

# Interdisciplinary Studies on Contemporary Research Practices in Engineering in the 21<sup>st</sup> Century-II

**Editor: Prof. Dr. Kamil Kaygusuz**



# Interdisciplinary Studies on Contemporary Research Practices in Engineering in the 21<sup>st</sup> Century-II

**Editor**

Prof. Dr. Kamil Kaygusuz



Published by

**Özgür Yayın-Dağıtım Co. Ltd.**

Certificate Number: 45503

📍 15 Temmuz Mah. 148136. Sk. No: 9 Şehitkamil/Gaziantep

☎ +90.850 260 09 97

📞 +90.532 289 82 15

🌐 www.ozgurayinlari.com

✉ info@ozgurayinlari.com

---

## Interdisciplinary Studies on Contemporary Research Practices in Engineering in the 21<sup>st</sup> Century-II

Editor: Prof. Dr. Kamil Kaygusuz

---

Language: Turkish

Publication Date: 2023

Cover design by Mehmet Çakır

Cover design and image licensed under CC BY-NC 4.0

Print and digital versions typeset by Çizgi Medya Co. Ltd.

**ISBN (PDF):** 978-975-447-611-8

**DOI:** <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub95>

---



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0). To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>  
This license allows for copying any part of the work for personal use, not commercial use, providing author attribution is clearly stated.

---

Suggested citation:

Kaygusuz, K., (2023). *Interdisciplinary Studies on Contemporary Research Practices in Engineering in the 21<sup>st</sup> Century-II*. DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub95>. License: CC-BY-NC 4.0

---

*The full text of this book has been peer-reviewed to ensure high academic standards. For full review policies, see <https://www.ozgurayinlari.com/>*

---



## Ön Söz

Mühendislik bir ülkenin kalkınmasında ve gelişmesinde çok önemli rol oynayan disiplinler arası ortaklığın meydana getirdiği bir üst bilim dalıdır. **Mühendislik**, matematiksel ve doğal bilim dallarından, ders çalışma, deney yapma ve uygulama yolları ile kazanılmış bilgileri akıllıca kullanarak, doğanın kuvvetleri ve maddelerini insanoğlu yararına sunmak üzere ekonomik olan yöntemler geliştiren bir meslektir.

Çünkü mühendislik yaklaşımı; **işi sorun çözmek olan insan yaklaşımıdır**. Mühendislik yaklaşımı içinde bulunan çalışanlar, görülmeyeni görerek, düşünülmeiyeni bularak, optimum çözümleri hedefleyip durumdan maksimum faydayı çıkarmayı bilirler. Diğer taraftan mühendislik nedir, sorusu ile aklımıza çok geniş ve detaylı bir tanımlama gelse de genel olarak mühendislik, **problemleri çözebilmek için gerekli olan bilim ve matematiğin uygulanmasıdır** diyebiliriz. Mühendisler, bir şeylerin nasıl çalıştığını anlar ve bilimsel keşiflerin pratik hayatta kullanımı için yöntemler bulur.

Yayımlanan bu kitap; çeşitli mühendislik dallarında hocalık yapan akademisyenlerin sunmuş olduğu gerek kendi özgün çalışmaları ve gerekse literatürden aktarılan derleme çalışmaların bir araya getirilmiş sunumlarından meydana getirilmiştir. Burada amaç konuyla ilgilenen mühendis ve akademisyenlerin önemli sayılacak mühendislik çalışmalarını bir arada bulmalarındır. Dolayısıyla kitabın önemli bir boşluğu dolduracağı ve genç araştırmacılara faydalı olacağı kanaatindeyim. Bu bağlamda; kitaba bilimsel katkı sunan, kitabı baskıya hazırlayan kısacası emeği geçen herkese teşekkür ederiz.

Yayımlanan bu kitabın gerek mühendislere ve gerekse genç akademisyenlere faydalı olmasını diler, tüm mühendis ve genç akademisyenlere başarılar dilerim.

Prof. Dr. Kamil KAYGUSUZ  
Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Türkiye Bilimler Akademisi Asli Üyesi



# İçindekiler

Ön Söz	iii
Bölüm 1	
<hr/>	
Süt Ürünü Olmayan Probiyotik İçeceklerle Güncel Bir Bakış <i>Zeynep Kılci</i>	1
Bölüm 2	
<hr/>	
The Design of Mechanisms Via Artificial Intelligence <i>Onur Denizhan</i>	17
Bölüm 3	
<hr/>	
Investigation of the Effects of Different Cooling/Lubrication Conditions and Cutting Parameters on Energy Consumption During Milling of Hybrid Aluminum Composites <i>Ünal Değirmenci</i>	27
Bölüm 4	
<hr/>	
Carbon nitride-based photocatalysts for hydrogen evolution: A review <i>Ceren Orak</i>	47
Bölüm 5	
<hr/>	
Biyokütle Bileşenlerinin Isıl Özelliklerinin Önemi <i>Meltem Kızılca Çoruh</i>	61

Bölüm 6

---

<b>Tarım Alanında Dijital İkiz Yönteminin Kullanılması</b>	<b>71</b>
<i>Mahmut Durgun</i>	

Bölüm 7

---

<b>Türkiye’de Arazi Toplulaştırması Konusunda Yapılan Akademik Çalışmalara Genel Bir Bakış</b>	<b>81</b>
<i>Nuri Erdem</i>	

Bölüm 8

---

<b>Generative Artificial Intelligence for Air Transportation Sector</b>	<b>109</b>
<i>Musab Talha Akpınar</i>	

Bölüm 9

---

<b>Algorithm Design In Programming Language Education</b>	<b>127</b>
<i>Tuğba Saray Çetinkaya</i>	
<i>Ali Çetinkaya</i>	

# Süt Ürünü Olmayan Probiyotik İçeceklere Güncel Bir Bakış

Zeynep Kilci<sup>1</sup>

## Özet

Son zamanlarda, hastalıkların önlenmesine yardımcı olan sağlıklı diyetlerin benimsenmesine olan ilgi artmış ve bunun sonucunda yeni fonksiyonel gıdaların araştırılması ve geliştirilmesi büyük önem kazanmıştır. Probiyotikler ve prebiyotikler gibi gıda katkı maddeleri, bağırsak mikrobiyotasının bileşimi üzerinde olumlu etkiler gösterebilir ve bu sebeple uzun zamandır yoğun araştırmaların başlıca konusudur. Yararlı mikroorganizmaların canlı halde gıdaya eklenmesi ve bu gıdaların tüketilmesinin sağlık üzerine olumlu etkilerine ilişkin sağlık profesyonellerinin olumlu görüşleri ile pek çok araştırma bulunmaktadır. Gerek ekonomik sebepler gerek sağlık sebepleri probiyotik mikroorganizmalar için süttten başka alternatif matris arama çalışmalarını tetiklemiştir. Özellikle laktoz intoleransı ve süt proteinleri alerjisi gibi sağlık problemleri yaşayan bireyler fermente süt ve ürünleri tükettikleri zaman çeşitli sıkıntılar yaşamaktadır. Bunun yanı sıra gelişmiş ülkelerde çevre ve hayvan haklarına dair etik kaygılara sahip tüketiciler vejeteryan beslenme eğilimine yönelmektedir. Tüm bu sebepler ve etkenler bir araya geldiğinde süt bileşenlerinin probiyotik ajanlar için araçlar olarak kullanımının azaltılması fikrini teşvik etmektedir. Yakın gelecekte meyve ve sebze suları gibi içeceklerin veya tahıl bazlı içeceklerin sağlıklı probiyotik bakterilerin damgasını vuracağı bir sonraki gıda araştırma kategorisi olacağı öngörülmektedir. Bu bilgiler kapsamında bu çalışmada bazı süt ürünü olmayan probiyotik içeceklere yönelik genel bir değerlendirme yapılması hedeflenmiştir.

## GİRİŞ

Yaşam standardı ile yeme alışkanlıklarındaki ve artan sağlık bilincindeki devrim, tüketici kabulünü daha geniş sağlık yararları olan besleyici, sağlıklı

---

1 Öğretim Görevlisi, Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi Susurluk Tarım ve Orman Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Balıkesir, Türkiye, znale@bandirma.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1700-8597



ve hastalık önleyici gıdalara doğru evirmiştir. Tüketiciler, bulaşıcı olmayan kronik hastalıkların önlenmesinin yanı sıra, yaşamının uzaması ve refah düzeyinde gıdanın rolü konusunda günümüzde artık daha bilinçlidir (Granato vd., 2010). Tüketici beklentilerini karşılama konusunda probiyotikler deyim yerindeyse eşsiz niteliktedir. Doğal beslenmenin ötesinde sağlık yararlarına ulaşabilmek için yeterli miktarda uygulanan seçici canlı, mikrobiyal diyet takviyeleri olarak da ifade edilebilen probiyotiklerin insan sağlığı üzerindeki etkileri, sağlık ve tıp uzmanları tarafından giderek daha fazla tanıtılmaktadır (Perricone vd., 2015)

İnsan bağırsak sisteminde gerek doğal olarak bulunan gerek sayısı alınan gıdalarla desteklenen *Lactobacillus*, *Leuconostoc* ve *Bifidobacterium* cinsi bakteriler metabolizmada istenmeyen bağırsak patojenlerinin gelişimini engellerken, bağırsıklığın artırılmasına, serum kolesterol içeriğinin düşürülmesine, protein sindirilebilirliğinin artırılmasına, kronik olmayan hastalıkların görülme sıklığının düşürülmesine önemli katkılar sağlar (Suvarna & Boby, 2005). Uzun süreli antibiyotik kullanımından sonra bağırsak florasının eski dengesine kavuşmasında probiyotikler önemli rol üstlenir. Bu yüzden uzmanlar antibiyotiklerin probiyotik gıdalarla birlikte alınmasını önermektedir (Balamurugan vd., 2010). Japonya'da Yakult ve Suntory Bikkle, Fransa'da Actimeal, Hollanda'da Vifit, İsviçre'de Nestle ve Nesvita probiyotik endüstrisinde dünya çapında öne çıkan firmalardır.

Son yirmi yılda probiyotiklerin gelişimi, gıda endüstrisinde önemli bir ilerlemenin sinyalini vermiştir. Probiyotiklerle ilgili bilimsel yayınların sayısı, iyi belgelenmiş probiyotik organizmaların kullanıldığı heyecan verici bilimsel ve klinik bulgular gibi faktörlerin teşvikiyle oldukça artmıştır (Reid, 2006).

Probiyotik, “yaşam için” anlamına gelen nispeten yeni bir kelime olup genellikle insanlar ve hayvanlar için yararlı etkileri olan bakterileri adlandırmak için kullanılır. Probiyotik terimi, bir Uzmanlar Komitesi tarafından teknik olarak “belirli sayıda tüketildikten sonra genel beslenmenin ötesinde sağlık yararları sağlayan canlı mikroorganizmalar” olarak tanımlanmıştır (FAO/WHO, 2001; Guarner & Schaafsma, 1998). Bu, mikroorganizmaların canlı olması ve yüksek sayılarda, genellikle günlük alınan gıdanın gramı veya mililitresi başına  $10^9$  hücreden fazla olması gerektiği anlamına gelir. Probiyotik mikroorganizmalar çoğunlukla *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* cinslerinin suşlarından oluşur, ancak bunlarla sınırlı değildir (Tablo-1). Bir mikroorganizmanın probiyotik nitelikte değerlendirilebilmesi için temel kriter pek tabii patojen özellik göstermemesidir. Bunun yanı sıra tüketici sağlığı üzerine muhtemel olumlu etkiler de barındırması önemlidir.

FAO/WHO Uzman Danışmanlığı, herhangi bir potansiyel probiyotik mikroorganizmanın nasıl test edilebileceğine ve düşük bir riske sahip olduğunun nasıl kanıtlanabileceğine ilişkin yönergeler sağlamak için ilkelerin ve pratik kriterlerin oluşturulması gerektiğine inanmaktadır (FAO/WHO, 2001).

*Tablo 1: Bazı probiyotik mikroorganizmalar (Gorbach, 2002)*

Laktobasil Türleri	Bifidobakter Türleri	Diğerleri
<i>Lactobacillus casei</i>	<i>Bifidobacterium breve</i>	<i>Lactococcus cremoriss</i>
<i>Lb. amylovorus</i>	<i>Bf. animalis</i>	<i>Clostridium botyricum</i>
<i>Lb. brevis</i>	<i>Bf. adolescentis</i>	<i>Lactococcus lactis sp. cremoriss</i>
<i>Lb. acidophilus</i>	<i>Bf. bifidum</i>	<i>Saccharomyces boulardii</i>
<i>Lb. crispatus</i>	<i>Bf. infantis</i>	<i>Streptococcus salivarius sp. thermophilus</i>
<i>Lb. delbrueckii sp. bulgaricus</i>	<i>Bf. lactis</i>	<i>Pediococcus acidilactici</i>
<i>Lb. paracasei</i>	<i>Bf. longum</i>	<i>Propionibacterium freudenreichii</i>

Probiyotik suşlar insan gastrointestinal sistemindeki asit ve safraya karşı direnç gösterebilme, insan epitel hücrelerine bağlanabilme, insan bağırsak sisteminde kolonize olabilme, bakteriyosin gibi antimikrobiyal maddeler üretebilmeleri sayesinde gıda endüstrisinde tercih edilme potansiyellerini artırmaktadır. Probiyotik suşların tüm bu özellikleri sayesinde bu mikroorganizmaları içeren probiyotik gıdalar tüketildiğinde insan sağlığı üzerine olumlu etkiler gösterebilmektedir (Panghal vd., 2018). Probiyotik mikroorganizmaların aynı zamanda düşük maliyet, işleme ve depolama sırasında canlılığını sürdürme, ürünlerde uygulama kolaylığı, gıdalara uygulanan fizikokimyasal işleme süreçlerine karşı dirençli olması gibi niteliklere sahip olması da beklenmektedir. (Collins vd., 1998; Gorbach, 2002). İnsanlar üzerinde yasalara uygun şekilde çalışılmış ve sonuçları hakemli bilimsel dergilerde yayınlanmış pek çok araştırma probiyotiklerin insan sağlığı üzerine olumlu etkilerini desteklemektedir. Bu çalışmalardan bazıları Tablo-2’de özetlenmiştir.

**Tablo 2: Bazı hastalıkların önlenmesinde ve tedavisinde kullanılan bazı probiyotik suşlar**

Rahatsızlık	Probiyotik Suş	Klinik Çıktılar	Kaynakça
Patojen bakteri ve/veya virüslerin sebep olduğu diare (ishal)	<i>Lb. rhamnosus</i> GG, <i>Lb. casei</i> , <i>Bf. lactis</i> BB-12, <i>Bf. bifidum</i> , <i>Sc. thermophilus</i>	Özellikle çocuklarda rotavirüsün sebep olduğu aktif ishalin önlenmesi	Guarino vd., 1997; Guandalini vd., 2000; Isolauri vd., 2000; Majamaa vd., 1995
<i>Helicobacter pylori</i> enfeksiyonu ve sonrasında yaşanan komplikasyonlar	<i>Lb. johnsonii</i> La1, <i>Lb. salivarius</i> , <i>Lb. acidophilus</i> LB	İlgili patojen suşun gelişiminin engellenmesi, patojen mikroorganizmanın midenin asidik ortamında kalması için gerekli olan üreaz enzim aktivitesinin azalması	Aiba vd., 1998; Midolo vd., 1995
Enflamatuar (iltihaplı) hastalıklar ve bağırsak sendromları	<i>Lb. rhamnosus</i> GG	Gastrointestinal mikrofloranın modülasyonu yoluyla iltihaplı rahatsızlıklarda iyileştirme	Isolauri vd., 2000;
Gastrointestinal sistemde görülen kanser rahatsızlıkları	<i>Lb. rhamnosus</i> GG, <i>Lb. rhamnosus</i> LC-705, <i>Lb. acidophilus</i> LA-2, <i>Bifidobacterium</i> sp., <i>Propionibacterium</i> sp.	Bazı kanser türlerinin başlamasının önlenmesi veya geciktirilmesi	Aso vd., 1995; Hosada vd., 1996; Oatley vd., 2000; Midolo vd., 1995
Alerjik semptomlar	<i>Lb. rhamnosus</i> GG, <i>Bf. lactis</i> BB-12	Alerjik rahatsızlıklarının başlamasının önlenmesi	Isolauri vd., 2000; Majamaa vd., 1995
Kardiyovasküler rahatsızlıklar	<i>Lactobacillus</i> sp	İskemik kalp sendromlarının önlenmesi ve tedavisi	Reid vd., 2001

## FONKSİYONEL GIDA OLARAK PROBİYOTİKLER

Gelişmekte olan ülkelerde son zamanlarda patojenik mikroorganizmalar veya bunların toksinlerinden arınmış zararsız gıdaları tüketme endişesi ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda gıdanın istenmeyen herhangi bir madde ile kontaminasyonu bulunmamalı ya da en iyi ihtimalle mevzu bahis olabilecek

riskleri yaşamamak adına söz sahibi kurumlar tarafından belirlenmiş maksimum kalıntı limitlerini aşmayacak düzeyde içermelidir. Yine diyabet, hipertansiyon, kanser gibi hastalıkları önleme kapasitesine yiyecekler günden güne artan talep görmektedir. Tüketicilerin sağlığı üzerine olumlu etkileri bulunabilecek yiyecek ve içecekler artan ilgiyle birlikte bu ürünlerin pazar payı ve söz konusu ürünleri geliştirmeye yönelik çaba aynı oranda artış göstermektedir (Hilliam, 2000).

Tıbbi gıdalar, nutrasötikler, reçeteli gıdalar, terapötik gıdalar, süper gıdalar, tasarımcı gıdalar, gıda ilaçları ve medikal gıdalar olarak da adlandırılan fonksiyonel gıdalar, 1980'li yıllarda Japonya'da geliştirilmiş olup 1991'de FOSHU (Foods for Specified Health Use) - Belirtilmiş Sağlık Kullanımına Yönelik Gıdalar şeklinde tanımlanarak yasal bir statü kazanmıştır. 100'den fazla FOSHU lisanslı ürün bulunan Japonya, fonksiyonel gıda onayı için özel bir süreç formüle etmiştir. Japonya'da bilindiği şekliyle fonksiyonel gıda ne Avrupa Birliği ülkeleri ne de Amerika Birleşik Devletleri'nde yoktur. Fonksiyonel gıdalara ilişkin yasal düzenlemeler ANVISA (National Agency of Sanitary Vigilance) – Ulusal Sıhhi İhtiyat Ajansı tarafından gerçekleştirilmektedir. Fonksiyonel gıdaları düzenleyen normlar, probiyotiklerle ilgili olarak büyük ölçekli üretime uygun olma, kullanıma hazır bir formda olma, depolama ve kullanım esnasında stabil ve canlı kalabilme, bağırsak ekosistemine dayamlı olma gibi hususları dikkate alınmalıdır (Martins vd., 2013)

Fonksiyonel gıdalar, besinlere ek olarak, metabolizmaya hastalıkları iyileştirme veya hastalık gelişme riskini azaltma konularında katkıda bulunabilecek bileşenleri sağlayan gıdalar olarak tanımlanır (Vasudha & Mishra, 2013). Fonksiyonel gıdaların genel niteliklerini özetlemek gerekirse;

- Kanıtlanmış fizyolojik etkiler,
- Kronik hastaların gelişim riskini düşürme,
- Fiziksel görünüm olarak geleneksel gıdalara benzerlik (tercih edilebilirliği artırması açısından önerilmektedir),
- Günlük diyetin bir parçası olarak tüketilme,
- Temel beslenme işlevlerine katkıda bulunma,
- Fiziksel sağlığın yanı sıra zihin sağlığının korunmasına katkı sağlama (Weststrate vd., 2002).

Bu ürünlerin temel amacı kronik hastalıkları önlemek ve vücudun doğal vitamin ve elektrolit dengesini sağlamaktır. Uluslararası Yaşam Bilimleri Enstitüsü'ne göre, bir gıda, organizmadaki bir veya birkaç spesifik fonksiyon üzerinde faydalı bir etkiye sahip olduğunu tatmin edici bir şekilde

gösteriyorsa, normal beslenme etkilerinin ötesinde, iyileştirici olarak kabul edilebilir. Gıda endüstrileri tarafından fonksiyonel gıdaların geliştirilmesi ve etkilerini değerlendirmek için yapılan klinik testler, ulusal ve uluslararası sağlık otoritelerinin bu tür gıdaları sınıflandırmak için net kriterler oluşturmasına yardımcı olacaktır (Daliri & Lee, 2015).

İlk nesil fonksiyonel gıdalar, bilinen sağlık özellikleri için kalsiyum veya vitaminler gibi bileşenlerin takviyesini içeriyordu (Ziemer & Gibson, 1998). Fermente süt ürünleri, içerdikleri başlıca kalsiyum (osteoporoz, hipertansiyon ve kolon kanseri risklerini azaltmaya yardımcı etki) olmak üzere sağlığı iyileştirici diğer bileşenler nedeniyle fonksiyonel gıdalar kategorisine dahil edilebilir. Son yıllarda, fermente sütün sağlık üzerindeki potansiyel yararlı etkilerine olan ilginin artması, dünya çapında mevcut çeşidin ve tüketilen miktarın artmasına neden olmuştur (Hilliam, 2000). Süt ürünleri, insanlarda probiyotik bakteriler için geleneksel bir araç olarak kullanılmıştır. Laktik asit bakterileri, fermente süt ürünlerinin hazırlanmasında kullanılan önemli bir mikroorganizma grubudur ve bunların çoğu probiyotik olarak kabul edilir. Fermente süt ürünlerinin mükemmel besin kalitesi, esas olarak önemli bir kalsiyum, protein, fosfor ve riboflavin kaynağı sunan süte atfedilebilir. Sağlığı geliştiren bakterileri içeren probiyotik süt ürünleri, fonksiyonel gıda pazarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (Batish & Grover, 2004).

## SÜT ÜRÜNÜ OLMAYAN PROBİYOTİK İÇECEKLER

Uzun yıllardır fermente süt ve ürünleri şeklinde pazarlanan probiyotik ürünler gelişmiş ülkelerde son zamanlarda gittikçe artan vejeteryan beslenme tarzlarını benimseyen birey sayısı ile birlikte hayvansal kökenli olmayan matrislerle üretilmiş vejeteryan probiyotik ürünler olarak piyasada yer almaya başlamıştır. Laktoz intoleransı, süt proteinleri alerjisi gibi sağlık problemleri de vejeteryan gıda ürünlerine olan talebi artırmaktadır. Dünya genelinde üretilen çok çeşitli, geleneksel, aynı zamanda süt ürünü olmayan ve ana madde olarak tahıllarla geliştirilen fermente içecek bulunmaktadır (Heenan vd., 2004; Yoon vd, 2006).

**Boza:** Yaygın olarak Bulgaristan, Arnavutluk, Türkiye ve Romanya'da tüketilen bir içecektir. Buğday, çavdar, darı, mısır gibi tahıllara şeker ve/veya sakarin eklenerek yapılan, rengi çok açık sarıdan koyu beje değişen, tercihe bağlı olarak tatlı veya ekşi olarak üretilen kolloid bir süspansiyondur. Boza, hoş tadı, aroması ve yüksek besin değerleri nedeniyle özellikle son yıllarda her yaşta insanın günlük olarak tükettiği çok popüler bir içecek haline gelmiştir. Bozadan izole edilen başlıca laktik asit bakterileri; *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus coprophilus*,

*Lactobacillus brevis*, *Leuconostoc reffinolactis*, *Leuconostoc mesenteroides* olarak belirtilebilirken izole edilen başlıca mayalar *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida tropicalis*, *Candida glabrata*, *Geotrichum penicillatum* ve *Geotrichum candidum* olarak ifade edilebilir (Blandino vd, 2003).

**Bushera:** Uganda'nın Batı dağlık bölgelerinde hazırlanan en yaygın geleneksel içecektir. Ürün hem küçük çocuklar hem de yetişkinler tarafından yoğun şekilde tüketilmektedir. Çimlenmiş sorgum ve darı tanelerinden elde edilen sorgum veya darı unu, kaynayan su ile karıştırılır ve ortam sıcaklığına soğumaya bırakılır. Daha sonra çimlendirilmiş darı veya sorgum unu eklenir ve karışım ortam sıcaklığında 1-6 gün mayalanmaya bırakılır. Busheradan izole edilen başlıca laktik asit bakterileri, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus* ve *Streptococcus* olmak üzere beş cinsten oluşmaktadır (Muianja vd., 2003).

**Mahewu (Amahewu):** Afrika'da ve bazı Basra Körfezi ülkelerinde tüketilen mısır unundan yapılan ekşi bir içecektir. Su ile karıştırılmış mısır lapasından hazırlanır. Daha sonra sorgum, darı maltı veya buğday unu eklenir ve mayalanmaya bırakılır. Kendiliğinden fermantasyon işlemi, ortam sıcaklığında maltın doğal florası tarafından gerçekleştirilir. Afrika mahewusunda bulunan baskın mikroorganizma *Lactococcus lactis subsp. lactis* olarak belirlenmiştir (Gadaga vd., 1999).

**Pozol:** Güneydoğu Meksika'da tüketilen, mısırın yaklaşık %1'lik lime solüsyonunda pişirilmesi, su ile yıkanması, "nixtamal" olarak bilinen bir hamur elde etmek için öğütülmesi, top haline getirildikten sonra muz yapraklarına sarılarak 1-4 gün boyunca oda sıcaklığında mayalanmaya bırakılmasıyla üretilen serinletici bir içecektir (Wacher vd., 2000).

Tüketimi uzun yıllardır devam eden geleneksel fermente ürünlerin yanı sıra farklı tahıl ürünlerinin kontrollü fermantasyonu neticesinde yenilikçi probiyotik ürünlerin geliştirilmesine yönelik araştırmalar da yine son yıllarda hızla devam etmektedir. 2006 yılında probiyotik niteliğe sahip bir laktik asit bakterisi olan *Lactobacillus plantarum* B28 suşu kullanılarak yulaf ve arpa bazlı bir probiyotik içecek geliştirmeye yönelik araştırma gerçekleştirilmiştir. Yulaf ve arpa, tahıl lifleri içerisinde ana fonksiyonel bileşen olarak kabul edilen beta-glukan açısından en yüksek içeriğe sahiptir. Buzdolabı koşullarında 21 günlük raf ömrüne sahip fermente-probiyotik içeceği tüketen bireylerde LDL kolesterol seviyesinin %20-30 oranında düştüğü belirtilmiştir (Angelov vd., 2006).

Bitkisel hammaddeler içerisinde sahip olduğu yüksek protein oranı ile öne çıkan soya fasulyesi son yılların dikkat çeken üretim matrisleri arasındadır.

Fonksiyonel özelliklerinden dolayı gıda endüstrisinde büyük bir uygulama potansiyeline sahip olan soya sütü, laktik asit bakterilerinin, özellikle Bifidobakterilerin büyümesi için uygun bir matristir (Chou & Hou, 2000). Oligofruktoz, inülin gibi prebiyotik niteliğe sahip bileşenlerle desteklenerek soyanın fermente ve probiyotik ürün formülasyonlarının geliştirilmesine yönelik çalışmalarda kullanılabileceği belirtilmektedir (Michail vd., 2006).

Duyusal açıdan sahip olduğu potansiyel zorluklarına rağmen probiyotik ve prebiyotik bileşenlerle güçlendirilmiş meyve suyu bazlı fonksiyonel içeceklerin geliştirilmesine yönelik gündün güne artan ve dikkat çeken bir ilgi bulunmaktadır. Meyve suları doğal olarak faydalı besinleri içerdikleri, tüm yaş gruplarına hoş gelen tat profillerine sahip oldukları, sağlıklı ve canlandırıcı olarak algılandıkları için fonksiyonel sağlık bileşenleri açısından ideal bir ortam olarak önerilmektedir (Tuorila & Cardello, 2002). Meyve ve sebzeler mineraller, vitaminler, diyet lifleri, antioksidanlar gibi fonksiyonel gıda bileşenleri açısından zengindir ve herhangi bir süt alerjisi içermemektedir (Luckow & Delahunty, 2004).

Probiyotik ve meyve bazlı içecekler söz konusu olduğunda hardaliden başlamak oldukça mantıklıdır. Hardaliye, kırmızı üzüm veya üzüm suyunun, ezilmiş hardal tohumları ve benzoik asit ilavesiyle doğal fermantasyonundan üretilen laktik fermente bir içecektir. Türkiye’de Trakya bölgesinde iyi bilinen ve yaygın olarak tüketilen bir ürün olup geçmişte eski çağlara dek uzanmaktadır. Fermantasyon sürecinde hardal tohumunun eterik yağlarının mayaları etkilediği ve nihai ürüne lezzet verdiği belirtilmektedir. İçekte bulunan başlıca laktik asit bakterileri *Lactobacillus paracasei subsp. paracasei*, *Lactobacillus casei subsp. pseudoplantarum*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus pontis*, *Lactobacillus acetotolerans*, *Lactobacillus sanfransisco* ve *Lactobacillus vaccinostrercus* olarak ifade edilebilir. Bu karakterizasyon ve tanımlama işlemi, pastörize veya steril süzölmüş üzüm suları kullanılarak hardaliye üretimi için uygun suşların seçilmesine olanak sağlamıştır (Arıcı & Coşkun, 2001).

Probiyotik gıda alanında nispeten yeni-süt ürünü olmayan probiyotik içeceklerin sayısı gündün güne artmaktadır. Malt, organik yulaf, mısır, pirinç, yonca tohumu, inci arpa, keten tohumu, maş fasulyesi, çavdar tanesi, buğday, darı gibi tahıllar ile fasulye gibi baklagillerin laktik asit bakterileri ve mayalar kullanılarak simbiyotik fermantasyonu neticesinde geliştirilmiş bir ürün olan “Grainfields Wholegrain Liquid” bu anlamda yeni örnekler arasında yer almaktadır. Ana matriste süt içermeyen hammaddenin fermantasyonunda kullanılan başlıca mikroorganizmalar *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus delbreukii*, *Saccharomyces boulardii* ve *Saccharomyces cerevisiae* şeklinde belirtilebilir (Superfoods, 2006).



Aromatik bitkiler başta olmak üzere genel olarak bitkilerin tümünün fermantasyon sürecinde hammadde olarak kullanılabilirdiği “Vita Bios” yine laktik asit bakterileri ve mayaların simbiyotik fermantasyonu neticesinde geliştirilen ve şeker içermeyen fermente bir içecektir. Laktik asit bakterileri ve dolayısıyla laktik asit fermantasyonu neticesinde son ürünün nihai pH değeri 3.5 gibi düşük değerlere kadar inebilmektedir. Söz konusu düşük pH fermente ürünü bozulmaya sebep olabilecek veya tüketicinin hastalanmasına sebep olabilecek zararlı bakterilerin gelişimine karşı korumaktadır. Karbondioksit içerdiği de belirlenen ürünün antioksidan madde içeriği açısından da zengin bir profile sahip olduğu rahatlıkla söylenebilir. Bu içeceğe mevcut popüleritesini kazandıran en önemli özelliği ise sindirim sisteminde mevcut olan ancak çeşitli sebeplerle bozulmuş olan doğal dengenin geri kazanılmasında hızlı ve aktif bir rol üstlenmesi olmuştur. Üretilen nihai fermente içecek sahip olduğu düşük pH değeri ile zararlı mikroorganizmaların gelişimine karşı doğal bir bariyere sahipken aynı zamanda metabolizmada yararlı bakterilerin çoğalmasına da destek olup sağlıklı sindirim sistemi florasının oluşumu ve/veya geri kazanımı için iyi bir zemin hazırlamaktadır (Superfoods, 2006).

Süt veya süt bileşenleri içermeyen ilk probiyotik gıda “Proviva”dır. 1994 yılında İsveç’te Skane Dairy (İsveç) tarafından piyasaya sürülen bu gıda, yulaf ezmesinin laktik asit bakterileri ile fermente edilmesi neticesinde üretilmiş tahıl bazlı laktik fermente bir üründür. Fermantasyonda *Lactobacillus plantarum* kullanıldığı ve son ürünün sıvılaşmasını artırmak için az miktarda malt kullanıldığı belirtilmektedir (Molin, 2001).

Meyveli fermente bir içecek olan ve *Lactobacillus rhamnosus* (GG)’un fermente ettiği “Gefilus”, 1997 yılında geliştirilmiş olup buzdolabı şartlarında 5 haftalık bir raf ömrüne sahiptir (Leporanta, 2005). Yakın tarihlerde geliştirilmiş olan “Bioprofit”in fermantasyon sürecinde ise *Lactobacillus rhamnosus* GG ile birlikte *Propionibacterium freudenreichii* ssp. *shermanii* JS kullanıldığı belirtilmiştir (Daniells, 2006). İsveç’te Bioagaia tarafından geliştirilen ve *Lactobacillus reuteri* MM53 ile fermente edilmiş probiyotik meyve suyu içeceği olduğu bilinmektedir. Meyve suyu bazlı probiyotik içeceklerin gelecek yıllarda giderek daha önemli bir kategori haline geleceği öngörülmektedir (Dairy Industries International, 2004).

## PROBİYOTİK İÇECEKLERİN GELECEĞİNE İLİŞKİN VİZYON ÖNGÖRÜLERİ

Yararlı bakterilerin damgasını vuracağı bir sonraki gıda kategorisinin içecekler olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle soğutulmuş meyve suları, şişelenmiş su veya fermente sebze sularının fermente içecek konusunda



yıldızı parlayacak muhtemel adaylar olduğunu düşünmek için pek çok geçerli sebep bulunmaktadır. Probiyotik mikroorganizmalar günümüzde gelişen üretim teknolojilerinin de yardımıyla artık doğrudan içeceklere dahil edilebilmektedir. Bu ikinci nesil probiyotik içecekler için özel anahtar “Doğrudan Sıvı Aşılama (Direct Liquid Inoculation)” sistemi olup bu sistem probiyotik mikroorganizmaların doğrudan bitmiş ürüne eklenmesine olanak tanımaktadır. Tetra Pak’ın aseptik dolun makinesi (Flex Dos), nihai ürün ambalaja doldurulmadan önce probiyotik bakterilerin ambalaj materyali olan kutuya eklenmesine müsaade etmektedir. Nihai ürün içeriğinin hassas olması ve çeşitli kontaminasyon riskleri bir arada değerlendirildiğinde Flex Dos, probiyotik içecek pazarını gerek hacim olarak gerek ürün çeşitliliği olarak önemli ölçüde geliştirecek bir teknoloji şeklinde değerlendirilmektedir (Chr Hansen, 2006).

Meyve sularının asidik yapıya sahip olması sebebiyle meyve sularına probiyotik mikroorganizma eklemek ve doğrudan fermente bir ürün geliştirmek görece zor bir süreçtir. Çünkü meyve suyunun asidik yapısı zararlı mikroorganizmaların gelişimini engellediği gibi yararlı bakteri olan fermente ürün geliştirilmesi aşamasında başlatıcı kültür olan probiyotik suşların da gelişimini engelleyecektir. Bu aşamada mikroenkapsülasyon teknolojisinin ulaştığı seviye ile probiyotik mikroorganizmalar fonksiyonel gıdaların önemli bir bileşeni haline gelebilir. Mikroenkapsülasyon teknolojileri bakteri hücrelerini dış ortamın sebep olacağı muhtemel tehdit ve risk unsurlarına karşı korumak adına çeşitli yardımcı matrisler aracılığıyla geliştirilmiş ve günümüzde başarıyla uygulanmaya başlamış bir teknolojidir (Del Piano vd., 2006). Mikroenkapsülleme probiyotik bakterileri uygun koruyucu bir kaplama materyali ile dış çevreden ayırmaktadır. Bifidobakter ve Laktobasillere karşı jelatin, bitkisel gam maddeleri kullanılarak mikroenkapsülleme uygulamalarının başarılı sonuçlar verdiği belirtilmektedir (Chandramouli vd., 2004).

Yeni bir ürün geliştirme süreci hem çalışılan ürünle ilgili hem de hedef kitle müşteriler hakkında ayrıntılı bilgi gerektirmektedir. Ürün geliştirme sürecine dahil olan fonksiyonel disiplinler arasında bilgi yönetiminin eksik kalması ve müşteri taleplerinin doğru yönetilememesi neticesinde uluslararası pazarda geliştirilmiş ancak başarıya ulaşamamış pek çok fonksiyonel gıda ve içecek bulunmaktadır (Bogue & Sorenson, 2006). Probiyotik ürünlerin başarısı tüketicilerin sağlığı üzerine içerdiği olumlu etkileriyle birlikte duyuşsal olarak tüketiciye ne kadar hitap ettiğiyle de doğrudan ilgilidir (Yoon vd., 2006). Bu noktada fermente probiyotik içeceğin vaad ettiği sağlık faydalarını gerçekten sağladığının kontrol mercileri tarafından denetlenmesi önemlidir. Giderek daha rekabetçi bir hal alan gıda pazarında fonksiyonel yiyecek ve

içecek üreticilerinin önemli bir pazarlama aracı olarak nihai üründe gıdaların ne kadar işlevsel hale geldiğini kullanacağı öngörülmektedir (Sorenson & Bogue, 2005).

## SONUÇ

Gıda matrislerinin bazı yapısal özelliklerini değiştirebilecek teknolojik gelişmeler onları probiyotik kültürler için ideal substratlar haline getirmeyi mümkün kılmıştır. Gerek tahıllar gerekse meyve sebzeler çeşitli mineraller, vitaminler, antioksidan bileşenler, diyet lifleri gibi sağlık üzerine olumlu etkilerde bulunabilecek bileşenler açısından halihazırda zengin durumdadır. Ek olarak bazı tüketiciler için alerjik reaksiyonlara sebebiyet verebilecek süt proteinleri ve laktoz gibi süt bileşenlerini de içermemektedir. Günümüz probiyotik gıda pazarında bulunan probiyotik ürünler ağırlıklı olarak süt bazlıdır; bununla birlikte, tüketici vejetaryenliğindeki artış ve kolesterol içermeyen probiyotiklere olan talep, bilim insanlarını ve araştırmacıları, özellikle sebze ve meyve suları olmak üzere probiyotikler için aracı olabilecek yeni matris arayışına ve keşfine teşvik etmiştir. Bu noktada alternatif olarak yönelim tahıl taneleri ile meyve ve sebze sularına olmuştur. Tahıl taneleri, dünyanın her yerindeki insanlar için önemli bir protein, karbonhidrat, vitamin, mineral ve lif kaynağı olmakla birlikte sindirilemeyen karbonhidrat kaynağı olarak da kullanılabilirler. Sindirilemeyen karbonhidrat bileşeni özellikle kolonda bulunan Bifidobakteriler gibi suşlar üzerine gelişimi destekleyici etkiye sahiptir ve tam da bu nedenle prebiyotik görevi görmektedir. Sebze ve meyvelerin, fitokimyasallar da dahil olmak üzere çok çeşitli antioksidan bileşenleri içerdiği bildirilmektedir. Fenolik bileşikler gibi fitokimyasalların, oksidatif stresi azaltarak ve makromoleküler oksidasyonu inhibe edip bu sayede dejeneratif hastalık riskini azaltarak tüketici sağlığı üzerine yararlı olduğu değerlendirilmektedir. Süt probiyotikleri için sağlıklı bir alternatif olarak hizmet ettikleri, kolesterol içermedikleri ve ayrıca laktoza karşı toleranssız tüketiciler tarafından da tercih edilip tüketilebildikleri için, probiyotiklerle birlikte süt bazlı olmayan fonksiyonel içeceklerin geliştirilmesine gerçek bir ilgi vardır.

## KAYNAKÇA

- Aiba, Y., Suzuki, N., Kabir, A. M. A., Takagi, A., & Koga, Y. (1998). Lactic acid-mediated suppression of *Helicobacter pylori* by the oral administration of *Lactobacillus salivarius* as probiotic in a gnotobiotic murine model. *American Journal of Gastroenterology*, 93, 2097–2101.
- Angelov, A., Gotcheva, V., Kuncheva, R., & Hristozova, T. (2006). Development of a new oat-based probiotic drink. *International Journal of Food Microbiology*, 112, 75–80.
- Arici, M., & Coskun, F. (2001). Hardaliye: Fermented grape juice as a traditional Turkish beverage. *Food Microbiology*, 18, 417–421.
- Aso, Y., Akazan, H., Kotake, T., Tsukamoto, T., Imai, K., & Naito, S. (1995). Preventive effect of a *Lactobacillus casei* preparation on the recurrence of superficial bladder cancer in a double-blind trial. *European Urology*, 27, 104–109.
- Balamurugan, R., Mary, R. R., Chittaranjan, S., Jancy, H., Devi, R. S., & Ramakrishna, B. S. (2010). Low levels of faecal lactobacilli in women with iron-deficiency anaemia in south India. *British journal of nutrition*, 104(7), 931-934.
- Batish, V. K., & Grover, S. (2004). Fermented milk products. In A. Pandey (Ed.), *Concise encyclopedia of bioresource technology* (pp. 201–209). USA: The Haworth Press.
- Blandino, A., Al-Aseeri, M. E., Pandiella, S. S., Cantero, D., & Webb, C. (2003). Cereal-based fermented foods and beverages. *Food Research International*, 36, 527–543.
- Chandramouli, V., Kailasapathy, K., Peiris, P., & Jones, M. (2004). An improved method of microencapsulation and its evaluation to protect *Lactobacillus* spp. in simulated gastric conditions. *Journal of Microbiological Methods*, 56, 27–35.
- Chou, C. C., & Hou, J. W. (2000). Growth of bifidobacteria in soymilk and survival in the fermented soymilk drink during storage. *International Journal of Food Microbiology*, 56, 113–121.
- Chr Hansen. (2006). Probiotics – Products – Beverages. Available at [www.chr-hansen.com](http://www.chr-hansen.com) (accessed 20 June 2006).
- Collins, J. K., Thornton, G., & O’Sullivan, G. O. (1998). Selection of probiotic strains for human applications. *International Dairy Journal*, 8, 487–490.
- Dairy Industries International. (2004). *Drinking to health* (Vol. 69, p. 14).
- Daliri, E. B. M., & Lee, B. H. (2015). Current trends and future perspectives on functional foods and nutraceuticals. *Beneficial microorganisms in food and nutraceuticals*, 221-244.

- Daniells, S. (2006). Valio continues research into probiotic fruit juices (14/04/2006). Nutraingredients. Available at [www.nutraingredients.com](http://www.nutraingredients.com) (accessed in 28 February 2007).
- Del Piano, M., Morelli, L., Strozzi, G. P., Allesina, S., Barba, M., Deidda, F., et al. (2006). Probiotics: From research to consumer. *Digestive and Liver Diseases*, 38(Suppl. 2), S248–S255.
- FAO/WHO. (2001). Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. Cordoba, Argentina: Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization Expert Consultation Report.
- Gadaga, T. H., Mutukumira, A. N., Narvhus, J. A., & Feresu, S. B. (1999). A review of traditional fermented foods and beverages of Zimbabwe. *International Journal of Food Microbiology*, 53, 1–11.
- Gorbach, S. (2002). Probiotics in the third millennium. *Digestive and Liver Disease*, 34, S2–S7.
- Granato, D., Branco, G. F., Nazzaro, F., Cruz, A. G., & Faria, J. A. (2010). Functional foods and nondairy probiotic food development: trends, concepts, and products. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 9(3), 292–302.
- Guandalini, S., Pensabene, L., Zikri, M. A., Dias, J. A., Casali, L. G., Hoekstra, H., et al. (2000). *Lactobacillus* GG administered in oral rehydration solution to children with acute diarrhoea: A multicenter European trial. *Journal of Pediatric and Gastroenterology Nutrition*, 30, 54–60.
- Guarino, A., Berni, C. R., Spagnuolo, M. I., Albano, F., & Di Benedetto, L. (1997). Oral bacterial therapy reduces the duration of symptoms and of viral excretion in children with mild diarrhoea. *Journal of Pediatric and Gastroenterology Nutrition*, 25, 516–519.
- Guarner, F., & Schaafsma, G. J. (1998). Probiotics. *International Journal of Food Microbiology*, 39, 237–238.
- Heenan, C. N., Adams, M. C., Hosken, R. W., & Fleet, G. H. (2004). Survival and sensory acceptability of probiotic microorganisms in a nonfermented frozen vegetarian dessert. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 37, 461–466.
- Hilliam, M. (2000). Functional food. How big is the market? *The World of Food Ingredients*, 12, 50–53.
- Hilliam, M. (2003). Future for dairy products and ingredients in the functional foods market. *Australian Journal of Dairy Technology*, 58(2), 98.
- Hosada, M., Hashimoto, H., He, D., Morita, H., & Hosono, A. (1996). Effect of administration of milk fermented with *Lactobacillus acidophilus* LA-2 on faecal mutagenicity and microflora in human intestine. *Journal of Dairy Science*, 79, 745–749.

