NUMERICAL INVESTIGATION OF HYDRODYNAMIC BEHAVIOR OF FLOATING AGRICULTURAL APPLICATIONS PLATFORMS

YÜZER TARIM UYGULAMALARI PLATFORMLARININ HİDRODİNAMİK DAVRANIŞININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Doğan TUPTAŞ

Müh., Yildiz Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaati Ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaati Ve Gemi Makineleri Mühendisliği, İstanbul, Türkiye.

ORCID ID: https://orcid.org/0009-0000-1488-794X

AHMET YURTSEVEN

Doç.Dr., Yildiz Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaati Ve Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği, İstanbul, Türkiye.

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2561-1783

ÖZET

Küresel ölçekte iklim değişikliği, doğal afetler, nüfus artışı, tarım arazilerinin azalması ve su kaynaklarının tükenmesi, tarımsal üretim üzerinde ciddi baskılar oluşturmaktadır. Bu gelişmeler, gıda güvenliğini tehdit ederken, tarımın daha verimli, üretken ve iklim koşullarına dayanıklı hale getirilmesini zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, üretimden tüketime uzanan süreçte yaşanan yüksek fire oranları, hem ekonomik kayıplara yol açmakta hem de tarım ürünleri fiyatlarını küresel düzeyde artırmaktadır. Bu sorunlara karşı geliştirilen yeni nesil tarım teknolojileri, özellikle üretimin yerinde yapılmasını ve su kaynaklarının daha etkin kullanılmasını ön plana çıkarmaktadır. Bu kapsamda, su kültürüne dayalı modern tarım uygulamaları, sınırlı alanlarda dikey üretime olanak sağlayarak daha kontrollü sulama ve besleme imkânı sunmakta; böylece tarımsal sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır.

Tarımda su kadar önemli bir diğer temel girdi de enerjidir. Özellikle sulama suyunun kaynaktan tarım alanlarına taşınması süreci, ciddi bir enerji tüketimini beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, geleneksel vahşi sulama yöntemlerinden akıllı sulama sistemlerine geçiş, hem suyu daha verimli kullanmakta hem de enerji ihtiyacını azaltmaktadır. Son yıllarda, suyun bulunduğu kaynaklara yakın alanlarda tarım yapılması yaklaşımı, su ve enerji tasarrufu açısından dikkat çeken bir çözüm olarak ön plana çıkmıştır. Bu bağlamda, sulama ihtiyacını karşılamak için çoğunlukla akarsular üzerine inşa edilen sulama barajları, hem suyun depolanmasını hem de tarımsal üretime yakınlaştırılmasını sağlayarak kaynakların daha etkin kullanılmasına katkı sunmaktadır.

Bu çalışmada, sulama barajları üzerine yerleştirilecek yüzer tarım platformları aracılığıyla, sulama için gereken enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve sınırlı alanlarda yüksek verim elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, yenilikçi bir ada yapısı tasarlanmış ve bu yapıya etki eden rüzgar yükleri, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Yapının üzerine gelen farklı rüzgar hızlarının ve hâkim rüzgar yönlerinin, platformun yerleşim kararları üzerinde belirleyici olduğu; yerleşim düzenine bağlı olarak yapı üzerindeki kuvvetlerin doğru biçimde belirlenmesinin büyük önem taşıdığı görülmüştür. Ayrıca, rüzgar kaynaklı girdapların yapı üzerinde zamana bağlı değişken yükler oluşturduğu tespit edilmiş, bu değişkenliklerin yapı stabilitesi açısından dikkate alınması gerektiği anlaşılmıştır. Bu kapsamda, platformun karaya güvenli biçimde

sabitlenebilmesi için kullanılacak tutturma ekipmanlarının taşıma kapasiteleri de detaylı biçimde değerlendirilmiştir.

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

ABSTRACT

On a global scale, climate change, natural disasters, population growth, diminishing agricultural land and depleting water resources are putting serious pressures on agricultural production. These developments threaten food security and make it imperative to make agriculture more efficient, productive and resilient to climatic conditions. In addition, high wastage rates from production to consumption cause economic losses and increase the prices of agricultural products globally. The new generation of agricultural technologies developed to address these problems emphasize on-site production and more efficient use of water resources. In this context, modern agricultural practices based on water culture enable vertical production in limited areas and provide more controlled irrigation and feeding, thus contributing to agricultural sustainability.

