

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZER TARIM UYGULAMALARI
PLATFORMLARININ AERO-HİDRODİNAMİK
DAVRANIŞININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Doğan TUPTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı

Danışman
Doç. Dr. Ahmet YURTSEVEN

Temmuz, 2025

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZER TARIM UYGULAMALARI PLATFORMLARININ
AERO-HİDRODİNAMİK DAVRANIŞININ SAYISAL
OLARAK İNCELENMESİ

Doğan TUPTAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 23.07.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ahmet YURTSEVEN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ahmet YURTSEVEN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Taner COŞGUN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Haydar KEPEKÇİ, Üye
İstanbul Gelişim Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Ahmet YURTSEVEN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Yüzer Tarım Uygulamaları Platformlarının Aero-Hidro dinamik Davranışlarının Sayısal Olarak İncelenmesi” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Doğ an TUPTAŞ

İmza



*Aileme
ve
eşime*

TEŐEKKÜR

Lisansüstü çalışmalarımın ilerlemedesinde desteğini, bilgisini ve yardımlarını benden esirgemeyen, beni yönlendiren, saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Ahmet YURTSEVEN'e beni yüksek lisans çalışmasına yönlendiren ve bu süreçte her zaman yanımda gücünü hissettiğim sevgili eşim Canan TUPTAŞ' a ve canım oğluma, bugüne kadar maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen, hep arkamda duran sevgili aileme, ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doğan TUPTAŞ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.1.1 Gıda Güvenliği	2
1.1.2 Dikey Tarım	3
1.1.3 Enerji ve Sulama	6
1.2 Tezin Amacı	7
1.3 Hipotez	7
1.4 Yüzer Tarım Platformu	8
2 YÖNTEM	12
2.1 Yönetici Denklemler	12
2.1.1 Momentum Korunumu Denklemleri (Navier-Stokes Denklemleri)	13
2.2 SAYISAL MODELLEME	14
2.2.1 Çözüm Hacmi	14
2.2.2 Çözüm Ağı	15
2.2.3 Duyarlılık Analizi (GCI: Grid Convergence Index)	17
2.2.4 Sınır Şartları	18
2.2.5 Analiz Uygulama Senaryoları	19
3 ANALİZ SONUÇLARI	21
4 SONUÇ	29

KAYNAKÇA

31

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

36



SİMGE LİSTESİ

$^{\circ}\text{C}$	Santigrat Derece
k	Türbülans kinetik enerjisi
Kg	Kilogram
L	Litre
m^2	Metrekare
MW	Megawatt
p	Basınc
P_k	Üretim terimi, yani türbülans kinetik enerjisinin hız gradyanları tarafından üretimi
\bar{u}	Hız vektörü
W	Watt
μ	Moleküler viskozite
μ_t	Türbülans viskozitesi
ρ	Yoğunluk
$\rho\mathcal{E}$	Türbülans kinetik enerjisinin dağılımı
ρg_i	Ağırlık kuvveti bileşeni
$(\nabla\bar{u})^T$	Hız gradyan tensörünün transpozu

σ_k k için türbülans prandl sayısı



KISALTMA LİSTESİ

- CFD Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
DWC Derin su kültürü
FSPV Yüzer güneş enerjisi sistemleri
GCI Grid Convergence Index
MW Megawatt
NFT Besin filmi tekniği
PV Fotovoltaik
VOF Akışkan Hacmi Yöntemi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 a Derin su kültürü.....	5
Şekil 1.1 b Fıtil sistemi.....	5
Şekil 1.1 c Gel-git sistemi.....	5
Şekil 1.1 d Damlama sistemi.....	5
Şekil 1.1 e Besin filmi tekniği.....	5
Şekil 1.2 Platform bom.....	9
Şekil 2.1 Sınır yüzeyleri ve çözüm hacminin boyutları.....	15
Şekil 2.2 Çözüm ağı yapısı 2 ve 3 boyutlu düzlem.....	16
Şekil 3.1 Serbest yüzey deformasyonu görünümü.....	21
Şekil 3.2 Orta kesit üzerindeki hız dağılımı.....	22
Şekil 3.3 Platform etrafındaki akım hatları.....	22
Şekil 3.4 P1x1 için sürüklenme kuvvetleri ve kaldırma kuvvet sayıları.....	24
Şekil 3.5 P2x1 için sürüklenme kuvvetleri ve kaldırma kuvvet sayıları.....	24
Şekil 3.6 P2x2 için sürüklenme kuvvetleri ve kaldırma kuvvet sayıları.....	25
Şekil 3.7 P3x2 için sürüklenme kuvvetleri ve kaldırma kuvvet sayıları.....	26
Şekil 3.8 P3x3 için sürüklenme kuvvetleri ve kaldırma kuvvet sayıları.....	27
Şekil 3.9 P3x3 için sürüklenme kuvvetlerine bağlı ısı haritaları.....	28

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Platform Bileşen Listesi.....	10
Tablo 2.1 Farklı çözüm ağı eleman sayısı ve sonuçları.....	18
Tablo 2.2 Analiz uygulama sonuçları.....	19



YÜZER TARIM UYGULAMALARI PLATFORMLARININ AERO-HİDRODİNAMİK DAVRANIŞININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Doğan TUPTAŞ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ahmet YURTSEVEN

Dünya genelinde iklim değişikliği, doğal afetler, hızla artan nüfus, tarım arazilerinin azalması ve sulama suyu kaynaklarının tükenmesi, dünya genelinde tarımsal üretimin giderek daralmasına yol açmaktadır. Gıda güvenliğinin sağlanabilmesi, daha üretken, verimli ve iklim değişikliğine dayanıklı tarım sistemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle tarım ürünlerinin üretim yerlerinden tüketim noktalarına ulaştırılması sürecinde yaşanan yüksek fire oranları, hem ekonomik olarak zorlu bir sürecin yönetilmesine neden olmakta hem de dünya genelinde tarım ürünleri fiyatlarında enflasyonist baskılar oluşturmaktadır. Bu sorunların çözümünde, yeni tarım teknolojilerinin benimsenmesi ile birlikte özellikle yerinde üretim uygulamaları ve su kaynaklarının etkin kullanımı ön plana çıkmaktadır. Son yıllarda geliştirilen su kültürü temelli tarım uygulamaları, sınırlı alanlarda dikey tarıma olanak tanıyarak daha kontrollü ve verimli sulama ile besleme imkânı sunmaktadır.

Tarımda en temel girdilerden biri de enerjidir. Özellikle sulama suyunun kaynaktan tarım alanlarına ulaştırılması, vahşi sulama yerine akıllı sulama sistemlerine geçilmesi enerji ihtiyacını da azaltmaktadır. Son yıllarda, sulama suyunun

bulunduğu kaynaklara yakın alanlarda tarım yapılması fikri, su ve enerji tasarrufu sağlamak açısından dikkat çeken bir çözüml olarak öne çıkmaktadır. Sulama ihtiyacını karşılamak amacıyla, genellikle akarsular üzerine sulama barajları inşa edilmektedir.

Bu çalışmada, sulama barajları üzerine yerleştirilecek yüzer tarım platformları ile hem sulama için gereken enerji maliyetlerinin azaltılması hem de sınırlı alanlarda yüksek verim elde edilmesi amacıyla yenilikçi bir ada yapısı tasarlanmıştır. Bu tasarımların doğal şartlara göre üzerine gelen rüzgar yükleri hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleri ile incelenmiştir. Ada yapısına gelen farklı rüzgar hızlarının, hakim rüzgar yönlerine göre yerleşim kararlarının etkilendiği, farklı yerleşimlere göre yapının üzerindeki kuvvetlerin doğru tespit edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Ayrıca rüzgar kaynaklı girdapların yapı üzerinde zamana bağlı değişken yükler oluşturduğu görülmüştür. Ana yüklere göre yapının karaya tutturulması için gerekli olan tutturma ekipmanlarının kapasiteleri de dikkat edilmesi gereken bir husus olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yüzer tarım, suda tarım, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, CFD

ABSTRACT

NUMERICAL INVESTIGATION OF AERO- HYDRODYNAMIC BEHAVIOR OF FLOATING AGRICULTURAL APPLICATIONS PLATFORMS

Doğan TUPTAŞ

Department of Naval Architecture and Maritime Engineering

Master of Science

Supervisor: Doç. Dr. Ahmet YURTSEVEN

Climate change, natural disasters, rapidly increasing population, decreasing agricultural land and depletion of irrigation water resources are leading to a gradual shrinkage in agricultural production worldwide. Ensuring food security requires the development of agricultural systems that are more productive, efficient and resilient to climate change. High wastage rates, especially during the transportation of agricultural products from production to consumption points, cause both an economically challenging process and inflationary pressures on the prices of agricultural products worldwide. In the solution of these problems, with the adoption of new agricultural technologies, especially on-site production practices and efficient use of water resources come to the fore. Aquaculture-based agricultural practices developed in recent years allow vertical farming in limited areas and offer more controlled and efficient irrigation and feeding.

One of the most basic inputs in agriculture is energy. In particular, the transportation of irrigation water from the source to the agricultural fields and the transition to smart irrigation systems instead of wild irrigation reduce the need for energy. In

recent years, the idea of agriculture in areas close to the sources of irrigation water has come to the fore as a remarkable solution to save water and energy. Irrigation dams are usually built on rivers to meet irrigation needs.

In this study, an innovative island structure was designed to reduce the energy costs required for irrigation and to achieve high yields in limited areas with floating agricultural platforms to be placed on irrigation dams. The wind loads on these designs according to natural conditions are analyzed by computational fluid dynamics methods. It is understood that different wind speeds coming to the island structure affect the placement decisions according to the prevailing wind directions, and the forces on the structure should be determined correctly according to different placements. It was also observed that wind-induced vortices create time-dependent variable loads on the structure. According to the main loads, the capacities of the anchoring equipment required for anchoring the structure to the land were also an issue to be considered.

Keywords: Floating agriculture, hydroponics, computational fluid dynamics, CFD

1 GİRİŞ

Dünya genelinde artan nüfus, enerji, su ve besin kaynaklarına olan talebi giderek artırmaktadır [1]. Bu durum, özellikle nüfusun yarısından fazlasının yaşadığı ve 2050 yılına kadar %70'in üzerine çıkması beklenen kentler açısından ciddi bir sorun haline gelmektedir [2]. Küresel nüfus artışı, gıda üretiminin artırılmasını zorunlu kılarken; iklim değişikliği, su kaynaklarının azalmasına neden olmakta ve bu durum başta tarım olmak üzere birçok sektörde su ve enerji kıtlığına yol açmaktadır [3]. Artan küresel nüfus, doğal kaynaklar üzerindeki rekabeti körükleyerek tarımsal üretimi daha da zorlaştırmakta ve bu durum, mevcut çevresel sorunların derinleşmesine neden olmaktadır [4]. Ekim 2018'de yapılan bir araştırmaya göre, dünya genelinde 820 milyon insan açlıkla mücadele etmektedir; bu nedenle, gıda yetersizliği ve beslenme sorunlarını çözebilmek için kentsel tarımın köklü bir dönüşüm geçirmesi gerekmektedir [5]. İklim değişikliği, özellikle su ve gıda gibi yaşamsal kaynaklar üzerindeki etkileriyle ciddi tehditler oluştururken, tarımsal sistemlerin bu değişime uyum sağlama kapasitesi, küresel gıda güvenliğinin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir [6]. Küresel gıda güvenliği, iklim değişikliği, tarımsal kaynakların azalması, enerji krizi, nüfus artışı ve kentleşme gibi yapısal sorunlara ek olarak, Covid-19 pandemisinin etkileriyle daha da derinleşen ciddi tehditlerle karşı karşıya kalmıştır [7]. Ayrıca tarımsal üretimde önde gelen ülkeler olmak üzere, birçok bölgede artan aşırı hava olaylarıyla gıda üretimini olumsuz yönde etkileyerek küresel gıda güvenliğini tehdit etmeye başlamıştır [8]. Deniz seviyesinin yükselmesi, özellikle alçak kıyı bölgelerinde tarım arazilerinin tuzlanmasına ve verimliliğin düşmesine neden olarak gıda üretimini olumsuz yönde etkilemiştir [9]. İklim değişikliğinin etkilerini azaltmak için, gıda üretim süreçlerinde çevre dostu ve sürdürülebilir yöntemlerin hayata geçirilmesi büyük bir zorunluluk haline gelmiştir [10]. Gelecekteki çevresel değişimlere karşı gıda üretiminin dayanıklılığını artırmanın yanı sıra, iklimle

doğrudan ilişkili olmayan ihtiyaçlar doğrultusunda tatlı su kaynaklarını korumak da büyük bir öncelik haline gelmiştir [11], [12]. İklim kaynaklı felaketlerin yol açtığı küresel sorunlarla başa çıkmaya çalışılan günümüzde, yalnızca gıda güvenliğini temin etmekle kalmayıp aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği destekleyecek yenilikçi ve sürdürülebilir tarım yöntemlerinin hayata geçirilmesi her zamankinden daha kritik hale gelmiştir [13].