- Isolauri, E., Arvola, T., Sutas, Y., Moilanen, E., & Salminen, S. (2000). Probiotics in the management of atopic eczema. *Clinical and Experimental Allergy*, 30, 1604–1610.
- Leporanta, K. (2005). Probiotics for juice-based products – Case Valio GefilusO. International sales, May 23, 2005. Available at [www.valio.fi](http://www.valio.fi) (accessed in 05 January 2007).
- Luckow, T., & Delahunty, C. (2004). Which juice is ‘healthier’? A consumer study of probiotic non-dairy juice drinks. *Food Quality and Preference*, 15, 751–759.
- Majamaa, H., Isolauri, E., Saxelin, M., & Vesikari, T. (1995). Lactic acid bacteria in the treatment of acute rotavirus gastroenteritis. *Journal of Pediatric and Gastroenterology Nutrition*, 20, 333–338.
- Martins, E. M. F., Ramos, A. M., Vanzela, E. S. L., Stringheta, P. C., de Oliveira Pinto, C. L., & Martins, J. M. (2013). Products of vegetable origin: A new alternative for the consumption of probiotic bacteria. *Food Research International*, 51(2), 764–770.
- Michail, S., Sylvester, F., Fuchs, G., & Issenman, R. (2006). Clinical efficacy of probiotics: review of the evidence with focus on children. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition*, 43(4), 550–557.
- Midolo, P. D., Lambert, J. R., Hull, R., Luo, F., & Grayson, M. L. (1995). In vitro inhibition of *Helicobacter pylori* NCTC 11637 by organic acids and lactic acid bacteria. *Journal of Applied Bacteriology*, 79, 475–479.
- Molin, G. (2001). Probiotics in foods not containing milk or milk constituents, with special reference to *Lactobacillus plantarum* 299v. *American Journal of Clinical Nutrition*, 73(Suppl.), 380S–385S.
- Muianja, C. M. B. K., Narvhus, J. A., Treimo, J., & Langsrud, T. (2003). Isolation, characterisation and identification of lactic acid bacteria from bushera: A Ugandan traditional fermented beverage. *International Journal of Food Microbiology*, 80, 201–210.
- Oatley, J. T., Rarick, M. D., Ji, G. E., & Linz, J. E. (2000). Binding of aflatoxin B1 to bifidobacteria in vitro. *Journal of Food Protection*, 63, 1133–1136.
- Panghal, A., Janghu, S., Virkar, K., Gat, Y., Kumar, V., & Chhikara, N. (2018). Potential non-dairy probiotic products—A healthy approach. *Food bioscience*, 21, 80–89.
- Perricone, M., Bevilacqua, A., Altieri, C., Sinigaglia, M., & Corbo, M. R. (2015). Challenges for the production of probiotic fruit juices. *Beverages*, 1(2), 95–103.
- Reid, G. (2006). Safe and efficacious probiotics: What are they? *Trends in Microbiology*, 14, 348–352.

- Reid, G., Beuerman, D., Heinemann, C., & Bruce, A. W. (2001b). Probiotic *Lactobacillus* dose required to restore and maintain a normal vaginal flora. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, 32, 37–41.
- Silveira, T. F. V. D., Vianna, C. M. D. M., & Mosegui, G. B. G. (2009). Brazilian legislation for functional foods and the interface with the legislation for other food and medicine classes: contradictions and omissions. *Physis: Revista de Saúde Coletiva*, 19, 1189-1202.
- Verschuren, P. M. (2002). Functional foods: scientific and global perspectives. *British Journal of Nutrition*, 88(S2), S126-S130.
- Sorenson, D., & Bogue, J. (2005). A conjoint-based approach to concept optimization: Probiotic beverages. *British Food Journal*, 107, 870–883.
- Stanton, C., Gardiner, G., Meehan, H., Collins, K., Fitzgerald, G., Lynch, P. B., & Ross, R. P. (2001). Market potential for probiotics. *American Journal of Clinical Nutrition*, 73(Suppl.), 476S–483S.
- Superfoods. (2006). Available at [www.livesuperfoods.com](http://www.livesuperfoods.com) (accessed in 11 July 2006).
- Suvarna, V. C., & Boby, V. U. (2005). Probiotics in human health: A current assessment. *Current science*, 88(11), 1744-1748.
- Tuorila, H., & Cardello, A. V. (2002). Consumer responses to an off-flavour in juice in the presence of specific health claims. *Food Quality and Preference*, 13, 561–569.
- Vasudha, S., & Mishra, H. N. (2013). Non dairy probiotic beverages. *International Food Research Journal*, 20(1), 7.
- Wacher, C., Casas, A., Barzana, E., Lappe, P., Ulloa, M., & Owens, J. D. (2000). Microbiology of Indian and Mestizo pozol fermentation. *Food Microbiology*, 17, 251–256.
- Weststrate, J. A., Van Poppel, G., & Verschuren, P. M. (2002). Functional foods, trends and future. *British Journal of Nutrition*, 88(S2), S233-S235.
- Yoon, K. Y., Woodams, E. E., & Hang, Y. D. (2006). Production of probiotic cabbage juice by lactic acid bacteria. *Bioresource Technology*, 97, 1427–1430.
- Ziemer, C. J., & Gibson, G. R. (1998). An overview of probiotics, prebiotics and symbiotics in the functional food concept: Perspectives and future strategies. *International Dairy Journal*, 8, 473–479.



# The Design of Mechanisms Via Artificial Intelligence

Onur Denizhan<sup>1</sup>

## Abstract

The engineering design is a very comprehensive term and required a number of different disciplines work together. There are many examples of engineering design studies and design of mechanisms is one of them. The design of mechanisms is one of the focused areas by mechanical engineering field and it includes kinematic synthesis, kinematic analysis, kinetics, dynamics, force and optimization of the mechanisms. The mechanisms can be complex; hence, additional help is needed in solution process. At that point, artificial intelligence (AI) of computer science is a really helpful for the mechanical engineers. Artificial intelligence field was found in 1956 and it is applicable to significant parts of the mechanism design. However, mechanical engineers cannot really apply artificial intelligence principles to mechanism design and as a result, design of mechanisms via AI became an interdisciplinary engineering studies between mechanical engineering and computer engineering. In this chapter of the book, mechanism design with artificial intelligence is focused and some sample applications are shown.

## 1. Introduction

The field of mechanical engineering includes a number of different disciplines such as heat transfer, material science, fluid mechanics or control. In addition to all of these disciplines, one of the main focus disciplines of mechanical engineering is the mechanisms. The mechanism design in mechanical engineering includes kinematics and kinetics investigation and optimization. In early mechanism design studies, optimization was not a part of the mechanism design; however, since mathematical computations can be done by computers easily, the optimization has started to be a main

---

<sup>1</sup> Department of Electronics and Automation, Batman University, Merkez, Batman, 72060, Turkey onur.denizhan@batman.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8380-9507



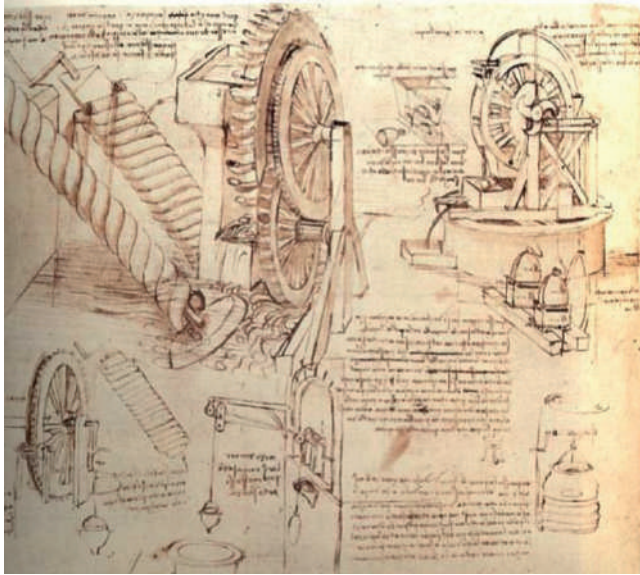
part of the mechanism design as well. Overall, the mechanism design includes forward and inverse kinematic analysis, kinematic synthesis, dynamics, force investigations and optimization based on optimization criteria.

The computer science (or computer engineering) is the study field of automation, information and computation theory, design and implementation of hardware and software. The artificial intelligence (AI) is the part of the computer science refers receiving, synthesizing/analyzing and inferring information which is given by the machines. The academic field of artificial intelligence was founded in the Dartmouth Conference in 1956 [1]. Although it was found in 1956, it is widely used in different areas such as social intelligence, philosophy of mind, robotics, mechanical engineering, electrical engineering or software development.

In this chapter of the book, combination of mechanism design of mechanical engineering and artificial intelligence of computer science is focused. Since artificial intelligence is a cross-disciplinary field, this chapter focuses how artificial intelligence experts and mechanism designers help each other to solve mechanism design problems. Especially in academia, researchers in computer science and mechanical engineering work together to design needed machines for humanity.

## **2. Mechanism Design in Mechanical Engineering**

As mentioned earlier, the mechanism design is one of the main study areas in mechanical engineering field and it has a long history. For instance, Leonardo da Vinci designed some mechanisms in 15<sup>th</sup> century or Franz Reulaeux, who is one of the artist-engineer in 19<sup>th</sup> century, has significant works on mechanism design [2]. One of the famous Leonardo da Vinci drawing of mechanisms is lifting water mechanism and it is shown in Fig. 1. As seen in Fig. 1, the lifting machine design only includes some basic drawings of the mechanism from different views of the machine and some notes about it.



*Figure 1. Leonardo da Vinci, Drawing and Illustrations, 1481 [15]*

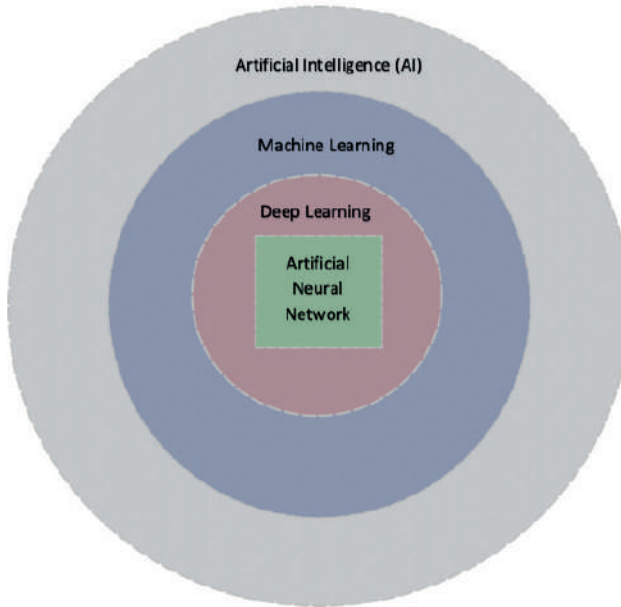
Early studies in mechanism design includes only drawing mechanism links and some basic calculations. The graphical methods were used in kinematic analysis and synthesis of the mechanisms until 1954. The first analytical approach of kinematic analysis of the four-bar mechanism is introduced by F. Freudenstein in 1954 [3] and; therefore, Ferdinand Freudenstein of Columbia University is known as “Father of Modern Kinematics”. Since that time, a number of academic researches on kinematic analysis and synthesis has done by researchers by using this analytical approach.

In the mechanism design, first, kinematic analysis and synthesis are carried out. Then, kinetic analysis of the mechanism is investigated if it is a design requirement. Lastly, optimization investigation is done based on optimization criteria. The optimization criteria depend on design goal such as it can be minimizing force, optimizing link length or optimizing mechanism weight. Overall, these steps are required steps for complete the mechanism design. Multi-objective function can be an option for the optimization if there is more than one design goal.

### **3. Artificial Intelligence in Computer Science**

Artificial intelligence is a very comprehensive term in computer science field because it refers machine learning, deep learning, artificial neural networks or reinforcement learning etc. All of these terms relate each other and

relation of these terms are shown in Fig.2. The artificial intelligence methods are widely used in different applications such as computer vision, speech recognition, natural language processing, face recognition, robotics and autonomous vehicle control, consumer services, control of logistic systems chains, economics, psychological study of human behavior, neuroscience, medical diagnosis systems for patients, organizational behavior, the study of educational practices, the study of evolution etc.



*Figure 2. Artificial intelligence, machine learning, deep learning and artificial neural networks*

Artificial neural network is the main architecture of the artificial intelligence and working principle of it is inspired by human brain. Working principles of neural network architecture is developed by researches in computer science based on neuron organization in human brain. There are many different training algorithms and training is the most important part of the neural network learning [4]. Indeed, artificial neural network is a kind of the optimization because weights of the network corrected during training. In the mechanism design, the artificial neural networks can create a model, predict unknown parameters, make classification based on data. Especially, complex mechanism designs can be done easily by using artificial neural networks methods.

#### **4. Combination of Mechanism Design and Artificial Intelligence**

Since computers are widely used and advanced software for computation is developed, the complex mechanism design process has become popular in 21<sup>st</sup> century. Instead of optimization or after optimization part of the mechanism design, the artificial intelligence methods are used for prediction of unknown design situations such as finding 3-position synthesis of mechanism and predict other 300-position synthesis via artificial intelligence methods. In fact, 300-position synthesis of the mechanism is almost impossible to calculate via traditional kinematic analysis methods but it is possible via artificial intelligence methods. Deep learning is one of the used artificial neural network methods in mechanism design [5]. There are a number of deep learning studies for mechanism design and some of them are mentioned in 4.1. By using deep learning methods, different predictions can be investigated.

At that point, the problem for mechanism designers is how to write algorithms on software or how to apply artificial intelligence methods to mechanism design problems. Since artificial intelligence has a number of methods, algorithms and principles, a mechanism designer cannot be an expert in artificial intelligence study field. Hence, experts in computer science are needed for the mechanism design. For instance, let's assume that a robotic hand is needed to design. For robotic hand design, a researcher from mechanical engineering field is needed to design and optimize physical hand. Another researcher from electrical engineering field is needed to design control part of the physical hand. In addition to people from mechanical and electrical engineering, a researcher from computer engineering field is needed to design artificial intelligence part of the physical hand.

##### **4.1. Examples of the Mechanism Design via Artificial Intelligence**

There are a plenty number of studies which use artificial intelligence methods for the mechanism design in mechanical engineering such as artificial neural networks, deep learning principles or reinforcement learning principles. In this part of the chapter, some of the sample examples is introduced:

Reinforcement learning is one of the methods in artificial intelligence area and it is presented as one of the kinematic synthesis solution method by Vermeer etc. [6]. In this article “trial-and-error interactions with a dynamic environment” method of reinforcement learning is reported for kinematic synthesis problem and several mechanisms are investigated to show

reinforcement learning method's efficiency. In this solution approach of reinforcement learning, the prior data is not required and system learns from reward signals received after each experienced data point. As an example, in this article, 300 prescribed positions of the input link are solved for the mechanism kinematic synthesis.

The forward and inverse kinematic analysis of the planar and spatial mechanism can be done by using artificial neural network (ANN) methods. Demang-Jig type crane mechanism kinematic analysis by using artificial neural network method is presented by Yildirim and Uzmay [7]. In this study, a Radial Basis Neural Network (RBNN) is applied to crane mechanism for its kinematic analysis. This crane is a type of double-rocker four-bar mechanism and kinematic parameters are predicted by artificial neural network. According to the results in this study, RBNN can be used for different types of the crane system. Another study presents that solution of forward and inverse kinematics of the 3-DOF planar robotic manipulator by using the Denavit-Hartenberg (D-H) model. [8]. Additionally, the same 3-DOF planar robotic manipulator is solved by using artificial neural network and results show that artificial neural network has faster and acceptable solution with without any error. In this study, Feed Forward neural network is used for inverse and forward kinematic analysis by using MATLAB toolbox.

The following research articles also combine artificial neural networks and the inverse and forward kinematic analysis of the different mechanisms: An inverse kinematic problem of the three degree of freedom manipulator is introduced by Jack etc. [9] and it is solved by using neural networks method. Another kinematic analysis of the series-parallel manipulator (2 (6-UPS)) is introduced by Ghanbari and Rahmani [10] and is solved by using two different neural network methods: Multi-layer perceptron network and radial basis function network. A forward kinematic analysis solution of the 6-3 Stewart Platform Mechanism (SPM) by using backpropagation method of the neural network is presented by Yurt etc [11]. A forward kinematic analysis of the hexapod with screw pairs is solved by Zhukov etc [12] by using neural networks. Another hexa parallel robot forward kinematic problem is introduced by Dehghani etc [13] and solved by using neural network. A neural network-based solution of an inverse kinematic problem of the large degree of freedom manipulator is presented by Dash [14].

The design of mechanism is one of the main study fields in mechanical engineering and the artificial intelligence methods are widely used in the

mechanism design process. However, for the combination of artificial intelligence and mechanism design, researchers in mechanical engineering and computer sciences work together. As a result, engineering design is an interdisciplinary engineering field and the design of mechanism and artificial intelligence combination is one of the examples of interdisciplinary engineering fields.

## References

- [1] A. Kaplan, *Artificial Intelligence, Business and Civilization Our Fate Made in Machines*. 1<sup>st</sup> ed. Routledge: 2022.
- [2] F. C. Moon, *The Machines of Leonardo Da Vinci and Franz Reuleaux: Kinematics of machines from the Renaissance to the 20<sup>th</sup> Century*, (History of Mechanism and Machine Science, 2), 1<sup>st</sup> ed. Springer: 2007.
- [3] F. Freudenstein, "An analytical approach to the design of four-link mechanisms," *Trans. ASME*, vol. 76, pp. 483-492. 1954.
- [4] E. Alpaydin, *Introduction to Machine Learning*, 2<sup>nd</sup> ed., The MIT Press: 2004.
- [5] N. J. Cronin. "Using deep neural networks for kinematic analysis: Challenges and opportunities," *Journal of Biomechanics*, vol. 123, 110060. 2021.
- [6] K. Vermeer, R. Kuppens and J. Herder, "Kinematic synthesis using reinforcement learning," in *Proceedings of the ASME 2018 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Volume 2A: 44th Design Automation Conference*. Quebec City, Quebec, Canada. August 26–29, 2018. V02AT03A009. ASME.
- [7] S. Yildirim and I. Uzmay, "Kinematic analysis of cranes using neural networks," in *Proceedings of 16<sup>th</sup> ISARC*, pp. 429-432, 1999.
- [8] J. Shah, S.S. Rattan and B.C. Nakra, "Kinematic analysis of a planer robot using artificial neural network," *International Journal of Robotics and Automation*, vol. 1, no. 3, pp. 145-151, 2012.
- [9] H. Jack, D. M. A. Lee, R. O. Buchal and W. H. Elmaraghy, "Neural networks and the inverse kinematics problem," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 4, pp. 43-66, 1993.
- [10] A. Ghanbari and A. Rahmani, "Neural network solutions for forward kinematic problem of hybrid serial-parallel manipulator," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 624, pp. 424-428. 2014.
- [11] S. N. Yurt, E. Anli and I. Ozkul, "Forward kinematics analysis of the 6-3 SPM by using neural networks," *Meccanica*, vol. 42, pp. 187-196. 2007.
- [12] Yu A. Zhukov, E. B. Korotkov, V. V. Zhukova and A. M. Abramov, "Neural network solution of the direct kinematics problem for a hexapod with ball-screw drives of legs," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 656 012061, 2019.
- [13] M. Dehghani, M. Ahmadi, A. Khayatian, M. Eghtesad and M. Farid, "Neural network solution for forward kinematics problem of HEXA parallel robot," *2008 American Control Conference*, Seattle, WA, USA, 2008, pp. 4214-4219

- [14] K.K. Dash, B.B. Choudhury, A.K. Khuntia and B.B. Biswal, "A neural network based inverse kinematic problem," *2011 IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems*, Trivandrum, India, 2011, pp. 471-476.
- [15] (2023) The Arthive Website [Online]. Available: [https://arthive.com/leonardodavinci/works/308194~Drawings\\_of\\_mechanisms\\_for\\_lifting\\_water](https://arthive.com/leonardodavinci/works/308194~Drawings_of_mechanisms_for_lifting_water)





# Investigation of the Effects of Different Cooling/ Lubrication Conditions and Cutting Parameters on Energy Consumption During Milling of Hybrid Aluminum Composites

Ünal Değirmenci<sup>1</sup>

## Abstract

In the developing technological world, energy consumption is increasing day by day. Reducing energy consumption on a sectoral basis is very important for sustainable resource use and the improvement of environmental health. The manufacturing sector is one of the sectors where energy consumption is intense. Therefore, even a small improvement in the energy consumption in the machining sector will significantly affect the overall energy consumption, costs, and environmental performance of production systems. Since hybrid aluminum metal matrix composites (AMMC) are difficult to process due to their complex microstructure, energy consumption values during processing are high. For this reason, it is important to determine the most appropriate values by examining the cutting parameters and cooling lubrication conditions during processing to reduce energy consumption. In this article, Al-Gr reinforced hybrid composites containing different proportions of WC and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforcements were produced. The focus is on the energy consumption when milling these composites under different cooling/lubrication conditions and different machinability parameters such as the dry, minimum amount of lubrication (MQL), and cryogenic-LN<sub>2</sub>. Taguchi statistical analysis was also used in the experiments. As a result, it was determined that the most effective parameter on the energy consumption values among the control parameters was the feed rate, with a contribution rate of 75.37%. In addition, for minimum energy consumption values, it was observed that the best cutting speed was 150 m/min, the best feed rate was 0.300 mm/rev, and the best cooling/lubrication medium was cryo-LN<sub>2</sub> cooling medium.

---

1 Dr. Öğr. Üyesi, Bingöl Üniversitesi e-mail: udegirmenci@bingol.edu.tr, 0000-0003-1480-2488

## 1. Introduction

Aluminum (Al) is widely used in many industrial areas due to its lightness, high corrosion resistance, remarkable mechanical strength, and thermal conductivity, as well as being the most common element in the earth's crust. However, pure Al alone cannot meet the required material properties due to today's challenging living conditions and technological developments [1, 2]. Therefore, studies on materials have shifted from pure Al to single or hybrid-reinforced Al-based composites [3, 4]. Obtaining AMMCs with superior properties on the addition of ceramics such as SiC (silicon carbide), B<sub>4</sub>C (Boron carbide), TiC (titanium carbide), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (aluminum oxide), and carbon base reinforcements such as carbon nanotube, graphene and graphite to the Al matrix possible [5-7]. Recently, studies on composite materials have shifted to hybrid MMCs [8, 9].

Although hybrid AMMCs have attractive and superior thermal, mechanical, electronic, and corrosion resistance properties, soft and hard regions are formed in the material. In addition, their microstructures become complex due to the different reinforcements they contain. Therefore, their machinability becomes more complicated [10-14]. Although hybrid AMMCs have attractive and superior thermal, mechanical, electronic, and corrosion resistance properties, soft and hard regions are formed in the material. In addition, their microstructures become complex due to the different reinforcements they contain. Therefore, their machinability becomes more complicated [15]. The most prominent parameters when examining the machinability of AMMCs are cutting speed, feed rate, depth of cut, and cooling/lubrication conditions. To obtain excellent machined surface quality, it is important to use a suitable cutting fluid and determine the optimum cutting parameters. In addition to being used to cool the tool and workpiece, cutting fluids reduce friction as a lubricant and help improve surface quality, reduce energy consumption, and extend tool life by removing chips from the cutting zone [16]. Conventional dry machining limits its application as high cutting forces and high temperatures occur [17, 18]. Therefore, it is important to use cooling/lubrication and choose the correct cooling/lubrication. On the other hand, using conventional coolant has disadvantages such as adversely affecting the operator's health, high cost, difficult waste liquid treatment, and severe environmental pollution [19]. Research has shifted towards new cooling and lubricating fluids to eliminate both the disadvantages of cutting fluids and the problems in dry machining. In this context, the minimum quantity of lubrication (MQL), pressure-assisted wet cutting, and cryogenic cooling are among the most interesting cooling/lubrication methods [20]. The MQL approach ensures very low

consumption of lubricants and effectively reduces cutting temperatures through the advanced nozzle and pressure oils [21]. In addition, it was stated that the tool-chip and tool-workpiece interfaces are better lubricated, and the chip is removed better with the pressure spray approach [22]. Cryogenic fluids such as MQL are also among the important cutting fluids. Liquefied gases such as liquid carbon dioxide ( $\text{LCO}_2$ ) [23], liquid nitrogen ( $\text{LN}_2$ ) [24], helium (He), and hydrogen ( $\text{H}_2$ ) are used as cryogenic cooling mediums. Cryogenic cooling systems effectively reduce cutting temperatures and provide a safe and inexpensive cooling environment [25]. It can also be easily prepared and stored at room temperature [26]. Liquefied gases such as  $\text{CO}_2$  (carbon dioxide),  $\text{N}_2$  (nitrogen),  $\text{H}_2$  (hydrogen), and He (helium) are used as refrigerant gas in cryogenic cooling systems [27]. Among these gases,  $\text{N}_2$  is frequently used. This is because nitrogen is abundant in nature and is an environmentally safe and clean gas. Thanks to all the aforementioned unique features, MQL and cryogenic cooling/lubrication systems are sustainable, effective, and environmentally friendly. They tend to reduce energy consumption because they provide green-cutting technology, which is why they are very popular today [27].

Machining performances such as surface roughness, tool wear, chip morphology, and cutting temperature are important when machining composite materials. In addition, reducing the amount of energy consumed during processing is very important [28]. Since electrical energy sources are predominantly produced from fossil fuels, electrical energy consumption in manufacturing increases carbon emissions to the atmosphere, albeit indirectly [29, 30]. When the share of the industrial sector in total energy consumption is examined, it is seen that it has a share of 30-40%. Manufacturing processes, on the other hand, constitute approximately 60% of the energy consumption in the industrial sector [31]. Therefore, the investigation of energy consumption for various manufacturing processes such as additive manufacturing [32, 33], injection molding [34], and metal forming with machining [35, 36] has become an important issue. Mechanical processing constitutes a large part of the manufacturing industry [37]. Energy efficiency in machining is generally very low. Ceramic-reinforced AMMCs are difficult to machine due to their complex microstructure. It, therefore, results in lower material removal rates in turning, milling, and grinding machining processes. This causes longer processing times and, thus, more energy consumption [38]. Reducing energy consumption in enterprises is of great importance to improve its effects on the environment and human health and achieve sustainable production.

The effects of cutting parameters on tool life and energy consumption should be investigated to minimize energy consumption during machinability and maximize cutting tool life [39]. However, although there are many studies on machining, there are not many studies on the environmental effects and energy consumption of machining processes [40]. This study investigated the energy consumption of a new hybrid AMMC reinforced with tungsten carbide (WC) and Aluminum oxide ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) in the machinability processes. Variation of energy consumption values under different cutting conditions such as cutting speed (150-225-300 m/min), feed rate (0.150-0.225-0.300 mm/rev), and different cooling lubricants (Dry, MQL, and cryo-LN<sub>2</sub>) analyzed using the statistical method.

## 2. Material production and Processing parameters

### 2.1. Composite material production

Machinability tests were carried out on single and hybrid reinforced Al-4Gr composites obtained by adding ceramic reinforcements such as WC and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in different proportions to the Al-4Gr matrix formed by adding Gr particles at a fixed rate (4%). To produce composite materials, powders with micron dimensions ( $\text{Al} \leq 40\text{-}70 \mu\text{m}$ ,  $\text{Gr} \leq 44 \mu\text{m}$ ,  $\text{WC} \leq 20 \mu\text{m}$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\text{-}70 \mu\text{m}$ ) and high purity ( $\geq 98$ ), It was dried in the oven and weighed in the desired weight ratios (2, 4 and 8%) on a scale with 1/1000 precision. Then it was mixed with the help of a mixer for 120 minutes, poured into molds, and sintered in a vacuum hot press machine (Zhengzhou Golden Highway, SMVB80, China). Finally, the sintering process was carried out in an Argon gas environment at 560 °C and 35 MPa pressure for 10 minutes to prevent oxidation. As a result of the sintering process, experimental samples of 40 mm length, 40 mm width, and 6 mm thickness were produced.

### 2.2. Machinability process

Machinability tests were carried out on the DAHLIH MCV-860 model CNC milling machine using AlTiN-coated ISO 13399 numbered cutting tools. Three different media, dry, MQL, and cryo-LN<sub>2</sub>, were used during machinability. Experiments were carried out by choosing fixed cutting depth (0.5 mm) and three different cutting speeds (150-225-300m/min) and feed rate (0.150-0.225-0.300 mm/rev) as variable parameters cutting parameters. The experiments were carried out using the Zig tool path and down milling.

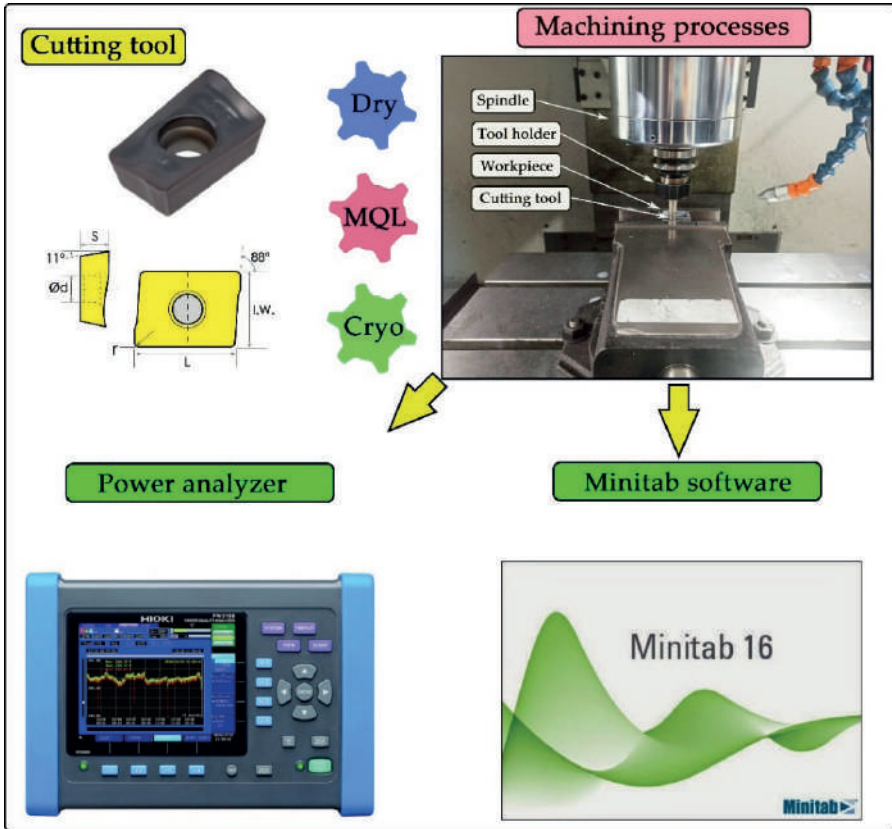


Figure 1. Experimental process diagram.

In the machinability experiments, liquid nitrogen ( $-196^\circ\text{C}$ ) stored in a 35-liter self-pressurized tank (Taylor Wharton LD-35) was used as cryogenic cooling. A two-meter-long steel vacuum hose conveys nitrogen from the tank to the cutting zone and prevents heat losses. A nozzle with a diameter of 5 mm is attached to the end of the hose. The nozzle was fixed at a  $40^\circ$  angle and 40 mm distance from the cutting zone, and cryo- $\text{LN}_2$  was sprayed at 8 bar pressure and 20 L/h flow rate. To make a correct comparison with the cryo- $\text{LN}_2$ , the MQL was applied to the cutting zone at a distance of 50 mm from the cutting zone with 8 bar compressor pressure, 50 mL/h liquid flow rate, and  $40^\circ$  spray angle. An example diagram of the experimental process is shown in Figure 1.

It is necessary to use a power analyzer to measure the energy/power consumption values of the input parameters in workability experiments. The HIOKI-PW3198 brand power analyzer is connected to the CNC milling machine as a power analyzer. A special power analyzer software calculates

the consumed energy and total cutting power. Power consumption values were obtained by calculating each of the 18 experiments.

### 2.3. Statistical Taguchi design

To minimize the amount of energy consumed during the processing of hybrid AMMCs, optimum cutting parameters must be determined. Since the number of variables is large, this can be accomplished with many experiments. For this reason, Taguchi  $L_{18}$  orthogonal array was used to reduce the number of experiments and to minimize the cost and time. The analysis of the sequence designed using Minitab 19 software was carried out. The milling parameters and levels used are shown in Table 1. The total number of experiments was reduced by statistical analysis. Using the results obtained in the designed experiments, the contribution ratios of the response parameters (shearing speed and feed rate, reinforcement ratio, and cooling/lubrication type) were calculated with the help of analysis of variance (ANOVA).

*Table 1. CNC milling parameters and levels [41].*

Milling parameters	Unit	Levels					
		1	2	3	4	5	6
A-MMC type	wt. %	Al-4Gr 1	Al-4Gr 2	Al-4Gr 3	Al-4Gr 4	Al-4Gr 5	Al-4Gr 6
B-Cooling conditions	-	Dry	MQL	Cryo	-	-	-
C-Cutting speed, ( $V_c$ )	m/min	150	225	300	-	-	-
D-Feed rate, (f)	mm/rev	0.150	0.225	0.300	-	-	-

The “smaller is better” option, where the smallest value is the best, was used to analyze the consumed energy consumption. The signal/Noise (S/N) value giving the smallest values was calculated with Eq (1).

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V^2) \right] \quad (1)$$

Here  $V_i$  is the response parameter (energy consumption),  $n$ ; is the repeating number for test conditions, and  $i$ ;  $n$  represents the repetition time. The experimental design showing the experimental numbers and factors according to the Taguchi  $L_{18}$  orthogonal array is given in Table 2.

*Table 2. Experimental design of Taguchi L18 orthogonal array [41].*

Experiment number	MMC Type (wt.%)	Cooling/ Lubricating	Cutting Speed (m/min)	Feed Rate (mm/rev)
1	1	Dry	150	0.150
2	1	MQL	225	0.225
3	1	Cryo	300	0.300
4	2	MQL	150	0.150
5	2	Cryo	225	0.225
6	2	Dry	300	0.300
7	3	Dry	150	0.225
8	3	MQL	225	0.300
9	3	Cryo	300	0.150
10	4	Cryo	150	0.300
11	4	Dry	225	0.150
12	4	MQL	300	0.225
13	5	Cryo	150	0.225
14	5	Dry	225	0.300
15	5	MQL	300	0.150
16	6	MQL	150	0.300
17	6	Cryo	225	0.150
18	6	Dry	300	0.225

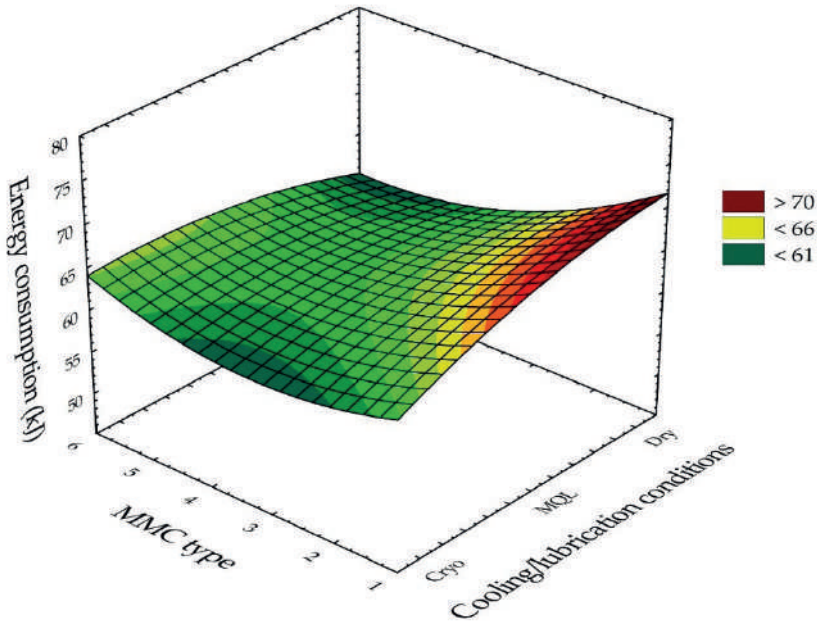
### 3. Results and discussion

#### 3.1. Examination of energy consumption values

With the increasing population and industrialization, energy needs are increasing daily [42]. Increasing energy consumption significantly reduces the sustainability of natural resources. This situation causes the depletion of fossil fuels such as oil and coal used in energy production. In addition, it accelerates the global warming process due to harmful gases released from these fuels [43]. For this reason, complex energy consumption systems must be used effectively and intelligently, both for the sustainability of natural resources and for the protection of the natural environment. Therefore, using the energy produced more efficiently and reducing the energy consumed is important [44]. For this reason, it is very important to measure energy consumption values and provide energy savings in the machining industry, where energy is used intensively [45]. Machining conditions and cutting



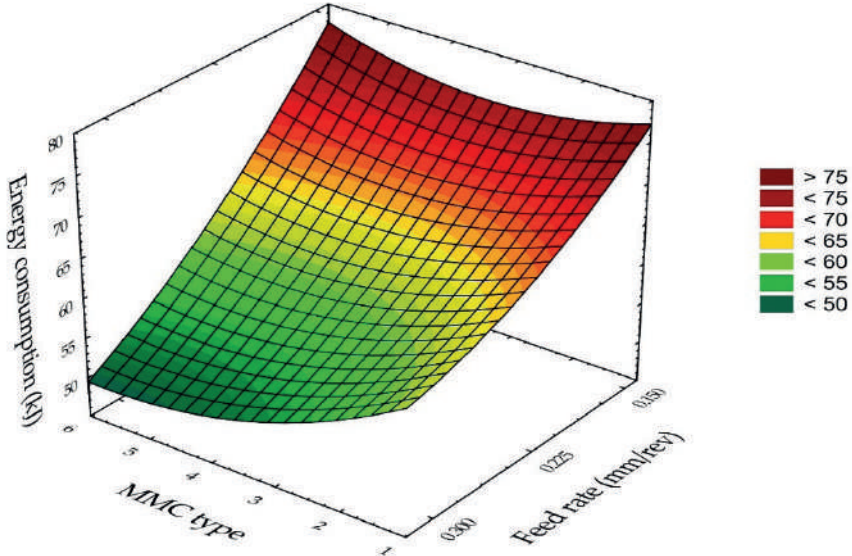
parameters used during machining should be investigated to reduce energy consumption values. Therefore, this study investigated the effects of three different cooling/lubrication conditions, such as dry, MQL, cryogenic, and cutting parameters, such as cutting speed and feed rate, on the amount of energy consumed. A three-dimensional surface graph showing the effects of reinforcement ratios and cooling/lubrication techniques on power consumption is shown in Figure 2.



*Figure 2. 3D surface drawings showing the effects of different cooling/lubrication conditions and composite types on energy consumption.*

When the 3D surface graphics given in Figure 2 are examined in terms of cooling/lubricating fluids, it is seen that the energy consumption values in machining with the MQL system are generally lower compared to dry machining. The lowest energy consumption during processing was realized in the Cryo LN<sub>2</sub> cooling system. The Cryo LN<sub>2</sub> offers the best cooling medium for CNC milling AMMC materials. This is because the cryo LN<sub>2</sub> hardens the tool material with its excellent cooling effect, facilitating the removal of chips from the workpiece. However, very high temperatures are reached during the cutting process due to the friction between the composite material and the cutting tool. These high temperatures are undesirable for both the workpiece and the cutting tool. High temperatures cause thermal

stress and cracks in the cutting tool [46]. As this makes the cutting process difficult, it increases both the wear of the tool and the energy consumption. However, it is seen that energy consumption can be reduced by using cryo LN2, by performing better cooling than dry and MQL processing.



*Figure 3. 3D surface drawings showing the effects of feed rate and composite type on energy consumption.*

When the feed rate given in Figure 3 and the energy consumption values depending on the composite type are examined, it is seen that the power consumption generally increases with the increase in the reinforcement ratio in the hybrid composite. Although the hardness and strength of the composite increase as the reinforcement ratio and reinforcement number increase, the irregularities in the microstructure due to the increase in the soft and hard structure transition make the machining process difficult [47]. This situation increases the amount of energy consumed during processing. When analyzed in terms of feed rate, energy consumption decreases as the amount of feed during cutting increases, and the lowest consumption was realized at 0.300 mm/revolution feed rate. The same is true for all composite types. At the same time, the increase in feed rate will also reduce the total processing time, thus indirectly reducing energy consumption. However, increasing the feed rate also increases the surface roughness, so it is important to determine the optimum feed rate by considering the surface quality and energy consumption values together.

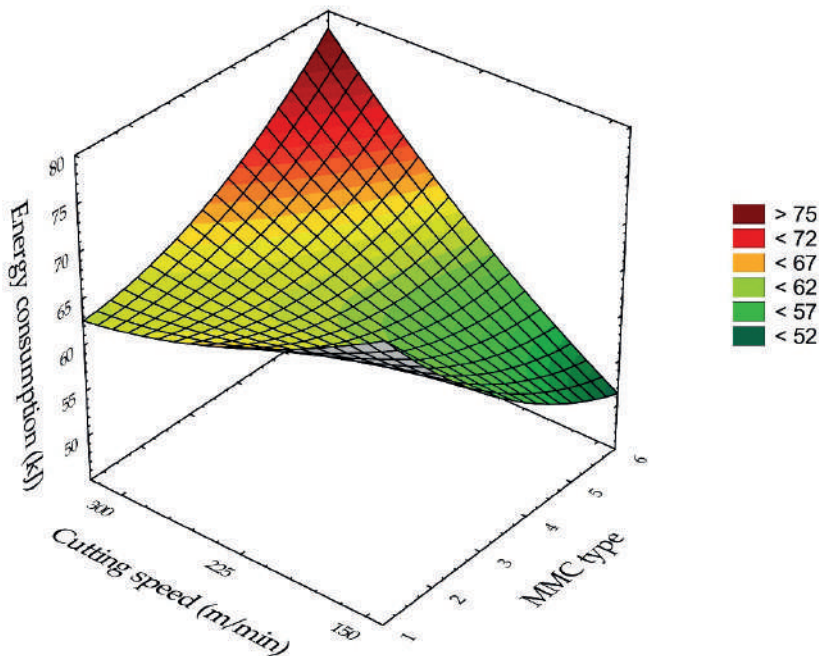


Figure 4. 3D surface drawings showing the effects of cutting speed and composite type on energy consumption.

Figure 4 shows the varying power consumption values depending on the cutting speed and the composite type. When the graph is examined in general, in the pure Al-4Gr structure, the increase in the cutting speed does not significantly affect the energy consumption, while the increase in the cutting speed in the processing of hybrid composite materials increases the energy consumption. However, although increasing the cutting speed increases the energy consumption in unit processing, it is possible to balance the total consumption by reducing the total time and improving the surface quality with increasing cutting speed. Therefore, instead of choosing a low or high cutting and feed rate, it is necessary to determine the optimum cutting and feed rate.

### 3.2. Taguchi analysis

Taguchi statistical analysis method was used to determine the optimum conditions required to minimize energy consumption during processing. The Taguchi method is a powerful tool that can provide simultaneous improvements in quality and cost by determining the most appropriate

response parameters. It aims to achieve this by conducting a minimum number of experiments while delivering the most suitable parameter. Therefore this method uses a series of orthogonal series [48]. In this study, the  $L_{18}$  orthogonal array of Taguchin was chosen. Signal-to-noise ratios (S/N) and control factors are the basis of the orthogonal array. Table 3 shows the experimental results of the energy consumption values, the predicted values of the statistical analyses, and the S/N ratios.

