prawn *Macrobrachium rosenbergii*: synthesis by the mandibular organ in vitro, and titers in the hemolymph. *Comp. Biochem. Physiol. B Biochem. Mol. Biol.* 1991; 99: 879-882.
- [36] Fairs N, Quinlan P, Goad L. Changes in ovarian unconjugated and conjugated steroid titers during vitellogenesis in *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 1990; 89:83-99.
- [37] Quiniti, E, Hara A, Yamauchi K, Nakao S. Changes in the steroid hormone and vitellogenin levels during the gametogenic cycle of the giant tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *Comp. Biochem. Physiol. C Pharmacol. Toxicol. Endocrinol.* 1994; 109:21-26.
- [38] Shih J. Sex steroid-like substances in the ovaries, hepatopancreases, and body fluid of female *Mictyris brevidactylus*. *Zool. Stud.* 1997; 36:136-145.
- [39] Warriar S, Tirumalai R, Subramoniam T. Occurrence of vertebrate steroids, estradiol 17 [beta] and progesterone in the reproducing females of the mud crab *Scylla serrata*. *Biochem. Physiol. A Physiol.* 2001; 130: 283-294.
- [40] Okumura T, Sakiyama K. Hemolymph levels of vertebrate-type steroid hormones in female kuruma prawn *Marsupenaeus japonicus* (Crustacea: Decapoda: Penaeidae) during natural reproductive cycle and induced ovarian development by eyestalk ablation. *Fish. Sci.* 2004; 70:372-380.

Bartın İl Özel İdaresi Mustafa Aydede Anaokulu Bahçesi Peyzaj Tasarım Projesi

Nurhan KOÇAN^{1*}, Asım Cenk ASLAN², Furkan ÖCAL³

^{1,2,3} Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Bartın Üniversitesi, Bartın, Türkiye

^{*1} nkocan@bartin.edu.tr, ² asimcenkaslan@gmail.com, ³ furkanocal.01@gmail.com

(Geliş/Received: 28/02/2021;

Kabul/Accepted: 02/05/2021)

Öz: Okul bahçeleri çocukların gelecekte fiziksel ve zihinsel olarak sağlıklı bir insan haline gelebilmeleri için; eğitim, oyun, spor, sosyal ve kültürel aktiviteler ile çeşitli kutlamalara katıldıkları en uygun ve etkili yerlerdir. Bu çalışmada Bartın İl Özel İdaresi Mustafa Aydede Anaokulu Bahçesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Okul bahçesi mevcut kullanımları korunarak yeniden düzenlenmiştir. Çalışmada yapısal ve bitkisel öğeleri içeren peyzaj tasarım projesi oluşturulmuştur. Projenin görselleştirilmesi ve sunumunda bilgisayar destekli programlardan Auto Cad 2021, SketchUp 2020, Pro 2020 ve Lumion 8.5 yazılımları kullanılmıştır. Çalışmada çocukların etkinliklere aktif olarak katılacağı, doğa ile iç içe olabileceği kullanımlar önerilmiştir. Önerilen proje okul yetkilileriyle paylaşılmış ve yetkililerin proje hakkındaki görüşleri alınmıştır. Proje; çocukların sosyal, fiziksel, duygusal ve psikolojik becerilerini geliştireceği yönünde onay görmüştür. Projenin başka okul bahçelerine örnek olacağı ve okul bahçelerinin düzenlenmesini teşvik edeceği öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: Anaokul, okul öncesi, okul bahçesi, oyun alanı, Bartın.

Landscape Design Project of Bartın Mustafa Aydede Pre School Garden

Abstract: School gardens for children to become physically and mentally healthy people in the future; they are the most suitable and effective places where they participate in education, games, sports, social and cultural activities and various celebrations. In this study, Bartın Mustafa Aydede Pre School Garden was chosen as the study area. The school garden has been reorganized by preserving its current uses. In the study, a landscape design project including structural and vegetative elements was created. Computer-aided programs such as Auto Cad 2021, SketchUp 2020, Pro 2020 and Lumion 8.5 software were used in the visualization and presentation of the project. In the study, usages have been suggested that children can actively participate in activities and can meet nature. The proposed project was shared with the school officials and their opinions about the project were received. Project is approved that children can develop their social, physical, emotional and psychological skills. It is foreseen that the project will set an example for other school gardens and will encourage the arrangement of school gardens.

Key words: Kindergarten, preschool, school garden, playground, Bartın.

1. Giriş

Okul öncesi eğitim “0-77 aylık çocukların beden ve zihinlerini desteklemeleri için çevresel olanaklar sağlayan, sosyal ve kültürel değerlerle orantılı temel eğitim bütünlüğü kapsamında yürütülen ilköğretime rehberlik eden ve hazırlanan eğitim süreci” olarak tanımlanmaktadır [1]. Okul öncesi eğitim kurumları, çocukların bilişsel, sosyal gelişimine olumlu katkıda bulunma, okulda ve yaşamda çocukların başarı düzeyini artırmak anlamında önemlidir [2]. Okul öncesi eğitim kurumlarında iyi tasarlanmış bir eğitim ortamı, çocukların etkili öğrenmesini destekleyebilir ve yaratıcı problem çözme becerilerini geliştirebilir [3].

Okul Öncesi Eğitim Kurumu Yönetmeliği, Madde 54’te “Okul öncesi eğitim kurumlarında eğitimin sağlıklı ve uygun bir ortamda gerçekleştirilebilmesi için amacına göre düzenlenmiş oyun parkı ve bahçesinin olması esastır. Düzenleme yaparken; trafik eğitim parkuru, kum havuzu, bahçe oyun ekipmanları ve çocukların bilimsel ve doğal araştırma yapmaları için yeterli alana dikkat edilmelidir” denilmiştir [4].

Okul öncesi eğitim kurumlarının dış mekânı ve donanımı çocukların büyümesi için çok önemlidir. Özellikle büyük şehir koşullarında büyüyen çocuklar için gerekli hareketliliğin sağlanamaması, okul öncesi eğitim kurumlarının bahçelerini daha önemli hale getirmektedir. Açık mekânda oyun; atlama, koşma, tırmanma, sallanma, macera, deneme, vb. alanlar çocukların temel oyun ve spor ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir [5]. Bu

* Sorumlu yazar: nkocan@bartin.edu.tr, Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-9433-7007, ² 0000-0002-9486-5333, ³ 0000-0001-9433-7010

nedenle okul öncesi eğitim kurumlarında çocukların koşabileceği, tırmanabileceği, zıplayabileceği ve risk alabileceği alanlar sağlanması önemlidir.

Çocuklar doğal ortamlarda somut deneyimler kazanırlar. Bu nedenle sadece oyun alanları değil, çocukların farklı deneyimler ve keşiflerle kendilerini mutlu ve özgür hissedebilecekleri alanlar oluşturulmalıdır. Toprak, çamur, kum, taş veya çim hem zevkli hem de öğretici maddelerdir [3, 6]. Okul öncesi çağındaki çocukların sınırsız malzeme kullanımı, onların en üst düzeyde yaratıcılık ve anlayışa ulaşmalarını sağlar [7]. Fiziksel alan ve malzemelerin kalitesi çocuklara farklı düzeylerde etkinliklere katılma fırsatları sağlar aynı zamanda yetişkinler ve çocuklar arasındaki iletişimin kalitesini de etkiler [8].

Çocuk oyun alanlarının tasarımı, çocukların ilgi ve beklentilerini dikkate almalı ve farklı yaşlardaki çocukları da dikkate alınarak planlanmalıdır [9]. Ayrıca bahçe düzenlemesi, esnek ve dinamik olmalı, yeni gereksinimler ortaya çıktıkça değiştirilebilmelidir [10].

Ereli'ye göre [11], bitkiler bahçenin kullanım alanlarında kısıtlayıcı bir rol oynayarak mekânı daha gizli hale getirmektedir. Bununla birlikte, bu bitkiler çocuklardan daha fazla boylanma yapmamalıdır. Aksi takdirde, bahçe çocuk üzerinde korkunç bir etki bırakarak olumsuz duygulara yol açabilir.

Bu araştırmanın amacı, Bartın İl Özel İdaresi Mustafa Aydede Anaokulu bahçesini, bahçenin mevcut durumunu koruyarak geliştirmek, çocuklara farklı etkinlik alanları oluşturmak, geri dönüştürülebilir malzemeler ve minimum bütçe ile alanın mekân kalitesine artı değer katmaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma alanı Bartın İli Merkez ilçesi, Gölbucağı mahallesinde bulunan İl Özel İdaresi Mustafa Aydede Anaokulunun bahçesini kapsamaktadır (Şekil 1, 2).



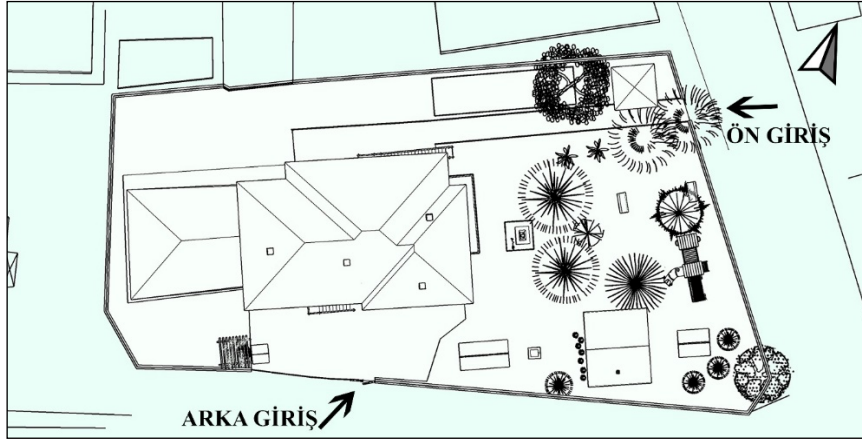
Şekil 1. Çalışma alanının Google Earth görünümü.



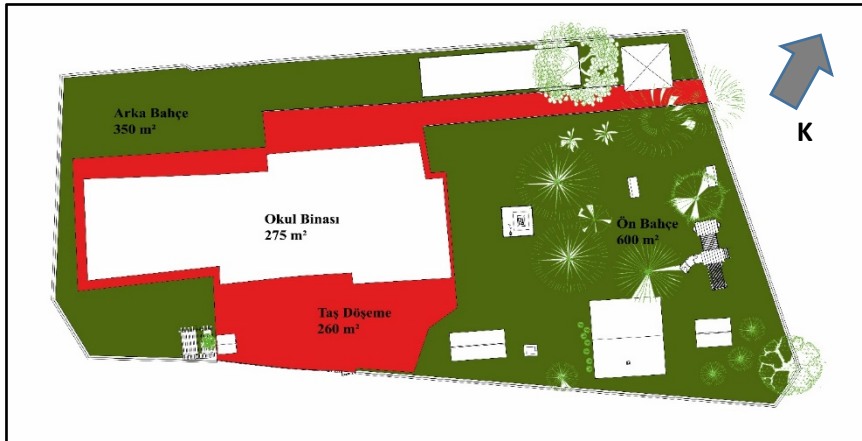


Şekil 2 (a,b,c,d). Çalışma alanından görünümeler.

Çalışmada Bartın İli 1/1000 ölçekli imar planı ve Google Earth görüntüleri proje altlığı olarak kullanılmıştır. Konu ile ilgili ulusal ve uluslararası literatürden yararlanılmıştır. Çalışma alanında yerinde gözlem ve ölçümler yapılmıştır. Mevcut alan kullanımları ve bitki yerleşimleri proje altlığı üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 3, 4).



Şekil 3. Proje alanı mevcut kullanımı plan görünümü.



Şekil 4. Proje alanı mevcut alan yüzölçümleri.



Şekil 5. Öneri peyzaj tasarım projesi plan görünümü.

Kurum yetkilileri ve öğretmenleriyle görüşülüp istek ve ihtiyaçlar belirlenmiştir. Mevcut alan kullanımları ile istek ve ihtiyaçlar doğrultusunda kullanım alanlarına karar verilmiştir. El çizimleriyle tasarımlar eskiz üzerinde yapılmış nihai kararlar Auto Cad 2021 programıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır. SketchUp 2020 Pro 2020 yazılımı ile 3 boyutlu olarak modellenmiş ve Lumion 8.5 yazılımı ile projenin 3 boyutlu görselleştirme çalışmaları tamamlanmıştır (Şekil 5).