Energy is another basic input as important as water in agriculture. In particular, the process of transporting irrigation water from the source to the agricultural fields brings with it a significant energy consumption. Therefore, the transition from traditional wild irrigation methods to smart irrigation systems both uses water more efficiently and reduces the need for energy. In recent years, the approach of farming in areas close to water sources has come to the forefront as a remarkable solution in terms of water and energy savings. In this context, irrigation dams, which are mostly built on rivers to meet irrigation needs, contribute to more efficient use of resources by both storing water and bringing it closer to agricultural production.

In this study, it is aimed to reduce the energy costs required for irrigation and to achieve high yields in limited areas through floating agricultural platforms to be placed on irrigation dams. To this end, an innovative island structure was designed and the wind loads acting on this structure were analyzed using Computational Fluid Dynamics (CFD) methods. It has been observed that different wind speeds and prevailing wind directions are decisive on the layout decisions of the platform and it is of great importance to accurately determine the forces on the structure depending on the layout. In addition, it was determined that wind-induced vortices create time-dependent variable loads on the structure, and it was understood that these variations should be taken into account in terms of structural stability. In this context, the carrying capacities of the anchoring equipment to be used for the safe anchoring of the platform to the land were also evaluated in detail.

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

GİRİŞ

Dünya genelinde hızla artan nüfus, enerji, su ve besin kaynaklarına olan talebi önemli ölçüde artırmaktadır (Sayed vd., 2022). Özellikle nüfusun yarısından fazlasının yaşadığı ve 2050 yılına kadar bu oranın %70'i aşmasının beklendiği kentlerde, bu artış ciddi bir kaynak yönetimi sorununa dönüşmektedir (*World Urbanization Prospects*, 2019). Artan kentleşme ve kaynak üzerindeki baskı göz önüne alındığında, tarımın sürdürülebilirliği günümüzün en kritik meselelerinden biri hâline gelmiştir.

Küresel ölçekte değerlendirildiğinde, çekilen tatlı suyun yaklaşık %70'inin tarımsal sulama amacıyla kullanıldığı, toplam su tüketiminin ise %80 ila %90 gibi büyük bir kısmının doğrudan bu süreçlerde gerçekleştiği görülmektedir (Gleick, 2009). Bu durum, tarımın su kaynakları üzerindeki baskısını açıkça ortaya koymakta ve mevcut kaynakların daha verimli kullanımını zorunlu kılmaktadır.

İklim değişikliğinin etkileri de bu sorunu daha karmaşık hâle getirmektedir. Özellikle su ve gıda gibi yaşamsal kaynaklar üzerindeki baskının artması, tarımsal sistemlerin bu değişime uyum sağlama

kapasitesini küresel gıda güvenliğinin sürdürülebilirliği açısından hayati bir konu hâline getirmiştir. Zira tarımsal üretim sistemleri; iklim, toprak ve yönetim uygulamalarıyla doğrudan etkileşim içinde olan, karmaşık ve çok yönlü yapılar sergilemektedir (Walthall & et al. [+55, 2013).

Bu kapsamda, tarım sektörü hem iklim değişikliğinin etkileri hem de artan nüfus baskısı nedeniyle su kaynaklarına erişimde ciddi zorluklarla karşı karşıyadır. Küresel tatlı su kaynaklarının yaklaşık %70'ini tüketen tarım faaliyetlerinde, azalan arazi ve su olanaklarına rağmen üretkenliğin sürdürülmesi için yenilikçi su yönetimi stratejileri ile hassas tarım teknolojilerinin entegrasyonu kaçınılmaz hâle gelmiştir (FAO, 2020).

Bu doğrultuda geliştirilen hassas tarım ve akıllı sulama teknolojileri, toprak nemi, iklim verileri ve bitki ihtiyaçlarını esas alan izleme ve kontrol sistemleri ile suyun doğru zamanda ve doğru miktarda uygulanmasını sağlamaktadır. Bu sayede, geleneksel sulama yöntemlerinde sıkça karşılaşılan su israfı, besin kaybı ve verim düşüklüğü gibi sorunların önüne geçilebilmekte, hem kaynak kullanımı optimize edilmekte hem de sürdürülebilir tarıma katkı sağlanmaktadır (Bwambale vd., 2022).