*Table 3. Test results of energy consumption values, estimated values, and S/N ratios*

Experiment no	Energy consumption (kJ)	Predict values (kJ)	S/N ratio for Energy consumption (dB)
1	72.27	76.73	-37.1792
2	71.74	67.23	-37.1152
3	61.35	61.41	-35.7563
4	76.01	73.1	-37.6174
5	56.66	61.2	-35.0655
6	61.23	59.6	-35.7393
7	61.6	60.21	-35.7916
8	51.88	54.29	-34.3000
9	76.22	75.2	-37.6414
10	49.68	47.76	-33.9236
11	70.5	70.39	-36.9638
12	61.38	63.4	-35.7605
13	59.12	58.93	-35.4347
14	55.7	54.84	-34.9171
15	77.1	78.15	-37.7411
16	49.72	51.66	-33.9306
17	71.53	70.06	-37.0898
18	65.37	64.9	-36.3076

S/N main effect graphs of input parameters such as composite type, cutting speed, feed rate, and different cooling/lubrication techniques used in the study are given in Figure 5. If the S/N graphs are examined to determine the optimum energy consumption values depending on the input parameters, the best composite according to the reinforcement ratio is the hybrid composite number 4 containing 1% WC and  $Al_2O_3$  reinforcement. In general, it is seen that hybrid reinforced composites are better than single-reinforced composites, and power consumption values increase depending on the increase in reinforcement ratio. When cutting speed was examined, the lowest energy consumption was observed in processing with a cutting speed of 150 m/min. However, as the cutting speed increases, the energy

consumption values also increase. On the other hand, the opposite was accurate at the rate of progress. The power consumption values decreased in direct proportion to the increase in the forward speed. It was observed that the ideal value for the feed rate is 0.300 mm/rev. It is seen that the lowest power consumption among the cooling/lubrication options occurs in the cryogenic cooling environment.

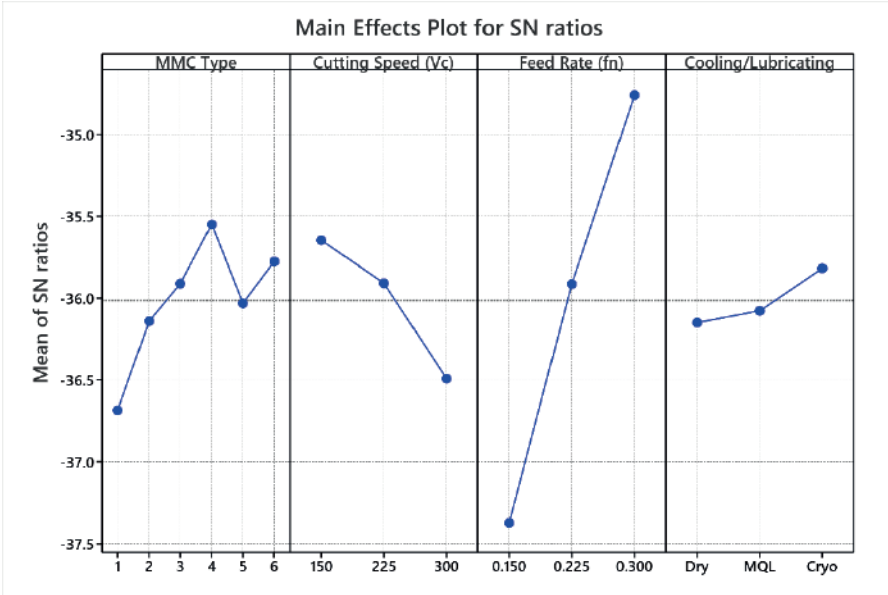


Figure 5. S/N ratios for different cutting environments and different cutting parameters of energy consumption.

### 3.3. Analysis of variance

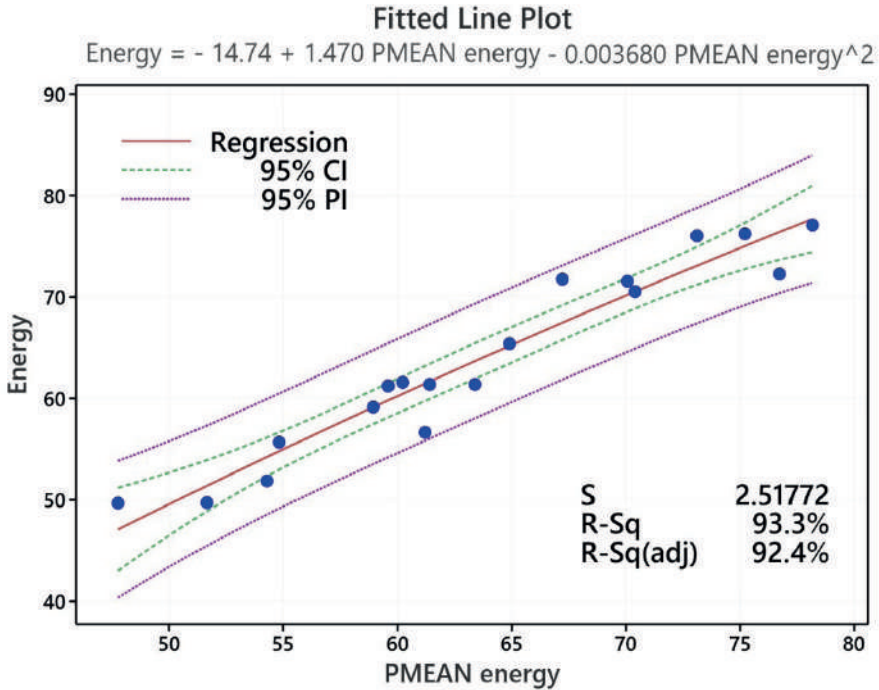
The contribution rates of all control factors in energy consumption and the statistically significant “F” and “P” values are given in Table 4. In this study, the ANOVA method, which provides linear modeling for evaluating the relationship between domains, was used to determine statistical significance and the contribution rates of control factors on the response parameter. For the analyses to be statistically significant, the “P” value of each factor must be less than 0.05, and the confidence level must be 95% or higher for the statistical estimates to be accurate [49]. When the results obtained in this study are examined, it is seen that the “P” values are less than 0.05, as they should be. The fact that “P” values are less than 0.05 shows that the analysis is statistically significant. “F” values are used to calculate control factors’ contribution to energy consumption. According

to the analysis results, the most effective factor in energy consumption is the rate of progression, with 75.37%. The next most effective control factor was MMC type and cutting speed, with 8.23%. Cooling/lubricating fluids have less effect.

*Table 4. ANOVA results of energy consumption values.*

Energy consumption	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Contribution rate (%)
MMC Type	5	2.2435	2.2435	0.4487	1.45	0.33	8.23
Cutting Speed (Vc)	2	2.2437	2.2437	1.1218	3.61	0.093	8.23
Feed Rate (fn)	2	20.546	20.546	10.273	33.09	0.001	<b>75.37</b>
Cooling/Lubricating	2	0.3639	0.3639	0.182	0.59	0.585	1.33
Residual Error	6	1.8626	1.8626	0.3104			6.83
Total	17	27.2598					100.00

The Taguchi method is an analysis method that changes a selected factor at different levels to determine the relationship between the response parameters of the control factors, keeps other factors constant, and estimates by repeating this process for each parameter. It is widely used in the manufacturing sector. It provides convenience in measuring the effect of input parameters and finding optimum values by reducing the number of experiments in cases where the experiments are difficult and expensive. Figure 6 shows the quadratic regression model graph with the experimental results for energy consumption to identify the relationships between the variables and to test whether there is a linear relationship between them.



*Figure 6. Quadratic regression model graph with experimental results for energy consumption*

In the regression analysis, four independent variables were used, namely, the number of reinforcements and reinforcement ratio, cutting speed, feed rate, cooling/lubrication environment, and energy consumption was chosen as the dependent variable. The energy consumption values required for milling hybrid aluminum composites were obtained with the analysis of variance and the regression equation (Eq 2) performed at a 95% confidence level. The comparison of the results estimated by ANOVA with the experimental energy consumption results for all samples is given in Figure 7. It was observed that the predicted values were realized with a high accuracy rate of 93.3%.

$$\text{Energy consumption} = -14,74 - 1,470 \times (\text{predict}) - 0.003680 \times (\text{predict})^2 \quad (2)$$



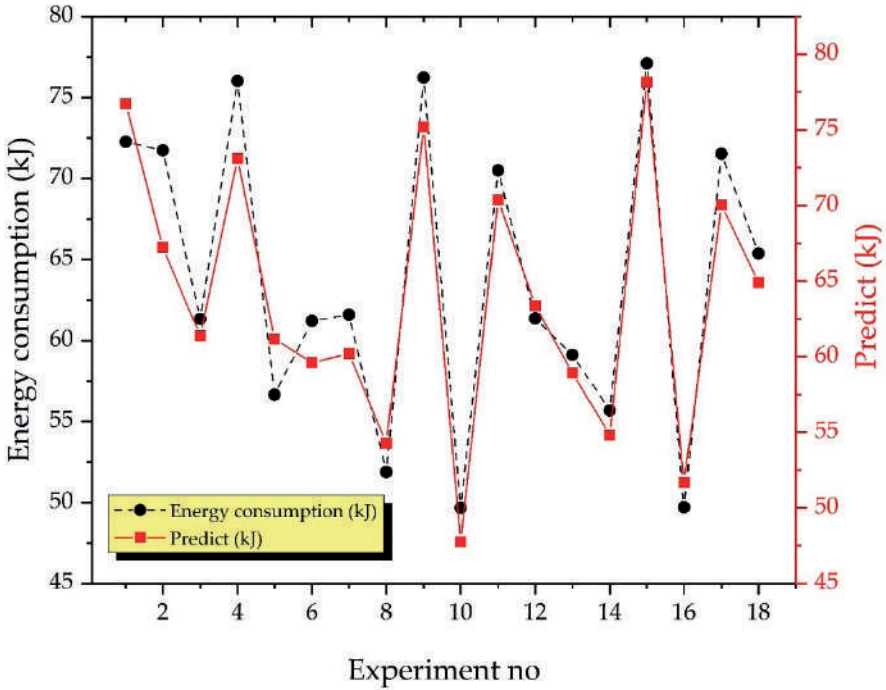


Figure 7. Comparison of experimental energy consumption results with predicted results

#### 4. Conclusions

This study investigated the energy consumed in milling hybrid Al composites reinforced with ceramic reinforcements such as WC and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in different ratios under different cutting speeds, feed rates, and cooling/lubrication conditions. In addition, the required energy consumption values during milling were evaluated using Taguchi and ANOVA statistical methods. As a result of the study, it was determined that the most effective parameter among the control factors on energy consumption values was the speed of progress, with 75.37%. In addition, the optimum values at which minimum energy consumption values are obtained are 1% WC and 1%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  reinforced composite, 150 m/min cutting speed, 0.300 mm/rev feed rate, and cryo- $\text{LN}_2$  cooling medium. Finally, it was seen that determining the ideal cutting parameters and cooling/lubrication conditions in the processing of composite materials is of great importance in minimizing environmental damage and energy consumption values.



**Kaynaklar**

- [1] N. Idusuyi, J.I. Olayinka, Dry sliding wear characteristics of aluminium metal matrix composites: a brief overview, *J. Mater. Res. Technol.*, 8 (2019) 3338-3346.
- [2] C. Fenghong, C. Chang, W. Zhenyu, T. Muthuramalingam, G. Anbuechhiyan, Effects of Silicon Carbide and Tungsten Carbide in Aluminium Metal Matrix Composites, *Silicon*, 11 (2019) 2625-2632.
- [3] J.M. Arenas, C. Alía, J.J. Narbón, R. Ocaña, C. González, Considerations for the industrial application of structural adhesive joints in the aluminium-composite material bonding, *Composites Part B: Engineering*, 44 (2013) 417-423.
- [4] B. Bülbül, M. Okumuş, Microstructure, hardness, thermal and wear behaviours in Al-10Ni/TiO<sub>2</sub> composites fabricated by mechanical alloying, *Mater. Chem. Phys.*, 281 (2022) 125908.
- [5] S. Hossain, M.D. Mamunur Rahman, D. Chawla, A. Kumar, P.P. Seth, P. Gupta, D. Kumar, R. Agrawal, A. Jamwal, Fabrication, microstructural and mechanical behavior of Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC hybrid metal matrix composites, *Mater. Today: Proc.*, 21 (2020) 1458-1461.
- [6] R. Kumar, J. Singh, S. Sharma, C. Li, G. Królczyk, S. Wojciechowski, Neutrosophic entropy-based ingenious measurement for fast fourier transforms based classification of process-parameters and wear resistance of friction-stir processed hybrid AA7075- B<sub>4</sub>C aluminium metal-matrix composites, *Journal of Materials Research and Technology*, 20 (2022) 720-739.
- [7] K.R. Padmavathi, R. Ramakrishnan, L. Karthikeyan, S. Tamizhselvan, S. Chezhan Babu, Comparison of the mechanical properties of micro/nano SiC/TiO<sub>2</sub> reinforced aluminium metal matrix composites, *Mater. Today: Proc.*, 72 (2023) 1996-2001.
- [8] K.R. Padmavathi, R. Ramakrishnan, Tribological Behaviour of Aluminium Hybrid Metal Matrix Composite, *Procedia Engineering*, 97 (2014) 660-667.
- [9] J. Singh, A. Chauhan, Characterization of hybrid aluminum matrix composites for advanced applications – A review, *Journal of Materials Research and Technology*, 5 (2016) 159-169.
- [10] R. Arokiadass, K. Palaniradja, N. Alagumoorthi, Surface roughness prediction model in end milling of Al/SiCp MMC by carbide tools, *International Journal of Engineering, Science Technology*, 3 (2011) 78-87.
- [11] A.K. Srivastava, A.R. Dixit, S. Tiwari, A review on the intensification of metal matrix composites and its nonconventional machining, *Science and Engineering of Composite Materials*, 25 (2018) 213-228.

- [12] S. Gopalakannan, T. Senthilvelan, EDM of cast Al/SiC metal matrix nanocomposites fabricated by ultrasonic cavitation method, *Int J Adv Manuf Technol*, 67 (2013) 3.
- [13] J. Li, R.A. Laghari, A review on machining and optimization of particle-reinforced metal matrix composites, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 100 (2019) 2929-2943.
- [14] F. Hakami, A. Pramanik, A.K. Basak, Tool wear and surface quality of metal matrix composites due to machining: A review, *Proc. Inst. Mech. Eng. B J. Eng. Manuf.*, 231 (2016) 739-752.
- [15] H.N. Li, J.P. Wang, C.Q. Wu, Y.J. Zhao, J. Xu, X. Liu, W.Q. Zhu, Damage behaviors of unidirectional CFRP in orthogonal cutting: A comparison between single- and multiple-pass strategies, *Compos. Part B-Eng.*, 185 (2020) 107774.
- [16] Ç.V. Yıldırım, T. Kıvık, F. Erzincanlı, Influence of Different Cooling Methods on Tool Life, Wear Mechanisms and Surface Roughness in the Milling of Nickel-Based Waspaloy with WC Tools, *Arab. J. Sc.i Eng.*, 44 (2019) 7979-7995.
- [17] F. Zou, J. Dang, X. Wang, H. Zhang, X. Sun, Q. An, M. Chen, Performance and mechanism evaluation during milling of CFRP laminates under cryogenic-based conditions, *Compos. Struct.*, 277 (2021) 114578.
- [18] Ç.V. Yıldırım, T. Kıvık, F. Erzincanlı, Influence of different cooling methods on tool life, wear mechanisms and surface roughness in the milling of nickel-based waspaloy with WC tools, *Arabian Journal for Science Engineering*, 44 (2019) 7979-7995.
- [19] C. Cai, X. Liang, Q. An, Z. Tao, W. Ming, M. Chen, Cooling/Lubrication Performance of Dry and Supercritical CO<sub>2</sub>-Based Minimum Quantity Lubrication in Peripheral Milling Ti-6Al-4V, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 8 (2021) 405-421.
- [20] M.K. Gupta, M. Mia, C.I. Pruncu, A.M. Khan, M.A. Rahman, M. Jamil, V.S. Sharma, Modeling and performance evaluation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub> and graphite nanoparticle-assisted MQL in turning titanium alloy: an intelligent approach, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42 (2020) 207.
- [21] M. Danish, M.K. Gupta, S. Rubaicee, A. Ahmed, M.E. Korkmaz, Influence of hybrid Cryo-MQL lubri-cooling strategy on the machining and tribological characteristics of Inconel 718, *Tribol. Int.*, 163 (2021) 107178.
- [22] A. ÇAKIR, AA 7075 Ve AA 2024 Alüminyum Malzemelerine Delik Delinmesinde Soğutma Yöntemlerinin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi, Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, 2015.

- [23] P. Shah, N. Khanna, Chetan, Comprehensive machining analysis to establish cryogenic LN2 and LCO2 as sustainable cooling and lubrication techniques, *Tribology International*, 148 (2020) 106314.
- [24] U. Koklu, S. Morkavuk, Cryogenic drilling of carbon fiber-reinforced composite (CFRP), *Surface Review Letters*, 26 (2019) 1950060.
- [25] M. Danish, M.K. Gupta, S. Rubaiee, A. Ahmed, M. Sarikaya, G.M. Krolczyk, Environmental, technological and economical aspects of cryogenic assisted hard machining operation of inconel 718: A step towards green manufacturing, *J. Clean. Prod.*, 337 (2022) 130483.
- [26] Y. Yuan, C. Wang, J. Yang, L. Zheng, X. Weiqiang, Performance of supercritical carbon dioxide (scCO<sub>2</sub>) mixed with oil-on-water (OoW) cooling in high-speed milling of 316L stainless steel, *Procedia CIRP*, 77 (2018) 391-396.
- [27] M.K. Gupta, M. Mia, G. Singh, D.Y. Pimenov, M. Sarikaya, V.S. Sharma, Hybrid cooling-lubrication strategies to improve surface topography and tool wear in sustainable turning of Al 7075-T6 alloy, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 101 (2019) 55-69.
- [28] M. Jamil, W. Zhao, N. He, M.K. Gupta, M. Sarikaya, A.M. Khan, S.M. R, S. Siengchin, D.Y. Pimenov, Sustainable milling of Ti-6Al-4V: A trade-off between energy efficiency, carbon emissions and machining characteristics under MQL and cryogenic environment, *J. Clean. Prod.*, 281 (2021) 125374.
- [29] V.A. Balogun, P.T. Mativenga, Modelling of direct energy requirements in mechanical machining processes, *Journal of Cleaner Production*, 41 (2013) 179-186.
- [30] J.R. Dufloy, J.W. Sutherland, D. Dornfeld, C. Herrmann, J. Jeswiet, S. Kara, M. Hauschild, K. Kellens, Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach, *CIRP Annals*, 61 (2012) 587-609.
- [31] G.Y. Zhao, Z.Y. Liu, Y. He, H.J. Cao, Y.B. Guo, Energy consumption in machining: Classification, prediction, and reduction strategy, *Energy*, 133 (2017) 142-157.
- [32] S. Rahimifard, Y. Seow, T. Childs, Minimising Embodied Product Energy to support energy efficient manufacturing, *CIRP Annals*, 59 (2010) 25-28.
- [33] W.R. Morrow, H. Qi, I. Kim, J. Mazumder, S.J. Skerlos, Environmental aspects of laser-based and conventional tool and die manufacturing, *Journal of Cleaner Production*, 15 (2007) 932-943.
- [34] W. Li, S. Kara, E. Qureshi, Characterising energy and eco-efficiency of injection moulding processes, *International Journal of Sustainable Engineering*, 8 (2015) 55-65.

- [35] G. Ingarao, R. Di Lorenzo, F. Micari, Sustainability issues in sheet metal forming processes: an overview, *Journal of Cleaner Production*, 19 (2011) 337-347.
- [36] G. Ingarao, G. Ambrogio, F. Gagliardi, R. Di Lorenzo, A sustainability point of view on sheet metal forming operations: material wasting and energy consumption in incremental forming and stamping processes, *Journal of Cleaner Production*, 29-30 (2012) 255-268.
- [37] G. Krolczyk, R. Maruda, J. Krolczyk, S. Wojciechowski, M. Mia, P. Nieslony, G. Budzik, Ecological trends in machining as a key factor in sustainable production—A review, *J. Clean. Prod.*, 218 (2019) 601-615.
- [38] R.K. Bhushan, Optimization of cutting parameters for minimizing power consumption and maximizing tool life during machining of Al alloy SiC particle composites, *J. Clean. Prod.*, 39 (2013) 242-254.
- [39] M. Subramanian, M. Sakthivel, K. Sooryaprakash, R. Sudhakaran, Optimization of Cutting Parameters for Cutting Force in Shoulder Milling of Al7075-T6 Using Response Surface Methodology and Genetic Algorithm, *Procedia Eng.*, 64 (2013) 690-700.
- [40] E. Salur, M. Kuntoğlu, A. Aslan, D.Y. Pimenov, The Effects of MQL and Dry Environments on Tool Wear, Cutting Temperature, and Power Consumption during End Milling of AISI 1040 Steel, *Metals*, 11 (2021) 1674.
- [41] Ü. Değirmenci, Ü.A. Usca, S. Şap, Machining characterization and optimization under different cooling/lubrication conditions of Al-4Gr hybrid composites fabricated by vacuum sintering, *Vacuum*, 208 (2023) 111741.
- [42] A. Kamal, S.G. Al-Ghamdi, M. Koç, Role of energy efficiency policies on energy consumption and CO2 emissions for building stock in Qatar, *Journal of Cleaner Production*, 235 (2019) 1409-1424.
- [43] X. Liu, X. Liu, X. Luo, H. Fu, M. Wang, L. Li, Impact of Different Policy Instruments on Diffusing Energy Consumption Monitoring Technology in Public Buildings: evidence from Xi'an, China, *Journal of Cleaner Production*, 251 (2020) 119693.
- [44] M.K. Gupta, Q. Song, Z. Liu, M. Sarikaya, M. Jamil, M. Mia, V. Kushva-ha, A.K. Singla, Z. Li, Ecological, economical and technological perspectives based sustainability assessment in hybrid-cooling assisted machining of Ti-6Al-4 V alloy, *SM&T*, 26 (2020) e00218.
- [45] P.S. Bilga, S. Singh, R. Kumar, Optimization of energy consumption response parameters for turning operation using Taguchi method, *J. Clean. Prod.*, 137 (2016) 1406-1417.

- [46] E. Şap, U.A. Usca, M.K. Gupta, M. Kuntoğlu, Tool wear and machinability investigations in dry turning of Cu/Mo-SiCp hybrid composites, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 114 (2021) 379-396.
- [47] S. Şap, M. Uzun, Ü.A. Usca, D.Y. Pimenov, K. Giasin, S. Wojciechowski, Investigation of machinability of Ti-B-SiCp reinforced Cu hybrid composites in dry turning, *J. Mater. Res. Technol.*, 18 (2022) 1474-1487.
- [48] A. Balaram Naik, A. Chennakeshava Reddy, Optimization of tensile strength in TIG welding using the Taguchi method and analysis of variance (ANOVA), *Thermal Science and Engineering Progress*, 8 (2018) 327-339.
- [49] E. Şap, Ü.A. Usca, M.K. Gupta, M. Kuntoğlu, M. Sarıkaya, D.Y. Pimenov, M. Mia, Parametric Optimization for Improving the Machining Process of Cu/Mo-SiCp Composites Produced by Powder Metallurgy, *Materials*, 14 (2021) 1921.

# Carbon nitride-based photocatalysts for hydrogen evolution: A review

Ceren Orak<sup>1</sup>

## Abstract

One of the fundamental needs is energy for life and various studies were carried out in search of green, sustainable, and renewable energy sources. Photocatalytic hydrogen evolution is a promising route for the conversion of solar energy to hydrogen energy and in this process, energy production and wastewater treatment could be achieved as concomitant. To achieve higher hydrogen evolution rates, various photocatalysts have been developed and graphitic carbon nitride-based (CN) photocatalysts are promising ones. In this chapter, the photocatalytic properties of pristine CN and element-doped CN and the effect of these properties on the evolution rates were briefly discussed and some related studies from the literature were summarized.

## 1. INTRODUCTION

Energy is one of the leading worldwide concerns; fossil fuels might not compensate for the world's energy needs since they are an exhaustible and limited resource. In addition, fossil fuels could cause some hazardous impacts on human and environmental health. Due to these reasons, the search for alternative energy resources that are renewable, sustainable, and clean has recently gained great attention. Additionally, the production method of energy from renewable sources should be a green route. In this context, hydrogen production via photocatalytic oxidation stands out because hydrogen could be produced by the direct conversion of solar energy into chemical energy at ambient conditions (Zhurenok et al., 2023; Prasad et al., 2020). In this process, there is a requirement for a photocatalyst and light source. In this context, the usage of solar-driven or visible-light-activated photocatalysts attracts particular interest instead of photocatalysts sensitive

---

1 Sivas University of Science and Technology, Department of Chemical Engineering, 58000, Sivas, Turkey, [cerenorak@sivas.edu.tr](mailto:cerenorak@sivas.edu.tr), ORCID ID: 0000-0001-8864-5943

to UV light because UV light comprises only 4% of the sunlight spectrum while visible light composes  $\sim 43\%$  (Zhang et al., 2010). Besides, solar-driven photocatalysts have low band gap energy and thus, they can absorb light at high levels.

Recently, graphitic carbon nitride ( $g\text{-C}_3\text{N}_4$ ) -abbreviated as CN in this chapter- which is a polymeric semiconductor has attracted extensive attention. Figure 1 shows the number of published articles found using “ $g\text{-C}_3\text{N}_4$  photocatalytic hydrogen production” as a keyword in Elsevier for the last nine years and it is clearly seen that interest in photocatalytic hydrogen production using CN has rose year by year.

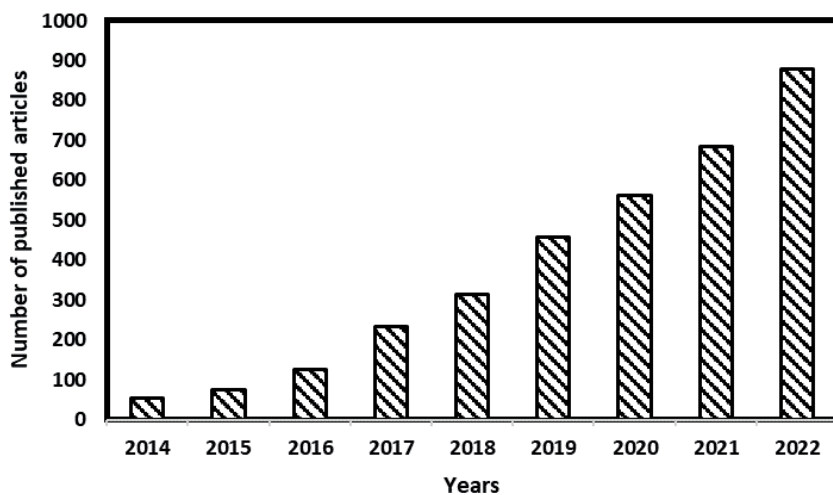


Figure 1. (a) Number published articles based on years in Elsevier using “ $g\text{-C}_3\text{N}_4$  photocatalytic hydrogen production” as a keyword since 2014

CN has a low band gap energy (2.7 eV) and  $E_{\text{CB}}$  and  $E_{\text{VB}}$  of CN were -1.13 eV and 1.57, respectively. Overall water splitting could be achieved when the conduction band-edge potential of the used photocatalyst is more negative than the reduction potential of water to evolve hydrogen and the top of its valence band must be more positive than the oxidation potential of water to produce oxygen. Therefore, CN enables to produce the hydrogen from water (Shaomang Wang et al., 2014; Zhurenok et al., 2023; Zhang et al., 2010). However, hydrogen may evolve in lower amounts when solely water is used so the production efficiency could enhance with the addition of a sacrificial agent (i.e., methanol, TeOA, etc.) (Zarkadoulas et al., 2015; Naga Mahesh et al., 2016). Furthermore, the usage of wastewater streams instead of water or electron donor-containing water provides some benefits.

The remediation of wastewater streams and hydrogen evolution could be achieved as concomitant. In addition, the presence of organic compounds in wastewater streams could reduce the electron donor cost.

This chapter focuses on the modification of CN to improve hydrogen evolution efficiency. In this context, the studies related to pristine CN and element-doped CN for hydrogen evolution from water and/or wastewater streams via photocatalytic oxidation were summarized and the effect of element doping over the evolved hydrogen amounts was discussed.

## **2. STUDIES ON PRISTINE AND MODIFIED CN FOR HYDROGEN EVOLUTION**

CN has thermal stability as well as photochemical stability and it is generally synthesized using nitrogen-rich precursors (i.e., cyanamide, urea, dicyandiamide, melamine, etc.) by thermal condensation. Pristine CN has generally low specific surface area and small active sites on the surface of CN for (photo)reactions. Although it is sensible to visible light, it could insufficiently absorb the visible light and the fast recombination of photoinduced electron–hole pairs causes low efficiency, and hence, some methods -copolymerization, elemental doping, and texture modification- were employed to enhance its photocatalytic activity (Cao et al., 2014; Xing et al., 2021; Wen et al., 2017). In this section, some related studies on photocatalytic hydrogen evolution in the presence of pristine CN and element-doped CNs were summarized.

### **2.1. Pristine CN for hydrogen evolution**

Pristine CN has slow surface reaction kinetics and low charge mobility as well as a high electron–hole recombination rate and low surface area. In addition, it has small active sites and the active sites of CN have great importance on the hydrogen evolution efficiency. The active sites of CN could be affected by improvement technologies, CN synthesis methods, and the location of active sites on the surface of CN. Some studies related to hydrogen evolution using pristine CN in different forms -nanorods (nr), nanosheets (ns), and microspheres (ms)- were summarized in Table 1.



*Table 1. A brief summary of improved active*

CN type	Improvement route	Synthesis method	Active sites of CN	Evolved H <sub>2</sub>	References
Microsphere	Increase specific surface area	Hard template	Edges	5785 $\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$	(Liu et al., 2018)
Nanorods	Increase specific surface area	Supramolecular assembly	Edges, nitrogen defects	118.5 $\mu\text{mol h}^{-1}$	(Jiang et al., 2019)
Nanosheets	Increase specific surface area	Thermal treatment	Edges, defective sites	1233.5 $\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$	(Su et al., 2018)

The most important factor that affects the photocatalytic activity of CN is morphology because of the stacked bulk structure of conventional CN that had only a few active sites. The active sites of a photocatalyst are generally located at the edge, kinks, unsaturated steps, terraces, and/or corner atoms and thus, the morphology of CN has a great influence on the photocatalytic efficiency of CN. The conventional CN has hydrogen bonds in its frameworks and interlayer force becomes highly stable to be destroyed. To overcome these drawbacks, the surface morphology of CN could be changed by increasing the specific surface area of CN, and hence, the contact area between the reactive substrate and CN augments and additional edges might appear. Therefore, active sites on the surface of CN increase.

## 2.2. Element-doped CN for hydrogen evolution

In order to enhance the charge separation efficiency of CN and to obtain higher recombination of charges, CN could be doped with non-metals and metals. In addition, light absorption could be efficiently achieved and thus, the hydrogen evolution rates could enhance. In this section, the studies related to heteroatoms such as boron (B) and carbon (C) doped CN for hydrogen evolution via photocatalytic oxidation were summarized.

### 2.2.1. Boron doping

The most commonly used B source to incorporate in CN structure is boric acid since its decomposition temperature and volatilization of water occur in the same temperature interval and it helps to obtain a porous structure. B could easily introduce into the CN structure because of the electron-deficient

nature of B; however, agglomeration, and a decrease in pore volume and size could be observed due to higher amounts of B (Patnaik et al., 2021).

Wang et al. synthesized B-doped CN quantum dots (BCNQDs) using the molten salts strategy and in this study, melamine and boron oxide were used as precursors. BCNQDs were incorporated on the surface of CN, forming a heterojunction. Almost  $7 \mu\text{molh}^{-1}$  of  $\text{H}_2$  evolved from TEOA-containing water using the pristine CN whereas approximately  $70 \mu\text{molh}^{-1}$  of  $\text{H}_2$  was produced in the presence of BCNQDs doped CN. Therefore, obtained hydrogen amount increased ten times and it could be concluded that the photocatalytic (Wang et al., 2019). Additionally, B-doped CN was synthesized using boric as a B source. The BET surface area of B-doped CN was  $143.2 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$  and  $3800 \mu\text{molg}^{-1}\text{h}^{-1}$  of hydrogen was obtained in the presence of this photocatalyst (Kamal Hussien et al., 2022).

Chen et al. proposed a low-cost and energy-saving synthesis route for B-doped CN using melamine, urea, and boric acid as precursors. the interlayer gallery distance increased because N and C atoms were replaced with B atoms and due to the incorporation of B, the band gap energy of B-doped CN slightly shifted compared to pristine CN. Using this photocatalyst,  $1439 \mu\text{molg}^{-1}\text{h}^{-1}$  of hydrogen was evolved and this value is about 2.3 times higher than the evolved hydrogen amount in the presence of pristine CN. Furthermore, B-doped CN showed high stability as well as recyclability property (Chen et al., 2018).

Thaweesak et al. synthesized a new type of yellow spongy B doped (precursor: ammoniotrihydroborate) CN (precursor: dicyanamide) nanosheet by one-pot thermal polycondensation for hydrogen production via photocatalytic oxidation. This photocatalyst showed a 12 times higher hydrogen evolution rate compared to pristine CN and  $1880 \mu\text{molg}^{-1}\text{h}^{-1}$  of hydrogen was evolved using this B-doped CN photocatalyst. In addition, it has good high stability as well as recyclability property (Thaweesak et al., 2017).

Boron has electron-deficient property and thanks to this property, the electron-hole pairs on the surface of B-doped CN can be effectively separated. Hence, a main requirement of photo redox reaction was achieved. By doping CN with B, an electron-rich atom was replaced with an electron-deficient atom and it accelerated the electron channelization in CN, and also, vacant-p-orbitals formed for electron delocalization. In addition, the usage of boric acid as a doping agent provides to obtain a porous structure.

### 2.2.2. Carbon doping

C-doped CN was synthesized using chitosan (as a C source) and melamine by copolymerization and results showed that N atoms were replaced by C atoms. Therefore, the delocalization of  $\pi$  bonds cause an increase in the visible light absorption efficiency and C-doped CN showed lower recombination rates. Due to these reasons, the photocatalytic activity of CN was enhanced by doping C and Liu et al. reported that  $1224 \mu\text{molg}^{-1}\text{h}^{-1}$  of hydrogen was evolved using C-doped CN. In addition, Au nanoparticles were uniformly distributed on the surface of C-doped CN and by the incorporation of Au nanoparticles hydrogen evolution rate increased three times compared to C-doped CN (Liu et al., 2021).

### 2.2.3. Sulphur doping

S-doped CN was widely used for hydrogen evolution. In this context, various S sources such as thiourea, benzyl disulfide, and thioacetamide were used; however, most commonly thiourea was preferred since it is a low-cost and easily accessible chemical. During the S doping, mostly the location of N atoms in the structure of CN replaces with S atoms and hence, the surface area increases, and a considerable decrease in band gap energy could be achieved because of the interaction of 3p states of S with 2p states of N. Incorporation of S into the CN structure, VB and CB potential could change and a band gap energy could be lowered. Therefore, the hydrogen evolution efficiency could enhance. Hong et al. used S-doped mesoporous CN to produce hydrogen by photocatalytic oxidation and they reported that the addition of S caused an increase in the surface area of the photocatalyst. The pristine CN had  $12.8 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$  of surface area while the S-doped CN has  $128.4 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ . S-doped mesoporous CN acts as a good photocatalyst to perform the evolution of  $\text{H}_2$  via water reduction with a very high quantum efficiency (5.8%) at 440 nm.  $\text{H}_2$  evolution rate in the presence of S-doped mesoporous CN was found to be 30 times higher as compared to pristine CN (Hong et al., 2012). In another study, melamine was used as a precursor to synthesize CN and it was doped with S. Using this photocatalyst,  $24.6 \mu\text{molh}^{-1}$  of hydrogen was evolved by water splitting (Lin et al., 2020). Consequently, using S-doped CN, solar energy could be converted into hydrogen energy. In addition, the introduction of S into the CN structure causes mesoporosity and due to this property, the photocatalytic activity of S-doped CN was higher than pristine CN.

### 2.2.4. Phosphorus doping

The optical and electronic properties of CN could be altered by the incorporation of P-atom into the graphitized network of CN. When P is

introduced into the CN network, it can form a chemical bond with the neighboring N and C-atoms and result in planar coordination, and thus, the photocatalytic efficiency of CN enhances. Conductivity and capability of transfer could enhance by strengthening the active sites with lone pairs of electrons. P-doped CN was generally prepared via in-situ thermal copolymerization and in this process, an N-rich precursor for the formation of CN network and a P-containing compound (i.e., melamine phosphate, phosphorous acid, ammonium hexafluorophosphate, phosphoric acid, etc.) as the precursor for interstitial or substitutional P doing depending on the P source were used to synthesize P doped CN (Zhu et al., 2015; Fang et al., 2018; Yang et al., 2018).

For instance; phosphonic acid as a P source could be used to obtain homogeneous and substantial P-doping CN. If organo-phosphonic acid and melamine were used as precursors, cross-linking could be achieved due to the existence of acid-base interaction between phosphonic groups and amino groups of the triazine unit. In addition, throughout the polycondensation, P could directly alter the electronic and textural features resulting in obtaining a promising photocatalyst for hydrogen production. Throughout the thermal treatment, the precursors (organo-phosphonic acid and melamine) undergo polymerization and decomposition as contaminants and obtain homogeneous and substantial P-doping CN forms due to the higher thermal stability of the P source. Obtained P-doped CN had a porous structure and it provides an increase in charge separation and the number of active sites. On the other hand, it causes a considerable decrease in particle size as well as interlayer separation. P atom is relatively bigger compared to C and N atoms and due to its atom size, graphitic CN could be converted into CN nanosheets. Consequently, P-doped CN nanoflowers could form due to the self-assembly effect. Mesoporosity could form due to the solubility difference of organo-phosphonic acid in water and ethylene glycol.

Zhu et al. synthesized flower-like P-doped mesoporous CN and they reported that band gap energy reduced by the introduction of P into CN. It could be deduced that P atoms and CN set up a good electronic integration to absorb visible light efficiently and to favor charge transport. Additionally, the electron-hole recombination rate decreased while electron channelization in P-doped CN increased. These altered features create a route to produce hydrogen in higher amounts. Whereas evolved hydrogen amount was  $11.2 \mu\text{molh}^{-1}$  using pristine CN, it was obtained as  $104.1 \mu\text{molh}^{-1}$  in the presence of P-doped CN due to the reduction in the diffusion distance. Additionally, P-doped CN showed high stability and durability for a long time (more than

16 h) so it became a good candidate for practical applications (Zhu et al., 2015).

Yang et al. prepared a flower-like (FL) porous P (precursor: phosphoric acid)-doped CN (precursor: cyanuric acid-melamine) via thermal condensation which is a low-cost, template-free route. Owing to the enhanced light absorption efficiency, the hydrogen evolution rate was  $256.4 \mu\text{molh}^{-1}$  using FL porous P doped CN and it is approximately 24 times higher than the hydrogen evolution rate in the presence of pristine CN (Yang et al., 2018).

Phosphoric acid provides two benefits that are being a dopant and stabilization of P-doped CN. Fragmented P-doped CN nanoflakes (PCNNFs) were synthesized via thermal copolymerization followed by a post-treatment process comprises of ultrasonication and phacofragmented in water, freeze-dried thoroughly and again heating at high temperatures ( $600 \text{ }^\circ\text{C}$ ) using urea and phytic acid biomass that are precursors for CN and P, respectively. Based on the characterization study (XRD, SEM, TEM), it could be concluded that doping with phytic acid biomass improved the photocatalytic features of CN, and the BET area of PCNNFs was found as  $223.2 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ . Hydrogen evolution rate increased 62 times by using P doping CN instead of bare CN under light had longer wavelength ( $\lambda > 470 \text{ nm}$ ) irradiation and in addition, notable hydrogen evolution rate ( $15921 \mu\text{molg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) and quantum efficiency (6.74%) were obtained at  $420 \text{ nm}$  (Fang et al., 2018).

Guo et al. synthesized P-doped hexagonal CN (PCN) tubes by hydrothermal treatment of CN and phosphoric acid and the partial hydrolysis of precursors (melamine–cyanuric acid supramolecular) was subsequently achieved. The layered stacked structure of CN was responsible for the band gap decrease while doping P was responsible for the increase in surface area and conductivity. Owing to the increase in surface area, the number of active sites on the surface of P-doped CN has risen. In addition, the electron-hole recombination rate decreased thanks to P-doping. The structure of CN causes an increase in the chemical functionality and it became a good carrier material. The apparent quantum efficiency for PCN tubes was 5.68% at  $\lambda > 420 \text{ nm}$  using 1 wt. % Pt, which was approximately 7 times more than that of pristine CN. In addition, the evolved hydrogen rate was  $67 \mu\text{molg}^{-1}\text{h}^{-1}$  in the presence of PCN tubes (Guo et al., 2016).

P (source: sodium pyrophosphate) doped tubular CN (precursor: melamine) with surface C-defects was synthesized by Guo et al. In this study, supramolecular P-doped CN rods were synthesized via hydrothermal

treatment. Additionally, P-doped CN rods which had similar structures were synthesized using different P sources which are sodium phosphate, sodium hypophosphite, and ammonium phosphate to investigate the effect of the P source over hydrogen evolution. The peculiar structure of CN (C-defects and regulated C/N ratio) might enhance the photocatalytic hydrogen evolution rates. The highest hydrogen evolution ( $57 \mu\text{molg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) was observed in the presence of P-doped CN which was prepared using sodium pyrophosphate as a P source under visible light irradiation. It was referred to surface C-defects, hierarchical pore structure, high ratio of P-doping, reduced charge transfer distance, and increased surface area (Guo et al., 2017).

As a conclusion, the P source affects the P-doped CN network, and as P content increases, as photocatalytic activity increases owing to the surface area increase which is responsible for the adsorption/desorption of reactants. Substitutional and interstitial P doping could commonly provide using [Bmim]PF<sub>6</sub> and (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> as the P sources. If phosphoric acid was used as a P source, it not only stabilizes P-doped CN but also is a dopant. Additionally, if C atoms in CN are replaced with P atoms, there are extra electrons in the pi-conjugated triazine ring to incorporate some positively charged P dopants to form the defective band. It provides a fast charge separation and narrow band gap.

### 2.2.5. Oxygen doping

Doping with oxygen (O) does not affect the structure; however, it affects the morphological and textural properties. For instance; the addition of O into the CN structure causes a decrease in the band gap while it leads to an increase in surface area and light absorption ability. Thus, the photocatalytic hydrogen evolution could enhance (Qu et al., 2018). Doping with O might occur in two ways and one of them is the replacement of C or N atoms with O atoms and the other one is the insertion at the interstitial position. Doping with O cause an increase in hydrophilicity of the CN-based photocatalyst and thanks to this property, hydrophilic contaminants could be easily adsorbed on the surface of O-doped CN.

She et al. synthesized O-doped CN ultrathin nanosheets using bulk CN and oxidizing agents (sulfuric acid and nitric acid) by calcination (at room temperature) and subsequently chemical oxidation was performed and 2D porous O-doped CN was obtained. Owing to the addition of oxidizing agents into the CN network, various O-containing functional groups such as C-O, COOH, and C=O are incorporated, and hence, defect sites formed on CN. The interplanar distance was lowered and interaction between layers was

fortified by the addition of O in the CN structure since the electronegativity of O-atoms is higher than N-atom. O-doped CN had  $109.3 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$  of surface area and an increase in the surface area ensures the formation of the adequate number of active sites on the surface of CN. In addition, band gap energy reduced with O doping, and almost  $189.3 \mu\text{molh}^{-1}$  of hydrogen was evolved by the degradation of methyl orange via photocatalytic oxidation (She et al., 2016).

