

Sürdürülebilir Gıda Üretiminde Dikey Tarımın Rolü

İlgin MUTLUBAŞ¹, Melike MİLLİ²

Sürdürülebilir Gıda Üretiminde Dikey Tarımın Rolü

The Role of Vertical Farming in Sustainable Food Production

Öz

Günümüzde artan insan nüfusuna bağlı olarak gıda üretimi ve tüketimi giderek artmaktadır. Elverişli tarım arazilerine ulaşılabilirlik ise zorlaşarak geleneksel tarımın yerini hidroponik, akuaponik ve aeroponik gibi alternatif tarım yöntemleri almıştır. Dikey tarımın, tarım arazisine ihtiyaç duymaksızın daha fazla döngüsel gıda mahsulü elde etme imkânı sunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca mahsullerin yetiştirme sezonu boyunca uygunsuz iklim koşullarından, yabancı ot ve hastalıklardan, çevre kirliliğinden etkilenmeden gelişim gösterdiği gözlenmiştir. Bu çalışmada, dikey tarımın gıda üretimi olmak üzere tarım endüstrisinin ekonomik gelişimi ve ekosistem bütünlüğünün sağlanmasına yönelik faydalı etkilerinin saptanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda bulgular, nitel araştırma tekniklerinden doküman analiz yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Dikey tarım ve sürdürülebilir gıda üretimi ekseninde literatürde yer alan birincil kaynaklar incelenerek elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile; gıda üretimi, tarım endüstrisinin ekonomik gelişimi ve ekolojik sürdürülebilirliğin sağlanması gibi yaralı bakış açılarının geliştirebileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir Gıda Üretimi, Dikey Tarım, Aeroponik Sistem, Hidroponik Sistem, Aeroponik Sistem

Abstract

Nowadays, food production and consumption are increasing due to the increasing human population. Access to suitable agricultural lands has become difficult and traditional agriculture has been replaced by alternative agricultural methods such as hydroponics, aquaponics and aeroponics. It has been found that vertical farming offers the opportunity to produce more circular food crops without the need for agricultural land. In addition, it has been observed that the crops develop throughout the growing season without being affected by unfavorable climatic conditions, weeds and diseases, and environmental pollution. This study aimed to determine the beneficial effects of vertical farming on the economic development of the agricultural industry, including food production, and ensuring ecosystem integrity. For this purpose, the findings were obtained using the document analysis method, one of the qualitative research techniques. By evaluating the data obtained by examining the primary sources in the literature on the axis of vertical farming and sustainable food production; It is envisaged that beneficial perspectives such as food production, economic development of the agricultural industry and ensuring ecological sustainability can be developed.

Keywords: Sustainable Food Production, Vertical Farming, Aeroponic System, Hydroponic System, Aeroponic System

Makale Türü: Araştırma Makalesi

Paper Type: Research article

¹ Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Rumeli Üniversitesi, Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları, ilgin.mutlubas@rumeli.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-3965-8286>

² Tezli Yüksek Lisans Öğrencisi, Kastamonu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gastronomi ve Mutfak Sanatları, melikemilli190@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-0610-922X>

1. Giriş

Dünya genelinde ekilebilir tarım arazilerinin, artan insan nüfusuna bağlı olarak azalması ve üretim sahalarının yerleşim alanlarına dönüştürülmesi, küresel ölçekte gıda arzını tehdit eden önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Mevcut tarımsal üretimin artan gıda talebini karşılamakta yetersiz kalması, günümüzde olduğu gibi gelecekte de uluslararası düzeyde bir sorun haline gelme potansiyeline sahiptir. Bu bağlamda, üretim alanlarının genişletilmesi ve alternatif tarım tekniklerinin uygulanması, küresel gıda güvenliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu doğrultuda geliştirilen dikey tarım sistemi, kontrollü bir ortamda, çok katmanlı dikey sütunlar halinde bitki yetiştirilmesine olanak tanımakta ve mevsimsel değişimlerden bağımsız olarak %90'a varan verim artışı sağlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca, dikey tarım uygulamaları, izolasyonu sağlanmış her türlü kapalı ortamda gerçekleştirilebilme özelliğiyle, farklı coğrafi ve iklimsel koşullara uyum sağlayabilen evrensel bir tarım modeli olarak değerlendirilmektedir (Karadağ vd., 2020).

Yapılan araştırmalar, dünya genelinde yaklaşık 27 milyon kilometrekare ekilebilir tarım arazisi bulunduğunu göstermektedir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından yürütülen çalışmalar neticesinde, dünya çapında kişi başına düşen kullanılabilir tarım arazisi miktarının 0,218 hektar olduğu, ancak bu rakamın 2050 yılı itibarıyla 0,181 hektara kadar gerileyeceği öngörülmektedir (Bingöl, 2015). Türkiye'de ise, Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2020 yılında yayımladığı verilere göre, toplam tarım alanı 38.462 bin hektar olarak belirlenmiştir. Kişi başına düşen tarım arazisi miktarı ise 1990 yılında 0,76 hektarken, 2018 yılında 0,46 hektara, 2020 yılı itibarıyla ise 0,28 hektara kadar gerileyerek önemli bir düşüş göstermiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022). Tarım arazilerinin yanlış kullanımı ve beşerî müdahaleler sonucunda özelliklerini kaybederek verimsiz hale gelmesi küresel çapta önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu kapsamda, dünya genelinde bozuluma uğramış tarım arazilerinin toplam alanının 25 milyon hektarın üzerinde olduğu tahmin edilmektedir (Dirik ve Cemil, 2005). Nüfus artışına bağlı olarak kişi başına düşen tarım arazisi miktarındaki azalmanın yanı sıra, tarımsal üretime ayrılan su kaynaklarının da hem dünya genelinde hem de Türkiye'de oldukça yüksek seviyelere ulaştığı görülmektedir. Türkiye'de mevcut su tüketiminin %74'ü tarımsal sulama, %16'sı içme suyu temini, %10'u ise sanayi kullanımı için ayrılmıştır. Tarımsal sulama faaliyetlerinin kontrollü bir şekilde yönetilmesi, mevcut su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Tarımsal sulamadan kaynaklanan aşırı su tüketimi, küresel ölçekte tarımsal üretimi olumsuz yönde etkilemekte ve artan nüfusun su ihtiyacını karşılamada yetersiz kalmaktadır (Aydoğdu vd., 2015). Bu çerçevede, geleneksel tarım yöntemleri yerini giderek alternatif tarım tekniklerine bırakmaktadır. Artan nüfusla birlikte, tarım arazilerinin büyük şehir merkezlerinden uzak konumlanması, tarım ürünlerine erişimde zaman kaybına yol açmakta; ayrıca, beşerî ve doğal faktörlerden kaynaklanan toprak kayıpları gibi olumsuzluklar, dikey tarım kavramının ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Dikey tarım, tarım arazisine ihtiyaç duymadan topraksız tarım uygulamalarını mümkün kılarak sürdürülebilir kalkınmayı desteklemekte, kaynakların nesiller arasında aktarımını sağlamakta ve insan-ekosistem dengesi bozulmadan tarımsal üretimi sürdürmeyi amaçlamaktadır (Karakayacı, 2010).

Günümüzde artan nüfus, kentleşme ve iklim değişikliği gibi faktörler, tarımsal üretimde yeni ve sürdürülebilir yöntemlerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Dikey tarım, özellikle kent içi tarım olanaklarını artırarak, gıda üretimini optimize eden yenilikçi bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, literatürde dikey tarım üzerine yapılan çalışmalar, bu yöntemin ekonomik, ekolojik ve sosyal yönlerini ele alarak çeşitli çözüm önerileri sunmaktadır. Şahin ve Topçu (2024), dikey tarımı kentsel tarım tekniklerinden biri olarak değerlendirmiş ve bu yöntemin kentlerdeki gıda ihtiyaçlarını karşılamada önemli bir rol oynadığını vurgulamıştır. Aynı zamanda, küresel iklim sorunlarına yönelik çözüm önerileri sunarak, dikey tarım ile alternatif tarım tekniklerinin birlikte ele alınması gerektiğini savunmuştur. Samastı vd. (2023), teknolojik olanakları gelişmiş akıllı kentlerde dikey tarım faaliyetlerini