Yüzen yataklı tarım, sel baskınlarının mahsuller üzerindeki zararlarını azaltma, su kaynaklarının korunmasına katkı sağlama ve toprak bozulmasını önleme gibi çok yönlü çevresel ve tarımsal faydalar sunan yenilikçi bir üretim yöntemidir (Chowdhury & Moore, 2017). Yüzen yataklı tarım, ürünlerin göller, nehirler veya göletler gibi su kütleleri üzerinde konumlanan yüzer platformlar ya da sal yapılar üzerinde yetiştirildiği yenilikçi bir tarım uygulamasıdır (Ghosh vd., 2024) .

Yüzen yapılar; yerçekimi, dalga kuvvetleri, seviye değişimleri gibi çeşitli etkilere maruz kalsa da, bu kuvvetlerin tüm dinamik benzerliklerini sağlayacak ölçekli ve tam anlamıyla gerçek bir model mevcut değildir; ancak bu da zorunlu değildir, çünkü bu kuvvetlerden yalnızca birkaçı yüzer yapıların dinamik davranışlarını belirleyici şekilde etkiler (Steven A. Hughes, t.y.).

Son yıllarda yapılan araştırmalar, girdap kopmasının düşük hızlarda oluşmadığını ve yüksek türbülans seviyelerinde türbülansın bu kopmayı bastırdığını ortaya koymuştur; bu nedenle, zamana bağlı olmayan sürekli bir akış ancak cismin doğal frekansıyla rezonansa girdiğinde, yani kritik hız ve periyodik frekansta, akış yönüne dik büyük kuvvetler oluşturur ve eğer yapı bu kuvvetlere karşı yeterince dayanıklı değilse, yapısal hasarlar veya kırılmalar meydana gelebilir (Dexter & Ricker, 2002).

Bu çalışmada, sulama barajlarına yerleştirilecek yüzer tarım platformları ile sulama enerjisi maliyetlerini azaltmak ve sınırlı alanlarda yüksek verim sağlamak amaçlanmıştır. Bu kapsamda tasarlanan ada yapısına etki eden rüzgar yükleri CFD yöntemleriyle analiz edilmiş; rüzgar hızları ve yönlerinin yerleşim kararları ile yapı üzerindeki kuvvetleri önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Rüzgar kaynaklı girdapların zamana bağlı değişken yükler oluşturduğu ve bu yüklerin yapı stabilitesi açısından kritik olduğu belirlenmiş, platformun güvenli sabitlenmesi için tutturma ekipmanlarının taşıma kapasiteleri detaylı şekilde incelenmiştir.

YÖNTEM

Yöntem bölümünde; matematik model ve sayısal model hakkında bilgi verilmiştir. Analizlerde ticari bir kod olan Simcenter STAR-CCM+ programından yararlanılmıştır.

Matematik Model

Çalışmada kullanılan üç boyutlu, zamana bağlı, sıkıştırılamaz ve türbülanslı akış için kullanılan yönetici denklemler aşağıdaki gibidir;

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \qquad (1)$$

Akış hacminde çözülen problem kütle korunumu için süreklilik denklemine verilir.

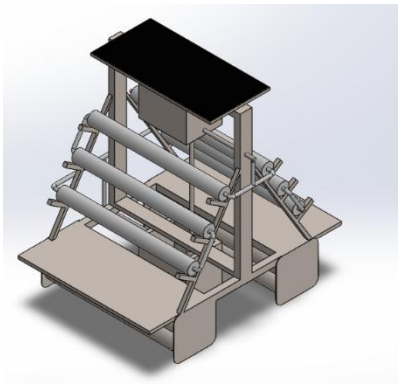
$$\frac{\partial \rho u}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho u^2+p-\tau_{xx}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\rho uv-\tau_{xy}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\rho uw-\tau_{xz}\right)=\rho f_x \qquad (2a)$$

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho uv-\tau_{xy}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\rho v^2+p-\tau_{yy}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\rho vw-\tau_{yz}\right)=\rho f_y \qquad (2b)$$

$$\frac{\partial \rho w}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho uw-\tau_{xz}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\rho vw-\tau_{yz}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\rho w^2+p-\tau_{zz}\right)=\rho f_z \qquad (2c)$$

