

GEÇİCİ KAPAK

*Kapak tasarımı
devam ediyor.*

BİDGE Yayınları

**Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Alanında Disiplinlerarası
Seçilmiş Yeni Bilimsel Çalışmalar**

Editör: ALİ BİLGİLİ

ISBN: 978-625-8989-85-4

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: -

BİDGE Yayınları

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

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltpe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



İÇİNDEKİLER

HAVACILIK SEKTÖRÜNDE YAKIT DÖKÜLMESİ
KAZASININ HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ
İLE RİSK ANALİZİ 1

OLGUN ÇELİK, AYDIN ŞİK

YEŞİL KAMPÜS YAKLAŞIMI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK .. 25

SERPİL SAVCI

DİJİTALLEŞMENİN TARIMSAL ÜRETİM VE İNSAN
YAŞAMI ÜZERİNDEKİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ ROLÜ 35

BİRCE HAMUT

BÖLÜM 0

HAVACILIK SEKTÖRÜNDE YAKIT DÖKÜLMESİ KAZASININ HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMIĞI İLE RİSK ANALİZİ

OLGUN ÇELİK¹
AYDIN ŞİK²

Giriş

Yakıt ikmal işlemleri sırasında, yakıt istasyonundaki bileşenlerden birinin arızalanması (örneğin flanştaki yalıtım contasının aşınması) nedeniyle yakıt sızıntısı riski bulunmaktadır. Yakıt buharına maruz kalmak insan sağlığını olumsuz etkiler. Yakıt buharının bir tutuşma kaynağıyla temas etmesi ise patlama ve yangın nedeniyle can kaybına, yaralanmalara ve tesis bütünlüğünün bozulmasına neden olabilir. Bu nedenle, havacılık tesislerinde meydana gelebilecek yakıt sızıntısı kazalarının neden olduğu patlamaların, yangınların ve sağlığa zararlı gazların havada yayılmasının tespiti son zamanlarda önemli bir araştırma konusu

¹ Dr., Gazi Üniversitesi, Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması, Orcid: 0000-0002-2527-9285

² Prof.Dr., Gazi Üniversitesi, Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması, Orcid: 0000-0002-8977-9094

haline gelmiştir (Çetinyokuş, 2017). Yakıt sızıntısı kazasının olası olumsuz sonuçlarını önlemek için alınacak önlemleri belirlemek amacıyla, en kötü senaryoya göre sızan yakıtın buharlaşma ve yayılma süreçleri ile bunları etkileyen çevresel ve fiziksel faktörler iyi anlaşılmalıdır.

Havacılıkta, türbin motorlu ve pistonlu motorlu uçaklar için birçok farklı yakıt türü bulunmaktadır. Türbin motorlu uçaklarda, kerosen türü veya kerosen-benzin karışımı jet yakıtları kullanılmaktadır. Jet yakıtı genellikle ham petrolün kerosen kısmından elde edilir; bu kısım, damıtıldığında benzin ile dizel arasında yer alır (Nygren & ark., 2009: 4003).

Yakıt ikmal sistemleri, yakıt depoları, yakıt pompaları ve elektrik motorları, yakıt boruları, vanalar, flanşlar, sayaçlar ve dağıtıcılar gibi bileşenlerden oluşur. Bu bileşenlerden birinin arızalanması, yakıt sızıntısı sorununa yol açabilir. Yakıt, çevresindeki fiziksel engellere göre yayılır ve belirli yüzey alanına sahip bir döküntü oluşturur. Ortaya çıkan döküntü, hava sıcaklığı ve rüzgar hızı gibi çevresel faktörlere bağlı olarak belirli bir hızda buharlaşır. Buharlaşan yakıt rüzgar yönünde dağılır ve yakıt buharı konsantrasyonları kaynaktan uzaklaştıkça değişir.

Havaya yayılan yakıt buharı miktarı alt patlama sınırını aşarsa, patlayıcı bir ortam oluşur. Buhar bulutları, açık alev, elektrik arkı veya sıcak bir yüzeyle temas ettiğinde ani alev alabilir (Center for Chemical Process Safety, 2010: 97). Yakıt buharlarının tutuşma kaynaklarından biriyle temas etmesi patlamalara neden olabilir ve bu da ölüm, çok sayıda yaralanma ve tesisin bütünlüğünün bozulmasına yol açabilir. Ayrıca, yakıt buharları mesleki maruz kalma sınır değerlerini aşarsa, çalışanlarda sağlık sorunları ortaya çıkabilir.

Bu çalışmada, havacılık endüstrisinde yakıt doldurma işlemi sırasında yakıt hattındaki bir borudan meydana gelen yakıt sızıntısına ilişkin hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak risk

analizi gerçekleştirilmiştir. Bu risk analizini gerçekleştirmek için öncelikle, en kötü senaryoda çevre koşullarına göre yakıt sızıntısının buharlaşma hızının belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, literatürdeki yakıt buharlaşma modelleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Ardından, kaza senaryosuna göre en uygun buharlaşma ve yayılma modeli belirlenmiş ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği yoluyla risk analizi gerçekleştirilmiştir.

Akışkanlar dinamiği, akışkanların hareketini inceleyen bir bilim dalıdır. Son yıllarda, CFD simülasyonları sayesinde hesaplama imkânlarının artmasıyla birlikte, özellikle katı-gaz akışlarını analiz eden birleşik akış dinamiği çalışmalarının sayısı her geçen gün artmaktadır (Nascimento & ark., 2021: 251).

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, her geçen gün daha fazla alanda kullanılan ve başarılı sonuçları sayesinde birçok çalışmanın odak noktası haline gelen bilgisayar destekli bir simülasyon programıdır. Bu yöntemle, ısı transferi, basınç kaybı, enerji dağılımları ve akış hızları gibi veriler, deneysel yöntemlerle hesaplanması zor olan karmaşık modellerle sürecin erken aşamalarında simüle edilebilir (Güler & İmamoğlu, 2020: 42).

Hava akışını ayrıntılı olarak incelemek için de hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) kullanılır. CFD, hava akışı, ısı transferi ve kimyasal taşınımı hakkında ayrıntılı bilgiler sağlar (Song & Li, 2010: 238).

Yöntem

Buharlaşma Modeli

Yakıtın tek bileşenli bir sıvı olduğu varsayıldı. Damıtma fraksiyonlarının ortalama buhar basıncı, Denklem 1’de verilen Clausius-Clapeyron denklemiyle hesaplandı:

$$\log \frac{P_s}{P} = \frac{\Delta_{\text{vap}} H^0 M}{4.57} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_s} \right)$$

Denklem 1’de, P, T sıcaklığındaki mutlak buhar basıncıdır. P_s , T_s kaynama noktasındaki buhar basıncıdır (P_s için 760 mmHg kullanılmıştır), $\Delta_{vap} H^0$, cal/g cinsinden buharlaşma ısısıdır ve M, molekül ağırlığıdır (Jenkins, 2008: 76).

Buharlaşma Hızı ve Buhar Basıncı Arasındaki İlişki

Maddenin ideal laboratuvar koşullarında ölçülen fiziksel-kimyasal özelliklerinin (özellikle buhar basıncı (VP)) bir fonksiyonu olarak buharlaşma potansiyelinin tahmin edilmesi yararlıdır. Kimyasal uçuculuk düzeyini değerlendirmek ve kimyasalları buharlaşma eğilimlerine göre sıralamak için ampirik laboratuvar test verileri kullanılabilir (Mackay & van Wesenbeeck, 2014: 10259). İnert yüzeylerden buharlaşma hızı (ER), $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ cinsinden ifade edildiğinde, ölçülen buhar basıncı ile iyi bir korelasyon göstermiştir ($r^2=0,989$) (Woodrow & ark., 2001: 3841). Bu veriler ve ASTM D3539-87’den elde edilen buharlaşma hızı test verileri kullanılarak, toplam 82 madde için birkaç benzer korelasyon türetilmiş ve $\ln(\text{ER})$ ile $\ln(\text{VP})$ arasındaki doğrusal ilişkinin 15 büyüklük mertebesindeki bir basınç aralığında ($\sim 10^{-10}$ - 10^5 Pa) geçerli olduğu bildirilmiştir (van Wesenbeeck & ark., 2008: 315). ER, toksik maruziyetin buhar fazı yoluyla gerçekleştiği uçucu sıvı kimyasallar için özellikle önemli bir faktördür.

Saf bir sıvı maddenin doymuş buhar konsantrasyonu Denklem 2 ve Denklem 3’te gösterilmiştir.

$$C_s = P/RT$$

$$C_s = PM/RT$$

Denklem 2 ve Denklem 3’te P, Pa cinsinden buhar basıncı; M, kg/mol cinsinden mol kütlesi; R, 8,314 Pa m³/mol K değerindeki gaz sabiti; T ise K cinsinden mutlak sıcaklıktır. Dolayısıyla, Denklem 2’de C_s , mol/m³ cinsindeyken Denklem 3’te ise kg/m³ cinsindedir (Mackay & van Wesenbeeck, 2014: 10259).

Buharlaşma hızı, doymuş buhar konsantrasyonu ve kütle transfer sabiti (k , m/s) ile ilişkili olarak değerlendirilebilir. Difüzyon katsayısı D (m^2/s) ve difüzyon mesafesi Y (m) ise, k değeri D/Y 'ye eşitir. Dolayısıyla, buharlaşma hızı Denklem 4 ve Denklem 5'te molar akı ve kütle akısı olarak ifade edilir:

$$E = Pk/RT$$

$$E = PMk/RT$$

Denklem 4'te buharlaşma hızı mol/ m^2s cinsinden E olarak, Denklem 5'te ise kg/ m^2s cinsinden ifade edilmektedir (Mackay & van Wesenbeeck, 2014: 10259).

E ile P arasında bir korelasyon vardır, ancak PM arasında yoktur. $\log E$ ile $\log P$ grafiğinin eğimi 1'den küçüktür (Mackay & van Wesenbeeck, 2014: 10259). Bu durum, korelasyon denkleminde M 'nin bulunmaması ile açıklanabilir. Molekül kütlesi daha yüksek olan kimyasalların uçuculuğu daha düşüktür. Korelasyon, basınç ile molar akıştan buharlaşma hızına değiştirilirse, buharlaşma hızı azalır ve eğim artar. E , mol/ m^2s olarak değiştirilir ve grafiğin eğimi 1'e yaklaşır. Bu nedenle, E ve P arasında logaritmik bir korelasyona gerek yoktur. E ve P arasındaki ilişki, basit bir tek parametrelili formül ile ifade edilebilir.

Dodekanın buharlaşma hızı denklemi řu şekildedir (Mackay & van Wesenbeeck, 2014: 10259):

$$E = 474 \times P \times M$$

Denklem 6'da E , $\mu g/m^2s$ cinsinden buharlaşma; P , Pa cinsinden basınç; M ise g/mol cinsinden mol kütlesidir. Ortalama eğim korelasyon katsayısı, 10^9 $\mu g/kg$, 3600 s/h ve 10^{-3} kg/g değerleriyle ikame edilmiştir.

Önerilen yaklaşım, tek parametrelili doğrusal regresyonu içermektedir. Gerçekte, buharlaşma rüzgâr hızı, sıcaklık ve radyasyon gibi birçok çevresel faktörden etkilenebilir. Çevresel

faktörler dikkate alındığında, korelasyon daha kesin hale gelir ancak kullanımı daha karmaşık hale gelir. Bununla birlikte, sahadan elde edilen verileri test etmek için basit yöntemler kullanılabilir. Ne yazık ki, bu yöntem yalnızca saf maddelerin buharlaşmasını tahmin etmek için uygulanabilir (Mackay & van Wesenbeeck, 2014: 10259).

Kerosenin buharlaşma modellemesinin temel amacı, boru hattındaki arıza sonucu sürekli ve anında oluşan sızıntıdan salınan kimyasal buhar miktarını hesaplamaktır. Sızıntı alanının, arızanın hemen ardından oluştuğu ve buharlaşma süreci boyunca sabit kaldığı varsayılmaktadır. Kerosenin buharlaşma hızı, zamana, sıcaklık ve rüzgar hızı gibi atmosferik koşullara ve JP-8 bileşimindeki maddelerin kimyasal özelliklerine göre değişir. Hesaplama için, dökülen JP-8 saf kerosen olarak kabul edilir.

Yakıt sistemindeki JP-8'in atmosferik koşullar altında contadan sızdığı kabul edilmektedir. Bu nedenle, JP-8 ortam sıcaklığında olduğu ve kimyasal sızıntı ile havuz arasında herhangi bir ısı transferi gerçekleşmediği varsayılmaktadır. Ayrıca, havuzdaki buharlaşma kütle transferi süreciyle sınırlıdır.

Havuz üzerindeki rüzgârın neden olduğu kütle transferi buharlaşma hızı, kütle transferi hızının zamandan bağımsız olması nedeniyle sabit kabul edilmektedir. Ayrıca, tüm kerosen buharlarının atmosfere yayıldığı varsayılmaktadır. Yukarıdaki açıklamaya dayanarak, yakıtın buharlaşması hesaplamaları için Denklem 6 kullanılmaktadır.

Nicel Risk Değerlendirmesi

Nicel risk değerlendirme (QRA), tehlikeli maddelerin kullanımı, elleçlenmesi, taşınması ve depolanmasıyla ilişkili riskleri belirlemek için değerli bir araçtır. QRA'lar, söz konusu faaliyetin oluşturduğu riski ortaya koymak ve yetkili makamlara, tesisin içinde veya çevresinde ya da nakil güzergâhında meydana gelebilecek

olaylarla ilişkili riskin kabul edilebilirliği konusunda karar verebilmeleri için gerekli bilgileri sağlamak amacıyla kullanılır.

Kuruluşların QRA'ya dahil etmesi gereken belirli sızıntı olayları (LOC) bulunmaktadır. Borulara ilişkin LOC'ler ve borulara ait LOC sıklığı tabloları "Mor Kitap"ta (Committee for the Prevention of Disasters, 1999: 3.7) yer almaktadır.

Olayların sıklığı ve sonuçlarına ilişkin tahminler ile bunlarla ilişkili kaza senaryoları, QRA'nın temel adımlarını oluşturur. Genel QRA prosedürü, öncelikle en önemli olayların belirlenmesini (risk tanımlama) içerir; bu, genel analizin en kritik adımıdır. Rastgele sızıntıların sıklığı, muhafaza kabının bozulması durumlarına ilişkin istatistiksel sızıntı sıklığı verilerinin kullanıldığı yöntemler aracılığıyla hesaplanır (Milazzo & ark., 2015: 98).

Risk, ölçülebilir bir özellik olmak yerine, Denklem 7'de verildiği gibi önceden belirlenmiş algoritmalar kullanılarak sıklık ve şiddet verilerinden hesaplanır (Cioacă, 2011: 77):

$$\text{Risk} = \text{Olasılık (sıklık)} \times \text{Etki (şiddet)}$$

Risk matrisi, bir tarafta "olumsuz olay"ın (tehlike arz eden olay veya sonuç) meydana gelme ihtimalinin (olasılık), diğer tarafta ise bu olayın gerçekleşmesi durumunda sonuçlarının ağırlığının (şiddet) gösterildiği bir değerlendirme tablosudur (Mitten & Nemhauser, 1963: 187).

JP-8 sızıntı kazalarının risk değerlendirmesinde, risk puanı Denklem 7'deki formül kullanılarak hesaplanır ve risk puanı, sıklık ve şiddet verileri temel alınarak belirlenir.