analiz ederek, kapasite, talep, ekonomik analiz, sosyal ve çevresel yansımalar gibi çeşitli faktörleri değerlendirmiştir. Çalışma, dikey tarımın yıllık mahsul ihtiyacının %15'ini karşılayabileceğini ve yatırım maliyetinin dört yıl içinde geri kazanılabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, taşımacılığın azalmasıyla karbon salınımının düştüğüne dikkat çekmiş, ancak geleneksel tarıma kıyasla ürün lezzetinin düşük olması ve enerji bağımlılığı gibi risk faktörlerine de işaret etmiştir. Yavuz vd. (2023), dikey tarımı "topraksız tarım" ekseninde ele alarak, şehirlerde, uzay istasyonlarında ve gastronomi alanında bu yöntemin gıda üretimindeki katkılarını incelemiştir. Çılgınoğlu vd. (2022), dikey tarımın sürdürülebilir gastronomiye katkılarını incelemiş ve dikey tarımla üretilen gıdaların hormonsuz olması nedeniyle gastronomik sürdürülebilirliği sağlama potansiyeline sahip olduğunu belirtmiştir. Bunun yanı sıra, dikey tarımın su tüketiminin geleneksel tarıma oranla daha düşük olduğu ve steril alanlarda üretim yapılabildiği vurgulanmıştır. Cankül ve Toprak (2022), dikey tarım sistemlerinin işleyişini ele alarak, bu yöntemin mevsimsel değişimlerden bağımsız olarak üretimi sürdürme, çevre ve ekosistemi koruma gibi faydalarına dikkat çekmiştir. Karadağ ve diğerleri (2020), dikey tarımı "kapalı bitkisel üretim" ekseninde değerlendirerek, küresel ekolojik tahribata karşı bir çözüm olabileceğini öne sürmüştür. Bingöl (2019), dikey tarım sistemlerini genel bir çerçevede ele alarak, bu yöntemin geleneksel tarıma kıyasla su tüketimini azaltma, daha kaliteli mahsul üretme ve bitki hastalıklarından korunma gibi avantajlarına dikkat çekmiştir. Gökırmaklı ve Bayram (2018), gıda üretiminde gelecekte yaşanabilecek sorunlara karşı dikey tarımın alternatif bir çözüm sunduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmada ise, dikey tarım sistemlerinin avantajları ve dezavantajları ele alınarak genel bir bilgi havuzu oluşturulmuştur. Mevcut literatür ışığında, dikey tarımın yalnızca insanları değil, ekosistemdeki tüm canlıları etkileyen önemli bir faktör olduğu vurgulanmaktadır. Bu kapsamda, dikey tarımın sürdürülebilir bir teknik olarak değerlendirilmesi, özellikle yiyecek ve içecek işletmeleri açısından ekonomik dalgalanmalara, tarımda dışa bağımlılığa, su kıtlığı risklerine ve yer altı su kaynaklarının aşırı kullanımına karşı çözüm önerileri sunmaktadır.

2. Dikey Tarım Kavramı

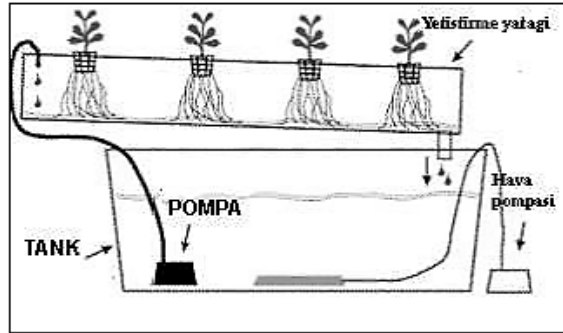
Dikey tarım kavramı ilk olarak 1915 yılında Gilbert Ellis'in Dikey Tarım adlı eserinde ele alınmıştır. Bu alandaki ilk deneysel çalışmalar ise 1950 yılında Danimarka'da tere otu hasadı ile başlamıştır. 1999 yılında mikrobiyolog Dr. Dickson Despommier, dikey tarımı sistematik bir şekilde araştırmış ve kent içinde oluşturulan dikey alanlardan elde edilen verimin, geleneksel tarım yöntemleriyle elde edilenden on kat daha fazla olabileceğini öne sürmüştür (Şahin ve Kendirli, 2016). Despommier, üniversite öğrencileriyle birlikte, 50.000 kişinin besin ihtiyacını karşılayabilecek bir gökdelen çiftliği tasarlamış ve bu çalışma, dikey tarım fikrinin yaygınlaşmasına katkı sağlamıştır (Sabry, 2021). Dikey tarım üzerine yapılan çalışmalar 2009 yılında Paignton Hayvanat Bahçesi Çevre Parkı'nda dikey çiftliklerin kurulmasına yönelik bir cihaz geliştirilmesiyle uygulama aşamasına geçmiştir. 2012 yılında Singapur'da Sky Green Farms adıyla ilk dikey tarım alanı kurulmuş, 2013 yılında ise Almanya'da sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek amacıyla dikey tarım derneği oluşturulmuştur (Çılgınoğlu vd., 2022). Türkiye'de ise 2022 yılında dünyanın en büyük ikinci dikey tarım çiftliği olan İstanbul Kapalı Dikey Tarım Uygulama Merkezi faaliyete geçmiştir. İleri teknoloji kullanılarak tasarlanan bu merkez, Türkiye'de kurulan ilk ve tek dikey tarım ünitesi olma niteliğini taşımaktadır. Kağıthane Kongre Merkezi'nde konumlanan bu tesiste, geleneksel tarım yöntemlerine ihtiyaç duyulmadan, yapay ışık kaynakları (LED aydınlatma sistemleri) kullanılarak fotosentez gerçekleştirilmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022). Dikey tarım uygulamaları, sürdürülebilir kalkınmayı desteklemesi açısından küresel ölçekte büyük bir öneme sahiptir. 2050 yılı itibarıyla dünya nüfusunun üç milyar kişi artacağı ve bu nüfusun yaklaşık %80'inin şehirleşmiş bölgelerde yaşayacağı öngörülmektedir (Barui vd., 2022). Bu bağlamda, dikey tarım sistemleri; su, enerji ve toprak gibi doğal kaynakların tüketimini en aza indirerek, ekolojik sürdürülebilirliği ve insan sağlığını destekleyen bir tarım modeli sunmaktadır (Öztürk, 2021). Dikey tarımın uygulanabilmesi için hidroponik, akuaponik ve aeroponik gibi yöntemler kullanılmakta olup, bu

sistemlerde LED teknolojileri yardımıyla dikey alanlarda bitki yetiştirilmektedir. Bu yöntemler, dikey tarımın verimliliğini artırmayı ve tarımsal üretimde zaman ile emek tasarrufu sağlamayı amaçlayan yenilikçi uygulamalar olarak tasarlanmıştır (Bingöl, 2019).

2.1. Hidroponik Üretim Sistemi

Hidroponik üretim sistemi, bitkilerin tarımsal toprağa ihtiyaç duymadan, köklerine doğrudan sulu bir çözelti içerisinde mineral ve besin takviyesi uygulanarak yetiştirilmesini sağlayan bir yöntemdir (MEB, 2008). Bu sistem, bitki köklerine sağlanan besin takviyesi sayesinde mahsulün gelişimini desteklemenin yanı sıra, hastalıklı köklerin tedavi edilmesine ve bitkinin daha sağlıklı bir şekilde büyümesine de katkı sağlamaktadır (Goddek ve Körner, 2019). Güvenilir ve kaliteli gıda üretiminde, hammaddenin yetiştirildiği ortamın niteliği büyük önem taşımaktadır. Bir tarım mahsulünden elde edilen optimum kalite, üretim sürecinde uygulanan yöntemlerin gelişmişlik düzeyiyle doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, hidroponik sistemlerden elde edilen mahsullerin steril bir ortamda yetiştirilebilmesi için tarımsal filtreleme, ısı kontrolü, ozon ve ultraviyole radyasyon gibi çevre dostu tekniklerin kullanılması gerekmektedir (Januszkewicz ve Jarmusz, 2017). Hidroponik sistemlerde bitkiler, besin ihtiyaçlarını doğrudan tarım arazisinden değil, özel olarak hazırlanmış besin çözeltilerinden karşılamaktadır. Bu sayede, bitkilerin büyüme süreci hızlanmakta ve geleneksel yöntemlere kıyasla daha kısa sürede nihai ürün elde edilebilmektedir (Bingöl, 2019).

Şekil 1. Hidroponik Üretim Sistemi Şeması



Kaynak: (Bingöl, 2019).

