



Bitki fabrikalarında kontrol edilen parametreler ve kontrol yöntemleri

*Controlled parameters and control methods in plant factories*Sinem Seyhan^{1*}, T. Göktürk Seyhan², Hasan H. Silleli³, Hasan Yılmaz⁴¹ Ankara Üniversitesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, sinem.seyhan@ankara.edu.tr
ORCID: 0000-0002-2252-7335² Ankara Üniversitesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, seyhan@ankara.edu.tr
ORCID: 0000-0003-4622-6059³ Ankara Üniversitesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, hsilleli@agri.ankara.edu.tr
ORCID: 0000-0003-2242-3402⁴ Bahar Aydınlatma, hasan@baharaydinlatma.com.tr
ORCID: 0000-0001-8577-0327

MAKALE BİLGİLERİ

*Makale Geçmişi:*Geliş 22 Şubat 2022
Revizyon 3 Mayıs 2022
Kabul 21 Mayıs 2022
Online 28 Haziran 2022*Anahtar Kelimeler:**Bitki fabrikası, dikey tarım, yapay aydınlatma, yetiştiricilik otomasyonu*

ÖZ

Dünya nüfusu giderek artarken, kişi başına düşen sebze tüketimi de yükselen bir trend göstermektedir. Buna karşın bitkisel üretim alanları ve verim aynı ölçüde artmamaktadır. Birim alandan alınacak verimi artırmak için iyi bir çözüm olan bitki fabrikaları tarım alanlarına ve seralara kurulabileceği gibi, bina otoparkları, çatı katları, âtıl araziler ve nakliye konteynerleri gibi alanlara inşa edilebilir. Bu kontrollü ve kapalı alanlarda ışık, sıcaklık, nem, hava hareketi, karbondioksit konsantrasyonu gibi parametreler hassas şekilde takip ve kontrol edilmelidir. Bitki fabrikalarının son dönemde popülerleşmesiyle birlikte bu konuda yapılan çalışmalar artış göstermektedir. Günümüzde hem dünyada hem de ülkemizde araştırmacıların, yatırımcıların ve tüketicilerin ilgisini çekmekte ve giderek yaygınlaşması beklenmektedir. Bu çalışmada bitki fabrikalarında kontrol edilen başlıca parametreler ve bu parametrelerin kontrol yöntemleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

ARTICLE INFO

*Article history:*Received 22 February 2022
Received in revised form 3 May 2022
Accepted 21 May 2022
Available online 28 June 2022*Keywords:**Plant factory, vertical farming, artificial lighting, growing automation*

ABSTRACT

While world population is increasing, per capita vegetable consumption also shows an increasing trend. On the other hand, plant production areas and yield do not increase to the same extent. Plant factories, which are a good solution to increase the efficiency of the production area, can be installed in agricultural areas and greenhouses, as well as in areas such as parking lots, attics, idle lands, and shipping containers. Parameters such as light, temperature, relative humidity, air movement and carbon dioxide concentration must be precisely monitored and controlled at these areas. With the increasing popularity of plant factories recently, studies on this subject are increasing. Today, it attracts the attention of researchers, investors, and consumers both in the world and in Turkey, and it is expected to become increasingly widespread. In this study, information about the main parameters controlled in plant factories and the control methods of these parameters are given.

Doi: 10.24012/dumf.1058651

* Sorumlu Yazar

Giriş

Dünya nüfusunun 2050 yılında yaklaşık 9 milyar, Türkiye nüfusunun ise yaklaşık 97 milyon olması beklenmektedir [1]. Dünyada kişi başına düşen meyve ve sebze tüketimi yükselen bir trend göstermektedir. Giderek artan tüketim eğilimi ve üretim ihtiyacına karşılık üretim alanları ve üretim alanlarından elde edilen verim aynı ölçüde artmamaktadır [2]. Bunun önemli sebeplerinden biri tarım arazilerinin kısıtlı olmasıdır. Artan talebe karşılık tarımsal üretim alanlarının kısıtlı olması alternatif üretim alanlarına ve alternatif yöntemlere olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu sebeple geleneksel üretim artık yerini yoğun girdi kullanılan üretim yöntemlerine bırakmıştır.

Dünyada yoğun üretim alanları 20. yüzyıl başlarında önem kazanmaya başlamıştır. Geleneksel tarımsal üretim alanlarının azalmasına karşılık tüketim ihtiyacının artması ile günümüzde örtü altı bitkisel üretim sektörü dünya üzerinde hızlı değişim görülen bir sektör olarak nitelendirilebilir. Küreselleşme ve bunun dünya üzerinde değişik bölgelerdeki gelire olan etkisine bağlı olarak çoğu ülkede kişi başına düşen bitkisel tüketiminin arttığı görülmektedir. Buna bağlı olarak dünya üzerindeki rekabet de artmaktadır.

Bitki fabrikaları, geleneksel tarıma oranla daha kontrollü ve dış koşullardan bağımsız olması sebebiyle daha uzun süreli ve yoğun üretim yapılabilen, dolayısıyla birim alanda karlılığın ve kalitenin geleneksel üretime göre daha yüksek olduğu bir üretim şeklidir. Bitki fabrikaları temelde üretim için elverişli olmayan yerlerde ya da zamanlarda üretim yapmak için uygun yapay koşullar oluşturulması prensibine dayanır.