1.1 Literatür Özeti

1.1.1 Gıda Güvenliği

Günümüzde gezegenimizin yüzeyinin yaklaşık %40'ı gıda üretimine ayrılmış olup, bu durum doğal ekosistemler üzerinde önemli bir baskı oluşturmaktadır [14]. Bu durum, toprak ve doğal kaynakların yoğun şekilde kullanılmasına neden olurken, aynı zamanda su tüketimini artırmakta ve azot döngüsü ile biyolojik çeşitlilik üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır [15]. Artan nüfus eğilimleri, enerji, su ve gıda gibi temel kaynaklara olan talebin giderek yükselmesine yol açmaktadır [1]. 2050 yılına kadar artan nüfusu besleyebilmek için verim farkının kapatılması, üretim potansiyelinin artırılması, gıda israfının azaltılması, beslenme alışkanlıklarının yeniden şekillendirilmesi ve su ürünleri yetiştiriciliğinin yaygınlaştırılması gibi çok yönlü çözümler gerekmektedir; ancak bu hedeflere ulaşılırken, gıda üretiminin iklim değişikliği üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek ve üretim sistemlerini gelecekteki çevresel değişimlere karşı daha dirençli hale getirmek de büyük önem taşımaktadır [16]. Arazi ve toprak bozulması, küresel gıda güvenliğini tehdit eden en ciddi sorunlardan biri olup, ekilebilir arazilerin azalması nedeniyle 2050 yılına kadar mevcut tarım arazilerinde hektar başına gıda üretiminin %50 ile %100 oranında artırılmasını zorunlu kılmaktadır [17]. Gelecekte artması beklenen gıda üretimiyle birlikte, büyüyen nüfusun ihtiyaçlarını karşılayabilmek için çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan sürdürülebilir bir gıda sisteminin hayata geçirilmesi büyük önem taşımaktadır [18]. Gıda ithalatına bağımlı olan birçok ülke, artan fiyatlar ve erişim sorunları nedeniyle gıda temininde zorluk yaşamakta; bu durum, sağlıklı ve dengeli beslenme seçeneklerini ciddi biçimde kısıtlamaktadır [19]. Ayrıca, gelişmekte olan ülkelerde gıda üretim kapasitesinin, nüfus artış hızını karşılayacak düzeyde olmadığı ve bu nedenle artan talebi karşılamada ciddi kısıtlarla karşılaşıldığı gözlemlenmektedir [20].

1.1.2 Dikey Tarım

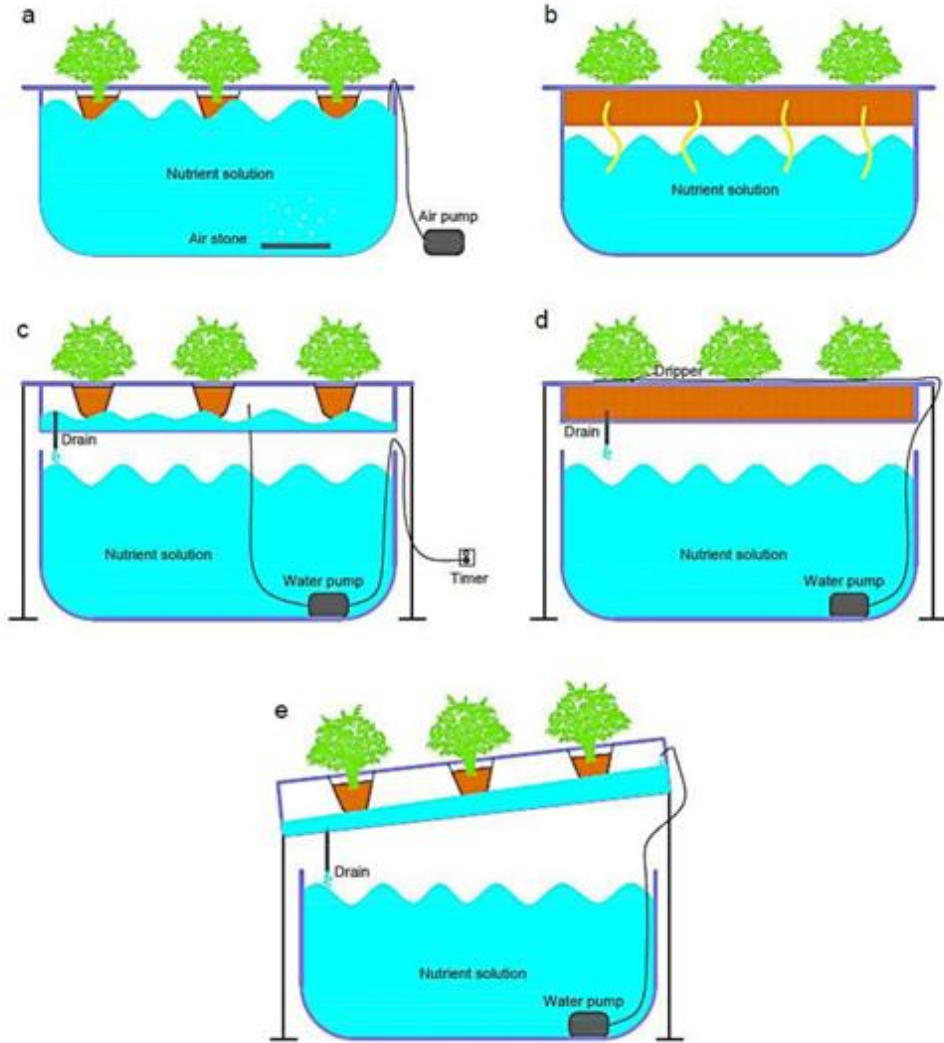
Tarım, iklim koşullarındaki değişikliklerden doğrudan etkilenen ve bu nedenle iklimsel dalgalanmalara karşı oldukça hassas olan küresel bir ekonomik faaliyettir [21]. Tarım sektörü, küresel tatlı su kaynaklarının yaklaşık %70'ini kullanarak su tüketiminde başı çekerken, iklim değişikliği ve artan nüfusun yarattığı baskılar nedeniyle tarımsal üretimde suya erişim giderek zorlaşmaktadır; bu nedenle, azalan arazi ve su kaynaklarına rağmen üretkenliği sürdürüebilmek için su yönetimi stratejileri ve hassas tarım teknolojilerinin entegre edilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir [22]. İklim değişikliğinin tarımsal verimlilik üzerindeki olumsuz etkileri, küresel gıda güvenliğini tehdit ederken; çevresel sürdürülebilirliği sağlamak adına tarımsal eğitim sistemlerinde köklü reformlara duyulan ihtiyaç, tarımın doğa üzerindeki etkilerini azaltmada kilit bir rol oynamaktadır [23], [24].

Dikey tarım, yenilenebilir enerji, ileri teknoloji ve ürün çeşitliliğini bir araya getirerek, kaynak verimliliğini artıran ve çevre dostu üretimi destekleyen yenilikçi bir tarım modeli sunabilir [25]. Şehirlerde yeşil yapraklı sebzelerin üst üste yerleştirilen katmanlarda, hidroponik, akuaponik veya aeroponik yöntemlerle yetiştirildiği, kontrollü çevre tarımının yüksek verimli bir biçimidir. Geleneksel tarıma kıyasla daha az arazi, su ve ulaşım gerektirmesiyle pek çok soruna çözüm sunma potansiyeli taşısa da, bu potansiyelin gerçekleşmesi büyük ölçüde su kıtlığı, yenilenebilir enerjiye erişim, alternatif tedarik zincirleri ve lojistik gibi bağlamsal koşulların uygunluğuna bağlıdır [26], [27], [28], [29]. Dikey tarım, hem ürün verimliliğini artırması hem de nakliye ve depolama maliyetlerini azaltması sayesinde ekonomik açıdan önemli avantajlar sunar [30]. Hem toprakta hem hidroponik sistemlerde bitkinin büyüüp gelişebilmesi için ihtiyaç duyduğu tüm besin maddeleri eksiksiz şekilde sağlanmalıdır [31]. Hidroponik besin solüsyonları, bitki köklerinin sağlıklı gelişimi için suda çözülmüş halde oksijen ve gerekli mineral besin elementlerini doğrudan sağlar [32]. Besin açısından zengin suyun yeniden dolaşımıyla çalışan hidroponik sistemler, geleneksel tarıma kıyasla %70 ila %95 oranında daha az su ve gübre gerektirdiğinden, kurak ve yarı kurak bölgelerde su stresi ile toprak bozulması gibi sorunların çözümünde etkili bir alternatif sunmaktadır [33]. Bu modern tarım yöntemi, hasat sonrası kayıpları en aza indirmeyi hedeflerken, aynı zamanda yerel halk için istihdam olanakları yaratarak ekonomik kalkınmaya katkı sağlar [34], [35], [36], [37]. Dikey tarım,

sınırlı alanlarda daha fazla ürün elde etmeyi amaçlayarak bitki yetiştiriciliğini dikey düzleme taşıyan ve arazi kullanım verimliliğini artırmayı hedefleyen yenilikçi bir mühendislik yaklaşımıdır [38]. Dikey tarımın geniş çapta uygulanması, seralar veya kontrollü ortam alanlarının katmanlar halinde üst üste yerleştirildiği ve gıda üretiminin çok katlı yapılar içinde gerçekleştirildiği sistemleri kapsamaktadır [39]. Dikey tarım sistemleri, minimum arazi ve su kullanımıyla, pestisit ve gübre kullanımını neredeyse sıfıra indirerek iklime dayanıklı bir şekilde taze ve besleyici gıda üretimi sağlar; bu da özellikle yoğun nüfuslu bölgelerde sürdürülebilir gıda sistemlerinin geliştirilmesine katkı sunar [40]. Kentsel tarım, ulaşım, dağıtım ve depolama süreçlerindeki enerji tüketimini ve maliyetleri azaltarak, gıda ürünlerinin karbon ayak izinin düşürülmesine katkı sağlar [41]. Kentsel tarım her ne kadar çeşitli zorluklarla karşı karşıya olsa da, birçok örnek bu uygulamanın sadece gıda üretimini başarıyla gerçekleştirmekle kalmayıp, aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin korunması, sürdürülebilirliğin desteklenmesi, eğitim ve boş zaman değerlendirme gibi çevresel ve sosyoekonomik faydalar sunduğunu ortaya koymaktadır [42]. Topraksız tarım yöntemleri, bahçecilik ve örtü altı yetiştiricilikte yaygın şekilde kullanılarak geleneksel toprak temelli su ve besin gereksinimlerini büyük ölçüde azaltmayı başarmıştır [35].

Dikey tarım, geleneksel üretim sistemlerine kıyasla, daha hızlı büyüme, yüksek verim, kolay kullanım, suyun daha verimli kullanımı ve gübre ihtiyacının azalması gibi avantajlar sunar [27], [43]. Kontrollü ortam tarımı sayesinde, hava koşulları, toprak kalitesi veya ekilebilir alan kısıtlaması olmaksızın, yılın her döneminde ve dünyanın her yerinde üretim yapılabilir; bu da uzman personelin su kullanımını en verimli şekilde yönetmesini sağlar [44]. Hidroponik sistemler birçok avantaj sunsa da, yüksek başlangıç maliyetleri, teknik zorluklar ve enerji ihtiyacı gibi engellerin aşılması gerekir; ayrıca, sağlıklı ürün elde etmek için besin dengesi ve hastalık kontrolünün dikkatle yönetilmesi büyük önem taşır [45]. Bazı araştırmalar, hidroponik sistemlerin daha yüksek verimle birlikte daha kaliteli ürünler yetiştirme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur [46], [47], [48]. Hidroponik sistemlerde, 815 m²'lik bir sera alanında marul üretim verimi $41 \pm 6,1$ kg/m²/yıl olarak belirlenmiş, bu üretim sürecinde her kilogram marul için ortalama $20 \pm 3,8$ litre su tüketilmiştir. Buna karşılık, geleneksel toprak bazlı üretimde verim yalnızca $3,9 \pm 0,21$ kg/m²/yıl olup, su tüketimi 250 ± 25 L/kg/yıl olarak raporlanmıştır. Bu

veriler, hidroponik sistemlerin geleneksel üretime kıyasla $11 \pm 1,7$ kat daha yüksek verim sağladığını ve aynı zamanda su kullanımında %90'dan fazla tasarruf sağladığını ortaya koymaktadır [27]. Yapılan başka bir araştırmada, iç mekânda gerçekleştirilen dikey tarımın, yapraklı marul üretiminde geleneksel tarıma göre 100 kat, sera tarımına göre ise 15 kat daha fazla verim sağladığını ortaya koyarak bu yöntemin ne denli etkili bir üretim modeli olduğunu göstermektedir [49].



Şekil 1.1 (a) Derin su kültürü (Deep Water Culture - DWC) sistemi, (b) Fıtil sistemi (Wick System), (c) Gel-git sistemi (Ebb and Flow System), (d) Damlama sistemi (Drip System), (e) Besin filmi tekniği (Nutrient Film Technique - NFT) sistemi [50].

