



Derleme makalesi / Review article

## Topraksız tarım teknolojileri gelecek için sürdürülebilir bir çözüm mü?

Kadir Yavuz<sup>1</sup> , Orcun Toksoz<sup>2</sup> , Didem Berber<sup>\*1</sup> <sup>1</sup> Maltepe University, Faculty of Fine and Arts, Gastronomy and Culinary Arts Department, 34843, Istanbul, Türkiye<sup>2</sup> Marmara University, Institute of Pure and Applied Sciences, Biology Program, 34722, Istanbul, Türkiye

### Öz

Geleneksel tarımda bilinçsiz kimyasal kullanımının toprak yapısında değişikliklere yol açarak, toprak verimliliğini olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir. Ayrıca gittikçe artan dünya nüfusu nedeniyle gıda taleplerinin karşılanması için önlemlerin alınması gerekliliği de vurgulanmaktadır. Son yıllarda, alternatif bir çözüm olarak topraksız tarım araştırmaları; iş gücü, zaman, su tasarrufu sağlanması, herbisit/pestisit kullanımının azalması, mikrobiyolojik sıkıntuların ortadan kalkması gibi avantajları olduğu için artmaktadır. Öte yandan, dezavantaj olarak yüksek maliyetlerin düşürülmesi için de girişimlerde bulunmaktadır. Bazı ülkelerde kentsel tarımın desteklenmesi amacıyla dikey tarım uygulamalarının yapıldığı merkezler bulunmaktadır. Son dönemlerde dikey tarım uygulamaları ile ilgili olarak uzayda bitki yetiştirilmesi, uzay çiftlikleri gibi başlıklar da popülerdir. NASA'nın yürüttüğü projelerde başarıya ulaşılmış olan ürünler bulunmaktadır. Mikro yerçekimi etkisi ile oluşabilecek hasarlar incelenerek, çalışmaların teknolojinin avantajlarıyla daha da ileri götürülmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, gastronomi alanında da topraksız/dikey tarım sürdürülebilirlik açısından son zamanlarda ön plana çıkmaktadır. Bu tekniklerin uygulanarak küçük ölçekli üretimlerin yapıldığı restoranların ön plana çıktığı görülmektedir. Bu derlemede bu konular detaylı olarak irdelenecektir.

**Anahtar kelimeler:** *Aeroponik; akuaponik; dikey tarım; gastronomi; hidroponik; uzay tarımı*

## Are soilless agriculture technologies a sustainable solution for the future?

### Abstract

It is stated that the unconscious use of chemicals in traditional agriculture causes changes in soil structure and negatively affects soil fertility. It is also emphasized that precautions must be taken to meet food demands due to increasing world population. Recently, soilless agriculture research as an alternative solution has been increasing due to its advantages such as saving labor, time and water, reducing use of herbicides/pesticides, and eliminating microbiological problems. However, attempts are being made to reduce high costs that are a disadvantage. In some countries, there are centers where vertical farming practices are carried out to support urban agriculture. Lately, topics such as growing plants in space and space farms regarding vertical farming applications are also popular. There are products that have been successful in projects carried out by NASA. It is aimed to take studies further with advantages of technology by examining damages that may occur due to the effect of microgravity. Moreover, in the field of gastronomy, soilless/vertical agriculture has recently come to the fore in terms of sustainability. It is seen that restaurants where small-scale production is carried out by applying these techniques come to the fore. In this review, these issues will be examined in detail.

**Keywords:** *Aeroponics; aquaponics; gastronomy; hydroponics; space farming; vertical farming*

\* Sorumlu yazar / Corresponding author.

E-mail: [didemberber@maltepe.edu.tr](mailto:didemberber@maltepe.edu.tr) (D. Berber).

<https://doi.org/10.51753/flsrt.1357745> Yazar katkıları / Author contributions

Geliş tarihi / Received 09 Eylül 2023 / 09 September 2023; Kabul tarihi / Accepted 29 Kasım 2023/ 29 November 2023

Çevrimiçi yayın / Available online 30 Aralık 2023 / 30 December 2023

2718-062X © 2023 This is an open access article published by Dergipark under the [CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.

## 1. Giriş / Introduction

2050 yılına kadar dünya nüfusunun 10 milyara yaklaşması beklendiğinden, insanların ihtiyacı olan günlük ortalama 1600 kalorinin sağlanabilmesi için bitki yetiştirme alanlarının 2.1 milyar dönüm artırılmasının gerekli olduğu bildirilmektedir (FAO, 2018; Arumugam, 2021). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) raporuna göre, 2019 yılında 690 milyon insan açlığa maruz kalmıştır. Ayrıca ihtiyaç duyulan gıda talebinin yüzde 60 oranında artacağı tahmin edilirken, diğer yandan da küresel olarak her yıl 1.3 milyar ton gıdanın israf edildiği ve 750 milyar dolar ekonomik kaybın olduğu rapor edilmiştir (United Nations Report, 2011; Banerjee ve Adenauer, 2014). 2021 yılında yayınlanan Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) Gıda Atıkları Endeksi Raporuna göre, her yıl kişi başına düşen gıda israfının küresel bazda ortalamasının 74 kg olduğu belirtilmiştir (UNEP Gıda Atık Endeksi Raporu, 2021). Küresel ısınma, hastalıklar, ekonomik sorunlar, hızlı kentleşme, tarım alanlarının ve su kaynaklarının tahribatı gibi nedenlerle dünya nüfusunun çok daha ciddi bir açlıkla karşı karşıya kalacağı tahmin edilmektedir (Kalantari ve ark., 2018). Artan bu gıda talebinin karşılanması için pek çok araştırmacı mevcut tarımsal uygulamaların yanı sıra alternatif gıda kaynaklarının araştırılması ve sürdürülebilir bir şekilde şehirlere gıda tedarik etmenin yolları konusuna yoğunlaşmıştır (Al-Chalabi, 2015). Öte yandan, küresel ısınmaya bağlı olarak dünya genelinde gıda üretimi için kullanılacak alanların giderek azalacağı ve endüstriyel gelişme ile görülen iklim değişikliği ve çevresel tahribat sebebiyle de bitkisel ve hayvansal üretimin olumsuz yönde etkileneceği belirtilmiştir (Kim ve ark., 2019). Nüfus artışı gıda talebindeki önemli artış beraberinde getirirken, nüfusun %70'inin de kentsel alanlarda yaşayacağı tahmin edilmektedir (United Nations, 2015). Bu durum kentsel alanlarda genişlemeye yol açabileceği için mevcut tarım arazilerinin azalabileceği düşünülmektedir (Beacham ve ark., 2019).

Konvansiyonel tarımda arazinin yanlış kullanımı, çölleşme, aşırı gübre kullanımı, fazla su tüketiminin vermiş olduğu zararların yanı sıra mahsul verimini artırmak için kullanılan herbisitlerin toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısında değişikliklere sebep olduğu ve bunun neticesinde de toprak ekosisteminde bozulmalar meydana geldiği bildirilmiştir. Böylelikle, toprak verimliliğinde ve ekilen ürünlerin kalitesinde olumsuz etkilerin görüldüğü belirtilmiştir (Despommier, 2013; Barbosa ve ark., 2015; Bingol, 2019). Ayrıca, konvansiyonel tarımda ortaya çıkan sera gazları, insektisidler, nitrojen ve fosfor gibi bitki besin maddelerinin çevreye salınımı birtakım olumsuzluklar ile sonuçlanmaktadır (Aune, 2012). Bu bağlamda, artan gıda talebine ve ekilebilir arazilerin yetersizliğine bağlı olarak tarımsal faaliyetler açısından acil bir çözüm getirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Pomoni ve ark., 2023). Bu olumsuz durumların ortaya çıkması sonucu, araştırmacıların teknolojinin gelişimine bağlı olarak hidroponik, aeroponik ve akuaponik sistemler gibi alternatif topraksız tarım tekniklerinin üzerinde yoğunlaştıkları görülmektedir (Bingol, 2019).

Yeni üretim arayışlarında toprak verimliliğindeki ve toprak besin rezervlerindeki azalma, sulama suyunun sınırlı olması ve iklim değişiklikleri dikkate alınması gereken parametrelerdendir. Bu açıdan bakıldığında, topraksız yetiştirme sistemleri üzerinde durulan sistemlerdendir (Mir ve ark., 2022). Bu sistemler sayesinde kontrollü bir şekilde ve yıl boyunca devamlı üretim yapmak mümkündür. Farklı teknik ve

maliyetlere sahip olan topraksız tarım sistemleri ile çeşitliliğin artması ve maliyetlerin düşmesi öngörülmektedir. Birçok ülke kullanılabilir tarım arazilerinin azlığı ve verimsizliği nedeniyle topraksız tarım uygulamalarına geçmiştir (Despommier, 2013; Barbosa ve ark., 2015). Bu derlemede topraksız tarım tekniklerinden, bu tekniklerin avantaj ve dezavantajlarından, şehirlerde topraksız tarım uygulamalarına örneklerden, sürdürülebilirlik kapsamında gastronomi alanında topraksız tarım uygulamalarından ve uzay tarımı ile ilgili gelişmelerden bahsedilecektir.

## 2. Dikey tarımın tanımı ve dikey tarım uygulamalarına yönelim sebepleri / Definition of vertical farming and reasons for tendency to vertical farming practices

Dikey tarım sistemleri, gıda güvenliğini ve gıda üretimini dünyanın sürekli artan kentsel nüfusuna hitap edecek şekilde şehirlerdeki sürdürülebilirliği sağlamayı amaçlamaktadır (Al-Kodmany, 2018). Bu noktada daha az su kullanımı ve atık üretimi ile özellikle şehirlere uzak bölgelerden mahsul taşınmasının önüne geçilmesi ve yıl boyunca daha sağlıklı ürünlerin üretilmesi hedeflenmektedir. Dikey tarım, şehir veya şehir merkezindeki bir binanın içinde, zeminlerinin hidroponik (besin içeren su) kullanılarak belirli mahsulleri üretecek şekilde tasarlandığı, meyve, sebze ve tahılların kentsel tarımıdır (Al-Chalabi, 2015). Bununla birlikte, ekonomik olduğu kadar çevresel fizibilitesi de derinlemesine bilimsel araştırma gerektirir (Banerjee ve Adenauer, 2014). Dikey tarım uygulamaları üzerinde son yıllarda yapılan çalışmaların sayısı giderek artmaktadır (Celebi, 2019). Bu açıdan, dikey tarımın endüstriyel ve bilimsel topluluklarda giderek geniş çapta tartışılan bir konu haline geldiği ifade edilmektedir. Araştırmalarda, dikey tarım yapılacak binada gereken enerji miktarı ile yenilenebilir enerji yoluyla binanın ihtiyacı olan enerjinin karşılanıp karşılanmayacağı ve geleneksel üretim veya dikey tarım uygulaması ile yetiştirilen ürünlerin karşılaştırmalı karbon ayak izinin belirlenmesi üzerine yoğunlaşmaktadır (Al-Chalabi, 2015). Dikey tarım, yüksek binalarda büyük ölçekli gıda üretimini içeren tarım tekniği olup, yıl boyunca meyve, sebze ve diğer gıda ürünlerinin (örn. çeşitli otlar, şifalı bitkiler) üretilabileceği bildirilmiştir. Böylece, yüksek nüfus yoğunluğu olan kentsel alanlarda (büyük şehirler) çok çeşitli bitkilerin yetiştirilmesi, hasat edilmesi, bu mahsullerin doğrudan şehirlerde satılması ve ulaşım masraflarının azaltılması mümkün olabilmektedir (Banerjee ve Adenauer, 2014).

Dikey tarımın uygulama alanları konteynırlar, depolar, fabrikalar, yer altı sığınakları ve otoparklar gibi çeşitli yapıların çatı veya faklı cepheleri olabilmektedir. Dikey tarım uygulamalarında genellikle terk edilmiş depo ve fabrika alanları tercih edilmektedir (Celebi, 2019).

## 3. Dikey tarımın kısa tarihçesi / Brief history of vertical farming

Dikey tarım kavramı son yıllarda popülerite kazanmış bir sistem olarak gözüke de aslında o kadar yeni olan bir kavram değildir. Deir el Bahari tapınağındaki resimler, 4000 yıl önce Mısırlıların büyük saksılarda ağaç yetiştirmeye ve nakletmeye çalıştığını göstermektedir (Raviv ve Lieth, 2007). M.Ö. 600'lü yıllarda Babil hükümdarı II. Nebukadnezar tarafından inşa ettirilen, dünyanın yedi harikası içinde kendine yer bulmuş Babil Asma Bahçeleri ve M.S. 1150'li yıllarda Aztek halkının bitki yetiştirmek için çeneampa adını verdikleri hidroponik tarım