Bitki Fabrikalarının Önemi

Bitki fabrikalarında ürün yetiştiriciliğinin geleneksel üretime kıyasla çok sayıda avantajı bulunmaktadır. Yoğun ve kontrollü girdi kullanımı sayesinde birim alandan alınan verim yüksektir. Birimden alınan verimin artışına karşın su tüketiminde %95'e varan tasarruf sağlanabilmektedir.

Kullanılan vejetatif materyal ve üretim araçları temiz olduğu sürece hastalık, zararlı ve pestisitten arı üretim yapılabilmektedir. Ürünler hasat edilmesinin ardından herhangi bir bekleme ve işleme süresine maruz kalmadığından raf ömrü geleneksel üretimden elde edilen ürünlere göre daha yüksektir. Bu üretim sisteminin şehir tarımına uygun olması ve tüketim alanlarına yakınlığı sayesinde maliyetlerde düşüş gözleneceği düşünülmektedir. Kapalı sistemler kullanılarak dış koşullardan bağımsız şekilde üretim yapılabilmektedir. Ürün programlaması yapılarak aynı anda farklı türlerin üretilebilmesi mümkündür.

Her yüksek teknoloji işletme gibi bitki fabrikalarının kurulumu da geleneksel sistemlerle karşılaştırıldığında yüksek maliyetlidir. Gerekli durumlarda bakım ve onarım giderleri de yüksek olmakta ve bu işlemlerin teknik bilgi sahibi uzmanlar tarafından yapılması gerekmektedir. Aynı şekilde sistemin işletilmesi sırasında da nitelikli elemana ihtiyaç duyulmaktadır. Aktif çalışan bir bitki fabrikasının yoğun enerji ihtiyacı bulunmakta ve bu durum giderleri yükseltmektedir.

Bitki Fabrikalarında Yetiştiricilik Prensipleri

Bitki fabrikaları, iklime bağlı kalmadan tüm yıl boyunca standart kalite ile sebze, meyve ve çiçeklerin yetiştirildiği, çevre şartları kontrol edilebilen ve düzenlenebilen üretim alanlarıdır. Bitki fabrikalarında, bitki gelişimi ve büyümesi için gerekli olan iklim parametrelerinin doğru yönetimi ile ekonomik ve verimli üretim yapmak mümkündür.

Bitki fabrikaları, topraksız tarım yöntemi kullanarak bitki üreten tesislerdir. Bu yöntemde, bitkilerin gelişimi için gerekli olan bitki besin elementleri ve su, toprak dışında farklı katı veya sıvı ortamlar kullanılarak bitki kök bölgesine ulaştırılmaktadır. Topraksız üretim modelinde, bitki kök bölgesinde en uygun su, besin, tuzluluk ve hava dengesinin korunması ve bitkinin büyüme dönemine göre düzenlenmesi amaçlanmaktadır.

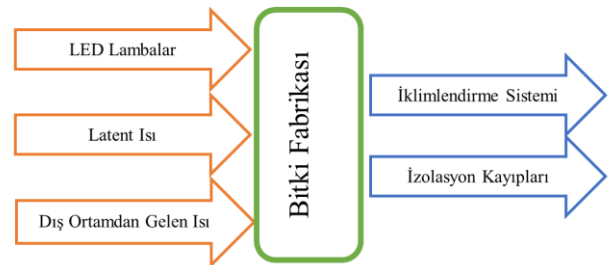
Kontrol Edilen Parametreler

Sıcaklık

Bitki fabrikalarında sıcaklığı açıklarken iki terimden bahsetmek gerekir. Bunlardan ilki olan duyulur ısı, bir nesnenin sıcaklığında değişime neden olan ısıdır. Duyulur ısının transferi ışıma, kondüksiyon ya da konveksiyon yoluyla gerçekleşir. Diğer bir ısı türü olan latent (gizli) ısı ise ortamdaki suyun buhara dönüşürken aldığı enerji ve dolayısıyla ortamda oluşturduğu ısı yüküdür. 1 g su 25 °C'de buharlaşırken 2436 J enerjiye ihtiyaç duyar. Bitkinin stomalarından buharlaştırılan su sayesinde yaprak sıcaklığının bir kısmı suya verilmiş olur ve bu sayede bitki serinler. Gizli ısıyı oluşturan su buharının soğutma sisteminde tekrar suya dönmesi ile üzerindeki enerji alınıp dış ortama atılmaktadır.

Sıcaklık isteği bitkilerin büyüme dönemlerine göre değişmekle birlikte bitki fabrikalarında çoğunlukla 10 – 30 °C seviyelerinde istenmektedir. Sıcaklık yüksek olduğunda bitkilerin gelişim hızı, solunum hızı, meyve büyüme hızı ve olgunlaşma hızı düşmektedir.