1.1.3 Enerji ve Sulama

Güneş enerjisi, yaygın erişilebilirliği, yenilenebilir oluşu ve çevreye zarar vermemesi nedeniyle en güçlü alternatif enerji kaynaklarından biri olarak öne çıkmaktadır [51]. Modern sulama sistemleri; suyun kaynaktan alınması, filtrelenmesi, basınçlandırılması ve tarlaya eşit şekilde dağıtılması süreçlerinde enerji tüketirken, sistemin tasarımındaki eksiklikler veya yetersiz işletme ve yönetim uygulamaları, önemli miktarda enerji tasarrufu potansiyelinin boşa harcanmasına neden olabilmektedir [52]. Güneş enerjisiyle çalışan su pompalama sistemlerine yönelik artan ilgi, özellikle sürdürülebilir tarım uygulamalarının önem kazandığı günümüzde, akıllı sulama kontrol kitlerinin geliştirilmesi için önemli bir fırsat sunmaktadır. Bu tür sistemler, güneş enerjisini kullanarak şebekeden bağımsız çalışabilir; böylece geleneksel enerjiye olan bağımlılığı azaltırken çiftçilerin enerji maliyetlerini de düşürür. Ayrıca, entegre akıllı algoritmalar sayesinde, toprak nemine dayalı hassas su yönetimi sağlanarak hem su tasarrufu yapılmakta hem de sulama etkinliği önemli ölçüde artırılmaktadır [53]. Son yıllarda, gelişmekte olan ülkelerin kırsal bölgelerinde özellikle Etiyopya, Senegal ve Fildişi Sahili gibi yerlerde tarımda yenilenebilir enerji kullanımını ve su verimliliğini artırmak amacıyla güneş enerjisiyle çalışan elektrikli pompalar ve modern sulama sistemlerinin yaygınlaştırılmasına yönelik çeşitli girişimler hayata geçirilmektedir [54]. Bu deneysel çalışmada, PV panel yüzey sıcaklığının 32°C'den 19°C'ye düşürülmesiyle elektriksel güç üretimi 5 gün sonunda ortalama 79,621 W'tan 91,149 W'a yükselmiş ve bu sayede %14,47 oranında verim artışı sağlanmıştır; bu oran literatürde kaydedilen en yüksek artışlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu sonucun daha da geliştirilmesi için, benzer deneylerin 40°C üzerindeki çevresel sıcaklıklarda veya PV yüzeyine odaklayıcılar uygulanarak 50°C'yi aşan sıcaklıklarda gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Ayrıca, ilerleyen çalışmalarda, panel alt yüzeyine soğutucu içeren akışkanların dolaştırılması yöntemi ile alternatif soğutma uygulamaları da değerlendirilebilir [55]. Tarımsal sulama havuzlarına entegre edilen yüzer güneş enerjisi sistemleri (FSPV), hem suyun buharlaşmasını azaltarak kaynak verimliliğini artırır hem de arazi kullanımına gerek kalmadan yenilenebilir enerji üretimi sağlayarak karbon ayak izini düşürür; böylece çiftçilerin enerji maliyetlerini azaltarak sürdürülebilir tarım

uygulamalarına katkı sunar [56]. 2020 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada, yüzeyinin %30'u 1,14 MW kapasiteli bir yüzer güneş enerjisi sistemiyle kaplanan bir rezervuarın, hem elektrik üretiminde yüksek verim sağladığı hem de su tasarrufu ile CO₂ emisyonlarında önemli azalma sağladığı ortaya konmuştur [57].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, öncelikle yeşil yapraklı bitkiler için suda tarım uygulamalarının su kaynağında gerçekleştirilebilmesi için yüzer bir platform önerilmesi, bu platformun kapalı su havzalarında sığ su koşulları ve rüzgar etkisi altında sergilediği hidrodinamik davranışı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) metodları aracılığıyla sayısal olarak incelemektir. Araştırma kapsamında, platformun sabitlenmiş koşullarda üç boyutlu modellenmesi sağlanarak, su yüzeyinde oluşan akım yapıları, girdaplar, sürüklenme kuvvetleri, serbest yüzey deformasyonları ve yapı üzerindeki zamana bağlı basınç dağılımları değerlendirilmiştir. Ayrıca, platform üzerinde yer alan silindirik tarımsal birimlerin akış alanı ile etkileşimi, performans ve stabilite açısından analiz edilmiştir.

Bu çalışma sayesinde, kapalı su havzaları üzerine kurulacak yüzer tarım platformlarının rüzgar gibi atmosferik etkilere karşı davranışları daha iyi anlaşılacak; böylece bu tür sistemlerin fiziksel tasarımı, yerleşim planlaması, sabitleme gereksinimleri ve yapısal güvenliği hakkında mühendislik açısından bilimsel bir temel oluşturulacaktır.

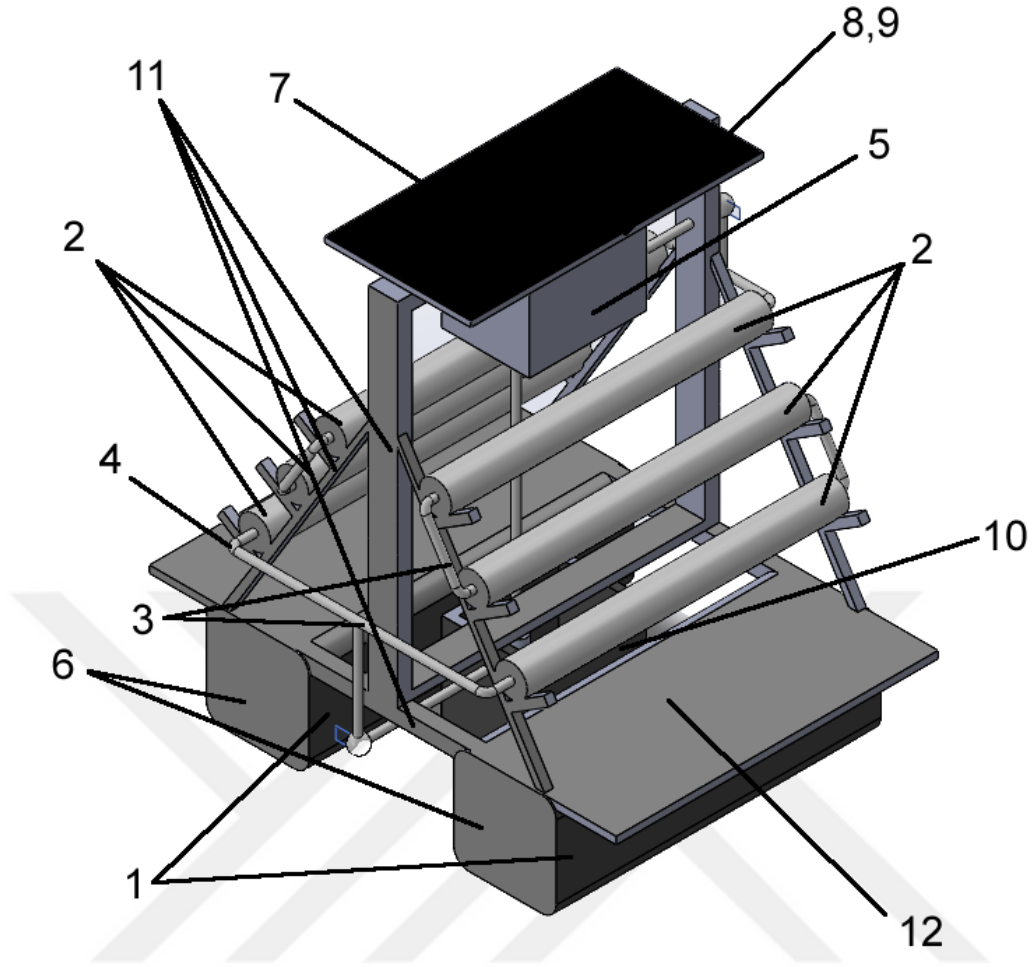
1.3 Hipotez

Bu tez çalışması, sınırlı tarım alanları ve azalan su kaynakları problemlerine çözüm olarak geliştirilen yüzer tarım platformlarının, kapalı su havzalarında (göl/baraj) rüzgar etkisi altındaki hidrodinamik davranışlarını incelemektedir. Özellikle serbest yüzeydeki bozulmalar, platform etrafındaki girdap oluşumu ve sürüklenme kuvveti değişimleri, yüzer yapıların stabilitesini, performansını ve sabitleme ekipmanlarının tasarımını doğrudan etkilemektedir.

1.4 Yüzer Tarım Platformu

Yüzer bir tarım alanı oluşturmak için planlanan platformda bazı ihtiyaçlara cevap aranmaktadır. Öncelikle alanın kapalı su havzalarında yüzer pozisyonda ve serbest su yüzeyine mümkün olduğunca yakın olan bir friborda sahip olması istenmektedir. Aynı zamanda kullanılacak malzemelerin dış hava şartlarına uzun zaman dayanıklı olması beklenmektedir. Su havzasının yüzey alanından en fazla faydanın sağlanabilmesi için de yüzer platform üzerinde dikey tarım uygulamaların entegre edilmesi planlanmıştır. Ayrıca dikey tarımda uygulanan en pratik ve verimli sistemin de, suda tarım olduğu bildiğinden, yapılan platformun yüzer, dikey ve suda tarım uygulamalarının avantajlarını bir arada bulundurması arzu edilmiştir.

Platform yüzer pozisyona gelmesi adına iki adet ana yüzdürücü üzerine inşa edilmiştir. Yüzdürücüler HDPE malzemeden üretilen konvansiyonel basınçlı su taşıma borularının sephiye oluşturacak şekilde birlikte kullanımı ile üretilmesi planlanmıştır. Bu şekilde yapının su ve ultraviyole dayanımının uluslararası standartlarda üretilmiş olan borular ile dayanım güvenliği sağlanması amaçlanmıştır. Platformun temel bileşenleri Şekil 1.2’de numaralandırılarak gösterilmektedir.



Şekil 1.2 Platform bom

Tablo 1.1 Bileşen listesi

P. No	Parça Adı (Boyutu)	Malzeme Cinsi	Adet	Birim Ağırlık (kg)	Toplam Ağırlık
1	HDPE BORU PN10 (d:110-l:2200)	Y.Y.Polietilen	8	2,03	17,6
2	PVC BORU (d:200-l:2200)	Polivinil	6	5,28	70
3	PVC BORU (d:50-l:9000)	Polivinil	1	0,5	4,5
4	PVC Dirsek (50x90)	Polivinil	15	0,2	3
5	Dikdörtgen Depo 600x800	Polietilen	2	14	28
6	HDPE Plaka (700x700x50)	Y.Y.Polietilen	4	23	92
7	Monokristal Fotovoltaik Panel (200x1000)	Silikon	1	23	23
8	İnverter (225 x 102 x 55,5)		1	0,9	0,9
9	12 V 200 Amper Jel Akü(522x240X224)	Nanocarbon	1	62	62
10	Dalgıç Su Pompası 12 Volt Fırçasız Dc Pompa		1	0,5	0,5
11	Kutu Profil (600x600x15 l:1000)	Metal	12	2,8	33,6
12	Metal Plaka (3200x2200x5)	Metal	1	185	185
	Depo İçi Besin		1	300	300
	Sistemdeki Su Dolaşımı		1	138	138
	Bağlantı Elemanları		1	1	1

Parça 1 HDPE borulardan üretilmiş olup platformun suda batmadan yüzmesini sağlamak için kullanılmıştır.

Parça 2 PVC borular polietilen malzemeden üretilmiş su taşıma borularıdır. Bu çapta borular dikey tarım uygulamalarında bitki yetiştirme sahası olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada da dikey tarımda olduğu gibi aynı amaçla kullanılmıştır.

Parça 3 PVC borular birbirinden ayrı sisteme su akışını sağlamak için kullanılır.

Parça 4 PVC dirsek borular, boru hattındaki akışın yönünü değiştirmek için kullanılır. Bu, özellikle boruların bir duvara, zemine veya başka bir engellere paralel olarak yerleştirildiği durumlarda önemlidir. Bu borular sayesinde boru hattı, düz bir çizgide kalmadan istenen açıyla yön değiştirilebilir.

Parça 5 Dikdörtgen Depo, bitkilerin dikey olarak yetiştirilmesi için gerekli olan ortamı sağlar. Bu yöntem, alanı verimli kullanmaya ve tarımı daha yoğun yapmaya yardımcı olur.

Parça 6 HDPE Plaka, suyun geçtiği kanallarda veya boru hatlarında ekstra dayanıklılık sağlamak için kullanılır.

Parça 7 Monokristal Fotovoltaik Panel sistemin enerji ihtiyacını karşılamak için güneş ışığını kullanarak enerji üretir. Bu, platformun bağımsız bir şekilde çalışmasına olanak tanır.