Sayısal Model

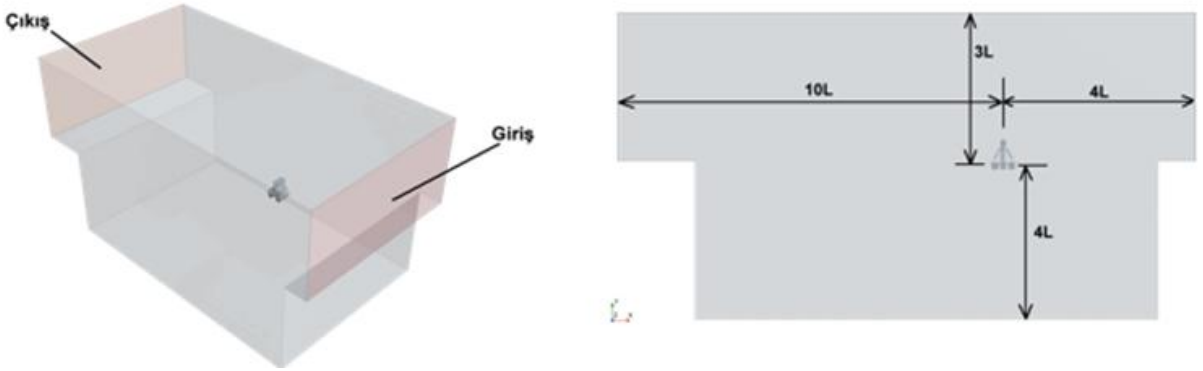
Geometri ve Çözüm Hacmi



Şekil 1: Tekil yüzer platform tasarımı

Şekil 1'de yüzer tarım için tasarlanan tekil olarak ada yapısında kullanılacak modülün bilgisayar destekli tasarımı gösterilmiştir. İki adet boyuna yüzdürücü üzerine inşa edilen yapıda sancak ve iskele olmak üzere iki cephede üçer tarım kolonu yerleştirilmiştir. Yüzdürücüler ortasında tarım kolonlarına su beslenmesi için kullanılacak ana su tankı, merkez düzlemde üst noktada sıvı gübre ile temiz suyun

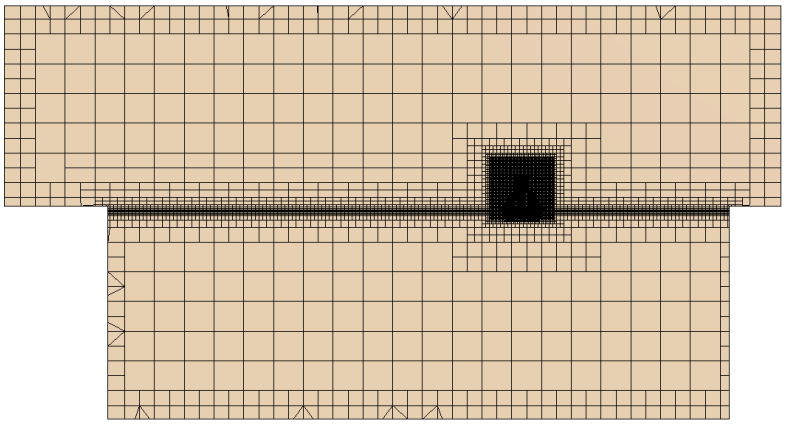
karıştırıldığı karışım tankı yer almaktadır. Yine yüzdürücüler arasında ana tanktan besin tankına su sirküle edecek bir sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Modül üst kısmına sirkülasyon pompasının güç ihtiyacını karşılamak üzere PV panel eklenmiştir. Besin tankından tarım kolonlarına besleyici sıvı transferi yerçekimi kullanılarak aktarılmaktadır.



Şekil 2 : Çözüm hacminin boyutları ve Giriş-Çıkış sınır yüzeyleri

Çözümün gerçekleştirilmesi için Şekil 2'de boyut ve sınır ayrıntılarının verildiği çözüm hacmi tasarlanmıştır. Modülün yukarı akım bölümü 4 cisim boyu, aşağı akım bölümü 10 cisim boyu, derinlik yönü 4 cisim boyu yükseklik yönü 3 cisim boyu olacak şekilde boyutlandırılmıştır.

Çözüm Ağı



Şekil 3:Mesh yapısı 2 boyutlu düzlem

Şekil 3'de, analize ait yapısal 3 boyutlu çözüm ağının merkez kesit üzerindeki görünüşü verilmiştir.