Risk puanının değerlendirildiği risk matrisi, bir tarafta tehlikeli olayın meydana gelme olasılığının (olasılık), diğer tarafta ise tehlikeli olayın meydana gelmesi durumunda sonuçlarının ağırlığının (şiddet) seçildiği matristir. Bu amaçla, Mitten & Nemhauser (1963: 187) tarafından verilen şiddet tanımları ile

Milazzo & ark. (2015: 98) tarafından kaza riskinin değerlendirilmesi için kullanılan olasılık tanımları birleştirilerek, Tablo 1'de gösterildiği gibi havacılık sektöründeki yakıt sızıntısı kazaları için yeni bir risk matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 1 Risk matrisi

Olasılık	Şiddet				
	Önemsiz (A)	Hafif (B)	Ciddi (C)	Tehlikeli (D)	Felaket (E)
10^{-3}	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek
10^{-4}	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek
10^{-5}	Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
10^{-6}	Düşük	Düşük	Orta	Orta	Yüksek
10^{-7}	Düşük	Düşük	Orta	Orta	Yüksek

Model Varsayımları ve Doğrulama

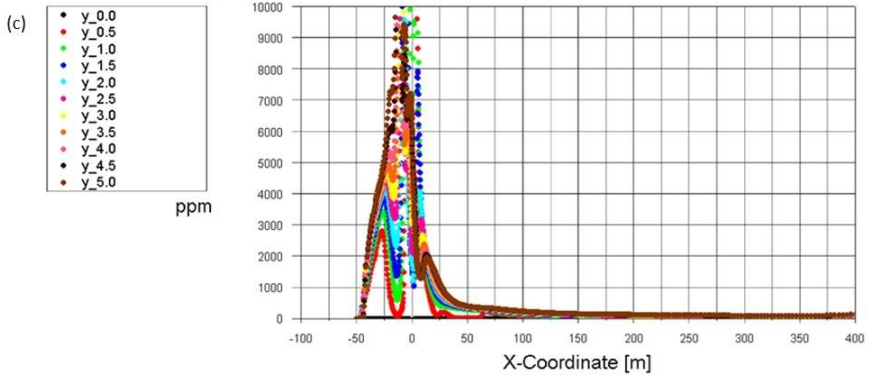
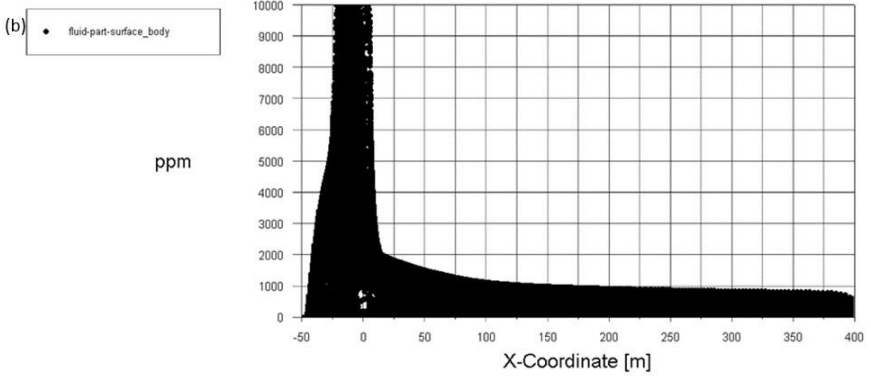
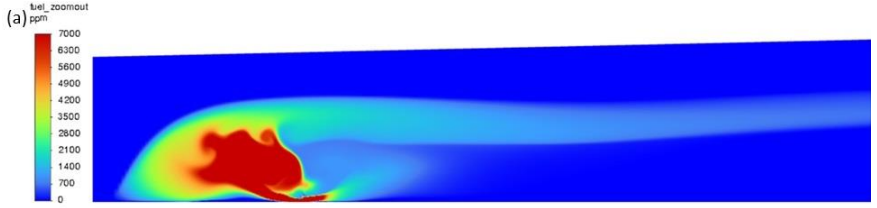
Bu çalışmada kullanılan CFD modelinin geçerliliği ve gerçekçiliği, yaygın olarak kabul gören modelleme uygulamaları ve gerçek dünyadaki operasyonel parametreler dikkate alınarak belirlenmiştir. Bir sızıntının ardından yakıt buharının yayılmasının neredeyse anlık davranışını temsil etmek için kararlı durum koşulları uygulanmıştır. Çevresel akış simülasyonlarında hesaplama verimliliği ile bilinen standart $k-\epsilon$ türbülans modeli seçilmiştir. JP-8 buharı, ortam sıcaklığı ve basınç koşulları altında geçerli bir varsayım olan ideal gaz olarak modellenmiştir. Rüzgar hızı ve sıcaklık gibi sınır koşulları, gerçekçi havacılık yakıt ikmal senaryolarına dayalı olarak tanımlanmıştır. Genellikle sınırlı rüzgar hızı koşullarını veya yalnızca yüzey seviyesindeki buhar dağılımını analiz eden önceki çalışmalardan farklı olarak, bu çalışma çeşitli rüzgar hızlarını ve çoklu sıcaklıkları içermektedir. Ayrıca, hem dikey hem de yatay konsantrasyon profilleri incelenmiş, böylece daha

ayrıntılı ve uzamsal çözünlüklü bir risk değerlendirmesi yapılabilmektedir. Bu kapsamlı modelleme yaklaşımı, patlama risklerinin daha derinlemesine anlaşılmasına katkıda bulunmakta ve sonuçların havacılık endüstrisindeki güvenlik planlaması için uygulanabilirliğini artırmaktadır. Sızıntı oluşan borunun 2 metre uzunluğunda ve 10 yıldır serviste olduğu kabul edilmiştir.

Bulgular

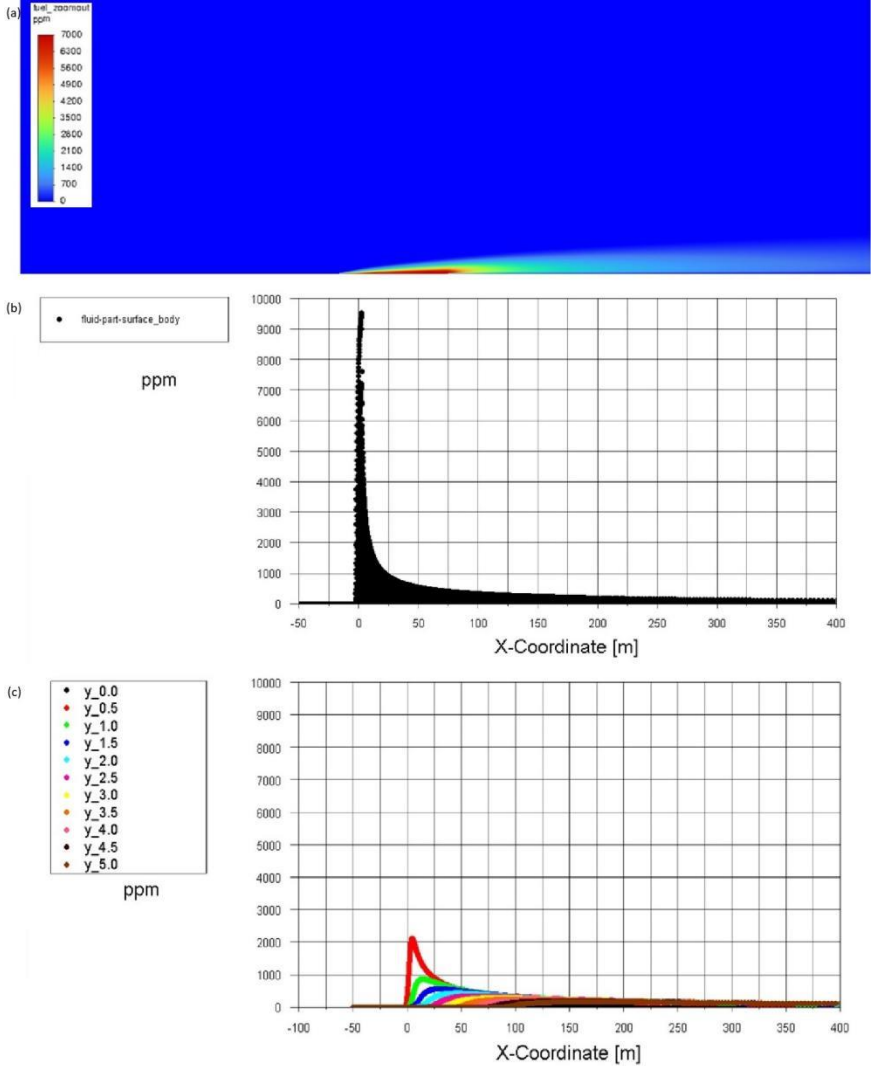
Bu çalışmada, CFD simülasyonu farklı sıcaklık ve rüzgâr hızlarında çeşitli koşullar altında yeniden gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, 40 °C sıcaklık ve 1 m/s rüzgâr hızında havadaki JP-8 buharının konsantrasyon dağılımı Şekil 1'de gösterilmiştir. Simülasyondan da görüldüğü gibi, düşük rüzgâr hızı koşullarında, kerosen buharı konsantrasyonu, sızıntının 4,5 m yukarısına ve $x \pm 10$ m mesafeye kadar 7000 ppm'lik LEL değerinin üzerindedir.

Şekil 1 40 °C ve 1 m/s koşullarında (a) CFD simülasyonunda, (b) X koordinat simülasyonunda ve (c) Y koordinat simülasyonunda kerosen buharının konsantrasyon dağılımları.



40 °C sıcaklıkta ve 15 m/s rüzgâr hızında havadaki JP-8 buharının konsantrasyon dağılımları Şekil 2’de gösterilmiştir. 40 °C hava sıcaklığı ve 15 m/s rüzgâr hızı gibi çevre koşullarında, patlayıcı bir atmosfer yalnızca sızıntının hemen üzerindeki alanda oluşmuştur. Kerosen buharı parçacıkları uzaklara taşındığı için, rüzgar hızı seyreltici bir etki yaratmış ve patlayıcı atmosferin alanını azaltmıştır.

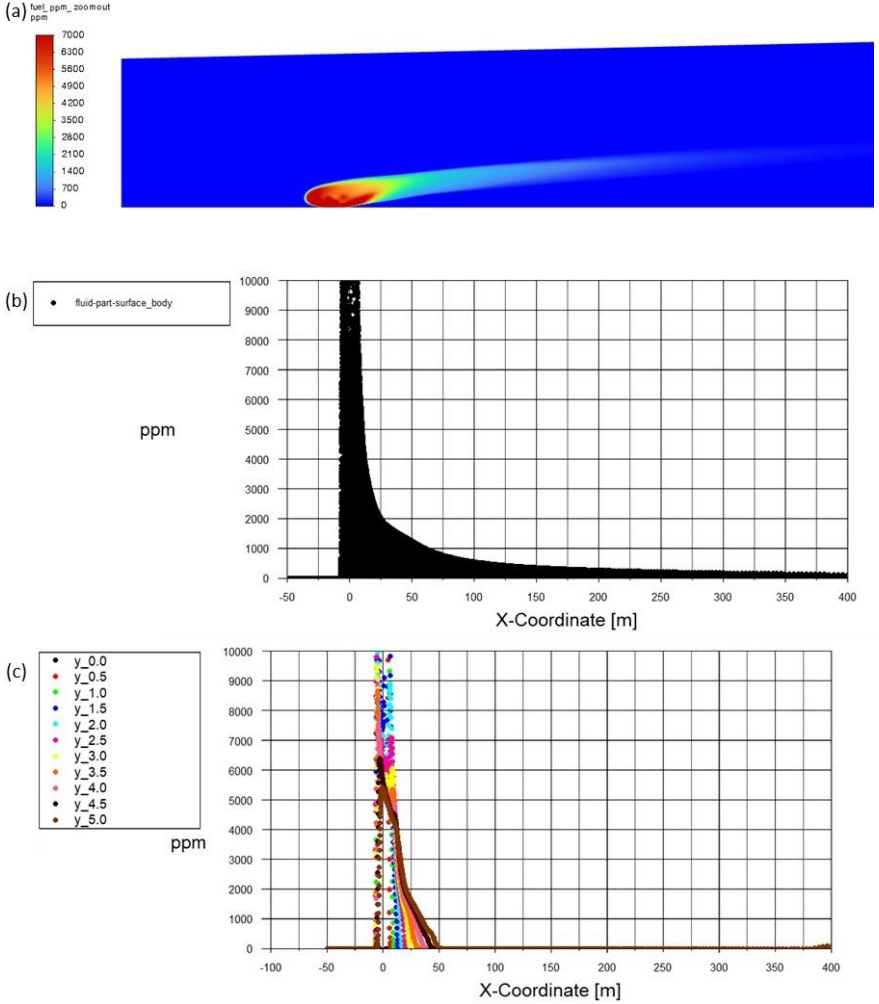
Şekil 2 40 °C ve 15 m/s koşullarında (a) CFD simülasyonunda, (b) X koordinat simülasyonunda ve (c) Y koordinat simülasyonunda kerosen buharının konsantrasyon dağılımları.



20 °C sıcaklıkta ve 1 m/s rüzgâr hızında JP-8 buharının konsantrasyon dağılımı Şekil 3'te gösterilmiştir. Simülasyondan da görüldüğü üzere, düşük rüzgâr hızı nedeniyle kerosen parçacıkları uzun mesafelere taşınmamış ve sızıntı sırasında 7000 ppm'yi aşarak

patlayıcı bir ortam oluşturmuştur. 24 °C'de buharlaşma miktarı düşük olmasına rağmen, düşük rüzgar hızı risk faktörünü etkileyen baskın faktör olmuş ve patlayıcı bir ortam oluşmuştur.

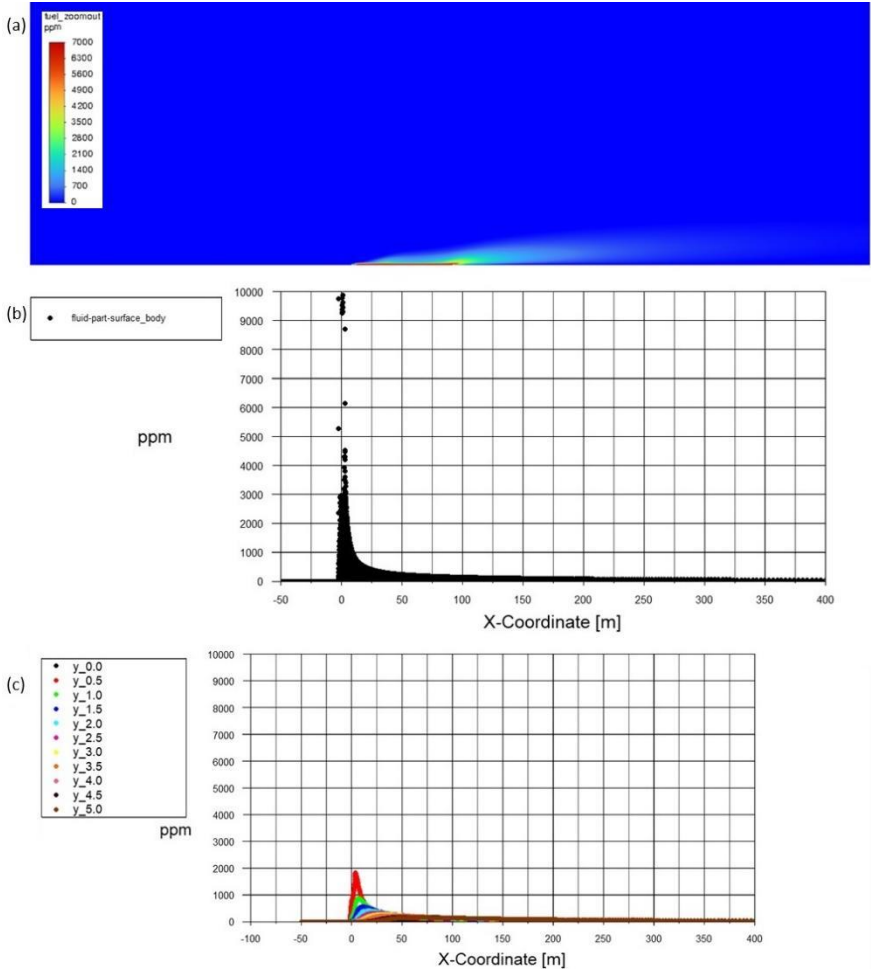
Şekil 3 20 °C ve 1 m/s koşullarında (a) CFD simülasyonunda, (b) X koordinat simülasyonunda ve (c) Y koordinat simülasyonunda kerosen buharının konsantrasyon dağılımları.