Oxygen (source: 1,3,5-trichlorotriazine) self-doped CN (precursor: dicyanamide) nanospheres were synthesized via the solvothermal process. The O source was used not only to adjust the crystal structure but also to dope the O atom into the CN network. In addition, the doping amount was controlled by adjustment of the dopant precursor amount. The hydrogen was evolved from the Rhodamine B-containing solution and  $3174 \mu\text{molg}^{-1}\text{h}^{-1}$  of  $\text{H}_2$  evolved using the synthesized O self-doped CN photocatalyst. The band gap energy varied between 2.09 and 2.73 eV depending on the amount of O source (Wei et al., 2018).

### 3. CONCLUSION

The efficient photocatalysts for hydrogen evolution via photocatalytic oxidation have still developed and in this chapter, CN-based photocatalysts for hydrogen evolution were briefly introduced. In the light of literature, it could be concluded that elemental (B, C, S, P, O) doping CN has lower band gap energy and low electron-hole recombination rate compared to pristine CN. In addition, the surface area of CN increased by doping with elements and the number of active sites on the surface of elemental-doped CN was more than the pristine one. These altered properties provide to obtain higher hydrogen evolution rates since the photocatalytic properties of CN enhanced with elemental doping. Consequently, the CN-based photocatalysts are promising for hydrogen evolution via photocatalytic oxidation.



## REFERENCES

- Cao, S., and Yu, J., G-C3N4-Based Photocatalysts for Hydrogen Generation, *Journal of Physical Chemistry Letters*, June 19, 2014.
- Chen, P., Xing, P., Chen, Z., Lin, H. and He, Y., Rapid and Energy-Efficient Preparation of Boron Doped g-C3N4 with Excellent Performance in Photocatalytic H<sub>2</sub>-Evolution, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. **43**, no. 43, pp. 19984–89, from <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.09.078>, 2018. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2018.09.078
- Fang, H. Bin, Zhang, X. H., Wu, J., Li, N., Zheng, Y. Z. and Tao, X., Fragmented Phosphorus-Doped Graphitic Carbon Nitride Nanoflakes with Broad Sub-Bandgap Absorption for Highly Efficient Visible-Light Photocatalytic Hydrogen Evolution, *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. **225**, pp. 397–405, June 5, 2018. DOI: 10.1016/j.apcatb.2017.11.080
- Guo, S., Deng, Z., Li, M., Jiang, B., Tian, C., Pan, Q. and Fu, H., Phosphorus-Doped Carbon Nitride Tubes with a Layered Micro-Nanostructure for Enhanced Visible-Light Photocatalytic Hydrogen Evolution, *Angewandte Chemie*, vol. **128**, no. 5, pp. 1862–66, January 26, 2016. DOI: 10.1002/ange.201508505
- Guo, S., Tang, Y., Xie, Y., Tian, C., Feng, Q., Zhou, W. and Jiang, B., P-Doped Tubular g-C3N4 with Surface Carbon Defects: Universal Synthesis and Enhanced Visible-Light Photocatalytic Hydrogen Production, *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. **218**, pp. 664–71, 2017. DOI: 10.1016/j.apcatb.2017.07.022
- Hong, J., Xia, X., Wang, Y. and Xu, R., Mesoporous Carbon Nitride with in Situ Sulfur Doping for Enhanced Photocatalytic Hydrogen Evolution from Water under Visible Light, *Journal of Materials Chemistry*, vol. **22**, no. 30, pp. 15006–12, 2012. DOI: 10.1039/c2jm32053c
- Jiang, L., Wang, K., Wu, X., Zhang, G. and Yin, S., Amorphous Bimetallic Cobalt Nickel Sulfide Cocatalysts for Significantly Boosting Photocatalytic Hydrogen Evolution Performance of Graphitic Carbon Nitride: Efficient Interfacial Charge Transfer, *ACS Applied Materials and Interfaces*, vol. **11**, no. 30, pp. 26898–908, 2019. DOI: 10.1021/acsami.9b07311
- Kamal Hussien, M., Sabbah, A., Qorbani, M., Hammad Elsayed, M., Raghu-nath, P., Lin, T. Y., Quadir, S., et al., Metal-Free Four-in-One Modification of g-C3N4 for Superior Photocatalytic CO<sub>2</sub> Reduction and H<sub>2</sub> Evolution, *Chemical Engineering Journal*, vol. **430**, February 15, 2022. DOI: 10.1016/j.cej.2021.132853
- Lin, Y. R., Dizon, G. V. C., Yamada, K., Liu, C. Y., Venault, A., Lin, H. Y., Yoshida, M. and Hu, C., Sulfur-Doped g-C3N4 Nanosheets for Photocatalysis: Z-Scheme Water Splitting and Decreased Biofouling, *Journal of*



- Colloid and Interface Science*, vol. **567**, pp. 202–12, from <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.02.017>, 2020. DOI: 10.1016/j.jcis.2020.02.017
- Liu, E., Lin, X., Hong, Y., Yang, L., Luo, B., Shi, W. and Shi, J., Rational Copolymerization Strategy Engineered C Self-Doped g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> for Efficient and Robust Solar Photocatalytic H<sub>2</sub> Evolution, *Renewable Energy*, vol. **178**, pp. 757–65, from <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.066>, 2021. DOI: 10.1016/j.renene.2021.06.066
- Liu, J. and Cheng, B., New Understanding of Photocatalytic Properties of Zigzag and Armchair G-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Nanotubes from Electronic Structures and Carrier Effective Mass, *Applied Surface Science*, vol. **430**, pp. 348–54, from <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.06.205>, 2018. DOI: 10.1016/j.apsusc.2017.06.205
- Naga Mahesh, K., Balaji, R. and Dhathathreyan, K. S., Palladium Nanoparticles as Hydrogen Evolution Reaction (HER) Electrocatalyst in Electrochemical Methanol Reformer, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. **41**, no. 1, pp. 46–51, January 5, 2016. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.09.110
- Patnaik, S., Sahoo, D. P. and Parida, K., Recent Advances in Anion Doped G-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Photocatalysts: A Review, *Carbon*, vol. **172**, pp. 682–711, from <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.10.073>, 2021. DOI: 10.1016/j.carbon.2020.10.073
- Prasad, C., Tang, H., Liu, Q., Bahadur, I., Karlapudi, S., and Jiang, Y., A Latest Overview on Photocatalytic Application of G-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Based Nanostructured Materials for Hydrogen Production, *International Journal of Hydrogen Energy*, January 1, 2020.
- Qu, X., Hu, S., Bai, J., Li, P., Lu, G. and Kang, X., A Facile Approach to Synthesize Oxygen Doped G-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> with Enhanced Visible Light Activity under Anoxic Conditions: Via Oxygen-Plasma Treatment, *New Journal of Chemistry*, vol. **42**, no. 7, pp. 4998–5004, 2018. DOI: 10.1039/c7nj04760f
- She, X., Liu, L., Ji, H., Mo, Z., Li, Y., Huang, L., Du, D., Xu, H. and Li, H., Template-Free Synthesis of 2D Porous Ultrathin Nonmetal-Doped g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Nanosheets with Highly Efficient Photocatalytic H<sub>2</sub> Evolution from Water under Visible Light, *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. **187**, pp. 144–53, June 15, 2016. DOI: 10.1016/j.apcatb.2015.12.046
- Su, J., Ge, R., Dong, Y., Hao, F. and Chen, L., Recent Progress in Single-Atom Electrocatalysts: Concept, Synthesis, and Applications in Clean Energy Conversion, *Journal of Materials Chemistry A*, vol. **6**, no. 29, pp. 14025–42, 2018. DOI: 10.1039/c8ta04064h
- Thaweesak, S., Wang, S., Lyu, M., Xiao, M., Peerakiatkhajohn, P. and Wang, L., Boron-Doped Graphitic Carbon Nitride Nanosheets for Enhanced Visible Light Photocatalytic Water Splitting, *Dalton Transactions*, vol. **46**, no. 32, pp. 10714–20, 2017. DOI: 10.1039/c7dt00933j

- Wang, S., Li, D., Sun, C., Yang, S., Guan, Y. and He, H., Synthesis and Characterization of G-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Ag<sub>3</sub>VO<sub>4</sub> Composites with Significantly Enhanced Visible-Light Photocatalytic Activity for Triphenylmethane Dye Degradation, *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. **144**, pp. 885–92, January 2014. DOI: 10.1016/j.apcatb.2013.08.008
- Wang, Y., Li, Y., Zhao, J., Wang, J. and Li, Z., G-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/B Doped g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Quantum Dots Heterojunction Photocatalysts for Hydrogen Evolution under Visible Light, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. **44**, no. 2, pp. 618–28, from <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.067>, 2019. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2018.11.067
- Wei, F., Liu, Y., Zhao, H., Ren, X., Liu, J., Hasan, T., Chen, L., Li, Y. and Su, B. L., Oxygen Self-Doped g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> with Tunable Electronic Band Structure for Unprecedentedly Enhanced Photocatalytic Performance, *Nanoscale*, vol. **10**, no. 9, pp. 4515–22, 2018. DOI: 10.1039/c7nr09660g
- Wen, J., Xie, J., Chen, X. and Li, X., A Review on G-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Based Photocatalysts, *Applied Surface Science*, vol. **391**, pp. 72–123, January 1, 2017. DOI: 10.1016/j.apsusc.2016.07.030
- Xing, Y., Wang, X., Hao, S., Zhang, X., Wang, X., Ma, W., Zhao, G., and Xu, X., Recent Advances in the Improvement of G-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Based Photocatalytic Materials, *Chinese Chemical Letters*, January 1, 2021.
- Yang, H., Zhou, Y., Wang, Y., Hu, S., Wang, B., Liao, Q., Li, H., Bao, J., Ge, G. and Jia, S., Three-Dimensional Flower-like Phosphorus-Doped g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> with a High Surface Area for Visible-Light Photocatalytic Hydrogen Evolution, *Journal of Materials Chemistry A*, vol. **6**, no. 34, pp. 16485–94, 2018. DOI: 10.1039/c8ta05723k
- Zarkadoulas, A., Koutsouri, E., Kefalidi, C., and Mitsopoulou, C. A., Rhenium Complexes in Homogeneous Hydrogen Evolution, *Coordination Chemistry Reviews*, December 1, 2015.
- Zhang, Z., Wang, W., Yin, W., Shang, M., Wang, L. and Sun, S., Inducing Photocatalysis by Visible Light beyond the Absorption Edge: Effect of Upconversion Agent on the Photocatalytic Activity of Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub>, *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. **101**, no. 1–2, pp. 68–73, November 22, 2010. DOI: 10.1016/j.apcatb.2010.09.008
- Zhu, Y. P., Ren, T. Z. and Yuan, Z. Y., Mesoporous Phosphorus-Doped g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Nanostructured Flowers with Superior Photocatalytic Hydrogen Evolution Performance, *ACS Applied Materials and Interfaces*, vol. **7**, no. 30, pp. 16850–56, August 5, 2015. DOI: 10.1021/acsami.5b04947
- Zhurenok, A. V., Vasilchenko, D. B., and Kozlova, E. A., Comprehensive Review on G-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Based Photocatalysts for the Photocatalytic Hydrogen Production under Visible Light, *International Journal of Molecular Sciences*, January 1, 2023.



# Biyokütle Bileşenlerinin Isıl Özelliklerinin Önemi

Meltem Kızılca Çoruh<sup>1</sup>

## Özet

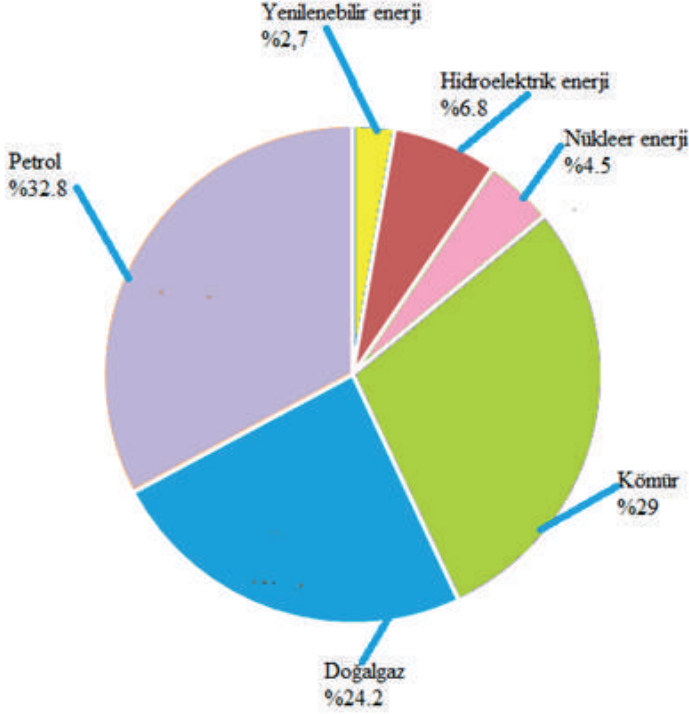
Enerji, dünyada gerekse ülkemizde endüstrinin, üretimin, gelişmenin ve kalkınmanın en temel vazgeçilmez unsurlarından biridir. Enerji gereksinimi sanayileşmeye, teknolojik gelişmelere ve nüfus artışına bağlı olarak artmaktadır. Böylece, geleneksel enerji kaynaklarından fosil yakıtların rezervleri sınırlı ve yakın gelecekte tükenecek olması, çevre kirliliği ve tabiatın tahribi yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının önem kazanmasına yol açmıştır. Böylece çevreyi kirliletmeyen, düşük maliyette yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından olan gelişen ve gelişmekte olan ülkeler için geniş uygulama alanı sunan biokütledir. Biokütle kaynaklarını meydana getiren bileşenler karmaşık ve heterojen bir yapıya sahiptir. Bu bileşenlerin yapılarında ki fiziksel ve kimyasal farklılık, biokütle kaynaklarının yakıtlara dönüşümüyle bu bileşenlerin farklı davranmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle bu bölümde uygun teknolojiler ve yöntemler kullanarak çevreye daha az zararlı, yenilenebilir, güvenli ve sürekli bir enerji kaynağı olan biyokütlenin bileşenlerinin termal özelliklerinin önemine yer verilecektir.

## 1. GİRİŞ

Dünya nüfusun artması ve gelişen teknolojiyle birlikte, enerji ihtiyacı sürekli artmaya devam etmektedir. Enerji ihtiyacının büyük bir kısmı; petrol, doğal gaz ve kömür gibi yenilenemeyen veya geleneksel fosil enerji kaynaklarından; diğer kısmı ise yenilenebilir enerji kaynaklarından (biyokütle, rüzgâr, güneş, jeotermal, dalga enerjisi, vb.) karşılanmaktadır (Şekil 1). Yakın bir gelecekte tükenen fosil enerji kaynakları rezervleri sınırlıdır (Hayat *et al.*, 2009; Kavaz ve Karagöl, 2017). Ayrıca yapılan araştırmalar kömür rezervlerinin 240, petrolün 40 ve doğal gazın ise 60

1 Dr. Öğr. Üyesi, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Bölümü, 25240 Erzurum, Türkiye, mkizilca@atauni.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-8734-2502

yıl sonra tükeneceğini göstermektedir. Fosil enerji kaynaklarının büyük miktarlarda tüketilmesi ve yüksek kalitede enerji ihtiyacından kaynaklanan en büyük zarar kullanımları sonucu atmosfere yayılan  $CO_2$ ,  $SO_x$  ve  $NO_x$  emisyonlarının büyük miktarlarına ulaşmasına sebep olmakta, böylece sera etkisi, asit yağmurları ve küresel ısınma gibi önemli çevresel ve iklimsel problemlere sebep olmaktadır (Lee et.al., 2022). Önemli fosil enerji kaynaklarından petrol ve doğal gaz kaynak rezervleri belirli coğrafyalarda zengindir. Fakat dünya genelinde bu enerji kaynaklarının ithalatının sürekli artmasıyla enerji ihraç eden ülkelerin sayısı giderek azalmaktadır. Böylece enerjide fazlaca dışa bağımlılık, hem sanayileşmiş hem de sanayileşmekte olan ülkelere ekonomik ve siyasi yönden etki etmektedir (Berdysheva *et al.*, 2021). Bu olumsuz etkileri azaltmak için son yıllarda bilim adamları tarafından alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunabilirliği ve kullanımına yönelik araştırmalar giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri biyokütle olup, yeri ve önemi gittikçe artmaktadır. Biyokütle enerjisinin en büyük avantajı tükenmeyen ve her yerde yetiştirilen bir kaynak olmasıdır (Saleem, 2022; Simsek and Simsek 2013) Ayrıca biyokütle karbonun doğal döngüsünü bozmayan ve fosil yakıtlara göre çevreye verdiği zararın düşük olması ile çevre sorunlarına temiz çözümler getirmektedir. Özellikle biyokütlenin yanması sonucu açığa çıkan  $CO_2$  ve  $SO_2$  miktarları düşük olduğundan çevreyi etkileri çok azdır. Biyokütlenin yakın gelecekte fosil enerji kaynaklarına tercih edilmesinin nedeni; dünyayı büyük bir kaosa sürüklemesi beklenen küresel ısınmanın olumsuz yönde etkilerine biyokütlenin katkısı çok düşük olacaktır (Calkins, 2009; Zhang *et al.*, 2010). Biyokütle dönüştürme işlemleri fiziksel, termokimyasal ve biyokimyasal olarak üç temel kategoriye ayrılabilir. Fiziksel işlemler öğütme, filtrasyon, kurutma ve ekstraksiyondur. Termokimyasal işlemler ise doğrudan yakma, gazlaştırma, piroliz, karbonizasyon ve sıvılaştırma (Xu *et al.*, 2021).



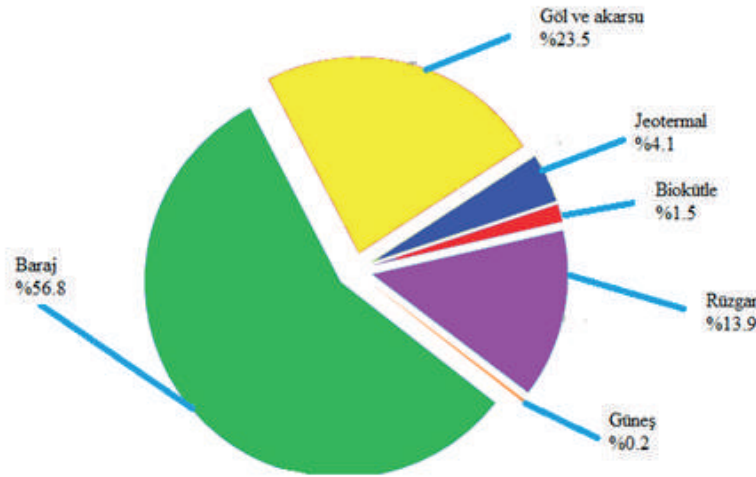
Şekil 1: Dünya enerji kaynaklarının dağılımı

Piroliz termokimyasal yöntemlerden en çok kullanılanıdır. Piroliz, organik maddenin inert atmosfer, vakum, indirgen veya yükseltgen ortamlarda katalizörlü ya da katalizörsüz olarak, termal etki ile ayrıştırma işlemidir. Biyokütle piroliz proseslerinin tasarımı, optimizasyonu ve kontrolü için parametrelerin incelenmesine ek olarak, kinetik mekanizmanın açıklığa kavuşturulması büyük önem taşımaktadır. Piroliz işlemi bir katı hal bozunmasıdır ve bu amaçla kinetik parametreleri Termogravimetri (TG) ve diferansiyel termogravimetri (DTG) gibi termal analiz teknikleri ile belirlenir (Orfao and Martins, 2002; Tonbul and Yurdakoc, 2002). İzotermal veya izotermal olmayan koşullarda yapılabilecek termogravimetrik analiz sayesinde, katıların ayrışması sırasında oluşan ağırlık kaybı verileri kullanılarak, toplam reaksiyon kinetiğini temsil eden bozunma aşamaları için kinetik ve kinetik parametreler veya temel bileşenlerin bozulması ayrı ayrı belirlenebilir (Kızılca and Copur, 2016). Aynı zamanda termal analiz teknikleri spektroskopik metodlar ile birlikte kullanılmasıyla termal bozunma sonucu açığa çıkan gazların da eş zamanlı olarak belirlenmesi mümkündür. Bu bölümde uygun teknolojiler ve yöntemler kullanarak

çevreye daha az zararlı, yenilenebilir, güvenli ve sürekli bir enerji kaynağı olan biyokütlenin bileşenlerinin termal özelliklerinin önemine yer verilecektir.

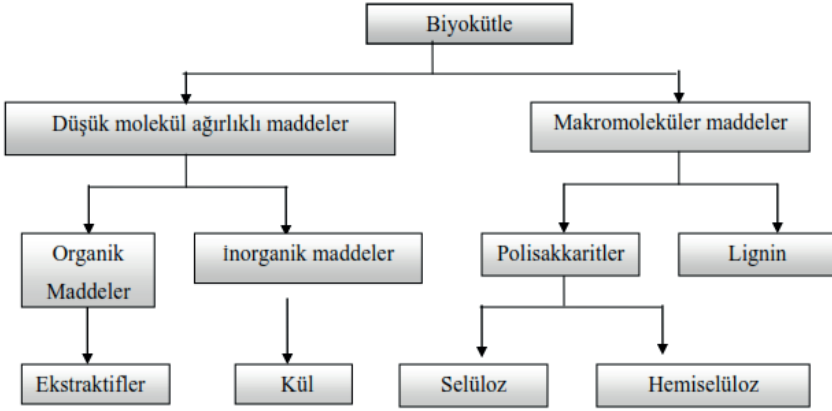
## 2. BİOKÜTLE

Biyokütle yapısında karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve az miktarda da (S) bulunduran hidrokarbon malzeme olarak ifade edilebilir. Aynı zamanda bazı biokütle çeşitleri de kayda değer oranlarda yapısında inorganik türler bulundurmaktadırlar. Alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarından en büyük potansiyele sahip biokütledir. Biokütle dönüşüm teknolojileriyle enerji üretmek için biokütle hammadde ürünleri olarak; orman ürünleri (ağaç atıkları, enerji ormanları vb), yağlı bitki ve tohumlar (ayçiçeği, soya, kolza vb), karbonhidratlı bitkiler (patates, çavdar, buğday, arpa, mısır, şeker pancarı, şeker kamışı vb), elyaf bitkileri (keten, pamuk, kenevir, kenaf, vb), bitkisel atıklar (kabuk, sap, kök, saman, dal vb), hayvansal atıklar (mezbaha atıkları, dışkı, vb) ile kentsel ve endüstriyel atıklar değerlendirilerek enerji üretilebilmektedir. Biokütle yenilenebilir, çevre dostu, sosyo-ekonomik gelişme sağlayan, her yerde yetiştirilebilen, taşıtlar için yakıt sağlayabilen, elektrik üretilebilen, yerli ve milli bir enerji kaynağıdır. 2015 yılından itibaren Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları Şekil 2’de gösterildiği gibi mevcut enerji kaynaklarının yaklaşık %32’sini oluşturmaktadır.



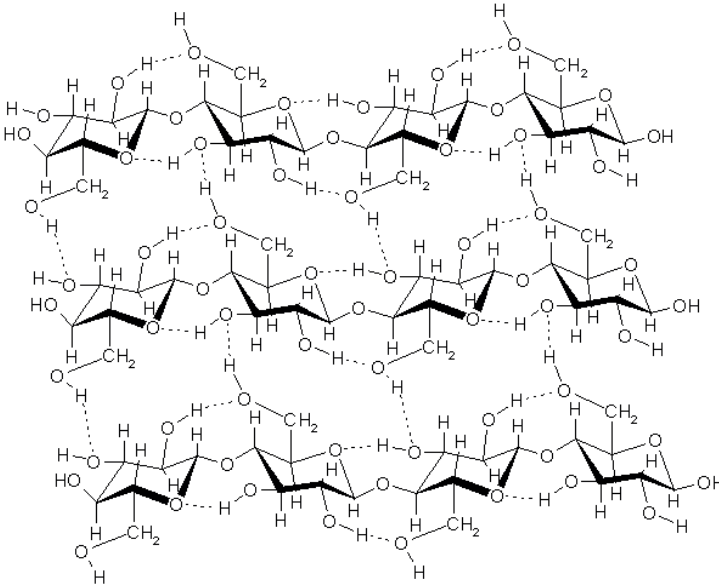
*Şekil 2. Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynakları*

Biokütlenin temel bileşenleri Şekil 3’te verilmiştir. Biokütlenin en temel üç ögesi selüloz, hemiselüloz ve lignindir (Budak, 2017; Boztepe, 2011).



Şekil 3. Biokütle temel bileşenleri

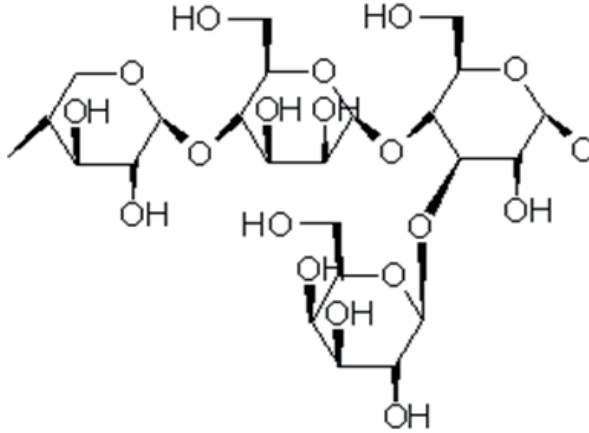
Selüloz ( $C_6H_{10}O_5$ ) bitkilerin hücre yapısında bulunan bitkilerin sert ve kuvvetli olmasını sağlayan bir polisakarittir. Selülozun yapısı tüm odunsu ve otsu bitkisel kaynaklarda aynı ve beta 1-4 bağı ile bağlı beta-D glikoz şekerlerden oluşan düz zincir şeklinde olduğu kabul edilmektedir (Şekil 4). Kâğıt, kozmetik, plastik, medikal, film, besin yardımcı malzemeleri ve tekstil elyafları gibi geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Molekül ağırlıklarının daha düşük olması ve selüloza göre daha yüksek çözünürlüğe sahip olmasından dolayı kolay hidrolize olabilirler. Selülozun termal sıcaklığı  $315-400^{\circ}C$ 'dir.



Şekil 4. Selülozun kimyasal yapısı

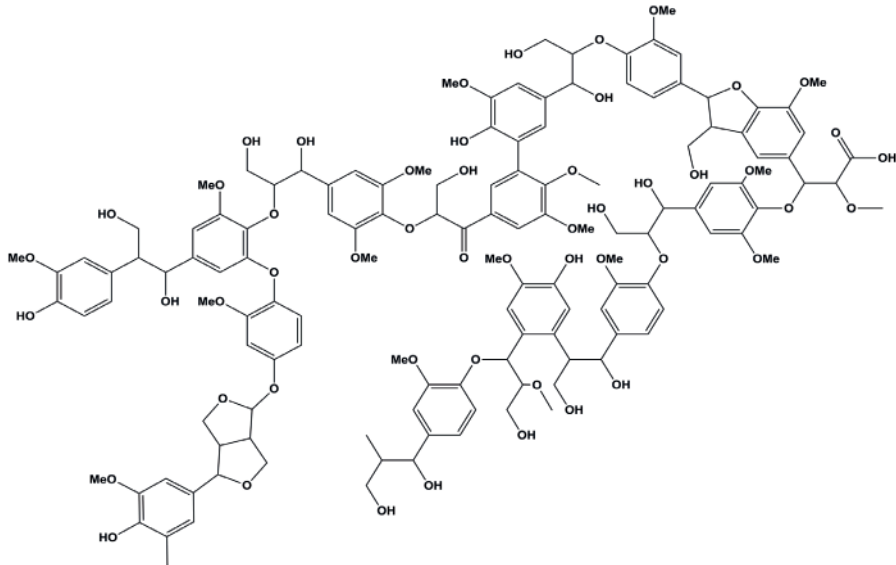


Selülozdan sonra bitkinin yapısında olan daha kısa zincir yapısında olup farklı türde şeker bağlarından oluşan dallanmış bir polimer olan hemiselülozdur (Şekil 5). Hemiselüloz ( $C_5H_8O_4$ )<sub>n</sub>, selüloza göre daha kompleks bir yapıya sahiptir. Hemiselülozun termal bozunma sıcaklığı 220-315°C'dir.



Şekil 5. Hemiselülozun kimyasal yapısı

Lignin  $C_9H_{10}(OCH_3)_{0,9-1,7}$  selüloz ve hemiselüloza göre yüksek oranda dallanmış, aromatik bir polimerdir (Şekil 7). Ligninin, selüloz ve hemiselüloza göre termal bozunma sıcaklığı oldukça yüksektir ve 160-900°C'dir.



Şekil 6. Lignin kimyasal yapısı

## 2.1. Piroliz

Biokütle direk yakılarak veya çeşitli süreçlerde yakıt kalitesi artırılarak, mevcut yakıtlara eşdeğer özelliklerde alternatif karbon ve hidrojen bakımından zengin, kolay taşınabilir ve depolanabilir, yüksek ısı değerli özelliklere sahip biyoyakıtlar elde edilerek enerji teknolojisinde değerlendirilmektedir. Günümüzde, artan nüfusa bağlı olarak fosil yakıt kullanımından kaynaklanan büyük CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarından kaynaklı çevre sorunlarıyla ilgili büyük bir endişe vardır. Bu nedenle yeni ve yenilenebilir enerjiye, özellikle biokütle enerjisine daha fazla değer verilmektedir. Diğer taraftan özellikle atmosfere salınan bu gazların oluşturduğu çevresel ve iklimsel etkilerden dolayı belirmen emisyon sınır oranları ve çevre teknolojilerinin gereklerinin uluslararası sınırlamalar bakımından yerine getirilmesi gerekliliği de ortaya çıkmaktadır (Riahi *et al.*, 2007). Yeni teknolojiler, enerji kaynaklarını çeşitlendirerek ve enerji tasarrufu sağlayarak enerji üretim süreçlerini daha verimli hale getirerek CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> gazlarının emisyonunun azaltılması hedefini gerçekleştirmeye izin vermelidir. Bu sebeple, yenilenebilir enerji kaynağı olarak biokütlenin tercih edilmesi, ulusal ve küresel enerji güvenliği için gereken yerel ve yenilenebilir doğal bir kaynaktır. Ayrıca gelişmekte olan ülkelerin birçoğunun ekonomisi tarıma dayanmaktadır. Bu açıdan ele alındığında bir enerji kaynağı olarak biokütle kaynaklarının kullanılması oldukça önem kazanmaktadır.

Biokütle hammaddelerin bir bölümü ya yanma mekanizmalarında doğrudan yakma ya da kullanım alanı geniş daha değerli yakıt veya diğer gaz ürünlerine dönüştürmek için kimya endüstrisinde kullanılmaktadır. Bir bölümü de gübreleme gibi çeşitli amaçlarla tüketilmektedir. Mevcut yapılan araştırmalar, Biokütle atıklarının yakılarak kazandırılmasının ekonomik olmadığını yapılan araştırmalar göstermektedir. Bu atıkların tekrar kazandırılmasında en etkili yöntem hiçbir oksitleyicinin mevcut olmadığı bir ısı bozunma işlemi olan pirolizdir. Ayrıca, değerlendirilmesi zor biokütle hammaddelerinin daha değerli ürünler elde edilmesinde doğrudan yakmaya göre, yüksek enerji yoğunluğu, katı, sıvı ve gaz ürünlerin elde edilmesi, depolanması, taşınması ve kolay yakılabilir olmaları pirolizin üstünlüğünü sağlamaktadır (Çağlar and Demirbas, 2000; Sharma *et al.*, 2004). Piroliz sonucunda katı, sıvı ve gaz olarak elde edilen ürünlerin özellikleri ve dağılımı; proses parametrelerine ve kullanılan biyokütle çeşidine bağlıdır. Pirolizi etkileyen parametreler: sıcaklık, basınç, ısıtma hızı, ortamdaki sürüklenen gaz, reaktör geometrisi, tutma süresi ve katalizör kullanımıdır (Demirbas, 2004; Ravindranath, and Hall, 1995). Piroliz ürün verimini, hammaddelerin organik ve inorganik yapısı, parçacık büyüklüğü, nem oranı, gözenek yapısı, sabit karbon miktarı ve elementel bileşimi etkiler. Biyokütle hammadde

kaynaklarının termal bozunma davranışı, kimyasal bileşimine ve yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Başlangıç malzemelerinin kristal yapıları ve polimerizasyon derecesiyle birlikte termal bozunma davranışını tanımlamada ayrılmaz unsurlardır. Yukarıdaki parametrelere paralel olarak, deneysel olarak türetilen kinetik parametreler aynı zamanda sıcaklık, basınç, partikül boyutu, ısıtma hızı ve ortam gaz ortamını içeren spesifik piroliz şartlarına da bağlıdır (Samolada *et al.*, 1990). Bu yöntemlerde en önemli amaç ısı değeri yükseltmek için nemin uzaklaştırılmasıdır. Isıl değeri yükseltmek biokütledeki oksijen su olarak uzaklaştırılmalıdır. Bu ise bileşenlerin termal bozunması sonucu meydana gelmektedir. Termal bozunma sonucu elde edilen yakıtların depolanması, dağıtımı, külsüz, külsüz ve çevreye daha az zarar vererek yanmaları, taşınması ve yakılması diğer önemli üstünlükleridir. Piroliz işlemiyle gerçekleşen sıcaklık yükselmesinin sonucu meydana gelen kütle kayıplarının en yüksek olduğu ve kütle kayıplarının bittiği son sıcaklık değerleri ve sıcaklıklardaki dönüşüm miktarları, biyokütle kaynaklarının türlerine göre farklılık göstermektedir.

### 3. SONUÇ

Enerji, dünyada gerekse ülkemizde endüstrinin, üretimin, gelişmenin ve kalkınmanın en temel vazgeçilmez unsurlarından biridir. Enerji gereksinimi sanayileşmeye, teknolojik gelişmelere ve nüfus artışına bağlı olarak artmaktadır. Böylece, geleneksel enerji kaynaklarından fosil yakıtların rezervleri sınırlı ve yakın gelecekte tükenecek olması, çevre kirliliği ve tabiatın tahribi yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının önem kazanmasına yol açmıştır. Böylece çevreyi kirletmeyen, düşük maliyette yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından olan gelişen ve gelişmekte olan ülkeler için geniş uygulama alanı sunan biokütledir. Biokütle kaynaklarını meydana getiren bileşenler karmaşık ve heterojen bir yapıya sahiptir. Selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi majör bileşenlerin farklı termal özelliklere sahip olduğu; bu bileşenler dışında biokütle hammaddelerinde bulunan organik ve inorganik bileşenlerin farklı oranlarda bulunduğu belirlenmiştir. Bu bileşenlerin yapılarında ki fiziksel ve kimyasal farklılık, biokütle kaynaklarının yakıtlara dönüşümüyle bu bileşenlerin farklı davranmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle biyokütle bileşenlerinin termal özelliklerinin incelenmesi konusu önem teşkil etmektedir.

**KAYNAKLAR**

- Ashraf Chaudhry ,M., Raza,R., Hayat, S.A.(2009). Renewable energy technologies in Pakistan: Prospects and challenges, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 6–7, 1657-1662.
- Berdysheva S, Ikonnikova S. (2021). The Energy Transition and Shifts in Fossil Fuel Use: The Study of International Energy Trade and Energy Security Dynamics. *Energies*, 14(17), 5396. <https://doi.org/10.3390/en14175396>
- Boztepe, A. (2011). Çeşitli biyoatık malzemelerin gazlaştırılması ve elde edilen ürünlerin karakterizasyonu Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Budak, M. S. (2017). Biyokütleden hızlı piroliz yöntemi ile biyoyakıt eldesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- Calkins, M. (2009). Materials for sustainable sites, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 14-24.
- Çağlar, A., Demirbaş, A. (2002) Hydrogen Rich Gas Mixture from Olive Husk via Pyrolysis, *Energy Conversion and Management*, 43, 109 - 117.
- Demirbas A. (2004). Combustion characteristics of different biomass fuels, *Progress in Energy and Combustion Science*, 30 (2), 219-230.
- Jiang, G., Xu, D., Hao, B., Liu, Lu., Wang, S., Wu, Z. (2021). Thermochemical methods for the treatment of municipal sludge. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127811.
- Karagöl, E.T., Kavaz İ. (2017). Dünyada Ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, *Analiz*, Sayı: 197.
- Kızılca M., Copur M., 2016. Investigation of the Thermal Decomposition Kinetics of Chalcopyrite Ore Concentrate using Thermogravimetric Data, *Chemical Engineering Communications*, 203, 692-704.
- Ling,J.L.J., Kim, H.W., Go, E.S., Oh, S.S., Park, H.J., Jeong, C.S., Lee, S.H. (2022). Analysis of operational characteristics of biomass oxygen fuel circulating fluidized bed combustor with indirect supercritical carbon dioxide cycle, *Energy Conversion and Management*, 259,115569.
- Orfao,J.M., Martins, F.G. (2002). Kinetic analysis of thermogravimetric data obtained under linear temperature programming, a method based on calculations of the temperature integral by interpolations. *Thermochimica Acta*, 390(1-2), 195-211.
- Ravindranath, N.H. Hall, D.O. (1995) Biomass energy, and environment—a developing country perspective from India, Oxford University Press, Oxford.
- Riahi, K., Grübler, A., Nakicenovic, N.(2007). Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization, *Technological Forecasting and Social Change*, 74 (7), 887-935.

- Saleem, M. (2022). Possibility of utilizing agriculture biomass as a renewable and sustainable future energy source. *Helikon*, 8(2). e08905.
- Samolada M.C., Stoicos T., Vasalos I.A., 1990. An investigation of the factors controlling the pyrolysis product yield of greek wood biomass in a fluidized bed. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 18, 127-141.
- Sharma R., K., Wooten J. B., Baliga V. L., Linl X., Chan W. G., Hajaligol M. R. (2004). Characterization of Chars from Pyrolysis of Lignin, *Fuel*, 83, 1469–1482.
- Simsek, H. A., Simsek, N. (2013). Recent incentives for renewable energy in Turkey, *Energy Policy*, 63, 521-530,
- Tonbul, Y., Yurdakoç, K. (2001). Thermogravimetric Investigation of the Dehydration Kinetics of KSF, K10 and Turkish Bentonite, *Turkish Journal of Chemistry*, 25, 333-339.
- Zhang L., Xu C. (2010). Champagne P., Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass. *Energy Conversion and Management*, 51, 969–982.

# Tarım Alanında Dijital İkiz Yönteminin Kullanılması

Mahmut Durgun<sup>1</sup>

## Özet

Tarım sektörü, insanların beslenme ihtiyaçlarını karşılamak için temel bir sektördür ve dünya genelinde birçok insanın geçim kaynağıdır. Ancak, tarım sektörü de diğer sektörler gibi gelişmeye ihtiyaç duymaktadır. Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesiyle birlikte, tarım sektöründe de dijital teknolojilerin kullanımı artmaktadır. Bu teknolojiler, tarım sektörünün verimliliğini artırmak, sürdürülebilirliği sağlamak ve maliyetleri azaltmak için kullanılmaktadır. Dijital ikiz teknolojisi de bu teknolojiler arasında yer almaktadır. Dijital ikiz teknolojisi, gerçek bir nesnenin sanal bir kopyasının oluşturulmasıdır. Bu teknoloji, tarım sektöründe bitki, hayvan, arazi ve üretim gibi birçok alanda kullanılabilir. Bu teknolojinin tarım sektörüne getirdiği yenilikler, birçok akademik çalışmanın konusu olmuştur. Bu makalede, tarımda dijital ikiz teknolojisinin bitki, hayvan, arazi ve üretim açısından getirdiği yenilikler ele alınacak ve akademik çalışmaların sonuçlarına yer verilecektir.

## 1. Giriş

Dijital İkiz teknolojisi, tarım, imalat, otomotiv ve enerji gibi çeşitli sektörler tarafından ciddi bir şekilde kabul gören ve çok disiplinli sorunları çözmek için kullanılacak yöntemlerden birisidir. Bu teknolojinin amacı, bu sektörlerdeki işletmelerin verimliliğini artırmak, iş süreçlerini iyileştirmek ve inovasyonu teşvik etmektir. Dijital İkiz, aslında gerçek fiziksel sistemlerin dijital birer benzeridir (Leng vd., 2021). Bu teknoloji, karmaşık sistem analizleri, karar desteği ve teknolojik entegrasyonu içermektedir. Dijital İkizin, Nesnelerin İnterneti teknolojisinin kabul edilmesiyle önemi de git gide artmaya başlamıştır (Zhang vd., 2022). Bu teknoloji, minyatür cihazlar ve uzaktan algılama yolları gibi fiziksel ikizlerin neredeyse gerçek zamanlı

---

1 Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Turhal Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Elektronik Ticaret ve Yönetimi Bölümü. E-mail: mahmut.durgun@gop.edu.tr

olarak izlenmesine olanak tanımakta ve sürekli artan veri akışları üretmektedir. Dijital ikiz kavramı, Grieves ve Vickers tarafından sanal ve fiziksel varlıkların birleştirilmesindeki bir teknik incelemesi sonucu ilk olarak ortaya atılmıştır (Grieves and Vickers, 2017). O tarihten bu yana, farklı disiplinler Dijital İkizi benimsemiş ve genel bir tanımın bulunmaması nedeniyle her bir disiplin kendi tanımını belirlemiştir. Ashında fiziksel bir nesnenin ya da sistemin yaşam döngüsü boyunca toplanan gerçek dünya verilerinin, simülasyonların veya makine öğrenme modellerinin veri analizi kullanılarak öğrenilmesi ve akıllı bir şekilde yürütülmesini ifade etmektedir. Yine bu teknoloji, farklı soruları yanıtlamaya yardımcı olmak için kullanılabilir ve insana benzer şekilde sezgisel öngörüler sunabilecektir. Tarımda dijital ikiz teknolojisi konusunda yapılmış birçok akademik araştırma ve literatür mevcuttur.

Nasirahmadi ve Hensel (2022)'in yaptıkları çalışmada, bitki ve üretim açısından dijital ikiz teknolojisinin kullanımını incelemiştir. Bu makalede, tarım sektöründe dijital ikiz teknolojisinin kullanımının artan önemine ve avantajlarına dikkat çekilmiştir. Hayvancılık sektöründe dijital ikiz teknolojisinin kullanımını Neethirajan and Kemp (2021) yaptıkları çalışmada, dijital ikiz teknolojisinin hayvan sağlığı, üreme verimliliği ve yem tüketimi gibi faktörleri nasıl optimize edebileceği tartışılmıştır. Purcell ve arkadaşları (2022) yaptıkları çalışma ile tarımsal çayır arazilerinin verimliliğini artırmak için dijital ikiz teknolojisinin kullanımını ele alır. Bu makalede, dijital ikiz teknolojisinin tarım arazilerinin toprak kalitesi, sulama ve gübreleme gibi faktörlerini nasıl optimize edebileceği tartışılmıştır. Gupta ve arkadaşları (2021) yaptıkları çalışmada, bitki hastalıklarının tespit edilmesi ve önlenmesinde dijital ikiz teknolojisinin kullanımını inceler. Bu çalışmada, dijital ikiz teknolojisinin bitki hastalıklarını erken teşhis etmek ve uygun önlemleri almak için nasıl kullanılabilirliği tartışılmıştır. Jo et al. (2018) yaptıkları "Dijital ikizi kullanan akıllı hayvancılık çiftlikleri: Fizibilite çalışması" adlı makale, hayvancılık çiftlikleri üretim sürecinin verimliliğini artırmak için dijital ikiz teknolojisinin kullanımını ele alır. Bu makalede, dijital ikiz teknolojisinin hayvancılık çiftlikleri üretiminde verimliliği ve kaliteyi artırmak için nasıl kullanılabilirliği tartışılmıştır. Nie et al. (2022) yaptıkları bu makale, tarım sektöründe dijital ikiz teknolojisinin kullanımıyla ilgili son gelişmeleri ele almaktadır. Bu çalışmada, bitki ve arazi özelliklerinin tespiti, hasat sonrası takip ve hayvan sağlığı yönetimi gibi birçok uygulama örnekleri verilmektedir. "Introducing digital twins to agriculture" (2021) adlı bu çalışmada, dijital ikiz teknolojisinin tarımda kullanımı ile ilgili genel bir bakış sunulmaktadır. Bitki ve hayvanların dijital ikizleri oluşturma, tarım makinelerinin optimizasyonu ve üretim planlama gibi konular ele alınmaktadır Pylianidis et al. (2021). Xin and Wang (2022) yaptıkları bu çalışmada, dijital

ikiz teknolojisinin tarımda kullanımıyla ilgili uygulama alanları, zorluklar ve gelecekteki yönelimler ele alınmaktadır. Bu makalede, bitki ve hayvan sağlığı yönetimi, arazi yönetimi, tarım makineleri optimizasyonu ve veri analizi gibi konular ele alınmaktadır.