Hidroponik tarım sistemleri, dünya genelinde ilk kez 1699 yılında İngiltere’de basit yöntem ve teknikler kullanılarak uygulanmıştır. İlerleyen yıllarda, Avrupa’da sulu besin takviyeleri geliştirilmiş ve topraksız tarım sistemlerinin bilinirliği artmıştır. Bu sistemlerin küresel çapta tanınması ise 2004-2005 yıllarında ticari bir firma tarafından yeşil yem üretimi amacıyla yaygınlaştırılmasıyla gerçekleşmiştir. Türkiye’de ise hidroponik yöntemler ilk kez 2009 yılında ticari şirketler tarafından taze kaba yem üretiminde kullanılmıştır (Kılıç, 2016). Günümüzde hidroponik sistemle yalnızca roka ve marul gibi yapraklı sebzeler değil, aynı zamanda patlıcan ve domates gibi çekirdekli sebzeler de yetiştirilmektedir (Okumuş, 2019). Hidroponik tarım sisteminin uygulanabilirliği belirli avantajlar ve dezavantajlar içermektedir. Bu unsurlar Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Hidroponik Yetiştiriciliğin Avantaj ve Dezavantajları

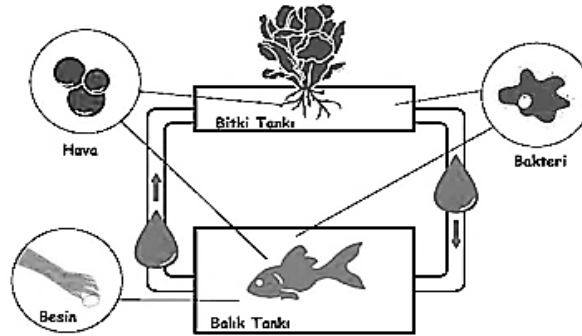
Avantajları	Sistemli ve kontrollü olarak bitki yetiştirmeyi hedefler. Bu sayede dış etmenlerden uzak risksiz bitki yetiştiriciliği yapılır.
	Su ve toprak olanaklarından daha kolay yararlanır, tasarruf sağlanır.
	Su sirkülasyonu ile üretim devamlılığı sağlanır, sürdürülebilir gıda anlayışını destekler.
	Ekosistem dengesi korunur ve bu yöntemde kullanılan gübre doğal çevreye zarar vermez.
	Yılın her döneminde üretim yapabilme olanağı sunar. Geleneksel yetiştiricilikten farklı olarak elde edilen ticari gelir ve mahsul üretim kapasitesi daha yüksektir.
	Birim alandan tasarruf sağlar, niteliksiz alanlarda tarıma katkıda bulunur.
Dezavantajları	Bu yöntemde çalıştırılacak personelin kalifiye personel olması ve sistem hakkında bilgi sahibi olması gerektiğinden personel bulma konusunda problemler yaşanabilir.
	Hidroponik sistemde yetiştirilen ürünün hassas ve dikkat gerektirecek nitelikte olması.
	Ürünü yetiştirirken önceden uygulanmaya hazır halde bir 'yetiştiricilik planı' hazırlamak gerekmektedir. Nitekim oluşabilecek sorunlara karşı (bitki hastalıkları) çözüm olanakları önceden belirlenmiş olmalıdır. Aksi takdirde kısa sürede ürüne müdahale edilemeyeceğinden, hastalık yapıcı bileşenlerin tüm bitkilere yayılma riski bulunmaktadır.
	Kurulan tesis masrafının ilkinde mahsus maliyetli yüksek olması

Kaynak: (Adak, 2010).

2.2. Akuaponik Üretim Sistemi

Akuaponik üretim, aynı ortamda balık ve bitki yetiştiriciliğinin sağlandığı, su ürünleri yetiştiriciliği ile topraksız tarım uygulamalarının birleşimiyle oluşturulan bir üretim modelidir. Bu sistemde balık ve bitki tankları birbirine bağlı olup, balık atıkları bitki gelişimi için gerekli organik besin maddesi işlevini görmektedir (Mirici ve Baykır, 2020). Ayrıca, akuaponik sistemlerde tarım mahsulü yetiştirmek için kullanılan su miktarının geleneksel yöntemlere kıyasla yaklaşık onda bire düşürülerek maksimum su veriminin sağlandığı bilinmektedir (İzci vd., 2020). Akuaponik üretim sistemleri, Akuaponik Bahçecilik Topluluğu tarafından "sürekli dönüşüm halinde olan ekosistemlerde bitki ve balık yetiştirme yöntemi" olarak tanımlanmaktadır (Bildirici ve Bildirici, 2021). Bu sistemde bitkiler, besinlerini balıkların organik atıklarından ve yararlı mikroorganizmalardan elde etmektedir (Aishwarya vd., 2018).

Şekil 2. Akuaponik Üretim Şeması



Kaynak: (Kargın ve Bilgüven, 2018)

Akuaponik sistemde bitki yetiştiriciliği 3 aşamada gerçekleşmektedir. Bu aşamalar şu şekildedir;

1. **Aşama:** Balık yetiştirilir ve bitki besini için atık üretilir.
2. **Aşama:** Zararlı mikroorganizmalar (kurtçuklar, mikroplar vb.) bitki yetiştiriciliği için besine (gübre) dönüştürülür. Bu aşamada ileri teknolojiye dezenfekte uygulamalarından yararlanır.
3. **Aşama:** Bitki üretimi gerçekleştirilir (Bernstein, 2011).

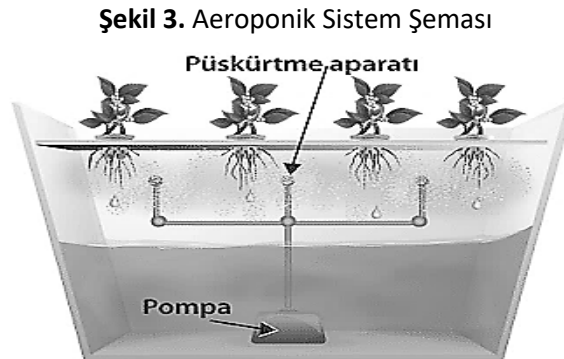
Akuaponik tarım sistemi, atık yönetimini kontrollü bir şekilde sağlayarak çevreye optimum düzeyde katkıda bulunduğu tespit edilmiştir (Rakocy vd., 2006). Bu sistem, topraklı tarıma kıyasla %75 daha az enerji kullanımı sağlarken; nakliye masraflarını, iş gücü yükünü, iklime bağlılığı ve sulama suyu gibi tarımsal sorunları da minimum düzeye indirmeyi amaçlamaktadır (Kızak, 2016). Ayrıca, bu yöntemle elde edilen ürünlerin organik ve temiz gıda özellikleri taşıdığı belirlenmiştir.

Ancak, akuaponik tarım yöntemlerinin sürdürülebilir ekosisteme sağladığı faydaların yanı sıra, havuz sisteminin yol açtığı bazı problemler de bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir (Dede ve Türkan, 2009):

- Akuaponik üretim sistemi için gerekli olan ekipmanların bakım, onarım gibi maliyet gerektiren giderlerinin yüksek olması.
- Su sirkülasyonunu sağlayan pompa sisteminin aktif bir şekilde suyu sterilize edebilmesi için fazla enerji gereksinimi olması.
- Pompa sistemindeki tıkanıklık gibi arızaların bitkiler ve balıklar üzerinde doğrudan olumsuz etkiler yaratması, bu nedenle sistem kontrollerinin sürekli yapılması gerekliliği.
- Balıkların beslenebilmesi için kaliteli yem tercih edilmesi, ancak kaliteli besin takviyelerinin ticari maliyetinin yüksek olması.
- Balık atıklarından kaynaklanan tıkanmaların oluşması.
- Su içerisindeki hızlı gelişen bakterilerin ortamda çoğalması ve bu bakterilerin bitkiler için hastalık yapıcı özellikler taşıması.
- Geleneksel tarıma göre daha dikkatli davranılması gereken bir sistem olması.
- Kullanılan suyun kalitesinin, özellikle pH ve sıcaklık derecesi gibi niteliklerinin sabit tutulması ve canlı yaşamına uygun şekilde stabilize edilmesi gerekliliği.

2.3. Aeroponik Üretim Sistemi

Aeroponik üretim sistemleri, sisleme ve havalandırma yöntemlerinin bir arada kullanıldığı alternatif bir tarım yöntemidir. Bu sistemde, toprak kullanılmaz ve bitkiler dikey düzlemde havaya asılır. Bitki köklerine doğrudan karbondioksit ve besin çözeltisi, sis halinde uygulanır ve bitkiler yapay LED ışığa maruz bırakılır. Bu yöntemle, bitkilerin daha sağlıklı bir şekilde büyümeleri için uygun sıcaklık ve nem ortamı sağlanır (Şimşek ve Gül, 2018).



Kaynak: (Toprakvesu.com)

Yapılan araştırmalar, aeroponik sistemin iklim sorunlarını %80 oranında ortadan kaldırarak topraksız üretimin sürdürülebilirliğini yüksek oranda sağladığını ortaya koymuştur (Rivera vd., 2023). Bu yöntemde, genellikle mikro yeşillikler, filizler, bahçe yeşillikleri ve hızlıca tüketilmesi gereken bitkiler yetiştirilmektedir (Singh vd., 2022). Aeroponik tarım sisteminin, geleneksel tarım yöntemlerine kıyasla bitki gelişim döneminde ve hasat zamanı sırasında kök kısmına neredeyse hiç zarar vermediği belirlenmiştir. Ayrıca, bu yöntem çölleşme riskini de tamamen ortadan kaldırmıştır (Lin vd., 2022).