Hava sıcaklığının 20 °C ve rüzgâr hızının 5 m/s olduğu çevre koşullarında havadaki kerosen buharının yoğunluk dağılımları Şekil

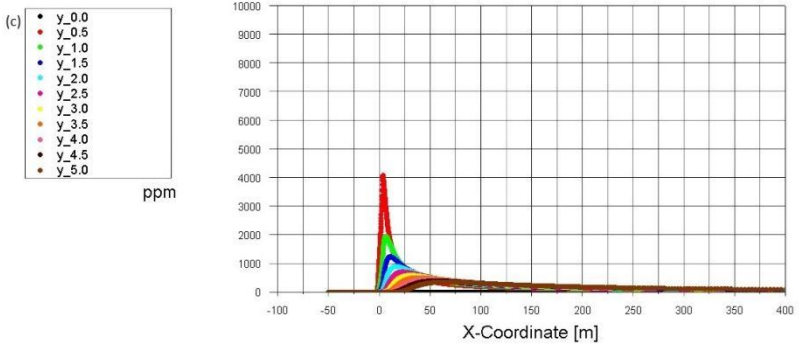
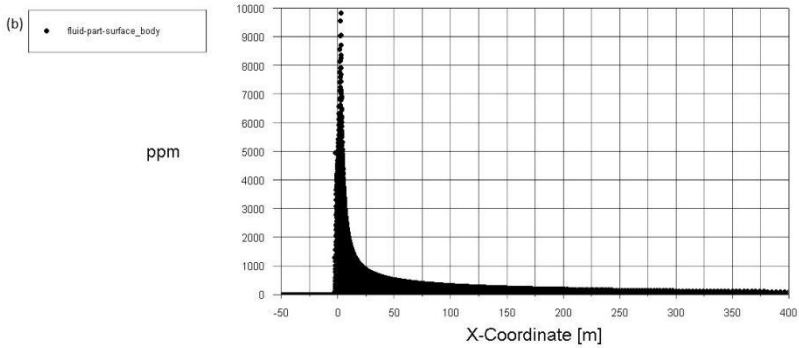
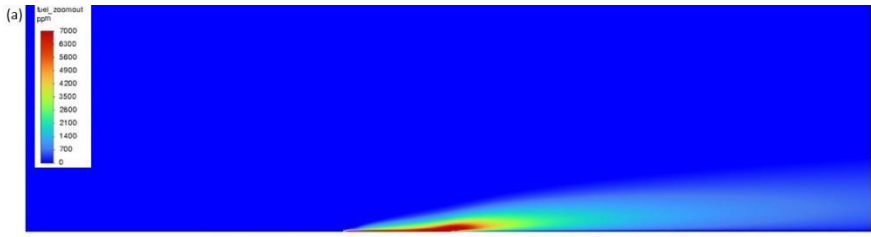
4'te verilmiştir. Simülasyondan da görüldüğü gibi, rüzgâr hızındaki artış kerosen parçacıklarının uzaklaşmasına ve sızıntı bölgesindeki patlayıcı atmosferin dağılmasına neden olmuştur. Bu nedenle risk seviyesi azalmıştır. Rüzgar faktörü, yakıt dökülmesi kazalarının risk değerlendirme sonuçları üzerinde önemli bir azaltıcı etkiye sahiptir.

Şekil 4 20 °C ve 5 m/s koşullarında (a) CFD simülasyonunda, (b) X koordinat simülasyonunda ve (c) Y koordinat simülasyonunda kerosen buharının konsantrasyon dağılımları.



Hava sıcaklığının 0 °C ve rüzgâr hızının 5 m/s olduğu çevre koşullarında havadaki kerosen buharının konsantrasyon dağılımları Şekil 5'te verilmiştir. Simülasyondan da görüldüğü gibi, düşük ortam sıcaklığı buharlaşma hızını azaltmıştır; ancak orta şiddetteki rüzgâr hızı, buharın rüzgârın estiği yönde taşınmasına neden olmuştur. Şekil 5(a), buhar bulutunun kontur haritasını göstermektedir ve en yüksek konsantrasyonun dökülme alanının yakınında kaldığını göstermektedir. Şekil 5(b), X eksenı boyunca yüzey konsantrasyonunu göstermektedir; burada konsantrasyon, kaynaktan uzaklaştıkça hızla azalmaktadır. Şekil 5(c), farklı yüksekliklerde (y = 0,0 m ila 5,0 m) buhar konsantrasyonundaki değişimi göstermektedir; bu, konsantrasyonun yer seviyesine yakın yerlerde en yüksek olduğunu ve hem dikey hem de yatay olarak azaldığını göstermektedir.

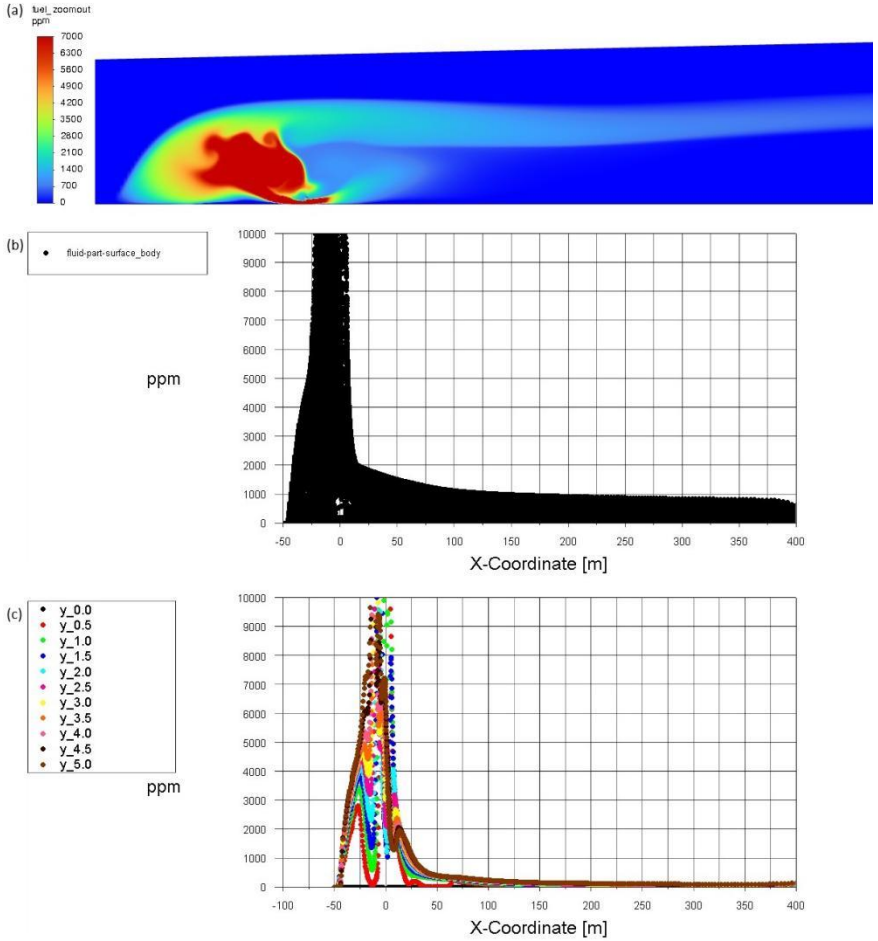
Şekil 5 0 °C ve 5 m/s koşullarında (a) CFD simülasyonunda, (b) X koordinat simülasyonunda ve (c) Y koordinat simülasyonunda kerosen buharının konsantrasyon dağılımları.



Değişen rüzgâr hızlarının JP-8 buharının yayılması üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla, Şekil 6 ile Şekil 9'da gösterildiği gibi, 45 °C ortam sıcaklığında 1 m/s, 5 m/s, 10 m/s ve 15 m/s rüzgâr hızlarında ek CFD simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, rüzgar hızı ile buhar bulutunun davranışı arasında açık bir ilişki olduğunu göstermektedir. Şekil 6'daki en düşük rüzgar hızı olan 1 m/s'de, buhar sızıntı kaynağının yakınında yoğunlaşmış halde kalır ve konsantrasyonları alt patlama sınırını (LEL) aşan yoğun ve tehlikeli bir bulut oluşturur. Rüzgar hızı arttıkça (Şekil 7–9), buhar bulutu rüzgarın estiği yönde daha uzun ve seyreltilmiş hale gelir. 5

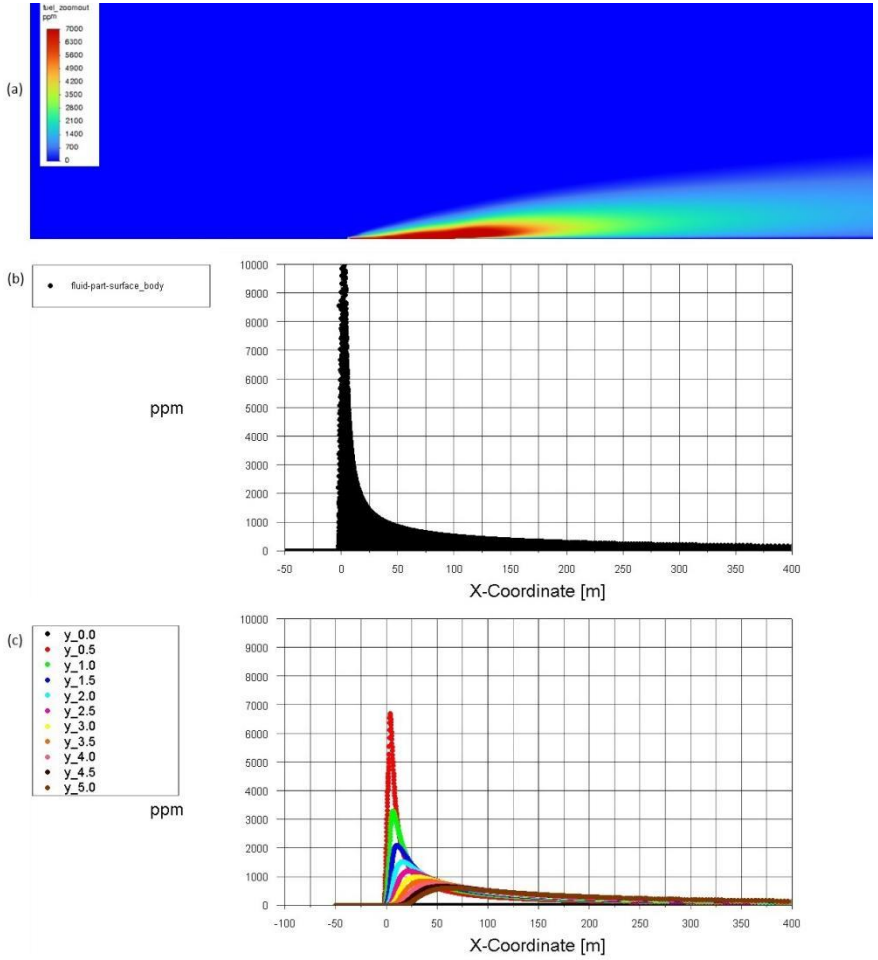
m/s'de dağılım artar ve yanıcı bölgenin kapsamı azalır. 10 m/s ve 15 m/s'de konsantrasyon hem yatay hem de dikey olarak hızla azalır ve patlayıcı atmosfer riski önemli ölçüde en aza indirilir. Bu simülasyonlar, daha yüksek rüzgar hızlarının daha etkili dağılıma ve riskte kayda değer bir azalmaya yol açtığını vurgulamaktadır.

Şekil 6 45 °C ve 1 m/s koşullarında (a) CFD simülasyonunda, (b) X koordinat simülasyonunda ve (c) Y koordinat simülasyonunda kerosen buharının konsantrasyon dağılımları.

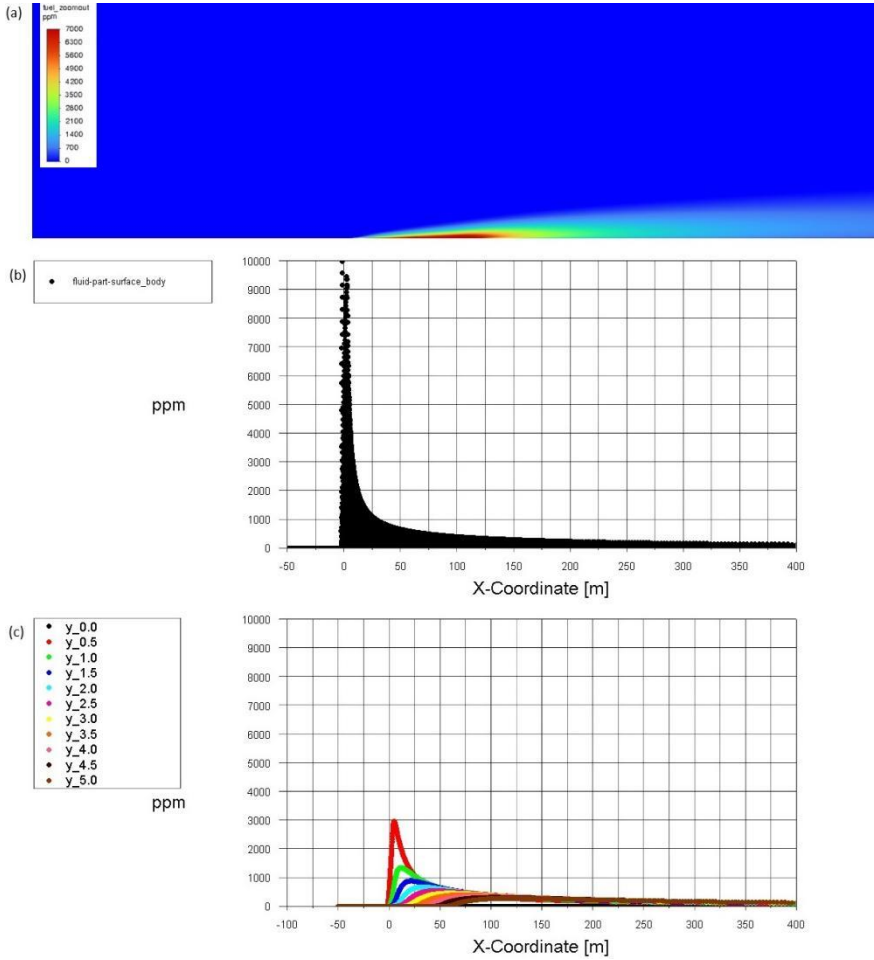


Bu çalışmada elde edilen bulgular, yakıt buharının yayılımına ilişkin daha kapsamlı ve mekansal çözünürlüklü bir değerlendirme sunarak önceki araştırma sonuçlarından ayrılmaktadır. Önceki çalışmalar genellikle sınırlı rüzgâr hızı senaryolarını analiz etmekte ya da basitleştirilmiş yayılım modellerine dayanırken, bu çalışma daha geniş bir yelpazede gerçekçi çevre koşullarını dikkate almakta ve hem dikey hem de yatay konsantrasyon profillerini ayrıntılı olarak incelemektedir. Bu yaklaşım, yakıt sızıntısı olayları sırasında buharın davranışına ilişkin daha derin bir anlayış sunarak, daha doğru risk değerlendirmelerine yol açmakta ve etkili güvenlik önlemlerinin geliştirilmesini desteklemektedir.

