



# COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

## Akıllı Şehir Rehberlik Uygulamaları Projesi

### DİKEY TARIM UYGULAMASI

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı © 2024

Tüm hakları saklıdır. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın izni olmadan bu belgenin hiçbir kısmı elektronik ya da mekanik yollarla (fotokopi, kayıtların ya da bilgilerin arşivlenmesi, vs.) çoğaltılamaz.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı © 2024

# DİKEY TARIM UYGULAMASI

Bu kılavuz, akıllı şehir uygulamalarından olan “Dikey Tarım Uygulaması” yapmak isteyen kurum ve kuruluşlara, projenin geliştirme ve uygulama aşamalarında destekleyici rehber doküman olması amacıyla hazırlanmıştır.

Kılavuzda uygulamaya yönelik bir vaka üzerinden aşamalı ve detaylı olarak açıklama yapılmıştır.

Rehberlik kılavuzu ile uygulamanın projelendirilmesine ve fizibilite çalışmalarının yapılmasına destek olunması hedeflenmektedir.

## 1. Uygulamanın Tanımı

Toplum ve ekonomiyle ilgili konular arasında, besleyici, güvenli ve lezzetli yiyeceklerin yetersizliği öne çıkmaktadır. Aynı zamanda, sosyal refahı artırmak için topluluk dayanışması, terapötik alanlar ve etkinlikler, eğitim ve yaşam boyu öğrenme gibi sistemlerin önemi vurgulanmaktadır. Ayrıca, taze sebze ve meyvelere erişim eksikliği yaşanan bölgelerdeki insanlar için önemli bir meseledir. Bu tür bölgelerde yaşayan insanlar, taze ürünler yerine genellikle şeker ve yağ içeriği yüksek işlenmiş gıdaları tercih etmektedir. Bu noktada dikey Tarım uygulamaları bir çözüm önerisi sunmaktadır.

Dikey Tarım uygulamaları, klasik tarımda kontrol edilmesi mümkün olmayan doğa olaylarına bağlı üretimin zarar görmesi, üretim sürecinde kontrolsüz kaynak kullanımı, üretim ile tüketim noktaları arasındaki transfer maliyetlerinin yüksek olduğu, lojistik süreçlerde ürün firelerinin fazla olduğu, tüketim noktasında üretim için yeterli alan olmaması veya bu alanların pahalı olması gibi durumlarda başvurulan bir yöntemdir. Dikey tarım uygulamalarının üretim sürecinde mevcut üretim alanı dikey ekseninde de kullanılmaktadır. Kıvırcık, marul, vb. ürünlerin üretiminde tercih edilebilen bu sistemde, dikey ekseninde konumlandırılan üretim raflarına konulan LED lambalar ile güneşsiz ortamda da sürekli üretim gerçekleştirmeye olanak sağlamaktadır.

### Yapay Aydınlatmalı Bitkisel Üretim Yapıları (PFAL - Plant Factory With Artificial Lighting)

PFAL, özel bir kapalı üretim tesisi sistemidir. İç mekân, ışık geçirmeyen ısı yalıtımı ile kaplanmıştır ve içerisinde havalandırma minimum seviyede tutulmaktadır. Bitki büyümesi için yapay ışık tek kaynak olarak kullanılmakta ve bu yapı genellikle bir depo benzeri bir yapı olarak tasarlanmaktadır. PFAL'lerde bitki büyüme ortamı, hava koşullarından bağımsız olarak hassas bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Hidroponik sistemlerde kullanılan besin çözeltisinin yanı sıra, bitkiler tarafından taşınan su da klimaların soğutma panellerinde yoğunlaşabilmekte ve toplanabilmekte ve daha sonra sulama için geri

dönüştürülebilmektedir. Kapalı geçirgen özellikli üretim sistemleri ve kapalı mikro-çoğaltma sistemleri ise PFAL'lerin ikinci türünü oluşturmaktadır.

Dikey Tarım uygulaması için gereken yapının özellikleri aşağıda verilmektedir:

- Işık geçirmeyen duvarlarla kaplı, ısı olarak iyi yalıtılmış ve neredeyse hava geçirmez özellikte depo benzeri bir yapı
- Yetiştirme rafları üzerinde ışık yayan diyotlar (LED) gibi aydınlatma cihazları ile donatılmış, çok katmanlı bir sistem (çoğunlukla 4-16 katlı; katmanlar arasında yaklaşık 40-60 cm açıklık vardır);
- Esas olarak, yetiştirme odasındaki bitkiler ile lambalar ve su buharı tarafından üretilen ısıyı ortadan kaldırmak ve fotosentezi ve transpirasyonu artırmak ve hava dolaşımı sağlamak için fanlar tarafından soğutmak ve nem almak için kullanılan klimalar (ısı pompaları olarak da bilinir) ile etkin bir mekânsal hava dağıtma ünitesi
- Bitki fotosentezini arttırmak için fotoperiyot sırasında, odadaki CO<sub>2</sub> konsantrasyonunu yaklaşık 1000 mmol/mol (veya ppm) seviyesinde tutmak için bir CO<sub>2</sub> artırma ünitesi
- Besin çözeltisi dağıtma ünitesi
- Elektriksel iletkenlik (EC) ve besin çözeltisi için pH kontrolörleri içeren bir ortam kontrol ünitesi

### 1.1. Projenin Adı, Uygulama Yeri ve Süresi

- Dikey Tarım projesinin hazırlık aşamasında ilk olarak projenin adı belirlenir.
- Proje adı belli olduktan sonra projenin uygulama alanı, büyüklüğü ve yapısı belirlenerek projenin ne kadar sürede biteceği planlanır.
- Proje uygulamaya alınmadan önce projenin tanıtıcı özeti olan Akıllı Şehir Proje Yönetimi Standartları kapsamındaki Proje Fişi hazırlanır.