Üretim alanlarında ısı girişi ve ısı kaybı çeşitli şekillerde olabilmektedir (Şekil 1). Bitki fabrikalarında soğutma ihtiyacı, ortama verilen ısı ile dış ortamdan gelen ısının toplamına göre belirlenir [3].



Şekil 1. Bitki fabrikasında ortama verilen ve ısıyı uzaklaştıran etmenler.

Ortama verilen ısının büyük bir bölümünü LED (Light Emitting Diode – Işık Yayan Diyot) lambalardan açığa çıkan ısı oluşturur. Aydınlatmanın, elektriğin birim fiyatının daha ucuz olduğu gece tarifesinde yapılması önerilmektedir. Bu sayede enerji maliyeti düşerken aynı zamanda en yüksek

ısının ortaya çıkmasına neden olan LED lambaların, solar radyasyonun olmadığı gece saatlerinde yanması sağlanır. Kullanılacak soğutma sistemi, aydınlık periyotta ortaya çıkan ısıyı dışarı atabilecek kapasitede seçilmelidir. Karanlık periyotta ortaya çıkan ısı miktarı aydınlık periyodun ancak % 1 – 2’si kadardır [4].

Aydınlatmanın gece çalıştırılması ile ısıtma ihtiyacı da ortadan kaldırılmış olur. Birçok bitki fabrikasında ısıtma ihtiyacı bulunmamaktadır. Gerekli durumlarda aydınlatma devreye alınarak ısıtma ihtiyacı karşılanabilmektedir.

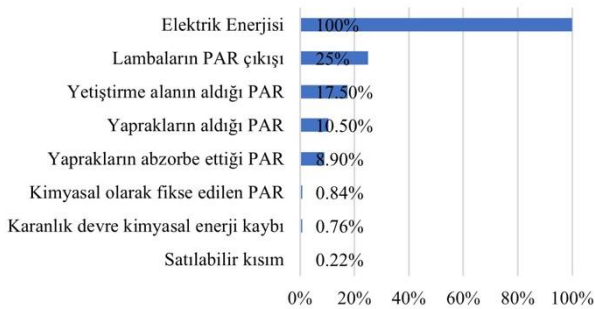
Bitki fabrikalarında sıcaklığın kontrolü zamana bağlı ayar değerleri değişen PID (Proportional Integral Derivative – Oransal İntegral Türevsel) tarzında çalışan bir otomasyon unsuru olarak tercih edilmektedir. Bitki fabrikasının çeşitli yer ve yüksekliklerine yerleştirilen sensörler aracılığıyla ölçülen sıcaklık değeri ile ayarlanan sıcaklık değeri arasındaki farka göre ısı pompasının çalışıp çalışmayacağına veya ne hızda çalışacağına algoritma tarafından karar verilir. Gece sıcaklığının düşük, gündüz sıcaklığının yüksek ayarlandığı bu sistemlerde sıcaklığın düşme ve yükselme hızları da seçilebilir yapıda olmalıdır. Sıcaklığın yavaş yavaş düşürülüp yükseltilmesi, bağıl nemin yoğunlaşma olmadan sağlıklı bir şekilde ayarlanmasını sağlarken bitkilerin de soğuk şoku yaşamalarını engeller.

Aydınlatma

Bitkiler, ışık enerjisini kullanarak fotosentez yapar. Fotosentez sayesinde ihtiyaç duyduğu bileşenleri sentezler ve büyür.

Bitkiler ışığı yalnızca fotosentez yapmak için değil aynı zamanda sirkadiyen ritmi takip etmek için de kullanır. Tanigaki ve Fukuda tarafından yürütülen araştırmada; sürekli aydınlık, 20 saat, 24 saat ve 28 saat olmak üzere 4 farklı gün uzunluğunun marul (*Lactuca sativa* L.) bitkisi üzerindeki etkilerini incelemiş ve en yüksek yaş ağırlığının 24 saatlik gün uzunluğuna maruz kalan bitkilerde olduğu bulunmuştur [5]. Bu araştırma sonucunda bitkilerin sirkadiyen ritmine en uygun gün uzunluğunun 24 saat olduğu belirlenmiştir.

Bitki fabrikalarında kullanılan aydınlatma elemanlarının kullandığı elektrik enerjisinin PAR’a (Photosynthetic Active Radiation – Fotosentetik Aktif Radyasyon) ve sonrasında satılabilir ürüne dönüşme aşamalarının verim çizelgesi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Elektrik enerjisinin satılabilir bitkiye dönüşme verimleri [6].

Bitkiler, tür ve çeşitlerine göre farklı şiddette ve spektrumunda ışığa ihtiyaç duymaktadırlar. İhtiyaç duyulan “Fotosentetik Foton Akısı Yoğunluğu” (PPFD); yaprağı yenen sebzeler için $100 - 300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, meyvesi yenen sebzeler için $200 - 600 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, süs bitkileri için ise $50 - 200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olarak bildirilmiştir [4]. Bitki fabrikalarında genellikle yaprağı yenen sebzelerin yetiştirilmesi, düşük ışık akısı yoğunluğu ihtiyaçlarından ve kısa yetiştirme periyoduna sahip olmasından ileri gelmektedir. Meyvesi yenen sebzeler ve çiçeklerin, mümkün olduğunca doğal aydınlatma (güneş) kullanılarak yetiştirilmesi maliyetlerin düşürülmesini sağlamaktadır.