teknikçi uygulamaları öncü uygulamalar olarak değerlendirilmektedir. M.S. 1627’de Sir Francis Bacon, “Sylva Sylvarum” adlı kitabında ilk defa hidroponik yöntem ve tarım teknikleri üzerine bir teori yayınlamıştır. Bacon, kitabında karada yetişen bitkileri toprak olmadan da yetiştirmenin mümkün olduğunu savunmuştur (Swain ve ark., 2021; Bihari ve ark., 2023). 1699 yılında John Woodward’ın bitkilerin besinlerini topraktan mı yoksa sudan mı aldıklarını anlamaya çalıştığı ve bitki besleme araştırmaları üzerine yaptığı çalışmalar neticesinde ilk hidroponik sistemleri kurduğunu belirten yazılı kanıtlar bulunmaktadır. Uyguladığı yöntemde su kültürü kullanılmış ve bitki büyüme ve gelişimini izlenmiştir. Sonuçlar, toprak ve suyun bitki büyümesi ve gelişmesi için besin sağladığını göstermiştir (Jones, 1982). On dokuzuncu yüzyılda Fransız ve Alman bilim adamları bitki besin gereksinimlerini araştırmaya başlamışlar ve daha sonra yirminci yüzyılın ilk yarısında Amerikalı ve İngiliz bilim adamları tarafından bu çalışmalar geliştirilmiştir (Torabi ve ark., 2012). Dokuz element, bitki büyümesi ve gelişmesi için temel elementler olarak belirlenmiştir ve ardından 1860 yılında ise, iki Alman bilim insanları Julius von Sachs ve Wilhelm Knop bitkiler için besin solüsyonları geliştirmeye başlamışlardır. Araştırmacılar, besin solüsyonunda kullanılacak belirli elementlerin gerekliliğini ortaya koymuşlardır. Genellikle vasküler dokulara sahip olan bitkiler için gerekli olduğu düşünülen elementlerin sayısı, 1954’te klor eklendiğinde 16’ya çıkmıştır (Hershey, 1994). 1850’den 1900’lerin ortalarına kadar olan dönemde, yeşil bitkilerin toprak kültüründe ihtiyaç duyduğu temel elementler keşfedilmiştir. Wilhelm Knop’un oluşturduğu standart besin solüsyonu (içeriği:  $KNO_3$ ,  $Ca(NO_3)_2$ ,  $KH_2PO_4$ ,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $FePO_4$ ) diğer araştırmalara temel oluşturmuştur. Bu solüsyonun kullanımı sırasında çökelti oluşmaması ve bitki büyümesinin stres olmadan gerçekleşmesi de aynı derecede önemli olarak değerlendirilmiştir (Jones, 1982). 1929 yılına kadar olan zaman diliminde ise hidroponik faaliyetler üzerine yapılan araştırmalar sadece bitki biyolojisi yönünden ele alınmıştır. 1929’dan sonra, besin solüsyonu yoluyla üretim, Berkeley’deki California Üniversitesi’nden William Frederick Gericke tarafından başlatılmıştır. Besin solüsyonun yalnızca araştırma için değil, mahsul üretmek için kullanılabileceğini bildirmiştir. Ardından diğer hidroponik sistemler geliştirilmiştir (Torabi ve ark., 2012; El-Kazzaz ve El-Kazzaz, 2017). California Üniversitesi’nden Dennis R. Hoagland ve Daniel I. Arnon, 1938’de tarım bülteninde “Growing plants without soil by the water-culture method” başlıklı yazıyı ve akabinde 1950 yılında “The water-culture method for growing plants without soil” adlı bir yazıyı yayınlamışlardır. Bu iki araştırmacı, Hoagland solüsyonları olarak bilinen mineral besin solüsyonları için çeşitli formüller geliştirmiştir (Hoagland ve Arnon, 1938; Hoagland ve Arnon, 1950; Pandey ve ark., 2009). Modifiye Hoagland solüsyonları bugün hala kullanılmaktadır (Fletcher ve ark., 2023; Germer ve ark., 2023; Sajiv ve ark., 2023). Gericke (1937) yılında su kültürü teriminin daha önce suda yaşayan bitki ve hayvanların yetiştirilmesi olarak tanımlandığından, teknikğin “hidroponik” olarak adlandırılacağına duyurmuştur. 1930’larda Pan American Airlines yolcuları için Wake Adası’nda sebze yetiştirdiği belirtilmiştir (Pandey ve ark., 2009). 1940’da II. Dünya Savaşında, Amerikan askerleri Pasifik’te sebze üretmek için ilk kez topraksız yetiştirme sistemleri kullanmış ve 8.000 tondan fazla taze sebze üretilmiştir (Dalrymple, 1973; Mhadhbi, 2012; Celebi, 2019). 1960’ların sonlarında İngiltere, Littlehampton’daki Glasshouse Mahsul Araştırma Enstitüsü’ndeki (GCRI) araştırmacılar, bir dizi müteakip

iyileştirmeyle birlikte besleyici film teknikğini geliştirmişlerdir (Pandey ve ark., 2009). Bu araştırma, günümüzde kullanılan hidroponik sistemlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. 1964’te Viyana Uluslararası Bahçe Bitkileri Sergisinde, uzun bir cam kule şeklinde dikey bir çiftlik sergilenmiştir. 1980’de İsveçli bir çiftçi olan Åke Olsson, şehirlerde sebze üretimi için dikey çiftçilik önermiştir ve bitki yetiştirmek için spiral şekilli bir ray sistemi icat ettiği bilinmektedir (Al-Kodmany, 2018). Jensen ve Collins (1985), Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri’nde geliştirilen birçok yeni kültür sistemini vurgulayan, hidroponik sistemi yayınlamıştır. ABD Columbia Üniversitesi’nden Dr. Dickson Despommier 1999 yılında çok katlı binalarda kurulan dikey çiftliklerde bitki yetiştirilebileceğini önermiştir. Böylelikle, Despommier dünyanın önde gelen dikey tarım uzmanı ve dikey çiftlik savunucusu haline gelmiştir (Despommier, 1999; Chole ve ark., 2021). Modern dikey çiftliklerden biri olan Sky Green Farms’ın Singapur tesisi, her biri 9 metre yüksekliğinde, güneş ışığı kullanarak az enerji ile yeşil sebzeler yetiştiren ve yağmur suyunu özel tanklarda toplayarak sulama için kullanan çok fazla kuleden oluşmaktadır (Wang, 2021; Zareba ve ark., 2021). Hershey (1994), çözelti kültüründe bitki yetiştirmenin toprak kaynaklı hastalıkların olmamasından dolayı daha kolay olduğunu, sulamanın daha az sıklıkta yapıldığını, kök sisteminin rahatlıkla takip edilebileceğini ve sulamanın otomatik olarak yapılabileceğini ifade etmiştir. NASA tarafından “Controlled Ecological Life Support System-Kontrollü Ekolojik Yaşam Destek Sistemi” (CELSS) için kapsamlı hidroponik araştırmalar yapılmaktadır. Mars’ta gerçekleşmesi amaçlanan hidroponiklerin çok daha az sıcaklık ile farklı renk spektrumunda gelişmeyi sağlamak için LED aydınlatma kullanılmaktadır (Pandey ve ark., 2009). Literatürde 9300m<sup>2</sup> alana kurulu 30 kat yüksekliğindeki bir dikey çiftliğin 15.000 kişiye günlük 2000 kcal.’lik besin sağlayabileceği ifade edilmiştir (Pandey ve ark., 2022). Bu kadar çok insana yeterli gıdayı sağlamak amacıyla bir dikey kulenin sahip olması öngörülen özellikler olarak; kulenin 37 katlı olması (25’i yalnızca bitkisel üretim ve 3’ü su ürünleri yetiştiriciliği amaçlı) ve 0.93 hektarlık bir alanda yer alması gerektiği, ayrıca çevre ve atık yönetimi, paketleme ve ürün işleme gibi prosesler için de belirlenen katların olması gerektiği vurgulanmıştır (Banerjee ve Adenauer, 2014).

#### 4. Dikey tarım sistemleri / Vertical farming systems

##### 4.1. Hidroponik sistem / Hydroponic system

Hidroponik sistemler, pek çok üretici tarafından sıklıkla tercih edilen sistemlerden biridir (Waiba ve ark., 2020). Küresel olarak hidroponik endüstrisinin pazar payı 2022’de 4,65 milyar dolar olduğu ve 2023’ten 2030’a kadar % 11,9’luk bileşik yıllık büyüme oranında (CAGR) büyümesi beklendiği rapor edilmiştir (Grand View Research, 2021). Hidroponik sistem, mahsullerin kum, çakıl, vermikülit, taş yünü, perlit, turba yosunu, Hindistan cevizi veya talaş gibi mekanik destek kullanılarak veya kullanılmadan besin solüsyonlarında (eriyik haldeki bitki besin maddeleri içeren) ve toprak kullanılmadan (topraksız kültür) yetiştirilebildiği bitki yetiştirme teknikğidir (Richa ve ark., 2020; Swain ve ark., 2021). Hidroponik terimi köken olarak, Yunancadan gelen bir sözcüktür ve “Hidro” ve “Ponos” sözcüklerinden türetilmiştir. Hidroponik ile ilgili diğer benzer terimler; “su kültürü”, “hidrokültür”, “besin kültürü”, “topraksız kültür”, “topraksız tarım”, “tank çiftçiliği” veya “kimyasal kültür” dür. (Swain ve ark., 2021). Genel olarak bitki yetiştirme

yöntemlerinin hem olumlu hem de olumsuz yönleri bulunmaktadır (Richa ve ark., 2020). Geleneksel tarım yöntemlerine (toprak kültürü) kıyasla bu yenilikçi tarım tekniğinin başlıca avantajları şunlardır:

- Toprak türünden/kalitesinden bağımsız verimli üretim (hidroponikte 11±1,7 kat daha fazladır) yapılması,
- İklim kontrolünün sağlanması,
- Besin solüsyonu yoluyla büyümenin daha iyi izlenmesi,
- Kaynakları en üst düzeye çıkarma; su ve besin maddelerinin yeniden kullanılabilmesine olanak sağlanması, hidroponik sistemde geleneksel tarıma oranla %70 daha az su gereksinimi vardır.
- Kolay çevresel kontrol sağlanabilmesi; uygun sıcaklık, pH, bağıl nem vb. sağlanarak üretilen bitkilerin artan verimliliği,
- Hızlı büyüme ve mahsul artışı sağlanması,
- Toprak kaynaklı hastalıkları önlemek ve patojenleri kontrol etmek daha kolay,
- Herbisit ve pestisit kullanımının azalması,
- İş gücü ve zaman tasarrufu sağlanması,
- Bitki atıklarının yakılarak imhasının azaltılması
- Mahsul yetiştirmek için daha az alan gerekmesi (Lee ve Lee, 2015; Bingol, 2019; Richa ve ark., 2020; Rakesh ve Javakrishna, 2022).

Hidroponik sistemin dezavantajları ise; maliyetli olması, hassas bir üretim sistemi olması, sistemin sürekli izlenmesi gerekliliği, teknik bilgi gerekliliği, sadece suyu seven bitkiler için uygun olması olarak sıralanabilir. Ayrıca nakliye maliyetleri geleneksel tarıma göre önemli ölçüde daha az olsa da, dikey çiftlikte aydınlatma ve iklim kontrolü için enerji tüketimi işletme maliyetlerini önemli ölçüde artırabilmektedir (Bingol, 2019). pH ve elektriksel iletkenliğinin analizi ile birlikte besin maddelerini doğru bir şekilde hazırlamak ve karıştırmak için eğitimli personele ihtiyaç vardır. Ayrıca elektrik arızalarını önlemek için sistemin izlenmesi gerekir. Yine de, hidroponiğin avantajlarının dezavantajlarından daha fazla olduğu ifade edilebilir (Richa ve ark., 2020).

Bu sistemde; marul (*Lactuca sativa*), nane (*Mentha piperita*), ıspanak (*Spinacia oleracea*), frenk soğanı (*Allium schoenoprasum*), salatalık (*Cucumis sativus*), domates (*Solanum lycopersicum*), çilek (*Fragaria*), dereotu (*Anethum graveolens*), kekik (*Thymus*), biberiye (*Rosmarinus officinalis*), anason (*Pimpinella anisum*), dolmalık biber (*Capsicum annuum* var. *annuum*), su teresi (*Nasturtium officinale*), fasulye (*Phaseolus vulgaris*), karpuz (*Citrullus lanatus*) ve kavun (*Cucumis melo*) yetiştirilebilmektedir.

Hidroponik sistemler temel olarak, açık hidroponik sistemler ve kapalı sistemler olarak ikiye ayrılabilir. Kapalı hidroponik sistemlerde, geleneksel tarımda kullanılan gübrelerde de bulunan nitrat ve fosfat kaynaklı su kaynaklarında meydana gelen kirlenme önemli ölçüde azalmaktadır. Öte yandan, bu sistemin kullanılmasının ana sorunlardan biri, sulama suyunun tuzlu (geri dönen besin solüsyonunda tuz iyonlarının birikmesi, yani yüksek NaCl konsantrasyonları) olmasıdır (Richa ve ark., 2020).

Martin ve ark. (2019), bira üreticilerinin kullandığı tahıllardan, geri dönüştürülmüş kâğıtlardan vs. besiyeri içeriğini desteklenmeye çalışmış ve sonuç olarak simbiyotik bir üretim süreci izleyerek hem sera gazı emisyonlarını yıllık olarak

%60'ın üzerinde azaltılabileceğini hem de sürdürülebilirlik açısından yarar sağlanabileceğini tespit etmişlerdir.

#### 4.2. Aeroponik sistem / Aeroponic system

Aeroponik sistem, toprak veya substrat kültürü içermeden iç mekânda yapılan bitki yetiştirme yöntemidir. Bitkinin yapay bir desteğin yardımıyla havada asılı büyüdüğü bitkiyi desteklemek için toprak veya substrat gerekmediği bir sistemdir (Francis ve ark., 2018; Lakhia ve ark., 2018; İkiz ve ark., 2018). Uluslararası Toprak Bilimleri Birliği Topraksız Kültür Çalışma Grubu (The International Union of Soil Sciences Working Group on Soilless Culture) ise, aeroponik sistemi “küçük damlalar (bir sis veya aerosol) ile doymuş bir ortamda köklerin sürekli veya süreksiz olarak büyütüldüğü bir sistem” olarak tanımlamaktadır (Balogun ve ark., 2014). Kökler havada asılı bir şekilde dururken, bitki büyümesi için gerekli olan besinler ve su ince sis halinde sarkan köklere püskürtülür (Francis ve ark., 2018; İkiz ve ark., 2018). Besin çözeltisinin sis halinde bitkilere verilmesi genellikle yüksek veya düşük hava basıncı ile sağlanmaktadır. Besin çözeltisinin otomasyonunda sis/sprey/aerosol/damlacık boyutu için dikkate alınan nokta, yüksek basınçta 10 ile 100 mikron, düşük basınçta 5-50 mikron ve ultrasonik sisleyicilerde 5-25 mikron arasında olmasıdır (Lakhia ve ark., 2018). Düşük basınçlı aeroponik sistemlerde, bitki kökleri besin çözeltisi rezervuarının üzerinde veya bir rezervuara bağlı bir kanalın içinde asılı olarak bulunmaktadır. Düşük basınçlı bir pompa besin çözeltisini iletikten sonra rezervuara geri dönmelerini sağlayabilmektedir. Bu tür üniteler genellikle tezgâh üstü yetiştirmeye uygundur. Yüksek basınçlı pompaların kullanıldığı aeroponik sistemlerde ise yüksek kurulum maliyetlerini telafi edebilecek yüksek değerli mahsullerin yetiştirilmesi söz konusudur (Choudhury ve Dutta., 2022). Bu sistemler hava-su kültürü olarak kabul edilmektedir. Bu bitki yetiştirme sistemi, B. T. Barker tarafından bir spreyle elma ağaçları yetiştirmesi ile gündeme gelmiştir (Barker, 1922; Clawson ve ark., 2000). Ayrıca sistem, 1957’de besin solüsyonunun sis şeklinde verildiği kökleri havada asılı olan domates ve kahve bitkilerini yetiştiren F. W. Went, tarafından “aeroponik” olarak adlandırılmıştır (Went, 1957; Clawson ve ark., 2000).