Topraksız tarıma dayalı aeroponik üretim sistemi ile ilgili ilk bilgiler 1920'li yıllarda ortaya çıkmıştır. 1940-1942 yılları arasında teknolojik çalışmalar ve modern tarım denemelerinin gelişmesiyle, sürdürülebilir yetiştiriciliğin önü açılmıştır. Bu gelişmeler, ilerleyen yıllarda L.J. Klotz'un sis teknolojisini kullanarak bitki köklerini incelemesi ile aeroponik sistemle ilgili çalışmalara zemin hazırlamıştır ve bu çalışmalar günümüze kadar devam etmiştir. Aeroponik sistem, akuaponik ve hidroponik üretim yöntemlerinden farklı olarak genellikle patates üretimi için tercih edilen topraksız tarım yöntemidir (Ngawang, 2019). Aeroponik tarım yöntemi, diğer sistemlerden farklı olarak tamamen kapalı bir ortamda uygulanmaz. Bitki gelişimi genellikle yarı açık bir ortamda sağlanır. Bu durum, bitkilerin geleneksel tarım sistemindeki gibi olumsuz dış etmenlerden daha az etkilenmesini sağlar (Choudhury ve Dutta, 2024). Tüm ortam koşulları sağlandığında, aeroponik sistemin sürdürülebilir yetiştiriciliğe olan katkısı belirginleşmiştir. Ekolojiye zarar vermeden ve doğal kaynakları minimum düzeyde kullanarak, günümüzde ve gelecekte güvenilir gıdaya ulaşmanın yolu kolaylaşmıştır (Tunio ve Gao, 2020). Aeroponik üretim, bitki yetiştirme ortamındaki nem ve havayı muhafaza ederek bitki gelişimini destekler. Oksijen sistemi sürekli çalışır, bu sayede bitki kökleri oksijenle temas ederek havalanır ve gelişimi daha sağlıklı olur. Bu durum, geleneksel tarıma göre bitkilerin daha hızlı bir şekilde gelişimini tamamlamasını sağlar. Sistemde yetiştirilen bitkinin nem ve sıcaklık ihtiyacına göre ortamda bulunan mekanizmalar devreye girer; sıcaklık düştüğünde veya aşırı yükseldiğinde soğutma sistemi çalışarak ortamın dengesini korur. Bu teknolojik özellik sayesinde, mahsulün sıcaklık dengesi sağlanır, ürünün gelişimi risk altına girmez ve ürün kalitesi stabil hale gelir (Shinde vd., 2016). Aeroponik sistemlerin uygulandığı ortamda en uygun sıcaklık değeri yaklaşık 23°C olmalıdır. Ayrıca, nem dengesinin sağlanabilmesi için optimum nem oranı %80 civarında olmalıdır (Fatchanuddin, 2015). Tüm bu ortam koşulları sağlandığında, aeroponik sistemin sürdürülebilir yetiştiriciliğe olan katkısı açıkça görülmektedir. Ekolojiye zarar vermeden ve doğal kaynakları minimum düzeyde kullanarak, günümüzde ve gelecekte güvenilir gıdaya ulaşmak daha kolay hale gelmektedir (Tunio ve Gao, 2020).

1.4. Merkezi Dikey Çiftlikler

Dikey tarım uygulamaları, sürdürülebilir yetiştiriciliğin devamlılığını sağlayabilmek için kurulmuş kapalı sistemler bütünüdür. Dikey çiftlikler ise tarım uygulamalarını gerçekleştirebilmek adına oluşturulmuş dikey sütunlu yapay alanlardır. Dünya genelinde, dikey çiftlikler, özellikle bireylerin besin tedarik etme imkânlarının zorlaştığı, tarım yapılacak doğal ve beşerî alanların yetersiz kaldığı, artan nüfusun kendi gereksinimlerini karşılayamadığı, yerel çiftçilerin yeterince desteklenmediği, hayat pahalılığının yüksek olduğu ve iklim ile sıcaklık gibi faktörlerin tarıma uygun olmadığı ülkelerde daha fazla merak konusu olmuştur (Şahin ve Kendirli, 2016). Geliştirilen dikey çiftlikler, sürdürülebilir kalkınmayı ve kentsel gelişmişlik düzeyini artırmayı amaçlayan, geleceğe yönelik tasarlanmış sistemlerdir. Bugün, kentsel gelişimi destekleyen bu dikey merkezlerin, sürdürülebilir kalkınma açısından pek çok olumlu fayda sağladığı tespit edilmiştir. Bu faydalar (Aydın, 2017);

- İnsanlara yararlı bir bakış açısı kazandırma, ekolojik sorunlara çözüm önerileri yaratma, küresel ve kentsel bazda istihdam sağlama olanağı kazandırma.
- Ekonomik kalkınmayı sağlama, uluslararası ticaret olanaklarını geliştirme.
- Toplumsal üretkenliği ve bilinç düzeyini artırma (Akçakaya, 2016).

- Diğer sanayi şirketlerinden bağımsız doğaya zararlı ve tehlikeli atıkları minimum düzeyde salma.
- Dikey merkezlerde çalışanların can güvenliği, sosyal ve ekonomik yönden çalışan ferahının yüksek olması.
- Üretilen ürünlerin doğaya fayda sağlaması ve toplumsal talep niteliğinde olması.

1.5. Konteyner Dikey Çiftlikler

Dünya genelinde, stratejik açıdan savaş, yıkım, siyasi olaylar veya ekosistemden kaynaklanan doğal afetler, ekolojik dengenin bozulması gibi çeşitli sebeplerle kullanılmayan tünel ve sığınak gibi kapalı alanlarda dikey tarım sistemleri kurularak bu alanlar tarım arazisi olarak değerlendirilmiştir. Bu uygulama sayesinde terkedilmiş, niteliksiz alanlar, toplumun tarımsal mahsul ihtiyacını ciddi oranda karşılayan, verimli ve ekolojik düzene katkı sağlayan alanlara dönüştürülmüştür. Dünyadaki geri dönüşüm çiftlikleri, genellikle nüfus yoğunluğunun çok yüksek, teknolojik gelişmenin ise insan nüfusuna kıyasla ileri düzeyde olduğu ülkelerde kurulmuştur (Doğru, 2022). Dünya genelinde kurulmuş olan stratejik öneme sahip geri dönüşüm çiftlikleri, Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2. Dünya Genelinde Geri Dönüştürülmüş Bazı Dikey Çiftlikler

Kuruluş Yılı/ Çiftlik Adı	Girişimci	Genel Merkez	Geri Dönüşüm Alanı
2015, Growing Underground	Richard Ballard Steven Dring.	Birleşik Krallık, Londra	İkinci Dünya savaşından kalma stratejik öneme sahip yer altı sığınağında kurulan dikey tarım merkezi.
2017, Nexton	Choi Jae-bin	Güney Kore	Ölümcül kazalara sebep olan dar virajlara sahip olması sebebiyle araç trafiğine kapatılan tünel geçidi.
2018, The Floating Farm	Minke Van Wingerden	Hollanda, Rotterdam	Güney Hollanda’ da Merwehaven kanalı yüzeyinde faaliyet gösteren dikey tarım ve hayvan çiftliği.

Kaynak: (www.yesilgazete.org., 2018; www.weforum.org., 2021; www.bbc.com., 2018).

1.6. Çatıda Dikey Tarım

Çatıda Dikey tarım fikrinin tarihte ilk kez, Antik dönemden kalma Babil’in Asma Bahçelerinden etkilenilerek ortaya atıldığı ve günümüzde de çatıda tarım fikrine uyarlandığı düşünülmektedir.

Çatıda tarım fikrinin ilk yansımaları, 1900’lü yıllarda dönemin önemli sanatçılarından olan peyzaj mimarı Harry Maasz’ın teorileri tarafından desteklenmiştir. Kuzey Amerika Kıtası ve Asya bölgesinde, nüfus yoğunluğu nedeniyle çatıda tarım fikri merak konusu haline gelmiştir (Aras, 2019). Çatıda dikey tarım uygulaması ile, binaların teras katlarında, restoranların kullanılmayan çatı katlarında uygun koşullar (sıcaklık, nem, ışık) sağlanarak tarım yapılma imkânı doğmuştur. Çatı tarımının gerçekleştirildiği işletmelerde, alandan tasarruf sağlanırken aynı zamanda yerinde mahsul tedarik etme fırsatının işletmelere kâr sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, çatıda dikey tarım faaliyeti gösteren işletmelerin, enerji kullanımına ihtiyaç duymadan; havadan, yağmur suyundan ve güneş ışığından etkin bir şekilde faydalandığı görülmüştür. Bu uygulama sayesinde gıdanın depolanması, taşınması ve işlenmesi gibi tedarik zincirindeki halkaların bütünlüğü sağlanmıştır (Kodmany, 2018). Çatıda tarım gibi alternatif tarım odaklı uygulamaların, dünya genelinde devamlılığını sürdüren canlıların yaşam standartlarını iyileştirdiği ve geleneksel tarımdan kaynaklanan sektörel problemleri büyük ölçüde ortadan kaldırdığı tespit edilmiştir (İl Tarım Müdürlüğü, 2015).