Gün boyunca alınan kümülatif foton miktarı, bitkinin verimi ve kalitesini doğrudan etkilemektedir [7]. Gün boyunca alınan foton miktarının ifadesinde DLI (Daily Light Integral – Günlük Işık İntegrali) yöntemi kullanılır. DLI hesaplama yöntemi Denklem (1)’de verilmiştir. Bu yöntemde bitkinin ihtiyacı olan kümülatif foton akısı miktarının gün içindeki aydınlık periyotta toplanması amaçlanır.

$$DLI (\text{mol m}^{-2}) = 3.6 \times 10^{-3} \times PPFD (\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}) \times \text{süre} (h) \quad (1)$$

Bitki fabrikalarında yetiştirmeye uygun bazı bitki gruplarının günlük foton ihtiyacı Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan bazı bitki gruplarının DLI istekleri [8].

Bitki	DLI İsteği (mol m^{-2})
Çelikler	4 – 10
Fideler	6 – 15
Soğanlılar	6 – 15
Kesme Çiçekler	15 – 25
Yaprağı Yenen Sebzeler	12 – 17
Çilek	15 – 20
Meyvesi Yenen Sebzeler	20 – 30

Yapay ışık kaynağı olarak ilk zamanlarda kullanılan yüksek maliyetli ve düşük verimli sodyum buharlı lambalar yerine 2000’li yıllarda daha az ısı üreten ve yapısal olarak daha az yer kaplayan floresan lambaların kullanılmasıyla katlı üretim sistemlerinin kurulması mümkün olmuştur. Günümüzde düşük maliyete ve yüksek verime sahip LED lambaların kullanımı yaygınlaşmıştır. LED lambaların kullanılmasının başlıca nedenleri Tablo 2’de bitki fabrikalarında kullanımı yaygın olan floresan lambalar ve HPS (High Pressure Sodium – Yüksek Basıncılı Sodyum) lambalar ile kıyaslamalı olarak gösterilmiştir.

Tablo 2. Bitki fabrikalarında yaygın kullanılan lambalar ve özellikleri

Özellik	LED	Floresan	HPS
Kurulum maliyeti	Yüksek	Düşük	Yüksek
İşletme maliyeti	Düşük	Yüksek	Yüksek
Spektrum	İsteğe Bağlı	Sabit	Sabit
Verim	Yüksek	Düşük	Düşük
Yapı	Basit	Karmaşık	Basit
Nem dayanımı	Yüksek	Orta	Orta
Ömür	Yüksek	Orta	Düşük

Bitki fabrikalarında aydınlatma, tamamen yapay olduğundan otomasyon programı tarafından herhangi bir sensör verisine bağlı kalmadan, aç/kapa mantığında çalışan bir algoritma ile kontrol edilmektedir. Aydınlatmanın açılacağı ve kapanacağı saatler otomasyon programında tanımlanmalıdır.

Bağıl Nem

Su, bitkinin temel yaşam kaynağıdır. Bitkilerin %85 – 95 kadarı sudan oluşmaktadır. Bitkinin su alımı ve su kaybı dengede olmadığında bitkilerde ölüme kadar giden farklı negatif fizyolojik olaylar gözlenmektedir. Atmosferde suyun sis, bulut, yağmur, kar gibi çeşitli formlarda bulunmakla birlikte sürekli yer ve faz değiştirdiği ve oransal olarak %4 civarında olduğu bilinmektedir. Nem, suyun gaz halinin bir ifadesidir. Bağıl nem, havanın içindeki su buharı miktarının, o anki sıcaklıkta taşıyabileceği en yüksek nem miktarına oranıdır. Bitki fabrikalarında bağıl nem seviyesi %70 – 85 aralığında olmalıdır. Bağıl nem düşük olduğunda transpirasyon artmaktadır. Transpirasyonu etkileyen diğer faktörler; güneş ışınımı, yaprak stomalarının pozisyonu, hava sıcaklığı kök bölgesindeki su miktarı, yaprak yüzey alanı ve hava hızıdır. Bağıl nem fazla olduğunda ise bitkinin dış faktörlere duyarlılığı ve zararlanma olasılığı artmaktadır.

Bitki fabrikalarında bağıl nemin artırılmasında genellikle ultrasonik sisleyiciler ile oluşturulan soğuk buhar kullanılmaktadır. Bu soğuk buhar doğrudan hava taşıyan kanallara verilebileceği gibi, sirkülasyonun fazla olduğu bir bölgede de ortama verilebilir.

Isı pompası ile soğutma yapıldığında bağıl nemin bir kısmı evaporatörde yoğunlaşarak tekrar su halini alır. Dolayısıyla soğutma yapılırken mutlak nem seviyesi düşmektedir. Bu su sistemden dışarı atılabileceği gibi toplanarak sulama ve nemlendirme için kullanılarak tasarruf sağlanabilmektedir.