Parça 8 İnverter elektrik enerjisi dönüşüm cihazıdır ve özellikle güneş enerjisi sistemlerinde önemli bir rol oynar. Yüzer tarım platformunda, inverter, doğrudan akım (DC) elektrik enerjisini alternatif akıma (AC) dönüştüren cihazdır. Bu sayede üretilen elektriğin kullanılabilir hale gelmesini sağlar.

Parça 9 Jel Aküler yüzer güneş enerjili tarım platformlarında, güneş enerjisinin depolanmasında ve enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasında önemli bir rol oynar. Ayrıca, platformun su yüzeyinde olması sebebiyle dayanıklı ve bakımı kolay olması büyük avantaj sağlar.

Parça 10 Dalgıç Su Pompası, suyu tarım alanına basmada, sirkülasyonu sağlama, su kalitesini iyileştirmede kullanılır.

Parça 11 Kutu profiller, platformun ana yapısal çerçevesini oluşturur. Bu, platformun üzerine yerleştirilen ekipmanların (güneş panelleri, su pompaları, borular vb.) dengeli bir şekilde dağılmasını sağlar. Kutu profiller, platformun taşıyabileceği yükü dengeleyerek, yapısal bütünlüğünü korur.

Parça 12 Metal Plaka sistemdeki platformun güvenliğini sağlamak, yüksek taşıma kapasitesine ulaşmak ve genel stabiliteyi artırmak için kritik bir rol oynar. Metalin sağlam yapısı, platformun su yüzeyindeki hareketler, dalgalar, rüzgar ve diğer çevresel etkilere karşı dayanıklılığını artırır.

2.1 Yönetici Denklemler

Üç boyutlu, çok fazlı, sıkıştırılamaz ve türbülanslı akışın modellenmesinde, temel yönetici denklemler olarak süreklilik denklemi ile Reynolds ortalama Navier–Stokes (RANS) denklemleri kullanılmış; fazlar arası etkileşimi tanımlamak amacıyla Akışkan Hacmi Yöntemi (VOF) ile hacim ayrıklaştırması gerçekleştirilmiştir.

Bu denklem, akışkanın hacimsel olarak sıkışmadığını ve giren kütle debisi ile çıkanın eşit olduğunu ifade ederek, sıkıştırılamaz akış varsayımı altında özellikle su, düşük hızlı hava akımları ve hidrolik uygulamalarda yaygın olarak kullanılır.

$$\nabla \cdot \bar{\mathbf{u}} = 0 \quad (2.1)$$

Bu ifade, hız vektör alanının diverjansının sıfır olması durumunda, sıkıştırılamaz akışkanlar için kontrol hacmi içerisinde net kütle akısının sıfır olduğunu; dolayısıyla hacme giren ve çıkan kütsel debilerin birbirine eşit olduğunu teknik olarak belirtir.

Bu denklem, üç boyutlu Kartezyen koordinat sistemine genişletildiğinde (2.2) numaralı eşitlik olarak ifade edilen formuna ulaşılır.

$$\nabla \cdot \bar{\mathbf{u}} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (2.2)$$

2.1.1 Momentum Korunumu Denklemleri (Navier-Stokes Denklemleri)

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u_i \bar{u}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \nabla \cdot (\mu[\nabla \bar{u} + (\nabla \bar{u})^T]) + \rho g_i + F_{s,i} \quad (2.3)$$

Bu terimler $i = x, y, z$; her bir eksen, ρ ; akışkanın yoğunluğunu (faz değişkeni C kullanılarak tanımlanır), P ; basıncı, μ ; dinamik viskoziteyi (faz değişkeni C ile tanımlanır), $\nabla \bar{u}$; hız gradyan tensörünü, ρg_i ; yer çekim kuvvetini ($g_x = 0, g_y = -g, g_z = 0$), $F_{s,i}$; yüzey gerilim kuvvetini, $i; x, y, z$ yönlerindeki bileşenini temsil etmektedir.

Bu denklem, üç boyutlu Kartezyen koordinat sisteminde ayrıntılı olarak yazılır:

x Yönündeki momentum denklemi (2.4) eşitliği ile gösterilmiştir.

$$\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_x^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_x u_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u_x u_z)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}(\mu \frac{\partial u_x}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu \frac{\partial u_x}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu \frac{\partial u_x}{\partial z}) + \rho g_x + F_{s,x} \quad (2.4)$$

y Yönündeki momentum denklemi (2.5) eşitliği ile gösterilmiştir.

$$\frac{\partial(\rho u_y)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_y u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_y^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u_y u_z)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}(\mu \frac{\partial u_y}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu \frac{\partial u_y}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu \frac{\partial u_y}{\partial z}) + \rho g_y + F_{s,y} \quad (2.5)$$

z Yönündeki momentum denklemi (2.6) eşitliği ile gösterilmiştir.

$$\frac{\partial(\rho u_z)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_z u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_z u_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u_z^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x}(\mu \frac{\partial u_z}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu \frac{\partial u_z}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu \frac{\partial u_z}{\partial z}) + \rho g_z + F_{s,z} \quad (2.6)$$

Türbülans, bu çalışmada realizable $k - \varepsilon$ modeli kullanılarak modellenmiştir. Bu iki denklemlilik model, türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans dağılım oranı (ε)

için denklemleri birlikte çözer. Standart $k - \varepsilon$ modeline kıyasla, realizable modeli daha gelişmiş varsayımlar sunarak türbülans viskozitesini fiziksel olarak daha tutarlı ve kararlı bir şekilde belirler. Bu model, mühendislik uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmekte olup; akım ayrılmaları, sınır tabaka davranışları, direnç tahmini, güç hesabı, iz bölgesi analizi ve dalga etkilerinin modellenmesi gibi denizcilik hidrodinamiğinde önemli avantajlar sağlar. Özellikle gemi gövdesi etrafındaki sınır tabaka akışlarında, realizable $k - \varepsilon$ modeli, standart modele göre daha doğru ve hassas sonuçlar sunar.

$k - \varepsilon$ Türbülans modeline ait eşitlikler aşağıda gösterdiği gibi ifade edilmektedir.

Türbülanslı akışlarda, akışkanın ani ve düzensiz hız salınımlarından kaynaklanan türbülans kinetik enerjisi (2.7), akıştaki enerjinin bir kısmını temsil eder. Bu enerji, birim kütle başına düşen türbülanslı hareketlerin kinetik enerjisidir.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \varepsilon \quad (2.7)$$

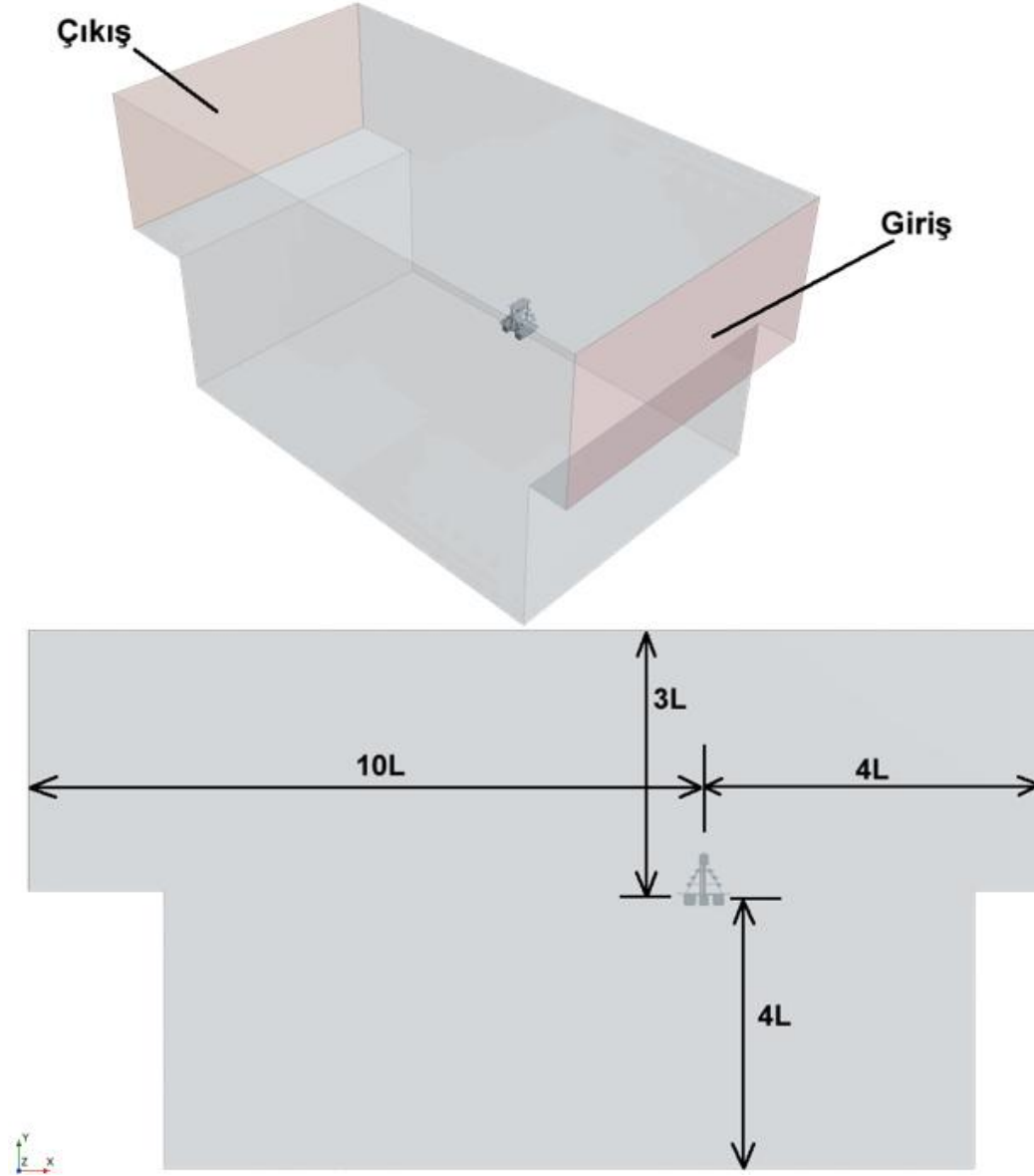
$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2.8)$$

2.2 SAYISAL MODELLEME

2.2.1 Çözüm Hacmi

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümleri için kullanılan çözüm hacmi yüzer tarım platformu boyutlarına (L: platform boyu) göre ölçeklendirilmiştir. Çözüm hacmi giriş doğrultusunda 4L, çıkış doğrultusunda 10L, yukarı yönde 3L ve aşağı yönde 4L uzunluğunda olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Çözüm hacmine ait görsel Şekil 2.1'de sunulmuştur.