## 2. Altı Farklı Dijital İkiz Kavramı

Hayali Dijital İkiz, bir ürün, sistem veya hizmet hakkında hayal edilen ve uygulanması mümkün olan tüm verilerin ve bilgilerin toplandığı ve kaydedildiği bir dijital modelidir. Bu model, fiziksel ürünün ya da sistemin hayal edilen ideal performansını, özelliklerini ve kullanımını yansıtır. Hayali Dijital İkiz, bir ürünün ya da sistemin tasarımı, geliştirilmesi ve optimizasyonu aşamalarında, ürün ya da sistem hakkında en doğru ve kesin bilgiye ulaşmak için kullanılır.

“İzleme Dijital İkiz” (Monitoring Digital Twin), özellikle tarım sektöründe, fiziksel sistemle ilgili verilerin takibinin ve analizinin gerçekleştirildiği sanal bir sistemdir. Bu sanal sistem, fiziksel sistemle ilgili tüm verileri (örneğin, su, gübre, toprak analizi, iklim verileri, gübreleme verileri vb.) toplar ve bu verileri analiz eder. Bu analiz sonucu, tarımın verimliliğini ve verimini artırmak için öneriler yapar ve tarım işletmelerinin süreçlerini optimize etmelerine yardımcı olur. İzleme Dijital İkiz, tarımın dijitalleşmesi ve verimliliğinin artmasına yardımcı olur ve tarım işletmelerinin maksimum verimi elde etmelerine yardımcı olur.

Öngörülebilir Dijital İkiz, fiziksel bir sistem veya ürün hakkındaki bilgilerin ve verilerin analizi sonucu ortaya çıkan öngörü ve tahminleri içeren sanal bir sistemdir. Bu öngörüler, sistem veya ürünün performansını, verimliliğini veya olası arızalarını tahmin etmeyi ve önceden müdahil etmeyi mümkün kılar. Öngörülebilir Dijital İkiz, tarım sektöründe tarla verimliliğini ve ürün kalitesini arttırmak için kullanılabilir.

Reçeteli Dijital İkiz, tarım sektöründe verimlilik ve verimlilik için kullanılan bir dijital teknoloji çözümdür. Bu dijital ikiz, bir ürünün ya da ekipmanın performansını ve durumunu sürekli olarak izler ve bu verileri analiz ederek, ürün veya ekipmanın verimliliğini ve performansını artırmaya yönelik öneriler sunar. Reçeteli Dijital İkiz ayrıca ürün veya ekipmanın gelecekteki performansını tahmin etme yeteneğine de sahiptir, böylece tarım işletmeleri gelecekteki ihtiyaçlarını veya olası sorunları öngörebilir.

Otonom Dijital İkiz, fiziksel sistemle aynı anda çalışan ve o fiziksel sistem hakkında toplanan verileri kullanarak o sistemi yöneten ve kendini kontrol eden bir dijital modeldir. Otonom Dijital İkiz, tarımda verimliliği ve verimlilik çıktılarını artırmak için kullanılabilir. Örneğin, bu dijital ikiz bir tarladaki



bitkilerin gelişimini izleyebilir ve verilerini analiz ederek gerekli gübre ve su miktarını otomatik olarak belirleyebilir. Böylece tarım işletmelerinin üretim maliyetlerini azaltmasına ve verimliliğini artmasına yardımcı olabilir.

Hatıra Dijital İkiz, bir fiziksel sistemin ya da makine elemanın geçmiş performans verilerinin ve hikayelerinin depolandığı bir sanal temsildir. Hatıra Dijital İkiz, bu fiziksel sistem ya da makine elemanın önceki durumlarını ve performansını analiz etmeyi ve incelemelerin sonuçlarını kullanarak gelecekteki performansını tahmin etmeyi kolaylaştırır. Aynı zamanda bu fiziksel sistem ya da makine elemanın tasarım ve bakım süreçlerinin verimli bir şekilde yürütülmesini de destekler.

## 2.1. Tarımda Dijital İkiz

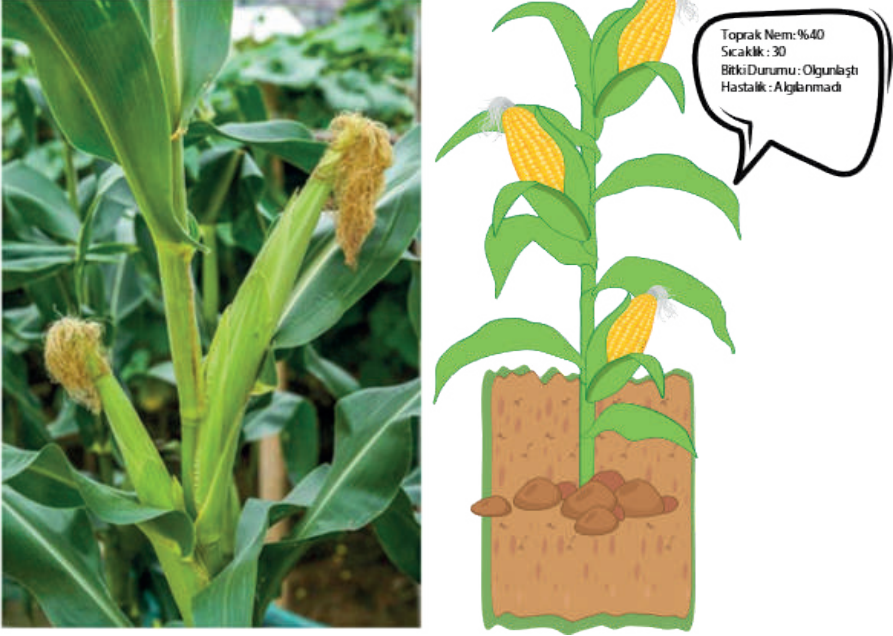
Tarımda Dijital İkiz, tarım sektöründe tarımsal faaliyetlerin, bitkilerin ve çevre faktörlerinin verilerinin toplanması, analiz edilmesi ve bu verilerin kullanılarak hayvanların, bitkilerin, tarım arazilerinin ve tarımsal bileşenlerin daha verimli yönetilmesi olarak tanımlanır. Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisi, makine öğrenimi ve bulut bilişim gibi teknolojik araçların birleşmesi sonucu ortaya çıkmıştır.

Tarımdaki dijital ikiz topolojisi ise şu şekildedir:

**Bitki İkizi:** Tarım arazilerindeki bitkilerin verilerinin toplanması ve analiz edilmesi sonucu oluşan bir dijital modeldir. Dijital ikiz teknolojisi, bitkilerin büyüme sürecini izlemek ve optimize etmek için kullanılan bir teknolojidir. Bu teknoloji, bitkilerin gerçek zamanlı olarak takip edilmesine, verilerin toplanmasına ve analiz edilmesine olanak sağlar. Dijital ikiz teknolojisi, bitki yetiştiriciliğinde birçok fayda sağlar. İlk olarak, bitki büyümesi hakkında gerçek zamanlı veriler toplayarak, üreticilere bitkileri daha etkili bir şekilde yönetme ve bakım yapma imkanı verir. Bu veriler, bitkilerin su, gübre, ışık gibi ihtiyaçlarına göre optimize edilerek, verimliliğin artırılmasına yardımcı olabilir. Ayrıca, hastalık veya zararlılar gibi sorunların erken teşhis edilmesine ve çözümlenmesine yardımcı olur.

Dijital ikiz teknolojisi, bitki yetiştiriciliği için kullanılan bir dizi diğer teknolojiyle birlikte kullanıldığında daha da etkili hale gelebilir. Örneğin, yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmaları, toplanan verileri analiz ederek, bitki yetiştiricilerine daha doğru ve anlamlı bilgiler sunabilir. Bu bilgiler, bitki yetiştiricilerinin üretim süreçlerini daha da optimize etmelerine yardımcı olabilir. Dijital ikiz teknolojisi ayrıca, bitki yetiştiriciliği için verimli ve sürdürülebilir çözümler sağlamaya da yardımcı olabilir. Bitki yetiştiriciliği için kullanılan su ve gübre miktarını azaltarak, sürdürülebilirliği artırabilir ve çevresel etkiyi azaltabilir. Ayrıca, tüketici taleplerini karşılamak

için ürünlerin kalitesini artırabilir. Sonuç olarak, dijital ikiz teknolojisi, bitki yetiştiriciliği alanında büyük bir potansiyele sahiptir. Bu teknolojinin kullanımı, üreticilere gerçek zamanlı veriler sağlayarak bitki büyümesini optimize etmelerine yardımcı olurken, sürdürülebilir ve verimli üretim için de çözümler sunabilir.



Şekil 1 Bitki İkizi Örneği

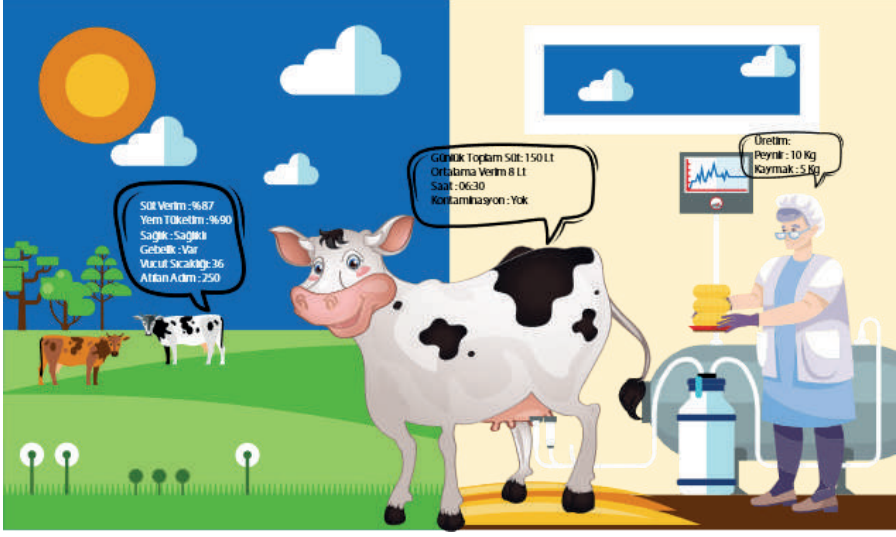
**Tarım arazisi ve tarım ekipmanları için dijital ikiz:** Tarım arazilerinin verilerinin toplanması ve analiz edilmesi sonucu oluşan bir dijital modeldir. Tarım arazisi için dijital ikiz teknolojisi, gerçek zamanlı veri toplama ve analiz etme işlemleri sayesinde tarım arazilerinin tam bir sanal kopyasını oluşturur. Tarım arazisi için dijital ikiz teknolojisi, tarım arazisinin gerçek zamanlı olarak izlenmesine, analiz edilmesine, tarım makinalarının performansını izlemek ve bakımını yapmak için kullanılmaktadır. Tarım makinaları için dijital ikiz teknolojisi, tarım ekipmanlarının performansını izlemek, bakımını yapmak ve optimize etmek için kullanılır. Bu teknoloji, tarım ekipmanlarındaki sensörler ve akıllı sistemler sayesinde gerçek zamanlı veri toplar ve analiz eder. Bu sayede, tarım ekipmanlarının çalışma süresi, verimliliği ve maliyeti optimize edilir. Ayrıca, dijital ikiz teknolojisi tarım ekipmanlarının bakımını da kolaylaştırır. Bu teknoloji, ekipmanların bakım ihtiyaçlarını izler ve bakım planlarını oluşturur. Böylece, üreticiler, tarım ekipmanlarının ömrünü uzatırken, bakım maliyetlerini azaltabilirler.

Tarım arazisi ve tarım ekipmanları için dijital ikiz teknolojisi ayrıca, üreticilerin işlerini daha etkili bir şekilde yönetmelerine de yardımcı olur. Bu teknoloji sayesinde, üreticiler, tarım arazileri ve ekipmanlarının durumunu takip ederek, gerektiğinde müdahale edebilirler. Böylece, üretim kayıplarını önlerler ve tarım işlerini daha verimli hale getirirler.



*Şekil 2 Tarım arazisi ve tarım ekipmanları için dijital ikiz örneği*

**Üretim İkizi:** Üretim süreci ve maliyetlerinin verilerinin toplanması ve analiz edilmesi sonucu oluşan bir dijital modeldir. Bu teknoloji, tarım işletmelerinin verimliliğini ve karlılığını artırmaya yardımcı olur. Dijital ikiz teknolojisi, tarım işletmelerinin üretim süreçlerini izleyerek, işletmelerin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için kullanılır. Bu teknoloji sayesinde, üreticiler, tarım ürünleri için en uygun koşulları oluşturabilirler. Bu da, tarım işletmelerinin üretim miktarını artırırken, maliyetlerini azaltmasına yardımcı olur. Dijital ikiz teknolojisi aynı zamanda, tarım işletmelerinin kaynakları ve maliyetleri optimize etmelerine de yardımcı olur. Bu teknoloji, işletmelerin üretim süreçlerini analiz eder ve işletmelerin kaynaklarını daha verimli bir şekilde kullanmasını sağlar. Bu sayede, işletmeler, maliyetleri azaltırken, üretim miktarını artırabilirler. Dijital ikiz teknolojisi, ayrıca, tarım işletmelerinin çevresel etkilerini de azaltmalarına yardımcı olur. Bu teknoloji sayesinde, işletmeler, üretim süreçlerini daha sürdürülebilir hale getirirler. Bu da, işletmenin çevresel etkilerini azaltarak, doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur.



Şekil 3. Süt inekleri için dijital ikiz örneği.

Tarımda dijital ikiz teknolojisi, bitki, hayvan, arazi ve üretim açısından birçok yeniliği beraberinde getirir. Bu yenilikler, tarım sektöründe verimliliği ve sürdürülebilirliği artırırken, üreticilerin karlılığını ve rekabet gücünü artırır. İşte, dijital ikiz teknolojisi ile tarım sektöründe elde edilen yeniliklerden bazıları:

**Bitki Verimliliği:** Dijital ikiz teknolojisi, bitki verimliliğini artırmak için kullanılabilir. Bu teknoloji, bitkilerin büyümesini ve gelişimini izleyerek, bitkiler için en uygun koşulları oluşturabilir. Bu da, üreticilerin bitki üretimini artırmasına ve ürün kalitesini artırmasına yardımcı olur.

**Hayvan Sağlığı:** Dijital ikiz teknolojisi, hayvan sağlığı için de kullanılabilir. Bu teknoloji, hayvanların sağlık durumunu izleyerek, hastalıkların erken teşhis edilmesine ve tedavi edilmesine yardımcı olur. Bu da, hayvanların sağlıklı kalmasına ve üretim verimliliğinin artmasına yardımcı olur.

**Arazi Yönetimi:** Dijital ikiz teknolojisi, arazi yönetimi için de kullanılabilir. Bu teknoloji, tarım arazilerinin verimliliğini artırmak için kullanılabilir. Bu teknoloji, arazinin tüm detaylarını, verimlilik oranlarını, toprak analizlerini, su kaynaklarını, eğimini, güneşlenme açılarını vb. özellikleri inceleyerek, en uygun tarım uygulamalarının belirlenmesine yardımcı olur.

**Üretim Süreçleri:** Dijital ikiz teknolojisi, tarım üretim süreçlerinde de kullanılabilir. Bu teknoloji, tarım işletmelerinin üretim süreçlerini analiz ederek, verimlilik artırma ve maliyetleri azaltma konusunda öneriler sunar.

Bu da, işletmelerin karlılığını artırırken, üretim verimliliğini artırmasına yardımcı olur.

**Veri Yönetimi:** Dijital ikiz teknolojisi, tarım işletmelerinin veri yönetimi için de kullanılabilir. Bu teknoloji, tarım işletmelerinin verilerini toplar ve analiz ederek, işletmelerin daha iyi kararlar almasına yardımcı olur. Bu sayede, işletmeler, kaynakları daha verimli bir şekilde kullanırken, üretim süreçlerini ve işletme yönetimini daha iyi bir şekilde kontrol edebilirler.

**Otomasyon:** Dijital ikiz teknolojisi, tarım işletmelerinde otomasyonun artırılmasına yardımcı olur. Bu teknoloji sayesinde, tarım işletmeleri üretim süreçlerindeki bazı işlemleri otomatikleştirebilirler. Bu da, işletmelerin üretim verimliliğini artırmasına ve maliyetlerini azaltmasına yardımcı olur.

**Yönetim ve Planlama:** Dijital ikiz teknolojisi, tarım işletmelerinin yönetim ve planlama süreçlerinde de kullanılabilir. Bu teknoloji, işletmelerin gelecekteki faaliyetlerini planlamalarına yardımcı olur ve işletmelerin tedarik zincirini daha iyi yönetmelerine yardımcı olur. Bu da, işletmelerin karlılığını artırırken, üretim verimliliğini artırmasına yardımcı olur.

**Sürdürülebilirlik:** Dijital ikiz teknolojisi, tarım sektöründe sürdürülebilirliği artırmaya yardımcı olabilir. Bu teknoloji, tarım işletmelerinin çevresel etkilerini azaltmalarına ve kaynakları daha verimli bir şekilde kullanmalarına yardımcı olur. Bu da, işletmelerin çevre dostu tarım uygulamalarına geçmelerine yardımcı olur.

**Maliyetler:** Dijital ikiz teknolojisi, tarım işletmelerinin maliyetlerini azaltmaya yardımcı olur. Bu teknoloji, işletmelerin üretim süreçlerindeki verimliliği artırarak, işletmelerin maliyetlerini azaltmalarına yardımcı olur. Ayrıca, dijital ikiz teknolojisi, işletmelerin kaynakları daha verimli bir şekilde kullanmalarına yardımcı olur ve böylece maliyetleri azaltmalarına yardımcı olur.

Sonuç olarak, tarımda dijital ikiz teknolojisi, bitki, hayvan, arazi ve üretim açısından birçok yenilik getirir. Bu yenilikler, tarım sektörünün verimliliğini artırırken, sürdürülebilirliği ve karlılığı artırır. Dijital ikiz teknolojisi, tarım işletmelerinin üretim süreçlerini daha iyi yönetmelerine ve kaynakları daha verimli bir şekilde kullanmalarına yardımcı olur.



*Şekil 4. Tarımda dijital ikiz.*

### 3. Sonuç

Tarımda dijital ikiz teknolojisi, bitki, hayvan, arazi ve üretim açısından birçok yenilik getirmektedir. Bu teknoloji, tarım sektöründe verimliliği artırırken, sürdürülebilirliği ve karlılığı artırmaktadır. Dijital ikiz teknolojisi sayesinde, tarım işletmeleri üretim süreçlerinde daha verimli bir şekilde çalışabilir, işletmelerin üretim kapasitesi artırılabilir, ürün kalitesi artırılabilir ve maliyetler azaltılabilir.

Bu teknolojinin tarım sektörüne getirdiği yenilikler, akademik çalışmalarda da geniş bir şekilde ele alınmaktadır. Bu çalışmaların sonuçları, dijital ikiz teknolojisinin tarım sektöründeki etkilerini daha detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Örneğin, birçok araştırma, dijital ikiz teknolojisinin bitki hastalıklarının teşhisinde ve mücadele edilmesinde önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Ayrıca, dijital ikiz teknolojisinin hayvan sağlığı ve refahını artırmada da etkili olduğu belirtilmektedir.

Bunun yanı sıra, dijital ikiz teknolojisi, tarım arazilerinin daha iyi yönetimini ve verimliliğini sağlamak için kullanılabilir. Tarım arazilerinin dijital ikizleri sayesinde, arazi verimliliği analizleri yapılarak, toprak kalitesi ve nem seviyesi gibi faktörlerin daha iyi kontrol edilmesi mümkündür. Bu da, üretim verimliliğinin artırılmasına ve maliyetlerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Sonuç olarak, tarımda dijital ikiz teknolojisi, birçok alanda yenilikler getirmekte ve tarım sektöründe verimliliği artırarak sürdürülebilirliği ve karlılığı artırmaktadır. Bu teknolojinin tarım sektöründe yaygınlaşması, tarımın geleceği için umut verici bir gelişme olarak değerlendirilmektedir.



## Literatür

- Grievens M, Vickers J (2017) Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. *Transdisciplinary perspectives on complex systems: New findings and approaches* pp 85–113.
- Gupta M, Kumari M, Ved C (2021) Digital Twin in Agriculture Sector: Detection of Disease Using Deep Learning.
- Jo SK, Park DH, Park H, Kim SH (2018) Smart livestock farms using digital twin: Feasibility study. In: 2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), pp 1461–1463.
- Leng J, Wang D, Shen W, Li X, Liu Q, Chen X (2021) Digital twins-based smart manufacturing system design in Industry 4.0: A review. *Journal of manufacturing systems* 60:119–137.
- Nasirahmadi A, Hensel O. (2022) Toward the next generation of digitalization in agriculture based on digital twin paradigm. *Sensors* 22(2): 498.
- Neethirajan S, Kemp B (2021) Digital twins in livestock farming. *Animals* 11(4):1008
- Nie J, Wang Y, Li Y, Chao X (2022) Artificial intelligence and digital twins in sustainable agriculture and forestry: a survey. *Turkish J. of Agriculture and Forestry* 46(5): 642–661.
- Purcell W, Klipic A, Neubauer T (2022) A Digital Twin for Grassland Management. In: 2022 Int. Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), pp 1–6.
- Pylaniadis C, Osinga S, Athanasiadis IN (2021) Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 184:105942.
- Xin C, Wang Y (2022) Digital twins and innovation management: a literature review, framework, challenge, and future direction. *Technology Analysis & Strategic Management* pp 1–14.
- Zhang Z, Wen F, Sun Z, Guo X, He T, Lee C (2022) Artificial intelligence-enabled sensing technologies in the 5G/internet of things era: from virtual reality/augmented reality to the digital twin. *Advanced Intelligent Systems* 4(7): 2100228.

# Türkiye’de Arazi Toplulaştırması Konusunda Yapılan Akademik Çalışmalara Genel Bir Bakış

Nuri Erdem<sup>1</sup>

## Özet

Bu çalışmada; 2015-2020 yılları arasında yayımlanan 50 lisansüstü tezi ile 1998-2020 yılları arasında yayınlanan 114 adet makale çalışması içerik analizi yöntemiyle incelenmiştir. Toplamda 164 adet akademik çalışma içerik analiz yöntemiyle; yayınların yapıldığı özel sektör kuruluşuna, üniversiteye, enstitüye ve ilgili anabilim dalına göre dağılımı incelenerek sınıflandırılmıştır. Yıllara göre en fazla yayınlanan makale sayısı 19 adetle (%17) 2018 yılında yapılmıştır. İllere göre en fazla yayınlanan makale sayısı 23 adetle Konya (%17) ilidir. Üniversitelere göre en fazla yayınlanan makale sayısı 19 adetle (%16) ile Konya Selçuk Üniversitesi’nde yapılmıştır. Sonuçta; arazi toplulaştırması konusunun son yıllarda daha fazla akademik çalışmada incelenmeye başlandığı görülmüştür. Ayrıca, ziraat mühendisi kökenli araştırmacılarının diğer alanlardaki araştırmacılara göre bu konuda daha fazla yayın yaptığı belirlenmiştir.

## GİRİŞ

Arazi; yeryüzü parçası, yer, toprak, ekip biçilen topraklar, insanların oturduğu ya da boş toprak parçasıdır (URL\_1). Arazi toplulaştırması; değişik nedenlerle parçalanmış ve yol, kanal gibi hizmetlerden yararlanamaz hale gelmiş arazilerin belirli kurullarla birleştirilmesi işlemidir. Arazi toplulaştırmasının amacı, arazilerin çok parçalı durumunu ve dağınıklığını ortadan kaldırarak işletmelerin daha verimli hale getirilmesi, çok parçalı oluşun neden olduğu tarla sınırı, yol ve su arklarından dolayı olabilecek ürün kayıplarının azaltılmasıdır. Toplulaştırmadan sonra oluşacak parseller daha büyük ve şekilleri daha düzgün olacağından, makineli tarım daha kolay yapılmakta ve giderler de önemli ölçüde azalmaktadır. Küçük parseller

1 Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Müh. Bölümü, ORCID: 0000-0002-1850-4616, nurierdem@osmaniye.edu.tr



bir araya getirildiği için, işletme merkezi (çiftçi ailesinin oturduğu yer) ve parseller arasındaki uzaklık azalmakta, zaman, işçilik ve yakıttan tasarruf sağlanmaktadır. Her parselin yola ve su kanala sınırı olacağından dolayı sulama ve ulaşım kolaylığı artmaktadır. Parsellerde müşterek mülkiyetten doğan huzursuzluklar giderilmektedir.

Arazi toplulaştırması ve tarla içi geliştirme hizmetlerinin yapılmasında Devlet Su İşleri (DSİ) uygulayıcı kamu kurumu olarak yetkilidir. DSİ, sadece kendi yürüttüğü bu alanda yapılan iş ve işlemlerden hukuki olarak sorumlu olan bir kuruluştur. DSİ dışındaki diğer kurum ve kuruluşlar ilgili kurumun iznine tabi olarak proje idaresi sıfatıyla arazi toplulaştırma ve tarla içi geliştirme hizmetlerini yürütmeye yetkilendirilmiştir (URL\_2, Madde 5/2). Uygulayıcı kuruluş olan DSİ tarafından, Cumhurbaşkanı Kararı ile ilgili kuruluş veya proje idaresi tarafından isteğe bağlı ya da zorunlu (maliklerin muvafakati aranmaksızın) arazi toplulaştırma ve tarla içi geliştirme hizmetleri yapılabilir veya yaptırılabilir (URL\_2, Madde 5/3). Cumhurbaşkanı Kararı, arazi toplulaştırması ve diğer işlemler yönünden kamu yararı kararı sayılır (URL\_2, Madde 5/7).

Arazi toplulaştırması sırasında arazi derecelendirmesi işlemi de yapılır. Arazi derecelendirmesinde; toprağın kalıcı ve değişken özelliklerini belirleyen toprak etütleri, arazinin yerleşim yerlerine veya işletme merkezlerine uzaklığı ile arazinin diğer özellikleri göz önüne alınarak konum ile büyüklüğünün değişimine esas olacak derecelendirme katsayıları belirlenir. Belirlenen katsayılar, kadastro parsellerinin düzenlemeye giren alanları ile çarpılarak ilgili parsellere ait parsel değer sayıları elde edilir (URL\_2, Madde 11/3).

Bu çalışmada, 2015-2020 yılları arasında yayımlanan 50 lisansüstü tezi ile 1998-2020 yılları arasında yayınlanan 114 adet makale çalışması içerik analizi yöntemiyle incelenmiştir. Tezlerde erişim kısıtlaması olmasından dolayı 2020 yılı seçilmiştir. Çalışma kapsamında 2015-2020 yılları arasında arazi toplulaştırması konusunda yayınlanmış ve erişime izin olan 50 lisansüstü tez çalışması incelenebilmiştir. 2020 yılı sonrasından günümüze kadar olan yayınlarda erişim yasağı olmasından kaynaklı olarak ancak 2020 yılı sonu baz alınmıştır. Ayrıca, 2000-2015 yılları arasındaki akademik çalışmalar başka bir makale çalışmasında ele alındığından dolayı bu tarih aralığının seçilmesi uygun görülmüştür (Boztoprak vd., 2015). Toplamda 164 adet akademik çalışma içerik analiz yöntemiyle; yayınların yapıldığı özel sektör kuruluşuna, üniversiteye, enstitüye ve ilgili anabilim dalına göre dağılımı incelenerek sınıflandırılmıştır. Yapılan çalışmayla bu alanda son yıllarda yapılan akademik yayınların genel bir profili oluşturulmaya çalışılmıştır.

## METARYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan verilerin bir kısmı <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/> internet sitesinden, diğer bir kısmı da *Google Akademik* gibi arama motorlarından elde edilmiştir. Söz konusu web sitelerindeki arama modülüne öncelikle “*Arazi Toplulaştırma*”, “*Arazi Düzenlemesi*” ve “*Arazi Toplulaştırılması*” gibi kelime grupları yazılarak lisansüstü tezleri ve akademik makale çalışmaları indirilmiştir. Söz konusu web sitelerinden elde edilen 1660’ü aşkın çalışmadan büyük çoğunluğu çıkarılarak, arazi toplulaştırılması konusuyla doğrudan ilgili olan çalışmalar incelemeye alınmıştır. 2015-2020 yılları arasında yayımlanan 50 lisansüstü tezi ile 1998-2020 yılları arasında yayımlanan 114 adet makale çalışması içerik analizi yöntemiyle incelenmiştir. Toplamda 164 adet akademik çalışma içerik analiz yöntemiyle; yayınların yapıldığı özel sektör kuruluşuna, üniversiteye, enstitüye ve ilgili anabilim dalına göre dağılımı incelenerek sınıflandırılmıştır.

Bu çalışmada, veriler analiz edilirken tez ve makalelerden kısıtlaması olmayanlar detaylı bir şekilde incelenebilmiştir. Ancak, erişim kısıtlaması olan çalışmalar ise özetlerinde verilen bilgiler doğrultusunda analiz edilmiştir. İncelenen çalışmalar özel sektör ve kamu kurumlarına bağlı olarak gruplandırılmıştır. Makalelerin yayınlanma yılı, üniversite ismi, yazarların kamu veya özel sektörde çalışma durumu ve ili belirtilmiştir. Ayrıca, fakülteye, bölüme, illere, yıllara, anabilim dalına, yazarın kamu kurumu veya özel sektörde çalışıyor olması durumuna göre makale ve tezler tasnif edilmiştir. Sonuçlar ilgili şekil ve tablolarda özet olarak sunulmuştur.

## BULGULAR

### *Lisansüstü Tezlere İlişkin Elde Edilen Bulgular:*

Ülkemizde 2015-2020 yılları arasındaki YÖK’ün Ulusal Tez Merkezi resmî web sitesinde yer alan arazi toplulaştırması konusunda erişim izni de olan tezlerin yıllara göre dağılımı; 2015 yılında 1 tane doktora ve 3 tane yüksek lisans tezi, 2016 yılında yalnızca 4 tane yüksek lisans tezi, 2017 yılında 1 tane doktora ve 3 tane yüksek lisans tezi, 2018 yılında 3 tane doktora ve 7 tane yüksek lisans tezi, 2019 yılında 2 tane doktora ve 20 tane yüksek lisans tezi, 2020 yılında 1 tane doktora ve 4 tane yüksek lisans tezi yayınlandığı görülmüştür. Toplamda 8 tane doktora tezi ve 42 tanede yüksek lisans tezi yayımlanmıştır. Tablo 1’de üniversitelerin lisansüstü üretilen tez sayısı ve yayın yılına göre dağılımı detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Üniversitelerin Lisansüstü Tez Sayısı ve Yayın Yılına Göre Dağılımı

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Toplam	Oran (%)							
	DR/YL	DR/YL	DR/YL	DR/YL	DR/YL	DR/YL	DR/YL	DR/YL							
Akdeniz				1			1	12.5							
Aksaray		1			3		4	9.5							
Ankara					1		1	2.4							
Aydın Adnan Menderes	1			1	1	2	4	12.5							
Bingöl					1		1	2.4							
Bursa Uludağ				1	2		3	7.1							
Çanakkale On Sekiz Mart					1		1	2.4							
Dokuz Eylül			1				1	2.4							
Ege		1					1	2.4							
Erciyes					1		1	2.4							
Isparta Uygulamalı Bilimler					2		2	4.8							
İTÜ		1					1	2.4							
Kahramanmaraş Sütçü İmam			1		2	1	3	12.5							
				3											
Konya Teknik					1	1	2	4.8							
Namık Kemal				1	1		2	25							
On Dokuz Mayıs	1			2	2		5	11.9							
Selçuk	1	0	1	1	2		3	37.5							
Stüeyman Demirel	1	1		1			3	7.1							
Tokat Gazi Osman Paşa			1		2		3	7.1							
Toplam	1	3	0	4	1	3	7	2	20	1	4	8	42	100	100

Arazi toplulaştırması konusu ile ilgili yayınlanan ve erişim izni olan doktora ve lisansüstü tezlerin üniversitelere ve ilgili olan anabilim dallarına göre dağılımı Tablo 2’de sunmaktadır. Tablo incelendiğinde 50 adet lisansüstü tezin 19 adet farklı devlet üniversitesi bünyesinde yürütüldüğü görülmektedir. Yüksek lisans tezlerinin çoğunlukla Selçuk üniversitesi (%18), Aydın Adnan Menderes Üniversitesi (%10) ve Ondokuz Mayıs Üniversitesi (%10) gerçekleştirildiği görülmektedir. Doktora tezlerinde ise Akdeniz Üniversitesi %12,5 ve Aydın Adnan Menderes Üniversitesi %12,5’dir. Diğer üniversiteler ise bu tarihler aralığında hiç doktora tezi

yayımlanmıştır. Ayrıca özel üniversitelerde arazi toplulaştırmasıyla ilgili herhangi bir lisansüstü tez çalışması yapılmamıştır.

*Tablo 2. Tezlerin Üretildiği Üniversite ve İlgili Anabilim Dallarına Göre Dağılımları*

Üniversite	Anabilim Dalı	Doktora		Yüksek Lisans		Toplam	
		Yayını	Oranı (%)	Yayını	Oranı (%)	Yayını	Oranı (%)
Akdeniz	Tarımsal Yapılar ve Sulama	1	12.5	0	0	1	2
Aksaray	Harita Mühendisliği	0	0	4	9.5	4	8
Ankara	Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi	0	0	1	2.4	1	2
Aydın Adnan	Tarımsal	1	12.5	4	9.5	5	10
Menderes	Yapılar ve Sulama-Toprak Bilimi ve Bitki Besleme						
Bingöl	Toprak Bilimi ve Bitki Besleme	0	0	1	2.4	1	2
Bursa Uludağ	Biyosistem Mühendisliği	0	0	3	7.1	3	6
Çanakkale Onsekiz Mart	Tarım Ekonomisi	0	0	1	2.4	1	2
Dokuz Eylül	Kamu Hukuku	0	0	1	2.4	1	2
Ege	Toprak Bilimi ve Bitki Besleme	0	0	1	2.4	1	2
Erciyes	Harita Mühendisliği	0	0	1	2.4	1	2
Isparta Uygulamalı Bilimler	Tarımsal Yapılar ve Sulama	0	0	2	4.8	2	4
İTÜ	Geomatik Mühendisliği	0	0	1	2.4	1	2
Kahramanmaraş Sütçü İmam	Biyosistem Mühendisliği	1		3	7.1	4	8
Konya Teknik	Bilgisayar Mühendisliği- Harita Mühendisliği	0	0	2	4.8	2	4

		ğ					
<b>Namık Kemal</b>	Tarım Ekonomisi- Biyosistem Mühendisli ğ	2		0	0	2	4
<b>Ondokuz Mayıs</b>	Tarım Ekonomisi ve Sulama- Harita Mühendisli ğ	0	0	5	11.9	5	10
<b>Selçuk</b>	Tarımsal Yapılar ve Sulama- Bilgisayar Mühendisli ğ- Jeodezi ve Fotogrametr i- Harita Mühendisli ğ	3		6	14.3	9	18
<b>Süleyman Demirel</b>	Toprak Bilimi ve Bitki Besleme- Tarım Ekonomisi- 6Peyzaj Mimarlığı	0	0	3	7.1	3	6
<b>Tokat Gaziosmanpaşa</b>	Biyosistem Mühendisli ğ- Toprak Bilimi ve Bitki Besleme	0	0	3	7.1	3	6
<b>Toplam</b>		<b>8</b>	<b>100</b>	<b>42</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Tablo 3 ve 4'te arazi toplulaştırmasıyla ilgili olarak yayınlanmış olan lisansüstü tezlerde araştırılan konuların dağılımı ve tez sayıları gösterilmektedir. Tablolara bakılırsa arazi toplulaştırması ile ilgili toplamda 8 farklı konu ve disiplinde çalışma gerçekleştirildiği görülmektedir. Buna göre; en fazla çalışmanın yapıldığı disiplinler ziraat (29) ve Jeodezi ve Fotogrametri (10)'dur. En az ise Hukuk (1), Peyzaj Mimarlığı (1) ve Şehircilik ve Bölge Planlama (1) disiplinlerindedir.

Tablo 3. Lisansüstü Yapılan Tezlerin Çalışma Konularına Göre Dağılımları.

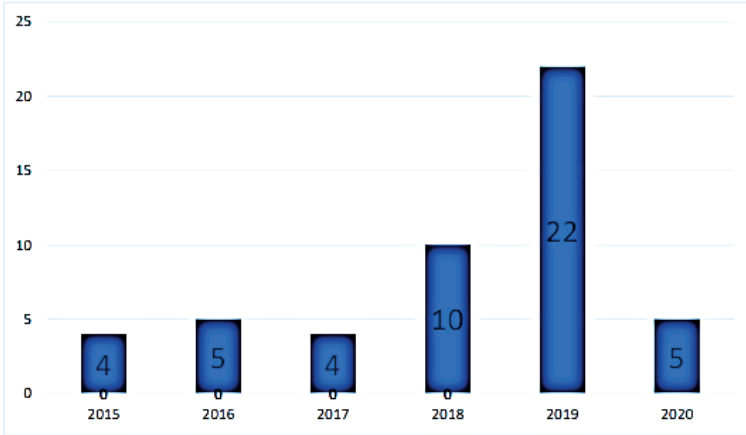
Kaynak	Tez Dr/Y1	Türü	Tezlerin Çalışma Konuları
Aliefendioğlu, 2019	YL		Şehircilik ve Bölge Planlama
Aslan, Büyüктаş, 2019	DT		Ziraat
Aslan, 2019	YL		Ziraat
Aydın, 2019	YL		Ziraat
Aydın, 2019	YL		Ziraat
B. Karataş, 2015	YL		Ekonomi
Başayığıt, 2016	YL		Ziraat
Çay, 2015	DT		Jeodezi ve Fotogrametri
Çay, 2018	DT		Jeodezi ve Fotogrametri
Çay, 2018	YL		Jeodezi ve Fotogrametri
Çay, 2019	YL		Jeodezi ve Fotogrametri
Çiftçi, 2016	YL		Ziraat
Çiftçi, 2020	YL		Ziraat
Çiftçi, 2020	YL		Ziraat
Dağdelen, 2018	YL		Ziraat
Dağdelen, 2019	DT		Ziraat
Değirmenci, 2017	YL		Ziraat
Değirmenci, 2019	YL		Ziraat
Değirmenci, 2019	YL		Ziraat
Değirmenci, 2020	DT		Ziraat
Delibaş, 2019	DT		Ziraat
Demiryürek, 2015	YL		Ziraat
Denli, 2016	YL		Jeodezi ve Fotogrametri
Erol, 2015	YL		Peyzaj Mimarlığı
Gündoğdu, 2018	YL		Ziraat
Gürel, 2018	DT		Ziraat
Karataş, 2019	YL		Jeodezi ve Fotogrametri
Karataş, 2019	YL		Jeodezi ve Fotogrametri
Karataş, 2019	YL		Jeodezi ve Fotogrametri
Karataş, 2016	YL		Mühendislik Bilimleri
Karlı, 2018	YL		Ziraat
Kaya, 2019	YL		Ziraat
Kayalak, 2019	YL		Ekonomi
Kirmikil, 2019	YL		Ziraat
Kurban, 2019	YL		Mühendislik Bilimleri
Kurucu, 2016	YL		Ziraat
Oğuz, 2019	YL		Ziraat

<b>Sancakdar, 2017</b>	YL	Hukuk	
<b>Şişman, 2019</b>	YL	Jeodezi ve Fotogrametri	
<b>Şişman, 2019</b>	YL	Jeodezi ve Fotogrametri	
<b>Şişman, 2018</b>	YL	Mühendislik Bilimleri	
<b>Temizel, 2018</b>	YL	Ziraat	
<b>Topak, 2020</b>	YL	Ziraat	
<b>Uçar, 2019</b>	YL	Ziraat	
<b>Uçar, 2019</b>	YL	Ziraat	
<b>Uğuz, 2017</b>	DT	Bilgisayar Bilimleri	Mühendisliği
<b>Uğuz, 2018</b>	YL	Bilgisayar Bilimleri	Mühendisliği
<b>Uğuz, 2020</b>	YL	Bilgisayar Bilimleri	Mühendisliği
<b>Yürekli, 2017</b>	YL	Ziraat	
<b>Yürekli, 2019</b>	YL	Ziraat	

*Tablo 4. Konuyla İlgili Tez Sayısı*

Konu	Konuyla İlgili Tez Sayısı
<b>Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri</b>	3
<b>Ekonomi</b>	2
<b>Hukuk</b>	1
<b>Jeodezi ve Fotogrametri</b>	10
<b>Mühendislik Bilimleri</b>	3
<b>Peyzaj Mimarlığı</b>	1
<b>Şehircilik ve Bölge Planlama</b>	1
<b>Ziraat</b>	29

Şekil 1’de 2015-2020 yılları arasında arazi toplulaştırması konusunda yayınlanan ve erişim izni olan tezlerin yıllar bazlı dağılımını yansıtılmaktadır. Şekil 1 incelendiğinde en çok lisansüstü tezin 2019 yılında 22 adet olduğu ve 2018 yılında ise 10 adet yayınlandığı görülmektedir. En az tezin ise 4’er adet ile 2015 ve 2017 yıllarında yayımlandığı görülmektedir.



*Şekil 1. Lisansüstü Tezlerin Yayımlanma Yıllarına Göre Dağılımı.*

Tezlerin anabilim dalına göre dağılımı Tablo 5’de gösterilmektedir. En fazla 12 tez ile Harita Mühendisliği (%24), 11 tez ile Tarımsal Yapılar ve Sulama (%22) ve 10 tez ile Biyosistem Mühendisliği (%20) anabilim dalında yayımlanmıştır. En az ise 1’er tez (%2) ile Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi, Geomatik Mühendisliği, Kamu Hukuku, Peyzaj Mimarlığı bölümlerinde tez üretildiği görülmektedir.

*Tablo 5. Anabilim Dalına Göre Tez Sayılarının Dağılımı*

Sıra No	Anabilim Dalı	Tez Sayısı	Oran(%)
1	Bilgisayar Mühendisliği	3	6
2	Biyosistem Mühendisliği	10	20
3	Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi	1	2
4	Geomatik Mühendisliği	1	2
5	Harita Mühendisliği	12	24
6	Kamu Hukuku	1	2
7	Peyzaj Mimarlığı	1	2
8	Tarım Ekonomisi	4	8
9	Tarımsal Yapılar ve Sulama	11	22
10	Toprak Bilimi ve Bitki Besleme	6	12
<b>Toplam</b>		<b>50</b>	<b>100</b>

Tezlerin yapıldığı enstitüye göre dağılımı Tablo 6’da gösterilmiştir. Toplamda 45 adet tez ile en fazla Fen Bilimleri Enstitülerinde (%90) tez yayınlanmıştır. En az ise 1 adet (%2) tez ile Sosyal Bilimleri Enstitülerinde olmuştur.



*Tablo 6. Tezlerin Yapıldığı Enstitüye Göre Dağılımı*

Enstitüsü	Tez Sayısı	Oranı (%)
<b>Fen Bilimleri</b>	45	90
<b>Sosyal Bilimler</b>	1	2
<b>Lisansüstü Eğitim</b>	4	8
<b>Toplam</b>	50	100

Lisansüstü tezlerdeki konuların yıllara göre dağılımı Tablo 7’de gösterilmiştir. 2015 yılında en çok ele alınan konular Ekonomi, Jeodezi ve Fotogrametri, Peyzaj Mimarlığı, Ziraat olmuştur. 2016 yılında Jeodezi ve Fotogrametri, Mühendislik Bilimleri, Ziraat olmuştur. 2017 yılında ise Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri, Hukuk, Ziraat olmuştur. 2020 yılında ise yalnızca Ziraat olmuştur. Tablo 7’de görüldüğü gibi ziraat disiplinde hemen hemen her yıl bu konuda tez yayımlanmıştır.