3. Bulgular

Bartın İl Özel İdaresi Mustafa Aydede Anaokulunun iki adet girişi bulunmaktadır. Bu girişler veli ve öğretmenlerin kullandığı arka giriş ile öğrencilerin kullandığı ana caddeye bakan ön giriş olarak ayrılmaktadır. Proje içerisinde bulunan kullanım elemanlarını bağlayan aks kütük kesitleri ile oluşturulmuştur (Şekil 6).



Şekil 6. Ahşap kütük yer döşemesi perspektif görünümü.

Alanda bulunan üstü kapatılmış eski kuyu yeniden işlevlendirilip üzerinde X-O-X oyunu oynanan bir yapı elemanı eklenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Eski kuyu, X-O-X oyun alanından görünüm.

Alanda mevcut durumda yer alan kaydırak ve salıncağın bulunduğu yapı elemanının zeminine elastik yer döşemesi önerilmiştir. Böylece olası kazalardan çocukların korunması hedeflenmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Kaydırak ve salıncak oyun sahası perspektif görünümü.

Ön girişte sedir ağacının altına yarım daire şeklinde bir oturma alanı tasarlanmıştır (Şekil 9, 10).



Şekil 9. Ağaç kütüklerinden oluşturulmuş oturma alanı perspektif görünümü.



Şekil 10. Ağaç kütüklerinden oluşturulmuş oturma alanı perspektif görünümü.

Çocukların fiziksel gelişimleri için eski araba lastikleri boyanarak toprak zemine yerleştirilmiş ve oynayabilecekleri ve çeşitli yarışların yapılabileceği bir parkur oluşturulmuştur. Bu parkur çocukların fiziksel gelişimine yönelik etkinlikler için önem taşımaktadır. Zeminin çim olması olası kaza ve risklerden yaralanmaları önleyecektir (Şekil 11).



Şekil 11. Boyanmış araç lastikleri ile oluşturulmuş parkur perspektif görünümü.

İçleri toprak dolu PVC su boruları ile oluşturulan çiçek saksısı sisteminde çocukların her gün sulama işini gerçekleştireceği ve bu yolla bitkilerle etkileşimlerinin artacağı düşünülerek bir çiçek saksısı sistemi oluşturulmuştur. Kullanılan malzemelerle çocuklar geri dönüşüm ve malzemeyi yeniden kazanma konusunu öğrenmiş olacaklardır (Şekil 12).



Şekil 12. PVC borulardan yapılmış çiçek saksıları perspektif görünümü.

Eski ahşap kasalar boyanıp düzenlenerek vagonlarında çiçek saksıları bulunan bir tren oluşturulmuştur. Çiçekler yaz ve kış mevsimlerine uygun mevsimlik çiçeklerden oluşacaktır. Bitkilerin dikimi, sulanması aşamaları çocuklar için bir etkinlik olacak ve çocuklar doğayı yaşayarak tanıma fırsatı kazanacaklardır (Şekil 13).

Alandaki kum havuzu revize edilerek açılır-kapanır bir kapak eklenmiştir. Kum havuzunun kapağı açıldığında çocukların oturabilmesi için bank görevi görecektir. Ayrıca kum havuzunun bir yüzeyinde çocukların kum ile oynayabilecekleri oyuncakların bulunduğu ahşap bir yüzey düşülmüştür.

Avize (*Yucca* sp.) çiçeklerinin zeminleri daire şeklinde çocukların boyadığı taşlar ile çevrelenmiştir.

Okul bahçesinin genel perspektif görüntüleri ile sol yan görünümü Şekil 14 ve Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 13. Ahşap kasa-çiçek treni perspektif görünümü.



Şekil 14. Okul bahçesi genel perspektif sol yan görünümü.



Şekil 15. Okul bahçesi perspektif görünümü.

4. Tartışma ve Sonuç

Talay ve arkadaşlarının [12] yaptığı “Okul Öncesi Eğitim Kurumlarında Doğa Dostu ve Çocuk Katılımı Temelli Dış Mekân Tasarım Yaklaşımları Bir Proje Önerisi” adlı çalışmada; çocukların kendi karakterlerini şekillendirme sürecinde almaları gereken okul öncesi eğitim ortamının onların fiziksel, sosyal, duygusal ve bilişsel gelişimlerini desteklemek için gerekli olduğu vurgulanmıştır.

Turgut ve Yılmaz’ın [13] “Ekolojik Temelli Çocuk Oyun Alanları Oluşturulması” isimli çalışmalarında; oyunların çocukların psikomotor gelişimi ve becerileri kazanması için gerekliliği anlatılmıştır. Farklı oyun araçlarının farklı gelişim aşamalarında kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Önerilen ekolojik oyun alanı ayrıca çocukların nedensel ilişkiler kurma, doğayı tanıma ve sevme yeteneklerini ortaya çıkaracaktır.

White ve Stoecklin [14] “Çocukların Oyun ve Öğrenme Ortamı: Doğaya Dönüş” başlıklı çalışmalarında çocuklar için özel olarak tasarlanmış alanlarda çocukların çevre ile daha iyi iletişim kurduklarını ayrıca çocukların tasarlayabileceği açık alanların çocuklar üzerindeki olumlu etkisini vurgulamaktadırlar.

Çelik [15] “Okul Öncesi Eğitim Kurumlarında Açık Alan Kullanımı: Kocaeli İli” adlı çalışmasında okul öncesi eğitim kurumlarında açık alan kullanımını, kişi başına düşen alanı ve alanın donanım özellikleri üzerinde durmuştur.

Orçan Kaçan ve arkadaşlarının [16] “Okul Öncesi Eğitim Kurumları Bahçe Araştırması” adlı çalışmalarında, Ankara ve Muğla İllerinde görev yapan 56 okul öncesi öğretmenine anket uygulanarak, okul bahçeleri hakkında fikirleri alınmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, öğretmenlerin çalıştığı bu okulların yarısında bahçe yoktur. Bahçesi olan okullarda da çoğunlukla beton ve yabancı bitki varlığı tespit edilmiştir. Okul bahçelerinin verimli kullanılmamasının nedeni olarak yeterli bahçe alanının bulunmaması ve düzenleme için gerekli maliyetin sağlanmaması görülmüştür. Bu durum okul öncesi eğitimin kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Okul bahçesinde eğitim, sınıf yönetimi ve bahçecilik etkinlikleri öğretmenlerin açık havada yapmayı umdukları okul eğitiminin temaları arasındadır.

Karadağ ve arkadaşları [17] “Okul Bahçelerinin Oyun Alanı Olarak Değeri: Düzce Kenti Örneği” başlıklı çalışmalarını, Düzce ilindeki 29 ilköğretim ve ortaokulda gerçekleştirmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, her öğrenci başına 2,4 m² bir alan düşmekte ve bu miktar oldukça yetersiz kalmaktadır. Benzer şekilde genellikle okul bahçeleri genel olarak tören alanı, basketbol sahası ve oyun alanı olarak kullanılmakta ve bahçeleri beton veya parke taş zemin olup bitki varlığı bakımından yetersizdir. Araştırmanın sonuçlarına göre okul bahçelerinin nitelik ve nicelik olarak yetersiz olduğu görülmüştür.

Güleş [18] “Okul Öncesi Eğitimde Fiziksel Çevrenin Kalite Standartlarının Belirlenmesi” adlı çalışmasında, okul öncesi eğitim kurumlarının kalitesini ebeveynlerin, öğretmenlerin ve yöneticilerin görüşlerine göre belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmada her öğrenciye 6-7 m² bahçe alanı sağlanması, bahçenin farklı yaş gruplarının özelliklerine göre düzenlenmesi, bahçede düşme ve yaralanmalara karşı önlem alınması, bahçelerde doğal malzemeler ve yeşil alanların bulunması, hayvan besleme ve tarım alanları oluşturulmasının önemi vurgulanmıştır.

Çukur [19] “Okul öncesi Çocukluk Döneminde Sağlıklı Gelişimi Destekleyici Dış Mekân Tasarımı” başlıklı çalışmasında, peyzaj mimarlığı disiplininin okul bahçeleri tasarımında çocukların sağlıklı gelişimini desteklemek için gerekli koşulları oluşturabileceğini vurgulamıştır. Çalışmada okul bahçelerinin kum, havuz ve ahşap park oyuncakları ile donatılması, beton duvarlar yerine yeşil bitkiler ile sınırlandırmanın yapılması ve yumuşak zemin kaplamaları önerilmiştir.

Karaküçük [20] “Okul Öncesi Eğitim Kurumlarında Fiziksel/Mekânsal Koşulların İncelenmesi: Sivas İli Örneği” başlıklı çalışmasında, Sivas’ta yer alan 15 anaokulunun, okul bahçesi ve iç mekân düzenine yönelik araştırma standartlarından yola çıkarak gözlem yapmıştır. Çalışmanın sonuçları diğer birçok çalışmanın sonuçlarına paralel olarak, özellikle yeşil alan düzeni açısından okul bahçesindeki eksikleri vurgulamaktadır.

Anlı [21] “Okul Öncesi Eğitim Merkezleri: Bağdat Caddesi Alan Çalışması” adlı çalışmasında Bağdat caddesinde yer alan 15 anaokulunda 63 maddeden oluşan anket çalışması ile durum değerlendirmesi yapmıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre, çocuklar için en sevilen yer okul bahçesi olsa da en az eğitim organizasyonuna sahip alanın yine okul bahçesi olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmalardan çıkarılacak ortak sonuç; okul öncesi eğitim merkezlerinde bahçelerin çocukların fiziksel ve ruhsal gelişiminde önemli bir parça olduğu yönündedir. Bu çalışmada Bartın İl Özel İdaresi Mustafa Aydede Anaokulu Bahçesi yapısal (Tablo 1) ve bitkisel (Tablo 2) önerilerle bilimsel literatürü destekleyecek şekilde geliştirilmiştir. Öneriler minimum bir bütçe ile uygulanabilecek şekildedir. Özellikle bahçenin mevcut yeşil alanlarını koruyarak yapılan tasarım projesinde çocukların doğayı yaşayarak öğrenebileceği etkinlik alanları bahçeyi diğer eğitim kurumlarından ayrıcalık kılacak ve diğer eğitim kurumlarına da örnek olacaktır.

Tablo 1. Yapısal eleman ihtiyaç listesi

Donatı Adı	Adet	Kapladığı Alan	Yaklaşık Maliyet
Elastik Yer Döşeme	-	35.5 m ²	119 tl m ²
Kütük Yer Döşeme	-	21.5 m ²	100 tl m ²
Kırık Plak Taş Döşeme	-	10 m ²	120 tl m ²
X-O-X Oyun Elemanı	1	-	300 tl
Kum Havuzu Elemanları	1	-	Kullanılmış Ücretsiz
Ahşap Kasa	6	-	85 tl (tane başı)
75 Cm Su Borusu	-	15 m	36 tl (1 metresi)
75 -90 Cm Su Borusu Dirseği	12	-	10 tl (tane başı)
Dekoratif Taş	-	-	88 tl
Araba Lastiği	16	-	Kullanılmış Ücretsiz
Kalın Ağaç Kütüğü	4	3x300 cm, 1x75 cm	Kullanılmış Ücretsiz

Tablo 2. Bitkisel eleman ihtiyaç listesi

Bitkinin Türkçe Adı	Bitkinin Latince Adı	Adet	Yaklaşık Maliyet
Akşam Sefası	<i>Mirabilis jalapa</i>	10 kök	1.5 tl (kök)
Kadife çiçeği	<i>Tagetes patula</i>	10 kök	1.5 tl (kök)
Kasımpatı	<i>Chrysanthemum sp.</i>	5 kök	2 tl (kök)
Kedi tırnağı	<i>Portulaca grandiflora</i>	10 kök	1.5 tl (kök)
Lale	<i>Tulipa sp.</i>	20 kök	3 tl (kök)
Menekşe	<i>Viola sp.</i>	20 kök	3 tl (kök)
Portakal nergisi	<i>Narcissus sp.</i>	10 kök	3 tl (kök)
Süs lahanası	<i>Brassica oleracea</i>	10 kök	2.5 tl (kök)
Yıldız	<i>Dahlia sp.</i>	10 kök	2 tl (kök)