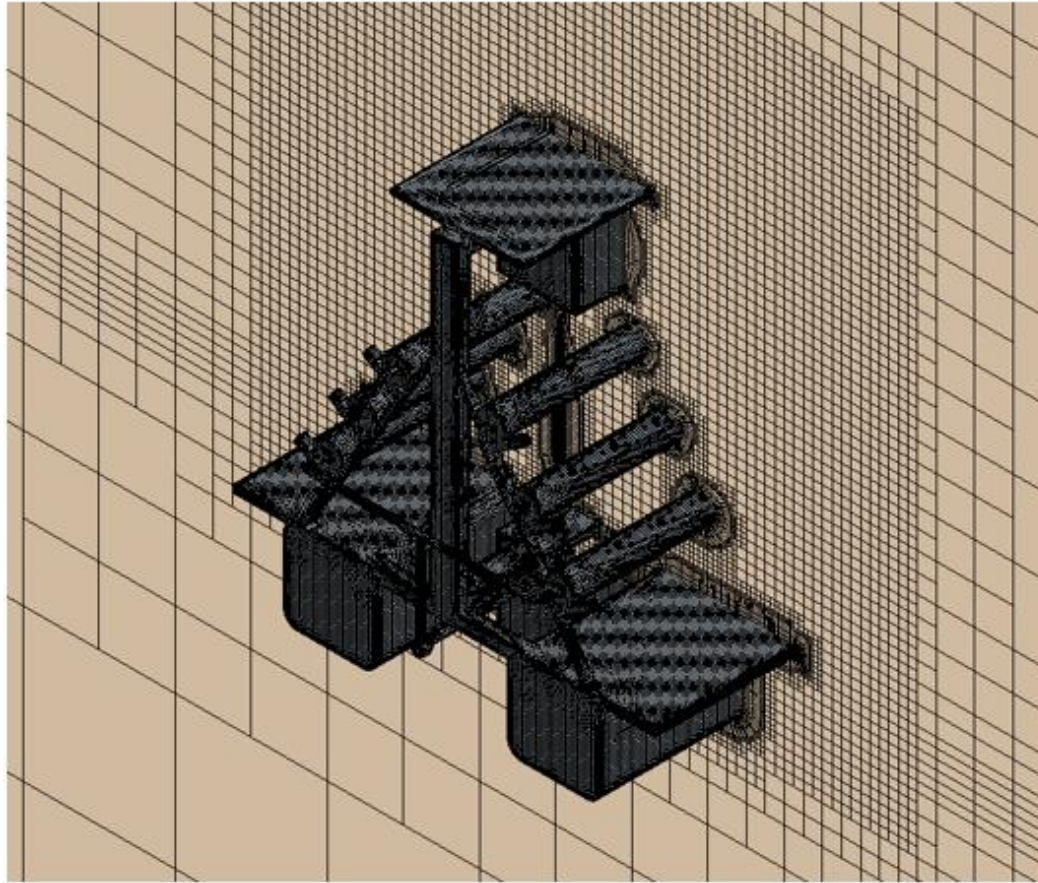
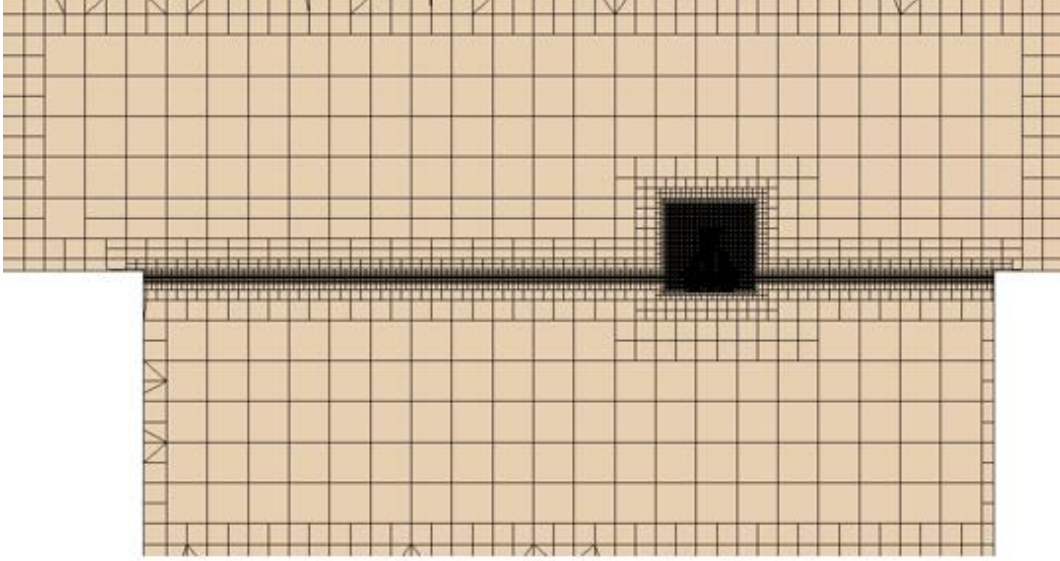
Şekilden görüldüğü üzere akış hacmi su bölgesinde daha dar ve hava bölgesinde daha geniş olarak modellenmiştir. Bunun nedeni çözümde kullanılan çift fazlı dalga modelinde akıntı bileşeninde hız değerinin verilmeyecek, yalnızca hava bileşeninde hız tanımlanacak olmasıdır.



Şekil 2.1 Sınır yüzeyleri ve çözüm hacminin boyutları

2.2.2 Çözüm Ağı

Analizin gerçekleştirilmesi için çözüm hacminin sonlu hacimler yönteminde kullanılabilmesi adına hacimsel ayrıklaştırma gerekmektedir. Bu kapsamda çözüm hacmi sonlu büyüklükte hacim elemanlarına ayrılmıştır. Üretilen çözüm ağı şekil 2.2 de görülebilir.



Şekil 2.2 Çözüm ağı yapısı 2 ve 3 boyutlu düzlem

Analizi yapılacak yüzer tarım platformunun üzerinde bulunan çok sayıda ekipmanın boyutları nedeniyle platform yüzey meshi daha yüksek çözünürlükte seçilmiş, serbest su yüzeyine yakın bölgeler ve platforma yakın hacim bölgesi yine yüksek çözünürlükte hacim elemanları ile örülmüştür. Platform üzerinde bulunan çok sayıda silindirik yapı aerodinamik iz oluşturacağı öngörüsü ile hassas sınır tabaka meshi ile tüm çözüm ağı geliştirilmiştir.

Analizin çözüm ağından bağımsızlaştırılması için çözüm ağı parametreleri sistematik olarak değiştirip farklı çözüm ağları elde edilmiştir. Bu çözüm ağlarında elde edilen analiz sonuçları sonraki bölümde çözüm ağı belirsizlik analizinde kullanılmıştır.

2.2.3 Duyarlılık Analizi (GCI: Grid Convergence Index)

Hesaplama akışkanlar dinamiği (CFD) ve genel olarak sonlu hacim yöntemleriyle yapılan mühendislik analizlerinde, sayısal çözümün ağ (mesh) yoğunluğuna olan duyarlılığını değerlendirmek için kullanılan sistematik bir yöntemdir. Bu yaklaşım, özellikle çözümün ağdan bağımsızlık (mesh-independency) seviyesini belirlemek ve sayısal çözümde oluşabilecek ayrıklaştırma hatalarının büyüklüğünü nicel olarak ifade etmek amacıyla geliştirilmiştir. GCI, kullanıcının elde ettiği çözümlerin doğruluğu hakkında nesnel bir belirsizlik tahmini sunar.

GCI analizinde temel prensip, aynı fiziksel problem için farklı çözüm ağı yoğunluklarında (kaba, orta ve ince) çözümler elde etmektir. Bu çözüm setleri, genellikle bir fiziksel büyüklük (örneğin hız, basınç, sıcaklık ya da sürüklenme katsayısı gibi) açısından karşılaştırılır. Burada hedef, çözümün ağ yoğunluğu ile ne kadar değiştiğini ölçmek ve çözümün sayısal yakınsama davranışını değerlendirmektir. GCI yöntemi, Richardson ekstrapolasyonu esas alınarak çözümün teorik olarak sonsuz çözünürlüklü ızgaradaki (yani hata içermeyen) değeri hesaplanır ve ardından mevcut çözüm ile bu ekstrapolasyon değeri arasındaki fark yüzdesel olarak ifade edilir.

Tablo 2.1 Farklı çözüm ağı eleman sayısı ve sonuçları


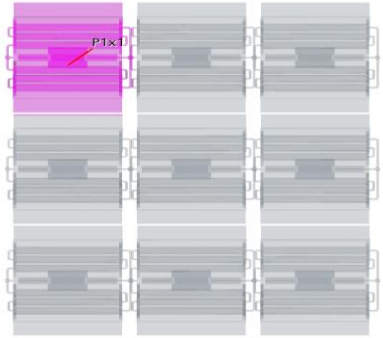

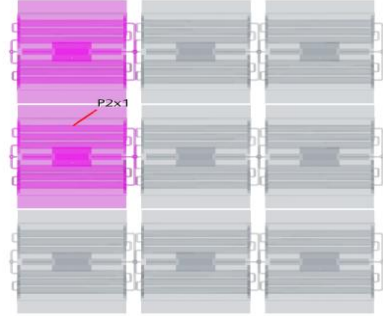
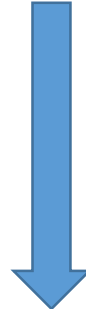
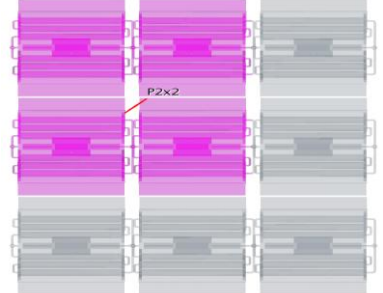
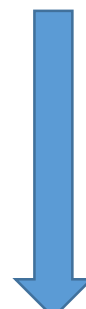
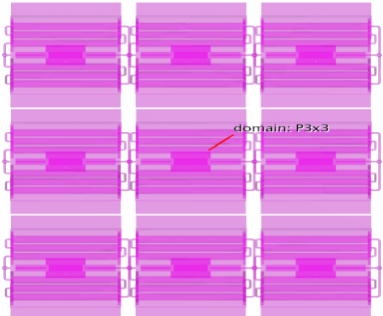
	Çözüm Hücresi Sayısı	y+	Kuvvet [N]
mesh00	407362		3,2451
mesh01	881520	38	3,3175
mesh02	1797455	37	1,9902
mesh03	3582052	33	1,97082
mesh04	6561848		1,6672

2.2.4 Sınır Şartları

Yapılan CFD analizinde, yüzer platformun etrafındaki akış alanını doğru şekilde temsil edebilmek amacıyla hız giriş sınırında 1 m/s büyüklüğünde sabit bir rüzgar hızı tanımlanmıştır. Giriş sınır koşulunda herhangi bir akıntı hızı verilmemiş olup, suyun girişten akışa katılmadığını göstermek amacıyla bu yüzeydeki su hacimsel fraksiyonu (Volume Fraction of Water) sıfır olarak belirlenmiştir. Akışın çıkış yaptığı sınır yüzeyinde ise basınç gradyeni sıfır ($dP/dx = 0$) kabul edilerek atmosfer basıncına karşılık gelen açık çıkış şartı tanımlanmıştır. Hesaplamalı alanın geri kalan tüm sınır yüzeylerinde “kaymama koşulu olmayan” (slip wall) sınır şartı uygulanmış, böylece bu yüzeylerdeki akışa minimum direnç olacak şekilde bir modelleme yapılmıştır. Serbest su yüzeyinin, yüzer platform kaidesinin alt noktasından itibaren 0.5 metre yükseklikte başladığı kabul edilerek analiz için başlangıç koşulu oluşturulmuştur. Akış analizi, yapının tüm geometrik ayrıntılarını içerecek şekilde “tam boylu” (full body) model üzerinden gerçekleştirilmiştir.

2.2.5 Analiz Uygulama Senaryoları

Tablo 2.2 Analiz uygulama senaryoları

<p>Senaryo 1</p>	<p>P 1x1</p>		
<p>Senaryo 2</p>	<p>P 2x1</p>		
<p>Senaryo 3</p>	<p>P 2x2</p>		
<p>Senaryo 4</p>	<p>P 3x3</p>		

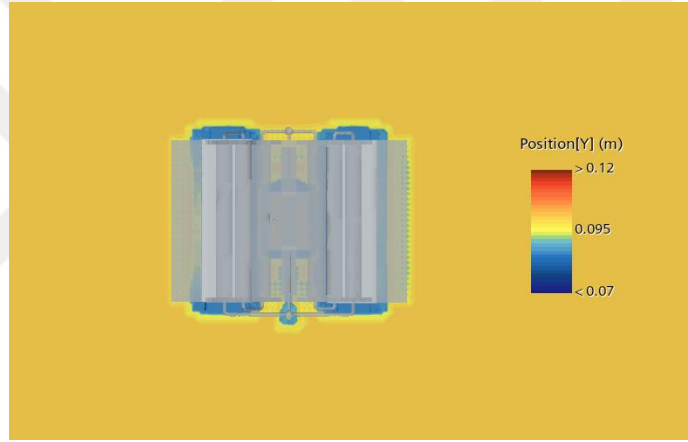
Tablo 2.2’de farklı sayılarda ve yerleşim durumlarındaki platformlar ile elde edilen ada yapılarının analiz senaryoları verilmiştir. Sınır şartları bölümünde de anlatıldığı üzere yapı üzerine yalnızca rüzgar hızı uygulanmaktadır. Rüzgar yönü şekilde gösterildiği gibi alınmıştır. Bu yönü kullanmaktaki amacımız hız vektörünün bitkilerin büyütüldüğü silindirik yapılara dik olarak gelmesi ve böylece en fazla silindir arkası girdap yapısının oluşmasına müsade edecek olmasıdır.



3

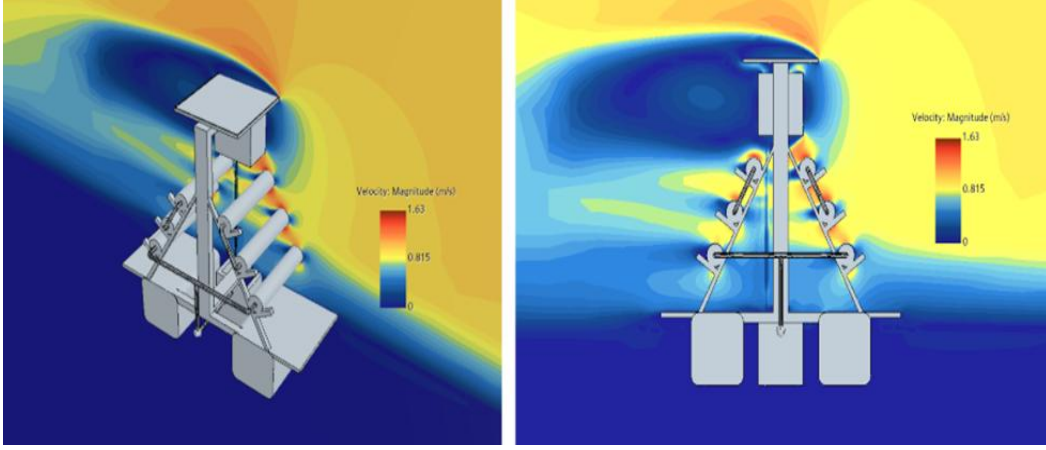
ANALİZ SONUÇLARI

Farklı rüzgar hızlarında ve farklı platform sayılarıyla oluşturulan düzenlerde en riskli rüzgar yönü olarak tarım silindirlerine dik yöndeki rüzgar şartları altında yapılan analizlerin sonuçları bu bölümde verilmiştir. Çalışmada yüzme şartı sağlanacak şekilde çift fazlı bir fizik tercih edilmiştir. Dalga modeli olarak sakin su dalga modeli kullanılmış, akıntı hızı 0 m/s tutularak yalnızca rüzgar kaynaklı kuvvetler dikkate alınmıştır.