Hava Hareketi

Hava hızı, havanın bir saniyede kat ettiği mesafeyi yön ile birlikte metre cinsinden bildirmektedir. Bitki fabrikalarında hava hareketi dış koşullara göre çok daha azdır. Bitkilerin gelişme ortamında hava hızı yetersiz olduğunda havadaki nem bitki üzerinde yoğunlaşmakta ve bitkinin gaz geçişiminde engel oluşturmaktadır. Gaz alışverişini iyi sağlayamayan bitkilerde fotosentez, solunum, terleme gibi yaşamsal faaliyetlerin doğru şekilde yapılamaması bitkilerde büyüme ve gelişim geriliğine sebep olmaktadır. Aynı zamanda hava hareketinin yetersiz olduğu bitkisel üretim alanlarında hastalık ve zararlıların yayılımı çok daha kolay olmaktadır. Hava hızı anemometreler kullanılarak ölçülmekte ve fanlar yardımı ile gerekli hava hareketi sağlanabilmektedir. Optimum büyüme için $0.15 - 0.3 \text{ m s}^{-1}$ hava hızı uygun kabul edilir [9]. Hava hareketinin sağladığı transpirasyon, bitkinin karbondioksit alımını ve dolayısıyla büyümeyi teşvik eder. Aynı zamanda hava hareketi ortamdaki havayı karıştırarak homojen hale getirir.

Bitki fabrikalarında hava hareketi, çeşitli yerlere yerleştirilen fanlar ile sağlanmaktadır. Fanlar sürekli olarak çalışır konumda tutulabileceği gibi doğayı taklit edecek biçimde bir zamanlayıcıya bağlı olarak aç/kapa mantığında da kontrol edilebilir. Eşit aralıklı açık ve kapalı süreler tercih edildiğinde enerji ihtiyacının %50 azalacağı ön görülmektedir.

Fanların yerleşiminde tüm bitkilere hava hareketi ulaşacak şekilde bir yerleşim tercih edilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda dikey hava hareketinin yatay hava hareketine göre daha verimli olduğu bildirilmiştir [9], [10], [11]. Özellikle marul gibi içten dışa doğru büyüyen bitkilerde hava hareketinin yukarıdan aşağıya doğru olması tüm yaprakların hava hareketine maruz kalmasını sağlar.

Karbondioksit Konsantrasyonu

Karbondioksit havada doğal olarak bulunan renksiz, kokusuz ve yanıcı olmayan bir gazdır. 2019'da küresel ortalama atmosferik karbondioksit, 0.1 ppm'lik bir hata payı içermekle birlikte 409.8 ppm olarak belirlenmiştir. Günümüzde atmosferdeki karbondioksit seviyesi son 800000 yılın en yüksek değerine ulaşmıştır [12]. Karbondioksit konsantrasyonu bölgeye, günün saatine, mevcut insan, hayvan ve bitki yoğunluğuna göre değişiklik göstermektedir. Bitkiler fotosentez sırasında karbondioksit kullanmakta, solunum sırasında ise üretmektedir. Ortamda bulunan karbondioksit yoğunluğundaki değişiklikler bitki aktivitesi üzerinde doğrudan etkilidir. Entansif üretim yapılan alanlarda karbondioksit dış ortama göre düşük konsantrasyonda bulunmaktadır. Birçok bitki türünde optimum karbondioksit konsantrasyonu 600 – 1600 ppm olarak bildirilmektedir [13]. Bitki fabrikalarında genel olarak 600 – 1000 ppm aralığında karbondioksit gübrelemesi yapmak gerekmektedir. Karbondioksit ölçümü için kullanılan sensörler bir kızılötesi kaynağı, bir ışık tüpü, bir dalga boyu filtresi ve kızılötesi detektör içeren algılayıcılardır. Ölçüm için tüpe gaz verilir ve kızılötesi ışığın ne kadarının gaz tarafından absorbe edildiği tespit edilir [14]. Doğru ölçüm için algılayıcıların insan solunumu ve hareketi tarafından manipüle edilmeyecek yerlere yerleştirilmesi gerekmektedir. Ortamda konsantrasyonun yeterli olmadığı durumlarda karbondioksit enjeksiyonu ile zenginleştirme yapılmaktadır.

Karbondioksit enjeksiyonunda kullanılacak kontrol yöntemi, alt ve üst sınır değerleri ayarlanmış bir aç/kapa algoritmasıdır. Geri besleme için kullanılacak değer sensör veya sensörler tarafından ölçülen karbondioksit konsantrasyonu verisidir.

Bazı bitki fabrikalarında elektrik üretimi için jeneratör veya doğalgaz dönüşüm santrali kullanılmaktadır. Bu tip enerji üretim tesislerinden açığa çıkan atık ısının ve karbondioksitin de bitki fabrikasında kullanılması ile kojenerasyon ve trijenerasyon mümkün olmaktadır [3].