Analiz edilen yapının yakın çevresi daha hassas çözüm ağı ile modellenirken, serbest su yüzeyinin oluşacağı bölge de yoğunluk değişimi ve dalga deformasyonunu doğru şekilde çözebilmek için hassas çözünürlükte örülmüştür. Cisim üzerinde oluşan hız gradyanlarını hesaplayabilmek için kalınlaşan çözünürlüklü sınır tabaka (boundary layer) çözüm elemanları tercih edilmiştir.

Çözüm Ağı Yakınsama İndeksi (GCI)

GCI, farklı ağ (mesh/grid) çözünürlüklerinde yapılan sayısal simülasyon sonuçlarının birbirine ne kadar yakın olduğunu ölçen bir yöntemdir; bir sayısal çözümün mesh bağımsızlığına ulaşıp ulaşmadığını kontrol etmek için kullanılır. Yani çözüm, ağ inceldikçe (grid küçüldükçe) değişmiyorsa, çözüm güvenilirdir; eğer sonuçlar ağ değişimiyle çok fazla değişiyorsa, çözüm henüz tam doğruya yakın değildir.

```
GCI Hesaplama için girişleri girin:
Eleman sayısı (N) - Kaba ağ: 881520
Eleman sayısı (N) - Orta ağ: 1797455
Eleman sayısı (N) - İnce ağ: 3582052
Numerik Çözüm (f) - Kaba ağ: 3.3175
Numerik Çözüm (f) - Orta ağ: 1.9902
Numerik Çözüm (f) - İnce ağ: 1.97082

GCI Hesaplama Sonuçları:
  Çözüm Ağı  Eleman Sayısı (N)  Numerik Çözüm (f)  GCI 21 (%)  GCI 32 (%)  Yakınsama Oranı (p)
Ağ 1 (Kaba)             881520            3.31750    2.458395         NaN            17.796981
Ağ 2 (Orta)            1797455            1.99020         NaN    0.041211                  NaN
Ağ 3 (İnce)            3582052            1.97082         NaN         NaN                  NaN

Sonuçlar ağ bağımsızlığına ulaşmıştır, çünkü GCI < %5.
```

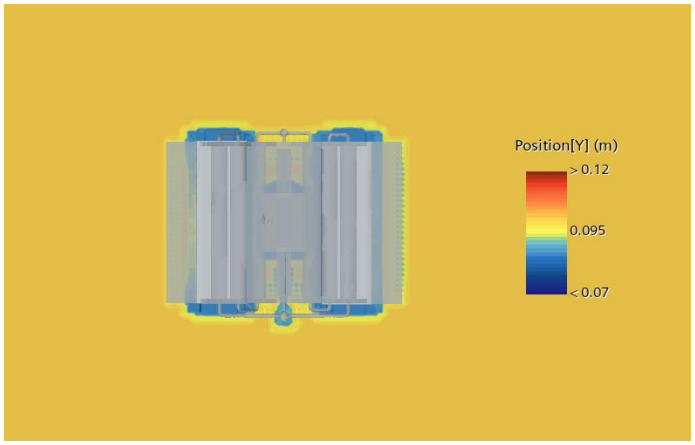
Bu analizde, Mesh 02 (orta çözünürlükte ağ) seçilmiştir çünkü GCI 32 değeri %0.05'in altındadır. Bu, çözümün ağdan bağımsız olduğunu ve daha ince ağla çözüm alınmasının anlamlı bir katkı sağlamadığını göstermektedir. Böylece daha kısa sürede ve yeterli doğrulukta hesaplama yapılabilir.

Sınır Şartları

Yapılan CFD analizinde yüzer platformun etrafındaki akış hacmini modellemek üzere hız girişi sınırından 1 m/s rüzgar hızı tanımlanmıştır; giriş kısmından herhangi bir akıntı hızı verilmemiş, giriş sınır yüzeyinde su hacimsel fraksiyonu (Volume Fraction of water) "0" olarak alınmıştır. Çıkış sınır yüzeyinde "dP/dx = 0" sınır şartı kullanılarak açık hava basıncında bir akış çıkışı elde edilmiştir; cisim harici kalan tüm yüzeyler "kaymama koşulu olmayan" duvar sınır şartı ile kullanılmıştır. Serbest su yüzeyinin yüzer platform kaidesinden 0.5 m yükseklikte olduğu başlangıç koşulu ile belirlenmiştir ve cisim tam boylu (Full Body) olarak analiz edilmiştir.