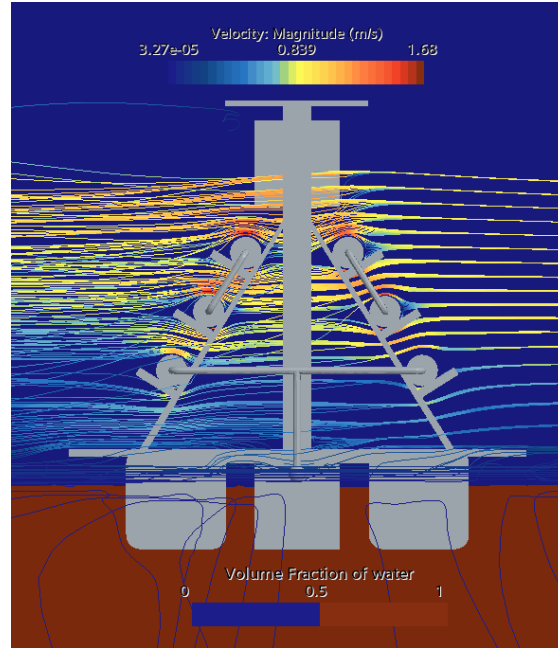
Şekil 3.1 Serbest yüzey deformasyonu görünümü

Şekil 3.1’de yüzer platforma üstten bakılarak serbest su yüzeyi deformasyonu gösterilmektedir. Herhangi bir akıntı sınır şartı verilmediği ve cismin sabit kabul edildiği bu modelde serbest su yüzeyinde bir dalga deformasyonuna rastlanmamıştır.



Şekil 3.2 Orta kesit üzerindeki hız dağılımı

Şekil 3.2’de orta kesit üzerinde hız dağılımları gösterilmektedir. Problemin geometri özellikleri nedeniyle tarım ürünlerinin yetiştirildiği silindirik yapıların arkasında oluşan karmaşık akış ortamı ve silindirler arasındaki etkileşim, hız dağılımlarının karışık bir ortam oluşturmasına sebep olmaktadır. Akışın gelen akış yönündeki silindirler arası hız dağılımlarına bakıldığında hızların giden akış yönündeki silindirler arası hıza göre daha yüksek olduğu görülebilir. Bu durum da cismin gelen akış ve giden akış yönlerine göre farklı dirençler ortaya koyacağı anlamını taşır.



Şekil 3.3 Platform etrafındaki akım hatları

Şekil 3.3’da orta kesit üzerindeki faz dağılımı ve akım hatları görülmektedir; akım hatları incelendiğinde silindirler üzerinde hava hızlarının arttığı ve silindirler arasında akımın daha yüksek düşey kuvvetler üreteceği görülmektedir. Serbest su yüzeyine yaklaşıldığında ise serbest akım hızının azaldığı gözlemlenmektedir. Serbest su yüzeyi bu gibi akıntısız durumlarda yer yüzeyi gibi bir etki ile atmosferik sınır tabaka oluşumunu desteklemektedir. Ancak bu durum karasal bir yüzeye nazaran çok daha düşük olmaktadır. Platformların farklı sayılarda ve farklı yerleşim durumlarında test edilerek oluşacak ada yapılarında gerek platform taşıyıcı elemanları, gerekse adayı yerinde tutmak için kullanılacak tonoz bağlantılarının tasarımları konusunda önemli bilgiler elde edilmektedir.

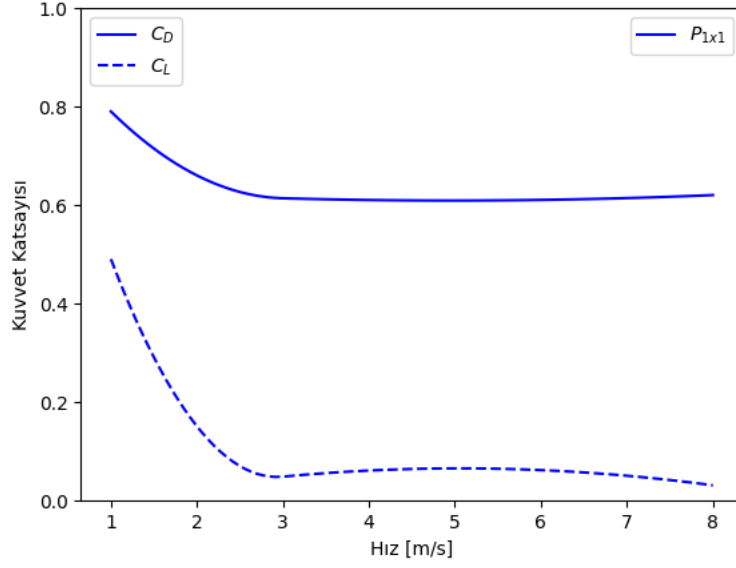
Öncelikle ada yapısının en küçük yapı taşı olan platform yalnız olarak analiz edilmiştir. Bu uygulamaya P1x1 ismi verilmiştir. Rüzgar hızı önceki paragraflarda bahsedildiği şekliyle silindirlere dik olarak alınmıştır. Platformun akım doğrultusundaki ürettiği kuvvete sürüklenme kuvveti ismi verilmektedir. Rüzgar hızları 1 m/s, 2 m/s, 4 m/s ve 8 m/s olmak üzere 4 farklı hız koşulu altında analizler gerçekleştirilmiştir. Hızdan kaynaklanan direnç artışının platformun genel aerodinamik davranışını anlamak üzere boyutsuzlaştırılması gerekmektedir.

Bu kapsamda sürüklenme kuvveti;

$$C_D = \frac{F_D}{\left(\frac{1}{2}\rho V^2 A_{k1}\right)} \quad (3.1)$$

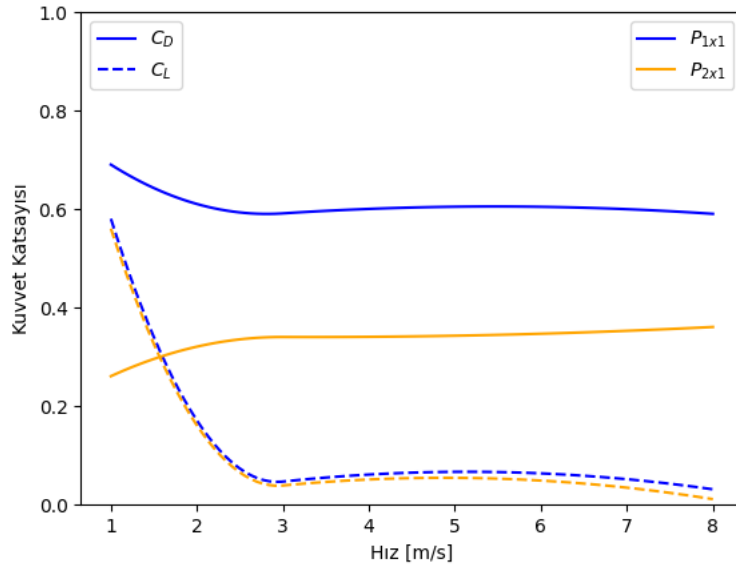
Kaldırma kuvveti;

$$C_L = \frac{F_L}{\left(\frac{1}{2}\rho V^2 A_{k2}\right)} \quad (3.2)$$



Şekil 3.4 P1x1 için sürüklenme ve kaldırma kuvvet katsayıları

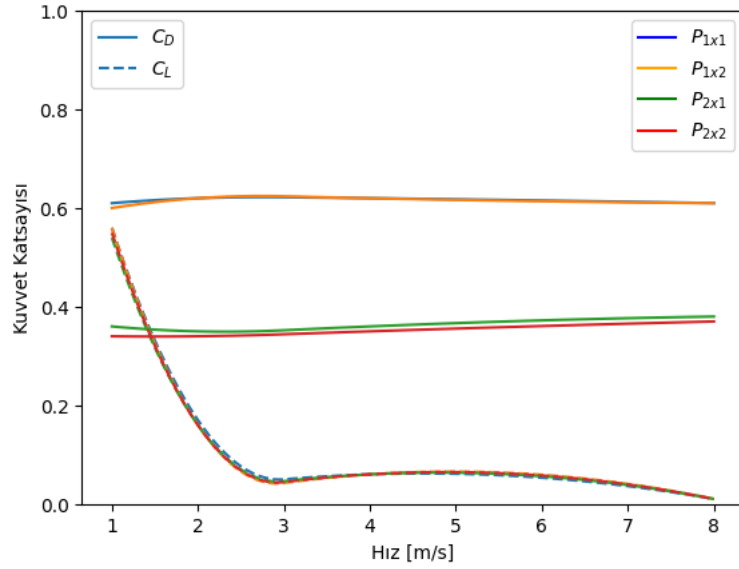
Şekil 3.4'de tek platform için hıza bağlı sürüklenme ve kaldırma kuvvet katsayıları gösterilmiştir. Kuvvet katsayısı belirli bir hıza kadar azalmakta ve sonrasında sabite yakın seyretmektedir. Bu durum platformdaki türbülans davranışı hakkında fikir verebilir.



Şekil 3.5 P2x1 için sürüklenme ve kaldırma kuvvet katsayıları

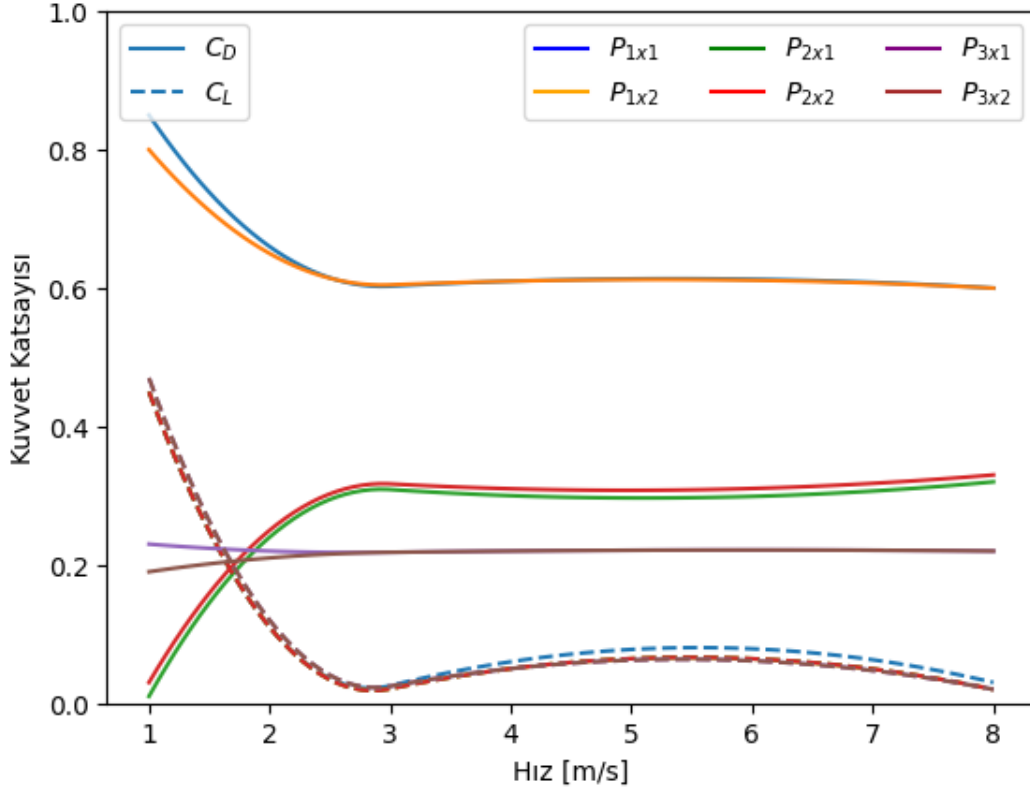
Şekil 3.5'de akım yönüne göre sıralı olarak konumlandırılmış iki platformun üzerine gelen kuvvetlerden elde edilmiş kuvvet katsayıları gösterilmektedir. P1x1 akımı ilk karşılayan, P2x1 ise öndeki platformun arka izinde kalan platformdur.