3. Dikey Tarım ile Gıda Üretimi

Dünya genelinde sürdürülebilir tarım sistemleri, ekolojik dengeye zarar vermeden, çevresel bilinç çerçevesinde gıda mahsulü yetiştirmeyi amaçlamaktadır (Turhan, 2005). Başka bir deyişle, sürdürülebilir tarım kavramı, toprak arazilerinin fiziksel, biyolojik ve kimyasal yapısının korunmasını ve arazi bütünlüğünün sağlanmasını hedefleyen yenilikçi uygulamalardır (Pezikoğlu, 2012). Bu uygulamaların temel amacı, yaşamsal faaliyetlerin sürdürülebilirliği için gerekli olan gıda maddesinin, tarım arazisi verimliliği gözetilerek sağlanmasıdır. Birleşmiş Milletler tarafından yapılan küresel çapta bir araştırma, dünyadaki besin üretiminin talep doğrultusunda yetersiz kaldığını ve yaklaşık 828 milyon insanın açlık sınırında yaşadığını raporlamıştır (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü, 2021). Bu bağlamda, dikey tarım ve diğer alternatif tarım sistemlerinin dünya çapında uygulanması, küresel ekonomik düzeyde ve toplum bazında ekolojik değer bilincinin artmasına ve buna bağlı olarak gıda yetersizliğinden kaynaklanan sorunların ortadan kalkmasına yol açacağı öngörülmektedir (Kurtgil ve Beyhan, 2021).

Dünya üzerindeki kontrolsüz nüfus artışı sonucunda, gelecekte gıdanın tükenme riski yalnızca insanlar için değil, ekosistem içerisindeki diğer canlıların yaşam sürelerinin devam ettirilebilmesi için de hayati önem taşımaktadır. Ekosistemdeki canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi için, gıda üretiminin hayvanlar için de aynı oranda devam etmesi gerekmektedir. Dünya genelinde tarım topraklarının yaklaşık %30'u, hayvanların besin ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılmaktadır (Kırkpınar ve Atan, 2022). Bu açıdan bakıldığında, dikey tarım yöntemlerinden biri olan hidroponik tarım, yem üretiminin yanı sıra kullanılabilir tarım arazilerinin daha verimli gıdalar için ayrılmasını sağlamakta ve hayvanların ihtiyaç duyduğu besin maddesinin toprak kullanımı gereksiz üretilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, hidroponik üretim sistemleri kullanılarak, maksimum bir hafta içinde hayvan besini üretilebilmektedir. Bu uygulamanın sonucunda, genellikle arpa, buğday ve benzeri hububatların hidroponik sistemlerde yeşillendirilmesiyle yeşil hayvan yemi elde edilmektedir (Kim vd., 2019).

Hayvan besiciliği sektöründe, finansal giderlerin yaklaşık %70'lik kısmı hayvan yemi satın almak için harcanmaktadır. Bu durumda, hayvansal üretim yapan firmaların kendi bünyelerinde hidroponik sistemleri kullanarak yem üretmesi, finansal açıdan verimlilik sağlayacaktır (Karaşahin, 2017). Dünya genelinde yapılan bir araştırmaya göre, üretilen arpa ve yulaf benzeri hububatların yaklaşık %57'si hayvancılık sektöründe yem kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, hayvansal gıda üretimi için ayrılan tarım arazilerinde yalnızca 1 kg kırmızı et üretmek için 6,5 kg arpa ya da benzeri tahıl gerekmektedir. Tarım arazisindeki tahılın gelişim göstermesi ve yeşillendirilmesi için ise yaklaşık 15 bin litre su kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır (Stiftung, 2014). Hidroponik sistem kullanıldığında, mevsimsel koşullara bağlı kalmadan ve yaklaşık %90 oranında su tasarrufu sağlanarak her daim hayvanlar için yeşil yem üretilebilmektedir (Kılıç, 2016).

Tarımda su kullanımı, çeşitli olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bunlardan biri, yer altı sularının tahrip edilmesidir. Yer altı sularının yüzeye çekilmesi, toprak çökmesine ve yer altında boşluklar oluşmasına sebep olur. Bu durum, obrukların oluşmasına ve göllerin zamanla yok olmasına yol açmaktadır. Obrukların oluştuğu bölgelerde ise tarım yapma olanağı kalmaz ve bu da bölge halkının tarıma dayalı ekonomik kazancını olumsuz etkiler (Bozyiğit ve Tapur, 2009). Ayrıca, geleneksel tarımda kullanılan kimyasal ilaçlar ve hayvansal gübreler, sulama suyu aracılığıyla topraktan yer altı sularına ulaşır. Kimyasal bileşenler (özellikle nitrat ve türevleri) suda çözünerek yer altındaki tatlı su kaynaklarını ciddi şekilde kirletmektedir (Süenal ve Erşahin, 2012). Bu durum hem su kaynaklarının kalitesini hem de çevresel dengeyi tehdit etmektedir.

Gıda üretiminin sürdürülebilirliğini sağlamak, artan nüfusla birlikte yiyeceğin tüketime hazır şekilde bulunması için hayati bir öneme sahiptir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından 2015 yılında yayımlanan bir rapora göre, 40 yıl içinde artan nüfus nedeniyle insanların yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan besin maddesinin, nüfusun ihtiyacını karşılayamayacağı öngörülmektedir. Ancak gıda üretiminin minimum %70 oranında artırılması durumunda, gıda

sıkıntısının azalacağı öne sürülmüştür. Bu durum, tarım arazilerinin korunması ve alternatif gıda üretim yöntemlerinin devreye sokulmasının önemini vurgulamaktadır (Gökırmaklı ve Bayram, 2017). Tarım topraklarının korunması, su ve diğer doğal kaynakların verimli kullanımı, ekolojik dengeyi sürdüren gıda üretim sistemlerinin gerekliliği büyüktür. Toprak, su ve diğer ekolojik kaynaklar, yalnızca insanların yaşamını sürdürebilmesi için değil, tüm canlıların hayati faaliyetlerini sürdürebilmesi için gereklidir. Bu bağlamda, toprakların tükenmesi, insanlık ve diğer canlılar için en büyük hayati risklerden biri haline gelebilir (İkincikarakaya vd., 2013).

Otel ve restoran işletmeleri, hızla değişen yiyecek içecek sektörü içinde kâr elde etmek ve rekabet edebilmek için birçok ekonomik faktörü yönetmek zorundadır. Bu işletmelerin başarılı olabilmesi için, satın alma, depolama ve nakliye gibi maliyetleri karşılayabilmeleri gerekmektedir. Ancak, bu maliyetlerin yüksekliği, elde edilen kârın azalmasına ve üretim sürecinde aksamalara yol açabilir (Anasız, 2018; Erbaş, 1996). Bu bağlamda, işletmelerin verimliliği artırmak ve taze ürünlere erişimi sağlamak amacıyla çeşitli üretim modelleri geliştirilmiştir. Dikey tarım, işletmelerin mevsimsel olarak taze sebze ve meyve temin etmelerini kolaylaştıran ve sürekli taze ürün sunmalarına olanak tanıyan bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Dünya genelinde, pek çok işletme bu modeli benimsemeye başlamış ve kendi bünyelerinde tarım faaliyetleri yürütmektedir. Özellikle akuaponik sistem, et ve balık sunan restoranlar ve fine-dining işletmeleri için önemli bir çözüm sunmaktadır. Bu sistem, balık ve bitki yetiştirmeyi birleştirerek, menülerinde bulunan sebze ve deniz ürünlerini kendi tesislerinde üretebilmelerini sağlar. Bu sayede, işletmeler hem taze ve sürdürülebilir ürünler sunabilir, hem de operasyonel maliyetlerini düşürebilir (Mol, 2019).

Dikey tarım sistemleri, doğru ekipman ve koşullar sağlandığında her ortamda uygulanabilir. Özellikle şehirleşmiş bölgelerde, yüksek binaların kullanılmayan alanları (balkonlar, bodrum katları, çöp odaları vb.) dikey tarım için uygun alanlar sunmaktadır. Bu uygulamanın ilham kaynağı, MÖ 600'lü yıllarda Babil'deki Asma Bahçeleri olmuştur. Bu tarihi bahçelerin tasarımındaki sistematik unsurlar—sulama sistemleri, bitkilerin düzenli yerleştirilmesi gibi—günümüzdeki dikey tarım uygulamalarının gelişiminde etkili olmuştur (Alam, 2020). Balkonlar ve ev içi alanlarda dikey tarım uygulamaları, genellikle hidroponik sistemlerle yapılan yeşil yapraklı sebzeler, çilek, domates ve marul gibi ürünlerin yetiştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu, balkonların ve diğer iç mekanların daha verimli kullanılmasına yardımcı olur ve gıda üretimi için ek bir alan yaratır (Ünal, 2022). Restoranlar, kafeler, oteller ve pastaneler gibi gıda üretimi yapan işletmelerde ise dikey tarım, yeşil yapraklı sebzelerin taze ve yerinde üretimi için tercih edilmektedir. Geleneksel yöntemlerle, marketlerdeki yeşil sebzeler genellikle kısa süre içinde bozulur, kokuşur ve yapısal değişiklikler gösterir. Bu, taze ürün almak için gereğinden fazla alım yapılmasına ve tüketilmeyen gıdanın israf olmasına yol açar. Dikey tarım ile ise bu sorunların önüne geçilerek, gıda israfı minimuma indirilebilir ve işletmelerin taze gıda temin etme maliyetleri düşürülebilir. Bu yöntem, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği destekler ve işletmelerin kâr marjlarını iyileştirebilir.