Aeroponik sistemde havada asılı olan kökler çok miktarda oksijen alabilmektedir ve bu durum bitkinin daha yüksek metabolizma ve büyüme hızına yardımcı olmaktadır. Çalışmalar, büyüme hızının toprakta olduğundan 10 kata kadar arttığını göstermektedir. Ayrıca, daha az buharlaşma nedeniyle su kaybı çok azalmaktadır (Francis ve ark., 2018). Aeroponik sistemler, mahsul verimini en üst düzeye çıkarırken su kullanımını yüzde 98’e kadar azaltabilmektedir. Aeroponik sistemlerde yetiştirilen bitkilerin daha fazla mineral ve vitamin alarak, daha sağlıklı ve potansiyel olarak daha besleyici hale geldiği de gösterilmiştir (Birkby, 2016; Chaudhry ve Mishra, 2019). Bitkilerin yetiştirildiği haznelere çok az yer kaplamaktadır. Bu durum ise aeroponik sistemin bir depoda, bodrumda veya herhangi bir alanda rahatça kullanılabilirliğini sağlar (Balogun ve ark., 2014). Bu sistemin hava/sis ortamında topraksız bir şekilde bitkilerin hızlı büyümesine izin verdiği için hidroponik sisteme göre daha avantajlı olduğu ifade edilmektedir (Chaudhry ve Mishra, 2019). Sistem su tasarrufunun yanı sıra %60’a varan besin tasarrufu sağlayarak, %100’e varan pestisit ve herbisit kullanımını azaltabilmekte ve bitki verimini hidroponik veya geleneksel tarıma göre %45 ila 75 arasında arttırabilmektedir (NASA, 2006; Lakhia ve ark.,

2018). Sistem işçilik açısından da geleneksel tarıma göre daha avantajlıdır. Bu teknik, yapraklı sebzeler, kök sebzeler, aromatik otlar ve şifalı bitkiler için başarıyla uygulanmıştır. Aeroponik kültür ortamında yetişen bitkilerin fenolik ve flavonoid içerik miktarının, antioksidanlar ve vitaminler gibi verim ve besin kalitesinin toprakta yetişen bitkilere göre daha yüksek olduğu bulunmuştur (Böhme and Pinker, 2013; Chandra ve ark., 2014). Aeroponik sistemler, (1) büyüme odası, (2) bitki destekleme kısmı ve (3) besin besleme sistemi dahil olmak üzere temel olarak üç ana kısımdan oluşur (Lakhiar ve ark., 2020). Bu sistemin avantajları (1) hızlandırılmış bitki büyüme oranları ve daha kısa olgunlaşma süresi, (2) verimde önemli artışlar, (3) bitkiden bitkiye daha yüksek biyokütle ve ikincil metabolit tutarlılığı ve (4) kontaminant içermeyen ürün olarak sıralanmıştır (Pagliarulo ve Hayden, 2002). New York'ta domatesle yapılan aeroponik deneyde bir yılda mahsulün dört katına çıktığı gözlenmiştir (Al-Kodmany, 2018).

Literatürde aeroponik sistem ile domates, soğan, fesleğen, patates, tatlı patates, soya fasulyesi, mısır, marul, fesleğen, *Anthurium andreaenum* ve *Acacia mangium* gibi sebzeler, meyveler, şifalı bitkilerin yetiştirildiği bildirilmiştir (Gopinath ve ark., 2017; İkiz ve ark., 2018; Lakhiar ve ark., 2018; Khater et al., 2021).

Amerika Birleşik Devletleri'nin önde gelen dikey tarım şirketi olan AeroFarms Newark, New Jersey merkezli sürdürülebilir bir iç mekân tarım şirketidir ve ürün yetiştirmek için patentli bir aeroponik yetiştirme sistemi kullanmaktadır (Birkby, 2016).

#### 4.3. GrowCube sistemi / GrowCube system

Topraksız tarım üzerine yapılan çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Araştırmalar kapsamında aeroponik sistemin daha yüksek verim sağlayacak versiyonları üzerine de araştırmalar devam etmektedir. Son yıllarda, kentsel tarıma uygun olarak iç mekânlarda sebze yetiştirmek için yenilikçi bir teknik olarak GrowCube teknolojisi karşımıza çıkmaktadır. GrowCube, hem evlere hem de ticari operasyonlara her iklimde taze gıda yetiştirmek için tam otomatik bir yol sağlamayı amaçlayan bir aeroponik sistemdir. Bu sistemde geleneksel yetiştirme sistemlerine kıyasla büyük alan gerekmez. GrowCube mutfağa yerleştirilebilen ve ıspanak, lahanası gibi yapraklı sebzelerin yetiştirilmesine uygun yetiştirme kutusu olup, ürünler her gün pişirmeden önce hasat edilebilmektedir. Böcek ilacı içermediğinden de ürün tüketimi açısından daha güvenlidir (Noh ve ark., 2021). GrowCube, bir tekerlek aracılığıyla dönen ve gerekli ışığı LED şeridi ile sağlayan beş hafif plastik plaka içeren yüksek teknolojlü küp şeklinde bir havalandırma sistemi bulunan aeroponik bir prototiptir (Al-Kodmany, 2018; Noh ve ark., 2021). Yazılım geliştirici Chris Beauvois, bilgisayar programları ve topraksız tarım sistemlerini birleştirerek GrowCube sisteminin buluşunu gerçekleştirmiştir. Geleneksel tarım yöntemlerine oranla %95 daha az su kullanan bu sistem, bitkileri plakalarda ortama sis halinde su vererek büyütmektedir (Cooper, 2013). Patentli buğulanma teknolojisi, en karmaşık kök sistemlerine bile nüfuz edebilmektedir. Küp ve cihazlar, bilgisayar ve yazılım aracılığıyla kontrol edilir ve küpün içindeki sensörler, mikro iklimi optimize etmek için bilgisayarla iletişim kurar (Al-Kodmany, 2018). Günümüzde şirketler, online olarak çeşitli uygulamalar ve ürün yetiştirme kılavuzları geliştirmektedirler. Bu sayede yetiştirme süreçlerini tamamen uzaktan kontrol ederek optimize edilebilir hale getirmeyi sağlamış olmaktadır. GrowCube ile sebze veya otlar

yetiştirilmiş olup, meyvelerin de üretilmesi hedeflenmektedir. GrowCube, bu yüksek teknolojlü küplerden yüzlerce üretetek projeyi genişletmeyi planlamaktadır.

#### 4.4. Akuaponik sistem / Aquaponic system

1980 yılından beri gün geçtikçe gelişen bir teknoloji olan akuaponik sistem, yenilebilir ve suyu seven bitkileri ve balıkları sadece balık yemi ve güneş ışığı girdisinin olduğu kapalı bir sistemde bir arada yetiştirmek amacıyla yapılan bitki + balık + bakteri + su ortamının dinamik etkileşimini içeren topraksız bir su kültürü şeklindedir (Love ve ark., 2015; Shafeena, 2016; Krastanova ve ark., 2022). Dolayısı ile sistem su ürünleri yetiştiriciliği (balık yetiştiriciliği) ve hidroponik (topraksız bitki yetiştirme) yetiştiriciliğinin kombinasyonu olup, simbiyotik üretim tekniği olarak da adlandırılabilir (Kyaw ve Ng, 2017). Akuaponik sistem, bitkilerin büyümesi için gerekli olan besin maddelerinin geri dönüşüm aracılığıyla böcek ilaçları kullanılmadan yeniden kullanılması amaçlanmaktadır (Shafeena, 2016). Bu sistemler doğal biyolojik döngüler kullanılarak yenilenemeyen kaynakların kullanımını en aza indirildiği ve zamanla artabilecek ekonomik faydalar sağlayan sürdürülebilir bir tarım sistemi olarak hedeflenmiştir (Tyson ve ark., 2011).

Sistemin faydaları; geleneksel su ürünleri yetiştiriciliğine kıyasla suyun verimli kullanımı, sınırlı atık üretimi, sıfır atık su deşarjı, karbon ayak izinin küçük olması, daha az kaynak tüketimi, daha az çevresel etki, daha az metan emisyonu, güvenli gıda üretimi, sınırlı su kullanımına bağlı olarak çevresel kontaminant girişinin azalması, mahsul üretiminin yoğunluğunun artması, kalıntısız mahsul üretimi, nakliye masraflarının düşmesi, toprağa bağlı hastalıkların bertaraf edilmesi olarak belirtilebilmektedir (Love ve ark., 2015; Colt ve ark., 2021). Toprağa dayalı tarımdan daha verimli olduğu için ve sürekli su tasarrufu sağladığı için, kaynakların sınırlı olduğu ve iklim değişikliğinden etkilenen bölgelerde gıda üretimi için ideal bir üretim sistemi olduğu vurgulanmıştır (Pantarella, 2018). Akuaponik sistemden çıkan katı atıklar toprağı zenginleştirmek amacıyla geleneksel tarım çiftliklerine satılabilmektedir. Sistemin kurulacağı alanın su kaynağına yakın olmasına ya da drenaj sistemine ihtiyacı yoktur (Kargin ve Bilguven, 2018). Bu sistemin, geleneksel yöntemlere göre yüzde doksandan daha az su tükettiği belirtilmiştir. Bir baş marulun toprakta üretimi için 50 gün gerekirken, bu sürenin akuaponik sistemde daha kısaldığı ve 35 gün sürdüğü belirtilmiştir. Yine araştırmacılar, 23.000 kg balığın 450.000 kg marul ve ot üretimine yardımcı olduğunu ifade etmişlerdir. Başka bir örnekte ise, 1 metrekaare alanda 0,45 metre küp suya sahip bir sistemde 1 kg fesleğen yaprağının 60 günde yetiştirilebildiği bildirilmiştir (Hati ve Singh, 2021). Wilson (2005) akuaponik sistemde 1 kg balık yetiştiriciliği için harcanan yem ile 7 kg bitki üretilebildiğini ifade etmiştir. Florida'da akuponik bir sistemde hasat edilen ortalama balık ve bitki miktarının yılda sırasıyla 23-45 kg ve 45-226 kg olduğu belirtilmiştir (Colt ve ark., 2021). Rakocy ve ark. (2004), akuaponik sistemde dört yıl boyunca fesleğen ve bamya bitki türlerini, Nil Tilapia ve kırmızı Tilapia balık türleri ile birlikte yetiştirmişlerdir. Her iki balık türünün de hayatta kalma oranları yüksek bulunurken, aynı kültür suyunda bitkilerin yetiştirilmesi nedeniyle 4. hasattan sonra ortaya çıkan besin yetersizliğine bağlı olarak fesleğende bozulmalar görüldüğü ifade edilmiştir. Diğer yandan, bamyanın arazi üretimine göre 18 kat daha fazla üretilebildiğini belirtmişlerdir. Bahri ve ark. (2020) 4 metrekaarelik bir alanda 120 adet nane

çeliği ile 90 adet balık yetiştirerek, bitkilerin köklerinde %50, yapraklarında %100 artış saptayarak hızlı büyüme gerçekleştiğini ve balıklarda %100'e yakın yaşama oranı ve büyüme oranı gözlemlemişlerdir.

Öte yandan, dünyanın bazı iklimlerinde veya bölgelerinde akuaponik sistem ile ilgili belirli ölçeklerde gıda üretimine yönelik çeşitli sınırlamalar vardır (Love ve ark., 2015). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Raporu (United Nations Food and Agriculture)'nda maliyetinin yüksek olması, enerji/kaynak gerektirmesi, günlük bakımların düzenli yapılması sistemin dezavantajları olarak vurgulanmıştır (Love ve ark., 2015; Sahin ve Kendirli, 2016). Yaşanabilecek elektrik kesintilerinin, borularda görülebilecek tıkanmaların sucul canlıların ölümüne yol açabildiği de ayrıca belirtilmiştir (Kargin ve Bilguven, 2018). Bu nedenle, gıda güvenliği ve sürdürülebilirlik konularında avantajlı olan sistem, balıkların ve bitkilerin sağlıklı büyümesi için tesislerin sürekli izlenmesi gerektiğinden işletimi zor olabilmektedir (Kyaw ve Ng, 2017). Bu noktada, çiftçi için ekonomik olması hususu dikkate alınmalıdır (Love ve ark., 2015).

Akuaponik sistem akuakültür kısım (canlılarının yaşayıp beslendiği, atık ürettiği kısım) ve hidroponik kısım sebze (lahana, kabak, salata, marul vb.) ve meyve (çilek, domates vb.) gibi bitkilerin yetiştirildiği kısım) olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Akuaponik sistemlerde bulunan atık arıtma sistemi aracılığıyla su, bitki ve balık tankları arasında devirdaim yapılarak biyolojik olarak filtre edilmekte ve su ürünleri yetiştirilmektedir (Love ve ark., 2015). Balık atıklarının yetiştirilmek istenen bitkiler için gübre işlevi gördüğü ve bitkinin ise balıklar için istenmeyen amonyakın diğer azotlu bileşiklerle birlikte sudan uzaklaştırıldığı bir sistemdir (Kargin ve Bilguven, 2018). Amonyak, balığın boşaltım ürünü olup, çok düşük dozlarda bile suyun pH'sına bağlı olarak balık için toksik olabilir (Yıldız ve Pulatsu, 2022). Temiz hale gelen su balıkların gelişimi için de uygun hale gelmektedir. Bu sistemde su ve balık atıkları bitki yetiştirme kabına pompalanır. Balık atıkları amonyak açısından zengin olup, bakteriler amonyakı önce nitrite, sonra da nitrate dönüştürür (Gosh ve Chowdhury, 2019; Hati ve Singh, 2021). Bu doğal biyolojik dönüşümü yapacak bakteriler yüzeylerde yaşarlar ve suda balıkların protein katabolizmasının son ürünü olan amonyak olduğu zaman gelişmeye başlarlar (Krastanova ve ark., 2022). Bakteri faaliyetleri sonucu oluşan nitrat bitkiler için besin maddesi görevi görür. Besinlerin bitki kökleri tarafından emilmesinden sonra temiz ve filtelenmiş su akvaryuma geri döner (Hati ve Singh, 2021). Akuaponik sistemlerde bu dönüşümü gerçekleştiren nitrifikasyon bakterileri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle amonyumu nitrite dönüştüren amonyum oksitleyici bakteriler üzerinde (*Nitrosococcus*, *Nitrosospira* ve *Nitrosomonas*) durulmaktadır. Nitritin nitrate dönüştürülmesinde nitrit oksitleyici bakteriler (*Nitrobacter*, *Nitrosospira*, *Nitrococcus* ve *Nitrospina*) sorumludur. Son zamanlarda, *Nitrosospira* sp.'nin amonyumdan nitrite tam nitrifikasyonu da gerçekleştirebildiği açıklanmıştır. Bununla birlikte, akuaponik sistemin farklı bölümlerindeki toplam mikrobiyal topluluk, omik teknolojileri kullanılarak karakterize edilmeye çalışılmaktadır. Akuaponik sistemlerin farklı tasarımlarda olması, bu sistemlerde farklı optimum koşullarda üretim yapılabilmesi ve sistemin farklı alt birimleri içerebilmesinden ötürü bu bileşenlerdeki mikrobiyal toplulukların da farklılık gösterebileceği belirtilmiştir (Schmautz ve ark., 2017; Kushwaha, ve ark., 2023). Örneğin, akuaponik sistemlerinin farklı bölümlerinden karakterize edilen

taksonlar; bitki köklerinde *Proteobacteria*, *Planctomycetes*, *Acidobacteria*, *Bacteroidetes*, *Nitrospirae*, *Gemmatimonadetes*, *Methylophilales*, *Nitrosomonadales*, ve *Pseudomonas* sp.; biyofiltrelerde *Bacteroidetes*, *Verrucomicrobia*, *Fusobacteria*, *Planctomycetes*, *Chloroflexi*, *Nitrospirae*, *Proteobacteria*, *Microbacteriaceae*, *Rhodobacterales*, *Rhizobiales*, *Sphingomonadales*, *Nitrosomonadales*, *Burkholderiales* ve *Rhodocyclales*; balık tankında *Nitrospirae* ve *Nitrobacter* sp. olarak bildirilmiştir (Kasozi ve ark., 2021).