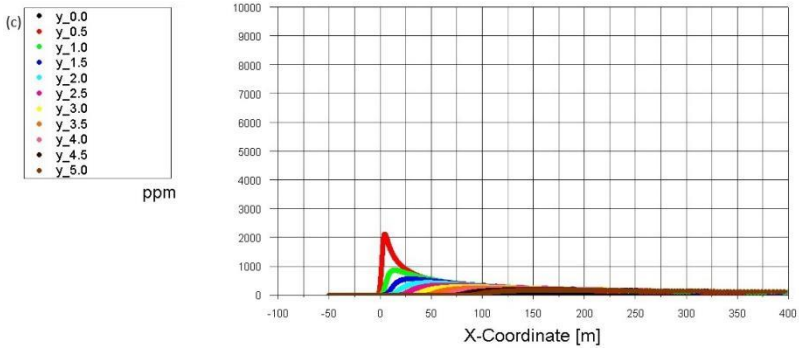
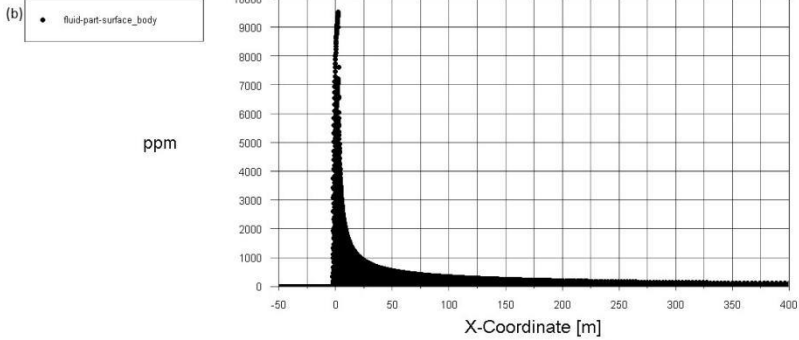
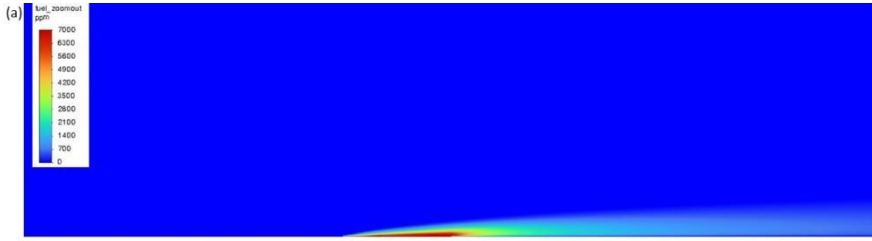
Şekil 7 45 °C ve 5 m/s koşullarında (a) CFD simülasyonunda, (b) X koordinat simülasyonunda ve (c) Y koordinat simülasyonunda kerosen buharının konsantrasyon dağılımları.



Şekil 8 45 °C ve 10 m/s koşullarında (a) CFD simülasyonunda, (b) X koordinat simülasyonunda ve (c) Y koordinat simülasyonunda kerosen buharının konsantrasyon dağılımları.



Şekil 9 45 °C ve 15 m/s koşullarında (a) CFD simülasyonunda, (b) X koordinat simülasyonunda ve (c) Y koordinat simülasyonunda kerosen buharının konsantrasyon dağılımları.



Sonuçlar

Bu çalışmada, havacılık endüstrisindeki yakıt sızıntısı kazalarıyla ilişkili riskleri değerlendirmek üzere hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yöntemi uygulanmış ve özellikle JP-8 yakıtı üzerinde durulmuştur. Simülasyonlar, rüzgâr hızı ve sıcaklık gibi değişken çevresel koşulların, sızan yakıtın yayılmasını ve buhar konsantrasyonunu ne kadar önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Tablo 1, düşük rüzgar hızları ve ılımlı sıcaklıklar altında

tehlikeli patlayıcı ortamların hızla oluşabileceğini ve bunun çok yüksek risk seviyelerine yol açabileceğini gösterirken, daha yüksek rüzgar hızlarının yakıt buharını seyreltip patlama düşük seviyelere indirdiğini göstermektedir. Bu dinamik risk analizi yaklaşımı, havacılık endüstrisinin yakıt operasyonları sırasında hızla değişen çevresel ve fiziksel koşullara göre güvenlik önlemleri almasına yardımcı olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Koordinasyon Birimi tarafından FDK-2024-8735 nolu poje olarak desteklenmiştir. Yazarlar, çalışmaya destek veren Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür eder.

Kaynakça

Aslanbay Güler, B., & İmamoğlu, E. (2020). Bilgisayar destekli simülasyon ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 13(1), 42–52. Erişim adresi: <https://www.derleme.gen.tr/index.php/derleme/article/view/344>

Center for Chemical Process Safety. (2010). *Guidelines for vapor cloud explosion, pressure vessel burst, BLEVE, and flash fire hazards* (2nd ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470640449>

Cioacă, C. (2011). Qualitative risk analysis methods in aviation projects. *Journal of Defense Resources Management*, 2, 77–84. https://jodrm.eu/wp-content/uploads/2025/04/00_jodrm_vol2_issue1.pdf

Committee for the Prevention of Disasters. (1999). Guidelines for quantitative risk assessment (“Purple Book”) (CPR 18E, ss. 3.7–3.8). Directorate-General for Social Affairs and Employment.

Çetinyokuş, S. (2017). Determination of explosion, fire and toxic emission physical effect areas. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23(7), 845–853. <https://doi.org/10.5505/pajes.2016.90093>

European Union Aviation Safety Agency. (2016). EHEST MARIA risk assessment toolkit (EASA, Cologne, Germany, 2016), p. 15. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/ehest-maria-risk-assessment-toolkit>, (Erişim tarihi: 03.05.2026).

Jenkins, H. D. B. (2008). Clausius-Clapeyron equation. In *Chemical thermodynamics at a glance* (pp. 76–77). Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1002/9780470697733.ch26>

Mackay, D., & van Wesenbeeck, I. (2014). Why are organic chemicals persistent in the environment? *Environmental Science & Technology*, 48(17), 10259–10263. <https://doi.org/10.1021/es5029074>

Milazzo, M. F., Vianello, C., & Maschio, G. (2015). Uncertainties in QRA: Analysis of losses of containment from piping and implications on risk prevention and mitigation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 36, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.05.016>

Mitten, L. G., & Nemhauser, G. L. (1963). Optimization of multistage separation processes by dynamic programming. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 41, 187–194. <https://doi.org/10.1002/cjce.5450410502>

Nascimento, S. M., Lima, R. M., Brandão, R. J., Santos, D. A., Duarte, C. R., & Barrozo, M. A. S. (2022). Comparison between the Eulerian (CFD) and the Lagrangian (DEM) approaches in the simulation of a flighted rotary drum. *Computational Particle Mechanics*, 9(2), 251–263. <https://doi.org/10.1007/s40571-021-00407-z>

Nygren, E., Aleklett, K., & Höök, M. (2009). Aviation fuel and future oil production scenarios. *Energy Policy*, 37(10), 4003–4010. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.04.048>

Song, J., & Li, X. (2010). The application of computational fluid dynamics (CFD) in HVAC education. In K. Li, X. Li, S. Ma, & G. W. Irwin (Eds.), *Life system modeling and intelligent computing* (Communications in Computer and Information Science, Vol. 97, pp. 238–244). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-15853-7_30

van Wesenbeeck, I., Driver, J., & Ross, J. (2008). Relationship between the evaporation rate and vapor pressure of moderately and

highly volatile chemicals. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 80, 315–318. <https://doi.org/10.1007/s00128-008-9380-2>

Woodrow, J. E., Seiber, J. N., & Dary, C. (2001). Vapor pressure and temperature dependence of selected pesticides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(8), 3841–3846. <https://doi.org/10.1021/jf010358u>

BÖLÜM 0

YEŞİL KAMPÜS YAKLAŞIMI ve SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Serpil SAVCI¹

Giriş

Avrupa Birliği Eko-Yönetim ve Denetim Şeması'na (EMAS, 2013, 1) göre, "yeşil bir kampüs, tüm faaliyet alanlarında (yönetim, araştırma ve eğitim) çevresel zorluklara çözüm üreten bir kampüstür". Bu, yükseköğretim kurumlarının "araştırmacılar, liderlik pozisyonlarındaki kişiler ve daha geniş toplum arasında sürdürülebilir kalkınma için kuluçka merkezleri, rol modelleri ve çoğaltıcılar" rolünü göstermektedir. Dolayısıyla, kampüslerin yeşilleştirilmesi, üniversite operasyonlarının ve altyapısının tüm seviyelerinde çevre dostu uygulamaların getirilmesini gerektirir. "Yeşil kampüs" ve "kampüs sürdürülebilirliği" kavramları, son on yılda sürekli olarak tartışılmaktadır. Bu durum, kabul edilen akademik etkinlikler ve bildirgeler ile üniversitelerin sürdürülebilir kalkınmanın çarpanları olarak ve kampüs girişimlerinin sayısını

¹ Prof. Dr., Yozgat Bozok Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama, Orcid: 0000-0003-2015-2223

artırma konusundaki diyalogun yaygınlaştırılmasındaki rolleriyle gösterilmektedir (Sima ve ark., 2022, 1).

Üniversiteler, birbirine bağılı sosyal ve kurumsal koşullar aracılığıyla sağlık, refah ve akademik başarıyı şekillendirir. Mevcut araştırmalar bu ilişkiyi ortaya koymuştur. Geriye kalan zorluk, kurumsal karar alma süreçlerini bilgilendirecek şekilde bu koşulları değerlendirmektir (Gupta ve Ginwal, 2026, 2-3). Üniversite kampüsleri, ister şehir merkezlerinde ister şehir dışında yer alsınlar, modern şehirler içinde önemli topluluklar ve mekanlar oluşturmaktadır. Yükseköğretime olan artan küresel ilgi, üniversite alanlarının genişlemesini tetiklemekte ve bu da kentleşmenin ekosistemler üzerindeki durumunu olumsuz etkilemektedir (Dzialek ve ark., 2025, 1-2). Toplumun çeşitli sektörlerinde, özellikle yükseköğretimde, yeşil yaşam davranışları, çevre kirliliğinin artması ve küresel iklim krizi nedeniyle büyük bir endişe kaynağı haline gelmiştir. Son on yılda, iklim değişikliği ve çevresel bozulmaya ilişkin artan endişeler, benzeri görülmemiş bir farkındalık düzeyine ve kamuoyu tartışmasına yol açmıştır. Üniversite öğrencileri genellikle önemli bir grup olarak kabul edilmektedir. Çünkü çevresel tutumları ve alışkanlıkları, bir kez oluştuğunda, uzun vadeli yaşam tarzı seçimlerini etkileyebilir ve daha geniş toplumsal sürdürülebilirlik geçişlerine katkıda bulunabilir (Nguyen ve ark., 2026, 1-2).

Kentleşme küresel ısınmayı şiddetlendirmekte ve kentsel ortamların sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Küresel ortalama sıcaklık artışı 2023 yılında 1,45 °C'yi aşarak sıcak hava dalgalarının sıklığını ve yoğunluğunu artırmıştır. Bu durum daha sonra küresel enerji tüketimini artırabilir, hava kirliliğini kötüleştirebilir ve kent sakinlerinin sağlığını tehdit edebilir. Üniversite kampüsleri kentsel alanlarda hayati bileşenler olarak hizmet vermektedir. Kampüs dış mekanları çeşitli sosyal ve fiziksel aktiviteleri kolaylaştırırken, sıcak dış mekan koşulları insanın

termal konforunu ve davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Kentsel kamusal alanların aksine, kampüsler esas olarak öğrenciler ve akademisyenler tarafından kullanılır; bu grup özellikle termal ortamdaki değişikliklere karşı hassastır. Termal düzenlemenin olmaması ve öğrencilerin sıcak ortamlara karşı düşük toleransı, yüksek sıcaklıklarda yorgunluğa, dikkat dağılmasına ve hatta ısı çarpmasına yol açabilir. Akademisyenler de ısıya bağlı stresle karşı karşıyadır; bu sadece öğretimin kalitesini bozmakla kalmaz, aynı zamanda uzun vadeli sağlıkları için de risk oluşturur (Zhou ve ark., 2025, 2).

Sürdürülebilir Kampüs Uygulamaları

Son yirmi yılda, ‘sürdürülebilirlik’ kavramı dünya çapında akademisyenler ve uygulayıcılardan önemli ölçüde ilgi görmüştür. Bu ilgi, bazı araştırmacıların sürdürülebilirlik bilimini ayrı bir araştırma alanı olarak görmesine yol açmıştır. Çevre ve iklim değişikliği sorunlarına ilişkin artan endişeler, yoksulluk, sosyal dışlanma ve sosyal kutuplaşma gibi sosyal sorunların giderek artan bilinirliğiyle birleştiğinde, sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınmayı küresel tartışmaların ön saflarına yerleştirmiştir. Akademik literatürde ve politika metinlerinde, sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma terimleri sıklıkla birbirinin yerine kullanılmaktadır. Bununla birlikte, UNESCO gibi kuruluşlar ikisi arasında ayırım yaparak, ‘sürdürülebilirliği’ uzun vadeli bir hedef, ‘sürdürülebilir kalkınmayı’ ise bunu başarmak için gereken süreçler olarak tanımlamaktadır. Sürdürülebilirlik genellikle “gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılayan kalkınma” olarak tanımlanır (Oliveira ve Proença, 2025, 1-2).

Endonezya Üniversitesi tarafından yaygın olarak kabul gören ve öne çıkan bir sıralama sistemi olan UI GreenMetric sıralaması oluşturulmuştur (Alberti ve ark., 2025, 2753). UI GreenMetric Dünya Üniversite Sıralaması artık yükseköğretim

kurumlarının sürdürülebilirlik performansını değerlendirmek için tasarlanmış önde gelen küresel bir ölçüt olarak kabul edilmektedir. Model, altı temel boyutu değerlendirir: altyapı, enerji ve iklim değişikliği, atık, su, ulaşım ve eğitim ve araştırma. Ayrıca, sürdürülebilir kalkınmada kurumsal ilerlemeyi ölçmeye olanak tanıyan tutarlı bir karşılaştırma temeli sağlar. Birçok çalışma, uluslararası sürdürülebilirlik değerlendirme araçlarının kullanımını göstermiştir. Ancak, UI GreenMetric tabanlı sürdürülebilirlik değerlendirmesinin bilimsel temeli yalnızca son araştırmalarda güçlendirilmiştir (Bounouni ve ark., 2026, 2).

Enerji ve Sera Gazı Emisyonu

Sürdürülebilir yeşil kampüsün önemli bir yönü, enerji yönetimi ve tasarrufuna öncelik vermektir. Kampüs binalarındaki enerji talebini azaltmaya yönelik stratejiler, ısı yalıtımı, duvar kalınlığı, pencere detayları, pasif güneş enerjisiyle ısıtma için güneş odalarının entegrasyonu, gölgeleme cihazları ve ana cephelerin yönlendirilmesi gibi bina tasarımının çeşitli yönlerini içermektedir. Buna ek olarak, akıllı aydınlatma ve ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri gibi akıllı bina teknolojilerinin entegrasyonu, verimli kaynak yönetimini artırmaktadır (Barnett-Itzhaki ve ark., 2025, 1).

Yenilenebilir Enerji Üretimi

Kampüslerde enerji verimliliğini artırmanın bir diğer yönü de yenilenebilir enerji üretimidir. Bu hedefe ulaşmak ve enerji bağımsızlığına çabalamak için birçok üniversite, kampüs binalarının çatılarına fotovoltaik sistemler kurmayı tercih etmiştir. Bu sistemler tarafından üretilen temiz enerji, kampüsteki elektrikli araçlar için elektrik üretebilir, ulusal şebekeye katkıda bulunabilir ve üniversitenin fosil yakıt kullanan elektrik sağlayıcılarına olan bağımlılığını azaltabilir (Barnett-Itzhaki ve ark., 2025, 2).

Su Yönetimi

Su kaynaklarını etkin bir şekilde yönetmek ve çevresel etkilerini en aza indirmek için, yükseköğretim kurumları üç temel stratejiyi kapsayan kapsamlı bir yaklaşım benimsemelidir: su tasarrufu, yağmur suyu toplama ve yüzey akışı yönetimi. Su tasarrufu teknikleri, verimli teknolojiler ve uygulamalar yoluyla su tüketimini azaltmayı amaçlar. Yağmur suyu toplama sistemleri yağmur suyunu toplar ve kullanır, alternatif bir su kaynağı sağlar ve belediye su kaynaklarına olan bağımlılığı azaltır. Yüzey akışı yönetimi stratejileri ise, yüzey akışı hacmini azaltmak ve su kalitesini iyileştirmek için yeşil altyapı çözümleri kullanarak yağmur suyu akışının olumsuz etkilerini azaltmaya odaklanır. Bu stratejiler sadece su kaynaklarını korumayı ve su kalitesini iyileştirmeyi değil, aynı zamanda kampüsün çeşitli ihtiyaçları için uzun vadeli su teminini de sağlamayı amaçlar (Barnett-Itzhaki ve ark., 2025, 3).