Kaynaklar

- [1] Turaşlı N. Okulöncesi Eğitime Giriş, Ankara: Anı Yayıncılık, 2007.
- [2] Lucci BK. Using the early Childhood Environmental Rating Scale as a Tool for Classroom Improvement. MSc Thesis Morgantown, West Virginia University, 2004.
- [3] MEB. Okul Öncesi Eğitim Programı. Ankara, MEB. Temel Eğitim Genel Müdürlüğü, 2013.
- [4] MEB. Mevzuat Bankası. Okul Öncesi Eğitim Kurumları Yönetmeliği. <http://mevzuat.meb.gov.tr/html/25486-html>. 2004.
- [5] Clements R. An Investigation of the Status of Outdoor Play, Contemporary Issues in Early Childhood, 2004, 5 (2), http://www.allianceforchildhood.org.uk/uploads/media/7_Clements_CIEC_5_1_web.pdf. Erişim tarihi:15.09.2019.
- [6] MEB. Okul Öncesi Eğitim ve İlköğretim Kurumları Yönetmeliği. Ankara, 2014.
- [7] Studer ML. Developing on Outdoor Classroom: Blending Classroom Curriculum & Outdoor Play Space. Teksas Child Care, 12-19, 1998.
- [8] Kıldan AO. Okul Öncesi Eğitim Ortamları. Kastamonu Eğitim Fakültesi Dergisi. 2007, (15) 2, 501-510.
- [9] Tekkaya E. Tasarlanmış Çocuk Hakları: Ankara Çocuk Oyun Alanları. Milli Eğitim Dergisi. Temmuz, Ağustos, Eylül: 151, 2001.
- [10] Kalemci F. Okulöncesi Eğitim Kurumlarının Çevre Düzenlemesi ve Çalışan Eğitimci Personelin Nitelikleri Yönünden İncelenmesi. Aydoğdu Ofset, Ankara, 1998.
- [11] Ereli E. Türkiye’deki İlköğretim Okul Bahçelerinde Peyzaj Planlama ve Tasarım İlkelerinin Saptanması. Ankara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2001.
- [12] Talay İ, Aslan F, Belkayalı N. Okul Öncesi Eğitim Kurumlarında Doğa Dostu ve Çocuk Katılımı Temelli Dış Mekân Tasarım Yaklaşımları Bir Proje Önerisi. Kastamonu Eğitim Dergisi, 2010, 18(1), 317-322.
- [13] Turgut H, Yılmaz S. Ekolojik Temelli Çocuk Oyun Alanlarının Oluşturulması. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010, Cilt: İv, 1618-1630.
- [14] White R. Stoecklin V. Children’s Play & Learning Environments: Returning to Nature. White Hutchinson Leisure & Learning Group, Kansas City, MO, USA, 2011.
- [15] Çelik A. Okul Öncesi Eğitim Kurumlarında Açık Alan Kullanımı: Kocaeli Örneği. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2012, 43(1), 79-88.
- [16] Orçan Kaçan M, Halmatov M, Kartaltepe O. Okul öncesi eğitim kurumları bahçelerinin incelenmesi. Erken Çocukluk Çalışmaları Dergisi. 2017, 1(1), 60-70.
- [17] Karadağ A, Mutlu S, Sayın G. Okul Bahçelerinin Oyun Alanı Olarak Değeri: Düzce Kenti Örneği. Ormancılık Dergisi, 2012, 8(2), 45-56.
- [18] Güleş F. Okul Öncesi Eğitimde Fiziksel Çevreye İlişkin Kalite Standartlarının Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi, Doktora Tezi, Konya, 2013.
- [19] Çukur D. Okulöncesi Çocukluk Döneminde Sağlıklı Gelişimi Destekleyici Dış Mekân Tasarımı. SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 2011, 12, 71-76.
- [20] Karaküçük Arslan S. Okul Öncesi Eğitim Kurumlarında Fiziksel/Mekânsal Koşulların İncelenmesi: Sivas İli Örneği. C.Ü. Sosyal Bilimler Dergisi, 2008, 32(2). 307-320.
- [21] Anlı A. Okulöncesi Eğitim Merkezleri: Bağdat Caddesi Alan Çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2005.

Endüstri 4.0 Tabanlı Üretim Sistemleri ve Kestirimci Bakım Yaklaşımlarında Dijital İkiz Uygulamalarının İncelenmesi

Özgür AYDIN^{1*}, Erhan AKIN²

¹ Enformatik Bölüm Başkanlığı, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye

² Bilgisayar Mühendisliği, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elazığ, Türkiye

*¹ iamozguraydin@gmail.com, ² eakintr@gmail.com

(Geliş/Received: 25/06/2021;

Kabul/Accepted: 17/08/2021)

Öz : Endüstri 4.0 konsepti ile birlikte devam eden dijitalleşme sürecindeki en yeni paradigmalardan biri Dijital İkiz teknolojidir. Dijital ikiz, fiziksel bir varlığın sanal bir temsili olarak tanımlanabilir. Dijital ikizler, bir sistemi gerçek zamanlı kontrol etme, izleme imkanları sunmasının yanı sıra çeşitli makine ve derin öğrenme yazılımları ile optimizasyon işlemlerine yardımcı olabilir ve sistemlerin gelecekle ilgili tahminlerde bulunabilir. İt teknolojisindeki gelişmelerin neticesinde cihazlardan elde edilen verilerden beslenen Dijital İkizler, özelleştirilmiş üretim sürecinden başlamak üzere endüstriyel süreçlerin birçok alanında kullanılmaya başlanmıştır. Bu makalede dijital ikiz teknolojisi ele alınmış olup, kestirimci bakım ve üretim süreçlerindeki ürün ve üretim optimizasyonları olmak üzere iki alana odaklanılmıştır. Çalışma, belirlenen bu iki odak noktadaki mevcut son gelişmeleri aktarmayı ve yeni başlayanlar için bir rehber sunmayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda literatürde yer alan ve 2015-2020 yılları arasında yayınlanan seksen sekiz çalışma sistematik olarak incelenmiş, analiz edilmiş ve sonuçları irdelenmiştir. Araştırma sonuçları bakımından dijital ikizlerin son iki yılda çok hızlı bir gelişme süreci içerisine girdiği gözlemlenmiştir. Özellikle zaman tasarrufu, bakım giderleri ve üretim maliyetlerinin azaltılması ve üretimdeki risklerin düşürülmesi, bunların yanı sıra üretkenliğin ve kalitenin artırılması gibi faydalarından dolayı endüstride hızlı bir ivme kazandığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Dijital İkiz, Kestirimci Bakım, Öngücü Bakım, Üretim Optimizasyonu, Siber-Fizik Sistemler

Examination Of Digital Twin Applications In Industry 4.0 Based Production Systems And Predictive Maintenance Approaches

Abstract : One of the newest paradigms in the digitalization process that continues with the Industry 4.0 concept is Digital Twin technology. A digital twin can be defined as a virtual representation of a physical entity. Digital twins can provide real-time control and monitoring of a system, as well as assist optimization processes with various machine and deep learning software, and make predictions about the future of systems. As a result of the developments in IoT technology, Digital Twins, fed by the data obtained from the devices, have started to be used in many areas of industrial processes, starting with the customized production process. In this article, digital twin technology is discussed and focused on two areas: predictive maintenance and product and production optimizations in production processes. The study aims to present the latest developments in these two identified focal points and provide a guide for beginners. For this purpose, eighty eight studies in the literature published between 2015-2020 were systematically examined, analyzed and their results were examined. It has been observed that digital twins have entered a very rapid development process in the last two years, and they are preferred because of their benefits such as saving time, reducing maintenance and production costs and reducing production risks, as well as increasing productivity and quality.

Keywords: Digital Twin, Predictive Maintenance, Production Optimization, Cyber-Physics Systems

1. Giriş

James Harrington'un “Ölçemezseniz anlayamazsınız. Anlayamazsanız kontrol edemezsiniz. Kontrol edemezseniz daha iyiye götüremezsiniz” söylemi günümüz dijital dönüşüm paradigmalarnın temelinde yatan ana fikir olarak karşımıza çıkmaktadır. İşletmelerin, imalat maliyetlerini düşürme, ürünlerini daha kısa sürede ve planlı bir şekilde üretme, siparişlere daha hızlı yanıtlar verebilme ve tüm bunları yaparken istenmedik üretim aksaklıklarını ortadan kaldırma ihtiyaçları, değişen pazarlama ortamında önemli bir konu haline gelmiştir. Bu bağlamda, Endüstri 4.0'ın yaygınlaşması ile birlikte faaliyetlerine devam etmek isteyen firmalar, tüm bu zorlukların üstesinden gelebilecek gerçek zamanlı karar verebilme yetisine sahip araçları kendi firmaları için uyarlama ve geliştirme çabası içine girmişlerdir. Endüstri 4.0'ın en temel unsuru süreçlerin tam

* Sorumlu yazar: iamozguraydin@gmail.com .Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-8130-277X, ² 0000-0001-6476-9255

otomatikleştirilecek bir biçimde iletilemesidir. Verinin toplanmasından üretim süreçlerinin optimizasyonuna, verimliliğinin ve esnekliğinin artırılmasına kadar olan tüm sürecin akıllı üretim başlığı altında yürütülmesi hayati önem taşımaktadır. Gerçek anlamıyla akıllı bir üretim, gerçek zamanlı izleme, simülasyon sistemleri ve tahminlere dayalı yazılımlar ile verimliliği ve esnekliği arttırmayı amaçlamaktadır. IoT, büyük veri, sanal gerçeklik, makine öğrenmesi, derin öğrenme yazılımları ve 5G gibi teknolojilerinin ortaya çıkmasıyla birlikte, bugün üretim sistemlerinde fiziksel kaynaklar ile sanal olanlar arasındaki yüksek hızda bağlantı mümkün hale gelmektedir [1, 2].

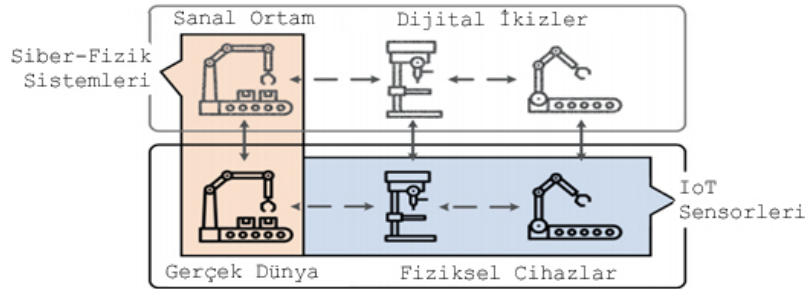
Dijital ikiz, fiziksel bir modelin sanal olarak temsil edildiği bir teknolojidir [3]. Dijital ikizler, sensör teknolojilerine bağlı gelişmeler ile birlikte bir ürünün, sürecin ya da bir unsurun gerçek zamanlı izlenmesini ve görsel olarak modellenmesini mümkün kılmaktadır. Üretim süreçlerinin farklılığından başlamak üzere, bu süreçlerdeki veri ve bilgilerin çeşitli olmasına, karmaşıklığına, verinin elde edilme biçimine ve hatta farklı lokasyonlara aktarım performansına, verinin hacmi gibi farklı başlıklardan dolayı dijital ikiz teknolojilerinde henüz kabul görmüş bir standart, yöntem ya da frame-work bulunmamaktadır. Bu nedenle her işletme, ürün ya da süreç için entegrasyon farklılıkları gözlemlenmektedir. Doğru bir şekilde geliştirilmiş ve uygulanmış bir dijital ikiz modeli, sistemler üzerinde güvenliğini artırabilir [4]. Aynı zamanda, ürünlerin üretim maliyetlerini azaltırken, süreç yönetimine katkıda bulunabilir. Diğer taraftan çoğu zaman işletmeler arızalara tepkileri anlık olarak vermekte (reaktif bakım) veya belirli zaman aralıklarıyla gerçekleştirmektedir (önleyici bakım). Bu iki yaklaşım, üretimin istenmedik şekilde aksamasına dolayısıyla boşa zaman harcanmasına, üretim kayıplarına neden olmaktadır. Aynı durum henüz ömrü tamamlanmamış bileşenlerin erken değiştirilmesinde de gözlemlenmektedir. Arızanın henüz daha meydana gelmeden tespitine yönelik tahmin yöntemlerinin geliştirilmesi ile birlikte kestirimci bakım paradigması ortaya çıkmıştır. Böylece bileşen ve süreçlerin Kalan Faydalı Ömür (Remaining Useful Life (RUL)) tahmin edilmesine dayalı teknikler için istatistiksel ve algoritmalar geliştirilmeye başlanmıştır. Kestirimci bakım teknikleri ile bir arızayı tahmin etmek ve bakımı daha optimum düzeyde planlamak mümkün hale gelmiştir.