*Tablo 7. Lisansüstü Tezlerdeki Konuların Yıllara Göre Dağılımı*

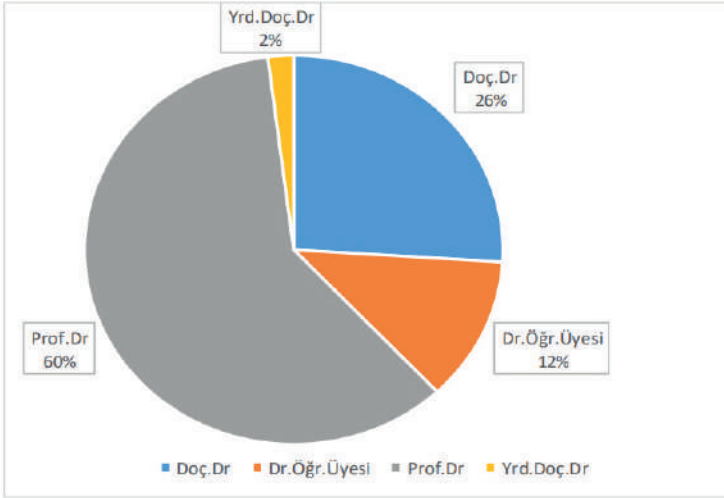
Yıl	Konu
<b>2015</b>	Ekonomi Jeodezi ve Fotogrametri Peyzaj Mimarlığı Ziraat
<b>2016</b>	Jeodezi ve Fotogrametri Mühendislik Bilimleri Ziraat
<b>2017</b>	Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri Hukuk Ziraat
<b>2020</b>	Ziraat

Tablo 8’de 2015-2020 yılları arasında yayınlanan ve erişim izni olan tezlerin sayfa sayılarına göre dağılımı gösterilmiştir. Buna göre; toplamda 1215 sayfa doktora ve 4366 sayfa da Yüksek lisans tezi yayımlanmıştır.

Tablo 8. Tezlerin Sayfa Sayılarına Göre Dağılımı

Tez Türü	Sayfa Aralığı	Sayısı	Adedi	Oranı (%)	Toplam Sayfa Sayısı	Ortalama Sayfa Sayısı
Doktora	100-150		5	62.5	621	124.5
	150-200		2	25	355	177.5
	200-250		1	12.5	239	239
	Toplam		8	100	1215	541
Yüksek Lisans	35-50		4	9.5	156	39
	50-100		19	45.2	1484	78.1
	100-150		12	28.6	1428	119
	150-200		4	9.5	622	155.5
	200-250		2	4.8	412	206
	250-300		1	2.4	264	264
	Toplam		42	100	4366	861.6

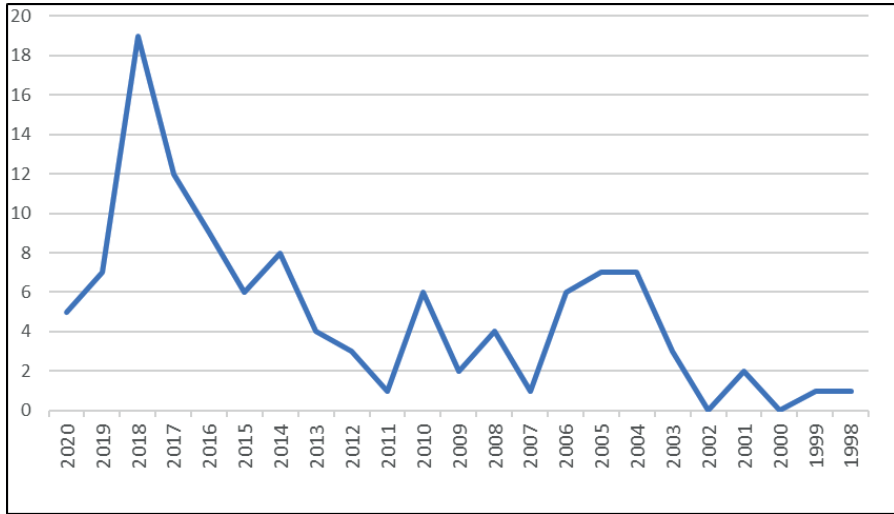
Tezlerin danışman unvanına göre dağılımı Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi en fazla Prof. Dr. ünvanlı danışmaların kontrolünde yapılan tezler yayımlanmıştır (%60). En az da Yrd. Doç. Dr. (yeni düzenlemeyle Dr. Öğr. Üyesi) tarafından yayımlanan tezler olmuştur (%2).



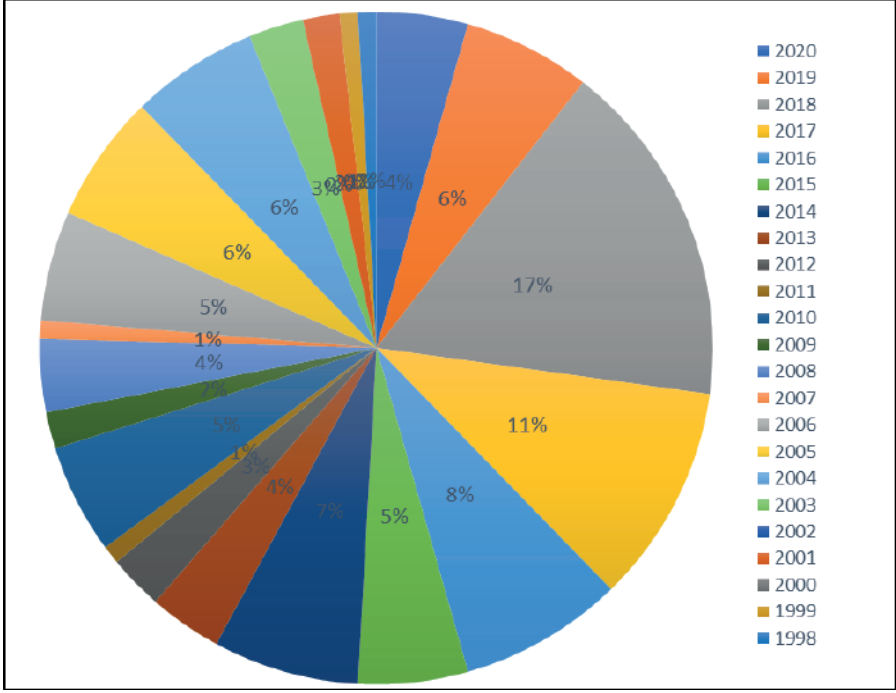
Şekil 2. Lisansüstü Çalışmaların Danışman Unvanına Göre Dağılımı.

### ***Makale Çalışmalarına İlişkin Bulgular:***

Arazi Topulaştırılması konusunda *Google Akademik* gibi arama motorlarından elde edilmiş açık erişimli (erişim kısıtlaması olmayan) makalelerden 114 adet çalışma değerlendirmeye alınmıştır. Şekil 3 ve Şekil 4’ de makalelerin yıllara göre dağılımı görülmektedir. 2020’de 5 adet (%4), 2019’da 7 adet (%6), 2018’ de en yüksek oranla 19 adet (%17), 2017’de 12 adet (%11), 2016’da 9 adet (%8), 2015’de 6 adet (%5), 2014’te 8 adet (%7), 2013’de 4 adet (%4), 2012’de 3 adet(%3), 2011’de 1 adet (%1), 2010’da 6 adet (%5), 2009’da 2 adet (%2), 2008’de 4 adet (%4), 2007’de 1 adet (%1), 2006’da 6 adet (%5), 2005’de 7 adet(%6), 2004’te 7 adet (%6), 2003’te 3 adet (%3), 2002’de 0 adet (%0), 2001’de 2 adet (%2), 2000’de 0 adet (%0), 1999’da 1 adet (%1), 1998’de 1 adet (%1) makale yayınlanmıştır.

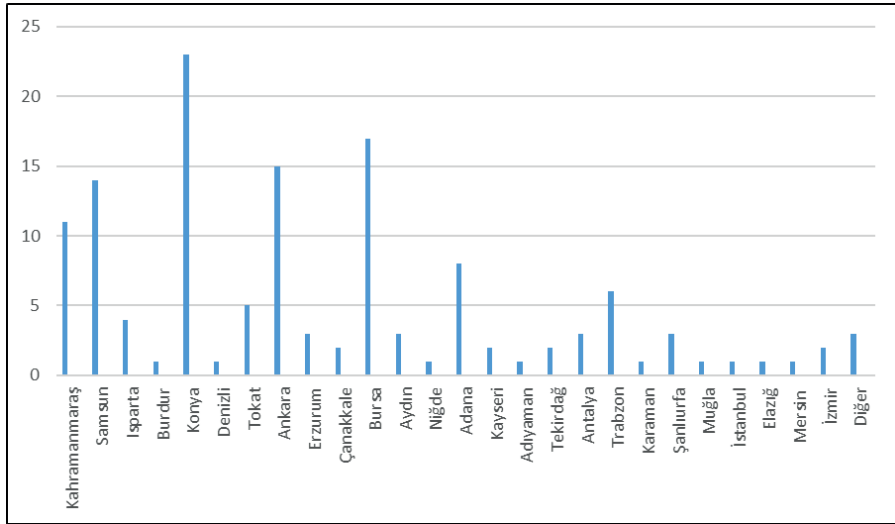


***Şekil 3. Yıllara Göre Yayınlanan Makale Sayısı.***



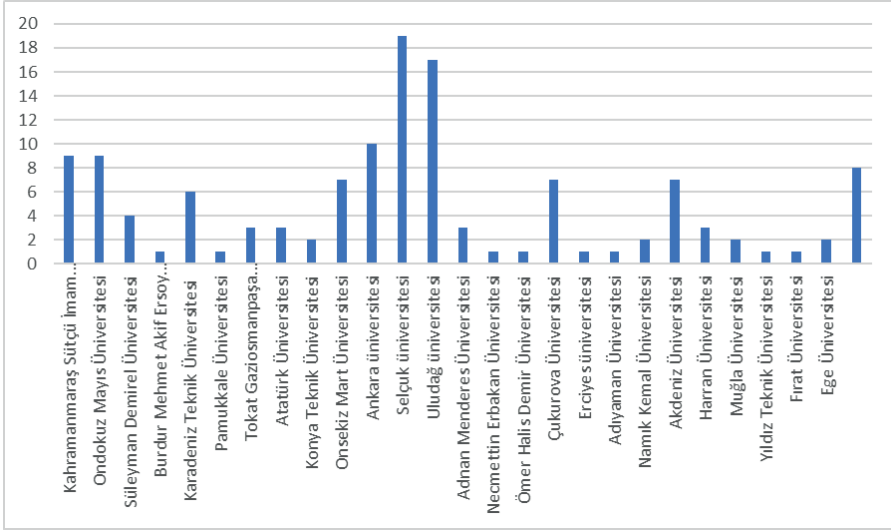
Şekil 4. Yıllara Göre Yayımlanan Makale Sayısının % Olarak Dağılımı.

İllere göre yayımlanan makale sayısının dağılımı Şekil 5'de verilmiştir. Buna göre, Kahramanmaraş 11 adetle (%9), Samsun 14 adetle (%10), Isparta 4 adetle (%3), Burdur 1 adetle (%1), Konya en yüksek oranda 23 adetle (%17), Denizli 1 adetle (%1), Tokat 5 adetle (%4), Ankara 15 adetle (%11), Erzurum 3 adetle (%2), Çanakkale 2 adetle (%1), Bursa 17 adetle (%13), Aydın 3 adetle (%2), Niğde 1 adetle (%1), Adana 8 adetle (%6), Kayseri 2 adetle (%1), Adıyaman 1 adetle (%1), Tekirdağ 2 adetle (%1), Antalya 3 adetle (%2), Trabzon 6 adetle (%4), Karaman 1 adet (%1), Şanlıurfa 3 adetle (%2), Muğla 1 adet (%1), İstanbul 1 adet (%1), Elazığ 1 adetle (%1), Mersin 1 adetle (%1), İzmir 2 adetle (%1), Diğer 3 adetle (%2) il adı belirtilmeden yayımlanmış olan makalelerin oluşturulduğu illerdir.



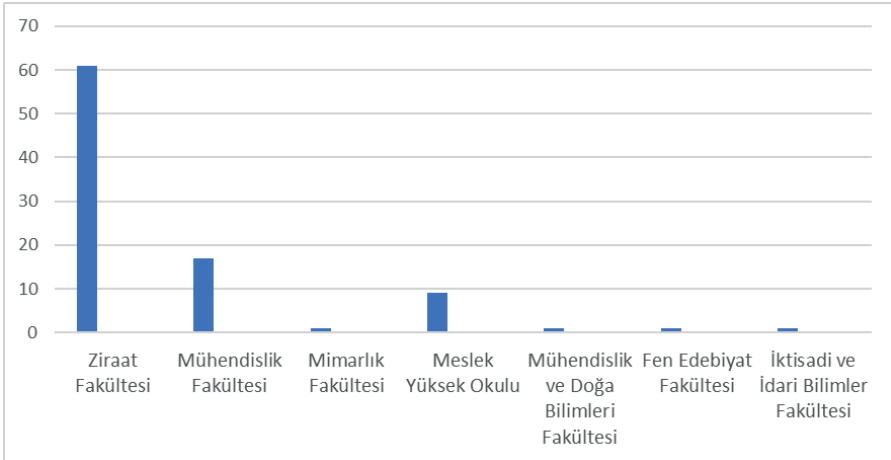
Şekil 5. İllere Göre Yayımlanan Makale Sayısı.

Üniversitelere göre yayınlanan makale sayısı Şekil 6’da verilmiştir. Buna göre, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi 9 adetle (%7), Ondokuz Mayıs Üniversitesi 9 adetle (%7), Süleyman Demirel Üniversitesi 4 adetle (%3), Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi 1 adet (%1), Karadeniz Teknik Üniversitesi 6 adet (%5), Pamukkale Üniversitesi 1 adetle(%1), Tokat Gazi Osmanpaşa Üniversitesi 3 adetle (%2), Atatürk Üniversitesi 3 adetle (%2), Konya Teknik Üniversitesi 2 adetle (%2), Onsekiz Mart Üniversitesi 7 adetle (%6), Ankara Üniversitesi 10 adet (%8), Selçuk Üniversitesi en yüksek oranla 19 adetle (%16), Uludağ Üniversitesi 17 adetle (%14), Adnan Menderes Üniversitesi 3 adetle (%2), Necmettin Erbakan Üniversitesi 1 adetle (%1), Ömer Halis Demir Üniversitesi 1 adetle (%1), Çukurova Üniversitesi 7 adetle (%6), Erciyes Üniversitesi 1 adetle (%1), Adıyaman Üniversitesi 1 adetle (%1), Namık Kemal Üniversitesi 2 adetle (%2), Akdeniz Üniversitesi 7 adetle (%6), Harran Üniversitesi 3 adetle (%2), Muğla Üniversitesi 1 adetle (%1), Yıldız Teknik Üniversitesi 1 adetle (%1), Fırat Üniversitesi 1 adetle (1), Ege Üniversitesi 2 adetle (%2)’dir.

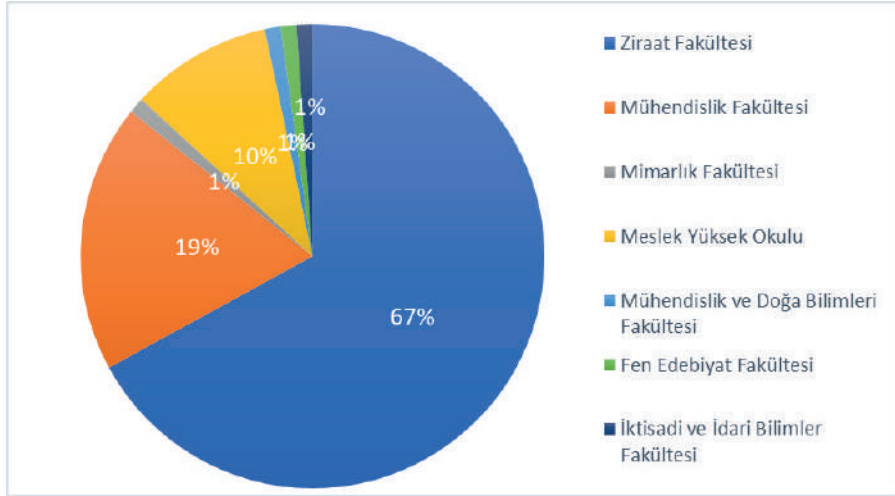


Şekil 6. Üniversitelere göre yayımlanan makale sayısı

Fakülte ve yüksek okullara göre yayımlanan makale sayısı ve % olarak dağılımı Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Buna göre, Ziraat Fakültesi en yüksek oranla 61 adet (%67), Mühendislik Fakültesi 17 adetle (%19), Mimarlık Fakültesi 1 adetle (%1), Meslek Yüksek Okulu 9 adetle (%10), Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi 1 adetle (%1), İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 1 adetle (%1)'dir.

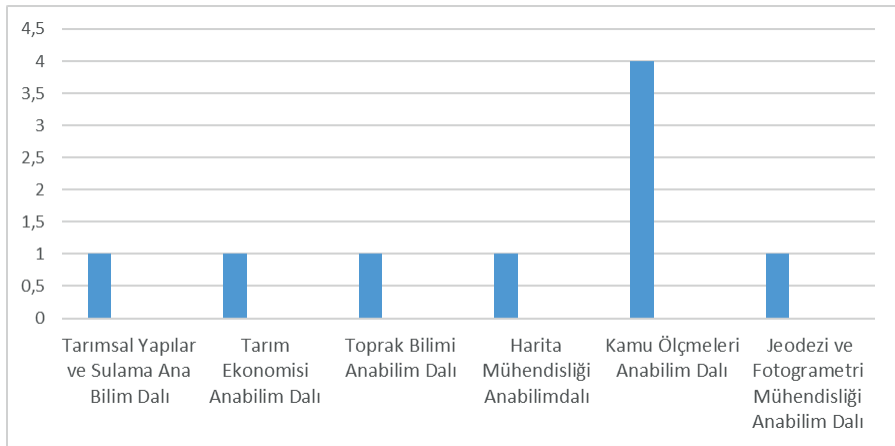


Şekil 7. Fakülte ve Yüksek Okullara Göre Yayımlanan Makale Sayısı.

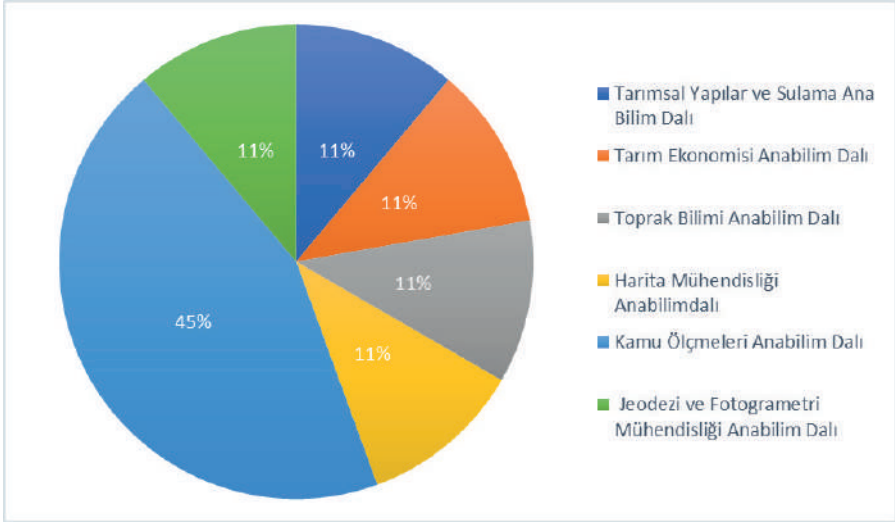


*Şekil 8. Fakülte ve Yüksek Okullara Göre Yayınlanan Makale Sayısının % Olarak Dağılımı.*

Anabilim dalına göre yayınlanan makale sayısı ve % olarak dağılımı Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Buna göre, Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı 1 tane adetle (%11), Tarım Ekonomisi Anabilim dalı 1 adetle (%11), Toprak Bilimi Anabilim dalı 1 adetle (%11), Harita Mühendisliği Anabilim dalı 1 adetle (%11), Kamu Ölçmeleri Anabilim dalı ise en yüksek oranla 4 adetle (%45), Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim dalı 1 adetle (%11) olarak değerlendirilmiştir.



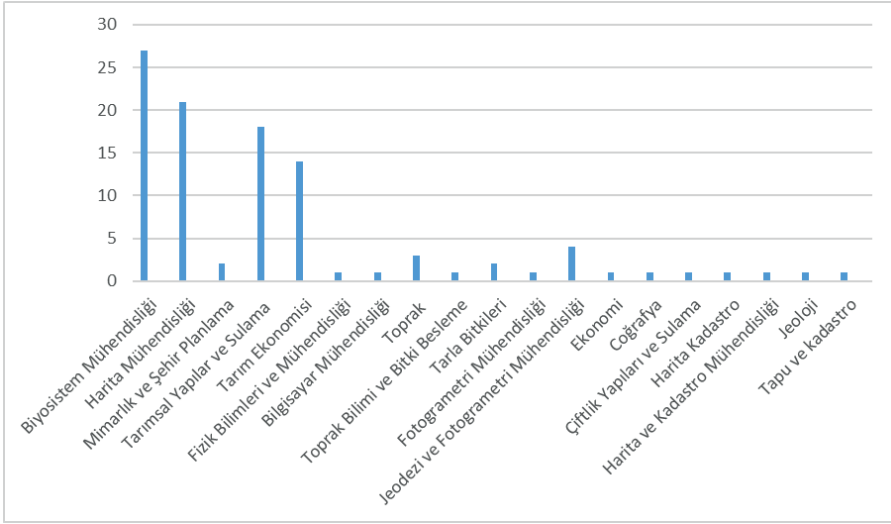
*Şekil 9. Anabilim Dalına Göre Yayınlanan Makale Sayısı.*



Şekil 10. Anabilim Dalına Göre Yayınlanan Makale Sayısının % Olarak Dağılımı.

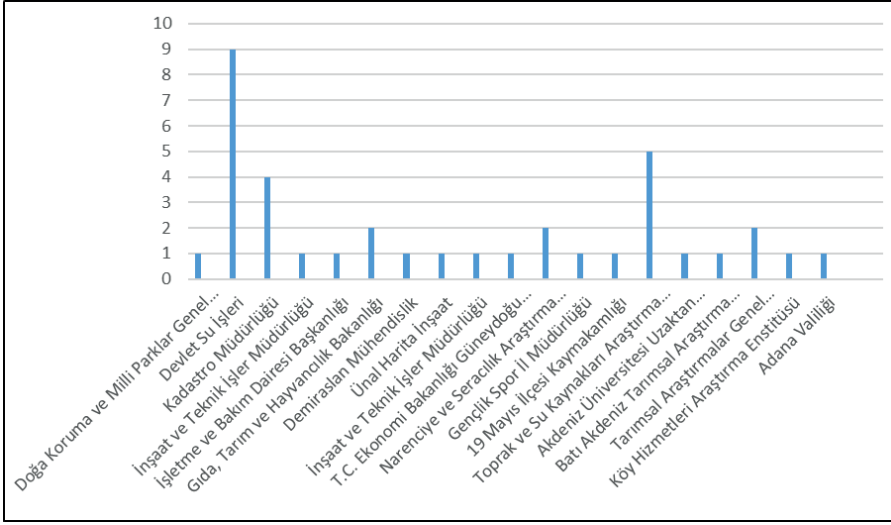
Bölgümlere göre yayınlanan makale sayısı Şekil 11’de verilmiştir. Buna göre, Biyosistem Mühendisliği en fazla oranla 27 adet (%26), Harita Mühendisliği 21 adetle (%21), Mimarlık ve Şehir Planlama 2 adetle (%2), Tarımsal Yapılar ve Sulama 18 adetle (%18), Tarım Ekonomisi 14 adetle (%14), Fizik Bilimleri ve Mühendisliği 1 adetle (%1), Bilgisayar Mühendisliği 1 adetle (%1), Toprak 3 adetle (%3), Toprak Bilimi ve Bitki Besleme 1 adetle (%1), Tarla Bitkileri 2 adetle (%2), Fotogrametri Mühendisliği 1 adetle (%1), Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği 4 adetle (%4), Ekonomi 1 adetle (%1), Coğrafya 1 adetle (%1), Çiftlik Yapıları ve Sulama 1 adetle (%1), Harita Kadastro 1 adetle (%1), Harita ve Kadastro Mühendisliği 1 adetle (%1), Jeoloji 1 adetle (%1), Tapu ve Kadastro 1 adetle (%1) olarak değerlendirilmiştir.





Şekil 11. Bölümlere Göre Yayımlanan Makale Sayısı.

Kamu ve özel sektör kaynaklı yayımlanan makale sayısı Şekil 12’de verilmiştir. Buna göre, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü 1 adetle (%3), Devlet Su İşleri en fazla oranla 9 adetle (%24), Kadastro Müdürlüğü 4 adetle (%11), Samsun İl Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü 1 adetle (%3), İnşaat ve Teknik İşler Müdürlüğü 1 adetle (%3), İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı 1 adetle (%3), Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı 2 adetle (%5), Demiraslan Mühendislik 1 adetle (%3), Ünal Harita İnşaat 1 adetle (%3), İnşaat ve Teknik İşler Müdürlüğü 1 adetle (%3), TC. Ekonomi Bakanlığı Güneydoğu Anadolu Bölge Müdürlüğü 1 adetle (%3), Narenciye ve Seracılık Araştırma Enstitüsü 2 adetle (%5), Gençlik Spor İl Müdürlüğü 1 adetle (%3), 19 Mayıs İlçesi Kaymakamlığı 1 adetle (%3), Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü 5 adetle (%14), Akdeniz Üniversitesi Uzaktan Algılama Araştırma ve Uygulama Merkezi 1 adetle (%3), Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü 1 adetle (%3), Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü 2 adetle (%5), Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü 1 adetle (%3), Adana Valiliği 1 adetle (%3) olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 12. Kamu ve Özel Sektör Kaynaklı Yayımlanan Makale Sayısı.

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Arazi toplulaştırması konusu son yıllarda daha fazla bilimsel çalışmada incelenen bir konu olmaya başlanılmıştır. Burada en önemli etkenlerin; konunun hem ekonomik ve sosyal boyutunun olması ve hem de artan nüfusla birlikte toprak ve su gibi kıt kaynakların en uygun bir şekilde kullanımı zorunluluğunun artmaya başlamasıdır.

Çalışmalara bakıldığında ziraat mühendisliği disiplinde üretilen yayınların diğer yayınlardan çok daha fazla olduğu görülmektedir. Üniversiteler bazında yayınlara bakıldığında, en fazla yayının sırasıyla Selçuk Üniversitesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi ve Aydın Adnan Menderes Üniversitesi'nde üretildiği görülmektedir. Üniversitelerin bölüm bazında en fazla yayının Ziraat Mühendisliği bölümlerinin yaptığı belirlenmiştir. Bunun sebebi olarak, uygulama öncesi, sırası ve sonrasında yapılmış olan çalışmaların çoğunlukla ziraat mühendisliği alanıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Bu arada başta harita mühendisliği olmak üzere araziyle ilgili diğer meslek disiplinlerinin de arazi toplulaştırması konusunda daha çok yayın yapması, mezuniyetlerinden sonra bu konudaki projelerde çalışacak genç mühendislere yön vermesi ve yol göstermesi açısından önemlidir.

Yıllara göre en fazla yayınlanan makale sayısı 19 adetle (%17) 2018 yılında yapılmıştır. İllere göre en fazla yayınlanan makale sayısı 23 adetle Konya (%17) ilidir. Üniversitelere göre en fazla yayınlanan makale sayısı 19 adetle (%16) Selçuk Üniversitesi'dir. Fakülte ve Yüksek Okullara göre

yayınlanan makale sayısı 61 adetle (%67) Ziraat Fakültesi’dir. Anabilim dalına göre yayınlanan makale sayısı en fazla 4 adetle (%45) Kamu Ölçmeleri Anabilim dalıdır. Bölümlere göre en fazla yayınlanan makale sayısı 27 adet (%26) Biyosistem Mühendisliği’dir. Kamu Kurumları ve özel sektör bazında yayınlanan makalelere göre en fazla 9 adetle (%24) Devlet Su İşleri’dir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde Ziraat Fakültesi en fazla yayın yapan fakültedir. Biyosistem Mühendisliği ise en fazla yayın yapan bölümdür. Arazi toplulaştırması projelerinde aktif rol oynayan Ziraat Mühendisliği bölümü dışında başta Harita Mühendisi ve İnşaat Mühendisleri olmak üzere taşınmazlar dünyasıyla ilgili çalışmalar yapan meslek disiplinlerinin bu alanda daha fazla akademik çalışma yapması, her disiplinin kendi açısından konunun topluma ve karar vericilere daha iyi anlatılabilmesi çabaları açısından önemlidir.

## KAYNAKLAR

- Acar, Ö. Bengin, E.2018.Yozgat (Baştürk Köyü) Arazi Toplulaştırma Projesinin Bölgesel Kalkınma Açısından Değerlendirilmesi, KSÜ, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü,
- Akdemir, Ş. Öztornacı, B. Berk, A. Turan, E. Aslan, D. Gündüz, F. Arazi Toplulaştırmasının Etkileri ve Çiftçi Memnuniyeti: Adıyaman İli Örneği, Çukurova Üniversitesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Uluslararası Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi1(3): 218-221, 2018
- Akdeniz, M., & Temizel, K. E. (2018). Arazi Toplulaştırma Projelerinde Başarının Değişik Göstergelere Göre Değerlendirilmesi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 33(2), 149-161.
- Akkaya Aslan, Ş. Arıcı, İ. 2004. Bursa Karacabey Projesi Planlama Bilgilerinin Artop Arazi Toplulaştırma Bilgi Sistemi ile Analizi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 17 (2): 111-124
- Akkaya, S. Topak, R. Kara, M. 2017. Arazi Toplulaştırmasının Toplu Yağmurlama Şebekesi Proje ve İşletme Maliyetlerine Etkisi, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Bitkisel Araştırma Dergisi, 6 (1), 1-9.
- Akkaya, Ş. Gündoğdu, K. Arıcı, İ. 2001. Bursa-Karacabey-Eskisarıbey Köyü Arazi Toplulaştırma Projesi Çerçevesinde Koy Yerleşiminin İyileştirilmesi Üzerine Bir Çalışma, U.U. Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü.
- Arıcı, İ. Kirmikil, M. Gündoğdu, K. Akkaya Aslan, Ş. 2017. Arazi Toplulaştırmasının Gerekliği, Yarattığı Fırsatlar, Biyosistem Mühendislerinin Bu Çalışmalardaki Yeri ve Önemi, Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi. 2017; 6(Özel Sayı (Bsm 2017)): 70-74.
- Arslan, F. Değirmenci, H. 2016. Çiftçilerin Arazi Toplulaştırma Projesine Bakışı: Kahramanmaraş Türkoğlu İlçesi ve Köyleri, KSÜ, Biyosistem Mühendisliği Bölümü. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 2016, Cilt 30, Sayı 2, 23-34
- Arslan, H, Tunca, E. 2013. Arazi Toplulaştırılmasının Sulama Projelerinin Performansı Üzerine Etkileri, Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 28 (3), 126-133.
- Arslankurt, H. B. Altıntaş, A. 2005. Tokat İlinde Arazi Toplulaştırması Bilinç Düzeyine Etkili Sosyo-Ekonomik Özelliklerin Tespiti ve Bunların Ekonometrik Analiz, Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü/ Tokat, Türkiye 6. Tarım Ekonomisi Kongresi.
- Aslan, Ş. Arıcı, İ.2003.Bursa Karacabey Projesi Planlama Bilgilerinin Artop Arazi Toplulaştırma Bilgi Sistemi ile Analizi, Uludağ Üniversitesi Ziraat

- Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Uludağ Üniv. Zir. Fak. Derg., 17 (2): 111-124
- Aslan, Ş. 2018. Arazi Toplulaştırma Öncesi ve Sonrası Arazi Parçacılık Değişiminin Analizi: Denizli Tavas İlçesi Pınarlar Köyü Örneği, Uludağ Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği, Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 5(3): 364–371
- Ayten, B. (2019). Arazi Toplulaştırma Projelerinde Uygulanan Derecelendirme Çalışmalarında Yeni Bir Yaklaşım Önerisi: Konya-Çandır-Kırsal Mahallesi Örneği (Master’s Thesis, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Başbozkurt, H. (2015). Mekânsal Regresyon Metotları Kullanımı ile Toprağın Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Analizi (Doctoral Dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Başer, U. Bozoğlu, M. 2019. Land Banking System İn Agriculture, Ondokuz Mayıs University, Department Of Agricultural Economics, Faculty Of Agriculture, Turkish Journal Of Agriculture - Food Science And Technology, 7(9): 1404-1410, 2019.Samsun
- Bayram, R. Değirmenci, H. 2018. Arazi Toplulaştırma Projelerinde Parsel Şekillerinin Analizi: Niğde Misli Ovası 2. Kısım Yıldıztepe Örneği, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi, 21(4):500-510, 2018”
- Bayram, R., & Değirmenci, H. (2018). Arazi Toplulaştırma Projelerinde Parsel Şekillerinin Analizi: Niğde Misli Ovası 2. Kısım Yıldıztepe Örneği. Tarım ve Doğa Dergisi, 21(4), 500.
- Bayramğlu, Z. Oğuz, C. 2005. Konya İli Çumra İlçesinde Arazi Toplulaştırılması Yapılmış Tarım Alanlarında Buğday, Fasulye ve Şekerpancarı Üretimini Etkileyen Faktörlerin Ekonometrik Analizi, Küçükköy Örneği, Konya Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, S.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi 19 (35): (2005) 75-83.
- Benek, S. 2006. Şanlıurfa İlinin Tarımsal Yapısı, Sorunları ve Çözüm Önerileri, Şanlıurfa Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, Coğrafi Bilimler Dergisi, 2006, 4 (1), 67-91.
- Boyras, Z. Üstündağ, Ö. 2008. Kırsal Alanlarda Arazi Toplulaştırma Çalışmalarının Önemi, Fırat Üniversitesi, Issn:1306-3111’e-Journal Of New World Sciences Academy 2008, Volume: 3, Number: 3 Article Number: C0076
- Boz, P. (2017). İpsala Ovasında Arazi Toplulaştırmasına Bağlı Verim Araştırması (Doctoral Dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Boztoprak, T. Demir, O. Çoruhlu, Y. 2016, Arazi Toplulaştırması Uygulamalarında Mevzuattan Kaynaklı Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 8, No: 1, 2016 (75-86)”

- Boztoprak, T., Demir, O., & Çoruhlu, Y. (2015). Türkiye’de Arazi Toplulaştırması Üzerine Yapılmış Akademik Çalışmaların Analizi. *Ksü Doğa Bil. Dergisi.*, 18(4), 91.
- Çalışkan, A, Ünal, H. (2005). Menemen Ovası Sulama Şebekesinin Arazi Toplulaştırması Öncesi ve Sonrası Durumunun Değerlendirilmesi, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42 (2), 109-120.
- Çay, T. Ayten, T. Çağla. İşcan, H. 2005. Arazi Toplulaştırma Kanun Tasarısı Üzerine Bir İnceleme, Konya Selçuk Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Kamu Ölçmeleri Anabilim Dalı, Konya Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Tmmob Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 28 Mart- 1 Nisan 2005.
- Çay, T. Ertunç, E. 2017. İnsan Faktörünün Arazi Toplulaştırmasının Yeniden Tahsis Aşamasına Etkisi, Konya Selçuk Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Manas Tarım Veterinerlik ve Yaşam Bilimleri Dergisi.12(3): 161-167 (2017)
- Çay, T. Ertunç, E. 2018. Analysis Of Different Reallocation Results İn Land Consolidation Project, Selçuk Üniversitesi, Harita Mühendisliği, Int. J. Of Environmental Pollution & Environmental Modelling, Vol. 1(1): 16-21
- Çay, T. Satılmış, R. 2020. Arazi Toplulaştırma Projelerinin Ekonomik Analizi: Üçhüyük Mahallesi, Çumra- Konya- Türkiye Örneği, Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Çameli Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, *Geomatik Dergisi – 2020*; 5(2); 112-119
- Çelebi, M. 2010. Toplulaştırmanın Karaman İlinde Sulama ve Diğer Tarımsal Faaliyetlerin Verimliliği Üzerinde Etkileri, Selçuk Üniversitesi, Çumra Meslek Yüksekokulu, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 3 (2): 1-6, 2010. Konya
- Çölkesen, İ. Sesli, F. A. Akyol, N. 2007. Avrupa Birliği’ne Uyum Sürecinde Türkiye’deki Arsa ve Arazi Düzenlemesi Uygulamaları, TMMOB, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 2–6 Nisan 2007, Ankara
- Dağdelen, N. Tunalı, S.P. Gürbüz, T. Akçay, S. Yılmaz, E. 2017. Aydın Yenipazar- Hamzabali, *ADÜ Ziraat Derg.* 2017;14(1):45-50.
- Dedeoğlu, M. (2017). Sarayönü Beşgözlerler Kop Alanı Detaylı Toprak Etüdü ve Farklı Yöntemlerle Arazi Değerlendirmesi (Doctoral Dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Değirmenci, H. Arslan, F. Tonçer, R. Yoğun, E. 2017. Arazi Toplulaştırma Öncesi Parsel Şekilleri ve Arazi Parçalanmasının Değerlendirilmesi: Niğde

- Misli Ovası Tırhan Köyü Örneği, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, (2017) 34 (3), 182-189.
- Değirmenci, H. Arslan, F. Ketten, M. 2019. Arazi Toplulaştırma Projelerinde Parsel Şekillerinin Değişimi: Şanlıurfa Bozca Köyü Örneği, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 6(3): 557–565, 2019.Kahramanmaraş
- Demiraslan, M. (2019). Kamu Yatırımlarına Yönelik Taşınmaz Ediniminin Arazi Toplulaştırma Çalışmalarıyla Sağlanması: Ankara-Niğde Otoyolu Gülağaç Bölümü Örneği (Master’s Thesis, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Demiraslan, M. (2019). Kamu Yatırımlarına Yönelik Taşınmaz Ediniminin Arazi Toplulaştırma Çalışmalarıyla Sağlanması: Ankara-Niğde Otoyolu Gülağaç Bölümü Örneği (Master’s Thesis, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Demiraslan, M. Özer, U. Eraslan, H.2019.Arazi Toplulaştırması Uygulamalarında Karışılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı,2019.
- Demirel, Z. Köktürk, E.2010.Arazi Toplulaştırması ile Çok Amaçlı Kadastro Arasındaki İşlevsel İlişkiler, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fotogrametri Mühendisliği Bölümü,1986, Sayı: 58-59, S: 23-41.İstanbul
- Demirtaş, E. Sarı, M. Sönmez, N. Altunbaş, S. 2016.Arazi Toplulaştırmasında Kullanılan Toprak Derecelendirme Çalışmalarına Yeni Bir Yaklaşım, Akdeniz Üniversitesi, Toprak Bölümü.
- Dengiz, O. Şişman, A. Coşkun, G. Şişman, Y. 2014.Arazi Toplulaştırmasında Kullanılan Arazi Kalite Derecelendirme Yöntemine Alternatif Yaklaşım, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Su Dergisi,3.1, 59-56.
- Durduran, S. Çora, T. Bozdağ, A. Okka, C. 2018. Konya İli Topraklık Mahallesi Arazi Toplulaştırma Uygulamasının Mekânsal ve İşlevsel Olarak Değerlendirilmesi, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 7, Sayı 2, (2018), 661-671”
- Duru, S. 2017. Türkiye’de Arazi Toplulaştırılması: Mevzuat ve Uygulamalar, T.C. Ekonomi Bakanlığı, Güneydoğu Anadolu Bölge Müdürlüğü, Adana Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Tarım Ekonomisi Dergisi, Cilt:23, Sayı:2, Sayfa 263-269.
- Duru, S. Gül, A. Hayran, S. 2017. Türkiye’de Arazi Toplulaştırması: Mevzuat ve Uygulamalar, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, Tarım Ekonomisi Dergisi. 2017; 23(2): 263-269.