Atık Yönetimi

Atık yönetimi, atığın oluşumundan bertarafına kadar olan süreçleri ve eylemleri kapsar; bunlar arasında politika oluşturma, atık toplama, taşıma, işleme ve bertaraf yer almaktadır. Ayrıca sürdürülebilirliği hedefleyen izleme, düzenleme, teknolojik gelişmeler ve ekonomik mekanizmaları da içerir. Atıkların azaltılması, yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesi, yakma ve depolamaya sürdürülebilir alternatifler sunmaktadır. Üniversiteler, ıslak, kuru, organik, inorganik ve tıbbi atık gibi çeşitli atıklar üretmektedir. Üniversitelerde uygulanan sıfır atık programları olarak bilinen girişimler, geri dönüşümü en üst düzeye çıkarmayı ve çöplüklere, yakma tesislerine ve okyanuslara gönderilen atık miktarını azaltmayı amaçlamaktadır (Barnett-Itzhaki ve ark., 2025, 3).

Yeşil Binalar

Yeşil binalar, atık ve yüzey akışı yönetimi, su ve enerji kullanımının azaltılması ve sera gazı emisyonlarının düşürülmesi gibi daha önce tartışılan tüm konuların farklı yönlerini bir araya getirir. Son yıllarda, dünyanın dört bir yanındaki yükseköğretim kurumları, yeni kampüs binaları ve büyük tadilatları için yeşil bina politikaları ve uygulamalarını benimsemiştir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'na (EPA) göre, yeşil bina, "bir binanın yaşam döngüsü boyunca, yer seçiminden tasarıma, inşaaata, işletmeye, bakıma, tadilata ve yıkıma kadar, çevresel olarak sorumlu ve kaynak verimli yapılar oluşturma ve süreçler kullanma uygulamasıdır" (EPA, 2016). Sürdürülebilir veya yüksek performanslı binalar olarak da bilinen yeşil binalar, bir binanın konfor, ekonomi, dayanıklılık ve kullanılabilirlik unsurlarını dikkate almaktadır (Barnett-Itzhaki ve ark., 2025, 3).

Yeşil Çatı Uygulamaları

2050 yılına kadar dünya nüfusunun %68'inin kentleşmiş alanlarda yaşayacağı öngörüldüğünden, şehirlerdeki iklimle ilgili sorunların ele alınması giderek daha acil hale gelecektir. Ülkeler, şehirler ve üniversiteler, buldukları yerlerdeki iklim krizinin etkilerini dengelemek için çeşitli önlemler almışlardır. Birleşik Krallık'ta, Bristol Şehir Konseyi, Kasım 2018'de iklim acil durumunu ilan eden ilk yerel konsey olmuştur. Sıkı bir acil durum eylem planı ile Bristol Şehri, Birleşik Krallık Hükümeti'nin ulusal hedefinden 20 yıl önce karbonsuzlaştırmayı hedeflemektedir. Benzer şekilde, Nisan 2019'da Bristol Üniversitesi de aynı yolu izlemiş ve İngiltere'de iklim acil durumunu ilan eden ilk üniversite olmuştur. Ayrıca üniversite iklim sorunlarıyla mücadele etmek için daha fazla araştırma yapılması yönünde aktif olarak çaba gösterirken, 2030 yılına kadar karbon nötr hale gelmek için çalışmaktadır (Nicol ve Terzano, 2025, 2).

Kampüslerin termal ortam özellikleri, bina yoğunluğu, yüzey malzemesi ve yeşil alan gibi birçok faktörden

etkilenebilmektedir. Araştırmalar, kampüslerdeki gölgelenmemiş sert zeminli alanların genellikle yüksek yüzey sıcaklıkları sergilediğini, radyant ısı birikimini artırdığını ve hava akışını kısıtlayarak, ısı adası etkisi yarattığını göstermiştir (Zhou ve ark., 2025, 2).

İnşaat sektöründen kaynaklanan hava kirleticileri çevresel kirlilik konusunda eleştirel düşünmenin ve çevrenin korunması için yapılan çalışmaların arttığını göstermektedir. İnşaat sektörü, dünyadaki en büyük sera gazı emisyonu kaynağı olarak kabul edilmektedir. Yeşil bina uygulaması, ekonomi, kullanışlılık, dayanıklılık ve konfor dahil olmak üzere geleneksel bina tasarım perspektiflerini genişletir ve tamamlar. Yeşil bina, çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkiyi azaltan ve nihayetinde ortadan kaldıran çeşitli uygulama biçimleri, teknolojiler ve beceriler ortaya çıkarır. Her bir yeşil bina sadece estetik bir görünüm sağlamakla kalmaz, aynı zamanda hava kalitesini de iyileştirir. Yeşil çatı kurulumunun bir bina için yağmur suyu Emilimi, yalıtım, yaban hayatı için yaşam alanı oluşturma, artan çevre bilinci ve estetik olarak tasarlanmış bir peyzaj yaratarak çatının yakınında yaşayan insanlar için stresi azaltma gibi çeşitli faydaları vardır. Biriken yağmur suyuyla başa çıkma ihtiyacını ve kanalizasyon sistemleri üzerindeki yükü azaltır (Mishra ve Sakharle, 2022, 1547).

Yeşil çatılar öncelikle su tutma kapasitesini artırmak, ısı ve ses yalıtımı sağlamak, çatıların ömrünü uzatmak, kentsel alanlarda biyoçeşitliliği artırmak ve binalara estetik değer katmak için kullanılır; şehir planlamacılarına, sakinlerine ve belediyelere fayda sağlamaktadır. Standart yeşil çatılar genellikle üç ana tipe ayrılır: yaygın, yarı yoğun ve yoğun; bunlar esas olarak toprak derinliğine göre ayırt edilir. Bu sayede Avrupa Birliği (AB) hedeflerine (örneğin, şehirleri daha yeşil, daha temiz ve daha sağlıklı hale getirmeyi amaçlayan Yeşil şehir Anlaşması girişimi; Avrupa Komisyonu, 2025) ve Birleşmiş Milletler sürdürülebilirlik

hedeflerine (örneğin, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi (SKH) 9: Sanayi, İnovasyon ve Altyapı ve SKH 11: Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar; ve SKH 13: İklim Eylemi; BM, 2023) ulaşılmasına yardımcı olurlar (Bullock ve ark., 2026, 1).

Sonuç

Son on yılda, kampüs yeşil alanlarının, sadece kampüs bahçelerini değil, aynı zamanda çim, ağaçlar, bitkiler ve yükseköğretim kurumlarındaki yani üniversite kampüslerindeki rekreasyon için belirlenmiş alanlar gibi diğer alanları da içeren rolüne giderek daha fazla odaklanılmıştır. Bu alanların, fiziksel, zihinsel, bilişsel ve sosyal refah alanlarında öğrenci refahını artırmada önemli rol oynayabileceği düşünülmüştür (Patel ve ark., 2024, 107-108). Üniversite kampüslerinin termal ortamı, özellikle sıcak ve nemli iklimlere sahip bölgelerde, insan konforunu ve bina enerji tüketimini önemli ölçüde etkiler. Yeşil alanların optimize edilmesi, yüksek sıcaklık sorunlarını etkili bir şekilde hafifletebilir ve soğutma etkilerini, havalandırma etkilerini ve karbon tutma faydalarını artırabilir. Kampüs alanlarındaki sınırlı arazi kaynakları göz önüne alındığında, çoklu faydalarını en üst düzeye çıkarmak için yeşil alanların tasarımını optimize etmek çok önemlidir (Zhou ve ark., 2025, 2).

Kaynakça

1. Nicol, E., & Terzano, K. (2025). Modelling the optimal green roof type for carbon capture in an urbanised university campus. *Urban Forestry & Urban Greening*, *112*, 128946.
2. Działek, J., Jarecka-Bidzińska, E., Staniewska, A., & Teoule, F. (2025). (Re) greening transition of academic green spaces as a response to social and environmental challenges: The role of bottom-up initiatives. *Urban Forestry & Urban Greening*, *105*, 128692.
3. Nguyen, H. A. T., Osman, Z., Suhandoko, A. D. J., Serrano, J., & Intaratat, K. (2026). Social Environmental Influences on Students' Green Living Behaviour in Vietnam and Malaysia. *Cleaner Environmental Systems*, 100440.
4. Patel, A., Hill, W., Wesseling, K., Standen, C., & Carruthers, R. (2024). The role of a campus herb garden in promoting social and personal wellbeing in naturopathic students. *Advances in Integrative Medicine*, *11*(2), 107-112.
5. Gupta, K., & Ginwal, P. (2026). From strategy to evaluation: A social determinants of healthy campus framework for evaluating US campus health programs. *Evaluation and Program Planning*, 102777.
6. Zhou, X., Deng, S., Cui, Y., & Fan, C. (2025). Developing a co-benefits evaluation model to optimize greening coverage designs on university campuses in hot and humid areas. *Energy and Buildings*, *328*, 115214.
7. Sima, M., Grigorescu, I., Bălteanu, D., & Nikolova, M. (2022). A comparative analysis of campus greening practices at universities in Romania and Bulgaria: Sharing the same challenges?. *Journal of Cleaner Production*, *373*, 133822.

8. EMAS, 2013. Greening the campus with EMAS, European Commission. June 2013 - First edition. <https://ec.europa.eu/environment/emas/pdf/factsheets/GreenCampus.pdf>.
9. Bullock, L. A., Pokharel, R., Lewis, A., Laarhuis, P. P., van der Luijt, R., Mendez, Q. R., Benavente, D. (2026). Assessing Urban Green Roofs for CO₂ Removal via Enhanced Rock Weathering in Europe. *Environmental Advances*, 100708.
10. Mishra, S. S., & Sakharle, D. (2022). Design of green roof for an energy efficient university campus. *Materials Today: Proceedings*, 65, 1546-1550.
11. Oliveira, M. C., & Proença, J. (2025). Sustainable campus operations in higher education institutions: A systematic literature review. *Sustainability*, 17(2), 607.
12. Bounouni, S., Boudina, T., & Amrouche, L. (2026). Towards a Sustainable Campus: The UI GreenMetric Model for the Assessment and Evaluation of the University of Béjaïa (Algeria). *Sustainability*, 18(5), 2427.
13. Alberti, C., Civera, A., Lehmann, E. E., Meoli, M., Otto, J., & Paleari, S. (2025). University sustainability rankings: a critical literature review on the UI GreenMetric ranking system. *The Journal of Technology Transfer*, 50(6), 2752-2801.
14. Barnett-Itzhaki, Z., Tifferet, S., Berkowic, D., Arviv, T., Daya, A., Carasso Romano, G. H., & Levi, A. (2025). Strategies and challenges for green campuses. *Frontiers in Sustainable Cities*, 7, 1469274.

BÖLÜM 0

DİJİTALLEŞMENİN TARIMSAL ÜRETİM VE İNSAN YAŞAMI ÜZERİNDEKİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ ROLÜ

BİRCE BELİZ HAMUT¹

Giriş

Günümüzde iletişim teknolojilerindeki birçok yenilik bireylerin değişime ve dönüşüme uğramasına neden olmuştur. Hızlı ve kolay ulaşılan teknoloji dünyası bireyi ve toplumu forma sokmasını sağlamıştır (Jiao vd., 2025:100638). Aynı zamanda teknoloji insanları iletişim şekilleri, pratikleri, farkındalıkları ile gündelik yaşama dahil etmiştir (Gülay, 2025:2149).

Dijitalleşme, teknolojik, kültürel ve sosyal değişim sayesinde yeni tekno-kültürün bir parçası olarak rol almıştır (Lister, 2009). Dijitalleşme, köken olarak Latince parmak anlamına gelen “digitus” kelimesinden gelmektedir. Türk Dil Kurumu köken olarak dijitalleşmeyi Fransız dilinden alarak “benzer, eş” anlamı ile tanımlamıştır (Yücel ve Adiloğlu, 2019:47). Gartner sözlüğü, iş modelini değiştirme ve yeni değer üretme fırsatı olarak tanımlarken, iş operasyonlarının dönüşümünü hedefleyen ve bilginin kullanımını ön plana çıkaran bir yaklaşım ortaya koymaktadır (Elia vd., 2024:381).

İnsanların günümüz çağında hızlı, tempolu ve sürekli bir “dijital zamana” uyum sağlamaları beklenmektedir. Ancak bu durum toplumda artan stres ve baskıya neden olmaktadır (Sivakumaran vd.,

¹ PhD, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Orcid: 0000-0001-8009-047X

2023:127). Aynı zamanda dijitalleşmenin insanlarda iş-yaşam dengesi ve ruh sağlığı üzerindeki etkileri endişe verici olmaktadır. Bu sebeple yaşanan dijital dönüşümü incelemek, oluşan toplumsal değişimleri anlamak için çok önemlidir (Sağlam, 2023:243). Uzaktan çalışma, sanal toplantılar ve sürekli dijital bağlantı durumları, bireylerin kişisel yaşamlarını yönetme şeklini değiştirmektedir. Bu değişiklikler nedeniyle de iş ve serbest zaman arasındaki ayrımın sürdürülmesi giderek zorlaşmaktadır. Bu sebeple dijital dünyada yaygın olan tükenmişlik ve kaygı gibi olumsuz sonuçları daha aza indirmek için farklı stratejilerin geliştirilmesi gerekmektedir (Supriyadi vd., 2025:1). Fiziksel varlığın artık etkileşim için bir gereklilik olmadığı günümüzde dijital araçların evrimi ile zaman-mekân ilişkilerinin yeniden tanımlanması da sağlanmıştır (Bondanini vd., 2025:398).

Dijitalleşme ile insanların her alanda iş birliği yapabilecekleri, sosyalleşebilecekleri ve görevlerini yerine getirebilecekleri “sanal mekân” kavramı ortaya çıkmıştır (Ferreira vd., 2021:7). Bunların yanı sıra video oyunu karakteri, dijital sanat eseri, sanal para birimi gibi sanal olguları ifade eden “sanal varlık” kavramı da kullanılmaya başlanmıştır. Bu kavramlar nedeniyle esneklik, zaman ve mekânın düzenlenmesinde zorluklar ortaya çıkmıştır (Mandal vd., 2025: 100632). Sürekli olarak ulaşılabilirlik veya yanıt verme beklentisinin oluşu zaman algısında parçalanmaya neden olmaktadır. Bu parçalanma sonucunda insanlarda da yönelim bozukluğuna ve zamansal aşırı yüklenmeye yol açabilmektedir (Sun vd., 2022:1).

DİJİTALLEŞME NEDİR? KAVRAMSAL VE TARİHSEL ÇERÇEVE

Sürekli bir değişim ve dönüşümde olan insanlık tarihi, teknolojik gelişmelerle beraber toplumsal yapıların farklılaşmasına yol açmıştır (Shonubi, 2025:100971). Özellikle Sanayi Devrimi ile başlayan ve dijital çağ olarak adlandırdığımız bu sürece kadar olan

kısım insanlığın yaşam biçimini, değerini ve sosyal ilişkisini derinden etkilemiştir. Sanayi Devrimi'nin başlattığı üretim ve yaşam şeklindeki dönüşümler, toplumsal sınıfların yeniden oluşmasına, kırsal kesimden kentlere göç gibi sosyolojik durumların ortaya çıkmasına sebebiyet vermiştir (Gauer ve Cerutti, 2025). Bu dönemde meydana gelen siyasi, ekonomik ve kültürel değişimler, modern toplumların temellerini oluşturmuştur (Tegegn, 2024:2356916).