Dijital ikizlerin son iki yılda çok hızlı bir gelişme süreci içerisine girdiği, özellikle zaman tasarrufu, bakım ve üretim maliyetlerinin azaltılması ve üretimdeki risklerin düşürülmesi bunların yanı sıra üretkenliğin ve kalitenin artırılması gibi faydalarından dolayı tercih sebebi olduğu gözlemlenmiştir. Bu gözlemler, dijital ikizlerin önümüzdeki yıllarda geleneksel üretim süreçlerinin değişiminde yüksek derecede önemli ve vazgeçilmez bir role sahip olacağı düşündürmektedir.

Dijital ikiz modelleri ile farklı uygulamalar hakkında son dönemde birçok çalışma yayınlanmıştır. Literatür araştırmasına dayanan bu çalışmada ise dijital ikiz teknolojisinin kestirimci bakım ve üretim süreçlerindeki ürün ve üretim optimizasyonları olmak üzere iki alana odaklanılmıştır. Çalışma, belirlenen bu iki odak noktadaki mevcut son gelişmeleri aktarmayı ve yeni başlayanlar için bir rehber sunmayı amaçlamaktadır.

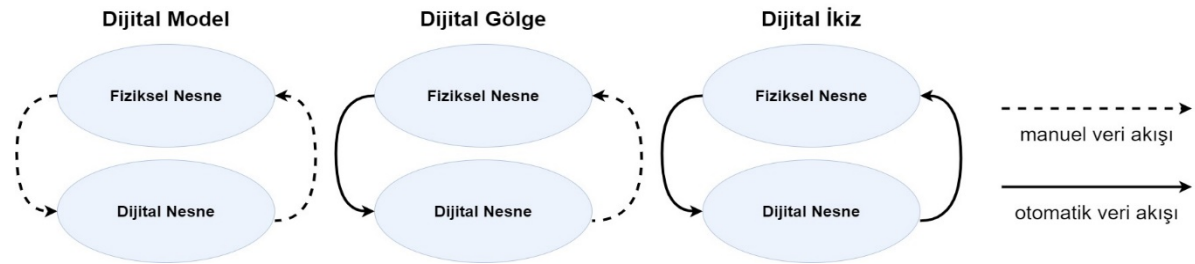
2. Dijital İkiz (Dİ) Teknolojisinin Kuramsal Esasları

Dijital Dönüşüm, Nesnelerin İnterneti (IoT), siber-fizik sistemler, akıllı sistemler ile birlikte hayatımıza Dijital İkiz (Dİ) fikri, Endüstri 4.0 ile ilişkili ana kavramlardan biridir [1]. İlk olarak NASA'nın APOLLO programında kullanıldığı varsayılmaktadır. Uzaya gönderilen aracın, içinde bulunacağı ortam koşullarının yansıtılmasını sağlaması amacıyla bir özdeşi daha üretilmiş, bu özdeş laboratuvar ortamında kullanılmış ve ikiz ismi verilmiştir [2]. Dİ, bir ürünün yaşam döngüsü içerisinde tamamen dijitalleştirilmiş kapsamlı bir dijital temsildir [3]. Dİ, fiziksel bir nesne ya da sistemin gerçek zamanlı ve dinamik olarak modellenmesidir. Dİ, fiziksel bir mekanizmanın (makine, iş hattı, araç, hatta insan) dijital olarak sanal dünyada gösterilmesidir. Şekil 1'de Fiziksel Dünya ile Siber-Fizik dünya arasındaki ilişki ve fiziksel bir araç ile dijital ikizinin arasındaki ilişkisi gösterilmiştir [4].



Şekil 1. Dijital İkiz, Siber-Fizik Sistemler Nesnelerin İnterneti Arasındaki İlişki

Dİ, bir sistemi veya mekânı kamera aracılığıyla izlemekten çok daha fazlasını denetçiye sunar. Dİ'ler bir bağlı oldukları cihazın ısı, nemi, çalışma performansı gibi detaylı bilgiler sunmaktadır. Bu sebeple yakın gelecekte milyonlarca nesnenin dijital ikizinin olacağına inanılmaktadır [5]. Dİ ile ilgili bazı kavramların yanlış kullanıldığı görülmektedir [6]. Bu kavramların birbiri ile olan ilişkileri Şekil 2'de gösterilmiştir. Tüm bu kavramlar arasındaki farklılık verinin akışı ile ilgilidir. **Dijital Model** kavramında fiziksel nesne ile dijital nesne arasında veri alışverişi otomatik olarak gerçekleşmez. Bu nedenle fiziksel nesne üzerinde bir değişiklik olsa bile bu değişikliğin dijital model üzerine etkisi eş zamanlı olarak yansıtılmayacaktır. **Dijital Gölge** kavramında ise fiziksel nesnenin elde edilen verileri eş zamanlı olarak dijital nesneye yansıtılır. Fiziksel nesne de olan bir değişiklik, dijital nesne üzerinde de değişikliğe yol açar. Ancak, bu işlemin tersi söz konusu değildir. **Dijital İkiz** kavramında ise her iki yönde otomatik olarak bir veri akışı söz konusudur. Fiziksel nesne üzerinde bir değişiklik oluştuğunda dijital ikize yansıtılır ve aynı şekilde dijital ikiz üzerinde herhangi bir parametrik ayarlama sonrası fiziksel nesne üzerinde de değişiklikler otomatik olarak işlenir. Kavram karmaşasının haricinde bir diğer yanlış ise; her dijital ikizin, fiziksel bir ürün veya nesneyi her zaman üç boyutlu olarak modellemesi gerektiği yönündedir. Bu modelleme işlemi çoğu zaman mümkün olsa da her zaman gerekli değildir.



Şekil 2. Güncellendi : Dijital Model, Dijital Gölge ve Dijital İkiz [6]

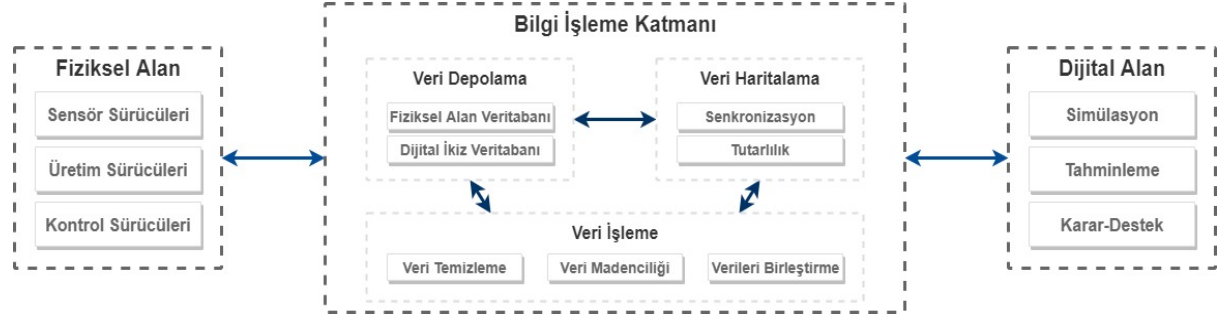
Tablo 1. Dijital İkiz Seviyeleri [7]

Seviye	Model Gelişmişliği	Fiziksel İkiz	Fiziksel İkizden Veri Toplama	Makine Öğrenmesi (Operatörler İçin)	Makine Öğrenmesi (Sistem ve Çevre İçin)	
1	Ön Dijital İkiz	Teknik Riskleri Azaltmaya Yönelik Geliştirilen Sanal Sistem Modeli	Mevcut Değil	Uygulanamaz	Hayır	Hayır
2	Dijital İkiz	Fiziksel İkizin Sanal Modeli	Mevcut	Mümkün, Toplu Güncellenmeler	Hayır	Hayır
3	Uyarlanabilir Dijital İkiz	Uyarlanabilir Kullanıcı Arayüzüne Sahip Sanal Sistem Modeli	Mevcut	Mümkün, Gerçek Zamanlı	Evet	Hayır
4	Akıllı Dijital İkiz	Uyarlanabilir Kullanıcı Arayüzü ve Pekitirmeli Öğrenme İle Geliştirilmiş Sanal Sistem Modeli	Mevcut	Mümkün, Gerçek Zamanlı	Evet	Evet

Tablo 1'de dijital bir ikizin gelişmişlik seviyeleri nasıl belirlendiği gösterilmiştir. Seviye 1, ürünlerin başlangıç aşamasında, tasarım kısmında karar vermeyi destekleyecek olan Ön dijital ikiz, sanal bir prototiptir. Bu prototipin amacı teknik riskleri azaltmak ve olası problemleri öngörmektir. *İkinci seviye*, mevcut fiziksel ikizin sanal modelidir ve bu model türünde fiziksel sensörlerden veriler toplanır. Uyarlanabilir dijital ikizler olan üçüncü seviye, sistem içerisindeki bileşenlerin yönetimi için geliştirilmiş bir kullanıcı arayüzü üzerinden işlemlerin gerçekleştirilebildiği dijital ikiz modelidir. Bilgi akışı iki yönlüdür. Bu aşamada operatör, fiziksel ikizden elde ettikleri bilgiler dijital ikiz üzerinde optimizasyon işlemlerini tüm yönleriyle değerlendirebilir, elde ettiği yeni parametre bilgileriyle fiziksel ikize etki edebilir, sistem iş akışına yeniden oluşturma, değiştirme yönünde müdahalelerde bulunabilir. Bu işlemleri gerçekleştirirken, arayüz üzerine entegre edilmiş makine öğrenme ve derin öğrenme gibi algoritmalar ile planlama ve karar verme noktasında destek alabilir. Dördüncü seviye Akıllı Dijital İkizler ise özerk ikiz olarak düşünülebilir. Bu seviyedeki dijital ikizler, uyarlanabilir dijital ikizin tüm özelliklerine sahip olmasının yanı sıra sistem içerisinde yer alan diğer ikizlerden de haberdardır. Kişisel performansını optimize ederken bir operatör desteğine ve yönlendirmesine ihtiyaç duymaksızın işlemlerini gerçekleştirir. Bu seviyedeki dijital ikizler genellikle denetimsiz öğrenme ve takviyeli öğrenme algoritmaları ile beslenirler.

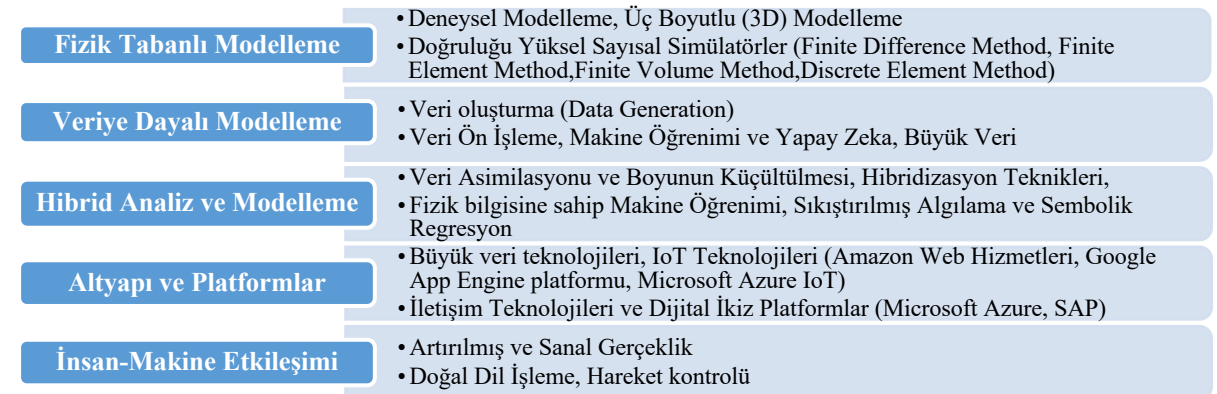
En temel düzeydeki dijital ikizler için üç anahtar bileşen bulunmaktadır [8]. Bu bileşenler Şekil 3'de gösterilmektedir. Fiziksel model ile dijital ikizin birbirine bağlanması sensörlerden elde edilecek olan verilerin bir veri işleme ön sürecinden geçirilmesiyle başlar. Bu süreçte istenmeyen veriler temizlenerek atılır ve sadece gerekli

görülen veriler alınarak daha sonra kullanılmak üzere veri tabanında saklanır. Bu veriler daha önce bahsedildiği üzere çeşitli makine ve derin öğrenme algoritmaları ile işlendikten sonra dijital ikiz üzerinde simülasyon, tahminleme ve karar-destek mekanizmaları için kullanılır.