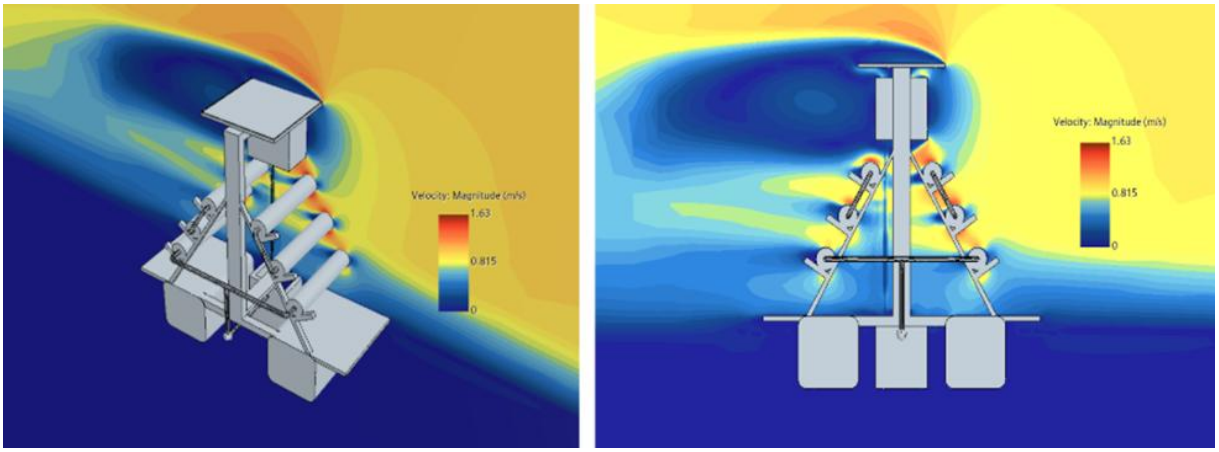
SONUÇLAR

.



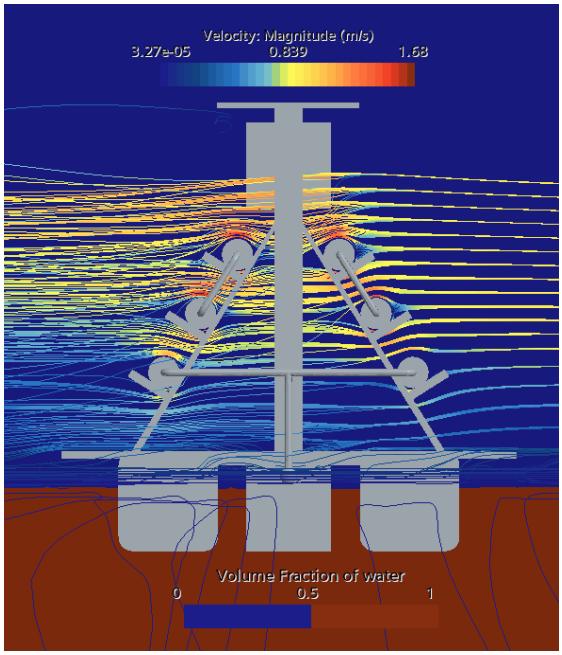
Şekil 4: Serbest yüzey deformasyonu görünümü

Şekil 4'de yüzer platforma üstten bakılarak serbest su yüzeyi deformasyonu gösterilmektedir. Önceki yansıda da bahsedildiği üzere herhangi bir akıntı sınır şartı verilmediği ve cismin sabit kabul edildiği bu modelde serbest su yüzeyinde bir dalga deformasyonuna rastlanmamıştır.