Teknoloji ve dijitalleşme süreçleri Web 1.0, 2.0, 3.0 ile farklı yönere doğru evrilmeye devam etmektedir. Teknolojinin uygulama evrelerinden ilki Web 1.0'dir. HTML ortaya çıkmasıyla Web 1.0 sadece web sitesini yayınlayanlar ve okuyanları kapsamıştır. Siteyi ziyaret eden kişiler ile etkileşim kurulmamıştır (Hiremath ve Kenchakkanavar, 2016). Web 2.0 ile birlikte internet kullanıcılarının web sayfaları üzerinden etkileşime geçip görüşlerini ifade edebildiği sosyal platformlar ortaya çıkmıştır. Web 3.0'da ise kullanıcıya özgü sonuçlar belirli platformlar etrafında toplanarak yapılandırılmaktadır. (Demirli ve Kütük, 2010:97).

Endüstri 4.0, nesnelerin interneti gibi çeşitli teknolojik akımların ve yenilikçi ürünlerin geliştirilmesi sonucunda ortaya çıkmıştır (Xu vd., 2018:90). Teknolojinin gelişimini sürdürülebilmesi için sürekli ilerlemeyi destekleyen güçlü bir altyapının varlığının olması gerekmektedir (Schwab, 2017). Bu sebeple kurumların önceliği, teknolojik altyapılarını geliştirmek ve iş gücünün eğitimini ve mesleki gelişimini sekteye uğratmayacak şekilde desteklemektir. (Philbeck ve Davis, 2018:17).

Endüstri 5.0, toplum ve teknoloji açısından değerlendirildiğinde, insan refahı ve sürdürülebilirliği merkeze alarak sosyal dönüşümü hızlandırmaktadır. (Mourtzis vd., 2022; Aquilani vd., 2020). Kişiyeye özel üretimi ve insan ile makine arasındaki iş birliğini geliştiren bu sanayi devrimi, üretim süreçlerinde daha yüksek verimlilik ve esneklik sunmaktadır. (Paschek vd., 2019:125; Akundi vd., 2022:27). Bu doğrultuda, yapay

zekâ ve büyük veri gibi teknolojilerden yararlanılarak üretim süreçlerinde daha isabetli tahminler ve daha güçlü analizler yapılabilmektedir. (Pandey ve Sharma, 2024:1230; Akundi vd., 2022:27). Sonuç itibarıyla Endüstri 5.0, teknolojik yeniliklerin insan merkezli bir anlayışla bütünleştiği tarihsel bir dönemi ifade etmektedir.

İNSAN VE TEKNOLOJİ İLİŞKİSİ: DÖNÜŞEN YAŞAM BİÇİMLERİ

Dijital teknolojilerin hızlı gelişimiyle birlikte, internet temelli yeni medya ortamı gündelik yaşamın tüm alanlarında etkisini giderek artırmaya başlamıştır. Mobil iletişim teknolojileri, sanal ortamlardaki dijital nesnelere ve bu nesnelere farklı amaçlarla oluşturulan yeni birleşimleri ile çeşitli platformlar ve bu platformlarda yapılan paylaşımlar, bu dönemde gündelik yaşam üzerinde köklü değişimlere yol açmıştır (Topsümer vd., 2023). Yeni medya ortamında ileti aktarımı, sınırlı, basit ve doğrusal bir yapıdan ziyade karmaşık bir yapıya sahiptir. Aynı zamanda gündelik yaşam pratiklerinde önemli bir dönüşümü beraberinde getirmektedir (Agayev, 2025:761).

Dijital teknolojiler, bilgisayar temelli kültür mantığını etki ettiği tüm yapılara yansıtarak bu alanlarda dönüşüm sağlamaktadır. Bu yaklaşım, toplumların tarihsel olarak taşıdığı kültürel yapıya yeni bir modelleme anlayışı kazandırmakta ve gerçeklik ile sanatın sayısal temsili üzerinden oluşan akışkanlık sayesinde yeni bir dönüşüm ortaya koymaktadır (McClaughlin vd., 2026). Bu durum, gündelik yaşam aktivitelerinde de bir dönüşüm yaşanmasına sebebiyet vermektedir. Sosyolojik açıdan dijitalleşmenin küresel ölçekte internet altyapısı üzerinden ilerlemesi, üretim ve tüketim biçimlerini, piyasayı ve hatta güç ilişkilerini değiştirmiştir (Alsaleh, 2024:32140). İnternet üzerinden sunulabilen dijital ürünlerin kolayca yayılabilmesi ise bireylerin gündelik yaşam pratiklerindeki dönüşümü hızlandırmıştır. Özellikle üretim sürecine katılma

potansiyeli olan genç kuşaklar, mikro bloglar, Facebook, Wikipedia ve YouTube gibi sosyal medya ağlarını toplumsal yaşamın etkileşim alanları olarak görmektedirler. Bu süreç, yerel düzeyde geçmişten gelen yüz yüze ilişkileri ve toplumların kurumsal işleyiş biçimlerini dönüştürmektedir (Värzaru ve Bocean, 2024:359).

Sosyal medya ve dijital iletişim teknolojileri, insan etkileşiminin yapısal biçimini köklü bir şekilde değiştirmiştir. Bu platformlar yalnızca daha önce görülmemiş düzeyde bağlantı imkânı sunmakla kalmayıp, aynı zamanda sosyal davranışları yeniden biçimlendirmekte, öz kimliği etkilemekte ve kamusal söylemin oluşumunu yönlendirmektedir (Demirbozan ve Türkmen, 2025:81).

Facebook, Instagram ve Twitter gibi sosyal medya platformları, geleneksel sosyalleşme süreçlerinin değişmesini sağlarken bireylerin daha geniş sosyal ağlar kurmasına yardımcı olmuştur. Aynı zamanda coğrafi olarak uzak kişilerle etkileşim kurabilmesine imkân sağlamıştır. Araştırmalar, bu platformların sosyal ilişkileri güçlendirebildiğini ve özellikle kendini yalnız ya da izole hissedebilecek bireyler için önemli destek ağları oluşturabildiğini ortaya koymaktadır (Badhriya, 2024). Bununla birlikte, yüzeysel ilişkilerin artması ve çevrimiçi ortamda “mükemmel” bir kimlik oluşturma baskısı gibi zorluklar da ortaya çıkmaktadır. Bu durum yetersizlik ve kaygı duygularına neden olabilmektedir (Gazi, vd., 2024:11).

Sosyal medya ve dijital iletişim araçları, modern yaşamın vazgeçilmez bir unsuru hâline gelmiştir. İnsanların nasıl bağlantı kurduğunu, kendilerini nasıl algıladığını ve dünyayla nasıl etkileşimde bulunduğunu etkilemiştir (Gerlich, 2025:6). Bağlantıları güçlendirmesi ve kendini ifade etme ile aktivizm için alanlar sunması sayesinde birçok fayda sağlarken, ruh sağlığı üzerindeki etkileri ve kamusal söylemi yönlendirmesiyle de önemli zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu ortamda ilerlemek, dijital teknolojilerin

sunduğu fırsatları ve barındırdığı riskleri dengeli bir biçimde kavramayı zorunlu kılar (Azzaakiyyah, 2023:1).

TARIMIN TARİHSEL EVRİMİ: GELENEKSELDEN DİJİTALE

Tarımsal üretimin başladığı dönemden günümüze kadar uzanan süreçte insanlar, yabancı bitki ve hayvanların besin değerlerini keşfederek onları evcilleştirip yetiştirmeye başlamışlardır. Bu süreçte buğday, pirinç, arpa, mısır ve çavdar gibi bitkiler ile koyun, keçi, sığır ve domuz gibi hayvanlar öne çıkmıştır. Aynı zamanda bu türlerin yetiştiriciliği coğrafi bölgelere göre de değişkenlik göstermiştir (Gillis vd., 2025).

Tarım medeniyeti, insanların yalnızca beslenme biçimlerini ve yerleşik hayata geçişlerini değil, aynı zamanda sosyal ve kültürel yaşamlarını da derinden etkilemiştir. Tarımsal üretimin ortaya çıkması ile birlikte farklı meslek grupları ve sosyal sınıflar da zamanla şekillenmeye başlamıştır (Otunchieva vd., 2021: 8371). Tarım temelli gelişen ekonomi ve artan bitkisel üretim, ticari faaliyetlerin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Aynı zamanda toplumların refah düzeyinin yükselmesine ve kültürel etkileşimin güçlenmesine de katkı sağlamıştır. Ayrıca tarım medeniyeti, insanın doğal çevreyle olan etkileşiminde daha etkin bir rol üstlenmesini sağlamıştır. Ancak tarımın yaygınlaşması orman tahribatına, erozyona ve çeşitli çevresel sorunlara da yol açmıştır (Wells ve Stock, 2020:325).

Tarım sektörü, insanlık tarihinin en temel geçim kaynaklarından biri olarak ortaya çıkmıştır. Zaman içinde de önemli dönüşümler geçirmiştir. Geleneksel tarım yöntemleri insan ve hayvan gücüne dayanırken, Sanayi Devrimiyle tarımsal üretimde mekanizasyonun yaygınlaşması, verimlilik ve üretimde kayda değer şekilde artışları sağlamıştır (Ariyanto, 2026). Tarımsal üretim günümüzde ise dijitalleşmenin etkisiyle sürekli bir dönüşüm

geçirmektedir. Bu sayede Tarım 4.0'dan Tarım 5.0 sürecine doğru ilerlemektedir. Tarım 4.0, büyük veri analitiği, yapay zekâ, nesnelerin interneti (IoT) ve otomasyon sistemleri gibi ileri teknolojilerden yararlanarak tarımsal süreçleri optimize etmeye odaklanırken; Tarım 5.0, bu teknolojilere insan merkezli bir yaklaşımı geliştirerek üretimi daha sürdürülebilir, esnek ve kapsayıcı bir duruma amaçlamaktadır (Tablo 1.) (Yürüdü vd, 2010:402)

Tablo 1. Tarımda Teknolojik Dönüşüm

• Önce Geleneksel Tarım İnsan ve Hayvan İş Gücü
• Tarım 1.0 (20. yy'ın başı) Su ve Buhar Gücü Mekanizasyon
• Başlangıcı
• Tarım 2.0/Yeşil Devrim (1950) Seri Üretim, Elektrik kullanımı, Traktör Üretimi, İçsel Tarım
• Tarım 3.0/Hassas Tarım (1990) Bilgisayar ve Otomasyon Sera ve Sulama Otomasyonu
• Tarım 4.0/Dijital Tarım (2010) Bilgi ve İletişim Teknolojileri Dijital Tarım
• Tarım 5.0/Akıllı ve Sürdürülebilir Tarım (Gelecek 10 yıl): Yapay zekâ, robotik, biyoteknoloji, sürdürülebilir enerji, karbon ayak izi azaltımı.

Kaynak: (Kaya, 2019; Öztürk, 2024).

Dijital tarım uygulamaları sayesinde üreticiler; sensörler, drone'lar, uydu görüntüleme teknolojileri ve otomatik sulama sistemlerinden yararlanarak daha hassas üretim gerçekleştirebilmekte, hastalık ve zararlıları erken aşamada belirleyerek müdahale süreçlerini daha erken yapabilmektedir (Agrawal ve Arafat, 2024:664). Dünya'da ve Türkiye'de giderek benimsenen bu yenilikçi yaklaşım, tarımsal üretimde kaliteyi yükseltirken çevresel etkileri azaltmayı, karbon ayak izini düşürerek sürdürülebilir bir üretim modeli geliştirmeyi ve gelecek kuşaklara daha yaşanabilir bir ekosistem bırakmayı amaçlamaktadır. Akıllı

tarımın sunduğu dijitalleşme ve otomasyon olanakları, tarımsal üretimin hem daha kârlı hem de sürdürülebilir hâle gelmesine katkı sağlamaktadır (Khan ve Jie, 2026:3). Aynı zamanda gıda güvenliğini de güçlendirerek küresel ölçekte arzın güvence altına alınmasında da önemli bir rol üstlenmektedir. Bu çerçevede tarım sektöründe yaşanan dönüşüm, yalnızca teknolojik ilerlemeleri değil; aynı zamanda ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği kapsayan çok boyutlu bir değişimi ifade etmektedir (Bayrak ve Olu, 2025:157).

DİJİTAL TARIM (AKILLI TARIM) UYGULAMALARI

Tarımda dijitalleşmenin temelini, bilgi ve iletişim teknolojilerinin giderek daha yaygın ve erişilebilir hâle gelmesi oluşturmaktadır. Bu teknolojiler, üretim sürecine ilişkin verilerin toplanmasını, analiz edilmesini ve elde edilen bulgular doğrultusunda eyleme geçilmesini mümkün kılmaktadır (Kovács vd., 2023:26). Bu çerçevede akıllı tarım, veri temelli ve sensör destekli karar mekanizmaları sayesinde geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha yüksek düzeyde öngörülebilirlik ve kontrol imkânı sunmaktadır. (El Bilali ve Allahyari, 2018:456). Örneğin sensör teknolojileri sayesinde toprak nemi, sıcaklık ve ışık yoğunluğu gibi çevresel değişkenler anlık olarak takip edilebilmektedir. Bu veriler yapay zekâ algoritmalarıyla analiz edilerek sulama zamanlaması ve gübreleme miktarı gibi kararlar otomatik biçimde en uygun hale getirilebilmektedir (Kumar vd., 2023:4016). Hassas tarım, bu dijital dönüşümün en somut sonuçlarından biri olarak öne çıkmaktadır.

Coğrafi bilgi sistemleri ve küresel konumlandırma teknolojileriyle desteklenen hassas tarım uygulamaları, her bir üretim alanını tek tek değerlendirmektedir. Bu duruma bağlı olarak da uygun müdahale yöntemlerini ortaya koymaktadır. (Udoumoh vd. 2021:1). Bu sayede tarımsal girdiler yalnızca gerekli olan alan ve zamanda kullanılarak hem maliyetler düşürülmekte hem de çevresel etkiler en aza indirilmektedir. Benzer şekilde yapay zekâ destekli

sistemler, geçmiş yıllara ait hava durumu kayıtlarını, ürün verimlilik verilerini ve piyasa eğilimlerini birlikte değerlendirerek üreticilere stratejik planlama süreçlerinde yardımcı olmaktadır. (Dhanke vd., 2025:161).

Akıllı tarım, teknolojik yeniliklerin bir araya getirilmesiyle tarımsal süreçleri iyileştiren, verimliliği yükselten ve sürdürülebilir üretimi destekleyen bir yaklaşımdır. Tarım arazilerinin etkin bir şekilde yönetimi, kaynakların doğru kullanılması ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır (Barroso-Barroso vd., 2025:81). Bu doğrultuda uzaktan algılama ve sensör teknolojileriyle desteklenen arazi sınıflandırma, harita tabanlı gübreleme, verim analiz haritaları, akıllı sulama sistemleri, hayvancılık uygulamaları, bitki sağlığı ve hastalık kontrolü ile seracılık gibi alanlarda kayda değer ilerlemeler elde edilmiştir (Roy ve Medhekar, 2025).

Arazi Sınıflandırması

Arazi sınıflandırması, tarım alanlarının farklı bölümlerinin potansiyelini ortaya koymayı amaçlayan bir analiz süreci olup; toprak yapısı, sulama imkânları ve eğim gibi çeşitli faktörlere dayanmaktadır. Teknolojik tarım uygulamalarında bu analiz, uydu görüntüleme sistemleri, drone teknolojileri ve sensörler gibi modern araçlardan yararlanılarak daha yüksek doğrulukla gerçekleştirilebilmektedir (Nabiollahi vd., 2024:2566).

Gübreleme

Teknoloji destekli tarımda gübreleme işlemleri, harita tabanlı sistemler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu sistemler, toprakta bulunan besin elementlerinin GPS verileriyle belirlenmesini ve akıllı tarım makinelerinin GPS sinyalleri üzerinden toprak işleme faaliyetlerini yürütmesini mümkün kılar. Türkiye’de bu teknoloji,

üniversiteler, sanayi ve özel sektörün iş birliği sayesinde geliştirilmektedir. (Türker vd., 2015).