Hava Değişimi

Hava değişimi, ortamdaki havanın temiz hava ile değiştirilmesi işlemidir. Kapalı sistem bitkisel üretim alanlarında hava hacmi, dış koşullar ve bitki istekleri dikkate alınarak hava değişimi yapılmaktadır. Hava değişimi sayısının bitkileri hastalık etmenleri ve zararlılardan koruyacak kadar az olması fakat nem ve etilen birikimini önleyebilecek şekilde hesaplanması gerekmektedir [14]. İyi yalıtılmış sistemlerde bu değer $0.01 - 0.02 \text{ h}^{-1}$ olarak bulunmuştur [15].

Bitki fabrikalarında hava değişimi miktarı, havayı ortamdan dışarı atan fanın debisi kullanılarak ölçülmektedir. Hava değişim sayısı Denklem 2 ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Hava değişim sayısı (h}^{-1}\text{)} = \text{Fan debisi (m}^3\text{h}^{-1}\text{)} / \text{Hacim (m}^3\text{)} \quad (2)$$

Hava değişimi sayısını doğru belirlemek bitki gelişimini olumlu etkilemektedir.

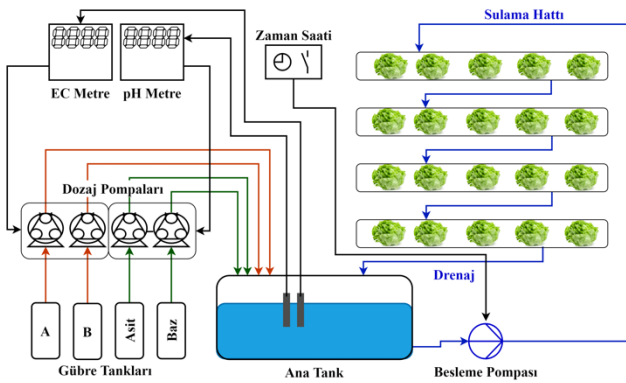
Bitki fabrikalarında hava değişimi için kullanılacak kontrol yöntemi, havayı dışarı atan fanın debisi ile ilişkilidir. Seçilen fanın debisi ile istenen hava değişim sayısı tam örtüşüyorsa fan sürekli olarak çalıştırılmalıdır. Ancak seçilen fan debisi, istenen değişim sayısından fazla olacak şekilde ise fan, bir zamanlayıcı algoritma ile bekleme süresi sonrasında bir süre çalıştırılarak gerekli hava değişimi sağlandığında kapatılacak şekilde programlanabilmektedir.

İçeri taze havanın alınmasında ise iklimlendirme sistemi üzerindeki damperlerden faydalanılabilmektedir. Damperlerin pozisyonu dış ortamdan hava alacak şekilde ayarlandığında taze hava girişi mümkün olmaktadır.

Fertigasyon

Fertigasyon, bitki besin maddelerinin sulama suyu ile birlikte bitki kök bölgesine ulaştırılmasıdır. Topraksız tarımda fertigasyon işlemi bitki besin maddeleri; doğru ayarlanmış oranlarda, bitki tüketimi göz önünde bulundurularak ve doğru pH aralığında verilmelidir. Bitki fabrikalarında genellikle aynı sulama suyunun sürekli olarak dolaştırılması esasına dayanan geri dönüşümlü sulama sistemi kullanılır. Bu tip sulama sisteminde bitki raflarından dönen su, basit bir filtrelmeye tabi tutularak raflardan gelen kök parçaları ve yabancı maddeler ayrılır. Daha sonra UV filtreden geçerek su içindeki hastalık etmenlerinin elimine edilmesi sağlanarak tanka geri verilir. Bitki fabrikalarında sudan yararlanma etkinliğinin 0.93 – 0.98 arasında olduğu ve seralarda yapılan bitkisel üretimde bu değerin 0.02 – 0.03 olarak hesaplandığı bildirilmiştir. Bitki fabrikaları, seralara kıyasla 30 ila 50 kat daha az su tüketmektedir [16] [17].

Besin maddeleri içerisinde bulunan bazı iyonlar bir araya geldiğinde çökelti oluşturmaktadır. Bu durumun önüne geçmek için besin maddeleri A ve B olarak farklı tanklarda çözülür. Ayrıca pH ayarlaması için bir asit ve bir baz tankı bulunur. Bu tanklardan, yapılan EC (Elektriksel İletkenlik) ve pH ölçümlerine göre dozaj pompaları aracılığıyla ana sulama tankına eklenir (Şekil 3).



Şekil 3. Bitki fabrikalarında kullanılan fertigasyon sistemi

Gübreleme otomasyonunda PID tabanlı kontrol algoritmaları kullanılmaktadır. Bu algoritma ile EC ve pH'ın

ani olarak değişmesinin önüne geçilerek daha stabil bir besin çözeltisi oluşturulmaktadır.