Şekil 3. Düzenlendi : Dijital İkiz Teknolojisinin En Temel Yapısı [8]

Dijital bir ikiz oluşturulurken kullanılacak teknolojiler: fizik tabanlı modelleme, veriye dayalı modelleme, büyük veri sibernetiği, altyapı ve platformlar ve insan-makine ara yüzü olmak üzere beş ana kategori altında ele alınmıştır [9]. Dijital bir ikizin etkinleştirilebilmesi esnasında kullanılacak teknolojilerin sınıflandırılması Şekil 4’de gösterilmiştir. Bu teknolojileri açıklayacak olursak. **Fizik tabanlı modellemede** Genel olarak deneysel ve sayısal modelleme yapılmaktadır. **Veriye dayalı modelleme** türünde veri oluşturma, veri ön işleme, makine öğrenimi ve yapay zeka gibi işlemler yerel sunucularda gerçekleştirilir ve ölçülmek istenen sisteme özgün sunumlar ve yazılımlar gerçekleştirilir. Verinin toplanması ve oluşturulması sürecinde veri toplama aracı olarak ise sensörler, robot kolları yada hazır data setler tercih edilmektedir. Veriye dayalı modelleme üzerine inşa edilen **Hibrid analiz ve modelleme** yönteminde toplanan veriler asimilasyon sürecinden geçirilerek sistem için anlamlı hale getirilir. Toplanan veriler boyutu küçültülme işlemine tabi tutulur. Regresyon işlemleri ya da makine öğrenme yazılımları ile sistem hakkında çıkarımlar yapılmaya çalışılır. **Altyapılar ve Platformlar** ise sunucu maliyetlerini ortadan kaldırmak isteyen kuruluşlar için hızlı konfigürasyon ve kolayca yönetilebilir bir servis altyapısı sunan bir teknolojidir. Bu teknoloji ile zamandan ve paradan tasarruf edilerek çok kısa sürede birçok hizmetin satın alınabilmesi mümkündür. Büyük veri teknolojileri, IoT Teknolojileri (Amazon Web Hizmetleri, Google App Engine platformu, Microsoft Azure IoT Suite) ve Dijital İkiz Platformları (Microsoft Azure, SAP) gibi hizmetler en çok tercih edilen hizmetler içersinde yer almaktadır. Dijital ikizin geliştirilmesi esnasında kullanılacak diğer bir teknoloji grubu ise **İnsan-Makine etkileşimidir**. Bu bağlamda *sanal gerçeklik* ve *artırılmış gerçeklik* teknolojileri son yıllarda öne çıkan en yenilikçi teknolojilerdir. Bunun yanı sıra doğal dil işleme ve jest kontrolleri gibi etkileşim yöntemleri de giderek yaygınlaşan diğer alt teknolojilerdir.



Şekil 4. Uyarlandı: Dijital İkizlerin Geliştirilmesine Yardımcı Teknolojilerin Sınıflandırılması [9]

3. Yöntem

Bu çalışmada Pasquale ve arkadaşları tarafından önerilmiş olan ayrıntılı ve geniş kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir [10]. Çalışmanın amacı Endüstri 4.0 tabanlı Kestirimci-Öngörücü bakım ve Üretim-Üretim Optimizasyonu alanlarında dijital ikiz konseptinin halihazırdaki mevcut çalışmalarının belirlenmesidir. Bu

katkı ile birlikte çalışma şu araştırma sorusuna cevap vermeyi amaçlamaktadır: "Dijital İkiz için kestirimci bakım ve üretim optimizasyonu alanındaki mevcut uygulamalar, yeni trendler ve zorluklar nelerdir?". Literatür taraması esnasında veri tabanlarının belirlenmesi, anahtar kelimelerin seçimi, mükerrer kayıtların çıkartılması, analiz süreci ve istatistiklerin çıkarılması adım adım açıklanmıştır.

3.1. Veri Kaynağı

Yazarlar, araştırma sorusunu cevaplamak amacıyla halihazırda var olan yaklaşımların belirlenmesi için üç ana kaynağı araştırmışlardır; IEEE, Web of Science ve ScienceDirect. Bu araştırma kaynakları, çok çeşitli dergileri içeren köklü, güncel ve çok disiplinli veri tabanlarıdır. Bu üç veritabanı Nisan-2021 tarihi itibarıyla sorgulanmıştır. Tarama makalelerin başlığı, anahtar kelimeleri ve özeti ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca çalışmanın yazım dili olarak İngilizce belirlenmiştir. Makalelerin seçimi süresinde ilk kriter olarak makalenin başlığı içinde "Digital Twin" paradigması aranmıştır. Seçimi daha özel hale getirmek için daha sonra makalenin anahtar kelimeleri içerisinde "predictive maintenance" ve "production or product optimization" kelimeleri dahil edilmiştir.

3.2. Yayın Seçim Süreci

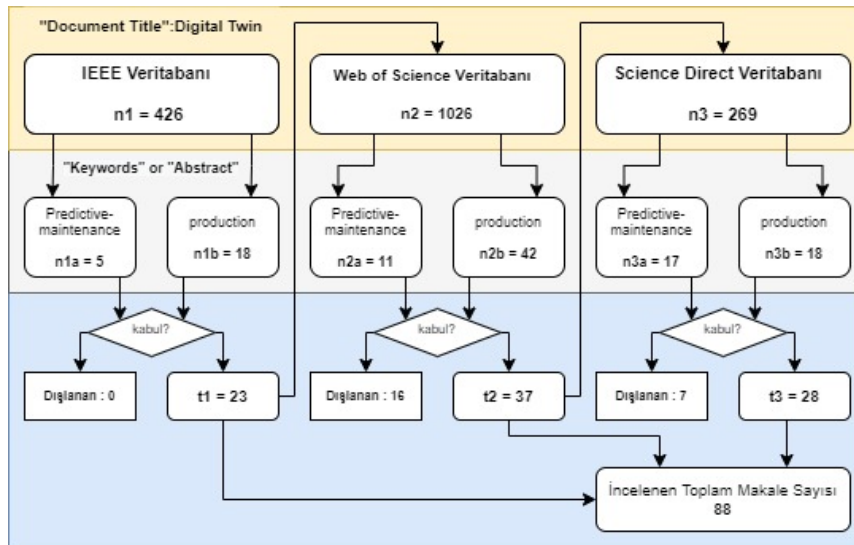
Veri kaynağında belirtilen arama kriterlerine ek olarak makalelerin seçim sürecinde, kitaplar, konferans makaleleri ve dergileri dahil tüm yayın türleri dikkate alınmıştır. Veritabanı taranırken zaman aralığı olarak, 2015-2020 yılları arasında bazı istisnalar(tekrarlayan, erişilemeyen makaleler) dışında tüm makaleler Şekil 5'de yer alan akış diyagramı seçim sürecine göre belirlenmiştir.

3.3. Yayınların Analizi

Makalelerin analizi ve sınıflandırılması; makalenin yayın türü, erişilen veri tabanı, yayın yılı, uygulama alanı, kullanılan teknoloji, yazılım alt yapısı, veri toplama aracı, katkı ve araştırma yöntemlerine göre gerçekleştirilmiştir. Böylece çalışmanın araştırma sorusunu cevaplamak mümkün hale gelmiş ve ayrıca dijital ikizler hakkında yeni başlayanlar için geniş kapsamlı bir rehber oluşturulmuştur.

4. Bulgular

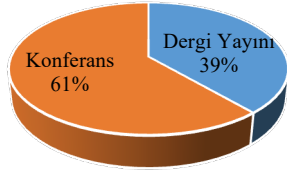
Dijital ikizler çok yeni bir teknoloji olması sebebiyle birçok araştırmacı için dikkat çekmektedir. Bu nedenle araştırmada 2015-2020 yılları arasındaki yayınlara odaklanılmıştır. IEEE, Web of Science ve ScienceDirect veritabanlarında yer alan ve veri kaynağı bölümünde detayları verilen kriterlere göre makale başlığında "digital twin" geçen toplam 1721 adet makale bulunmaktadır. Her bir veri tabanı içerisinde mevcut makale başlığı arama kriterine ek olarak "ve" operatörü ile ikinci bir kriter olarak arama sürecine devam edilmiştir.



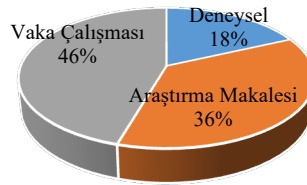
Şekil 5. Makale Seçim Süreci

İlk veritabanı IEEE seçilmiş ve ayrıntılı arama kriterleri sonucunda toplam 23 çalışma araştırmaya dahil edilmiştir. İkinci aşamada Web of Science veritabanı taranmış tekrarlayan, erişilemeyen 16 adet çalışma hariç tutularak toplam 37 çalışma araştırmaya dâhil edilmiştir. Son aşamada ise Science Direct veritabanı taranmış tekrarlayan ve erişilemeyen 7 adet çalışma hariç tutularak toplam 28 çalışma araştırmaya dâhil edilmiştir. Nihai olarak 88 adet makale detaylı olarak taranmış ve sistematik incelemede kullanılmak üzere uygun görülmüştür.

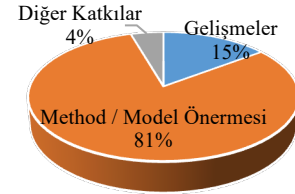
İncelenen makalelerin yayın türlerine dair grafik Şekil 6'da gösterilmiştir. Buna göre yayınlanmış makalelerin %61 konferans bildirisi geri kalan %39 ise dergi yayınlarından oluşmaktadır. Diğer bir istatistiğe göre yayınlanan çalışmaların %46'sı vaka çalışmasına dayanmaktadır. Araştırma makaleleri(%36) oranının yüksek olması konunun araştırmacılar için yeterince doygunluğa erişmediğini göstermektedir. Öte yandan çalışmaların %81'i bir method/model önermesi gerçekleştirmiştir. Bu sonuç, dijital ikiz teknolojisi için standartların henüz yeterince ortaya konulmadığını ortaya koymaktadır.



Şekil 6. Yayın Türleri Sınıflandırılması



Şekil 7. Çalışma Türleri



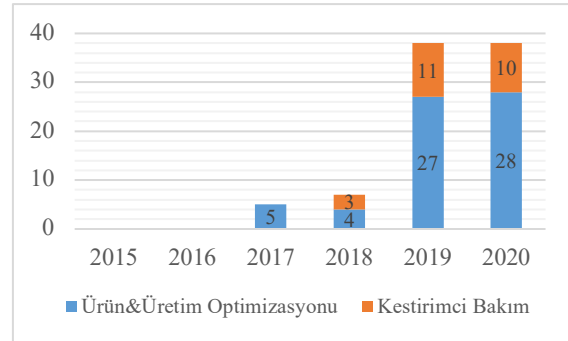
Şekil 8. Çalışmaların Katkıları

Tablo 2'de çalışmaların dergilere göre dağılımı gösterilmiştir. Çalışmaların %29'u Procedia CIRP, %15'i IFAC-PapersOnLine, %15'i Procedia Manufacturing'de geri kalanı ise diğer kategorilerdedir.

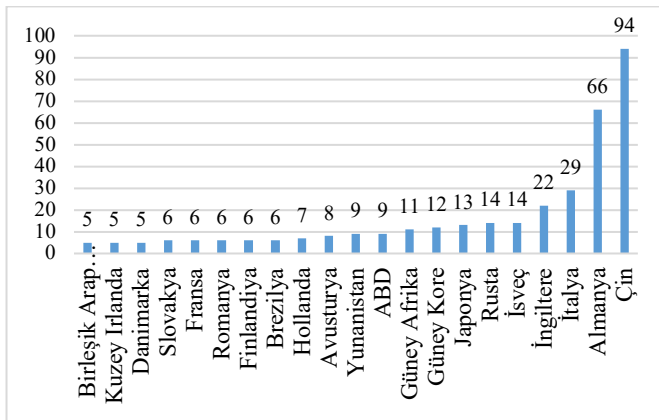
Çalışmaların yayınlandıkları yıllara göre dağılımı Şekil 9'de gösterilmiştir. Grafikte dikkat çekici nokta bu alanda 2015 ve 2016 yıllarında herhangi bir çalışmanın olmaması, son 2 yılda ise çalışmaların çok hızlı bir şekilde artmış olmasıdır. Çalışmaların %73'ü Ürün ve Üretim Optimizasyonuna [1, 8, 11-72] odaklanırken, diğer %27'lik bölümde Kestirimci Bakım [73-96] çalışılmıştır.