Mevcut akuaponik sistemlerde farklı balık türleri kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan balık türlerinin; tilapia, süs balıkları (koi, japon balığı ve tropikal balıklar), yayın balığı, sazan, bluegill, alabalık ve levrek olduğu belirtilmiştir. Yetiştirilen bitki türleri ise genellikle mutfak amaçlı kullanıma yönelik otlar ve baharatlar (fesleğen, kişniş, frenk soğanı, maydanoz, semizotu, nane, marul, ıspanak, pazı, Çin lahanası, su teresi vb.) olarak belirtilmiştir. Domates, biber ve salatalık gibi sebzeler daha yüksek besin gereksinimine ihtiyaç duydukları için iyi kurulmuş akuaponik sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Yep ve Zheng, 2019; Krastanova ve ark., 2022).

Akuaponik çözümlerde özellikle bazı bitkiler için K, Mg, Ca ve Fe'nin yetersiz olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle akuaponik sudaki besin seviyelerinin optimize edileceği detaylı araştırmalara ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır (Yep ve Zheng, 2019). Akuaponik sistemlerde sıcaklık, nem, pH ve mineral konsantrasyonu gibi yetiştirme koşullarının yetiştirilecek sebze, bitki ya da balık türüne göre değişkenlik gösterebileceği belirtilmiştir. Örneğin, bitki türlerinin çoğu için pH bakımından optimal gelişimin pH 6-6,5; balıklar için ise pH 7-9 arasında gerçekleştiği ifade edilmiştir. Ayrıca, nitrifikasyon bakterilerinin gelişimi için pH seviyelerinin 7,5-8,3 arasında olmasının önemli literatürde belirtilmiştir. Bu nedenle tüm akuaponik sistem için geçerli olan ideal pH aralığı 6,0-8,0 olarak rapor edilmiştir (Gosh ve Chowdhury, 2019). Balıklar için en uygun sıcaklıkların yine türe bağlı olarak 25-30°C olduğu kaydedilmiştir (Rakocy ve ark., 2016). Krastanova ve ark. (2022) ise, akuaponik sistemde hem yetiştirilecek *Tilapia* balık türü ve hem de bitkiler için optimum su sıcaklığının 22-24°C, pH değerinin 5,6-7,3, çözülmüş oksijen miktarının ise 3-10 mg/L olması gerektiğini belirtmiştir.

#### 4.5. Silindirik topraksız yetiştirme sistemleri / Cylindrical soilless growing systems

Silindirik Omega Garden veya Volksgarden olarak da bilinen son yıllarda gelişmiş hidroponik sistem örneği karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemde bitkiler merkezi LED ışıklarının etrafında düşük beygir gücünde bir motor kullanılarak her 50 dakikada bir dönen çarkların içine yerleştirilmektedir. Çarkların dönüşünü güneş panelleri veya rüzgâr türbinleri ile de sağlamak mümkündür. Bu sistemlerde bitkiler bir merkez ünite etrafında dönerken belirli bir süre ve seviyede tüm bitkilerin eşit ışık alabilmesi mümkündür. Volksgarden sisteminde bitkilerin kökleri taş yünü içinde yetiştirilirken, bir yandan da geleneksel hidroponik sisteme göre daha hızlı büyümesi sağlanmaktadır. Sistem üniteleri üst üste istifleme yöntemiyle kapasitesini çoğaltmaya elverişlidir (Al-Kodmany, 2018). Volksgarden sisteminde her silindirin 80 bitki tutabilme kapasitesi vardır (Papadopoulos, 2021). Bu sayede tek seferde çok miktarda bitki yetiştirme durumu mümkün olabilmektedir. Volksgarden dikey çiftçilik yöntemi ile kullandığı bu sistemde 120 döner modül içermektedir. Kırmızı ve mavi LED aydınlatma kullanarak, hidroponik silindirik çok katmanlı bir sistemde marul ve

lahananın yetiştirildiğini ifade edilmiştir (Kaur ve Chawla, 2021).

## 5. Şehirlerde dikey tarım uygulamalarına örnekler / Examples of vertical farming applications in cities

### 5.1. Sky greens / Sky greens

Singapur bir ada ülkesi olarak tarımsal faaliyetler için sınırlı alana sahip olduğu ve tükettiği gıdanın yalnızca %7'sini üretebildiği için dikey tarıma oldukça önem vermektedir (Al-Kodmany, 2018). Singapur, gıda talebinin yüzde 90'ından fazlasını ithal ürünler ile karşılamaktadır. Bu sebeple Singapur'da dikey tarım uygulamaları ile yerel gıda üretiminin artırılması ve ithal ürünlere olan bağımlılığın azaltılması hedeflenmiş ve 2012'de yüksek teknoloji şehir çiftliklerinden biri olan Sky Greens ticari olarak faaliyete başlamıştır (Gupta ve Ganapuram, 2019). Sky Greens, dünyanın düşük karbon ayak izine sahip hidrolik suyla çalışan yerçekimi destekli dönen bir yetiştirme sistemi ve enerji tasarruflu LED aydınlatma kullanan dikey tarım sisteminin kurucusudur (Sky Greens, 2018). Bu dikey çiftlikte, üretim sürecinde oluşan atıkların yeniden kullanılmasını sağlayan 3R prensibi (azalt, yeniden kullan ve geri dönüştür) takip edilmektedir. Çevre üzerinde olumsuz etkiye sebep olmadan, yüksek verim ve yüksek kaliteli ürünlerin üretimini sağlayan, ultra modern bir aydınlatma sistemi kullanan ve tamamen kontrolü sağlayan bir otomasyon sistemi ile çalışmaktadır (Zareba ve ark., 2021). Sky Greens, günde ortalama 0.5 ton sebze üretim yapabilmeye kapasitesine sahip, 9 metrelik bir boyutlarda ve 120 alüminyum kuleden oluşmaktadır (Gupta ve Ganapuram, 2019). Sky Greens'in avantajları; geleneksel tarıma göre birim alan başına 5 ila 10 kat daha fazla ürün üretilebilmesi, çevre dostu olması, düşük enerji ve düşük su kullanımını sağlaması, sürdürülebilir atık su yönetimine sahip olması ve yeşil teknoloji kullanması olarak belirtilmiştir (Sky Greens, 2018; Chaudhry ve Mishra, 2019). Sky Greens Solutions (Sky Greens'in sahibi olan şirket), 2015 yılında yenilikçi tasarımıyla INDEX Ödülü'nü kazanmıştır. Sky Greens arazi sıkıntısı olan kentlerde elektrik, su ve insan gücü tasarrufu ile dikey tarım sistemi olarak umut vadeden bir sistemdir (Wong ve ark., 2020). Bir veya birkaç tür mahsul (örneğin; marul, ıspanak, tropikal yapraklı sebzeler) büyük hacimlerde yetiştirilebilmektedir (Beacham ve ark., 2019).

### 5.2. Plantagon / Plantagon

Bir diğer dikey tarım şirketi olan Plantagon İsveç, Linköping'de faaliyetlerine başlamıştır. Plantagon, yerel enerji şirketleri ve yerel biyogaz fabrikaları ile kurulacak simbiyotik bir ilişkiyi sağlamayı hedeflemiştir. Dikey çiftliğin, fabrikaların organik atık, karbondioksit, gübre ve fazla ısısını toplayıp bunları ısıtma-soğutma için biyogaza dönüştürülmesini ve böylelikle gıda üretiminin yanı sıra sürdürülebilirlik konusunda da çözümsel yaklaşımı amaçlamıştır (Al-Kodmany, 2018). Plantagon diğer şirketlerden farklı olarak yerel üretime ek olarak üretilen ürünleri Asya pazarına da göndermeyi planlamıştır (Hallock, 2013). Küre şeklinde olan, dönen sarmal şekilli tasarımı ile otomatize bir sisteme sahip olması, karbondioksit ve oksijen alışverişini sağlaması, otel ve ofis gibi yerlere uygulanabilir olması sebebi ile avantajları olduğu bildirilmiştir (Chaudhry ve Mishra, 2019). Yapay aydınlatma ihtiyacının en aza indirilmesi hatta tamamen ortadan kaldırılması amaçlanmıştır (Möller Voss, 2013). Neredeyse tamamen

makineleşen bu sistem gelecekte gıda sektörü açısından büyük bir trend olma potansiyeli taşımaktadır. Ancak bu durum, çalışan personelin yanı sıra teknolojiyi yönetebilecek bir profesyonelin ihtiyacını da ortaya çıkartmaktadır (Hallock, 2013). Ayrıca mahsulün üretimi, hasadı, atık yönetimi ile ilgili otomatik entegrasyon sistemi olmaması dezavantaj olarak belirtilmiştir (Chaudhry ve Mishra, 2019).

### 5.3. Çatı katı tarımı / Rooftop farming

Günümüzde kentsel yapı yoğunluğunun artması ile şehirlerde yeşil alan kaybı çok yüksek seviyelere ulaşmıştır. Bu nedenle büyük şehirlerde peyzaj mühendisliği alanında yeşillendirme çalışmaları yapılmaktadır. Özellikle New York, Singapur, Hong Kong gibi binaların yoğun olduğu şehirlerde, yeşil alan artırmak amacıyla yeşil çatı, yeşil duvarlar ve kentsel tarıma yönelim söz konusudur (Lee ve Chuang, 2017). Kentsel tarım arazilerinin yetersizliğine bağlı olarak, sürdürülebilirlik kapsamında kullanılmayan alanlar olarak çatılar eşsiz bir yetiştirme alanı olarak görülmektedir. Bazı şehirlerde çatılar ve balkonlar taze tüketim için çeşitli yapraklı yeşillikler, otlar ve baharatlar yetiştirmek için kullanılmaktadır. Bunun yanında, yeşil çatı çiftliklerinin ısı etkisinin azaltılmasında, yağmur suyunun akışının azaltılmasında ve binalara ısı yalıtımının sağlanmasında olumlu etkilerinin olacağı belirtilmektedir (Mir ve ark., 2022). Yeşil çatı çiftliklerinin gıda güvenliğini, atık yönetimini ve iş istihdamı sağlama yönünde olumlu sonuçlarının olduğu aşikârdır (Harada ve ark., 2018a). Üç tür yeşil çatı çiftliği bulunmaktadır. Bunlar, insanların organik gıdaya artan ilgisi neticesinde çatılarda kurulan hidroponik çatı sistemleri, pilot çalışmalar için veya eğitim amacı ile kullanılan çatı çiftlikleri ve ticari çatı çiftlikleridir. Ticari çatı sistemlerinin hedef kitlesi taze yetiştirilen ürünleri satın almayı talep eden müşteriler veya restoranlardır. Genellikle küçük ölçekli üretimlerdir ancak restoran kullanımını sürdürmek için yeterlidir. Hong Kong'daki HK çiftliği üretimin yanı sıra görsel olarak da şehre katkıda bulunmaktadır (Lawrence ve ark., 2022).

#### 5.3.1. Brooklyn grange / Brooklyn dikey çiftliği

New York merkezli bir proje olan Brooklyn Grange 11 katlı bir binanın tepesinde 2010 yılında kurulan ve sebze yetiştirilen 0.6 hektarlık bir çatı çiftliği olup, her yıl 23.000 kg'dan fazla ürünü (domates, kale, salatalık, havuç, bezelye gibi) yetiştirebilme kapasitesine sahiptir. Üretilen ürünler çiftlik pazarlarında ve yerel restoranlara satılmaktadır (Royte ve ark., 2015; Harada ve ark., 2018a). Brooklyn Grange, işletmelere, okullara, kâr amacı gütmeyen kuruluşlara ve devlet kurumlarına yeşil çatılar, yeşil duvarlar ve organik kentsel çiftlik sistemlerini tasarlama ve kurma konusunda sürdürülebilirlik danışmanlığı hizmetleri de sunmaktadır (Plakias, 2016; Harada ve ark., 2018b). Çiftlik kurulduğundan bu yana tonlarca çöpü geri dönmüştür (Yang, 2022). Toplum Destekli Tarım (Community Supported Agriculture, CSA) programı uygulanan Brooklyn Grange'in yerel ekonomiyi ve istihdam yaratmayı teşvik etmesi ile çatı katı tarımında önemli bir yere sahip olduğu belirtilmektedir (Ghosh, 2021). Çatı katı tarımında, Rooflite® adı verilen yoğun yeşil çatılar, çatı bahçeleri, konteynır bahçelerinde sağlıklı bitki büyümesi için optimize edilerek tasarlanmış organik madde ve lignoselülozik materyal içeren toprak kullanılmaktadır. Aynı zamanda Brooklyn Grange, yağmur suyu (yaklaşık olarak 1 milyon galon) yönetimi ile mahsul yetiştirmeyi de mümkün hale getirmektedir. Günümüzde



ise Brooklyn Grange, faaliyetlerini giderek büyümekte ve gelişmeye devam etmektedir (Nasr ve ark., 2014; Royte, 2015; Harada ve ark., 2018b).