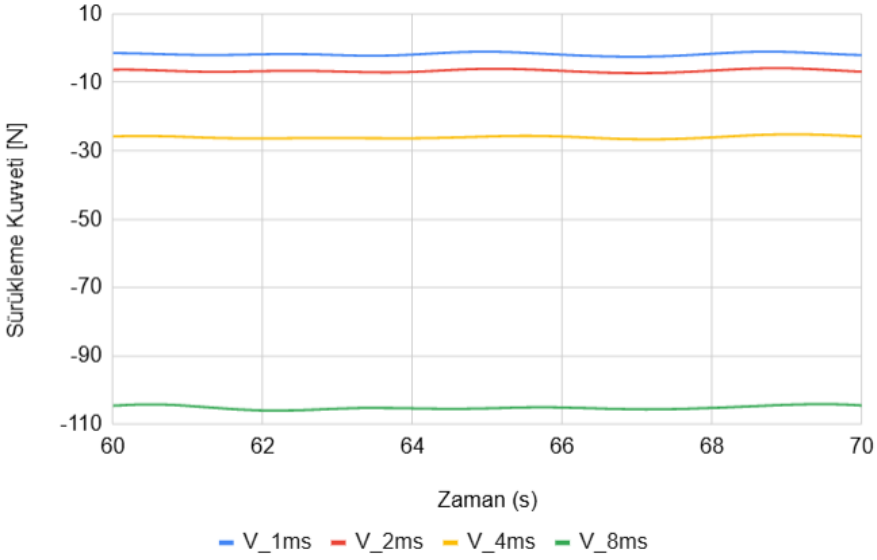
Şekil 5 :Orta kesit üzerindeki hız dağılımı

Şekil 5'de orta kesit üzerinde hız dağılımları gösterilmektedir. Problemin geometri özellikleri nedeniyle tarım ürünlerinin yetiştirildiği silindirik yapıların etrafında oluşan karmaşık akış ortamı ve silindirler arasındaki etkileşim, hız dağılımlarının karmaşık bir ortam oluşmasına neden 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 6:Platform etrafındaki akım hatları

Şekil 6'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 yönde gerçekleştiği görülmektedir. Serbest su yüzeyine yaklaşıldığında ise serbest akım hızının azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 7: Farklı rüzgar hızlarında zamana bağlı sürüklenme kuvvetleri

Şekil 7'de platform üzerine gelen farklı rüzgar hızlarına göre tekil modülün sürüklenme kuvveti değerleri verilmiştir. Hızın artışı ile toplam sürüklenme kuvvetleri de artmaktadır. Her hızda kuvvet değerlerinde salınım miktarları benzer görüntüler göstermiştir. İleriki çalışmalarda bu yapının etrafında oluşan girdap alanlarının daha iyi çözülmesi için uyarlanabilir çözüm ağı iyileştirme metotları kullanılarak çözüm ağı kalitesi yerel olarak artırılması önerilir.

KAYNAKÇA

Bwambale, E., Abagale, F. K., & Anornu, G. K. (2022). Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. *Agricultural Water Management*, *260*, 107324. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107324

Chowdhury, R. B., & Moore, G. A. (2017). Floating agriculture: A potential cleaner production technique for climate change adaptation and sustainable community development in Bangladesh. *Journal of Cleaner Production*, *150*, 371-389. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.060

Dexter, R. J., & Ricker, M. J. (with National Cooperative Highway Research Program, National Research Council (U.S.), American Association of State Highway and Transportation Officials, & United States). (2002). *Fatigue-resistant design of cantilevered signal, sign, and light supports*. National Academy Press.

FAO. (2020). The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture. *Roma*.

Ghosh, T. K., Singh, A. K., Mitra, S., & Karmakar, S. (2024). Gathering insights of the global scenario of floating-bed agriculture through systematic literature review for its promotion in Indian context. *Progress in Disaster Science*, *24*, 100367. https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2024.100367

Gleick, P. H. (with Internet Archive). (2009). *The world's water, 2008-2009: The biennial report on freshwater resources*. Washington, DC : Island Press. http://archive.org/details/worldswater200820000glei_l8r1

Sayed, H., Ding, Q., Odero, A., & Korohou, T. (2022). Selection of appropriate mechanization to achieve sustainability for smallholder farms: A review. *Al-Azhar Journal of Agricultural Engineering*, *2*(2), 52-60. https://doi.org/10.21608/azeng.2022.252902

Steven A. Hughes. (t.y.). *Physical models and laboratory techniques in coastal engineering / Steven A. Hughes*. Geliş tarihi 02 Mayıs 2025, gönderen https://www.nlb.gov.sg/main/book-detail?cmsuuid=ee37083a-1a2d-48aa-953c-cad0c1a37e1e

Walthall, C. L., & et al. [+55. (2013). *Climate Change and Agriculture in the United States: Effects and Adaptation* (Technical Bulletin No. 1935). https://doi.org/10.22004/ag.econ.344569

World urbanization prospects: The 2018 revision. (2019). United Nations.