Gıda israfının sürekli tekrarı, yerel ekonomilerde ürün fiyatlarının dalgalanmasına yol açmaktadır. Bu durum, özellikle tarım üreticilerini ve gıda sektörünü olumsuz şekilde etkilemektedir. Örneğin, tarımsal üretimin azalmaması gereken bir dönemde, savaş, göç veya salgın gibi faktörlerin etkisiyle hammaddenin israf olması, nihai ürünlerin fiyatlarını artırmakta ve bu durum tüketicilerin gıdaya erişimini zorlaştırmaktadır (Çalık ve Göl, 2019). Başarılı tarımsal yönetim politikalarının uygulandığı ülkelerde, bu tür olumsuz etkilerin azalması ve tüketicilerin gıda ürünlerine erişiminin daha uygun fiyatlarla sağlanması mümkün olmaktadır. Tarım sektörünün etkin yönetimi, ekonomik, sosyal ve diğer olumsuz etkilerin ortadan kalkmasına katkı sağlayarak, gıda tedarik zincirini güçlendirmektedir (Eştürk ve Ören, 2014). Dikey tarım gibi sürdürülebilir tarım yöntemlerinin uygulanması, özellikle gıda enflasyonu, açlık ve kıtlık gibi ciddi risklerin bulunduğu bölgelerde bu riskleri azaltmaya yardımcı olabilir. Dikey tarım, yerel gıda üretimini artırarak, tarımsal hammadde teminini güvence altına alır ve

kıtlık durumlarının önüne geçerek, gıda güvenliğini sağlamada önemli bir çözüm olarak öne çıkmaktadır (Çekici ve Bayrakçı, 2024).

Sonuç

Dünya genelinde toplumların en değerli yaşam kaynağı, sahip oldukları verimli ve sürdürülebilir tarım arazileridir. Ekosistemdeki tüm bileşenlerin dengeli bir bütün içerisinde varlığını sürdürmesi, canlı yaşamının kesintisiz devam edebilmesi gibi unsurlar, toprağın sürdürülebilirliği ile doğrudan ilişkilidir. Öyle ki ülkelerin gelişmişlik seviyeleri ve halkın refah düzeyi gibi sosyolojik faktörler, toplumların tarım arazilerine ve toprak bütünlüğüne verdikleri değerle bağlantılıdır. Toprak, yaşam ve gıda, birbirine bağlı temel bileşenler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, tarımsal üretim olanaklarının yetersiz kalması nedeniyle gelecekte karşılaşılabilecek ulusal gıda kıtlığına yönelik çözüm önerileri, dikey tarım ekseninde ele alınmıştır.

Tarımsal üretim, toplumların gıda ihtiyacını karşılamada kullanılan en köklü üretim yöntemlerinden biridir. Ancak küreselleşme ile artan nüfus oranı, tarım arazilerinin üretim faaliyetleri dışına çıkması ve kentsel alanlara dönüştürülmesi gibi etkenler, gıda üretiminin insan ihtiyacını karşılamada yetersiz kalmasına neden olmuştur. Bu durum, toplumun gıda ihtiyacını karşılamak amacıyla dikey tarım gibi sürdürülebilir ve gıda odaklı kalkınma planlarının geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Dikey tarım ve alternatif tarım uygulamaları, arazi bütünlüğünün korunmasına katkı sağlamanın yanı sıra, tarımsal sulamadan kaynaklanan su kıtlığı probleminin büyük ölçüde giderilmesine de yardımcı olmaktadır. Dikey tarım uygulamalarının sağladığı bir diğer önemli fayda ise gastronomi sektöründe gözlemlenmektedir. Yiyecek ve içecek işletmeleri için, kendi üretimlerini gerçekleştirebilecekleri en kapsamlı gıda üretim yöntemlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. İşletmelerin kısıtlı alanlarda üretim yapabilmesine imkân tanıyarak, birim alandan maksimum verim elde edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, yeşillikler ve köklü sebzeler başta olmak üzere birçok tarımsal ürünün işletme bünyesinde yetiştirilmesine olanak sunmaktadır.

Dikey tarım faaliyetlerinin dünya genelinde yaygınlaşmasıyla, tarım topraklarının aşırı işlenmesinden kaynaklanan toprak kayıplarının önlenebileceği ve böylece tarım mahsulü üretimindeki dengesizliklerin ortadan kalkabileceği öngörülmektedir. İklim değişikliğine bağlı aşırı yağış, kuraklık gibi ekstrem doğa olaylarının yanı sıra deprem, heyelan ve yangın gibi doğal afetler, mevcut tarım arazilerinde ekili mahsullerin zarar görmesine neden olmaktadır. Bu durum, hem tarım üreticilerinin ekonomik kayıplar yaşamasına hem de tüketicinin gıdaya ulaşımında fiyat artışlarının meydana gelmesine yol açmaktadır. Bu bağlamda, araştırmada vurgulanan bir diğer önemli konu, dikey tarımın mevsimsel dengesizliklerden ve doğal afetlerden etkilenmeden tarım mahsulü yetiştirme imkânı sunmasıdır. Bu sayede, tüketici ve üreticinin ekonomik kayıplar yaşaması önlenerek, ürün kayıplarının yol açtığı ülke genelindeki gıda enflasyonunun kontrol altına alınmasına katkı sağlanabilmektedir.

Çalışmada ele alınan bir diğer önemli konu, kırsal yaşamdan şehirleşmiş alanlara gerçekleşen göç hareketlerinin doğurduğu gıda talebi sorunudur. Köyden kente yaşanan göç sonucunda, kentsel alanlarda tarımsal üretim neredeyse durma noktasına gelmiştir. Bunun yanı sıra, kırsal alanlarda geleneksel yöntemlerle yürütülen tarımsal faaliyetler, makine ve insan gücüne duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Kentlerde yaşayan nüfusun artışıyla birlikte, kırsal bölgelerde tarım işçisine olan gereksinim de giderek yükselmektedir. Bu ihtiyacın karşılanamaması durumunda, kırsal alanlardaki tarımsal üretim yetersiz kalmakta ve gıda arzında dengesizlikler ortaya çıkmaktadır. Dikey tarım, bu karşılanamayan gıda talebine çözüm sunarak, kentsel alanlarda sürdürülebilir tarımsal üretimin devamlılığını sağlamaya yönelik önemli bir alternatif oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, dikey tarım uygulamalarının sunduğu çeşitli avantajlar detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bu avantajlar arasında en önemlilerinden biri, tarımsal üretimde su kaynaklarının etkin kullanımı ve su tasarrufu sağlamasıdır. Nitel verilerle desteklenen bulgular, dikey tarımın geleneksel

tarım yöntemlerine kıyasla yaklaşık %90 oranında su tasarrufu sağladığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, bilinçsiz ve kontrolsüz yer altı suyu kullanımı, obruk oluşumu ve çöküntü alanlarının meydana gelmesi gibi ciddi jeolojik ve çevresel problemlere yol açarak can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Dikey tarım sistemleri, hidroponik ve aeroponik gibi alternatif sulama yöntemleri sayesinde su tüketimini minimize ederek tarımsal üretimde sürdürülebilirliği desteklemektedir. Bu bağlamda, dikey tarımın yaygınlaşmasının, su kaynaklarının korunmasına katkıda bulunarak ekolojik dengeyi koruyabileceği ve uzun vadede küresel gıda güvenliğini destekleyebileceği öngörülmektedir.

Araştırmada ele alınan bir diğer önemli konu ise, dikey tarım uygulamalarının sunduğu avantajlarla birlikte bazı dezavantajlara da sahip olmasıdır. Bu dezavantajlar arasında, dikey tarım sistemlerinin ilk kurulum aşamasında yüksek ekipman maliyetleri gerektirmesi, bu sistemleri sürdürebilecek nitelikli iş gücü eksikliği, LED aydınlatma ve havalandırma gibi unsurlar için yüksek miktarda elektrik enerjisi ihtiyacı yer almaktadır. Mevsimsel değişikliklere bağımlı olmaması avantaj sağlıyor olsa da elektrik enerjisine olan bağımlılığı sürdürülebilirlik açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir. Ancak, dikey tarımın yaygınlaşmasıyla birlikte, gelişen teknolojik olanaklar sayesinde bu sorunların aşılabileceği ve daha verimli çözümler geliştirilebileceği öngörülmektedir.