Şekilden anlaşılacağı üzere P1x1 tek platform durumuna göre belirli bir miktar sürüklenme kuvvet katsayısı yönünden azalmaya maruz kalmıştır. İz bölgesindeki platformun ise sürüklenme kuvvet katsayısı ciddi düşük bir değeri göstermektedir. Bu durum tandem etkisi ile açıklanmaktadır. Arkadaki platformun üzerine gelen akımın düzensiz ve enerjisinin zayıf olması bu durumu açıklayabilir. Literatürde tandem etkisinin ayrıntılı şekilde biliniyor olmasından dolayı bu kısımda anlatılmasına gerek duyulmamıştır.



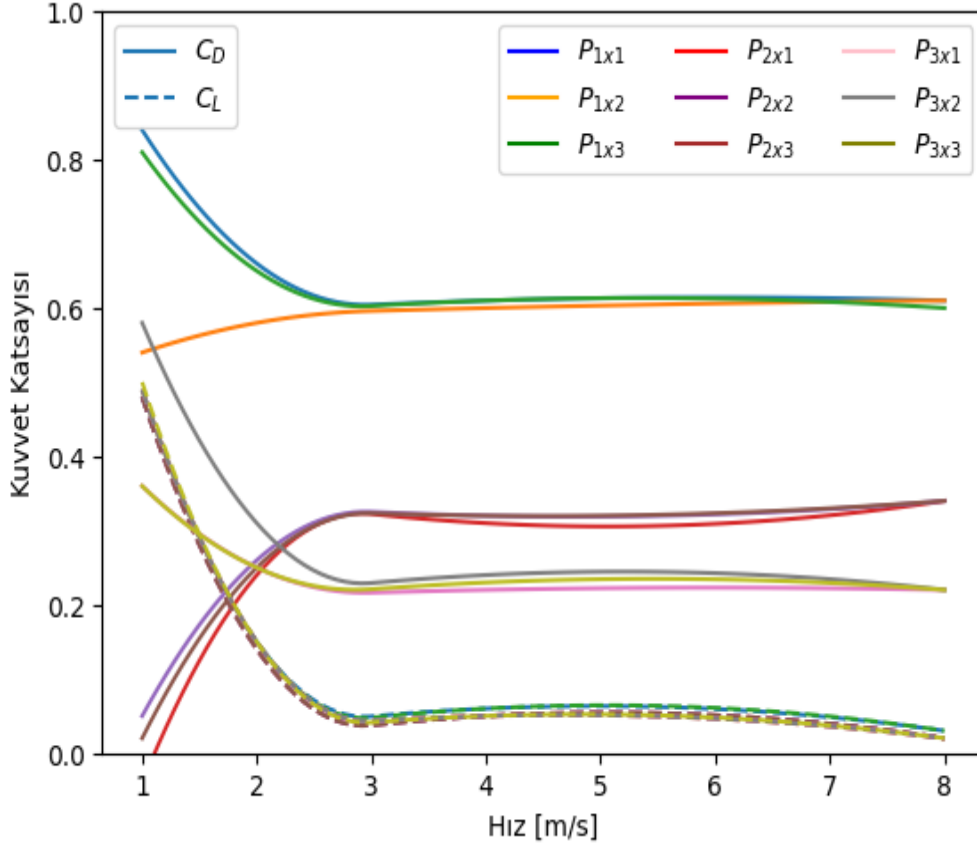
Şekil 3.6 P2x2 için sürüklenme ve kaldırma kuvvet katsayıları

Şekil 3.6'da iki adet platformu yanyana ve iki platformun arka sırada olduğu toplam 4 platformdan oluşan ilk ada yapısı düzeninin sürüklenme ve kaldırma kuvvet katsayıları gösterilmiştir. Yanyana olan platformların sürüklenme ve kaldırma kuvvet katsayıları aynı değerleri verirken arka sıradaki platformlar ön sıradakilere göre ciddi düşük sürüklenme kuvvet katsayıları vermişlerdir. Bununla birlikte kaldırma kuvvet katsayıları neredeyse tüm platformlar için aynı değeri göstermiştir.



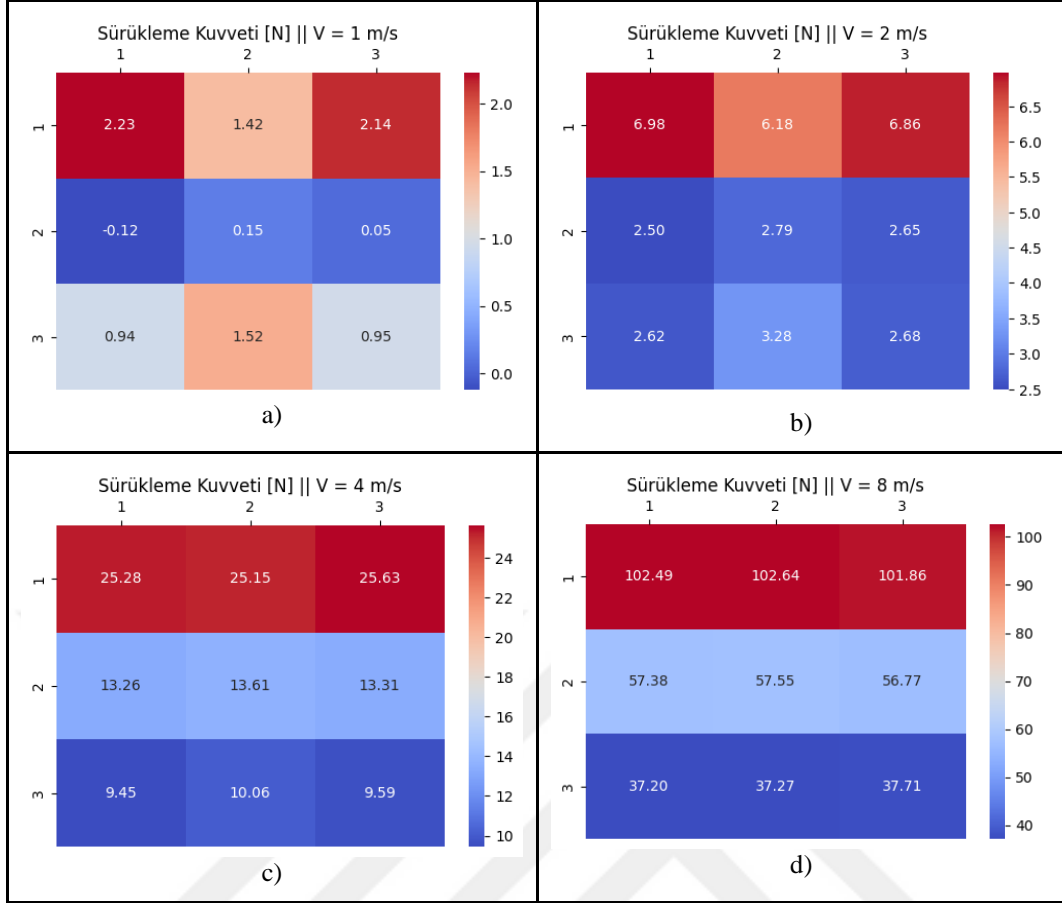
Şekil 3.7 P3x2 için sürüklenme ve kaldırma kuvvet katsayıları

Şekil 3.7’de P3x2 düzeninde sürüklenme ve kaldırma kuvvet katsayıları verilmiştir. Şekil incelendiğinde ön sırada olan platformlarda oluşan sürüklenme kuvvet katsayıları hızın artışı ile azalarak sabit kalmakta, ikinci sıradaki platformlardan elde edilen sürüklenme kuvvet katsayıları ise ilk sıraya göre tersine artarak sabit kalmaktadır. Üçüncü sıradaki platformlarda ise tüm hızlarda neredeyse sabit bir sürüklenme katsayısı elde edilmiştir. Bu grafikten anlaşılacağı üzere düşük hızlarda akım doğrultusunda orta sırada olan platformlar en düşük sürüklenme kuvvetine maruz kalırken, hızın artışı ile ada yapısında akım yönüne göre azalan sürüklenme kuvvet katsayısı elde edilmektedir. Bu durum düşük hızlarda tandem etkiyi oluşturan arka iz girdap bölgesinin küçük, hızın artışı ile bu bölgenin büyüyerek arka sıraya kadar etkileyebildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.8 P3x3 için sürüklenme ve kaldırma kuvveti katsayıları

Şekil 3.8’de en geniş ada yapısını temsil eden 3x3 toplam 9 platforma sahip düzen için kuvvet katsayıları verilmiştir. P3x2 formuna benzer şekilde ikinci ve üçüncü sırada bulunan platformlar hıza bağlı olarak tandem etkinin içerisinde kalmaktadır. Diğer ada yapılarından farklı olarak tek satır sırasında 3 adet platform olduğu için ortada kalan platform sağ ve sol başta yer alan platformlara göre çok daha az şekilde hıza bağlı olduğu görülmektedir. Buradan da türbülans etkisi altında değişen sürüklenme kuvvet katsayılarının aslında iki baştaki yapılarda ve açık uçlar tarafında oluşan akım ayrılmalarıyla domine olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3.9 P3x3 için sürüklenme kuvvetlerine bağlı ısı haritaları

Şekil 3.9'da en büyük ada yapısına göre farklı hızlardaki sürüklenme kuvvetlerinin her bir platform için elde edildiği değerlere göre oluşturulan ısı haritaları görülmektedir. Dikkat edilecek olursa tandem etki düşük sürüklenme kuvveti oluşturduğundan hızın belirli bir miktarda artışına bağlı olarak tandem etkide önce artış görülmekte hızın daha fazla artışına göre azalmaktadır. Özellikle $V=2$ m/s hızında ikinci ve üçüncü sıradaki tüm platformlar tandem etki altında düşük sürüklenme kuvveti göstermiştir. Bu da ada yapılarının büyüklüğüne ve rüzgar hızına bağlı olarak optimum bir noktada düşük kuvvetleri ürettiği anlamına gelmektedir.

4 SONUÇ

Yapılan çalışma son dönemlerde gerek iklim değişikliği gerek savaşlar ve afetler sonucunda gıda güvenliğini tehdit eden tarımsal alandaki olumsuzluklar göz önüne alınarak yerinde üretim ve birim alandan en fazla ürün eldesi fikri ile ortaya bir model koymaktadır.

Su kaynağı olan baraj gölleri ve tatlı su kapalı havzaları üzerine kurulan yüzer tarım alanları gelecekte gıda güvenliğinin vazgeçilmez bir parçası olmayı hedeflemektedir.

Yüzer tarım alanlarını oluştururken birim platformların farklı sayılarda ve düzende bir araya getirilerek ölçek üretimi sağlayarak kullanılması gerecektir. Bu kapsamda bu yapılara gelecek dışsal kuvvetlere dayanıklı olarak üretilmeleri elzem olacaktır. En temel dışsal kuvvet de kapalı su havzasında olduğundan dolayı yüzer sistemleri zorlayacak rüzgar kuvvetleridir.

Çalışmada farklı sayı ve yerleşimde ada yapısını temsil edecek şekilde kurulan sistemlerin üzerine farklı hızlarda rüzgar akışı uygulanmış, yapıların buna karşı ürettikleri sürüklenme ve kaldırma kuvvetleri irdelenmiştir.

Öncelikle aerodinamik kaldırma kuvvetleri yapıların simetriğe yakın formda üretilmesi nedeniyle çok düşük değerler verdiği anlaşılmıştır. Yapıyı zorlayacak en büyük kuvvet bileşeninin sürüklenme yönündeki kuvvet bileşeni olduğu anlaşılmıştır.

Peş peşe eklenen platformların rüzgar doğrultusunda birbirlerini etkiledikleri ve özellikle tandem etki altında beklenen daha az kuvvet bileşeni ürettikleri anlaşılmıştır.

Ayrıca farklı hızlara göre ada yapısında tandem etki altında kalan platform sayısının değiştiği ve optimum bir hız ile platform yapısının yakalanabileceği görülmüştür.

Gelecek çalışmalarda şuan sayısal olarak modellenen ve sabit gövde yaklaşımı ile çözülen yapıların yüzer olmasından dolayı farklı serbestlik derecelerinde yeniden analiz edilmesi sonuçları zenginleştirecektir. Ayrıca kurulan yapıların deneysel olarak da incelenmesinin sayısal olarak modellerde görülemeyen bazı davranış ayrıntılarının keşfedilmesini sağlayacaktır.