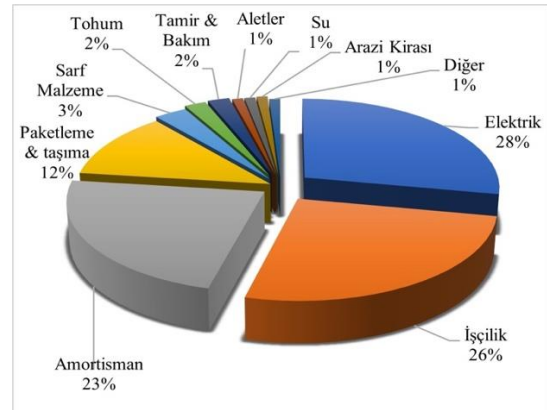
Sulama otomasyonunda besleme pompası bir zamanlayıcı algoritmayla kontrol edilmektedir. Pompanın yeterli miktarda suyu basacak kadar çalışması ve ardından basılan suyun geri dönüşüne izin verecek kadar beklemesi, en verimli sulama şeklidir. Bu şekilde aç/kapa mantığında çalışan pompalar ile enerji tüketimi azaltılmaktadır.

Bitki besin maddeleri solüsyonları minimum kanunu esas alınarak hazırlanmaktadır. Bitkinin kök bölgesinde bulunmasını istediği bitki besin maddesi konsantrasyonu ile ortamdaki kaldırdığı bitki besin maddesi miktarının farklı olduğu, yapılan araştırmalar sonucunda belirlenmiştir. Sulama suyunun sürekli devridaim edilmesine dayanan sulama yönteminde gübrelerden gelen bitki besin maddelerinin ortama verildiği oranda tüketilmemesiyle bazı bitki besin maddelerinde birikme gözlemlenmekte ve sonucunda da uç yanıklığı (tipburn) gibi bazı hastalıkların oluşmasına zemin hazırlanmaktadır. Bu durumun önüne geçmek için belirli aralıklarla sulama suyunun değiştirilmesi veya analiz edilerek birikme/eksilme görülen bitki besin maddelerine göre solüsyonların ayarlanması gerekmektedir.

Sonuç ve Öneriler

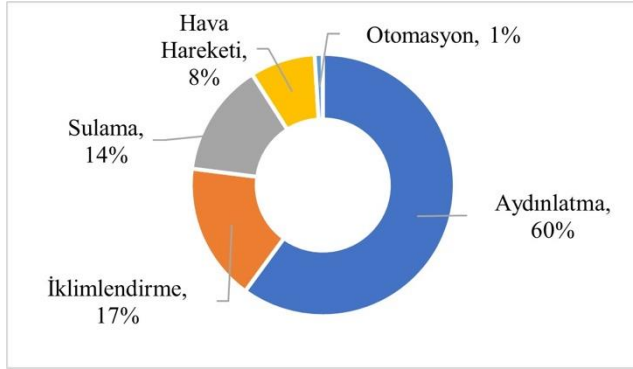
Bitki fabrikalarında birim alan başına verim geleneksel üretim yöntemi ve seralarda yapılan tek katlı üretime kıyasla çok daha yüksek olduğundan ve genellikle gerekli tüm koşullar yapay olarak sağlandığından bitki fabrikalarının yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetleri bulunmaktadır. Bu maliyetlerden kaçınmanın bir sonucu olarak yıl boyu sağlıklı ve güvenli gıda üretimi ve su tasarrufu mümkün olmaktadır. Yapılan bir çalışmada, 1 hektarlık alanda yapılan hidroponik üretim ile 10 hektar alanda yapılan açıkta yetiştiricilik kıyaslandığında üretim miktarının aynı olmasının karşın 75000 ton su tasarrufu sağlandığı bildirilmiştir [18]. Kendine yeter bir dikey çiftliğin 9300 m² olması durumunda 15000 kişinin 2000 kcal olan günlük besin ihtiyacını karşılayabileceği belirtilmiştir [19]. Başka bir çalışmada mevcut 3 katlı ve toplam 450 m²'lik bir dikey çiftliğin 27 katlı prototipinin 15000 apartmanın ihtiyacını karşılayabileceği öngörülmüştür [20].

Bitki fabrikalarının kontrol mekanizmaları uzman kişiler tarafından geliştirilmeli ve denetlenmelidir. Bitki fabrikalarında giderlerin dağılımı Şekil 4'te gösterilmiştir [21].



Şekil 4. Bitki fabrikalarında giderleri dağılımı

Bitki fabrikalarında giderler dağılımı içerisinde en büyük pay elektrik harcamalarına aittir. Elektrik maliyeti içerisindeki kalemlerin dağılımı ise Şekil 5'te gösterilmiştir [22].



Şekil 5. Elektrik maliyeti içerisindeki kalemlerin dağılımı

Maliyetlerin yüksekliğini tolere edebilmek amacıyla ekonomik değeri yüksek olan tür ve çeşitlere yönelmek iyi bir seçenek olacaktır.

Tüketim alanları ile üretim alanlarının aynı yerde olması ile taşıma ve araçlar ile ilgili masrafların düşürülmesi mümkündür.

Yüksek bir gider kalemi olan aydınlatma ve iklimlendirme için harcanan enerjiden tasarruf sağlamak için mekanik hareketli sistemlerin geliştirilmesi bir çözüm olabilecektir.