Sulama

Akıllı sulama, su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını amaçlayan ve gelişmiş teknolojilerle desteklenen bir sistemdir. Özellikle akıllı yağmurlama sistemleri sayesinde su tasarrufu sağlanmaktadır. Toprak nem sensörleri, hava durumu bilgileri ve çevresel veriler kullanılarak sulama ihtiyacı doğru şekilde belirlenmektedir. Böylece su israfı önlenirken bitkilerin ihtiyaç duyduğu su zamanında karşılanmaktadır. (Teke vd., 2016).

Hayvancılık Uygulamaları

Büyük ölçekli yapılan hayvancılık yönetiminde çevresel sensörler ve vücut sensörlerinin kullanılmasıyla beraber sıcaklık, nabız ve konum takibi gibi yöntemler sayesinde hayvanların sağlık durumları, davranışları ve yaşam koşulları daha doğru bir şekilde izlenebilmektedir. Bu teknolojiler, hastalık ve salgınların önlenmesinde, hayvanların aktivitelerinin, sağlıklarının ve refah düzeylerinin izlenmesinde önemli bir işlev görmektedir (Raza vd., 2025:986).

Bitki Sağlığı ve Hastalık Kontrolü

Bitki hastalıklarının erken teşhisi sayesinde tarımsal verimlilik artarken hastalıkların yayılımının önlenmesi de sağlanmaktadır. IoT tabanlı sensörler ve görüntü analiz algoritmaları sayesinde bitki hastalıkları, zararlı böcek hareketleri ve çevresel koşullar doğru bir biçimde izlenmektedir. Bu sensörler üreticilere karar alma süreçlerinde de destek sağlamaktadır. Bahsedilen teknolojiler, mahsul yönetiminden zararlı kontrolüne kadar geniş bir uygulama ağı sunarak sürdürülebilir tarımı teşvik etmektedir (Çaylı, 2023).

Seracılık Uygulamaları

Seracılık ve dikey tarım uygulamaları, son yıllarda dijital tarım teknolojileri sayesinde daha da yaygınlık kazanmıştır. Bu sistemlerde sera otomasyonu ile çevresel veriler esas alınarak havalandırma, sulama ve aydınlatma gibi işlemler otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Teknolojik tarım uygulamaları, iç mekân koşullarını kontrol etmek amacıyla sıcaklık, nem ve ışık gibi unsurları sensörler aracılığıyla sürekli izlemekte ve otomatik kontrol sistemleriyle en uygun üretim ortamını sağlamaktadır (Ercan vd., 2019:259).

DİJİTALLEŞMENİN TARIMA SAĞLADIĞI AVANTAJLAR

Tarımda dijitalleşmeye yönelik yaklaşımlar, çiftçiler, hükümetler ve toplumun farklı kesimleri arasında belirgin farklılıklar ortaya koymaktadır. Çiftçiler yönünden dijital tarım teknolojileri yüksek bir potansiyel sunmaktadır. Bu potansiyelin hayata geçirilmesinde çeşitli engellerle karşılaşmaktadır (Abiri vd., 2023).

Birçok çiftçi dijital platformların sağladığı faydaların varlığını kabul etmektedir. Ancak teknolojilerin karmaşık yapısı ve erişim güçlükleri nedeniyle bazı kaygılar yaşamaktadır. (Bolfé vd., 2020:653; Gwaka, 2022:1).

Türkiye’de tarım sektöründeki dijitalleşme, çeşitli yenilikçi uygulamalarla daha fazla ön planda olmaktadır (Demiryürek vd., 2021). Dijital tarıma örnek oluşturan bu uygulamalar, ülkede tarımsal faaliyetlerde verimliliği artırmaya ve sürdürülebilirliği desteklemeye yönelik farklı teknolojilerden meydana gelmektedir (Koçyiğit vd., 2022:35). Uydu görüntüleme sistemleri tarım arazilerinin ayrıntılı biçimde analiz edilmesini sağlarken (Akıllı vd., 2019:521; Teke vd., 2016), dijital tarım uygulamalarının kullanıldığı örnek köy projeleri de bu dönüşümün somut göstergeleri arasında yer almaktadır (Karlı vd., 2024:541).

Dijitalleşme, tarımsal üretim sürecini izlenebilir hâle getirerek tüketici güvenini artırmaktadır. Tüketiciler de satın aldıkları ürünlerin kaynağı ve üretim aşamaları hakkında daha ayrıntılı bilgi edinebilmektedir (Lukacs vd., 2025:21). Bu durum, gıda güvenliğine yönelik kaygıları azaltırken pazarda şeffaflığı da güçlendirmektedir. Entegre sistemler aracılığıyla çiftçiler süreçlerini daha etkin yönetebilmekte ve ürün kalitesini yükseltebilmektedir. Tarımsal faaliyetlerin izlenebilir olması ise pazarda rekabet üstünlüğü sağlarken ihracat potansiyelini de artırmaktadır (Tablo 2.) (Rossi vd., 2025).

Tablo 2. Geleneksel Tarım ve Dijital Tarım Arasındaki Farklar

Özellik	Geleneksel Tarım	Dijital Tarım
İş Gücü İhtiyacı	Yoğun iş gücü gerektirir.	Geliştirilen robotik cihazlar ve drone teknolojisi sayesinde daha az iş gücü ile yapılabilir.
Üretim Süreci ve Verim	Ürün elde etme süreci daha uzundur ve bunun sonucu olarak üretim miktarı düşüktür.	Daha kısa sürede ürün yetiştirilebilmektedir. Buna bağlı olarak üretim oranı yüksektir.
Hastalık ve Zararlılar	Bitki hastalık ve zararlıları çoğu zaman geç dönemde fark edilebilmektedir.	Bitki hastalıkları daha erken tespit edilebilmektedir.
Tahmin ve Analiz	Arazi durumu, ürün ve verim hakkında tahmin yürütülmektedir.	Büyük oranda hassasiyet ve doğrulukla sonuca ulaşılabilmektedir.
Girdi Kullanımı ve Verimlilik	Aşırı girdi kullanımı ve düşük verimlilik.	Modern tarımda girdiler daha düşüktür.

Üretim Süresi ve Bilimsellik	Bu teknikler çok zaman alır ve üretim azdır.	Zamandan tasarruf sağlanır ve bilime dayalı üretim yapılır.
Uygulama Tarihi	Geleneksel tarım uygulamaları, geçmişi çok eskilere dayanan ve artık uygulanmayan uygulamalardır.	Modern tarım tamamen sermaye yoğunluğuna dayalıdır.
Sulama Bağımlılığı	Çiftçiler, sulama için tüp kuyulara erişebildikleri için muson yağmurlarına bağımlı değillerdir.	Akıllı sulama sistemleri ile su tasarrufu sağlanır.
Gübre Kullanımı	Gübre olarak inek gübresi ve diğer doğal gübre türleri kullanılır.	Pestisitler ve kimyasal gübreler kullanılmaktadır.
Tohum Kullanımı	Kullanılan geleneksel tohumlar vardır.	Modern tarımda genetik olarak geliştirilmiş tohumlar tercih edilebilir.

Kaynak: (Çilesiz ve Karaköy, 2022).

Sonuç olarak tarımda dijitalleşme, çiftçilerin faaliyetlerini daha kârlı bir yapıya dönüştürürken aynı zamanda çevresel açıdan da önemli kazanımlar sağlamaktadır. Veriye dayalı karar alma süreçleri, tarımsal üretimde verimliliğin artmasına ve sürdürülebilirliğin güçlenmesine katkı sağlamaktadır (Barkı ve Rachmah, 2024:259).

İNSANIN GELECEĞİ: DİJİTALLEŞME İLE BİRLİKTE YENİ ROLÜ

Dijital teknolojiler, daha az emek kullanarak daha fazla mal ve hizmet üretimini mümkün kılmaktadır. Bu nedenle bazı

çalışanları işsizlik ya da daha düşük ücret riskiyle karşı karşıya bırakabilmektedir. Bu sayede dijital teknolojiler işgücü piyasasına entegre olarak iş organizasyonlarında değişikliklere olanak tanır. Aynı zamanda iş kalitesi ile beceri gelişiminin ilerlemesine katkı sağlar. (OECD, 2016).

Teknolojik süreçte özellikle otomotiv, elektronik ürün üretimi ve metal sanayi alanlarında endüstriyel robotların kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. 1970 yılında dünya genelinde yaklaşık 1.000 adet endüstriyel robot bulunurken, bu sayı 2016 yılında 1,8 milyona ulaşmıştır. (Bastani, 2019). 2016 yılında, elektronik üretim sektöründe büyük bir işgücü kapasitesine sahip olan ve zor çalışma koşullarıyla bilinen Çinli firma Foxconn'da yaklaşık 60 bin işçinin yerini robotlar almıştır. (Estlund, 2018:254).

Otomasyonun sadece düşük nitelikli işlerde yaygınlaşacağı düşüncesi doğru değildir. Örneğin tıp alanında, cerrahiden tanı süreçlerine ve çeşitli tetkiklere kadar uzanan geniş bir alanda otomasyonun etkileri gözlemlenmektedir (Sharma, 2024:32). Radyoloji alanındaki yapay zekâ uygulamaları, yapay sinir ağları ve yeni vakaların taranmasıyla elde edilen derin öğrenme sayesinde, uzmanlara kıyasla çok daha hızlı teşhis koyabilmektedir. Da Vinci Surgical System robotik kolları, prostat ve tiroid kanseri başta olmak üzere birçok hastalığın tedavisinde milyonlarca başarılı ameliyatın gerçekleştirilmesinde kullanılmıştır. (Koh vd., 2018:975).

Tüm bu gelişmelere ek olarak, atık ayrıştırmadan gazeteciliğe, saat tamirciliğinden yazılım mühendisliğine kadar birçok meslek farklı biçimlerde otomasyonun etkisi altında kalmaktadır. Başka bir ifadeyle, sektör farkı gözetmeksizin insanlar tarafından yapılan işlerin önemli bir bölümü otomasyona uygun hale gelme potansiyeli taşımaktadır (Almusharraf, 2025:1754). 2013 yılında yayımlanan bir rapora göre, ABD işgücü piyasasındaki mesleklerin yaklaşık %47'sinin yakın gelecekte otomasyona tabi olmasının beklendiği belirtilmektedir. (Frey ve Osborne, 2013:254).

Buhar gücü, elektrik ve haberleşme teknolojilerine dayanan önceki sanayi devrimleri, üretim ve dağıtım süreçlerinin düzenlenmesi için yöneticilerden oluşan bir sınıfa ihtiyaç duymuştur. Bu ihtiyaç ise orta sınıfın oluşumunun temelini meydana getirmiştir. Sonuçta tüm bu teknoloji sayesinde akıllı algoritmalar, yapay zekâ ve robotlar Dünya'daki birçok işi de üstlenebilir hale gelmektedir (Johanessen, 2019).

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bilim ve teknoloji üretiminin temelinde merak ve öğrenme isteği daha görünür olsa da, daha derin bir düzeyde insanın da diğer biyolojik türler gibi varlığını sürdürme gerekliliği bulunmaktadır. Bu gerçeklik, insanın düşünme ve tasarlama yeteneğiyle birleştiğinde, birey yaşam alanında meydana gelen olayları anlamlandırma ve insan türü için sorun oluşturan durumlara çözüm üretme eğilimine yönelmektedir. Bu eğilimin doğal bir sonucu olarak, bilimsel bilgiye ve uygulamaya dayanan teknoloji ortaya çıkmaktadır.

En erken dönemlerde insan, beslenme ve korunma gibi temel ihtiyaçlarını taş ve kemikten ürettiği, günümüz açısından basit görünse de o dönem için yenilikçi sayılabilecek araçlarla karşılamaya çalışmıştır. Zamanla değişen ve giderek zorlaşan koşulları aşmak için yine bilim ve teknolojiden yararlanmış, her defasında daha gelişmiş araçlar ve süreçler tasarlamıştır. Son yıllarda sıkça gündeme gelen yeşil enerji ve yeşil teknoloji, topraksız ve organik tarım, bitki türlerinin ıslahı ile GDO çalışmaları, tohum, yumurta, gen ve sperm bankalarının oluşturulması, yerleşim alanlarında yeşil dönüşüm uygulamaları ve geri dönüşüme dayalı üretim süreçleri bu eğilimin örneklerindedir. Bunun yanında klonlama, İnsan Genom Projesi, yapay doku ve organ üretimi, kök hücre çalışmaları, yapay zekâ teknolojileri, dijital yönetim sistemleri ve uzayda yaşanabilir alanların geliştirilmesine yönelik araştırmalar da bilim ve teknolojinin bu yönelimin önemli yansımaları arasında yer almaktadır.

İnsan, teknoloji ve toprak arasındaki ilişki, yalnızca günümüz üretim modellerini değil, aynı zamanda gelecekteki yaşam biçimlerini de şekillendiren temel bir etkileşim alanıdır. Teknolojik ilerlemelerin hızlandığı bu dönemde, insanın doğayla kurduğu bağı zayıflatmadan aksine güçlendirerek sürdürmesi önemli bir zorunluluk hâline gelmiştir. Tarım dâhil üretim süreçlerinde dijitalleşmenin sağladığı verimlilik artışı, kaynakların daha etkin kullanımını mümkün kılarken; bu dönüşümün sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu şekilde yürütülmesi gerekmektedir.

Toprak, yalnızca bir üretim aracı değil; ekosistemin sürekliliğini sağlayan, biyolojik çeşitliliği içinde barındıran ve insan yaşamının temelini oluşturan stratejik bir unsurdur. Bu nedenle teknolojik uygulamaların, toprağın doğal yapısını koruyacak ve uzun vadede üretkenliğini artıracak biçimde geliştirilmesi gerekmektedir. Aksi halde kısa vadeli kazançlar uğruna doğal kaynakların tüketilmesi, geri dönüşü zor çevresel problemlere neden olabilmektedir.

İnsanın bu süreçteki rolü yalnızca bir kullanıcı ya da üretici olmakla sınırlı kalmamaktadır. Aynı zamanda etik kararlar alan, sürdürülebilirliği gözeten ve teknoloji ile doğa arasında denge kuran bir aktör olma sorumluluğunu da üstlenmektedir. Eğitim, farkındalık oluşturma ve politika geliştirme süreçleri, bu dengenin kurulmasında belirleyici unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak insan, teknoloji ve toprağın ortak geleceği; bu üç unsurun uyum içinde işleyebildiği, sürdürülebilir ve dengeli bir sistemin oluşturulmasına bağlıdır. Bu bağlamda atılacak her adımın uzun vadeli sonuçları dikkate alınarak planlanması, yalnızca bugünün değil, gelecek nesillerin yaşam kalitesini de doğrudan etkileyecektir. Teknolojinin sunduğu imkânlar, doğayla uyumlu biçimde kullanıldığında, insanlık için hem ekonomik hem de ekolojik açıdan daha güçlü bir gelecek inşa etmek mümkün hâle gelecektir.

KAYNAKÇA

Abiri, R., Rizan, H., Balasundram, S. K., Shahbazi, A. B., Abdul-Hamid, H. (2023). Application of Digital Technologies for Ensuring Agricultural Productivity. *Heliyon*, e22601.

Agayev, T. (2025). Digital Modernity and Social Integration: The Impact of New Media on Social Structure. *Akademik Tarih ve Düşünce Dergisi*, 12, 3, 761-781.

Agrawal, J. ve Arafat, M. Y. (2024). Transforming Farming: A Review of AI-Powered UAV Technologies in Precision Agriculture. *Drones*, 8, 664.

Akıllı, H., Çığ, F. ve Pakyürek, M. (2019). *Hassas Tarım Uygulamalarına Bir Örnek: Mısır Yetiştiriciliği*. Anadolu I. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 26-28 Nisan, 2019, Diyarbakır, UBAK Uluslararası Bilimler Akademisi Uygulamalı Bilimler Tam Metin Kitabı, 521-542.

Akundi, A., Euresti, D., Luna, S., Ankobiah, W., Lopes, A., Edinbarough, I. (2022). State of Industry 5.0—Analysis and Identification of Current Research Trends. *Applied System Innovation*, 5, 1, 27.