Dikey tarım ve beraberinde geliştirilen sürdürülebilir tarım uygulamaları, bozulmuş ekolojik dengenin yeniden oluşturulmasına katkı sunarak, küresel ısınma ve ozon tabakasının tahribatı gibi ekolojik riskler barındıran çağımızın çevresel problemlerine çözüm olanağı sağlayabilir. Geleneksel tarım sistemlerinde bitki gelişimini desteklemek amacıyla kullanılan kimyasal zirai ilaçlar ve suni gübreler, toprak verimliliğinin azalmasına neden olurken, ekosistemin bozulmasına ve su kaynaklarında canlı yaşamının tehlikeye girmesine yol açmaktadır. Bu soruna bir alternatif olarak geliştirilen dikey tarım uygulamalarında, tarımsal üretimde kullanılan besin maddeleri, doğal içeriğe sahip organik bileşenlerden oluşmaktadır. Bu yönüyle dikey tarım, geleneksel tarım yöntemlerine kıyasla daha çevreci ve sürdürülebilir bir yaklaşım sunmaktadır. Ayrıca, kentsel yaşamın kırsal tarım ile entegrasyonunu temel alan dikey tarım sistemleri, nakliye ve depolama gibi hem üretici hem de tüketici açısından maliyet yaratan lojistik problemleri ortadan kaldırmaktadır. Market zincirlerinde, yiyecek-içecek işletmelerinde, evlerde ve hatta atıl durumdaki alanlarda bile ürünlerin taşınma ve depolanma ihtiyacı olmadan yerinde tarım yapılmasına olanak tanımaktadır.

Tarımsal üretimde dışa bağımlı olan ülkeler, genellikle tarım arazilerinin yetersiz olduğu veya tarımsal üretimin sürdürülebilir bir bilinçle yönetilmediği ülkelerdir. Dikey tarımın uygulanmasıyla birlikte, ülkelerin gıda üretiminde dış piyasaya bağımlılığının azalacağı ve bu durumun küresel ölçekte ekonomik ve ekolojik faydalar sağlayacağı öngörülmektedir. Dikey tarım ve alternatif gıda üretimi için geliştirilen projelerde, araştırmada da vurgulandığı üzere, ileri teknolojik sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler; robotik kollu tarım asistanları, ürünlerin hasat zamanını optimize eden bilgisayar programları, çürük ya da bozulmaya yakın ürünleri önceden tespit ederek bildirim sağlayan stratejik ekipmanlardan oluşmaktadır. Bu akıllı sistemler, geleneksel tarıma kıyasla insan hatasını en aza indirerek, ürün bazında maksimum verim elde edilmesine ve tarımsal gıda israfının önlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, yapılan çalışma; dikey tarım sistemlerinin ekosistem bütünlüğünü koruyacağını, ülkelerin gıda üretiminde dış bağımlılığını azaltacağını, tarımsal gıda israfının önüne geçerek sürdürülebilirliği artıracığını, gastronomi sektörünün devamlılığını destekleyeceğini, gıda üretim hacmini genişleteceğini ve tarım ekseninde ekonomik kalkınmaya katkıda bulunacağını ortaya koymaktadır.

Bu çalışma için etik kurul izni alma gerekliliği yoktur. Etik kurul izni bulunmamaktadır.

Yazarların Makaleye Olan Katkıları

Yazarlar makaleye eşit düzeyde katkı sağlamıştır.

Çıkar Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Adak, N. (2010). Topraksız kültürde çilek yetiştirme olanakları. *Alatarım 9 (2)*, 38-44.

- Aishwarya, K., Harish, M., Prathibhashree, S., & Panimozhi, K. (2018). Survey on an automated aquaponics based gardening approaches. *In Proceedings of the 2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)*. Coimbatore, India: 1495-1500.
- Akçakaya, O. (2016). Kentsel sürdürülebilirliğin uygulanması ve ölçülmesi bağlamında yerel yönetimlerin fonksiyonu. *Ardahan Üniversitesi İİBF Dergisi*, 47-64.
- Alam, M. (2020). Tarım sektörünün Nepal Ekonomisine etkilerinin girdi çıktı yöntemiyle analizi. *Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*.
- Al-Kodmany, K. (2018). *The Vertical City: A Sustainable Development Model*. Chigago: University of Illinois at Chigago (ULC).
- Anasız, İ. (2018). Otel işletmelerinde yiyecek-içecek maliyet kontrolü için israfı azaltacak farklı bir uygulama önerisi: Hedef Maliyetleme. *Kapadokya Akademik Bakış 2 (2)*, 179-214.
- Aras, B. B. (2019). Kentsel sürdürülebilirlik kapsamında yeşil çatı uygulamaları. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi 8 (1)*, 469-504.
- Aydın, N. (2017). Sürdürülebilir Şirket Olmanın Faydaları. *Reforma 3 (75)*, 15-21.
- Aydoğdu, M., Mancı, A., & Aydoğdu, M. (2015). Tarımsal Su Yönetiminde Değişimler; Sulama Birlikleri, Fiyatlandırma ve Özelleştirme Süreci. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi 14 (52)*, 146-160.
- Barui, P., Ghosh, P., & Debangshi, U. (2022). Vertical farming- An overview. *Plant Archives 22 (2)*, 223-228.
- Bernstein, S. (2011). *Aquaponic gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together*. Gabriola Island: New Society Publishers.
- Bildirici, Ö. Ü., & Bildirici, D. E. (2021). *Sağlıklı bir gelecek için aquaponik sistemler*. Ankara: İksad Publications, 1, 84. .
- Bingöl, B. (2015). Dikey Tarım. *Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi*, 11(2), 92-99.
- Bingöl, B. (2019). Alternatif Tarım Yöntemleri; Aeroponik, Akuaponik, Hidroponik. *Harman Time Dergisi 7 (82)*, 34-42.
- Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)*. (2024). https://www.mfa.gov.tr/birlesmis-milletler-gida-ve-tarim-orgutu-_fao_.tr.mfa adresinden alındı
- Bozyiğit, R., & Tapur, T. (2009). Konya ovası ve çevresinde yeraltı sularının obruk oluşumlarına etkisi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi (21)*, 137-155.
- Cankül, I., & Toprak, Y. (2022). Sürdürülebilir gastronomi bağlamında dikey tarım uygulamaları. *Journal of Gastronomy, Hospitality and Travel 5 (4)*, 1760-1767.
- Choudhury, M. R., & Dutta, A. (2024, 11 19). *Aeroponics*. <https://engrxiv.org/preprint/view/2481/version/3621> adresinden alındı
- Çalık, M., & Göl, M. (2024). Yaş sebze fiyatlarında üreticiden tüketiciye maliyet yansımaları. *EKEV Akademi Dergisi (ICOAEF Özel Sayı)*, 171-188.

- Çekici, O., & Bayrakçı, E. (2024). Yoksullukla Baş Etmede Sürdürülebilir Tarım Politikaları. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi* 6 (1) , 87-100.
- Çevresel Göstergeler*. (2024, 11 8). <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/> adresinden alındı
- Çılgınoğlu, H., Avcı, M., & Çılgınoğlu, Ü. (2022). Sürdürülebilir Gastronomi Açısından Dikey Tarımın Önemi. *Journal Of Humanities And Tourism Research* 12 (3), 455-467.
- Dede, G., & Türkan, E. (2009). *Balık ve bitkilerin birlikte yetiştirildiği sistem: Aquaponik Sistemler*. <https://www.stb.org.tr/uploads/arastirmalar/dokuman/arastirmalar/balik-ve-bitkilerin-birlikte-yetistirildigi-aquaponik-sistemler-1691071008-8.pdf> adresinden alındı
- Dirik, H., & Cemil, A. (2005). Kent Ormancılığının Kapsamı, Yararları, Planlanması ve Teknik Esasları. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 55 (1), 1-14.
- Erbaş, A. (1996). *Turistik işletmelerde yiyecek maliyet kontrolü, Adnan Menderes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yayınlanmamış Profesörlük Taktim Çalışması*. Aydın.
- Eştürk, Ö., & Ören, M. N. (2014). Türkiye'de tarım politikaları ve gıda güvencesi. *Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences* 24 (2), 193-200.
- Fatchanuddin, A. M. (2015). *Controlling Humidity Of Nutrition Fog In Aeroponic System Using Proportional – Integral Method*. https://www.researchgate.net/publication/320416561_CONTROLLING_HUMIDITY_OF_NUTRITION_FOG_IN_AEROPONIC_SYSTEM_USING_PROPORTIONAL_-_INTEGRAL_METHOD adresinden alındı
- Goddek, S., & Körner, O. (2019). A fully integrated simulation model of multi-loop aquaponics: A case study for system sizing in different environments. *Agricultural Systems* 171, 143-154.
- Gökırmaklı, Ç., & Bayram, M. (2018). Gıda için gelecek öngörürleri: Yıl 2050. *Akademik Gıda* 16(3), 351-360.
- İkincikarakaya, S. Ü., Beyaz, K., & Rezaei, F. (2013). Doğal Kaynaklar ve Tarım. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* (1), 104-109.
- İzci, B., Selek, M., & Berber, S. (2020). Akuaponik Sistemde Nil Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) ve Nane (*Mentha Piperita*) Yetiştiriciliği . *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi* 6 (1), 30-36.
- Januszkewiz, K., & Jarmusz, M. (2017). Envisioning urban farming for food security during the climate change era. Vertical farm within hingly urbanized areas. *IOP Conference Series. Material Science and Engieering* 245, 3-11.
- Karadağ, Ş., Kasım, M. U., & Kasım, R. (2020). Kapalı Bitkisel Üretim Sistemleri. *Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi* 2(4), 30-38.
- Karakayacı, Z. (2010). Tarım Arazilerinin Dışı Kullanımının Sürdürülebilir Kalkınma Açısından Değerlendirilmesi. *Ziraat Mühendisliği* (355), 48-53.