### 5.3.2. Gotham greens / Gotham greens

New York, Brooklyn merkezli Gotham Greens iki katlı bir binanın tepesinde, 2011 yılında inşa edilmiş yeşil çatı çiftliğidir. Şirket gelişmiş hidroponik tarım tekniklerini kullanarak 40'tan fazla ABD eyaletine taze, yüksek kaliteli, böcek ilacı içermeyen ürünler yetiştirmektedir. %95 daha az su ve %97 daha az toprak kullanan tesis olarak Business Insider'in "Amerika'daki En Harika 50 Yeni İşletme" listesinde yer almıştır. Gotham Greens, çok çeşitli yapraklı yeşillikler ve otlar yetiştirmekte ve satmaktadır (Gotham Greens, 2017; Goodman ve Minner, 2019; Gulati, 2022). Gotham Greens güneş enerjisi kullanmakta ve şirketin misyonuna uygun olarak 55 kW enerji üretmektedir. Böylelikle düşük karbon ve enerji ayak iziyle sürdürülebilir bir şekilde çalışmaktadır (Goodman ve Minner, 2019). 2023'te Gotham Greens'in dokuz adet yüksek teknolojili, iklim kontrollü hidroponik seraya ulaşmayı hedefledikleri belirtilmiştir. Gotham Greens'in; Teksas, Georgia ve Colorado'da devam eden yeni sera projelerinin olduğu ve Illinois ve Rhode Island'daki mevcut seraları genişlettiği de ayrıca ifade edilmiştir. Uzun mesafeli soğuk nakliyeye gerek olmadan, ürün kalitesi ve raf ömrünün muhafaza edilerek gıda israfını azaltan bir sistemle ürünlerin yetiştirilmesi ve tüketicilere ulaştırılması söz konusudur (Business Insider, 2022). Literatürde, Gotham Greens'in geleneksel tarıma göre daha fazla üretim yapılabilmesi, ısıtma, soğutma, sulama ve bitki beslenme gibi parametrelerin gelişmiş teknoloji ile kontrol edilebilmesi, enerji kullanımının azaltılabilmesi, ürünlerin besleyici özelliklerinin iyileştirilebilmesi gibi avantajları olduğu bildirilmiştir (Chaudhry ve Mishra, 2019). Ayrıca 100 civarında çalışan istihdamı sağlaması yönüyle de çatı katı tarımında önemli bir role sahiptir. Gotham Greens geniş bir dağıtım ağına sahip olup, perakende satış noktalarına, süpermarketlere, üst düzey marketlere ve restoranlara toptan tedarik sağlamaktadır (Goodman ve Minner, 2019).

## 6. Uzay tarımının gelişim süreci ve uzay çiftlikleri / Development process of space agriculture and space farms

Birleşmiş Milletler verilerine göre, yıl 2050'yi gösterdiğinde ekstra 2,3 milyar insanın daha gıdaya ihtiyacı olacağı belirtilmiştir. Konvansiyonel tarımın bu talebi karşılaması imkânsız gibi görünmektedir (NASA, 2021). Tarımın uzayda insan hayatını desteklemek için kullanılması, uzay araştırmalarının uzun süredir devam eden alanlarından biri olmuştur (Wheeler, 2017). Özellikle NASA'nın bu yönde çalışmaları devam etmektedir. Dünya'da ve uzayda gıda üretimi için su kullanımını ve enerji tüketimini en aza indiren topraksız tarım sistemleri üzerinden araştırmalar gelişmektedir (NASA, 2021).

Öte yandan, Mars veya Ay gibi uzun süreli uzay görevlerinde astronotların yemek ihtiyaçları, donmuş veya konserve edilmiş gıdalardan karşılanmaktadır ancak bu gıdalar da kütleye ve buna bağlı olarak fırlatma ve yakıt tüketimi sırasında ortaya çıkan ekstra maliyetler nedeniyle fazla miktarda alınamamaktadır. Son zamanlarda astronotların beslenmelerini desteklemek için taze gıdaların üretimi ve bitki yetiştirme sistemlerinin keşfedilmesi gündeme gelmiştir. Ancak uzay çiftçiliklerinde yerçekiminin ve diğer koşulların dikkate

alınmasının gerekliliği literatürde vurgulanmıştır (Nguyen ve ark., 2023). Bu bağlamda ilk denemeler ABD Hava Kuvvetleri ve NASA için Jack Myers ve diğerleri tarafından 1950'ler ve 60'larda alglerin (*Chlorella* sp., *Anacystis*, *Synechocystis*, *Scenedesmus*, *Synechococcus*, and *Spirulina*) test edilmesine dayanan çalışmalar ile başlamıştır. Uzay tarımı sistemlerinin temelinde, bitkilerin veya diğer fotosentetik organizmaların biyokütle (CH<sub>2</sub>O) ve oksijen (O<sub>2</sub>) üretmesi, havadan CO<sub>2</sub>'yi uzaklaştırması vardır. İlk uzay bitkisi araştırması (Sputnik 4), 1960 yılında buğday, bezelye, mısır ve soğan çimlenmesi ile başlamıştır (Nguyen ve ark., 2023).

İlk uzay istasyonları olan Saylut ve Skylab 1970'lerde mikro yerçekiminin sitoplazmik akış üzerindeki etkisi gibi temel astrobotanik araştırmaların yapılabilmesine imkân sunmuştur (Reed ve ark., 2023). 1971'de Oasis 1'de keten, pırasa, soğan ve Çin lahanası yetiştirilmiştir. Daha sonra Biosatellite II'de biber ve Mir uzay istasyonunda turp ve lahanası gibi sebzeler üzerinde ön çalışmalar yapılmıştır (Nguyen ve ark., 2023; Reed ve ark., 2023). Mir uzay istasyonundaki SVET büyüme odasında, tohumdan uzayda yetiştirilen ürünlerin ilk mahsulü elde edilmiştir (Reed ve ark., 2023). 1982'de Rus uzay istasyonu olan Saylut'ta *Arabidopsis thaliana* çiçekli bitkisi yetiştirilmiştir. Yakın zamanda ise, The International Space Station (Uluslararası Uzay İstasyonu, ISS)'de astronotlar The Vegetable Production System (Veggie-NASA tarafından uzay ortamlarında geliştirilen ve kullanılan bir bitki yetiştirme sistemi) ve Advanced Plant Habitat (APH- Uluslararası Uzay İstasyonunda bitki biyolojisi araştırması yapmak için kullanılan otomatik bitki yetiştirme tesisi)'i kullanarak köklü ve yumru sebzeler, soğan, sarımsak, yeşil yapraklı bitkiler, domates ve salatalık gibi meyve veren sebzeler yetiştirmişlerdir (Nguyen ve ark., 2023; Reed ve ark., 2023). Veggie ve APH sistemlerinin teknolojik olarak farklı sistemler olduğu ifade edilmiştir. Veggie'nin, bitki yetiştirme ortamını kontrol etmek için yalnızca LED aydınlatma sistemine ve bir havalandırma fanına sahip olduğu ve kontrollerin minimal düzeyde kaldığı bildirilmiştir (Reed ve ark., 2023). Biyokütle üretim sistemi (BPS) uzayda bitki yetiştirme denemeleri için kullanılan 2002'de NASA tarafından çalıştırılan ilk yetiştirme odasıdır. BPS hem çevresel parametrelerin koşullarını kontrol etmiş hem de bu bilgiler ile birlikte görüntüleri Dünya'ya göndermiştir. NASA'nın yakın gelecek hedefinde Ohalo III'te daha karmaşık bitki yetiştirme büyüme sistemleri geliştirmek vardır (Nguyen ve ark., 2023).

Mikro yeşilliklerin uzay istasyonlarındaki mürettebat ve astronotların iştahlarını arttırmak ve vücutlarındaki homeostazı korumak için iyi bir gıda bileşeni olarak kabul edildiği ifade edilmiştir. Uzay tarımı mikro yerçekimi ortamından kaynaklanan birçok zorlukla karşılaşsa da çeşitli teknolojiler ve büyüme sistemleri geliştirilmeye devam edilmektedir (Teng ve ark., 2023). NASA, atıkları geri dönüştürebilen, yiyecek ve oksijen üreten öte yandan da karbondioksiti ortadan kaldıran bitkilerle biyorejeneratif yaşam destek sistemlerini araştırmaktadır. Kapalı Ekolojik Yaşam Destek Sistemi programı, NASA'nın Florida'daki Kennedy Uzay Merkezi'ndeki Yaşam Bilimleri Bölümü tarafından başlatılmış ve bitkilerin en ideal büyüme koşullarını belirlemek için büyüme odaları inşa etmiştir. NASA Biyokütle Üretim Odası 1980'lerde inşa edilmiş ve çok sayıda büyüme deneyi gerçekleştirilmiştir (NASA, 2021).

NASA'nın yayınladığı verilerden yola çıkarak, daha sonrasında Green Sense Farm Holdings, Bowery Farming gibi şirketler, NASA'nın sistemini yapay zekâ ve birkaç özellikler ile



geliştirerek Dünya üzerinde kullanmaya başlamışlardır. Özellikle Green Sense Farm'ın başkanı olan Robert Colangelo, bitkinin ihtiyacı kadar ışık dalga boyunun kullanıldığını ve bu kapsamda da elektrik konusunda tasarruf sağlandığını tespit ettiklerini açıklamışlardır. Bowery Farms ise, sistem ile entegre olan yapay zekânın kendi kendine öğrenebildiğini, binlerce veri ve fotoğrafı inceleyerek sorunu tespit edebildiğini açıklamıştır. Aynı zamanda yapay zekâ sürekli olarak denetleme yaparak, her bir detayı izleyebilme özelliğine de sahiptir (NASA, 2021; Nguyen ve ark., 2023).

Son yıllarda, uzay çiftliklerinde günümüz teknolojilerinin de kullanılarak bitkilerin yetiştirilmesine ilişkin öneriler de ortaya atılmıştır. Bunlardan biri Liu ve ark. (2021) tarafından bitki biyoteknolojisine dayanan Whole-Body Edible and Elite Plant (WBEEP) stratejisi olarak önerilmiştir. Bu strateji ile uzay çiftliklerinde daha fazla zengin besin içeriğine, yüksek verimliliğe ve yüksek mineral içeriğine sahip yenilebilir mahsullerin geliştirilebileceği öngörülmüştür. Bu amaçla da, patates (*Solanum tuberosum* L.) bitkisinin seçilebileceği ifade edilmiştir.

### 6.1. Veggies bitki üretim sistemi / Veggie plant production system

Veggie sistemi Expedition 39 mürettebatı tarafından geliştirilmiş ve Florida'da bulunan John F. Kennedy Uzay Merkezi'nde test edilmiş bir bitki geliştirme sistemidir. Temel amacı mikro yerçekimlerinde bitkilerin sağlıklı şekilde büyümesini sağlamak, atmosfer değişikliğine karşı bitkinin verdiği tepkiyi analiz etmek ve üretilen ürünleri daha da zengin bir içeriğe sahip hale getirmektir. Sadece bitki büyüme deneyleri için değil, aynı zamanda gıda üretmek için de tasarlanmış ilk bitki büyüme sistemidir (TechPort, 2018; Carillo ve ark., 2020). Veggie, Orbital Technologies Corporation (ORBITEC, Madison, ABD), tarafından NASA Small Business İnovasyon Araştırması (SBIR) programı bünyesinde inşa edilmiştir. Astronotlar Rick Mastracchio ve Steve Swanson 7 Mayıs 2014'te Columbus Laboratuvar Modülüne Veggie'yi kurmuşlardır (Herridge, 2017; John F. Kennedy Space Center, 2020; Carillo ve ark., 2020).

NASA, uzun süreli uzay uçuşları sırasında astronot mürettebatının gıda olarak tüketebilmesi ve biyorejeneratif yaşam desteği olması için taze salata bitkilerinin yetiştirilebildiği küçük sebze üretim odaları şeklinde olan Veggie'yi kullanmaktadır (Burgner ve ark., 2020; Koçkaya ve Un, 2022; Morsi ve ark., 2022). Veggie Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS) için modüler, düşük kütleli ve düşük enerjili bir ünite olarak bahçe bitkileri yetiştirme olanağını sunmak üzere tasarlanmıştır (Massa ve ark., 2017). Veggie, düşük güç gereksinimleri ile "astronotlar için bir bahçe" olarak kabul edilir. Veggie'de yetişen bitkilerin, kendi LED aydınlatma sistemlerine ve hava akışına sahip oldukları belirtilmiştir (Carillo ve ark., 2020; Morsi ve ark., 2022).

Günümüze kadar bu sistem ile Çin lahanası, zinnia çiçekleri, marul, kırmızı lahanası, Mizuna hardalı, kale, karnabahar gibi çeşitli bitkilerin üretimi başarıyla sağlanmıştır (Wheeler, 2017; Morsi ve ark., 2022; Reed ve ark., 2023). Özellikle uzayda yapılan tarımda patojen kontaminasyonu riskinden çok endişe edilmekte idi. Dr. Gioia Massa ve ekibi tarafından uzayda yetiştirilen Dünya'ya gönderilen marul numuneleri araştırıldığında ise, patojen bulgusu veya canlı organizma için zararlı bir etkene rastlanmamış ve yetişen ürünler güvenli olarak kabul edilmiştir (Wheeler, 2017).

### 6.2. BRIC çalışması / BRIC study

The Biological Research in Canisters (BRIC) adlı sistemin temel amacı, petri kabında gelişen mikroorganizmaların üzerinde uzay atmosferinin verdiği etkiyi incelemektir. Bunların yanı sıra BRIC-LED adı verilen sistem ise, algler ve yosunlar gibi ışığa ihtiyaç duyan canlıların yetişebilmesini sağlayan, LED ışıklardan yararlanarak hala geliştirme prosesleri devam eden, BRIC sisteminin daha gelişmiş versiyonudur. Araştırmacılar tarafından adaptasyon sürecinde yerçekimi kaynaklı genlere zararın oluşabileceği, reaktif oksijen türlerinin DNA yapısını bozabileceği gibi etkilerin ortaya çıkabileceği düşünülmektedir. Buna bir örnek olarak, Veggie'de üretilen Zinnia çiçeklerinde ani bir mantar enfeksiyonu gelişimi olmuştur (John F. Kennedy Space Center, 2020). Özellikle BRIC çalışmalarında, Florida Üniversitesinden Ph. D. Robert Ferl ve Ph. D. Anna Lisa Paul, bitkilerin genom dizilimi ve DNA'da gelişen değişiklikleri inceleme fırsatı bulmuşlardır. BRIC tekniği sayesinde, yaşam destek sistemlerinin nasıl sürdürülebilir hale getirilebileceği ve uzun süren uzay uçuşlarında gıda kalitesinin nasıl sağlanacağı hakkında detaylı veriler elde etmeyi başarmışlardır (NASA, 2013). Nicholson ve ark. (2021) BRIC tekniği ile Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS) içindeki mikro yerçekimi ortamının Gram-pozitif bir bakteri olan *Bacillus subtilis* üzerine transkriptomik tepkisini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, BRIC-21 ve BRIC-23 olarak adlandırılan iki farklı deney yaparak, kontrol suşları ile aynı *B. subtilis* suşlarını elde edebilmişlerdir. Diğer benzer çalışmalarda da, BRIC deneyleri ile *Staphylococcus epidermidis* ve *S. aureus* bakterilerinin de mikro yerçekimi ortamında geliştirilebildiği rapor edilmiştir (Nicholson ve ark., 2021). ISS'de mikro yerçekimine ve diğer koşullara maruz kalan bitkilerde kök eğriliği, gen ifadesinde değişiklikler ve hücre duvarı bileşiminde değişiklikler gibi durumların ortaya çıktığı belirtilmiştir. Mikro yerçekiminin hücresel organeller üzerindeki etkilerini ele alan sistematik çalışmaların eksik olduğu ifade edilmiştir. Bu amaçla Wang ve ark. (2022) *Arabidopsis zigzag-1* (zig-1) ile yapmış oldukları çalışmada (BRIC-24), Wortmannin ile muamele edilen fidelerinde mikro yerçekiminin bazı hücrelerde hipokotil büyümesi ile vakuol füzyonunu azalttığı ve zig-1 fenotipini güçlendirdiğini göstermiştir.