Almusharraf, A. I. (2025). Automation and Its Influence on Sustainable Development: Economic, Social, and Environmental Dimensions. *Sustainability*, 17, 1754.

Alsaleh, A. (2024). The Impact of Technological Advancement on Culture and Society. *Scientific Reports*, 14, 32140.

Ariyanto, K. (2026). Agricultural Mechanization and Rural Livelihoods: A Systematic Literature Review and Bibliometric Analysis with Global Evidence and Indonesian Case Insights. *NexusSDGs*, 2, e2026005.

Aquilani, B., Piccarozzi, M., Abbate, T. ve Codini, A. (2020). The Role of Open Innovation and Value Co-creation in the Challenging Transition from Industry 4.0 to Society 5.0: Toward a Theoretical Framework. *Sustainability*, 12, 21, 8943.

Azzaakiyyah, H. K. (2023). The Impact of Social Media Use on Social Interaction in Contemporary Society. *Technology and Society Perspectives (TACIT)*, 1, 1, 1-9.

Badhriya, M. (2024). Impact of Social Media on Modern Communication and Interpersonal Relationship. *International Journal of Engineering Technology Research & Manage*, 8, 4, ISSN: 2456-9348.

Barkı, K. ve Rachmah, M. A. (2024). Systematic Literature Review: Agricultural Digitalization, Technological Transformation Towards Efficient and Sustainable Agriculture. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg*, 61, 2, 259-271.

Barroso-Barroso, C., Vega-Muñoz, A., Maradiaga-López, J., Salazar-Sepúlveda, G., Carabantes-Silva, R. (2025). Smart Farming and the SDGs: Emerging Research Patterns and Sustainability Implications. *Agriculture*, 16, 81.

Bastani, A. (2019). *Fully Automated Luxury Communism*. London: Verso.

Bayrak, T. ve Olu, M. (2025). Applications of Artificial Intelligence in Smart Agriculture: Plant Health, Drone Technology, and Digital Communication. *Journal of Agricultural Production*, 6, 3, 157-166.

Bolfe, É. L., Jorge, L. A. D. C., Sanches, I. D., Júnior, A. L., Costa, C. C. D., Victoria, D. D. C., Inamasu, R. Y., Grego, C. R., Ferreira, V. R., Ramírez, A. R. (2020). Precision and Digital Agriculture: Adoption of Technologies and Perception of Brazilian Farmers. *Agriculture*, 10, 12, 653.

Bondanini, G., Sanchez-Gomez, M., Mucci, N., Giorgi, G. (2025). Digital Connectivity at Work: Balancing Benefits and Risks for Engagement, Technostress, and Performance. *Administrative Sciences*, 15, 10, 398.

Caruso, L. (2018). Digital Innovation and The Fourth Industrial Revolution: Epochal Social Changes?. *AI & Society*, 33, 3, 379-392.

Çaylı, A. (2023). *Akıllı Tarım Teknolojileri ve Uygulamaları*. Akademisyen Yayınevi.

Çilesiz, Y. ve Karaköy, T. (2022). *Akıllı Tarım Teknolojilerinin Tarımsal Üretimde Kullanımı*. İksad Yayınevi.

Demirbozan, C. K. ve Türkmen, A. (2025). The Impact of Social Media Use on Design Offices. *TOJDAC*, 15, 1, 81-92.

Demirli, C. ve Kütük, F. Ö.(2010). Anlamsal Web (Web 3.0) ve Ontolojilerine Genel Bir Bakış. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9, 18, 97-108.

Demiryürek, K., Köksal, Ö. ve Kawamorita, H. (2021). *Acceleration of Digital Transformation in Agriculture Sector for Ensuring Sustainable Food Security*. Ankara, COMCEC ve MAF, 93.

Dhanke, J. A., Srivastava, D., Menaga, D., Raj, R., Kumar, K. V., Jangir, P., Mani, P. (2025). Climate-Based AI-Powered Precision Irrigation: Sustainably Smart Agriculture Frameworks for Maximum Crop Yields. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, 8, 1, 161-172.

El Bilali, H. ve Allahyari, M. S. (2018). Transition Towards Sustainability in Agriculture and Food Systems: Role of Information and Communication Technologies. *Information Processing in Agriculture*, 5, 4, 456-464.

Elia, G., Solazzo, G., Lerro, A., Pigni, F., Tucci, C. L. (2024). The Digital Transformation Canvas: A Conceptual Framework for

Leading The Digital Transformation Process. *Business Horizons*, 67, 381-398.

Ercan, Ş., Öztep, R., Güler, D., Saner, G. (2019), Tarım 4.0 ve Türkiye'de Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 25, 2, 259-265.

Estlund, C. (2018). What Should We Do After Work: Automation and Employment. *The Yale Law Journal*, 128, 2, 254-326.

Ferreira, R., Pereira, R., Bianchi, I. S., Silva, M. M. (2021). Decision Factors for RemoteWork Adoption: Advantages, Disadvantages, Driving Forces and Challenges. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7, 70.

Frey, C. B. ve Osborne, M. A. (2013). The Future Of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation?. *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 254-280.

Gauer, J. I. S. ve Cerutti, E. (2025). *From The Industrial Revolution to The Digital Age: Contributions of Life Projects from Integrative and Transversal Perspectives*. <https://doi.org/10.56238/sevned2025.036-081>.

Gazi, A. I., Rahaman, A., Rabbi, F., Masum, M., Nabi, N., Rahman, A., Senathirajah, S. (2024). The Role of Social Media in Enhancing Communication among Individuals: Prospects and Problems. *Environment and Social Psychology*, 9, 11.

Gerlich, M. (2025). AI Tools in Society: Impacts on Cognitive Offloading and the Future of Critical Thinking. *Societies*, 15, 6.

Gillis, R. E., Corso, M. D., Oliveira, H. R., Spengler, R. N. (2025). Unravelling Domestication: Introduction to The Theme Issue. *The Royal Society Publishing*, 380, 20240187.

Gülay, B. (2025). Transformation of Communication and Management Strategies of Corporations in Digital Age. *Intermedia International e-Journal*, 12, 22, 2149-3669.

Gwaka, L.T. (2022). Computer Supported Livestock Systems: The Potential of Digital Platforms to Revitalize a Livestock System in Rural Zimbabwe. *Proc. ACM Human-Computer Interact*, 6, 1–28.

Hiremath, B. K. ve Kenchakkanavar, A. Y. (2016). An Alteration of the Web 1.0, Web 2.0 and Web 3.0: A Comparative Study. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 2, 4, ISSN:2454-1362.

Jiao, H., Wang, T., Libaers, D., Yang, J., Hu, L. (2025). The Relationship between Digital Technologies and Innovation: A Review, Critique and Research Agenda. *Journal of Innovation & Knowledge*, 10, 100638.

Johannessen, J. A. (2019). *Automation, Capitalism and the End of the Middle Class*. London: Taylor ve Francis.

Karlı, R. G. Ö., Özüdüru, B. ve Çelikyay, H. S. (2024). Kırsal Alan Planlamasında BİT Destekli Uygulamalar: Vodafone Akıllı Köy Modeli. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 60, 4, 541-559.

Kaya, M. (2019). Ağrı'nın Kalkınması için Akıllı Tarım (Tarım 4.0) Önerisi. *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, 75, 130-156.

Khan, N. ve Jie, W. (2026). Exploring Climate Smart Agriculture in Turkey: Enhancing Food Security and Sustainable Practices for The Reduction of CO₂ Emissions. *PLoS One*, 21, 3, e0344924.

Koçyiğit, A.Y., Amiri, H. ve Demiryürek, K. (2022). Digitalization of Green Entrepreneurship in Agriculture. *Entrepreneurship and Small Business: What It Is and What It Isn't*. *Global Education Center: London*, 35-43.

Koh, D. H., Jang, W. S., Park, J. W., Ham, W. S., Han, W. K., Rha, K. H. ve Choi, Y. D. (2018). Efficacy and Safety of Robotic Procedures Performed Using The Da Vinci Robotic Surgical System At A Single Institute in Korea: Experience With 10000 Cases. *Yonsei Medical Journal*, 59, 8, 975–981.

Kovács, T., Botos, S. ve Felföldi, J. (2023). What Does Digital Transformation Do in Agriculture? A Systematic Literature Review of Agri-Food Sector's Digitalisation. *Journal of Agricultural Informatics*, 14, 2, 26-42.

Kumar, J., Chawla, R., Katiyar, D., Chouriya, A., Nath, D., Sahoo, S., Singh, B. (2023). Optimizing Irrigation and Nutrient Management in Agriculture Through Artificial Intelligence Implementation. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13, 10, 4016-4022.

Lister, M. ve Dovey, J. (2009). *New Media: A Critical Introduction*. London: Routledge Mayfield, A. (2010). What is Social Media.

http://www.icrossing.co.uk/fileadmin/uploads/eBooks/What_is_Social_Media_iCrossing_ebook.pdf.

Lukacs, M., Toth, F., Horvath, R., Solymos, G., Alpár, B., Varga, P., Kertesz, I., Gillay, Z., Baranyai, L., Felfoldi, J., Nguyen, Q. D., Kovacs, Z., Friedrich, L. (2025). Advanced Digital Solutions for Food Traceability: Enhancing Origin, Quality, and Safety Through NIRS, RFID, Blockchain and IoT. *J. Sens. Actuator Netw.*, 14, 21.

Mandal, S., Dubey, R. K., Basu, B., Tiwari, A. (2025). Exploring The Orientation Towards Metaverse Gaming: Contingent Effects of VR Tools Usability, Perceived Behavioural Control, Subjective Norms and Age. *Journal of Innovation & Knowledge*, 10, 100632.

McCloughlin, E., McGarry, G., Chamberlain, A., Wilde, G. D., Butler, O. (2026). Digital hybridity and relics in cultural heritage: using corpus linguistics to inform design in emerging technologies

from AI to VR. *International Journal of Digital Humanities*, <https://doi.org/10.1007/s42803-026-00120-4>.

Mokyr, J., ve Strotz, R. H. (1998). *The second industrial revolution, 1870-1914*. Storia Dell'economia Mondiale, 21945.

Mourtzis, D., Angelopoulos, J. ve Panopoulos, N. (2022). A Literature Review of The Challenges and Opportunities of The Transition From Industry 4.0 to Society 5.0. *Energies*, 15, 17, 6276.

Nabiollahi, K., Kebonye, N. M., Molani, F., Tahari-Mehrjardi, M. H., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Shokati, H., Scholten, T. (2024). Assessment of Land Suitability Potential Using Ensemble Approaches of Advanced Multi-Criteria Decision Models and Machine Learning for Wheat Cultivation. *Remote Sens.*, 16, 2566.

OECD (2016). New Markets and New Jobs in the Digital Economy. <https://www.oecd.org/digital/ministerial/meeting/New-Markets-and-New-Jobs-discussion-paper.pdf>.

Otunchieva, A., Borbodoev, J. ve Ploeger, A. (2021). The Transformation of Food Culture on the Case of Kyrgyz Nomads—A Historical Overview. *Sustainability*, 13, 8371.

Öztürk, H. H. (2024), *Sürdürülebilir Tarımsal Üretim*. Akademisyen Kitabevi.

Pandey, T. R. ve Sharma, H. (2024). The Development of Manufacturing Industry Revolutions from 1.0 To 5.0. *Journal of Informatics Education and Research*, 4, 1, 1230-1242.

Paschek, D., Mocan, A. ve Draghici, A. (2019). *Industry 5.0 – The Expected Impact of Next Industrial Revolution*. Proceedings of the 34th International Business Information Management Association Conference (IBIMA), 125-132.

Philbeck, T. ve Davis, N. (2018). The Fourth Industrial Revolution. *Journal of International Affairs*, 72, 1, 17-22.

Raza, M. M., Tehseen, R., Omer, U., Qasim, M., Usman, A., Saeed, R., Khan, M. F. (2025). Role of Machine Learning in Livestock Health Monitoring System: A Systematic Literature Review. *IJIST*, 7, 2, 986-1005.

Rossi, S., Gemma, S., Borghini, F., Perini, M., Butini, S., Carullo, G., Campiani, G. (2025). Agri-Food Traceability Today: Advancing Innovation Towards Efficiency, Sustainability, Ethical Sourcing and Safety In Food Supply Chains. *Trends in Food Science & Technology*, 163, 105154.

Roy, M. ve Medhekar, A. (2025). Transforming Smart Farming for Sustainability Through Agri-Tech Innovations: Insights from The Australian Agricultural Landscape. *Farming System*, 3, 100165.

Sağlam, M. (2023). *Türkiye’de Eğitim ve Toplumsal Değişim Eğitim Sosyolojisi İçinde*. Ankara, Vizetek, 243-266.

Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. Redfern. Currency Press.

Sharma, M. (2024). The Impact of AI on Healthcare Jobs: Will Automation Replace Doctors. *American Journal of Data Mining and Knowledge Discovery*, 9, 2, 32-35.

Shonubi, O. A. (2025). Innovation Challenges of Digital Transformation: Transitioning Legacy to The Future. *Sustainable Futures*, 10, 100971.

Sivakumaran, S.K.M., Ramkumar, D. ve Babu, S. D. (2023). Work Stress Management in The Digital Era. South India. *Journal of Social Sciences*, 21, 18.

Sun, J., Gan, W., Chao, H. C., Yu, P. (2022). Metaverse: Survey, Applications, Security, and Opportunities. *ACM Comput. Surv.*, 1, 1.

Supriyadi, T., Sulistiasih, S., Rahmi, K. H., Pramono, B., Fahrudin, A. (2025). The Impact of Digital Fatigue on Employee Productivity

and Well-Being: A Scoping Literature Review. *Environment and Social Psychology*, 10, 2.

Tegegn, D. (2024). The Role of Science and Technology in Reconstructing Human Social History: Effect Of Technology Change On Society. *Cogent Social Sciences*, 10, 1, 2356916.

Teke, M., Devenci, H. S., Öztoprak, F., Efendioğlu, M., Küpçü, R., Demirkesen, C., Demirpolat, C. (2016). *Akıllı Tarım Fizibilite Projesi: Hassas Tarım Uygulamaları için Havadan ve Yerden Veri Toplanması, İşlenmesi ve Analizi*. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2016), 5-7 Ekim 2016, Adana.

Türker, U., Akdemir, B., Topakcı, M., Tekin, B., Ünal, İ., Aydın, A., Evrenosoğlu, M. (2015). *Hassas Tarım Teknolojilerindeki Gelişmeler*; Türkiye Ziraat Mühendisliği VIII. Teknik Kongresi.

Topsümer, F., Durmuş, Y. ve Yılmaz, B. A. (2023). *Media and Communication in the Digital Age: Changes and Dynamics*. Özgür Yayınları, DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub234>.

Udoumoh, U. I., Ikrang, E. G. ve Ehiomogue, P. O. (2021). Precision Farming and Fertilizer Recommendation Using Geographic Information System (GIS): A Review. *International Journal of Agriculture and Earth Science*, 7, 2, 1-8.

Xu, M., David, J. M. ve Kim, S. H. (2018). The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges. *International Journal of Financial Research*, 9, 2, 90-95.

Wells, J. C. K. ve Stooock, J. T. (2020). Life History Transitions at the Origins of Agriculture: A Model for Understanding How Niche Construction Impacts Human Growth. *Demography and Health. Front. Endocrinol.*, 11, 325.

Värzaru, A. A. ve Bocean, C. G. (2024). Digital Transformation and Innovation: The Influence of Digital Technologies on Turnover from Innovation Activities and Types of Innovation. *Systems*, 12, 359.

Yücel, G. ve Adiloğlu, B. (2019). Dijitalleşme-Yapay Zeka ve Muhasebe Beklentiler. *Muhasebe ve Finans Tarihi Araştırmaları Dergisi*, 17, 47-60.

Yürüdü, E., Kara, H. ve Arıbaş, K. (2010), Türkiye'nin Organik (Ekolojik) Tarım Coğrafyası. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 9, 32, 402-424.