- Karaşahin, M. (2017). Farklı Tohum Miktarlarının Hidroponik Arpa Çimi Üzerine Etkileri. *Journal of The Institute Of Science And Technology* 7 (4), 63-68.
- Kargin, H., & Bilgüven, M. (2018). Akuakültürde akuaponik sistemler ve önemi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 32 (2), 159-173.
- Kılıç, Ü. (2016). Kaba Yem Üretiminde Hidroponik Tarım Sistemleri. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi* 4 (9), 793-799.
- Kim, T. K., Yong, H. I., Kim, H. W., & Choi, Y. S. (2019). Edible insects as a protein source: A review of public perception, processing technology and research trends. *Food Science of Animal Resources* 39 (4), 521.
- Kırkpınar, F., & Atan, H. (2022). Kanatlı hayvanların bakımında sürdürülebilirlik sistemleri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 59 (4), 731-742.
- Kızak, V. (2016). *Su ürünleri yetiştiriciliğinde akuaponik yetiştiricilik*. [https://arastirma.tarimorman.gov.tr/elazigsuurunleri/Belgeler/S%C3%9CRD%C3%9CR%C3%9CLEB%C4%B0L%C4%B0R%20ALABALIK%20YET%C4%B0%C5%9ET%C4%B0R%C4%BOC%C4%B0L%C4%B0C4%9E%C4%B0%20%C3%87ALI%C5%9ETAYI%20\(12.04.2016\)/2-Su%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Yeti%C5%9Ftiricili%20adresinden%20alindi](https://arastirma.tarimorman.gov.tr/elazigsuurunleri/Belgeler/S%C3%9CRD%C3%9CR%C3%9CLEB%C4%B0L%C4%B0R%20ALABALIK%20YET%C4%B0%C5%9ET%C4%B0R%C4%BOC%C4%B0L%C4%B0C4%9E%C4%B0%20%C3%87ALI%C5%9ETAYI%20(12.04.2016)/2-Su%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Yeti%C5%9Ftiricili%20adresinden%20alindi)
- Kurtgil, S., & Beyhan, Y. (2021). Yaşam Döngüsü ve Sürdürülebilir Beslenmenin Rolü. *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 11(3), 425-430.
- Lin, H. A., Coker, H. R., Finlayson, S. A., Nagy, E. M., Hague, S., Antony-Babu, S., . . . Smith, A. P. (2022). Nondestructive root exudate sampling using aeroponics throughout progressive drought stress and recovery. *Prepr. (Version 1) available Res. Sq. doi: 10.21203/rs.3.rs-1886373/v1* .
- Mirici, S., & Baykır, A. (2020). Bilim Uygulamaları Dersi İçin Örnek Bir Etkinlik: Akuaponik Sistem. *I. Ulusal Çevrimiçi Disiplinlerarası Fen Eğitimi Öğretmenler Konferansı (DİFEÖK)*, (s. 59). Ankara.
- Mol, O. (2019). Dünya da ve Türkiye 'de yenilikçi tarım yöntemi olan akuaponik uygulamasında alternatif bir balık türü clarias gariepinus (Burchell,1822) (Kara Yayın) denenmesi . *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*.
- Ngawang, W. P., & Dochen, T. (2013). Aeroponics: Defying conventions. *Annual RNR Magazine* 1 (3).
- Okumuş, A. (2019). Dünyada Hidrofonik (Topraksız Tarım) Tarım, . *Journal of Soilles Agriculture* 1, 3-5.
- Özkan, Y. (2018). *Dünyanın ilk yüzen çiftliği Rotterdam'da dalgalar yaratıyor*. BBC: <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-40297923> adresinden alındı
- Öztürk, H. H. (2021). *Dikey Tarım: Yapay Aydınlatmalı Bitkisel Üretim Yapıları*. Beau Bassin-Rose Hill: Lambert Academic Publishing.

- Pezikoğlu, F. (2012). Sürdürülebilir Tarım ve Kırsal Kalkınma Kavramı İçinde Tarım-Turizm-Kırsal Alan İlişkisi ve Sonuçları. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi* 2012 (1), 83-92.
- Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Integrating Fish And Plant Culture. . *Southern Region Aquaculture Center Publication No: 454*, 1-16.
- Rivera, X. S., Rodgers, B., Odanye, T., Jalil-Vega, F., & Farmer, J. (2023). The role of aeroponic container farms in sustainable food systems-The environmental credentials. *Science of The Total Environment* 860 (20), 1-16.
- Sabry, F. (2021). *Dikey Tarım: 2050 Yılına Kadar Üç Milyar İnsanı Daha Nasıl Besleyeceğiz? . One Billion Knowledgeable*.
- Samastı, M., Önden, İ., Öztürk, H. H., Savaş, R., & Kara, B. (2022). Akıllı şehirlerde sürdürülebilir gıda arzına yönelik bir yaklaşım, Dikey Tarım Uygulamaları. *VIII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL_CB 2022)*, (s. 953-959). Ankara.
- Shinde, U., Chavade, N., Chaudhari, K., & Andhare, S. (2016). NPK measurement, automatic fertilizer dispensing robot and aeroponic system. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 3 (5), 1758-1760.
- Singh, S., Kumari, V., & Patel, V. (2022). Aeroponics: A soilless cultivation system for horticultural crops. *AICRP (Vegetable Crops) Golden Jubilee National Symposium*, (s. 246).
- Sisleme Sistemi-Aeroponics*. (2024, 11 16). www.toprakvesu.com:https://toprakvesu.com/kb/sisleme-sistemi-aeroponics/ adresinden alındı
- Stiftung, H. B. (2014). *Meat Atlas. Facts and Figures About the Animals Eat*. Ahrensfelde Germany: Möller Druck.
- Süenal, S., & Erşahin, S. (2012). Türkiye’de tarımsal kaynaklı yeraltı suyu nitrat kirliliği. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* (2), 116-118.
- Şahin, G., & Kendirli, B. (2016). Yeni Bir Zirai İşletme Modeli: Dikey Çiftlikler. *Tücaum Uluslararası Coğrafya Sempozyumu*, (s. 13-14).
- Şahin, Ö., & Topçu, P. (2024). Kentsel Tarım. . *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences*, 14(2), , 229-239. <https://doi.org/10.53518/mjavl.1510776>.
- Şimşek, A., & Gül, A. (2018). Süs bitkisi fidanı üretiminde aeroponik sistemi ile diğer klasik köklendirme ortamlarının karşılaştırılması. *Süleyman Demire İÜniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 22 (2), 760-767.
- Tunio, M. H., & Gao, J. (2020). Technological modernization and its influence on agriculture sustainability, aeroponics systems in belt and road countries. *The 10th Sino-foreign Postgraduate Academic Forum*. China: Jiangsu University.
- Turhan, Ş. (2005). Tarımda Sürdürülebilirlik ve Organik Tarım. *Tarım Ekonomisi Dergisi* 11(1 ve 2), 13-24.

- Ünal, N. (2022). Konut Balkonlarının Yeşil Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi* 5 (1), 53-61.
- www.tarimorman.gov.tr. (2022, 12 8). Tarım ve Orman Bakanlığı: <https://www.tarimorman.gov.tr/Haber/5624/Istanbul-Kapali-Dikey-Tarim-Uygulama-Merkezi-Hizmete-Acildi> adresinden alındı
- www.weforum.org. (2021, 4 22). This WW2 bunker is growing sustainable salad leaves deep underground. Here's how: <https://www.weforum.org/stories/2021/04/underground-vegetable-garden-sustainable-farming/> adresinden alındı
- www.yesilgazete.org. (2018). Güney Kore'de Bir İlk: Trafiğe Kapanan Tünel Ülkenin En Büyük Dikey Tarım Çiftliğine Dönüştürüldü: <https://yesilgazete.org/guney-korede-bir-ilk-trafiğe-kapanan-tunel-ulkenin-en-buyuk-dikey-tarim-ciftligine-donusturuldu/> adresinden alındı
- Yavuz, K., Toksöz, O., & Berber, D. (2023). Topraksız tarım teknolojileri gelecek için sürdürülebilir bir çözüm mü? *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies* 4(3), 157-170.