- Eğilmez, S. (2018). Konya-Türkmencamiili Kasabasında Yapılan Drenaj ve Topluşturma Çalışmalarının Toprak Özelliklerine Etkisi (Doctoral Dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ekinci, K. Sayılı, M. 2010. Tarım Arazilerinin Parçalanmasını Önlemeye Yönelik Mevzuat Üzerine Bir İnceleme, 19 Mayıs İlçesi Kaymakamlığı, 55420 Samsun, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, Götü, Ziraat Fakültesi Dergisi, 2010, 27(2), 121-129. Tokat”
- Emine, L. Ö. K., & Değirmenci, H. (2019). Arazi Topluşturma Projelerinde Arazi Parçalılık Analizi: Niğde İli Hasaköy ve Bağlama Köyleri Örneği. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 22(5), 744-750.
- Eminoğlu, G, Çakmak, B. 2013. Burdur-Kemer-Elmacık Köyü Arazi Topluşturma Etkinliğinin Değerlendirilmesi, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, (5), 39-53.
- Erenci, T. Kayalak, S. 2018. Çanakkale İli Biga İlçesinde Uygulanan Arazi Topluşturma Çalışmaları, Üreticilerin Memnuniyet Ve Bilinç Seviyelerinin Belirlenmesi, Çömü, Çömü Ziraat Fakültesi Dergisi 139-144
- Eroğlu, H., & Şişman, Y. (2020). Arazi Topluşturması Dağıtım İşleminde Tek Amaçlı Genetik Algoritmanın Kullanılması. Geomatik, 5(2), 91-99.
- Eser, Ö. Uçan, K. 2012. Arazi Topluşturması Etkinliğinin Belirlenmesi, Karanman Gençlik Spor İl Müdürlüğü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, KSÜ Doğa Bil. Derg., 15(2), 2012. Kahramanmaraş
- Gündoğdu, K. Aslan, Ş. Kirmikil, M. 2018. Arazi Topluşturma Çalışmalarında İzleme ve Değerlendirmenin Gerekliği, Uludağ Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 13. Ulusal Kültürteknik Kongresi Akdeniz Üniv. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü.
- Haklı, H. (2017). Arazi Topluşturma İçin Optimizasyon Tabanlı Yeni Bir Dağıtım ve Parselasyon Modelinin Geliştirilmesi (Doctoral Dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- İldeniz, E., & Demiryürek, K. (2015). Samsun İli Bafra İlçesi Sol Sahil Köylerinde Yapılan Arazi Topluşturmasına Zorunlu ve İstemli Katılan Çiftçilerin Tutum ve Davranışlarının Karşılaştırılması. Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi, 1(2), 20-27.
- İnceyol, Y. Çay, T. 2001. Güneydoğu Anadolu Projeleri'nde (GAP) Yapılan Arazi Topluşturma Çalışmalarında Koordinasyon Sorunları, Şanlıurfa Meslek Yüksek Okulu Harita ve Kadastro Bölümü, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 16(1), 34-40.
- Kahramanoğlu, E. Dağdelen, N. 2018. Aydın Dalama Ovasında Arazi Topluşturma Çalışmalarının Tarla İçeri Geliştirme Hizmetleri ve Çiftçi Memnuni-



- yeti Açısından İrdelenmesi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, ADÜ Ziraat Derg, 2018;15(2):59-66
- Karakayacı, Z. Aydın, A. Gönül, C. Uğur, E. Arazi Topluşturmasının Arazi Değerine Etkisi; Konya İli Alanözü Kasabası Örneği, Selçuk Üniversitesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Issn:1300-9362 21(2):157-167 (2016)
- Karaman, S. Gokalp, Z. 2018. Land Consolidation Practices In Turkey,Gaziosmanpaşa Üniversitesi/Erciyes Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Current Trends In Natural Sciences Vol. 7, Issue 14, Pp. 76-80
- Kaya, M. S. (2019). Arazi Topluşturma Projelerinde Uygulama Aşamasında Yapılan İtirazların İrdelenmesi/Melike Sayın Kaya; Danışman Aziz Şişman (Master’s Thesis, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kesici Bahar, S. (2019). Arazi Topluşturması Öncesi ve Sonrası Tarımsal İşletmecilik Maliyetlerinin Değerlendirilmesi (Master’s Thesis, Uludağ Üniversitesi).
- Kınalı, T. Erol, U. Kaya, L. 2020.Isparta-İslamköy Örneğinde Arazi Topluşturma Çalışmalarının Mekânsal Olarak Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, 3burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 11(2): 150-163”
- Kirmikil, M. Ayduş, D. 2019. Arazi Topluşturma Projelerinin Kırsal Alanlarda Yakıt Giderlerine ve Tarımsal Mekanizasyona Etkisi, Uludağ Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği, Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı:31-42
- Köken, B. Çay, T. 2019.Arazi Topluşturma Çalışmalarında Derecelendirmenin Dağıtımına Etkileri: Çaltı-Konya Örneği, Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü, Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 6(2): 243–257, 2019.Konya
- Köseoğlu, M. Gündoğdu, K.S. 2004. Arazi Topluşturma Planlama Çalışmalarında Uzaktan Algılama Tekniklerinden Yararlanma Olanakları, Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18(1), 45-56.
- Kuşçu, H. 2004. Mustafakemalpaşa Sulama Alanında Arazi Topluşturma Gerekliliği, Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2004. 9 (2):61-72.
- Kuzu, H. Değirmenci, H. 2020.Arazi Topluşturma Projelerinin Tarımsal Mekanizasyon İşletmeciliğine Etkisi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü,Ksü Tarım Ve Doğa Derg 23 (3): 655-662, 2020

- Küsek, G. 2014. Türkiye’de Arazi Toplulaştırmasının Yasal Durumu ve Tarih-sel Gelişimi, Adana Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 29 (1), 1-6.
- Küzeci, N. 2008. The Studying Of Land Consolidation İn Turkey İn Adaptati-on Stage To European Union, Atatürk University, Faculty Of Agriculture, Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Erzurum (Turkey)
- Lök, E. Değirmenci, H.2019.Arazi Toplulaştırma Projelerinde Arazi Parçalılık Analizi: Niğde İli Hasaköy ve Bağlama Köyleri Örneği, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, KSÜ Tarım ve Doğa Derg 22(5): 744-750, 2019, Kahramanmaraş.
- Mesci, O., & Karlı, B. (2018). Isparta İlinde Arazi Toplulaştırması Yapılan Alan-lardaki Tarım İşletmelerinin Sosyo-Ekonomik Analizi. Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 23(1), 106-114.
- Oğuz, C. Bayramoğlu, Z. 2004. Arazi Toplulaştırması Yapılmış Tarım Alanla-rında Girdi Tasarrufu Üzerine Bir Araştırma, Çumra Küçükköy Örneği, Konya Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, S.Ü. Zi-raat Fakültesi Dergisi 18(34): (2004) 46-50.
- Ormancı, M. (2015). Arazi Toplulaştırmasının Açık Kanal ve Yağmurlama Sula-ma Sistemlerinin Yatırım Maliyeti Üzerine Etkisinin Belirlenmesi: Deniz-li-Tavas-Kızılcabölük Örneği (Master’s Thesis, Adnan Menderes Üniver-sitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Önder, B. (2019). Edirne Yöresi Arazi Toplulaştırma Çalışmalarının Sulama Sis-temlerinin Planlanması ve İşletilmesi Üzerine Etkinliklerinin Araştırılması.
- Özyazıcı, G. 2006.Sinop İlinde Arazi Toplulaştırmasının Benimsenmesini Et-kileyen Sosyo-Ekonomik Faktörler, Soil And Water Resources Research Institute, Samsun (Turkey);
- Polat, H. Manavbaşı, İ. 2013. Arazi Toplulaştırılmasının Kırsal Alanda Yakıt Tüketimi Ve Karbondioksit Salımına Etkisinin Belirlenmesi, Ankara Üni-versitesi,Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar Ve Sulama Bölümü, Tarım Bil-gileri Dersi, 05-22.
- Polat, H.E. Manavbaşı, İ. D. 2012. Arazi Toplulaştırmasının Kırsal Alanda Ya-kıt Tüketimi ve Karbondioksit Salınımına Etkisinin Belirlenmesi, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Tarım Bilimleri Dergisi, 2012.Ankara”
- Sayılan, H. 2014. Türkiye’nin Kırsal Arazi Kaynaklarının Sürdürülebilir Kullanı-mında Arazi Toplulaştırmasının Önemi, Ankara Üniversitesi, Jeoloji Bölü-mü, Procedia- Social And Behavioral Sciences 120 (2014) 248 – 256.
- Sert, A. Ceylan, A. R. Yeşiloğlu, İ. B. 2011. DSİ Genel Müdürlüğü Emlak ve Kamulaştırma Dairesi Başkanlığı, Arazi Toplulaştırma Şube Müdürlüğü,

- TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 1822 Nisan 2011. Ankara
- Sönmez, N, Sarı, M, Demirtaş, E, Altunbaş, S. (2005). Arazi Toplulaştırmasında Kullanılan Farklı Toprak Derecelendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18 (3), 425-435”
- Sözen, M. N. (2016). Ülkemizde Farklı Amaçlara Yönelik Yapılan Arazi Toplulaştırma Çalışmalarının Değerlendirilmesi (Master’s Thesis, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Şengün, M. N. 2006. Arazi Toplulaştırılma ve Tarla İçi Geliştirme Hizmetleri Sulama Suyunun Tasarruflu Kullanımına Etkisi ve Çalışmaları Yürütmesi Gereken Kurumsal Yapıdaki Yanlışlıklar, TMMOB Su Politikaları Kongresi
- Şişman, A. Şişman, Y. 2010. Using Operations Research Technics İn Land Consolidation Project, 19 Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği, International Social Sciences Congress On Management Of Natural Rourceses To Sustain Soil Health And Quality, Samsun.
- Tayfun, Ç. A. Y., & Satılmış, R. Y. Arazi Toplulaştırma Projelerinin Ekonomik Analizi: Üçüyük Mahallesi, Çumra-Konya-Türkiye Örneği. Geomatik, 5(2), 112-119.
- Temizel, K. E. Ayrancı, Y. Okant, M. 2012. Blok ve Parsel Yönlendirmesinin Arazi Toplulaştırmasındaki Önemi, 19 Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Anadolu Tarım Bilim. Derg., 2012,27(1):1-5.
- Tulukçu, E. Çağla, H. 2005. Çumra Tarımı ve Arazi Toplulaştırılması, Konya Selçuk Üniversitesi, Çumra MYO, Selçuk-Teknik Dergisi, Cilt 4, Sayı:1-2005.
- Tunalı, S. Dağdelen, N. 2018. Denizli – Tavas Ovasında Yapılan Bazı Arazi Toplulaştırma Çalışmalarının Değerlendirilmesi, Adü, Biyosistem Mühendisliği, Çomü Zir. Fak. Derg. (Comu J. Agric. Fac.) 2018: 6 (2): 58-65”
- Türkseven, E. Yavuz, O. 2008. Socio-Economic Factors That Effects Relating To Land Consolidation Of Land Owners And Socio-Economic Changes After Consolidation, Soil And Water Resources Research Institute.
- Uçar, Y. Kara, M. 2006. Arazi Toplulaştırmasının Su İletim ve Dağıtım Performansına Etkisi, Konya Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, KSÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi, 9(1), 2006
- Uğuz, H., Çay, T. Ertunç, E. Hakkı, H. 2017. Arazi Toplulaştırmada Dağıtım İçin Yeni Yazılım Geliştirmesi Üzerine Bir Çalışma, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3-6 Mayıs 2017, Ankara.

URL\_1: <https://www.tdk.gov.tr/>

URL\_2: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/02/20190207-5.htm>

# Generative Artificial Intelligence for Air Transportation Sector

Musab Talha Akpınar<sup>1</sup>

## Abstract

Generative Artificial Intelligence (AI) has the potential to revolutionize the air civil aviation sector by providing new and innovative solutions for various applications such as flight optimization, predictive maintenance, traffic management, customer service and environmental monitoring. Generative AI models, Generative Adversarial Networks (GANs) and Variational Autoencoders (VAEs) are some examples of AI techniques that can generate new and original content, as opposed to simply recognizing or classifying existing content. This can enable the aviation industry to create more efficient, safe and sustainable air travel for people and goods. However, it also raises some ethical concerns, such as the ability to create deepfakes, or the difficulty of identifying the authenticity of the generated content. Therefore, it is important that regulatory and ethical frameworks are in place to ensure the safe and secure usage of Generative AI in the air civil aviation sector.

## Introduction

Generative Artificial Intelligence (AI) is a rapidly growing field that has the potential to transform the air civil aviation sector (Engstrom and et al., 2020; Abduljabbar and et al., 2019). The ability of generative AI to create new and original content, as opposed to simply recognizing or classifying existing content, opens up a wide range of possibilities for improving the efficiency, safety, and sustainability of air travel. Some of the key applications of generative AI in the air civil aviation sector include flight optimization, predictive maintenance, traffic management, customer service, and environmental monitoring (Khan and et al., 2020; Roadmap, 2020).

---

1 Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, ORCID: 0000-0003-4651-7788, mtakpinar@aybu.edu.tr

One of the key benefits of generative AI in the air civil aviation sector is its ability to improve the efficiency of flight operations. For example, generative AI models can be trained on large datasets of flight information to optimize flight routes, fuel consumption, and maintenance schedules (Zhu & Li, 2021). This can help airlines to reduce costs, minimize emissions, and improve the punctuality of flights. Additionally, generative AI can also be used to predict and prevent equipment failures, allowing airlines to schedule maintenance more efficiently and reduce downtime (Khan & Yairi, 2018).

Another area where generative AI can have a significant impact is in traffic management (Lv and et al., 2018). AI-enabled systems can analyze data from aircraft and weather sensors to predict and prevent collisions, optimize flight routes, and improve the overall safety and efficiency of air travel. For example, generative AI models can be used to create realistic simulations of air traffic scenarios, which can be used to test and improve air traffic control systems (Pham and et al., 2021).

Generative AI can also improve the passenger experience by providing more personalized and efficient customer service. For example, AI-powered chatbots and virtual assistants can be used to provide passengers with real-time flight updates, baggage tracking, and other information (BR, 2022; Mayer, 2019). Additionally, generative AI can be used to create more realistic virtual reality environments for training pilots, flight attendants, and other airline staff (Safi & Chung, 2023).

Finally, generative AI has the potential to significantly improve the environmental performance of the air civil aviation sector (Prussi and et al., 2019). For example, AI-enabled systems can monitor and analyze data from aircraft and weather sensors to predict and mitigate the impact of air travel on the environment (Chen and et al., 2021). Additionally, generative AI models can be used to optimize aircraft design, reducing the weight and drag of aircraft to improve fuel efficiency and reduce emissions (Ma & Elham, 2021).

However, it's worth mentioning that Generative AI also raise some ethical concerns (Španjol & Car, 2021; Meskys and et al., 2020; Kellmeyer, 2019). One of the most significant concerns is the ability to create deepfakes, which can be used to create false or misleading information that is difficult to distinguish from the real thing (Botha & Pieterse, 2020). This has the potential to cause confusion, disrupt operations, and undermine public trust in the air civil aviation sector. Additionally, the use of generative AI in the air civil aviation sector also raises questions about data privacy, data security, and job displacement (Cahill and et al., 2022). Therefore, it's important that

regulatory and ethical frameworks are in place to ensure the safe and secure usage of generative AI in the air civil aviation sector.

In conclusion, generative AI has the potential to revolutionize the air civil aviation sector by providing new and innovative solutions for improving the efficiency, safety, and sustainability of air travel (Sabatini and et al., 2018). However, it is important that the industry takes into account the ethical and regulatory challenges and work to mitigate them. With the right approach, the use of generative AI in the air civil aviation sector can help to create a more efficient, safe and sustainable air travel for people and goods (Li and et al., 2020).

### **History of AI**

Artificial intelligence (AI) is the simulation of human intelligence processes by machines, especially computer systems. These processes include learning (the acquisition of information and rules for using the information), reasoning (using the rules to reach approximate or definite conclusions), and self-correction.

There are different types of AI, and the field is constantly evolving. Some of the main types of AI include (Acemoglu & Restrepo, 2020):

- Reactive machines: These AI systems are designed to react to their environment, but they don't retain memories of past events. A classic example is IBM's Deep Blue chess-playing computer, which could only respond to the current state of the game and not take into account previous moves (Sandfort and et al., 2020).
- Limited memory: These systems have a short-term memory and can remember past events in order to improve their decision making. An example of this is self-driving cars which use data from previous frames to anticipate the movement of other objects on the road (Lu & Wong, 2019).
- Theory of mind: This type of AI would be able to understand the mental states of other agents, including beliefs, desires, and intentions. This type of AI is still largely in the research stage (Cuzzolin and et al., 2020).
- Self-aware: This type of AI would have a sense of consciousness and be able to understand and experience its own mental states (Brown and et al., 2019). This type of AI is still largely in the realm of science fiction and there is ongoing debate among experts about whether it will ever be possible to create.

Ultimately, the goal of AI is to create machines that can perform tasks that would normally require human intelligence, such as recognizing speech, understanding natural language, and making decisions (Iliashenko and et al., 2019).

The history of artificial intelligence (AI) dates to the 1950s, when researchers first began exploring the possibilities of creating intelligent machines (Ali & Abdel-Haq, 2021). Early AI research focused on creating programs that could mimic human intelligence, such as playing chess or solving mathematical problems. In the 1960s and 1970s, AI research expanded to include areas such as natural language processing, robotics, and machine learning (Kang and et al., 2020). In the 1980s and 1990s, AI experienced a period of renewed interest and funding, known as the “AI winter,” because of overhyped expectations and underwhelming results (Zhongming and et al., 2019). However, advances in computer hardware and the development of new AI techniques, such as deep learning, have led to renewed progress in the field in recent years. Today, AI is being used in a wide range of applications, including self-driving cars, speech recognition, and image recognition. The field is also becoming increasingly interdisciplinary, with researchers from fields such as neuroscience, psychology, and philosophy contributing to the development of AI (Cross and et al., 2019).

Generative AI is a type of artificial intelligence that is focused on creating new and original content, as opposed to simply recognizing or classifying existing content (Anantrasirichai & Bull, 2021). There are several different types of generative AI, including:

- Generative models: These are machine learning models that are trained to generate new content based on a set of examples. For example, a generative model could be trained on a dataset of images, and then be able to generate new images that are similar to the examples it was trained on.
- Generative adversarial networks (GANs): These are a type of generative model that consists of two neural networks: a generator and a discriminator. The generator is trained to generate new content, while the discriminator is trained to distinguish between the generated content and real examples. The two networks are trained in a competition against each other, with the goal of improving the generator’s ability to produce realistic content.
- Variational autoencoders (VAEs): These are a type of generative model that learns to encode the characteristics of a dataset into a



smaller representation, known as a latent space. This can then be used to generate new content by sampling from the latent space and decoding it back into the original format.

Generative AI has a wide range of potential applications, including image and video synthesis, natural language processing, music and art creation, and drug discovery (Cox and et al., 2000; Khurana and et al., 2022). However, it also raises some ethical concerns, such as the ability to create deepfakes, or the difficulty of identifying the authenticity of the generated content.

### **Civil Aviation**

The history of air transportation dates back to the late 18th and early 19th centuries, when inventors and scientists began experimenting with hot air balloons and gliders (Allaz, 2005). The first powered flight took place in 1903, when the Wright brothers successfully flew their aircraft, the Wright Flyer, at Kitty Hawk, North Carolina (Jakap, 1997).

In the following decades, aircraft technology rapidly developed, and commercial air travel began to take off (Watts and et al., 2012). In 1914, the first scheduled air service was established between St. Petersburg and Tampa, Florida. In the 1920s and 1930s, commercial airliners such as the Ford Trimotor and Douglas DC-3 began to enter service and air travel became more widely available to the public (Spearman, 2002). During World War II, aircraft technology advanced significantly, and after the war, jet engines and commercial jet airliners were introduced. This led to a significant increase in the speed and efficiency of air travel, making it possible for people to travel across the globe in a matter of hours (Gordon, 2012).

In the post-war period, the airline industry underwent significant growth and deregulation, leading to the emergence of new low-cost carriers and increased competition (Hanlon, 2006). The introduction of wide-body airliners such as the Boeing 747 in the 1970s further increased the capacity and range of commercial air travel. In recent years, the air transportation sector has been affected by several challenges, Pandemic, including rising fuel prices, increased competition, and environmental concerns (Abate and et al., 2021; Codal and Akpınar, 2021; Dube and et al., 2021). However, it continues to be a vital component of global transportation and commerce, with airlines carrying billions of passengers and tons of cargo every year.

The future of civil aviation is likely to be shaped by a number of factors, including advances in technology, changing consumer demands, and environmental concerns (Kemp, 1994). In terms of technology, we can expect to see continued advancements in areas such as electric and hybrid-electric



propulsion, automation, and data analytics. These advancements have the potential to increase the efficiency, safety, and environmental performance of aircraft, and could also open up new opportunities for the industry, such as urban air mobility (Amjad and et al., 2010). On the consumer side, we can expect to see a continued focus on convenience, comfort, and sustainability. Airlines and airport operators will likely need to adapt to changing consumer preferences, including an increasing demand for non-stop flights, more personalized experiences, and greater transparency around environmental impacts. Environmental concerns, such as climate change, are also likely to play a significant role in shaping the future of civil aviation. The industry will need to find ways to reduce its carbon footprint and mitigate its impact on the environment, while also balancing the need to support economic growth and global connectivity. This will involve a combination of improvements in technology, more efficient operations, and the use of sustainable alternative fuels. Overall, it is likely that the civil aviation industry will continue to evolve and adapt in response to these and other factors, with the ultimate goal of providing safe, efficient, and sustainable air transportation for people and goods around the world (Al Sarrah and et al., 2020).

### **AI Application on Civil Aviation**

Artificial Intelligence (AI) has the potential to play a significant role in the air transportation sector, specifically through the use of decision support systems (Hsu and et al., 2021; Leung and et al., 2019). Decision support systems use AI algorithms to analyze data and provide recommendations or predictions to support decision making (Gupta and et al., 2022). This can help to improve the efficiency, safety, and sustainability of air travel. One example of an AI application in air transportation with decision support systems is flight optimization (Scala and et al., 2019). AI algorithms can be used to analyze data on flight routes, fuel consumption, and weather conditions to generate recommendations for the most efficient and cost-effective flight paths. This can help airlines to reduce fuel costs and emissions, and improve the punctuality of flights. Another example is predictive maintenance, where decision support systems use AI algorithms to analyze data from aircraft sensors to predict when maintenance will be needed. This can help airlines to schedule maintenance more efficiently and reduce downtime. In the area of traffic management, decision support systems can use AI algorithms to analyze data from aircraft and weather sensors to predict and prevent collisions, optimize flight routes, and improve the overall safety and efficiency of air travel. In terms of customer service, decision support systems can use AI algorithms to analyze data on passenger preferences and flight

information to provide personalized recommendations and assistance, such as flight updates and baggage tracking. Finally, in terms of environmental monitoring, decision support systems can use AI algorithms to analyze data from aircraft and weather sensors to predict and mitigate the impact of air transportation on the environment (Schultz and et al., 2019). In summary, decision support systems with AI can be used to improve the efficiency, safety and sustainability of air transportation by providing recommendations and predictions based on the analysis of data. This can help to make air travel more efficient, cost-effective, and environmentally friendly (Esmailzadeh & Mokhtarimousavi, 2020).

It is also worth noting that decision support systems can also be used in combination with other AI applications, such as machine learning and deep learning, to further enhance the capabilities of the system. However, it's important to note that the implementation of AI in decision support systems in the air transportation sector also raises some ethical and regulatory challenges such as ensuring the safety and security of AI systems, protecting personal data, and addressing concerns about job displacement (Reddy and et al., 2020). Therefore, it is important that the industry works closely with regulators and other stakeholders to address these challenges and ensure that the use of AI in decision support systems in air transportation is safe, secure, and beneficial to all stakeholders. In conclusion, AI-based decision support systems have the potential to revolutionize the air transportation sector by providing new and innovative solutions for improving the efficiency, safety, and sustainability of air travel (Hsu and et al., 2021). However, it is important that the industry takes into account the ethical and regulatory challenges and work to mitigate them. With the right approach, the use of AI in decision support systems in the air transportation sector can help to create a more efficient, safe and sustainable air travel for people and goods around the world.

Artificial Intelligence (AI) has the potential to play a significant role in the air transportation sector, by improving the efficiency and safety of operations, enhancing the passenger experience, and reducing environmental impacts. Some examples of AI applications in air transportation include:

- Flight optimization: AI algorithms can be used to optimize flight routes, fuel consumption, and maintenance schedules, in order to reduce costs and emissions.
- Predictive maintenance: AI-powered systems can analyze data from aircraft sensors to predict when maintenance will be needed,

allowing airlines to schedule maintenance more efficiently and reduce downtime.

- **Traffic management:** AI-enabled systems can be used to improve air traffic control, by analyzing data from aircraft and weather sensors to predict and prevent collisions and optimize flight routes.
- **Customer service:** AI-powered chatbots and virtual assistants can be used to provide passengers with personalized information and assistance, such as flight updates and baggage tracking.
- **Autonomous flight:** AI-enabled automation can be used to improve the safety and efficiency of flight operations, such as with autonomous taxi, takeoff, and landing.
- **Environmental monitoring:** AI-enabled systems can be used to monitor and analyze data from aircraft and weather sensors to predict and mitigate the impact of air transportation on the environment.

### **Future AI DSS Application on Civil Aviation**

It's worth noting that these applications are still in development and some of them are not yet in use, but they represent the potential that AI can bring to the air transportation industry. Our predictions about the future of artificial intelligence (AI) in the air transportation sector are as follows:

- AI will continue to be adopted more widely in the air transportation sector, as technology advances and the benefits of AI become more clear.
- The use of AI in air transportation will likely become more integrated and holistic, with different AI applications working together to optimize various aspects of operations, such as flight planning, maintenance, and customer service.
- The use of AI will likely lead to improvements in efficiency, safety, and environmental performance, as well as enhanced passenger experience.
- The use of AI will also likely lead to new business models and opportunities in the air transportation sector, such as autonomous air taxis and urban air mobility.
- The use of AI will also require addressing ethical and regulatory challenges, such as ensuring the safety and security of AI systems, protecting personal data, and addressing concerns about job displacement.

It's important to note that the future of AI in the air transportation sector will be shaped by many factors, such as the rate of technology advancements, the level of investment, and the regulatory environment. Therefore, it's hard to make precise predictions but AI will play a critical role in shaping the future of air transportation.

There are several applications of AI decision support systems in the civil aviation sector, which can be used to improve the efficiency, safety and sustainability of air travel (Abduljabbar and et al., 2019; Battina, 2020; van Wynsberghe, 2021; Sun and et al., 2021).

1. **Flight optimization:** AI-based decision support systems can analyze data on flight routes, fuel consumption, and weather conditions to generate recommendations for the most efficient and cost-effective flight paths. This can help airlines to reduce fuel costs and emissions, and improve the punctuality of flights.
2. **Predictive maintenance:** AI decision support systems can analyze data from aircraft sensors to predict when maintenance will be needed. This can help airlines to schedule maintenance more efficiently and reduce downtime.
3. **Traffic management:** AI decision support systems can analyze data from aircraft and weather sensors to predict and prevent collisions, optimize flight routes, and improve the overall safety and efficiency of air travel.
4. **Customer service:** AI decision support systems can analyze data on passenger preferences and flight information to provide personalized recommendations and assistance, such as flight updates and baggage tracking.
5. **Autonomous flight:** AI decision support systems can be used to support decision-making in autonomous flight operations, such as taxi, takeoff, and landing.
6. **Environmental monitoring:** AI decision support systems can analyze data from aircraft and weather sensors to predict and mitigate the impact of air transportation on the environment.
7. **Crew scheduling:** AI decision support systems can be used to optimize crew scheduling by analyzing data on flight schedules, crew qualifications, and rest requirements to minimize costs and maximize crew efficiency and safety.

8. Inventory management: AI decision support systems can be used to optimize the management of aircraft parts and supplies, analyzing data on demand and inventory levels to reduce costs and improve efficiency.
9. Air Cargo management : AI decision support systems can be used to optimize the cargo management by analyzing the data on cargo volume, loading and unloading times and flight schedules.
10. Security and Surveillance: AI decision support systems can be used to enhance the security and surveillance of the airport and aircraft by analyzing data from cameras, sensors and other security systems to identify and prevent potential threats.
11. Predictive analytics: AI decision support systems can be used to predict and prevent potential issues such as weather-related flight delays, equipment failures, and passenger demand.

It's worth mentioning that these applications of AI decision support systems in the civil aviation sector can be used in combination with other AI technologies, such as machine learning and deep learning, to further enhance the capabilities of the system (Hsu and et al., 2021). However, it's important to note that the implementation of AI in decision support systems in the civil aviation sector also raises some ethical and regulatory challenges such as ensuring the safety and security of AI systems, protecting personal data, and addressing concerns about job displacement (Shneiderman, 2020; Falco and et al., 2021). Therefore, it is important that the industry works closely with regulators and other stakeholders to address these challenges and ensure that the use of AI in decision support systems in civil aviation is safe, secure, and beneficial to all stakeholders.

## **Conclusion**

In conclusion, Generative Artificial Intelligence (AI) has the potential to transform the air civil aviation sector by providing new and innovative solutions for various applications such as flight optimization (Wu and et al., 2022), predictive maintenance (Zeng and et al., 2022), traffic management (Schweiger and et al., 2021), customer service (Ntintakis & Stavroulakis, 2020) and environmental monitoring (Yi and et al., 2022). The ability of generative AI to create new and original content, as opposed to simply recognizing or classifying existing content, opens up a wide range of possibilities for improving the efficiency, safety, and sustainability of air travel. Generative AI can improve the efficiency of flight operations by optimizing flight routes, fuel consumption, and maintenance schedules.

This can help airlines to reduce costs, minimize emissions, and improve the punctuality of flights. Additionally, generative AI can also be used to predict and prevent equipment failures, allowing airlines to schedule maintenance more efficiently and reduce downtime. In the area of traffic management, AI-enabled systems can analyze data from aircraft and weather sensors to predict and prevent collisions, optimize flight routes, and improve the overall safety and efficiency of air travel. For example, generative AI models can be used to create realistic simulations of air traffic scenarios, which can be used to test and improve air traffic control systems.

Generative AI can also improve the passenger experience by providing more personalized and efficient customer service. For example, AI-powered chatbots and virtual assistants can be used to provide passengers with real-time flight updates, baggage tracking, and other information. Additionally, generative AI can be used to create more realistic virtual reality environments for training pilots, flight attendants, and other airline staff. Finally, generative AI has the potential to significantly improve the environmental performance of the air civil aviation sector. For example, AI-enabled systems can monitor and analyze data from aircraft and weather sensors to predict and mitigate the impact of air travel on the environment. Additionally, generative AI models can be used to optimize aircraft design, reducing the weight and drag of aircraft to improve fuel efficiency and reduce emissions. However, it's important to mention that the use of Generative AI in the air civil aviation sector also raise some ethical concerns. One of the most significant concerns is the ability to create deepfakes, which can be used to create false or misleading information that is difficult to distinguish from the real thing. This has the potential to cause confusion, disrupt operations, and undermine public trust in the air civil aviation sector. Additionally, the use of generative AI in the air civil aviation sector also raises questions about data privacy, data security, and job displacement. Therefore, it's important that regulatory and ethical frameworks are in place to ensure the safe and secure usage of generative AI in the air civil aviation sector.

In summary, the future of the air civil aviation sector is likely to be shaped by advances in generative AI, as well as changing consumer demands, and environmental concerns. The industry must adapt to these changes by investing in research and development of generative AI, creating ethical and regulatory frameworks and by collaborating with other industries. With the right approach, the use of generative AI in the air civil aviation sector can help to create a more efficient, safe, and sustainable air travel for people and goods around the world. In summary, Generative Artificial Intelligence (AI) has the potential to revolutionize the air civil aviation sector by

providing new and innovative solutions for various applications such as flight optimization, predictive maintenance, traffic management, customer service, and environmental monitoring. The capacity of generative AI to generate new and original content, instead of just recognizing or classifying existing content, opens up a vast array of possibilities for enhancing the efficiency, safety, and sustainability of air travel. However, the use of generative AI in the air civil aviation sector raises some ethical concerns such as the ability to create deepfakes, and the difficulty of identifying the authenticity of the generated content. Therefore, it is crucial that regulatory and ethical frameworks are put in place to ensure the safe and secure usage of Generative AI in the air civil aviation sector. With the right approach, the use of generative AI in the air civil aviation sector can help to create a more efficient, safe, and sustainable air travel for people and goods around the world.

## References

- Abate, M., Christidis, P., & Purwanto, A. J. (2020). Government support to airlines in the aftermath of the COVID-19 pandemic. *Journal of air transport management*, 89, 101931.
- Abduljabbar, R., Dia, H., Liyanage, S., & Bagloee, S. A. (2019). Applications of artificial intelligence in transport: An overview. *Sustainability*, 11(1), 189.
- Abduljabbar, R., Dia, H., Liyanage, S., & Bagloee, S. A. (2019). Applications of artificial intelligence in transport: An overview. *Sustainability*, 11(1), 189.
- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2020). The wrong kind of AI? Artificial intelligence and the future of labour demand. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 13(1), 25-35.
- Al Sarrah, M., Ajmal, M. M., & Mertzanis, C. (2020). Identification of sustainability indicators in the civil aviation sector in Dubai: a stakeholders' perspective. *Social Responsibility Journal*.
- Ali, M., & Abdel-Haq, M. K. (2021). Bibliographical Analysis of Artificial Intelligence Learning in Higher Education: Is the Role of the Human Educator and Educated a Thing of the Past?. In *Fostering Communication and Learning With Underutilized Technologies in Higher Education* (pp. 36-52). IGI Global.
- Allaz, C. (2005). *History of air cargo and airmail from the 18th century*. Google Consultant.
- Amjad, S., Neelakrishnan, S., & Rudramoorthy, R. (2010). Review of design considerations and technological challenges for successful development and deployment of plug-in hybrid electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), 1104-1110.
- Anantrasirichai, N., & Bull, D. (2021). Artificial intelligence in the creative industries: a review. *Artificial Intelligence Review*, 1-68.
- Battina, D. S. (2020). The strategic impacts of Intelligent Automation for knowledge and service work: An interdisciplinary review. *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research* (www.jetir.org), ISSN, 2349-5162.
- Botha, J., & Pieterse, H. (2020, March). Fake news and deepfakes: A dangerous threat for 21st century information security. In *International conference on cyber warfare and security* (pp. 57-66).
- BR, S. R. (2022). Information and Communication Technology Application in the Indian Tourism Industry. *Technology Application in Tourism in Asia: Innovations, Theories and Practices*, 327.



- Brown, R., Lau, H., & LeDoux, J. E. (2019). Understanding the higher-order approach to consciousness. *Trends in cognitive sciences*, 23(9), 754-768.
- Cahill, J., Cullen, P., & Gaynor, K. (2022). The case for change: aviation worker wellbeing during the COVID 19 pandemic, and the need for an integrated health and safety culture. *Cognition, Technology & Work*, 1-43.
- Chen, Y., Cheng, S., & Zhu, Z. (2021). Exploring the operational and environmental performance of Chinese airlines: A two-stage undesirable SBM-NDEA approach. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125711.
- Codal, K. S., & Akpınar, M. T. Evaluation the Regional Effect of Covid-19 on the Stock Price of Airlines. *AYBU Business Journal*, 1(1), 34-46.
- Cox, R. V., Kamm, C. A., Rabiner, L. R., Schroeter, J., & Wilpon, J. G. (2000). Speech and language processing for next-millennium communications services. *Proceedings of the IEEE*, 88(8), 1314-1337.
- Cross, E. S., Hortensius, R., & Wykowska, A. (2019). From social brains to social robots: applying neurocognitive insights to human–robot interaction. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374(1771), 20180024.
- Cuzzolin, F., Morelli, A., Cirstea, B., & Sahakian, B. J. (2020). Knowing me, knowing you: theory of mind in AI. *Psychological medicine*, 50(7), 1057-1061.
- Dube, K., Nhamo, G., & Chikodzi, D. (2021). COVID-19 pandemic and prospects for recovery of the global aviation industry. *Journal of Air Transport Management*, 92, 102022.
- Engstrom, D. F., Ho, D. E., Sharkey, C. M., & Cuéllar, M. F. (2020). Government by algorithm: Artificial intelligence in federal administrative agencies. *NYU School of Law, Public Law Research Paper*, (20-54).
- Esmailzadeh, E., & Mokhtarimousavi, S. (2020). Machine learning approach for flight departure delay prediction and analysis. *Transportation Research Record*, 2674(8), 145-159.
- Falco, G., Shneiderman, B., Badger, J., Carrier, R., Dahbura, A., Danks, D., ... & Yeong, Z. K. (2021). Governing AI safety through independent audits. *Nature Machine Intelligence*, 3(7), 566-571.
- Gordon, R. J. (2012). Is US economic growth over? Faltering innovation confronts the six headwinds (No. w18315). National Bureau of Economic Research.
- Gupta, S., Modgil, S., Bhattacharyya, S., & Bose, I. (2022). Artificial intelligence for decision support systems in the field of operations research: review and future scope of research. *Annals of Operations Research*, 308(1), 215-274.
- Hanlon, P. (2006). *Global airlines*. Routledge.

- Hsu, W. C. J., Liou, J. J., & Lo, H. W. (2021). A group decision-making approach for exploring trends in the development of the healthcare industry in Taiwan. *Decision Support Systems*, 141, 113447.
- Hsu, W. C. J., Liou, J. J., & Lo, H. W. (2021). A group decision-making approach for exploring trends in the development of the healthcare industry in Taiwan. *Decision Support Systems*, 141, 113447.
- Hsu, W. C. J., Liou, J. J., & Lo, H. W. (2021). A group decision-making approach for exploring trends in the development of the healthcare industry in Taiwan. *Decision Support Systems*, 141, 113447.
- Iliashenko, O., Bikkulova, Z., & Dubgorn, A. (2019). Opportunities and challenges of artificial intelligence in healthcare. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 110, p. 02028). EDP Sciences.
- Jakab, P. L. (1997). *Visions of a flying machine: The Wright brothers and the process of invention*. Smithsonian Institution.
- Kang, Y., Cai, Z., Tan, C. W., Huang, Q., & Liu, H. (2020). Natural language processing (NLP) in management research: A literature review. *Journal of Management Analytics*, 7(2), 139-172.
- Kellmeyer, P. (2019). Artificial intelligence in basic and clinical neuroscience: opportunities and ethical challenges. *Neuroforum*, 25(4), 241-250.
- Kemp, R. (1994). Technology and the transition to environmental sustainability: the problem of technological regime shifts. *Futures*, 26(10), 1023-1046.
- Khan, S., & Yairi, T. (2018). A review on the application of deep learning in system health management. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 107, 241-265.
- Khan, S., Farnsworth, M., McWilliam, R., & Erkoyuncu, J. (2020). On the requirements of digital twin-driven autonomous maintenance. *Annual Reviews in Control*, 50, 13-28.
- Khurana, D., Koli, A., Khatter, K., & Singh, S. (2022). Natural language processing: State of the art, current trends and challenges. *Multimedia tools and applications*, 1-32.
- Leung, K. H., Luk, C. C., Choy, K. L., Lam, H. Y., & Lee, C. K. (2019). A B2B flexible pricing decision support system for managing the request for quotation process under e-commerce business environment. *International Journal of Production Research*, 57(20), 6528-6551.
- Li, J., Peng, Z., Liu, A., He, L., & Zhang, Y. (2020, December). Analysis and future challenge of blockchain in civil aviation application. In *2020 IEEE 6th International Conference on Computer and Communications (ICCC)* (pp. 1742-1748). Ieee.
- Lorencin, I., Baressi Šegota, S., Anđelić, N., Mrzljak, V., Čabov, T., Španjol, J., & Car, Z. (2021). On urinary bladder cancer diagnosis: Utilization of

- deep convolutional generative adversarial networks for data augmentation. *Biology*, 10(3), 175.
- Lu, J., & Wong, R. K. (2019, January). Insider threat detection with long short-term memory. In *Proceedings of the Australasian Computer Science Week Multiconference* (pp. 1-10).
- Ly, Y., Chen, Y., Li, L., & Wang, F. Y. (2018). Generative adversarial networks for parallel transportation systems. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 10(3), 4-10.
- Ma, Y., & Elham, A. (2021). Twin-fuselage configuration for improving fuel efficiency of passenger aircraft. *Aerospace Science and Technology*, 118, 107000.
- Mayer, C. (2019). Digital passengers: A great divide or emerging opportunity?. *Journal of Airport Management*, 13(4), 335-344.
- Meskys, E., Kalpokiene, J., Jurcys, P., & Liaudanskas, A. (2020). Regulating deep fakes: legal and ethical considerations. *Journal of Intellectual Property Law & Practice*, 15(1), 24-31.
- Ntintakis, I., & Stavroulakis, G. E. (2020). Progress and recent trends in generative design. In *MATEC web of conferences* (Vol. 318, p. 01006). EDP Sciences.
- Pham, D. T., Tran, T. N., Alam, S., & Duong, V. N. (2021). A generative adversarial imitation learning approach for realistic aircraft taxi-speed modeling. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(3), 2509-2522.
- Prussi, M., O'connell, A., & Lonza, L. (2019). Analysis of current aviation biofuel technical production potential in EU28. *Biomass and Bioenergy*, 130, 105371.
- Reddy, S., Allan, S., Coghlan, S., & Cooper, P. (2020). A governance model for the application of AI in health care. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 27(3), 491-497.
- Roadmap, A. I. (2020). A human-centric approach to AI in aviation. European Aviation Safety Agency, 1.
- Sabatini, R., Roy, A., Blasch, E., Kramer, K. A., Fasano, G., Majid, I., ... & Major, R. O. (2020). Avionics systems panel research and innovation perspectives. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 35(12), 58-72.
- Safi, M., & Chung, J. (2023). Augmented Reality Uses and Applications in Aerospace and Aviation. In *Springer Handbook of Augmented Reality* (pp. 473-494). Springer, Cham.
- Sandfort, F., Strieth-Kalthoff, F., Kühnemund, M., Beecks, C., & Glorius, F. (2020). A structure-based platform for predicting chemical reactivity. *Chem*, 6(6), 1379-1390.

- Scala, P., Mota, M. M., Ma, J., & Delahaye, D. (2019). Tackling uncertainty for the development of efficient decision support system in air traffic management. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(8), 3233-3246.
- Schultz, M., Reitmann, S., & Alam, S. (2021). Predictive classification and understanding of weather impact on airport performance through machine learning. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 131, 103119.
- Schweiger, A., Annighoefer, B., Reich, M., Regli, C., Moy, Y., Soodt, T., ... & Redon, R. (2021, October). Classification for Avionics Capabilities Enabled by Artificial Intelligence. In *2021 IEEE/AIAA 40th Digital Avionics Systems Conference (DASC)* (pp. 1-10). IEEE.
- Shneiderman, B. (2020). Bridging the gap between ethics and practice: guidelines for reliable, safe, and trustworthy human-centered AI systems. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS)*, 10(4), 1-31.
- Spearman, M. (2002, January). Some aviation growth events. In *40th AIAA Aerospace Sciences Meeting & Exhibit* (p. 172).
- Sun, X., Wandelt, S., Zheng, C., & Zhang, A. (2021). COVID-19 pandemic and air transportation: Successfully navigating the paper hurricane. *Journal of Air Transport Management*, 94, 102062.
- van Wynsberghe, A. (2021). Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI. *AI and Ethics*, 1(3), 213-218.
- Watts, A. C., Ambrosia, V. G., & Hinkley, E. A. (2012). Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. *Remote Sensing*, 4(6), 1671-1692.
- Wu, X., Yang, H., Chen, H., Hu, Q., & Hu, H. (2022). Long-term 4D trajectory prediction using generative adversarial networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 136, 103554.
- Yi, L., Min, R., Kunjie, C. A. I., Dan, L. I., Ziqiang, Z., Fan, L., & Bo, Y. (2022). Identifying and managing risks of AI-driven operations: A case study of automatic speech recognition for improving air traffic safety. *Chinese Journal of Aeronautics*.
- Zeng, W., Chu, X., Xu, Z., Liu, Y., & Quan, Z. (2022). Aircraft 4D Trajectory Prediction in Civil Aviation: A Review. *Aerospace*, 9(2), 91.
- Zhongming, Z., Linong, L., Xiaona, Y., Wangqiang, Z., & Wei, L. (2019). AI and GIS: Finally Delivering on the promise.
- Zhu, X., & Li, L. (2021). Flight time prediction for fuel loading decisions with a deep learning approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 128, 103179.



# Algorithm Design In Programming Language Education

Tuğba Saray Çetinkaya<sup>1</sup>

Ali Çetinkaya<sup>2</sup>

## Abstract

The field of algorithm development on computer systems continues to grow in importance in today's world, highlighting the critical nature of algorithm design and implementation. With the increasing diversity of algorithm use cases, it is essential to emphasize the significance of proper algorithm design methods for each problem. As such, the design of new and effective algorithms is of paramount importance to the continued growth and innovation of computer systems. Algorithms play a crucial role in solving problems within established systems. Therefore, it is important to detail the appropriate algorithm methods for each problem. As the areas of algorithm use become more diverse, the programming languages used in these platforms also change.

This study aims to help learners understand the steps to take when designing algorithms and learning programming languages, regardless of the language used. Common algorithm designs are demonstrated on Python, C, C++, and C# programming languages. These designs cover shared concepts across all four languages and will aid in coding on these programming languages. The goal is to learn and apply algorithm design on multiple programming languages.

This study covers the basics of algorithms, programming, programming concepts, and the fundamentals of computer programming. It is essential to understand these topics in programming language education in order to correctly and error-free install algorithms, helping newcomers to the software industry take the correct steps.

- 
- 1 Lecturer, Istanbul Gelisim University, Istanbul Gelisim Vocational High School, Department of Computer Technologies, Information Security Technology Program, ORCID: 0000-0003-1639-553X
  - 2 Lecturer, Istanbul Gelisim University, Istanbul Gelisim Vocational High School, Department of Electronics and Automation, Electronic Technology Program, ORCID ID: 0000-0003-4535-3953

## 1. INTRODUCTION

Nowadays, when algorithms are combined with programming languages, great technological works are emerging. Examples of these works continue to differentiate and increase in military and police systems, agricultural applications, image processing applications, data engineering field, language processing works, and cyber security applications. With the differentiation of the areas of use of algorithms, the programming languages used on these platforms are also changing.

Python is an object-oriented and functional modern programming language. It is ideal for beginners due to its readability and ease of use. C# is a simple, modern, object-oriented, and type-safe programming language that combines the high productivity of application development languages with the raw power of C and C++. The Java programming language, on the other hand, shares many features that are common to most programming languages used today. Since it is designed with the structures of C and C++, where their languages are similar, the language is familiar to C and C++ programmers (Lerdorf, 2002; Hejlsberg, 2003; Arnold, 2005; Deitel, 2004; Kelly, 2016; Gavrilović, 2018; Pala, 2019; Chollet, 2021; Chen, 2023).

Nowadays, the use of computer systems in all sectors has increased. The analysis, design, development, application, and testing of the capabilities required by these systems are important for algorithms and software (Alaybeyoğlu, 2006; Özyurt, 2016; Akkaya, 2020; Shnaider, 2023). In the problems solved in systems established with algorithms on integrated systems, it is necessary to determine the algorithm method to be applied to the subject. In addition, determining the method to be used on this algorithm application is also of great importance in terms of integrity in the application. No matter how good the scope or evaluation of the mathematical models in the designed applications is, uncertainties may arise during the operation of the system. In this context, when any uncertain situation is encountered, linguistic variables and functions that best meet human thoughts should be created on the algorithm of the system.