Tablo 2. Çalışmaların Dergi Yayın Oranları

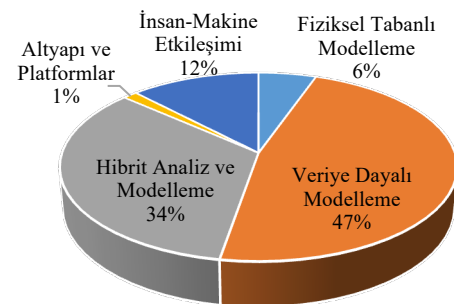
Dergi Yayın Organı	Oran
Procedia CIRP	% 29
IFAC-PapersOnLine	% 15
Procedia Manufacturing	% 15
IEEE	% 13
Robotics & Computer-Integrated Manufacturing	% 10
CIRP Annals	% 9
Digital Twin Driven Smart Design	% 5
Journal of Manufacturing Systems	% 4



Şekil 9. Çalışmaların Yıllara Göre Dağılımı



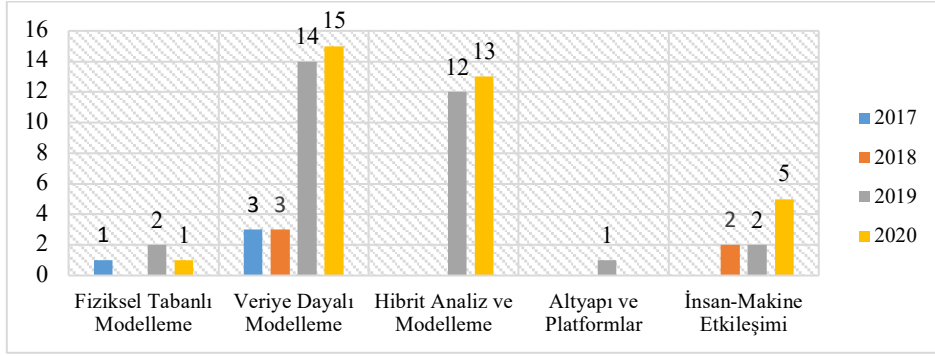
Şekil 10. Çalışmaların Ülkelere Göre Dağılımı



Şekil 11. Çalışmalardaki Teknoloji Dağılımı

İncelenen makalelerin %27'sine Çin, %19'una Almanya katkıda bulunmuştur. İtalya, İngiltere, İsveç, Rusya, Japonya 'dan ve diğer ülkelerden yazarlarda bu alana katkı sunmaya çalışmışlardır. Katkıların gösterildiği Şekil 10'daki grafikte katkısı %1 olan ülkelere yer verilmemiştir. Türkiye'den araştırmacıların katkısı %1 ile sınırlı kaldığı görülmüştür.

Dijital ikizlerin geliştirilmesi esnasında kullanılan teknolojilerin çalışmalardaki dağılımı Şekil 11' de gösterilmiştir. Buna göre araştırmaya dahil edilen çalışmaların %47'si veriye dayalı modelleme teknolojilerine odaklanmışken, %34'lük kısımda Hibrid Modelleme teknolojileri tercih edilmiştir. Fizik tabanlı(%6) modellemelerin dijital ikiz teknolojisinde çok ilgi görmediği, İnsan-Makine etkileşimli teknolojilerin ise bir artış eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Altyapı ve Platformlar ise %1 ile çok sınırlı kalmıştır. Teknolojilerin yıllara göre değişimini gösteren Şekil 12'deki veriler incelendiğinde özellikle son yıllarda piyasada adımı sıkça duymaya başladığımız Amazon Web Hizmetleri, Google App Engine platformu, Microsoft Azure IoT Suite gibi uygulamaların akademik çalışmalarda henüz yeterince yer bulmamış olması ise merak uyandırıcı bir araştırma konudur.



Şekil 12. Çalışmalarda Kullanılan Teknolojilerin Yıllara Göre Değişimini

5. TARTIŞMA

Dijitalleşme süreci içinde dijital ikizler geleneksel üretim anlayışlarının değişmesine yol açmaktadır. Bugün birçok şirket geliştirilmekte olan yazılım ve platformları kullanarak üretimlerini takip etmekte ve optimizasyon yöntemleri ile farklı senaryolar için gerçek zamanlı girdi-çıkıta analizi gerçekleştirmekte ve organizasyonlarını buna göre şekillendirmektedir. Bu sayede üretim kapasitesini ve kaliteyi arttırmayı öte yandan üretim maliyetini ve üretim süresini düşürerek çeşitli tasarruflar yapmayı amaçlamaktadır.

Akıllı üretim yaklaşımı içerisinde veri füzyonu önemli bir çalışma alanıdır. Verilerin gerçek zamanlı olarak toplanması, aktarılması ve sistemlerin denetimi veri füzyonu içerisinde dikkat edilmesi gereken önemli başlıklardır. Yapılan çalışmalarda PLC sistemlerinin yoğun olarak kullanıldığı görülmüştür[8, 11, 14, 21, 22, 24, 25, 38, 65, 71, 72, 77, 80, 82, 95]. Elde edilen verilerin makine öğrenme yazılımları ile desteklenerek operatörler için karar destek mekanizmalarının geliştirilmesi dijital ikizler alanında birçok çalışmanın konusu olmuştur [12, 29-30, 32-33, 35, 37, 45-46, 48, 51, 58-59, 68-69, 74, 78-79, 87, 91-92]. Makine öğrenme yazılımlarının yanı sıra matematiksel modeller ve regresyona bağlı istatistiksel yöntemler, çalışmaların %28 ini oluşturduğu gözlemlenmiştir [13, 16-18, 23, 28, 34, 36, 40-44, 47, 50, 53, 54, 76, 81, 83-84, 86, 88-89, 93]. Veri toplanması sürecinde hazır veri setlerinin (%5) [16, 34, 36, 91] kullanıldığı çalışmaların yanı sıra gerçek zamanlı sensör teknolojisinin(%60) yoğun olarak kullanıldığı anlaşılmıştır [8, 11-14, 17-18, 21-24, 28, 30, 32, 35, 38, 40-48, 50-51, 54, 58-59, 61, 64, 65, 68-69, 71-72, 74, 76-82, 84, 87-89, 92, 93, 95]. Bazı çalışmalarda ise robot kolu(%3) ile gerçekleştirilmiş gerçek zamanlı çalışmalar yapılmıştır [25, 33, 53]. Kullanılan yardımcı teknolojilere göre çalışmaların %6'sı [8, 62, 72, 82] fizik tabanlı modelleme üzerine gerçekleştirilmiştir. %47'sinde [11-14, 16-18, 21-24, 29, 31, 34, 36, 38, 43-46, 50, 53-54, 57, 63, 69, 71, 76, 80-81, 86, 88, 91, 93, 95] veriye dayalı modelleme gerçekleştirilmiştir. Veriye dayalı modelleme yönteminde incelenen çalışmaların %72'sinde işlemler gerçek zamanlı sensör verisi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Seçilen çalışmaların %34'ünde [32-33, 35, 37, 40-41, 47, 48, 51-52, 58-59, 61, 65-68, 74, 77-79, 84, 87, 89, 92] hibrid analiz ve modelleme gerçekleştirilmiştir. Büyük veri teknolojileri, IoT Teknolojileri gibi hizmetler bugün endüstriyel ortamlarda en çok tercih edilen hizmetler içerisinde yer almasına rağmen seçilen çalışmaların %1'inde [73] altyapı ve platform hizmetlerine kullanılmıştır. Bunda çalışmaların %83'ünün akademisyenler tarafından yürütülmesinin yanı sıra akademi-sanayi arasındaki işbirlikçi yaklaşımın gelişmemiş olmasından kaynaklanabileceğini düşünmekteyiz. Öte yandan çalışmaların %12'si [25, 28, 30, 39, 42, 49, 56, 64, 83] modelleme aracı olarak İnsan-Makine arayüzü teknolojileri kullanmıştır.

Akıllı üretim yaklaşımı içerisinde kestirimci bakım ve alt dalı olan *Kalan Faydalı Ömür* (Remaining Useful Life (RUL)) için hesaplama yöntemlerinin geliştirilmesi diğer önemli bir çalışma alanıdır. Bazı çalışmalarda kalan ömür hesaplamasının matematiksel olarak hesaplanma adımları gösterilmiştir [42-43, 45] öte yandan bazı çalışmalarda endüstriyel robotların ve ürünlerin kalan ömürlerinin hesaplanması için metodlar önerilmiş ve doğrulanmıştır [78, 80, 95].

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada dijital ikiz teknolojisi konusunda 2015-2020 yılları arasında yayınlanan seksen sekiz çalışma sistematik olarak incelenmiş, analiz edilmiş ve sonuçları irdelenmiştir. Bu bağlamda dijital ikizlerin son iki yılda çok hızlı bir gelişme süreci içerisine girdiği, özellikle zaman tasarrufu, bakım ve üretim maliyetlerinin azaltılması ve üretimdeki risklerin düşürülmesi gibi ortak faydalarına vurgular yapılmıştır. Bunun yanı sıra üretkenliğin ve kalitenin artırılması çalışmaların odak noktası olmuştur. İncelenen çalışmalar içinde belirlenen en temel zorluk ortak bir dijital ikiz çerçevesinin olmayışıdır. Bu sebeple Şekil 8'den görüleceği üzere mevcut çalışmaların %81'inde bir method/framework geliştirme üzerine odaklanmaktadır. Diğer bir zorluk ise endüstri 4.0 uyumlu olmayan hali hazırdaki endüstriyel cihazların ya da üretim hatlarının sisteme entegrasyonudur. Makineler arasındaki farklılıklardan dolayı entegrasyon süreçlerinin bazen çok zaman alması bazen de imkansız olması nedeniyle mevcut sistemlerden verilerin toplanamaması yine büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Sektörel bazda birçok endüstriyel ticari yazılımın geliştirildiği ancak tüm sektörler ile tam uyumlu çalışacak bir yazılımın henüz var olmadığı gözlemlenmiştir. Bu eksiklikler ve zorluklar ile birlikte kestirimci bakım ve ürün/üretim optimizasyonları üzerine sonraki çalışmalar için birçok boşluk görülmektedir.

İlerleyen çalışmalar; Tablo 1'de belirtildiği üzere dördüncü seviye Akıllı Dijital İkizler için bir method/framework konsepti üzerinde yoğunlaşılacak ve arayüz geliştirilmeye çalışılacaktır. Veri füzyonu (veriyi elde etme, aktarma, saklama) için api uygulamalarına odaklanılacak ve seçilen çalışmaların %1'inde kullanılan altyapı ve platform teknolojileri üzerinden bir dijital ikiz geliştirilmeye odaklanılacaktır. Oluşturulacak olan dijital ikizin yapısal mimarisi akademik katkı olarak sunulmaya çalışılacaktır. Mevcut makine ve derin öğrenme yazılımları genişletilerek, karar-destek sistemlerinin karşılaştırılması ve geliştirilmesi diğer bir çalışma alanımız olacaktır. Bir ürünün kalan ömür hesaplaması üzerine yapılan dijital ikizlerin ve bu çalışmaların hangi alanlarda yoğunlaştığına dair bir araştırma yapılması ilerleyen dönemlerde üzerinde duracağımız diğer çalışmalar olacaktır.