### 6.3. Geliştirilmiş bitki habitatı (APH) / Advanced plant habitat

Sierra Space Corporation tarafından NASA KSC için inşa edilen APH, 2017 yılında ISS'ye fırlatılmıştır (Morrow ve ark., 2023). Veggie sistemine benzeyen APH sistemi, ISS üzerinde bitkilerde nesiller boyu denemeler yapılmak üzere geliştirilmiş, tamamen kapalı ve kompleks yapıya sahip büyük hacimli bir bitki yetiştirme alanıdır. APH, 180'den fazla kalibre edilmiş ve bitki açısından önemli hava hızı, bağıl nem, CO<sub>2</sub> gibi kapsamlı kontrollerin yapıldığı sensörlerle donatılmıştır. Ayrıca, bitki deneyleri için 135 güne kadar uygun bir büyüme ortamı (örn. sıcaklık, bağıl nem, karbondioksit seviyesi, ışık yoğunluğu gibi) sağlayan önceden programlanmış bir sisteme sahiptir. Ayrıca, APH sisteminin sahip olduğu sensörler ve kameralar sayesinde, bitkinin gelişim evreleri Dünya'dan izlenebilmektedir (NASA, 2013; Sempstrott, 2021; Levine, 2022; Reed ve ark., 2023). Buğday ve *Arabidopsis* bitkileri APH'de tohumdan başarılı bir şekilde üretilmiştir ve ISS'de 30 günlük büyümenin ardından hasat edilmiştir (Monje ve ark., 2018). Sistem, LED ışıklar ile gübrenin kontrollü salınımını sağlayan gözenekli bir kil substrat içermekte, sıcaklık, nem gibi çevresel faktörler

otomatik olarak kontrol edilmekte ve bu sayede günlük bakıma ihtiyaç kalmadan takipler yapılabilmektedir. Yetişen bitki örnekleri dondurularak incelenmek üzere Dünya'ya gönderilmektedir. Araştırmacıların cevabını bulmaya çalıştığı asıl soru ise, bitkilerin lignin içeriği ile mikro yerçekimi arasında olan bağ üzerinedir. Ligninler bitkilerin yerçekimine karşı gösterdiği direnç ve sertlik yapısını oluşturduğu için, insan kemiklerinin yapısına çok benzetilmektedir. Uzayın, insanların kemik ve kas yapısına uzun sürede zarar verdiği bilinmektedir. Aynı zamanda genetiği değiştirilerek daha az lignine sahip olan bitkilerin, uzay ile uyumu veya uzayda yaşamını sürdürebileceği de merak edilen konular arasındadır. Eğer böyle bir şey mümkün olabilirse, bitki tüketiminde daha yüksek besin verimi alınabileceği ve atıklardan kompost yapılmasının çok daha kolay olacağı düşünülmektedir (NASA, 2013; Sempsrott, 2021). Bugüne kadar APH'de yetiştirilen yenilebilir ürünler çüce buğday, Hatch biberi ve turptur (Reed ve ark., 2023).

#### **6.4. Bitki habitat-04 (PH-04) deneyi / Plant habitat-04 (PH-04) experiment**

NASA'nın Bitki Habitat-04 (PH-04) deneyi ile Uluslararası Uzay İstasyonunda ilk kez acı biber yetiştirildiği belirtilmiştir (Sempsrott, 2021). Deney, Temmuz 2021 yılında başlatılmıştır ve Kasım 2021'in sonunda sonlandırılmıştır (Massa ve ark., 2021). Biber tohumları, Ocak 2021'de klor gazı ile sanitize edildikten sonra Nisan 2021 yılında ekilmiştir (Khodadad ve ark., 2022). Biberlerin çimlenme süreleri 10-14 gün ve büyüme döngüleri 90-120 gün olarak rapor edilmiştir. Ayrıca, meyve verme dönemlerinin uzun olduğu bildirilmiştir (Spencer ve ark., 2020). Astronotlar iki hasattan ilkinin gerçekleştirdiğinde biberler üç aydan fazla büyümüş ve 26 Kasım 2021'de ikinci bir hasat gerçekleştirilmiştir. Ekip, ilk hasattaki tüm biberleri yemiş ve ikinci hasadın bir kısmını yedikten sonra analiz için Dünya'ya 12 biber paketleyerek göndermişlerdir. PH-04, uzay istasyonunda ilk defa bu kadar uzun süreli bitki yetiştirme söz konusu olmuştur. Bu çalışma ile uzun süreli uzay görevleri sırasında gıda ürünleri yetiştirme konusunda bilgi elde edilmiştir. Ayrıca, gönderilen biber örneklerinde herhangi bir gıda patojeninin üremediği ve toplam heterotrofik bakteri/mantarların sayısının tespit edilebilir sınırların altında olduğu belirlenmiştir (Khodadad ve ark., 2022). Araştırmacılar, Hatch Valley'den farklı varyetede Hatch acı biberlerini seçmişlerdir. New Mexico Eyalet Üniversitesi tarafından Hatch Sandia ve Espanola biber türlerinin melezlenmesi ile elde edilen bir tür olan NuMex (Espanola Enhanced)'i elde etmişlerdir. Uzay tarım sistemleri ile iyi uyum yakalayan bu tür, Hatch biber türlerinin arasındaki en iyi biber olarak kabul edilmektedir (Sempsrott, 2021).

#### **7. Gastronomi alanında topraksız tarım uygulamaları / Soilless agriculture applications in the field of gastronomy**

Bilinçsiz tüketim ve kaynakların israfı sebebiyle sürdürülebilirlik kavramı günümüzün en temel konularından biridir. Nüfusun yoğun artışı, sanayileşme, teknolojik gelişmeler beraberinde tarım alanlarının tahribata uğraması problemini meydana getirmiştir. Bunların yanı sıra üretimde çok fazla su kaynaklarının tüketilmesi, kimyasal madde kullanımı, fazla miktarda atık oluşumu ve bu atıkların bilinçsizce doğaya bırakılması, çevreye ve canlılara zarar vermekte ve bu durum sürdürülebilir gastronomi konusunun önemini ortaya koymaktadır (Cekal ve Dogan, 2022, Cankul ve Toprak, 2022).

Sürdürülebilir gastronomi bölgeye özgü gastronomik öğelere ve kırsal alanlara çevreye duyarlı bir şekilde yönelimi sağlayarak, gelecek nesillere aktarımı mümkün hale getirmektedir (Cilginoglu ve ark., 2022). Son zamanlarda toplumdaki bireylerin organik tarım ve sağlıklı beslenme konularına önem verdiği görülmekte ve sürdürülebilirlik konusunda daha fazla hassasiyet gösterdikleri de görülmektedir. Sürdürülebilir gastronomi kapsamında bazı yeşil restoranların kendi ürünlerini yetiştirdikleri ve tabaklarında da kullandıkları görülmektedir. Bu noktada topraksız tarım sistemleri gastronomi açısından da ele alınan sistemlerdir. Üretilen gıda maddesinin çevreye zarar vermeden nesiller arasında aktarılması sürdürülebilir gastronomi açısından oldukça önemlidir. Gastronominin sürdürülebilir olması da tarım uygulamalarının sürdürülebilir olmasıyla mümkün hale gelmektedir (Cankul ve Toprak, 2022; Cekal ve Dogan, 2022).

Sürdürülebilir gastronomi alanında kullanılacak dikey tarım tekniği ile doğal tarım ürünlerinin kullanımında bir teşvik oluşturulabileceği ve bu tarım ürünlerinin korunarak nesiller arasında aktarılacağı öngörülmektedir. Bu duruma bağlı olarak yerel üretimin destek alması ve üretimin gelişmesi sonucunda rekabet artışı ve müşteri memnuniyetinin oluşturulması sağlanabilecektir. Dikey tarım ile iklim koşullarında gerçekleşen değişkenlerden etkilenmeden 4 veya daha fazla kez ürün elde edilebilmektedir. Bunların yanı sıra bu şekilde elde edilen ürünlerin yüksek kalitelerde olması, ülkeler için son derece önem arz etmektedir. Gıda ürününe ulaşabilmek ve sürdürülebilir gıda güvenliği, sürdürülebilir gastronomi açısından oldukça önemlidir. Bütün bu taleplerin karşılanması ise dikey tarım ile mümkündür (Martin ve Molin, 2019; Cilginoglu ve ark., 2022; Goh ve ark., 2023).

Toskana (İtalya) yerel gastronomi kültüründe kullanılan yenilebilir yabani yapraklı bitkilerin dikey tarım ile birleşmesiyle yeni bakış açılarının oluşabileceği belirtilmiştir (Baldi ve ark., 2022). Gastronomi alanında, sürdürülebilir ekolojik tasarım anlayışı olan perma-kültür restoranlarda sıklıkla görülmektedir. Oluşturulan menülerde; akuaponik, hidroponik ve organik tarım teknikleri ile üretilen gıda ürünleri kullanılmaktadır. Özellikle hidroponik teknikte yatay ve dikey olarak oluşturulan alanlarda, doğal ve ekolojik ürünler rahatlıkla yetiştirilebilmekte ve maliyet açısından çeşitli avantajlar elde edilebilmektedir (Eren, 2018). Tarımın teknolojik hale gelmesi ve her geçen gün inovasyon ile gelişmesi, üretimin zor olduğu alanları efektif kullanmayı ve tarımsal verim sağlamayı insanlara kazandırmıştır. Türkiye'de faaliyet göstermekte olan Mutfak Sanatları Akademisi (MSA) ile Plant Factory ortak çalışma yaparak, MSA Bahçe olarak adlandırılan küçük bir dikey tarım uygulamasını hayata geçirmişlerdir. 2020 yılında faaliyete giren bu uygulama ile hem şehir tarımcılığı için bir tanıtım ve teşvik sağlanmakta hem de eğitim gören öğrencilerin ve eğitim veren şeflerin kapalı alanda dikey tarım ile tanışmasına ve bu ürünleri deneyimlemesine olanak sağlamaktadır. MSA bu teknik ile %95 daha az su tüketimi ve minimum düzeyde kayıp ile kıvrıkcık marul çeşitleri ile birlikte fesleğen gibi yeşil yapraklı ürünleri yetiştirebilmektedir. Gebze Teknik Üniversitesi ile HGT Tarım iş birliği yaparak üniversitenin kampüsünde 20 farklı tür bitki LED Destekli Dikey Tarım Laboratuvarı'nda (LAVFARM) pestisit veya herbisit kullanılmadan üretilmiştir (Kurum, 2021; Gastronomi Turkey by Rafine, 2021).

Omaha'da (ABD/Nebraska) bulunan Gather in Omaha isimli restoranın içinde yer alan bir dikey çiftlik bulunmaktadır. 61 adet aeroponik kuleden oluşan çiftlikte yetiştirilen fesleğen,

nane, roka, lahanası, biberiye, marul ve hardal gibi çeşitli ürünler taze olarak hasat edilmekte ve menülerde bulunan yemek-kokteyl reçetelerinde kullanılmaktadır (Agrotonomi, 2023). Aynı zamanda bu uygulama ile tedarik zincirinde yaşanan kesintiler ve kontamine olmuş gıda ürünlerinin geri gönderilmesi gibi durumların da büyük ölçüde önüne geçilmektedir. Bunların yanı sıra 2020 yılında Poughkeepsie’de (New York) faaliyete geçmiş olan Farmers & Chefs isimli restoran konteyner çiftliği uygulamasını kullanmakta ve burada çeşitli üretimlerde bulunarak yetiştirdikleri ürünleri menülerinde bulunan reçetelerde kullanmaktadır (Ridden, 2021).

Son yıllarda mikro yeşillikler de yeni bir gastronomi trendi olarak karşımıza çıkmaktadır. Mikro yeşilliklerin çoğunlukla hem yaratıcı sunuma hem de lezzete önem verilen fine dining restoranlarda kullanıldığı görülmektedir (Kou ve ark., 2014; Mir ve ark., 2017). Mikro yeşillikler, bir bitkinin yaşaması için gerekli olan tüm unsurları içeren bir besin çözeltisi yardımı ile topraksız yetiştirme sistemleri kullanılarak üretilir. Mikro yeşilliklerin üretildiği en yaygın sebze türlerinin *Brassicaceae* (karnabahar, brokoli, lahanası, Çin lahanası, lahanası, su teresi, mizuna, turp, roka ve hardal gibi), *Asteraceae* (marul ve hindiba gibi), *Apiaceae* (dereotu, havuç, rezene, kereviz gibi), *Amarillydaceae* (sarımsak, soğan, pırasa gibi), *Amaranthaceae* (amaranth, pazı, pancar, ıspanak gibi) ve *Cucurbitaceae* (kavun, salatalık, kabak gibi) familyalarına ait olduğu görülmektedir. Ayrıca, tahıllar (yulaf, yumuşak buğday, durum buğdayı, mısır, arpa, pirinç), kinoa, baklagiller (nohut ve fasulye gibi), yağlı bitkiler (ayçiçeği) ve keten gibi lifli bitki türlerinin yanı sıra fesleğen, frenk soğanı, kişniş ve kimyon gibi birçok aromatik tür için de mikro yeşillikler üretilmektedir (Renna ve ark., 2017). Ancak restoranların mufağına ulaşana kadar nakil sırasında veya depolama esnasında mikro yeşilliklerin kalitesinde ve aromasında düşme meydana geldiği ifade edilmiştir (Xiao ve ark., 2014). Bu nedenle mikro yeşilliklerin yiyecek içecek işletmelerinde üretilmesi bazı şefler tarafından tercih edilen bir seçenek olmaktadır. Ritz-Carlton, Napoli’de Şef George Fistrovich, “The Grow House” adı verilen, iklim kontrollü bir ortamda mikro yeşillikler yetiştirmektedir (Ritz-Carlton, 2015).