In this chapter of this book, we will progress by learning and applying algorithm design with multiple programming languages and their concepts through C, C++, C#, and Python programming languages.

*What will we learn?*

- We will learn the basics of algorithms and algorithm logic,
- We will recognize the concept of flowchart,

- We will process the basics of programming with C and develop algorithms,
- We will process the basics of programming with C++ and develop algorithms,
- We will process the basics of programming with C# and develop algorithms,
- We will process the basics of programming with Python and develop algorithms,

In the following sections, we will detail our explanations and applications on what an algorithm is, what programming is, what the basic concepts of programming are, and what computer programming covers.

## 2. WHAT IS AN ALGORITHM?

All of the sequential logical steps required to solve a problem or solve a problem for a specific purpose are called “*algorithms*”. An algorithm constitutes the entire path to be followed within the scope of the solution of a problem. In short, an algorithm is a method of creating the desired output information based on the information we have. The most important task of an algorithm related to any problem is that it can create steps for solving the problem.

Performing the coding of the algorithm to be prepared for a problem in any programming language is the simple part of the job. When writing the expression form of an algorithm textually, it is written step by step as a textual pseudo code for the problem to be solved, each line that occurs is numbered, and should start with ‘start’ and end with ‘end’. There are five expectations that should be considered when working on algorithms in C, C++, C#, or Python programming languages. These expectations are effectiveness, finiteness, definiteness, input/output, and success/performance measurement. Our answer to the question of what to expect from algorithms should be within the scope of the following explanations:

1) *Effectiveness*: Each step of the designed algorithm should be expressed in an understandable, simple, and precise way. Endless loops should not be entered by creating unnecessary repetitions on the algorithm.

2) *Finiteness*: Each algorithm must have a starting point and an end point.

3) *Definiteness*: In order to reach the result information within the scope of the algorithm’s task, the input information must be compatible at each step and give the same result when it is newly executed.



4) *Input/Output*: It should have the result values that will be formed as a result of the operations to be performed on the algorithm.

5) *Success/Performance*: Algorithms that give different results in each application should be avoided. Even if the system seems to be working, the success rate may be low. At this point, the development of “high-performance algorithms” should be our goal.

### 3. WHAT IS PROGRAMMING?

In the field of education and training, big data analysis, cloud technologies, and wearable technologies have recently increased their impact (Turk, 2018). The tools that enable software production are programming languages, and algorithms constitute the most basic of these (Namlı, 2017). In programming teaching, algorithm design has a special place in defining the problem to be solved. In this context, how programmer candidates perceive the algorithm becomes important (Gökoğlu, 2017). An algorithm is a way where how to solve a problem or achieve a determined goal is explained. As can be understood from this statement, an algorithm is not a result, but a tool that leads to a result (Aytekin, 2018).

In the literature studies on programming, research has been conducted on preschool, kindergarten, primary school, secondary school, high school, university, and higher education (Yükselturk, 2016; Yalçinkaya, 2018; Karaman, 2019; Deniz, 2019; Kaban, 2021; Bayraktar, 2021). The importance of programming education in the development of cognitive skills of students has been emphasized (Akçay, 2016). Scientific studies conducted in Turkey on coding education in the preschool period have been systematically examined, and in this context, it has been stated that algorithms are an advantage in problem-solving in the coding process (Zurnacı, 2022). In a study, Özdener (2008) focused on how vocational high school and university students interpreted algorithms related to time efficiency in structured computer programming. In another study, it was aimed to determine the effect of secondary students’ attitudes towards computers and their self-directed learning skill levels on their success in programming language teaching (Alper, 2019). In the field of education, the inability to teach software languages is due to the complexity of the courses and the inability to comprehend the integrity of the subject (Ozoran, 2012). For programming students to learn a software language, adopting C and Python programming languages in “introduction to programming” courses is necessary (Balreira, 2023). Data structures can be used for the classification of algorithms on Java and C++ programming languages (Bui,

2019). An educational study developed using the artificial neural network from the sub-branches of artificial intelligence was carried out using the C#.NET programming language (Çevik, 2012).

*Program (software)*: It can be defined as a series of statements written using a computer programming language to solve a specific problem. The statements to be used in programming languages are control and loop expressions. “If/if, else/else” and “switch/case”, which have common usage in programming languages, are used as control expressions, while “while”, “do/while” and “for” are used as loop expressions.

Loop expressions used in programming languages are: while, do/while, for, foreach, range and len/in. The loop expressions used in the C and C++ programming languages are while, do/while, and for. The loop expressions used in the C# programming language are while, do-while, for, and foreach. The loop expressions used in the Python programming language are while, for, range, and len/in. The loop expressions used in the Java programming language are while, do-while, and for. The control expressions used in the C, C++, C# and Python programming languages are: if, if/else, “if/else if /... /else” and switch/case. However, there are no “switch/case” and “do/while” structures directly in the Python programming language. In Table 14, the “switch/case” structure is given by creating a function for the Python programming language. In Table 17, the “do/while” structure is given by creating a function for the Python programming language.

#### 4. WHAT IS COMPUTER PROGRAMMING?

The steps that we will follow respectively in writing a program (software) that we will develop to solve the problem by using an algorithm on a computer are as follows: understanding what the problem is, determining the requirements for the solution, determining the input-output and operations of the problem, writing the algorithm that solves the problem, writing the algorithm in a programming language, and testing the accuracy of the program. To understand what the problem is and solve the problem, answers to 3 questions are sought. The first of these questions is “what is necessary”, the second is “how to produce solutions”, and the third is “what are the current situations”. Detailed analyses should be carried out before operations are performed on the algorithms. These analyses include: determining the data to be used or input-output definitions, determining the equations and formulas to be used when developing the algorithm, developing an algorithm (pseudo codes and flowcharts), writing a program in a programming language by using the algorithm, demonstrating

accuracy and verification (determining whether the program meets the user's requirements), removing undetected errors, and preparing program documentation.

Relational and logical operators are used when running programs by utilizing comparison commands depending on the characteristics of the program. Programs (software) consist of many commands that run respectively. The commands used to control the program blocks which are requested to be executed or not to be executed based on certain conditions in programs are called "control commands". These commands are considered as operator precedence, mathematical operation operators, logical expression representation, logical operators, the equivalent of a mathematical expression in a programming language, representative examples and coding of logical operators, a sample table of logical operations, increment-decrement operators, and the expression for the use of increment-decrement operators in a programming language. The operators and operations used as standard in the C, C#, Python, and C++ programming languages are given between Table 1 and Table 9.

*Table 1. Operator Precedence (Order of Operations)*

Operator Precedence	The Relevant Operator or Operators
1 <sup>st</sup> order (first operation priority)	* / %
2 <sup>nd</sup> order	+ -
3 <sup>rd</sup> order	<< >>
4 <sup>th</sup> order	< > <= >=
5 <sup>th</sup> order	== !=
6 <sup>th</sup> order	&
7 <sup>th</sup> order	^
8 <sup>th</sup> order	
9 <sup>th</sup> order	&&
10 <sup>th</sup> order	
11 <sup>th</sup> order	?:
12 <sup>th</sup> order (last operation priority)	=

The related mathematical operation operators are shown, and their explanations are given in Table 2.

*Table 2. Mathematical Operation Operators*

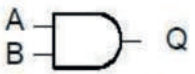


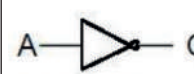
Math Operators	Explanation of the Operator
*	Operator for the multiplication process
/	Operator for the division process
+	Operator for the addition process
-	Operator for the subtraction process
%	Operator for the mod process

*Table 3. Logical Expressions*

Logical Expression	Explanation of the Logical Expression
=	the operator for the “assignment” expression
==	the operator for the “equivalence” expression
>	the operator for the “greater than” expression
<	the operator for the “less than” expression
>=	the operator for the “Greater than or equal to” expression
<=	the operator for the “less than or equal to” expression
&&	the operator for the logical “AND” expression
	the operator for the logical “OR” expression
!	the operator for the logical “NOT” expression
!=	the operator for the “not equal” expression
^	the operator for the “exclusive OR” expression

Table 3 shows the relevant logical expressions and their explanations. The use and representation of these expressions as operators are given in Table 4. On Table 4, the AND (&&) operator works with the result True (1) if both logical expressions are true, otherwise it works with the result False (0). The Or (||) operator works with the result True (1) if any of the logical expressions are true, otherwise, it works with False (0). The NOT (!) operator takes the “not”  $\rightarrow$  (that is, inverse) of the logical expression. If the expression is True (1), it works with the result False (0), if False (0), then it works with the result True (1). The exclusive OR (^) operator works with the result True (1) if any of the logical expressions is different from the other, otherwise (that is, if they are both the same), it works with the result False (0).

**Table 4.** Logical Operators

AND OPERATION (AND)	OR OPERATION (OR)	EXCLUSIVE OR (XOR)	NOT OPERATION (NOT)																																																			
																																																						
THE TABLE FOR “AND” GATE	THE TABLE FOR “OR” GATE	THE TABLE FOR “EXCLUSIVE OR” GATE	THE TABLE FOR “NOT” GATE																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Q</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Q	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Q</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Q	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Q</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Q	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>Q</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	Q	0	1	1	0
A	B	Q																																																				
0	0	0																																																				
0	1	0																																																				
1	0	0																																																				
1	1	1																																																				
A	B	Q																																																				
0	0	0																																																				
0	1	1																																																				
1	0	1																																																				
1	1	1																																																				
A	B	Q																																																				
0	0	0																																																				
0	1	1																																																				
1	0	1																																																				
1	1	0																																																				
A	Q																																																					
0	1																																																					
1	0																																																					

*Table 5. The Equivalences of Mathematical Expressions on the Programming Language*

Mathematical Expression	The Equivalent of the Operation in the C Programming Language
The operation that gives the sum of 5 and 2	variable = 5 + 2;
Multiplying the number 2 with the parameter a	variable = a * 2;
Obtaining the remaining number (mod) from the division of 7 with 3	mod = 7%3;
The operation that summit 5 and 4 first, multiplies the output value by 9, and divides the result of the operation by 2	A=((5+4)*9)/2;
$s = \frac{2x}{a+b}$	s = 2*x / (a+b);
$f = ax - (b + c)$	f=a*x-(b+c);
$f = \frac{1}{1+\frac{1}{n}}$	f=1 / (1+(1/n));

The equivalences of some mathematical expressions in the programming language are presented in Table 5. Representative examples and codings of logical operators are given in Table 6.

*Table 6. Representative Examples and Codings of Logical Operators*

Operation	Operator Sign	Representative Example	Representative Coding
Logical AND	&&	(A<B) AND (B<C)	(A<B) && (B<C)
Logical OR		(A<B) OR (B<C)	(A<B)    (B<C)
NOT	!	NOT(A<B)	!(A<B)
Exclusive OR (EXOR)	^	(A XOR B)	(A ^ B)

Table 7 shows the output information generated as a result of the logical operations applied based on the input operations on the algorithms.

*Table 7. Example Table of Logical Operations*

X	Y	!X	!Y	X && Y	X    Y	X ^ Y
0	0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	0	1	1
1	0	0	1	0	1	1
1	1	0	0	1	1	0

In Tables 8 and 9, the increment and decrement operators are shown and their use in programming languages is given. In addition, different uses and explanations of increment and decrement operators on algorithms are given in Table 9.

*Table 8. Increment and Decrement Operators*

Increment Operators	Decrement Operators
++	--

**Table 9. The Use of Increment and Decrement Operators on a Programming Language**





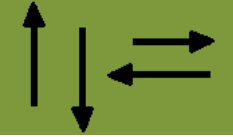


Example operation Statement	Explanation
++a	Increase “a” by one, and use the new value of “a” in the statement in which “a” is located.
a++	Use the value of “a” in the statement in which “a” is located, and then increase the value of “a” by one.
--a	Decrease “a” by one, and use the new value of “a” in the statement in which “a” is located.
a--	Use the value of “a” in the statement in which “a” is located, and then decrease the value of “a” by one.

## 5. THE USE OF FLOWCHARTS IN ALGORITHM DESIGN

An algorithm is a cluster of instructions arranged in a specific logical order that produces a solution for a specific problem when it is executed. When creating this cluster, we use two techniques: Pseudo Code and Flowchart. These two concepts are the techniques used when creating and defining algorithms. Pseudo Code is a language consisting of limited words and is similar to programming language. A flowchart, on the other hand, is a graphical demonstration of an algorithm with geometric shapes. The representation of the algorithm is revealed by the flow lines connecting these shapes.

Table 10 shows the flowchart elements used when creating algorithms. The ellipse shows the starting and ending places of a flowchart. The parallelogram is used to show the data entry points on a flowchart. The rhombus represents the decision-making processes on the flowchart. The rectangle shows the arithmetic operations in the flowchart. The arrows indicate the directions in which the process steps will go on a flowchart. The cylinder represents the database process on the flowchart. The document represents the information output process on the flowchart.

Table 10. Flowchart Symbols

Symbol	Symbol Name	Meaning
	Ellipse	It shows the starting and ending places of a flowcharts.
	Parallelogram	It is used to show the data entry points on a flowchart
	Rhombus	It represents the decision-making processes on a flowchart
	Rectangle	It shows the arithmetic operations in a flowchart.
	Arrows	It indicate the directions in which the process steps will go on a flowchart.
	Cylinder	It represents the database process on a flowchart.
	Document	It represents the information output process on a flowchart.



## 6. ALGORITHM OPERATIONS ON PROGRAMMING LANGUAGES

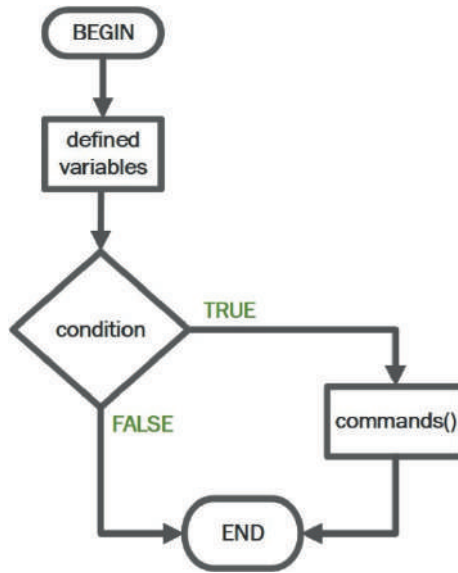
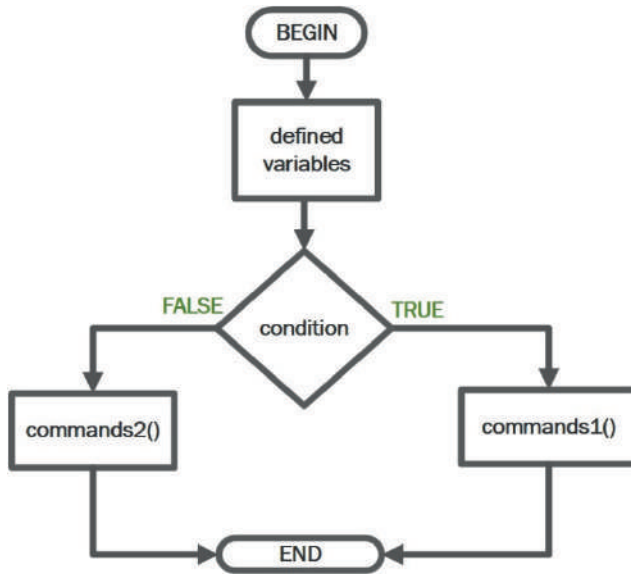


Figure 1. The Flowchart of the “if” Control Block in Programming

Table 11. Code Representation of the “if” Loop on Different Programming Languages

<pre> if (condition) {     commands(); }           </pre>	<pre> if condition:     commands()           </pre>
Code Representation of the “if” Control Block in the C Programming Language	Code Representation of the “if” Control Block in the Python Programming Language
<pre> if (condition) {     commands(); }           </pre>	<pre> if (condition) {     commands(); }           </pre>
Code Representation of the “if” Control Block in the C++ Programming Language	Code Representation of the “if” Control Block in the C# Programming Language

The “if” command, which is represented as a control block in Figure 1 and Table 11, is a conditional operation command. Depending on whether a certain condition is correct, it is ensured that a line of commands or a code block is executed. The comparison process is performed at the time of operation. The Boolean (true/false) value is returned depending on the control result of the expression that comes after the “if” command. This Boolean value is considered as “TRUE” if the operation is correct and as “FALSE” if the operation is false. If the result of the related condition is logically correct, the command or command block written after “if” will be executed. If the result of the condition is incorrect, the command or command block after the “if” will be skipped, and operations will not occur on commands inside the “if” structure. If the logical result of the condition in parentheses is TRUE, the function of the command(s) is executed. If the result of the condition in parentheses is FALSE, the next state on the command line is passed without any action. In the chart on the right side, the arrow goes to the end through the “no” loop. In Table 11, the use of the “if” control block is shown with codes on four separate programming languages (c, C++, c#, and Python).

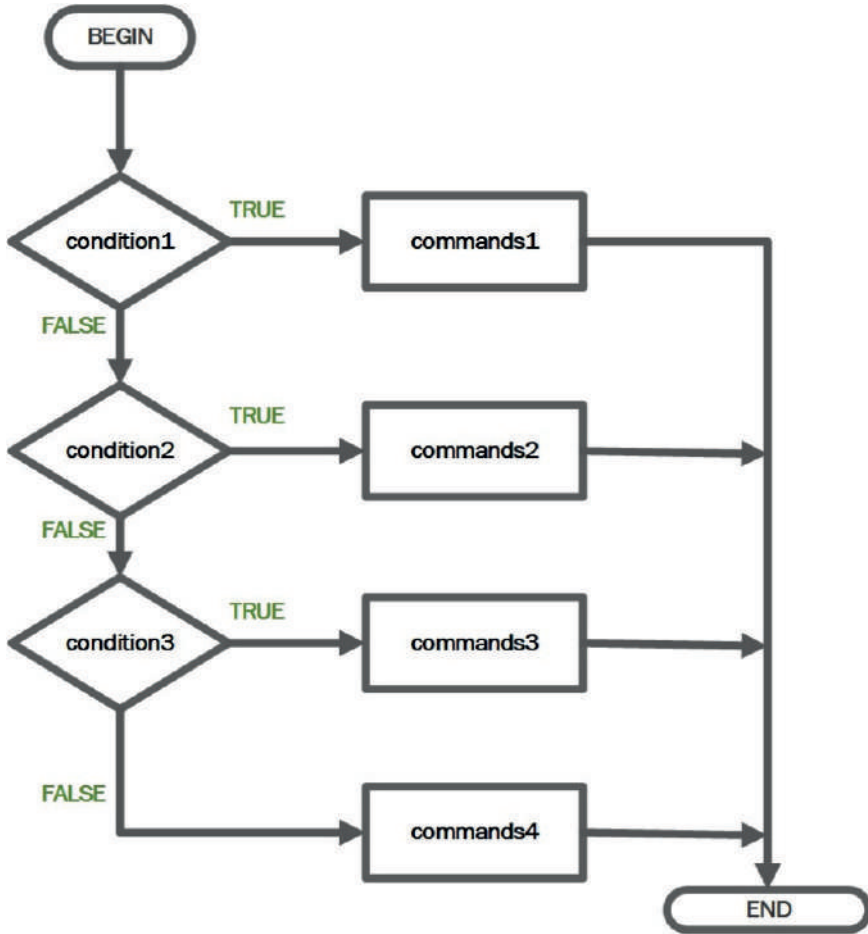


*Figure 2. Chart of the “if.. else” Control Block in Programming*

Table 12. The use of the “if...else” Loop with Codes on Different Programming Languages

<pre> if (condition) {     commands1(); } else {     commands2(); } </pre>	<pre> if condition:     commands1() else:     commands2() </pre>
Code Representation of the “if...else” Control Block in the C Programming Language	Code Representation of the “if...else” Control Block in the Python Programming Language
<pre> if (condition) {     commands1(); } else {     commands2(); } </pre>	<pre> if (condition) {     commands1(); } else {     commads2(); } </pre>
Code Representation of the “if...else” Control Block in the C++ Programming Language	Code Representation of the “if...else” Control Block in the C# Programming Language

If the logical result of the condition given in the parenthesis of the “if...else” control block shown in Figure 2 and Table 12 is TRUE, commands1 is executed, if the result is FALSE, commands2 is executed and the next command is passed. This use of “if...else” is a comparison command that allows one command block or another command block to operate depending on whether a certain condition is true. In Table 12, code representations of the “if...else” control block in four separate programming languages (C, C++, C#, and Python) are presented with examples.

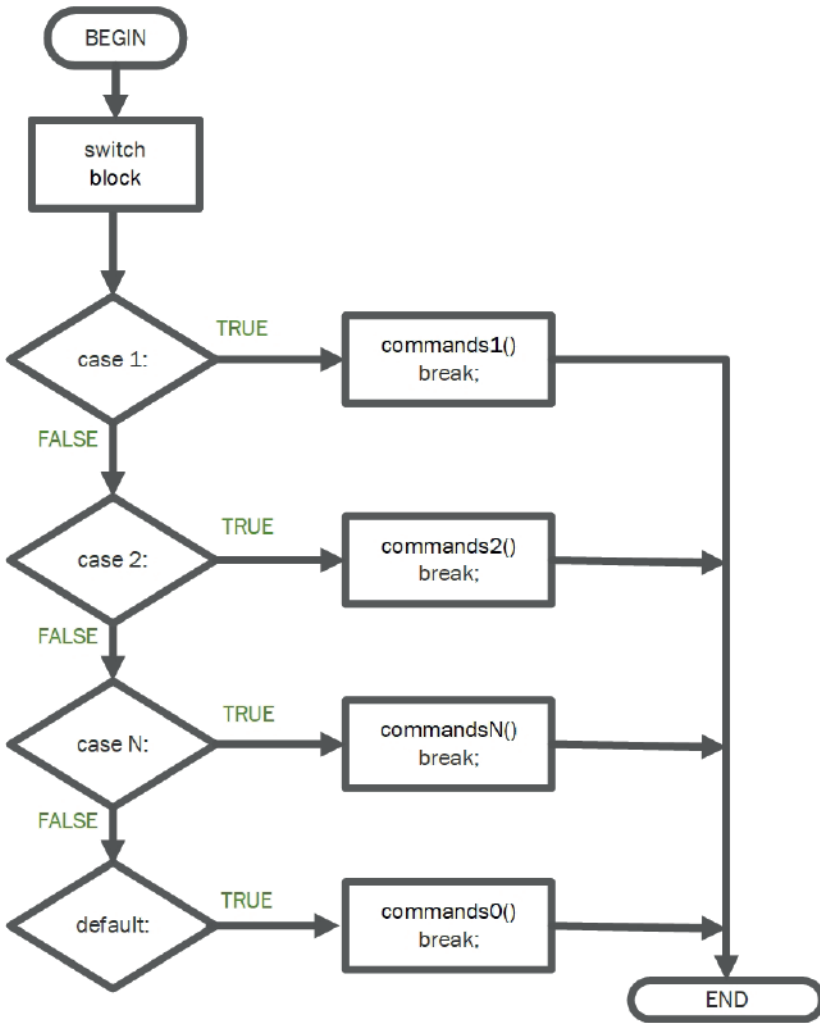


*Figure 3. In programming, “if/else if/.../else” Chart of the Control Block*

In Figure 3, how to use the “if/else if/.../else” control block is shown in general. In Table 13, the use of the “if/else if/.../else” control block in four separate programming languages (C, C++, C#, and Python) is shown with examples. If the logical result of the condition given in parentheses of the “if/else if/.../else” control block is TRUE, commands1 is executed, and if the result is FALSE, commands2 is executed, and the next command is passed.

**Table 13. The use of the “if/else if / .... /else” Control Block in Different Programming Languages**

<pre> if (statement1) {     case1(); } else if (statement2) {     case2(); } else if (statement3) {     case3(); } else {     case4(); } </pre>	<pre> if statement1:     case1()  elif statement2:     case2()  elif statement3:     case3()  else:     case4() </pre>
Code Representation of the “if/else if / .... /else” Control Block in the C Programming Language	Code Representation of the “if/else if / .... /else” Control Block in the Python Programming Language
<pre> if (statement1) {     case1(); } else if (statement2) {     case2(); } else if (statement3) {     case3(); } else {     case4(); } </pre>	<pre> if (statement1) {     case1(); } else if (statement2) {     case2(); } else if (statement3) {     case3(); } else {     case4(); } </pre>
Code Representation of the “if/else if / .... /else” Control Block in the C++ Programming Language	Code Representation of the “if/else if / .... /else” Control Block in the C# Programming Language



*Figure 4. Chart of “switch/case” Control Block in Programming*

The “switch/case” control block is shown in Figure 4 and Table 14 in general. How to use the “switch/case” control block is shown in Figure 4. In Table 14, on the other hand, the use of the “switch/case” control block in four separate programming languages (C, C++, C#, and Python) is shown with examples. In the “switch/case” structure, if the “variable” value does not equal any value, the commands in the “default” section will be executed. When the value of the variable specified for the “switch” structure matches one of the “case” statements, the matching loop block is executed regardless of the equality status of the “case” statements. In the “case” statements, it is ensured that the cycle is completed by placing the “break;” command at the

end of the software blocks. The statements next to the “case” statement must be constant. There are no variables in these statements. A “case” statement can be any integer, character, or string constant but cannot be a decimal value. A “switch” block cannot contain more than one case statement with the same constant value.

In the structure of the “switch/case” control block shown in Figure 4 and Table 14, if the “variable” value does not equal any value, the commands0() in the “default” section will be executed. When the value of the variable specified for the “switch” structure matches one of the “case” statements, the related commands() block will be executed.

*Table 14. Code Representation of the “switch/case” Loop on Different Programming Languages*

<pre>switch(variable) { case value1: commands1(); break; case value2: commands2(); break; .... case valueN: commandsN(); break; default: commands0; break; }</pre>	<pre>def function(int variable):     new(variable)={         value1: commands1(); break;         value2: commands2(); break;         ....         valueN: commandsN(); break;     }     return new.get(variable,         “switch+case”)</pre>
<p>Code Representation of the Control Block “switch/case” in the C Programming Language</p>	<p>Code Representation of the Control Block “switch/case” in the Python Programming Language</p>
<pre>switch(variable) { case value1: commands1(); break; case value2: commands2(); break; .... case valueN: commandsN(); break; default: commands0; break; }</pre>	<pre>switch(variable) { case value1: commands1(); break; case value2: commands2(); break; .... case valueN: commandsN(); break; default: commands0; break; }</pre>
<p>Code Representation of the Control Block “switch/case” in the C++ Programming Language</p>	<p>Code Representation of the Control Block “switch/case” in the C# Programming Language</p>

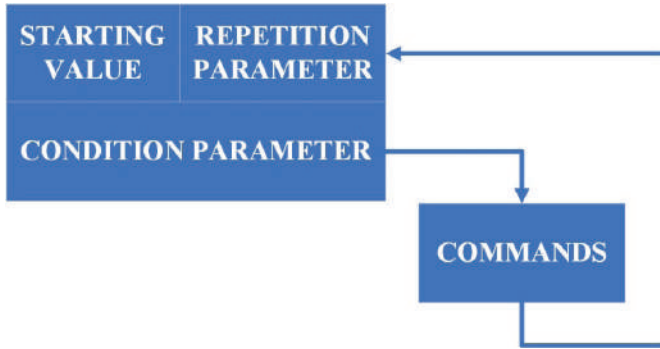


Figure 5. The diagram of the “for” Loop in Programming

Table 15. The Use of the “for” Loop on Different Programming Languages

<pre>for(start; condition; repetition) {     commands(); }</pre>	<pre>array = [1,2,3,4,5,6,7] for array_item_number (i) in array:     print(i)</pre>
Code Representation of the “for” Loop Block in the C Programming Language	Code Representation of the “for” Loop Block in the Python Programming Language
<pre>for(start; condition; repetition) {     commands(); }</pre>	<pre>for(start; condition; repetition) {     commands(); }</pre>
Code Representation of the “for” Loop Block in the C++ Programming Language	Code Representation of the “for” Loop Block in the C# Programming Language

Figure 5 shows how to use the “for” loop block. In Table 15, on the other hand, the use of the “for” control block in four different programming languages (C, C++, C#, and Python) is presented with examples.

In the “for” loop, when the loop is first entered, the first operation of the loop is performed with the starting value; then the condition parameter is checked, and if the condition statement is “TRUE”, the commands()(function or commands block) in the loop are executed. Once the operation is completed, the condition is checked again. With the repetition parameter,



the number of times the “for” loop will repeat or the number of times the loop will be executed is indicated.

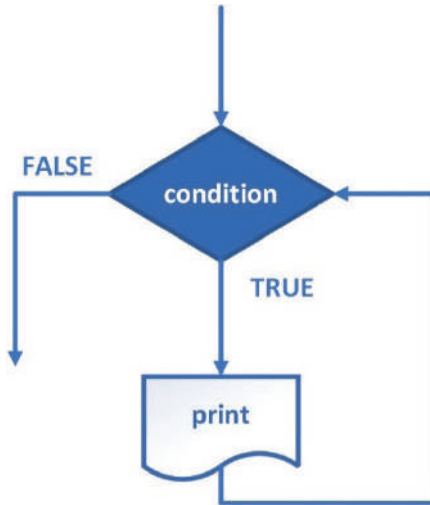


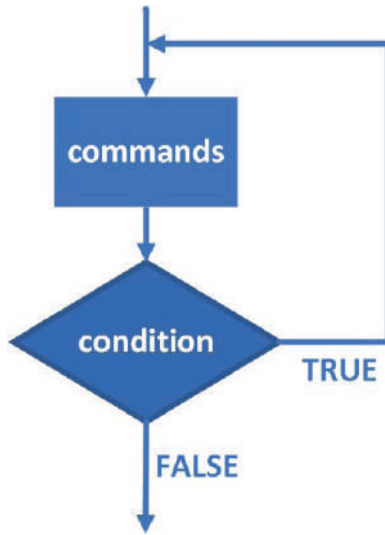
Figure 6. Diagram of the “while” loop in programming

Table 16. Code Representation of the “while” Loop in Different Programming Languages

<pre>while(condition) {     commands(); }</pre>	<pre>counter = 0 while counter&lt;determined_number:     commands()     print("operation value", i)</pre>
The Use of the “while” Loop Block in the C Programming Language	The Use of the “while” Loop Block in the Python Programming Language
<pre>while(condition) {     commands(); }</pre>	<pre>while(condition) {     commands(); }</pre>
The Use of the “while” Loop Block in the C++ Programming Language	The Use of the “while” Loop Block in the C# Programming Language

Representations of the “while” loop block were given in Figure 6 and Table 16. Figure 6 shows the way to use the “while” loop block. In Table 16, the use of the “while” control block in four separate programming languages (C, C++, C#, and Python) is shown with examples.

With the “while” loop, a command or command block can be used in more than one repetition operation. For example, with the while(1) statement, the state of the condition constantly returns TRUE. When the condition state is FALSE, the repetition of the loop stops.



*Figure 7. The diagram of the “do/while” Loop in Programming*

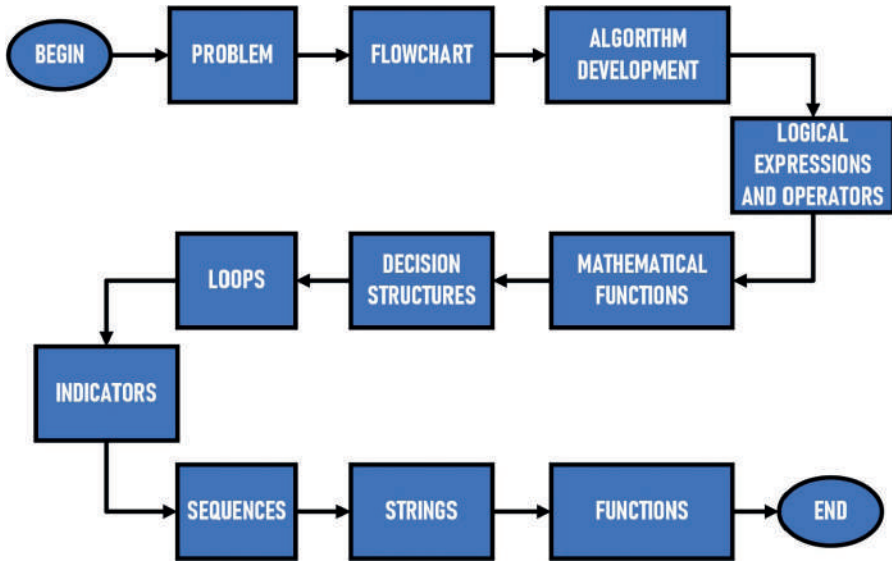
*Table 17. Code Representation of the “do/while” Loop in Different Programming Languages*

<pre>do {   counter_value++;   commands(); } while (counter_value &lt; determined_ number);</pre>	<pre>counter = 1 while True:   print(counter)   counter = counter + 1 if(counter &gt; determined_number):   break</pre>
The Use of the “do/while” Loop Block in the C Programming Language	The Use of the “do/while” Loop Block in the Python Programming Language
<pre>do {   counter_value++;   commands(); } while(counter_value &lt; determined_ number);</pre>	<pre>do {   counter_value++;   commands(); } while(counter_value &lt; determined_ number);</pre>
The Use of the “do/while” Loop Block in the C++ Programming Language	The Use of the “do/while” Loop Block in the C# Programming Language

The use of the “do/while” loop block were shown in Figure 7 and Table 17. Figure 7 shows the general usage of the “do/while” loop block. In Table 17, the use of the “do/while” control block in four different programming languages (C, C++, C#, and Python) is shown with codes. As long as the condition in operation is TRUE, the loop block or commands() function is executed. In the do/while loop, commands() execute the function once, regardless of the state of the condition (TRUE or FALSE). In short, regardless of the state of the condition, the commands() execute the function or loop block once.

## 7. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

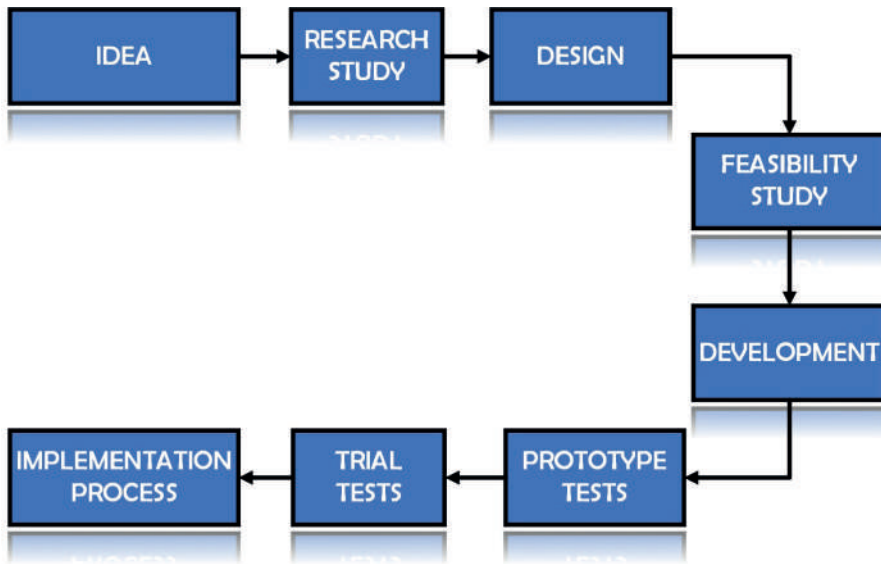
Algorithm design, which is considered together with the literature studies examined within the scope of this study, is an important topic when learning a programming language. Regardless of the programming language, the diagram of the steps to be followed when learning a language with an algorithm is given in Figure 8.



*Figure 8. Steps to follow when learning a programming language*

Based on Figure 8, it can be said that when learning a programming language, it is necessary to determine exactly what the problem means first in a work within the scope of the designs handled by algorithms. In order to address this problem, the algorithm development process begins with a flowchart to be developed. While an algorithm is being developed, logical expressions of the existing parameters and operators should be determined. Before the specified operator and expressions are processed on the algorithm, decision structures are processed by mathematical operations. Repetitions of the results of decision structures are created with loops created on the system. Then the creation of integrated functions related to the learning of indicators, arrays, and strings on the programming language is carried out. The gradual learning process in programming languages is completed by creating and running the related functions.

Figure 9 shows an idea study in terms of its operations on algorithms. In the flowchart given in Figure 9, research studies are started with the creation of the idea. Initial designs are created with the research carried out, and a feasibility study should be carried out in order to match the algorithm with the idea in terms of the continuity of the algorithm process. After the feasibility processes, prototype tests and trial tests should be performed along with the development of the idea. With the establishment of the implementation process, the relevant work is concluded.



*Figure 9. Creation of an algorithm process of an idea by flowcharts*

When the topics discussed in this chapter and the related literature are examined, it is seen that algorithms have an important role in the operation of a system. The selection of the best algorithm for a particular problem can be carried out with advanced programming knowledge and learning of algorithm design. In terms of their use on information and data, the importance of algorithms on integrated systems is gradually increasing today. It is observed that due to this increasing importance, systems become dependent on algorithms. The importance of algorithms, developed over time for integrated systems, in ensuring the control and security of the system both electronically and software is gradually increasing. States should use artificial intelligence in the use and development of algorithms on systems in terms of both technology security and software security. Considering the sectoral distribution of artificial intelligence, regardless of the sector, it has the opportunity to be applied in every field, from cyber security to autonomous vehicles, from virtual servers to mobile systems, from satellite communications to language processing applications and image processing.

## REFERENCES

- Deitel, H. M., & Deitel, P. J. (2004). C: How to program. Pearson Educación.
- Kelly, S. (2016). What Is Python? In Python, PyGame and Raspberry Pi Game Development (pp. 3-5). Apress, Berkeley, CA.
- Chollet, F. (2021). Deep learning with Python. Simon and Schuster.
- Hejlsberg, A., Wiltamuth, S., & Golde, P. (2003). C# language specification. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc..
- Arnold, K., Gosling, J., & Holmes, D. (2005). The Java programming language. Addison Wesley Professional.
- Gavrilović, N., Arsić, A., Domazet, D., & Mishra, A. (2018). Algorithm for adaptive learning process and improving learners' skills in Java programming language. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(5), 1362-1382.
- Namlı, N. A., & Şahin, M. C. (2017). Algoritma eğitiminin problem çözme becerisi üzerine etkisi. *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(5), 135-153.
- Zurnacı, B., & Turan, Z. (2022). Türkiye'de okul öncesinde kodlama eğitimine ilişkin yapılan çalışmaların incelenmesi. *Kocaeli Üniversitesi Eğitim Dergisi*, 5(1), 258-286.
- Bui, N. D., Yu, Y., & Jiang, L. (2019). Bilateral dependency neural networks for cross-language algorithm classification. In 2019 IEEE 26th International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER) (pp. 422-433). IEEE.
- Akçay, A., & Çoklar, A. N. (2016). Bilişsel becerilerin gelişimine yönelik bir öneri: Programlama eğitimi. *Eğitim teknolojileri okumaları*, 121-139.
- Türk, A. M., & Bilge, A. (2018). Bilgisayar Mühendisliği Eğitiminde Teknoloji Eğilimlerinin Takip Edilmesi. arXiv preprint arXiv:1807.07571.
- Çevik, K. K., & Dandıl, E. (2012). Yapay sinir ağları için net platformunda görsel bir eğitim yazılımının geliştirilmesi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 5(1), 19-28.
- Alaybeyoğlu, A., & Morkaya, Ö. (2006). Ülkemizdeki Bilgisayar Mühendisliği Lisans Eğitimi ile Yazılım Mühendisliği Lisans Eğitiminin Karşılaştırılması. *Proceedings of the 3. Ulusal Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendislikleri Eğitimi Sempozyumu*.
- Özden, N. (2008). A comparison of the misconceptions about the time-efficiency of algorithms by various profiles of computer-programming students. *Computers & Education*, 51(3), 1094-1102.
- Ozoran, D., Cagiltay, N., & Topalli, D. (2012). Using scratch in introduction to programming course for engineering students. In 2nd International Engineering Education Conference (IEEC2012) (Vol. 2, pp. 125-132).

- Özyurt, Ö., & Özyurt, H. (2016). Using Facebook to enhance learning experiences of students in computer programming at Introduction to Programming and Algorithm course. *Computer Applications in Engineering Education*, 24(4), 546-554.
- Balreira, D. G., Silveira, T. L. D., & Wickboldt, J. A. (2023). Investigating the impact of adopting Python and C languages for introductory engineering programming courses. *Computer Applications in Engineering Education*, 31(1), 47-62.
- Shnaider, P., Chernysheva, A., Khlopotov, M., & Babayants, C. (2023). Generation of Course Prerequisites and Learning Outcomes Using Machine Learning Methods. In *Artificial Intelligence in Education Technologies: New Development and Innovative Practices: Proceedings of 2022 3rd International Conference on Artificial Intelligence in Education Technology* (pp. 34-46). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Chen, L., & Zhang, X. (2023). Research On the Teaching Method of Programming Course by Using Computational Thinking. *IC-ICAIE 2022, AHCS 9*, pp.383-389, 2023, DOI: 10.2991/978-94-6463-040-4\_58
- Gökoğlu, S. (2017). Programlama eğitiminde algoritma algısı: Bir metafor analizi. *Cumhuriyet International Journal of Education*, 6(1), 1-14.
- Akkaya, A., & Öztürk, G. (2020). Algoritma yazma ve öğrenimi hakkında meslek yüksekokulu öğrencilerinin görüşleri. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 367-380.
- Alper, A., & Öztürk, S. (2019). Programlama öğretimindeki ters-yüz öğretim yönteminin öğrencilerin başarılarına, bilgisayara yönelik tutumuna ve kendi kendine öğrenme düzeylerine etkisi. *Bilim Eğitim Sanat ve Teknoloji Dergisi*, 3(1), 13-26.
- Yukselturk, E., & Altıok, S. (2016). Bilişim teknolojileri öğretmen adaylarının programlama öğretiminde Scratch aracının kullanımına ilişkin algıları. *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 12(1).
- Yalçınkaya, B., Dönmez, A. H., Aydın, F., Kayalı, N., & Sönmez, A. R., (2018). İlköğretim Çocuklarının Kodlama Algısı Üzerine Empirik Bir Analiz Çalışması ve Çocuk Kütüphanelerinde Uygulanmasının Önemi. 1. Uluslararası Çocuk Kütüphaneleri Sempozyumu (pp.126-138). Nevşehir, Turkey
- Karaman, U., & Filiz, S. (2019). Kodlama eğitimine yönelik tutum ölçeği'nin (KEYTÖ) geliştirilmesi. *Gelecek Vizyonlar Dergisi (fvj: Future Visions Journal)*, 3(2), 36-47.
- Pala, F. K., & Mıhçı-Türker, P. (2019). Öğretmen adaylarının programlama eğitimine yönelik görüşleri. *Journal of Theoretical Educational Science*, 12(1), 116-134.
- Aytekin, A., Sönmez Çakır, F., Yücel, Y. B. & Kulaözü, İ. (2018). Algoritmaların Hayatımızdaki Yeri ve Önemi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 5 (7), 143-150 .

- Deniz, G., & Eryılmaz, S. (2019). Türkiye’de programlama eğitimi ile ilgili yapılan çalışmaların incelenmesi: Bir betimsel analiz çalışması. *Eğitimde Kuram ve Uygulama*, 15(4), 319-338.
- Kaban, A. (2021). Mobil Programlama Dersini Alan Öğretmen Adaylarının Mobil Programlama Öğrenimine Yönelik Görüşleri. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1), 497-520.
- Bayraktar, A. (2021). Türkiye’de Bilgi ve Belge Yönetimi Müfredatlarında Okutulan Bilgisayar Programlarına ve Programlama Dillerine Yönelik Dersler. *Bilgi Ve Belge Araştırmaları*, (16), 103-131 .





# **Interdisciplinary Studies on Contemporary Research Practices in Engineering in the 21st Century-II**

Editor: Prof. Dr. Kamil Kaygusuz

 **ÖZGÜR**  
YAYINLARI