Kaynaklar

- [1] Murphy A., Taylor C., Acheson C., Butterfield J., Jin Y., Higgins P., Collins R., Higgins C., Representing financial data streams in digital simulations to support data flow design for a future Digital Twin., Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 61, 2020, 101853, 2020.
- [2] Aivaliotis, P., K. Georgoulis, ve G. Chryssolouris., The use of Digital Twin for predictive maintenance in manufacturing., International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 32, 2019, 1067-1080.
- [3] Aivaliotis, Panagiotis, Konstantinos Georgoulis, ve Kosmas Alexopoulos., Using digital twin for maintenance applications in manufacturing: State of the Art and Gap analysis., 2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), 2019: 1-5.
- [4] Altamiranda, Edmary, ve Eliezer Colina., A System of Systems Digital Twin to Support Life Time Management and Life Extension of Subsea Production Systems., OCEANS 2019 - Marseille, 2019: 1-9.
- [5] Altun, Cankal, ve Bulent Tavli., Social Internet of Digital Twins via Distributed Ledger Technologies: Application of Predictive Maintenance., 2019 27th Telecommunications Forum (TELFOR), 2019: 1-4.
- [6] Aschenbrenner, D., ve diğerleri., Mirrorlabs - creating accessible Digital Twins of robotic production environment with Mixed Reality., 2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR), 43-48.
- [7] Assawaarayakul, Chaiwat, Wasin Srisawat, Smitti Darakorn Na Ayuthaya, ve Somkiat Wattanasirichaigoon., Integrate Digital Twin to Exist Production System for Industry 4.0., 2019 4th Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference (TIMES-iCON), 2019: 1-5.
- [8] Bagheri, Behrad, Shanhu Yang, Hung-An Kao, ve Jay Lee., Cyber-physical Systems Architecture for Self-Aware Machines in Industry 4.0 Environment., IFAC-PapersOnLine 48, no. 3 (2015): 1622-1627.
- [9] Barthelmey, André, Eunseo Lee, Ramy Hana, ve Jochen Deuse., Dynamic digital twin for predictive maintenance in flexible production systems., 2019: 4209-4214.
- [10] Bazaz, Sara Moghadaszadeh, Mika Lohtander, ve Juha Varis. 5-Dimensional Definition for a Manufacturing Digital Twin, 38 (2019): 1705-1712.
- [11] Behrang, Ashtari Talkhestani, ve diğerleri., An architecture of an Intelligent Digital Twin in a Cyber-Physical Production System., AT-AUTOMATISIERUNGSTECHNIK 67, no. 9 (2019): 762-782.
- [12] Beloglazov, I. I., P. A. Petrov, ve V. Yu Bazhin., THE CONCEPT OF DIGITAL TWINS FOR TECH OPERATOR TRAINING SIMULATOR DESIGN FOR MINING AND PROCESSING INDUSTRY., 2020: 50-54.

- [13] Biesinger, Florian, Benedikt Kraß, ve Michael Weyrich., A Survey on the Necessity for a Digital Twin of Production in the Automotive Industry., 2019 23rd International Conference on Mechatronics Technology (ICMT), 2019: 1-8.
- [14] Biesinger, Florian, Davis Meike, Benedikt Kraß, ve Michael Weyrich., A digital twin for production planning based on cyber-physical systems: A Case Study for a Cyber-Physical System-Based Creation of a Digital Twin., 12TH CIRP CONFERENCE ON INTELLIGENT COMPUTATION IN MANUFACTURING ENGINEERING, 79 (2019): 355-360.
- [15] Biesinger, Florian, ve Michael Weyrich., The Facets of Digital Twins in Production and the Automotive Industry., 2019 23rd International Conference on Mechatronics Technology (ICMT), 2019: 1-6.
- [16] Cattaneo, Laura, ve Marco Macchi., A Digital Twin Proof of Concept to Support Machine Prognostics with Low Availability of Run-To-Failure Data., 13th IFAC, 52, no. 10 (2019): 37-42.
- [17] Centomo, Stefano, Nicola Dall’Ora, ve Franco Fummi., The Design of a Digital-Twin for Predictive Maintenance., 2020 25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2020: 1781-1788.
- [18] Cimino, Chiara, Gianni Ferretti, ve Alberto Leva., The role of dynamics in digital twins and its problem-tailored representation., 21th IFAC World Congress 53, no. 2 (2020): 10556-10561.
- [19] Coraddu, Andrea, Luca Oneto, Francesco Baldi, Francesca Cipollini, Mehmet Atlar, ve Stefano Savio., Data-driven ship digital twin for estimating the speed loss caused by the marine fouling., Ocean Engineering 186 (2019): 106063.
- [20] D’Amico, Davide, ve diğerleri., Conceptual framework of a digital twin to evaluate the degradation status of complex engineering systems., 7th CIRP Global Web Conference – Towards shifted production value stream patterns through inference of data, models, and technology (CIRPe 2019) 86 (2019): 61-67.
- [21] Ding, Kai, Felix T. S Chan, Xudong Zhang, Guanghui Zhou, ve Fuqiang Zhang., Defining a Digital Twin-based Cyber-Physical Production System for autonomous manufacturing in smart shop floors., INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH 57, no. 20 (tarih yok): 6315-6334.
- [22] ERTURAN, İlkey Ejder, ve Emre ERGİN., DİJİTAL DENETİM VE DİJİTAL İKİZ YÖNTEMİ., Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi 20, no. 4 (2018): 810-830.
- [23] Fazel, Ansari, Nixdorf Steffen, ve Sihn Wilfried., Insurability of Cyber Physical Production Systems: How Does Digital Twin Improve Predictability of Failure Risk?, IFAC-PapersOnLine, Volume 53, Issue 3, 2020: 295-300.
- [24] Fuller, Aidan, Zhong Fan, Charles Day, ve Chris Barlow., Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research., IEEE Access 8 (2020).
- [25] Gao, Yunpeng, Haiyang Lv, Yongzhu Hou, Jihong Liu, ve Wenting Xu., Real-time Modeling and Simulation Method of Digital Twin Production Line., 2019 IEEE 8th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC), 2019: 1639-1642.
- [26] Gericke, G.A., R.B. Kuriakose, H.J. Vermaak, ve Ole Madsen., Design of Digital Twins for Optimization of a Water Bottling Plant., IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2019: 5204-5210.
- [27] Graessler, I., ve A. Poehler., Integration of a digital twin as human representation in a scheduling procedure of a cyber-physical production system., 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2017: 289-293.
- [28] Graessler, Iris, ve Alexander Poehler., Intelligent control of an assembly station by integration of a digital twin for employees into the decentralized control system., 4th International Conference On System-Integrated Intelligence: Intelligent, Flexible And Connected Systems In Products And Production 24 (2018): 185-189.
- [29] Greco, Alessandro, Mario Caterino, Marcello Fera, ve Salvatore Gerbino., Digital Twin for Monitoring Ergonomics during Manufacturing Production., Applied Sciences, 10(21), 7758., 2020.
- [30] Guo, Daqiang, ve diğerleri., A framework for personalized production based on digital twin, blockchain and additive manufacturing in the context of Industry 4.0., 2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), 2020: 1181-1186.
- [31] Haag, Sebastian, ve Reiner Anderl., Digital twin-Proof of concept., Industry 4.0 and Smart Manufacturing, 2018, 64-66.
- [32] Harper, K. Eric, Christopher Ganz, ve Somayah Malakuti., Digital Twin Architecture and Standards., IIC J. Innov., 2019.
- [33] Hauge, Jannicke Baalsrud, Masoud Zafarzadeh, Yongkuk Jeong, Yi Li, Wajid Ali Khilji, ve Magnus Wiktorsson., Employing digital twins within production logistics., 2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), 2020: 1-8.
- [34] Heng, Zhou, Yang Chunjie, ve Youxian Sun., A Collaborative Optimization Strategy for Energy Reduction in Ironmaking Digital Twin., IEEE Access 8 (2020): 177570-177579.
- [35] Howard, Daniel Anthony, Zheng Ma, Jesper Mazanti Aaslyng, ve Bo Nørregaard Jørgensen., Data Architecture for Digital Twin of Commercial Greenhouse Production., 2020 RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF), 2020: 1-7.
- [36] Hürkamp, André, ve diğerleri., Combining Simulation and Machine Learning as Digital Twin for the Manufacturing of Overmolded Thermoplastic Composites., Journal of Manufacturing and Materials Processing. 2020; 4(3):92, 2020.
- [37] Jafari, Mohsen A., Esmat Zaidan, Ali Ghofrani, Khashayar Mahani, ve Farbod Farzan., Improving Building Energy Footprint and Asset Performance Using Digital Twin Technology., 4th IFAC Workshop on Advanced Maintenance Engineering, Services and Technologies - AMEST 2020 53, no. 3 (2020): 386-391.
- [38] Jeon, S. M., ve S. Schuesslbauer., Digital Twin Application for Production Optimization., 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2020: 542-545.
- [39] Jiewu, Leng, ve diğerleri., Digital twin-driven rapid reconfiguration of the automated manufacturing system via an open architecture model., Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 63 (2020): 101895.

- [40] Khan, Samir, Michael Farnsworth, Richard McWilliam, ve John Erkoyuncu., On the requirements of digital twin-driven autonomous maintenance., *Annual Reviews in Control* 50 (2020): 13-28.
- [41] Kholopov, V. A., S. V. Antonov, ve E. N. Kashirskaya., Application of the Digital Twin Concept to Solve the Monitoring Task of Machine-Building Technological Process., 2019 RusAutoCon, 2019: 1-5.
- [42] Kritzinger, Werner, Matthias Karner, Georg Traar, Jan Henjes, ve Wilfried Sihn., Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification., *IFAC PAPERSONLINE* 51, no. 11 (2018): 1016-1022.
- [43] Krüger, Suewellyn, ve Milton Borsato., Developing knowledge on Digital Manufacturing to Digital Twin: a bibliometric and systemic analysis., 29th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM 2019) 38 (2019): 1174-1180.
- [44] Kubota, Tsubasa, Reza Hamzeh, ve Xun Xu., STEP-NC Enabled Machine Tool Digital Twin., 53rd CIRP Conference on Manufacturing Systems 2020 93 (2020): 1460-1465.
- [45] Kyu Tae, Park, Lee Jehun, Kim Hyun-Jung, ve Noh Sang Do., Digital twin-based cyber physical production system architectural framework for personalized production., *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 106 (2020): 1787-1810.
- [46] Lee, Jay, Behrad Bagheri, ve Hung-An Kao., Simulation-based Analysis of the Interaction of a Physical and a Digital Twin in a Cyber-Physical Production System., 9th IFAC/IFIP/IFORS/IISE/INFORMS Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control (IFAC MIM) 52, no. 13 (2019): 1331-1336.
- [47] Lim, Kendrik Yan Hong, Pai Zheng, Chun-Hsien Chen, ve Lihui Huang., A digital twin-enhanced system for engineering product family design and optimization., *Journal of Manufacturing Systems* 57 (2020): 82-93.
- [48] Liu, Chao, Léopold Le Roux, Carolin Körner, Olivier Tabaste, Franck Lacan, ve Samuel Bigot., Digital Twin-enabled Collaborative Data Management for Metal Additive Manufacturing Systems., *Journal of Manufacturing Systems*, 2020.
- [49] Liu, Chao, Pingyu Jiang, ve Wenlei Jiang., Web-based digital twin modeling and remote control of cyber-physical production systems., (*Robotics and computer-integrated manufacturing*, 2020, 64: 101956) 2020.
- [50] Liu, Jinfeng, Xiangmeng Du, Honggen Zhou, Xiaojun Liu, L ei Li, ve Feng Feng., A digital twin-based approach for dynamic clamping and positioning of the flexible tooling system., 26TH CIRP CONFERENCE ON LIFE CYCLE ENGINEERING (LCE) 80 (2019): 746-749.
- [51] Lu, Yuqian, Chao Liu, Kevin Wang, Huiyue Huang, ve Xun Xu., Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues., *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2020: 101837.
- [52] Lutters, Eric, ve Roy Damgrave., The development of Pilot Production Environments based on Digital Twins and Virtual Dashboards., 29TH CIRP DESIGN CONFERENCE 84 (2019): 94-99.
- [53] Lydon, G.P., S. Caranovic, I. Hischer, ve A. Schlueter., Coupled simulation of thermally active building systems to support a digital twin., *Energy and Buildings* 202 (2019): 109298.
- [54] Ma, Jun, ve diğerleri., A digital twin-driven production management system for production workshop., (*Int J Adv Manuf Technol*), no. 110 (2020): 1385-1397.
- [55] Madni, Azad M., Carla C. Madni, ve Scott D. Lucero., Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering., *Systems* 7, no. 1 (2019).
- [56] Makarov, Valery, Albert Bakhtizin, ve Gayane Beklaryan., Developing digital twins for production enterprises., *Business Informatics* 13, no. 4 (2019): 7-16.
- [57] Marcello, Fera, ve diğerleri., Towards Digital Twin Implementation for Assessing Production Line Performance and Balancing., *Sensors* 20, no. 1 (2020).
- [58] Melesse, Tsega Y., Valentina Di Pasquale, ve Stefano Riemma., Digital Twin Models in Industrial Operations: A Systematic Literature Review., *ISM* 2019, 42 (2020): 267-272.
- [59] Moi, Torbjørn, Andrej Cibicik, ve Terje Rølvåg., Digital twin based condition monitoring of a knuckle boom crane: An experimental study., *Engineering Failure Analysis* 112 (2020): 104517.
- [60] Negri, Elisa, Luca Fumagalli, ve Marco Macchi., A review of the roles of Digital Twin in CPS-based production systems., 27TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLEXIBLE AUTOMATION AND INTELLIGENT MANUFACTURING, FAIM2017 11 (2017): 939-948.
- [61] P. Aivaliotis, K. Georgoulas, Z. Arkouli, S. Makris., Methodology for enabling Digital Twin using advanced physics-based modelling in predictive maintenance., (*Procedia CIRP*, Volume 81, 2019) 2019: 417-422.
- [62] P.K. Rajesh, N. Manikandan, C.S. Ramshankar, T. Vishwanathan, C. Sathishkumar., Digital Twin of an Automotive Brake Pad for Predictive Maintenance., *Digital Twin of an Automotive Brake Pad for Predictive Maintenance*, *Procedia Computer Science*, Volume 165, 2019: 18-24.
- [63] Park, Kyu Tae, ve diğerleri., Design and implementation of a digital twin application for a connected micro smart factory., *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING* 32, (2019): 596-614.
- [64] Pasquale, Valentina Di, Chiara Franciosi, Raffaele Iannone, Ilaria Malfettone, ve Salvatore Miranda., Human error in industrial maintenance: A systematic literature review., *XXII Summer School "Francesco Turco" - Industrial Systems Engineering* 2017, 2017.
- [65] Preuveneers, Davy, Wouter Joosen, ve Elisabeth Ilie-Zudor., Robust Digital Twin Compositions for Industry 4.0 Smart Manufacturing Systems., 2018 IEEE 22nd International Enterprise Distributed Object Computing Workshop (EDOCW), 2018: 69-78.
- [66] Qi, Qinglin, Fei Tao, Ying Zuo, ve Dongming Zhao., Digital Twin Service towards Smart Manufacturing., 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems 72 (2018): 237-242.