## Kaynaklar / References

- Agrotonomy, (2023). Agrotonomy, <https://agrotonomy.com/vertical-farming-with-tower-farms-in-restaurants/>, (Erişim tarihi: 28.11.2023).
- Al-Chalabi, M. (2015). Vertical farming: Skyscraper sustainability? *Sustainable Cities and Society*, 18, 74-77.
- Al-Kodmany, K. (2018). The vertical farm: A review of developments and implications for the vertical city. *Buildings*, 8(2), 24.
- Arumugam, T., Sandeep, G., & Maheswari, M. U. (2021). Soilless farming of vegetable crops: An overview. *Pharma Innov. J*, 10(1), 773-785.
- Aune, J. B. (2012). Conventional, organic and conservation agriculture: production and environmental impact. *Agroecology and strategies for climate change*, 149-165.
- Bahri, I., Sele, 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.
- Baldi, A., Bruschi, P., Campeggi, S., Egea, T., Rivera, D., Obón, C., & Lenzi, A. (2022). The renaissance of wild food plants: Insights from Tuscany (Italy). *Foods*, 11(3), 300.
- Balogun, M., Maroya, N., & Asiedu, R. (2014). Seed yam production in an aeroponics system: a novel technology. *International Institute of Tropical Agriculture*.
- Banerjee, C., & Adenauer, L. (2014). Up, up and away! The economics of vertical farming. *Journal of Agricultural Studies*, 2(1), 40-60.
- Barker, B. (1922). Studies on root development. *Long Ashton Research Station Annual Report*, 1921, 9-57.
- Beacham, A. M., Vickers, L. H., & Monaghan, J. M. (2019). Vertical farm-

## 8. Sonuç / Conclusion

M.Ö 600’lü yıllara kadar uzanan geçmişi ile topraksız tarım günümüzde insanlık için son derece önemli hale gelmiştir. İklim değişiklikleri, hızlı ve çarpık kentleşme, toprakların bilinçsiz kullanılması sonucu kullanılabilir verimli tarım arazilerinin miktarı her geçen yıl azalmaktadır. Ayrıca tarım arazilerinin azlığı nedeniyle toprakların sürekli kullanımı toprak verimliliğini azaltmasının yanı sıra ürün kalitesini de düşürmektedir. Bu yüzden kontrollü bir şekilde topraksız tarımın kullanılabilirliğinin artması hem yüksek verime sahip ürünlerin üretilmesi hemde yerel pazara sağladığı sağlıklı gıda desteği ile son derece olumlu bir etki göstermektedir. Ancak maliyet durumu oldukça fazladır. Ülkelerin hızlı davranarak topraksız tarım uygulamalarına yönelmesi ve bu teknikleri benimseyen şirketlere finansal destek sağlaması, bu maliyet probleminin önüne biraz da olsa geçebilecektir. Aynı zamanda bu sistemlerin uzay alanına taşınması durumu da gelecekte çeşitli araştırma konularını önümüze getirecektir. Ay ve Mars keşiflerinde bulunma, hatta burada yaşam alanı oluşturma gibi soruların bir kısmına cevap verebilme potansiyeline sahip olan topraksız tarım sistemleri, günümüzde uzay istasyonunda yapılan yetiştiricilik çalışmaları ile daha da ileriye taşınacaktır. Gastronomi alanında da sürdürülebilirlik anlayışı çerçevesinde topraksız tarım uygulamalarına her geçen gün daha fazla önem verildiği görülmekte ve bazı işletmelerde bu uygulamaların hayata geçirilerek hasat edilen ürünlerin daha standart ve taze bir şekilde tabaklarda kullanıldığı görülmektedir.

**Çıkar çatışması / Conflict of interest:** Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder / The authors declare that they have no conflict of interests.

**Etik beyanı / Informed consent:** Bu çalışmada, yazarlar, hiçbir insan ya da hayvan denek kullanılmadığını ve Etik Kurul iznine gerek olmadığını beyan eder / The authors declare that this manuscript did not involve human or animal participants and informed consent was not collected.

- ing: a summary of approaches to growing skywards. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94(3), 277-283.
- Bihari, C., Ahamad, S., Kumar, M., Kumar, A., Kamboj, A. D., Singh, S., ... & Gautam, P. (2023). Innovative Soilless Culture Techniques for Horticultural Crops: A Comprehensive Review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(10), 4071-4084.
- Bingol, B. (2019). Alternatif tarım yöntemleri; Aeroponik, Akuaponik, Hidroponik. *Harman Time Dergisi*, 7(82), 34-42.
- Birkby, J. (2016). Vertical farming. *ATTRA Sustainable Agriculture*, 2, 1-12.
- Burgner, S. E., Nemali, K., Massa, G. D., Wheeler, R. M., Morrow, R. C., & Mitchell, C. A. (2020). Growth and photosynthetic responses of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. cv. Tokyo Bekana) to continuously elevated carbon dioxide in a simulated Space Station “Veggie” crop-production environment. *Life Sciences in Space Research*, 27, 83-88.
- Cankul, I., & Toprak, Y. (2022) Sürdürülebilir Gastronomi Bağlamında Dikey Tarım Uygulamaları. *Journal of Gastronomy, Hospitality and Travel*, 5 (4), 1760-1767.
- Carillo, P., Morrone, B., Fusco, G. M., De Pascale, S., & Roupael, Y. (2020). Challenges for a sustainable food production system on board of the international space station: A technical review. *Agronomy*, 10(5), 687.
- Chandra, S., Khan, S., Avula, B., Lata, H., Yang, M. H., ElSohly, M. A., & Khan, I. A. (2014). Assessment of total phenolic and flavonoid content, antioxidant properties, and yield of aeroponically and conventionally grown leafy vegetables and fruit crops: A comparative study. *Evidence-*

- Based *Complementary and Alternative Medicine*, 2014.
- Chaudhry, A.R., & Mishra, V.P. (2019). A comparative analysis of vertical agriculture systems in residential apartments. In 2019 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET) (pp. 1-5). IEEE.
- Chole, A. S., Jadhav, A. R., & Shinde, V. (2021). Vertical farming: Controlled environment agriculture. *Just Agric*, 1, 249-256.
- Choudhury M. R. & Dutta, A. (2022). Aeroponics. <https://engrxiv.org/preprint/view/2481/version/3621>. (Erişim tarihi: 28.11.2023).
- Clawson, J. M., Hoehn, A., Stodieck, L. S., Todd, P., & Stoner, R. J. (2000). Re-examining aeroponics for spaceflight plant growth (No. 2000-01-2507). SAE Technical Paper.
- Colt, J., Schuur, A. M., Weaver, D., & Semmens, K. (2022). Engineering design of aquaponics systems. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(1), 33-80.
- Cooper, A. J. (1975). Crop production in recirculating nutrient solution. *Scientia Horticulturae*, 3(3), 251-258.
- Cooper, D. (2013). GrowCube promises to grow food with ease indoors (hands-on). Engaget.
- Cekal, N., & Dogan, E. (2022). Sürdürülebilir gastronomide standart reçete ve coğrafi işaretlerin önemi. *Turizm Çalışmaları Dergisi*, 4(1), 49-60.
- Celebi, S. E. (2019). Mevcut yapıların sürdürülebilirlik açısından yeniden kullanımlarında dikey tarım uygulamaları üzerine bir araştırma: İstanbul porselen fabrikası (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Cilginoglu, H., Muharrem, A., & Cilginoglu, U. (2022). Sürdürülebilir gastronomi açısından dikey tarımın önemi. *Journal of Humanities and Tourism Research*, 12(3), 455-467.
- Dalrymple, D. G. (1973). Controlled environment agriculture: A global review of greenhouse food production.
- Despommier, D. (1999). Vertical farming. McArthur "Genius" Fellow, New York.
- Despommier, D. (2013). Farming up the city: The rise of urban vertical farms. *Trends in Biotechnology*, 31(7), 388-389.
- El-Kazzaz, K. A., & El-Kazzaz, A. A. (2017). Soilless agriculture a new and advanced method for agriculture development: an introduction. *Agric. Res. Technol. Open Access J*, 3, 63-72.
- Fletcher, J., Willby, N., Oliver, D., & Quilliam, R. S. (2023). Engineering aquatic plant community composition on floating treatment wetlands can increase ecosystem multifunctionality. *Environmental Research*, 117818.
- Food & Agriculture Organization. (2018). Future of Food and Agriculture 2018: Alternative Pathways to 2050. Rome. 224 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Francis, F., Vishnu, P. L., Jha, M., & Rajaram, B. (2018). IOT-based automated aeroponics system. In *Intelligent Embedded Systems: Select Proceedings of ICNETS2, Volume II* (pp. 337-345). Springer Singapore.
- Garg, A., & Balodi, R. (2014). Recent trends in agriculture: vertical farming and organic farming. *Adv Plants Agric Res*, 1(4), 00023.
- Gastronomi Turkey by Rafine, (2021). Gastronomiturkey, <https://www.gastronomiturkey.com/>. (Erişim tarihi: 28.11.2023).
- Gericke, W. F. (1937). Hydroponics crop production in liquid culture media. *Science*, 85(2198), 177-178.
- Germer, J., Brandt, C., Rasche, F., Dockhorn, T., & Bliedung, A. (2023). Growth of lettuce in hydroponics fed with aerobic-and anaerobic-aerobic-treated domestic wastewater. *Agriculture*, 13(8), 1529.
- Ghosh, S. (2021). Urban Agriculture on the Rooftop. *JOJ Horticulture & Arboriculture*.
- Goh, Y. S., Hum, Y. C., Lee, Y. L., Lai, K. W., Yap, W. S., & Tee, Y. K. (2023). A meta-analysis: Food production and vegetable crop yields of hydroponics. *Scientia Horticulturae*, 321, 112339.
- Goodman, W., & Minner, J. (2019). Will the urban agricultural revolution be vertical and soilless? A case study of controlled environment agriculture in New York City. *Land use policy*, 83, 160-173.
- Gopinath, P., Vethamoni, P. I., & Gomathi, M. (2017). Aeroponics soilless cultivation system for vegetable crops. *Chem. Sci. Rev. Lett*, 6(22), 838-849.
- Gosh, K., & Choudhury, S. (2019). Review of aquaponics system: searching for a technically feasible and economically profitable aquaponics system. *Journal of Agricultural, Environmental and Consumer Sciences*, 19, 5-13.
- Graves, C. J. (1983). The nutrient film technique. *Horticultural Reviews*, 5, 1-44.
- Gulati, R. (2022). The Messy but Essential Pursuit of PurposeWin. *Harvard Business Review*, 45.
- Gupta, M. K., & Ganapuram, S. (2019). Vertical farming using information and communication technologies. Infosys.
- GVR. Hydroponics Market Size (2021-2028), (2021). <https://www.grandviewresearch.com/>. Erişim tarihi:23.12.2023.
- Hallock, L. S. (2013). Vertical farms, urban restructuring and the rise of capitalist urban agriculture. *Agrarian and Environmental Studies* (AES). Retrieved from <http://hdl.handle.net/2105/15226>.
- Harada, Y., Whitlow, T. H., Templer, P. H., Howarth, R. W., Walter, M. T., Bassuk, N. L., et al. (2018a). Nitrogen biogeochemistry of an urban rooftop farm. *Front. Ecol. Evol.* 6:153.
- Harada, Y., Whitlow, T. H., Todd Walter, M., Bassuk, N. L., Russell-Anelli, J., & Schindelbeck, R. R. (2018b). Hydrology of the Brooklyn Grange, an urban rooftop farm. *Urban ecosystems*, 21, 673-689.
- Hati, A. J., & Singh, R. R. (2021). Smart indoor farms: leveraging technological advancements to power a sustainable agricultural revolution. *AgriEngineering*, 3(4), 728-767.
- Hershey, D. R. (1994). Solution culture hydroponics: history & inexpensive equipment. *The American Biology Teacher*, 56(2), 111-118.
- Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1938). Growing plants without soil by the water-culture method. Growing plants without soil by the water-culture method.
- Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. Circular. California agricultural experiment station, 347(2nd edit).
- Ikiz, B., Dasgan, H. Y., & Dere, S. (2018). Optimization of root spraying time for fresh onion (*Allium cepa* L.) cultivation in aeroponics. In *XXX International Horticultural Congress IHC2018: II International Symposium on Soilless Culture and VIII International 1273* (pp. 101-106).
- Jensen, M. H., & Collins, W. L. (1985). Hydroponic vegetable production. *Horticultural reviews*, 7, 483-558.
- John F. Kennedy Space Center; (2020). NASA.Veggie. [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/veggie\\_fact\\_sheet\\_508.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/veggie_fact_sheet_508.pdf). Erişim tarihi:28.11.2023
- Jones Jr, J. B. (1982). Hydroponics: its history and use in plant nutrition studies. *Journal of Plant Nutrition*, 5(8), 1003-1030.
- Kalantari, F., Tahir, O. M., Joni, R. A., & Fatemi, E. (2018). Opportunities and challenges in sustainability of vertical farming: A review. *Journal of Landscape Ecology*, 11(1), 35-60.
- Kargin, H., & Bilguven, M. (2018). Akuakültürde akuaponik sistemler ve önemi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(2), 159-173.
- Kasozi, N., Abraham, B., Kaiser, H., & Wilhelmi, B. (2021). The complex microbiome in aquaponics: significance of the bacterial ecosystem. *Annals of Microbiology*, 71(1), 1-13.
- Kaur, G., & Chawla, P. (2021). All about vertical farming: A review. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12(2), 1-14.
- Khater, E. S., Bahnasawy, A., Abass, W., Morsy, O., El-Ghobashy, H., Shaban, Y., & Egela, M. (2021). Production of basil (*Ocimum basilicum* L.) under different soilless cultures. *Scientific Reports*, 11(1), 12754.
- Khodadad, C. L., Dixit, A., Spencer, L. E., Hummerick, M. E., Richards, J. T., Spenn, C. J., ... & Romeyn, M. W. (2022). Microbial Analysis of Chile Peppers Grown in NASA's Advanced Plant Habitat on the International Space Station. In *American Society for Gravitational and Space Research*.
- Kim, T. K., Yong, H. I., Kim, Y. B., 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.
- Kockaya, E. S., & Cemal, U. N. (2022). Life of Plants in Space: A Challenging Mission For Tiny Greens In An Everlasting Darkness. *Havacılık ve Uzay Çalışmaları Dergisi*, 2(2), 1-23.
- Kou, L., Yang, T., Luo, Y., Liu, X., Huang, L., & Codling, E. (2014). Pre-harvest calcium application increases biomass and delays senescence of broccoli microgreens. *Postharvest Biology and Technology*, 87, 70-78.
- Krastanova, M., Sirakov, I., Ivanova-Kirilova, S., Yarkov, D., & Orozova, P. (2022). Aquaponic systems: Biological and technological parameters. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 36(1), 305-316.
- Kurum, A. (2021). INBUSINESS. <https://www.inbusiness.com.tr/in-business/2021/07/22/dikey-tarim-donemi/>, (Erişim tarihi: 28.11.2023).