Hareket mekanizmalı bir sistemle yetiştirme alanının daha verimli kullanılması, iş gücü ihtiyacının düşürülmesi ve dolayısıyla insan kaynaklı hataların azaltılması mümkündür.

Tüm bitkilerin yeterli ışık almasının sağlanması için çeşitli sistemler geliştirilerek enerji verimliliğinin artırılması gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1] Birleşmiş Milletler, "World Population Prospects 2019," [Online]. Available: <https://population.un.org/wpp/>. [Accessed 25 06 2019].
- [2] FAO, "Food and agricultural projections to 2050," [Online]. Available: <http://www.fao.org/global-perspectives-studies/food-agriculture-projections-to-2050/en/>. [Accessed 15 05 2017].
- [3] R. Yokohama, "Energy Consumption and Heat Resources in Plant Factories," in *Plant Factory using Artificial Light*, Amsterdam, Netherlands, Elsevier Inc., 2019, pp. 177-184.
- [4] T. Wada, H. Fukuda and T. Ogura, "Fundamental Components and Points to Consider in the Design of a Plant Factory: An Example of OPU New-Generation Plant Factory," in *Plant Factory using Artificial Light*, Amsterdam, Netherlands, Elsevier Inc., 2019, pp. 231-241.
- [5] Y. Tanigaki and H. Fukuda, "Control Theory in the Metabolic Rhythms of Plants," in *Plant Factory using Artificial Light*, Amsterdam, Netherlands, Elsevier Inc., 2019, pp. 89-98.
- [6] T. Kozai and G. Niu, "Plant factory as a resource-efficient closed plant production system," in *Plant Factory*, Amsterdam, Netherlands, Elsevier Inc., 2020, pp. 93-115.
- [7] M. A. Dayıoğlu ve H. Silleli, "Seralar için Yapay Aydınlatma Sistemi Tasarımı: Günlük Işık İntegrali Yöntemi," *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, cilt 8, no. 2, pp. 233-240, 2012.
- [8] E. Runkle, "DLI 'Requirements'," May 2019. [Online]. Available: <https://gpnmag.com/article/dli-requirements/>. [Accessed 12 01 2022].
- [9] Y. Kitaya, J. Tsuruyama, M. Kawai, T. Shibuya and M. Kiyota, "Effects of Air Current on Transpiration and Net Photosynthetic Rates of Plants in a Closed Plant Production System," in *Transplant Production in the 21st Century*, Dordrecht, Netherlands, Springer, 2000, pp. 83-90.
- [10] E. Goto and T. Takakura, "Promotion of Ca accumulation in inner leaves by air supply for prevention of lettuce tipburn," *Transactions of the ASAE (USA)*, vol. 35, no. 2, pp. 647-650, 1993.
- [11] Y. Zhang and M. Kacira, "Environmental control of PFALs," in *Plant Factory Basics, Applications and Advances*, London, Academic Press, 2022, pp. 391-400.
- [12] R. Lindsey, "Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide," 14 08 2020. [Online]. Available: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>. [Accessed 12 01 2022].
- [13] D. Lange, G. Hack, N. Belker, M. Brockmann, O. Domke, S. Krusche, W. Sennekamp ve F. Viehweg, *Rationelle Energienutzung im Gartenbau*, Wiesbaden, Germany: Springer, 2002.
- [14] G. Niu, T. Kozai and N. Sabeh, "Physical environmental factors and their properties," in *Plant Factory*, Amsterdam, Netherlands, Elsevier Inc., 2020, pp. 185-195.
- [15] T. Kozai, "Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory,"

Proceedings of the Japan Academy, Series B, vol. 89, no. 10, pp. 447-461, 2013.

- [16] K. Ohshima, T. Kozai, C. Kubota, C. Chun, T. Hasewaga, S. Yokoi and M. Nishimura, "Coefficient of performance for cooling of a home-use air conditioner installed in a closed-type transplant production system," *Shokubutsu Kojo Gakkaishi*, vol. 14, no. 3, pp. 141-146, 2002.
- [17] T. Kozai, "Sustainable plant factory: closed plant production systems with artificial light for high resource use efficiency and quality produce.," *Acta Horticulturae*, vol. 1004, pp. 27-40, 2013.
- [18] K. Specht, "Urban Agriculture of the Future: An overview of sustainability aspects of food production in and on buildings," *Agriculture and Human Values*, vol. 31, no. 1, pp. 33-51, 2014.

Advances in Plants & Agriculture Research, vol. 1, no. 4, pp. 1-4, 2014.

- [20] Ç. Yılmaz, "Kentsel Tarımın Avrupa Birliği ve Türkiye'deki Geleceği," T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü, Ankara, 2015.
- [21] T. Kozai, G. Niu and M. Takagaki, "Criticisms of PFALs and responses to them," in *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*, London, Academic Press, 2015, p. 23.
- [22] D. Avgoustaki ve G. Xydis, "Plant factories in the water-food-energy Nexus era: asystematic bibliographical review," *Food Security*, no. 12, pp. 253-268, 2020.

- [19] A. Garg and R. Balodi, "Recent Trends in Agriculture: Vertical Farming and Organic Farming,"