- [67] Qiao, Qianzhe, Jinjiang Wang, Lunkuan Ye, ve Robert X. Gao., Digital Twin for Machining Tool Condition Prediction., 52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems (CMS), Ljubljana, Slovenia 81 (2019): 1388-1393.
- [68] Qingfei, Min, Lu Yangguang, Liu Zhiyong, Su Chao, ve Wang Bo., Machine Learning based Digital Twin Framework for Production Optimization in Petrochemical Industry., *International Journal of Information Management*, 49, 502-519.
- [69] Qiu, Chan, Shien Zhou, Zhenyu Liu, Qi Gao, ve Jianrong Tan., Digital assembly technology based on augmented reality and digital twins: a review., *Virtual Reality & Intelligent Hardware* 1, no. 6 (2019): 597-610.
- [70] Rasheed, Adil, Omer San, ve Trond Kvamsdal., Digital Twin: Values, Challenges and Enablers From a Modeling Perspective., *IEEE Access* 8 (2020): 21980-22012.
- [71] Riedelsheimer, Theresa, Lisa Dorfhuber, ve Rainer Stark., User centered development of a Digital Twin concept with focus on sustainability in the clothing industry., 27th CIRP Life Cycle Engineering Conference (LCE2020) *Advancing Life Cycle Engineering* 90 (2020): 660-665.
- [72] Rosen, Roland, Georg von Wichert, George Lo, ve Kurt D. Bettenhausen., About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing., 15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing 48, no. 3 (2015): 567-572.
- [73] Schützer, Klaus, Júlia de Andrade Bertazzi, Carolina Sallati, Reiner Anderl, ve Eduardo Zancul., Contribution to the development of a Digital Twin based on product lifecycle to support the manufacturing process., 29th CIRP Design Conference 2019, 84, 82-87.
- [74] Souad Rabah, Ahlem Assila, Elio Khouri, Florian Maier, Fakreddine Ababsa, Valéry bourny, Paul Maier, Frédéric Mérienne., Towards improving the future of manufacturing through digital twin and augmented reality technologies., 28th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2018), June 11-14, 2018, Columbus, OH, USA *Global Integration of Intelligent Manufacturing and Smart Industry for Good of Humanity*, 2018: 460-467.
- [75] Söderberg, Rikard, Kristina Wärmeffjord, Johan S. Carlson, ve Lars Lindkvist., Toward a Digital Twin for real-time geometry assurance in individualized production., *CIRP Annals* 66, no. 1 (tarih yok): 137-140.
- [76] Tatyana Golovina, Andrey Polyenin, Alexander Adamenko, Elena Khogay, Vladimir Schepinin., Digital Twins as a New Paradigm of an Industrial Enterprise., *International Journal of Technology (IJTech)*, 11, 6, 2020, 1115-1124.
- [77] Theodor, Borangiu, Oltean Ecaterina, Răileanu Silviu, Anton Florin, Anton Silvia, ve Iacob Iulia., Embedded Digital Twin for ARTI-Type Control of Semi-continuous Production Processes., *Service Oriented, Holonic and Multi-agent Manufacturing Systems for Industry of the Future*, 2019: 113-133.
- [78] Thomas, Dickopf, Apostolov Hristo, Müller Patrick, Jens C. Göbel, ve Forte Sven., A Holistic System Lifecycle Engineering Approach – Closing the Loop between System Architecture and Digital Twins., 29th CIRP Design Conference 2019, 84, 2019, 538-544.
- [79] Uhlemann, Thomas H. -J., Christian Lehmann, ve Rolf Steinhilper., The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0., 24TH CIRP CONFERENCE ON LIFE CYCLE ENGINEERING, 61, 2017, 335-340.
- [80] Vachálek, Ján, Lukáš Bartalský, Oliver Rovný, Dana Šišmišová, Martin Morháč, ve Milan Lokšík., The digital twin of an industrial production line within the industry 4.0 concept., 2017 21st International Conference on Process Control (PC), 2017: 258-262.
- [81] Vathoopan, Milan, Maria Johny, Alois Zoitl, ve Alois Knoll., Modular Fault Ascription and Corrective Maintenance Using a Digital Twin., 16th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM 2018 51, no. 11 (2018): 1041-1046.
- [82] Wagner, Raphael, Benjamin Schleich, Benjamin Haefner, Andreas Kuhnle, Sandro Wartzack, ve Gisela Lanza., Challenges and Potentials of Digital Twins and Industry 4.0 in Product Design and Production for High Performance Products., 29th CIRP Design Conference 2019, 08-10 May 2019, Póvoa de Varzim, Portugal 84 (2019): 88-93.
- [83] Wang, Ben, Liting Yuan, Xinyi Yu, ve Linlin Ou., Construction and Optimization of Digital Twin Model for Hardware Production Line., *IECON 2020*, 2020: 4756-4761.
- [84] Wang, Yunrui, ve Zhengli Wu., Digital twin-based production scheduling system for heavy truck frame shop., *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 2020.
- [85] Weichao Luo, Tianliang Hu, Yingxin Ye, Chengrui Zhang, Yongli Wei., A hybrid predictive maintenance approach for CNC machine tool driven by Digital Twin., *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 65, October 2020, 101974, 2020.
- [86] Werner, Andreas, Nikolas Zimmermann, ve Joachim Lentens., Approach for a Holistic Predictive Maintenance Strategy by Incorporating a Digital Twin., 25th International Conference on Production Research *Manufacturing Innovation: Cyber Physical Manufacturing* 39 (2019): 1743-1751.
- [87] Wihan Booyse, Daniel N. Wilke, Stephan Heyns., Deep digital twins for detection, diagnostics and prognostics., *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 140, 2020, 106612, 2020.
- [88] Williams, Richard, John Ahmet Erkoyuncu, Tariq Masood, ve Rok Vrabec., Augmented reality assisted calibration of digital twins of mobile robots., 4th IFAC Workshop on Advanced Maintenance Engineering, Services and Technologies 53, no. 3 (2020): 203-208.
- [89] Xuemin, Sun, Bao Jinsong, Li Jie, Zhang Yiming, Liu Shimin, ve Zhou Bin., A digital twin-driven approach for the assembly-commissioning of high precision products., *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 61, 2020: 101839.

- [90] Yaqoob, Ibrar, Khaled Salah, Mueen Uddin, Raja Jayaraman, Mohammed Omar, ve Muhammad Imran., Blockchain for Digital Twins: Recent Advances and Future Research Challenges., (IEEE Network, 34(5)) 2020: 290-298.
- [91] Yu-ming, Qi, Xie bing, ve Deng San-peng., Research on Intelligent Manufacturing Flexible Production Line System based on Digital Twin., 2020 35th Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC), 2020: 854-862.
- [92] Zhang, Chao, Guanghui Zhou, Jun He, Zhi Li, ve Wei Cheng., A data- and knowledge-driven framework for digital twin manufacturing cell., 11th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems 83 (2019): 345-350.
- [93] Zhang, Ganghong, Chao Huo, Libin Zheng, ve Xinjun Li., An Architecture Based on Digital Twins for Smart Power Distribution System., 2020 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Big Data (ICAIBD), 2020:29-33.
- [94] Zhang, Haijun, Guohui Zhang, ve Qiong Yan., Digital twin-driven cyber-physical production system towards smart shop-floor., JOURNAL OF AMBIENT INTELLIGENCE AND HUMANIZED COMPUTING 10, no. 11 (2019): 4439-4453.
- [95] Zhang, Haijun, Qiong Yan, ve Zhenghua Wen., Information modeling for cyber-physical production system based on digital twin and AutomationML., The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020: 1927–1945.
- [96] Zhang, Y. F., Y. Q. Shao, J. F. Wang, ve S. Q. Li., Digital Twin-based Production Simulation of Discrete Manufacturing Shop-floor for Onsite Performance Analysis., 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2020: 1107-1111.
- [97] Zheng, Pai, ve Kendrick Yan Hong Lim., Product family design and optimization: a digital twin-enhanced approach., 53rd CIRP Conference on Manufacturing Systems 2020 93 (2020): 246-250.
- [98] Zhuang, Cunbo, Jianhua Liu, ve Hui Xiong., Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor., International Journal.



Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi

Telif Hakkı Devir Formu / Copyright Form

Biz aşağıda gerekli bilgileri bulunan,

[Yazarların Adı / Author names]

.....tarafımızdan yazılmış,

[Makale Adı / Article title]

.....

başlıklı makale içeriği, sunduğu sonuç, bilgi, bulgu ve yorumları konusunda, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü'nün hiç bir sorumluluk taşımadığını kabul ederiz.

Sunduğumuz makalenin orijinal olduğunu; herhangi bir başka dergiye yayınlanmak üzere gönderilmediğini; daha önce yayınlanmadığını; tümüyle yada bir bölümü herhangi bir kongre/sempozyum da sunulup fakat tam metin olarak basılmadığını ve orijinal telif hakkı devri formu ile birlikte Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü'ne gönderildiğini garanti ederiz.

Makalenin telif hakkından feragat etmeyi kabul ederek sorumluluğu üstlenir ve imza ederiz. Bu vesileyle makalenin telif hakkı Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü' ne devredilmiştir. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü makalenin yayınlanabilmesi konusunda yetkili kılınmıştır. Bununla birlikte yazarların aşağıdaki hakları saklıdır:

Aşağıdaki ve diğer bütün durumlarda makalenin Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi tarafından yayınlandığına dair referans verilmelidir.

1. Telif Hakkı dışında kalan patent v.b. bütün tescil edilmiş haklar.
2. Makaleyi satmamak koşulu ile kendi amaçları için çoğaltma hakkı.
3. Yazarın gelecekteki kitaplar ve dersler gibi çalışmalarında; makalenin tümü ya da bir bölümünü ücret ödemeksizin kullanma hakkı.

Bütün yazarlar tarafından imzalanması gerekiyor: (Sorumlu yazar/Corresponding author*)

Yazarın Adı ve Soyadı / Author Names

İmzası / Signature

Tarih / Date

1

2

3

4

5

NOT: Eksik imza durumunda sorumluluk imzalayan yazarlara aittir. Lütfen formu doldurunuz, imzalayınız ve aşağıdaki adrese metinle birlikte gönderiniz.

Adres: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 23119-Elazığ.