- [1] H. Sayed, Q. Ding, A. Odero, ve T. Korohou, “Selection of appropriate mechanization to achieve sustainability for smallholder farms: a review”, *Al-Azhar Journal of Agricultural Engineering*, c. 2, sy 2, ss. 52-60, Ağu. 2022, doi: 10.21608/azeng.2022.252902.
- [2] World urbanization prospects: the 2018 revision. New York: United Nations, 2019.
- [3] A. Mukherji, T. Shah, ve M. Giordano, “Managing energy-irrigation nexus in India: a typology of state interventions.”, 2012.
- [4] K. R. Caffrey ve M. W. Veal, “Conducting an Agricultural Life Cycle Assessment: Challenges and Perspectives”, *The Scientific World Journal*, c. 2013, sy 1, s. 472431, 2013, doi: 10.1155/2013/472431.
- [5] M. Dubbeling, H. de Zeeuw, ve R. van Veenhuizen, *Cities, poverty and food: multi-stakeholder policy and planning in urban agriculture*. 2010.
- [6] C. L. Walthall ve et al. [+55, “Climate Change and Agriculture in the United States: Effects and Adaptation”, 2013. doi: 10.22004/ag.econ.344569.
- [7] S. Oh, G. Cave, ve C. Lu, “Vitamin B12 (Cobalamin) and Micronutrient Fortification in Food Crops Using Nanoparticle Technology”, *Front. Plant Sci.*, c. 12, Ağu. 2021, doi: 10.3389/fpls.2021.668819.
- [8] C. Mbow vd., “Food security”, Oca. 2019, Erişim: 12 Mayıs 2025. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://figshare.utas.edu.au/articles/chapter/Food_security/23201480/2
- [9] P. D. Nunn, “The end of the Pacific? Effects of sea level rise on Pacific Island livelihoods”, *Singapore Journal of Tropical Geography*, c. 34, sy 2, ss. 143-171, 2013, doi: 10.1111/sjtg.12021.
- [10] J. Rockström vd., “Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability”, *Ambio*, c. 46, sy 1, ss. 4-17, Şub. 2017, doi: 10.1007/s13280-016-0793-6.
- [11] K. Frenken, R. L. and W. D. eng Fao, ve B. Kiersch, *Monitoring agricultural water use at country level: Experiences of a pilot project in Benin and Ethiopia*. 2011. Erişim: 13 Mayıs 2025. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://agris.fao.org/search/en/providers/122621/records/647762375eb437ddf786741>
- [12] B. A. Burlingame ve S. Dernini, *Sustainable diets and biodiversity: directions and solutions for policy, research and action*. Rome: FAO, 2012.
- [13] C. B. Iwai, T. Khaung, J. Prasopsuk, ve B. Ravindran, “Environmental risk assessment of floating gardens in Inle Lake, Myanmar”, *Urban Climate*, c. 44, s. 101194, Tem. 2022, doi: 10.1016/j.uclim.2022.101194.
- [14] E. Crist, C. Mora, ve R. Engelman, “The interaction of human population, food production, and biodiversity protection”, *Science*, c. 356, sy 6335, ss. 260-264, Nis. 2017, doi: 10.1126/science.aal2011.

- [15] J. A. Foley vd., “Solutions for a cultivated planet”, *Nature*, c. 478, sy 7369, ss. 337-342, Eki. 2011, doi: 10.1038/nature10452.
- [16] H. C. J. Godfray vd., “Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People”, *Science*, c. 327, sy 5967, ss. 812-818, Şub. 2010, doi: 10.1126/science.1185383.
- [17] T. D. Searchinger, S. Wirsenius, T. Beringer, ve P. Dumas, “Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change”, *Nature*, c. 564, sy 7735, ss. 249-253, Ara. 2018, doi: 10.1038/s41586-018-0757-z.
- [18] B. L. Bodirsky vd., “The ongoing nutrition transition thwarts long-term targets for food security, public health and environmental protection”, *Scientific Reports*, c. 10, sy 1, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-75213-3.
- [19] K. Hardy, T. Orridge, X. Heynes, S. Gunasena, S. Grundy, ve C. Lu, “Farming the future: Contemporary innovations enhancing sustainability in the agri-sector”, *Annu. Plant Rev*, c. 4, ss. 263-294, 2021.
- [20] F. and A. O. of the U. Nations, *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. Fao, 2017.
- [21] U. Shakoar, A. Saboor, I. Ali, ve A. Q. Mohsin, “Impact of climate change on agriculture: empirical evidence from arid region”, *Pak. J. Agri. Sci*, c. 48, sy 4, ss. 327-333, 2011.
- [22] FAO, “The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture”, Roma, 2020.
- [23] D. G. Acker, “Improving the quality of higher education in agriculture globally in the 21st century: Constraints and opportunities”, *Journal of International Agricultural and Extension Education*, c. 6, sy 2, ss. 47-53, 1999.
- [24] K. Hidefumi, T. Sekine, S. Murayama, T. Aoyagi, K. Mitamura, ve L. X. Li Xiang, “Impacts of climate change on Japanese radish in Ichihara and their potential implications.”, 2016.
- [25] B. P. Patra, A. Panda, K. Harshvardhan, S. Pradhan, ve S. Mohaptra, “Advances vertical farming: Innovations, challenges and sustainable agriculture for the future (Chapter 18)”, *Farming for the Future: Smart Agriculture Innovations*. Renu Publisher, New Delhi, ss. 273-287, 2023.
- [26] E. Mohareb, M. Heller, P. Novak, B. Goldstein, X. Fonoll, ve L. Raskin, “Considerations for reducing food system energy demand while scaling up urban agriculture”, *Environ. Res. Lett.*, c. 12, sy 12, s. 125004, Ara. 2017, doi: 10.1088/1748-9326/aa889b.
- [27] G. Barbosa vd., Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. *IJERPH* 12, 6879–6891. 2015.
- [28] “Contributions of Local Farming to Urban Sustainability in the Northeast United States | Environmental Science & Technology”. Erişim: 13 Mayıs 2025. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.7b01011>
- [29] D. Coley, M. Howard, ve M. Winter, “Local food, food miles and carbon emissions: A comparison of farm shop and mass distribution approaches”,

- Food Policy, c. 34, sy 2, ss. 150-155, Nis. 2009, doi: 10.1016/j.foodpol.2008.11.001.
- [30] T. Van Gerrewey, N. Boon, ve D. Geelen, “Vertical Farming: The Only Way Is Up?”, *Agronomy*, c. 12, sy 1, Art. sy 1, Oca. 2022, doi: 10.3390/agronomy12010002.
- [31] A. Hamza, R. E. Abdelraouf, Y. I. Helmy, ve S. M. M. El-Sawy, “Using deep water culture as one of the important hydroponic systems for saving water, mineral fertilizers and improving the productivity of lettuce crop”, *International Journal of Health Sciences*, c. 6, sy S9, ss. 2311-2331, 2022.
- [32] M. S. Abu-Shahba, M. M. Mansour, H. I. Mohamed, ve M. R. Sofy, “Comparative Cultivation and Biochemical Analysis of Iceberg Lettuce Grown in Sand Soil and Hydroponics With or Without Microbubbles and Macrobubbles”, *J Soil Sci Plant Nutr*, c. 21, sy 1, ss. 389-403, Mar. 2021, doi: 10.1007/s42729-020-00368-x.
- [33] N. A. Araya vd., “Sustainable Soilless Recirculating Hydroponics for Productive Use of Marginal Lands: A South African Context”, içinde *The Marginal Soils of Africa: Rethinking Uses, Management and Reclamation*, A. D. Nciizah, A. Roopnarain, B. Ndaba, ve M. E. Malobane, Ed., Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, ss. 279-306. doi: 10.1007/978-3-031-55185-7_15.
- [34] R. M. Royston ve M. P. Pavithra, “Vertical farming: A concept”, *International Journal of Engineering and Techniques*, c. 4, sy 3, ss. 500-506, 2018.
- [35] M. S. Sonawane, “Status of vertical farming in India”, *International Journal of Applied Science and Technology*, c. 9, sy 4, ss. 122-125, 2018.
- [36] P. Barui, P. Ghosh, ve U. Debangshi, “Vertical farming-an overview.”, *Plant Archives (09725210)*, c. 22, sy 2, 2022.
- [37] S. Singh, P. Singh, A. Kumar, A. K. Baheliya, ve K. K. Patel, “Promoting Environmental Sustainability Through Vertical Farming: A Review”.
- [38] C. Eigenbrod ve N. Gruda, “Urban vegetable for food security in cities. A review”, *Agron. Sustain. Dev.*, c. 35, sy 2, ss. 483-498, Nis. 2015, doi: 10.1007/s13593-014-0273-y.
- [39] D. Despommier, “The vertical farm: controlled environment agriculture carried out in tall buildings would create greater food safety and security for large urban populations”, *J. Verbr. Lebensm.*, c. 6, sy 2, ss. 233-236, Haz. 2011, doi: 10.1007/s00003-010-0654-3.
- [40] S. H. van Delden vd., “Current status and future challenges in implementing and upscaling vertical farming systems”, *Nat Food*, c. 2, sy 12, ss. 944-956, Ara. 2021, doi: 10.1038/s43016-021-00402-w.
- [41] D. D. Avgoustaki ve G. Xydis, “Chapter One - How energy innovation in indoor vertical farming can improve food security, sustainability, and food safety?”, içinde *Advances in Food Security and Sustainability*, c. 5, M. J. Cohen, Ed., Elsevier, 2020, ss. 1-51. doi: 10.1016/bs.af2s.2020.08.002.
- [42] O. Akaeze ve D. Nandwani, *Urban agriculture in Asia to meet the food production challenges of urbanization: A review. Urban Agriculture and Regional Food Systems*, 2020; 5: e20002: 1-7. 2020.

- [43] M. M. Maroneze, L. Q. Zepka, J. G. Vieira, M. I. Queiroz, ve E. Jacob-Lopes, “A tecnologia de remoção de fósforo: gerenciamento do elemento em resíduos industriais”, *Rev. Ambient. Água*, c. 9, ss. 445-458, Eyl. 2014, doi: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1403>.
- [44] U. Debangshi, “Hydroponics—an overview”, *Chronicle of Bioresource Management*, c. 5, sy 3, ss. 110-114, 2021.
- [45] F. A. Khan, “A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture”, *int. j. agric. environ. food sci.*, c. 2, sy 2, Art. sy 2, Nis. 2018, doi: 10.31015/jaefs.18010.
- [46] M. Majid, J. N. Khan, Q. M. Ahmad Shah, K. Z. Masoodi, B. Afroza, ve S. Parvaze, “Evaluation of hydroponic systems for the cultivation of Lettuce (*Lactuca sativa* L., var. *Longifolia*) and comparison with protected soil-based cultivation”, *Agricultural Water Management*, c. 245, s. 106572, Şub. 2021, doi: 10.1016/j.agwat.2020.106572.
- [47] S. Lee ve J. Lee, “Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods”, *Scientia Horticulturae*, c. 195, ss. 206-215, Kas. 2015, doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.011.
- [48] M. D. Sardare ve S. V. Admane, “A review on plant without soil-hydroponics”, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, c. 2, sy 3, ss. 299-304, 2013.
- [49] T. Kozai, G. Niu, ve M. Takagaki, *Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production*. Academic press, 2019.
- [50] “Current perspective on nutrient solution management strategies to improve the nutrient and water use efficiency in hydroponic systems”, *Canadian Journal of Plant Science*, c. 104, sy 2, ss. 88-102, Kas. 2023, doi: 10.1139/cjps-2023-0034.
- [51] M. Y. Nasri ve A. Belhamri, “Effects of the climatic conditions and the shape on the drying kinetics, Application to solar drying of potato-case of Maghreb’s region”, *Journal of Cleaner Production*, c. 183, ss. 1241-1251, May. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.103.
- [52] E. Cabrera, E. Gómez, E. Cabrera, J. Soriano, ve V. Espert, “Energy Assessment of Pressurized Water Systems”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, c. 141, sy 8, s. 04014095, Ağu. 2015, doi: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000494.
- [53] J. Wanyama vd., “Development of a solar powered smart irrigation control system Kit”, *Smart Agricultural Technology*, c. 5, s. 100273, Eki. 2023, doi: 10.1016/j.atech.2023.100273.
- [54] S. Noubondieu, A. Flammini, ve S. Bracco, “Costs and benefits of solar irrigation systems in Senegal”, 2018.
- [55] A. Kerem, M. Atik, ve A. Bayram, “Fotovoltaik (PV) Panel Sisteminde Yüzey Soğutma İşleminin Elektrik Üretimine Etkisinin Deneysel İncelenmesi”, *IJERAD*, c. 12, sy 2, Art. sy 2, Haz. 2020, doi: 10.29137/umagd.659347.
- [56] N. K. Singh, A. Goswami, ve P. K. Sadhu, “Energy economics and environmental assessment of hybrid hydel-floating solar photovoltaic systems

for cost-effective low-carbon clean energy generation”, *Clean Techn Environ Policy*, c. 25, sy 4, ss. 1339-1360, May. 2023, doi: 10.1007/s10098-022-02448-1.

- [57] R. Nagananthini ve R. and Nagavinothini, “Investigation on floating photovoltaic covering system in rural Indian reservoir to minimize evaporation loss”, *International Journal of Sustainable Energy*, c. 40, sy 8, ss. 781-805, Eyl. 2021, doi: 10.1080/14786451.2020.1870975.



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. D. Tuptaş ve A. Yurtseven, “Numerical Investigation of Hydrodynamic Behavior of Floating Agricultural Applications Platforms,” II. International Future Engineering Conference, April 28-29, 2025 / Baku, Azerbaijan