- Kushwaha, J., Priyadarsini, M., Rani, J., Pandey, K. P., & Dhoble, A. S. (2023). Aquaponic trends, configurations, operational parameters, and microbial dynamics: A concise review. *Environment, Development and Sustainability*, 1-34.
- Kyaw, T. Y., & Ng, A. K. (2017). Smart aquaponics system for urban farming. *Energy Procedia*, 143, 342-347.
- Lages Barbosa, G., Almeida Gadelha, F. D., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., ... & Halden, R. U. (2015). Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(6), 6879-6891.
- Lakhiar, I. A., Gao, J., Syed, T. N., Chandio, F. A., & Buttar, N. A. (2018). Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: A review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 338-352.
- Lakhiar, I. A., Gao, J., Syed, T. N., Chandio, F. A., Tunio, M. H., Ahmad, F., & Solangi, K. A. (2020). Overview of the aeroponic agriculture—An emerging technology for global food security. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 13(1), 1-10.
- Lawrence, K., Gumbo, T., & Jeeva, Z. (2022). The influence of rooftop agriculture on urban food security in South Africa. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul, Turkey, March 7-10, 2022*.
- Lee, J., & Chuang, I. T. (2017). Living green shell: urban micro-vertical farm. In *2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)* (pp. 1087-1090). IEEE.
- Levine, H. G. (2022, July). Current Capabilities for Growing Plants in Space. In *Plant Biology Conference*.
- Liu, Y., Xie, G., Yang, Q., & Ren, M. (2021). Biotechnological development of plants for space agriculture. *Nature Communications*, 12(1), 5998.
- Love, D. C., Uhl, M. S., & Genello, L. (2015). Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland, United States. *Aquacultural Engineering*, 68, 19-27.
- Martin, M., Poulidikidou, S., & Molin, E. (2019). Exploring the environmental performance of urban symbiosis for vertical hydroponic farming. *Sustainability*, 11(23), 6724.
- Massa, G., Romeyn, M., Spencer, L., Johnson, C., Poulet, L., & Wheeler, R. (2021). *NCERA-101 Station Report from Kennedy Space Center, FL, USA*.
- Massa, G.D.; Newsham, G.; Hummerick, M.E.; Morrow, R.C.; Wheeler, R.M. Plant Pillow Preparation for the Veggie Plant Growth System on the International Space Station. *Gravit. Space Res. Vol. 2017, 5*, 24–34.
- Mhadhbi, H. (2012). Plant hydroponic cultivation: A support for biology research in the field of plant-microbe-environment interactions. *Hydroponics—A Standard Methodology for Plant Biological Researches*, 101.
- Mir, M. S., Naikoo, N. B., Kanth, R. H., Bahar, F. A., Bhat, M. A., Nazir, A., ... & Ahngar, T. A. (2022). Vertical farming: The future of agriculture: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 11(2), 1175-1195.
- Mir, S. A., Shah, M. A., & Mir, M. M. (2017). Microgreens: Production, shelf life, and bioactive components. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(12), 2730-2736.
- Monje, O., Dimapilis, D. I., Tellez-Giron, G. M., De Mars, M., Dufour, N. F., Levine, H. G., & Onate, B. G. (2018, July). Validation of the Advanced Plant Habitat Facility on ISS. In *International Space Station Research & Development (ISSR&D) Conference* (No. KSC-E-DAA-TN59364).
- Morrow, R., Wetzel, J., Moffatt, S., Bair, M., & Kelsey, L. (2023, July). The Roles of Plants in a Commercial Space Habitat. *2023 International Conference on Environmental Systems*.
- Morsi, A., Massa, G. D., Morrow, R. C., Wheeler, R. M., & Mitchell, C. A. (2022). Comparison of two controlled-release fertilizer formulations for cut-and-come-again harvest yield and mineral content of *Lactuca sativa* L. cv. Outrageous grown under International Space Station environmental conditions. *Life Sciences in Space Research*, 32, 71-78.
- Moller Voss, P. (2013). Vertical Farming: An agricultural revolution on the rise.
- NASA (2006). Progressive plant growing has business blooming. In *Environmental and Agricultural Resources* (New York: NASA Spinoff), p.64–77.
- NASA, (2013). Model Organisms: Shining Examples for Simple, Effective Biology Research. NASA: [https://blogs.nasa.gov/ISS\\_Science\\_Blog/tag/plants/](https://blogs.nasa.gov/ISS_Science_Blog/tag/plants/), (Erişim tarihi: 28.11.2023).
- NASA (2021). NASA Research Launches a New Generation of Indoor Farming. [https://www.nasa.gov/directorates/spacetechnology/spinoff/NASA\\_Research\\_Launches\\_a\\_New\\_Generation\\_of\\_Indoor\\_Farming/](https://www.nasa.gov/directorates/spacetechnology/spinoff/NASA_Research_Launches_a_New_Generation_of_Indoor_Farming/), (Erişim tarihi: 28.08.2023).
- Nasr, J., Komisar, J., & Gorgolewski, M. (2014). Urban agriculture as ordinary urban practice: *Trends and lessons*. In *Second Nature Urban Agriculture* (pp. 24-31). Routledge.
- Nguyen, M., Knowling, M., Tran, N. N., Burgess, A., Fisk, I., Watt, M., ... & Hessel, V. (2023). Space farming: Horticulture systems on spacecraft and outlook to planetary space exploration. *Plant Physiology and Biochemistry*.
- Nicholson, W. L., Fajardo-Cavazos, P., Turner, C., Currie, T. M., Gregory, G., Jurca, T., & Weislogel, M. (2021). Design and Validation of a Device for Mitigating Fluid Microgravity Effects in Biological Research in Canister Spaceflight Hardware. *Frontiers in Space Technologies*, 2, 797518.
- Noh, A. M., Noor, H. M., & Ahmad, F. (2021). CFD Simulation of the Airflow Distribution Inside Cube-Grow. *CFD Letters*, 13(12), 81-89.
- Pagliarulo, C. L., & Hayden, A. L. (2002, February). Potential for greenhouse aeroponic cultivation of medicinal root crops. In *Proc. of the Amer. Plasticult. Soc.*, San Diego, California.
- Pandey, N., Kamboj, N., Sharma, A. K., & Kumar, A. (2022). An Overview of Recent Advancements in the Irrigation, Fertilization, and Technological Revolutions of Agriculture. *Environmental Pollution and Natural Resource Management*, 167-184.
- Pandey, R., Jain, V., & Singh, K. P. (2009). Hydroponics Agriculture: Its status, scope and limitations. *Division of Plant Physiology, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi*, 20.
- Pantarella, E. (2018). Aquaponics production, practices and opportunities. *Sustainable Aquaculture*, 191-248.
- Papadopoulos, I. (2021). Hydroponic systems manufacturing using 3D printing. International Hellenic University, University Center of International Programmes of Studies School of Science and Technology, Greece.
- Plakias, A. C. (2016). *The Farm on the Roof: What Brooklyn Grange Taught us About Entrepreneurship, Community, and Growing a Sustainable Business*. New York, NY: Penguin Publishing Group.
- Pomoni, D. I., Koukou, M. K., Vrachopoulos, M. G., & Vasiliadis, L. (2023). A review of hydroponics and conventional agriculture based on energy and water consumption, environmental impact, and land use. *Energies*, 16(4), 1690.
- Rakesh, J., & Jayakrishna, V. V. S. (2022). Vertical farming: Future of modern agriculture. *Vigyan Varta* 3(6): 101-103.
- Rakocy, J. E., Bailey, D. S., Shultz, R. C., & Thoman, E. S. (2004, September). Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. In *New dimensions on farmed Tilapia: proceedings of the sixth international symposium on Tilapia in Aquaculture*, held September (pp. 12-16).
- Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2016). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. Oklahoma Cooperative Extension Service.
- Raviv, M., & Lieth, J. H. (2007). *Soilless culture: theory and practice*: Elsevier Science Ltd.
- Reed, D. W., & Vanden Bosch, C. A. (2023). Engineering Perspectives of Growing Plants in Space. *Journal of the Indian Institute of Science*, 1-9.
- Renna, M., Di Gioia, F., Leoni, B., Mininni, C., & Santamaria, P. (2017). Culinary assessment of self-produced microgreens as basic ingredients in sweet and savory dishes. *Journal of culinary science & technology*, 15(2), 126-142.
- Richa, A., Touil, S., Fizir, M., & Martinez, V. (2020). Recent advances and perspectives in the treatment of hydroponic wastewater: a review. *Reviews in Environmental Science and BioTechnology*, 19(4), 945-966.
- Ridden, P. (2021, Ocak 20). newatlas. <https://newatlas.com/good-thinking/vertical-field-urban-farm-geoponics/>. (Erişim tarihi: 28.11.2023).
- Ritz-Carlton. (2015). "The Grow House" at the Ritz-Carlton, Naples. Retrieved from <http://news.ritzcarlton.com/2015/10/the-grow-house-at-the-ritz-carlton-naples/>. (Erişim tarihi: 28.11.2023).
- Royte, E., Kehinde, O., & Babajide, A. (2015). Urban farming is booming,

- but what does it really yield. *Ensaia*.
- Sajiv, G., Anburani, A., & Venkatakrishnan, D. (2023). Study on the growth of eggplant (*Solanum melongena* L.) under hydroponics with modified Hoagland solution. *J. Curr. Res. Food Sci*, 4, 04-06.
- Schmautz, Z., Graber, A., Jaenicke, S., Goesmann, A., Junge, R., & Smits, T. H. (2017). Microbial diversity in different compartments of an aquaponics system. *Archives of Microbiology*, 199, 613-620.
- Sempsrott, D. (2021, Aralık 1). National Aeronautics and Space Administration. NASA.gov: <https://www.nasa.gov/content/plant-habitat-04/>. (Erişim tarihi: 28.11.2023).
- Serdar, E. (2018). Ekolojik restoranlar ve perma-kültür uygulamaları: Ekibiyeçi restoranı üzerine bir araştırma. *Güncel Turizm Araştırmaları Dergisi*, 2(Ek1), 534-552.
- Shafeena, T. (2016). Smart aquaponics system: Challenges and opportunities. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, 3(2), 52-55.
- Spencer, L., Torres, J., Mejia, O., Richards, J., Dufour, N., & Romeyn, M. (2020, November). Demonstration of a Long Duration Crop in the Advanced Plant Habitat Engineering Demonstration Unit: Key Factors to Consider Prior to Testing and Lessons Learned. In American Society for Gravitational and Space Research.
- Swain, A., Chatterjee, S., & Vishwanath, M. (2021). Hydroponics in vegetable crops: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 10(6), 629-634.
- Swain, A., Chatterjee, S., & Vishwanath, M. (2021). Hydroponics in vegetable crops: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 10(6), 629-634.
- Sahin, G., & Kendirli, B. (2016). Yeni bir zirai işletme modeli: Dikey Çiftlikler. *TUCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu*, 13, 14.
- TechPort. Vegetable Production System (Veggie). 2018. Available online: <https://techport.nasa.gov/view/10498/>, (accessed on 10 May 2020).
- Teng, Z., Luo, Y., Pearlstein, D. J., Wheeler, R. M., Johnson, C. M., Wang, Q., & Fonseca, J. M. (2023). Microgreens for Home, Commercial, and Space Farming: A Comprehensive Update of the Most Recent Developments. *Annual Review of Food Science and Technology*, 14, 539-562.
- Torabi, M., Mokhtarzadeh, A., & Mahlooji, M. (2012). The role of hydroponics technique as a standard methodology in various aspects of plant biology researches. *Hydroponics– A Standard Methodology for Plant Biological Researches*, 113-134.
- Tsui, T., & Podmirseg, D. Vertical Farming & Future Skills a roadmap for implementation of the Vertical Farming concept.
- Tyson, R. V., Treadwell, D. D., & Simonne, E. H. (2011). Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. *HortTechnology*, 21(1), 6-13.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs. (2015). World population predicted to reach 9.7 billion by 2050. <https://www.un.org/en/development/desa/news/population/2015-report.html/>, (Access date: 28, August 2023).
- United Nations, Global perspective Human stories. <https://news.un.org/en/story/2013/09/448652/>, (Erişim Tarihi: 23.12.2023).
- Waiba, K. M., Sharma, P., Sharma, A., Chadha, S., & Kaur, M. (2020). Soil-less vegetable cultivation: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(1), 631-636.
- Wang, J. (2021). The sprouting farms: you are what you grow. *Humanities*, 10(1), 27.
- Wang, M., Danz, K., Ly, V., & Rojas-Pierce, M. (2022). Microgravity enhances the phenotype of Arabidopsis zigzag-1 and reduces the Wortmannin-induced vacuole fusion in root cells. *npj Microgravity*, 8(1), 38.
- Went, F. W. (1957). The experimental control of plant growth. The experimental control of plant growth., 17.
- Wheeler, R. M. (2017). Agriculture for space: People and places paving the way. *Open Agriculture*, 2(1), 14-32.
- WHO, (2003). World Health Organization. Cadmium review. [www.who.int/ifcs/documents/forums/forum5/nmr\\_cadmium\\_pdf/](http://www.who.int/ifcs/documents/forums/forum5/nmr_cadmium_pdf/), Last accessed on July 26, 2020.
- Wilson, G. (2005). Australian barramundi farm goes aquaponic. *Aquaponics Journal*, 37(2), 12-16.
- Wong, C., Wood, J., & Paturi, S. (2020). Vertical farming: an assessment of Singapore City. *Etropic: electronic journal of studies in the tropics*, 19, 228-248.
- Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y., Xie, Z. K., Yu, L. L., & Wang, Q. (2014). Effect of light exposure on sensorial quality, concentrations of bioactive compounds and antioxidant capacity of radish microgreens during low temperature storage. *Food chemistry*, 151, 472-479.
- Yang, Y. (2022). Flat Rooftops as Productive Landscapes in Birmingham. *Journal of Architectural Research and Development*, 6(6), 53-58.
- Yep, B., & Zheng, Y. (2019). Aquaponic trends and challenges—A review. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1586-1599.
- Yildiz, H. Y., & Pulatsu, S. (2022). Sıfır atığa doğru: Su ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülebilir atık yönetimi. *Ege Journal of Fisheries & Aquatic Sciences (EgeJFAS)/Su Ürünleri Dergisi*, 39(4).
- Zaid, S. M., Perisamy, E., Hussein, H., Myeda, N. E., & Zainon, N. (2018). Vertical Greenery System in urban tropical climate and its carbon sequestration potential: A review. *Ecological Indicators*, 91, 57-70.
- Zareba, A., Krzemińska, A., & Kozik, R. (2021). Urban vertical farming as an example of nature-based solutions supporting a healthy society living in the urban environment. *Resources*, 10(11), 109.

**Cite as / Atıf şekli:** Yavuz, K., Toksoz, O., & Berber, D. (2023). Topraksız tarım teknolojileri gelecek için sürdürülebilir bir çözüm mü?. *Front Life Sci RT*, 4(3), 157-170.