Örnek Vaka	
Proje Adı	Dikey Tarım Uygulaması Projesi
Uygulama Alanı	1000 Ha yerleşim alanı – 200.000 kişi
Proje Süresi	6 ay

Akıllı Şehir Proje Fişi, Akıllı Şehir Proje Yönetimi Standartları kapsamında hazırlanmış olup doküman [www.akillisehirler.gov.tr](http://www.akillisehirler.gov.tr) adresinde yayınlanan Akıllı Şehir Bilgi Paylaşım Portalı'ndan erişilebilmektedir.

## 1.2. Proje Teknik Bileşenleri

Dikey Tarıma ait teknik bileşenler şunlardan oluşmaktadır:

- Sera konstrüksiyonu
- Otomasyon sistemleri
- Test ve analiz sistemleri
- Hydroponics (Hidroponik): Toprak kullanımı yerine sıvı besin solüsyonları üzerinde bitki yetiştirme yöntemidir. Bitkiler köklerini besin maddeleri açısından zengin bir çözelti içinde büyütmektedir.
- Aeroponics (Aeroponik): Bitkilerin kökleri havada asılı kalır ve besin maddeleri sis veya sprej şeklinde püskürtülerek sağlanmaktadır. Topraksız bir ortamda bitki yetiştirme tekniğidir.
- LED Aydınlatma: Bitkilerin fotosentez yapabilmesi için gereken ışığı sağlamak için kullanılan özel LED ışık sistemleridir. Bitkilerin büyümesini optimize etmek ve enerji verimliliğini artırmak için tasarlanmıştır.
- Hava İyonizasyonu ve CO2 Kontrolü: Bitki büyümesi için gerekli olan havadaki CO2 seviyelerinin kontrol edilmesi ve gerektiğinde artırılmasıdır. Ayrıca, hava iyonizasyonu ile bitkilerin sağlığını ve büyümesini desteklemek amaçlanmaktadır.
- Otomasyon ve Sensör Teknolojileri: Toprak nem sensörleri, ışık sensörleri, sıcaklık ve nem kontrolü gibi otomasyon ve sensör sistemleri sayesinde bitki yetiştirme koşulları izlenebilmekte ve ayarlanabilmektedir.
- Besin Solüsyonu ve pH Kontrolü: Bitkiler için gerekli olan besin maddeleri solüsyonunun hazırlanması ve pH seviyelerinin düzenlenmesidir.
- Bitki Seçimi ve Genetik Yapı: Dikey Tarım projeleri için uygun bitkilerin seçimi ve gerekirse genetik düzenlemeler ile bitkilerin verimliliği, direnci ve besin değeri optimize edilmektedir.
- Yerleşim Planlaması ve Yapısal Tasarım: Dikey Tarım alanlarının mimari tasarımı ve yapının özelleştirilmiş bir biçimde bitki yetiştirme ihtiyaçlarına uygun olarak düzenlenmesidir.
- Su ve Enerji Yönetimi: Sulama sistemleri, suyun geri dönüşümü, enerji tasarrufu ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımını kapsamaktadır.
- Veri Analizi ve Yapay Zekâ: Sensörlerden elde edilen verilerin analizi ve yapay zekâ kullanımı sayesinde bitki büyümesinin izlenmesi, tahmin edilmesi ve optimize edilmesidir.
- Entegrasyon ve IoT: IoT teknolojileri ile sistem bileşenlerinin birbirleriyle iletişimi ve veri paylaşımını kapsamaktadır.

### 1.3. Proje Girdileri

Dikey Tarıma ait proje girdileri aşağıda sıralanmıştır:

- Su, gübre, pestisit, iklimlendirme, enerji ve işgücü
- Aydınlatma sistemleri
- Sulama sistemleri
- İklim kontrol sistemleri
- Bitki yetiştirme üniteleri
- Toprak ve substrat alternatifleri
- Saksı ve pot
- Ürün fideleri
- Sensörler ve izleme cihazları

### 1.4. Beklenen Çıktılar

Dikey Tarıma ait beklenen çıktılar şu şekildedir:

- Uygun maliyetli hızlı tüketime hazır tarım ürünü
- Üretim miktarının güvenilir olması
- Üretim kalitesinin beklenen seviyede olması

### 1.5. Projenin performans göstergeleri

Dikey Tarım uygulamasının performans göstergeleri, projenin başarı seviyesini ölçmek için kullanılan ölçülebilir ve belirli hedeflerdir. Bu performans göstergeleri, Dikey Tarım projesinin amaçlarına ulaşip ulaşmadığını değerlendirmek, etkinliğini ve verimliliğini ölçmek için kullanılır.

Performans göstergeleri arasında:

- Verimlilik ve mahsul miktarı
- Bitki büyüme oranı
- Su ve enerji kullanımı
- Toprak kullanımı verimliliği
- Hasat süresi
- Yeraltı sularındaki kirlilik oranındaki azalma
- Üretime ve lojistik gibi parametrelere bağlı CO<sub>2</sub> emisyon değerlerindeki değişim
- Besin değeri ve kalite

- Maliyet ve gelir
- Atık yönetimi
- İşgücü verimliliği
- Karbondioksit emisyonları
- Bitki hastalıkları ve zararları
- Pazarlama ve satış
- Mimari ve estetik değer
- Fire oranındaki düşüş

## 2. Proje Kapsamı ve Gerekçe

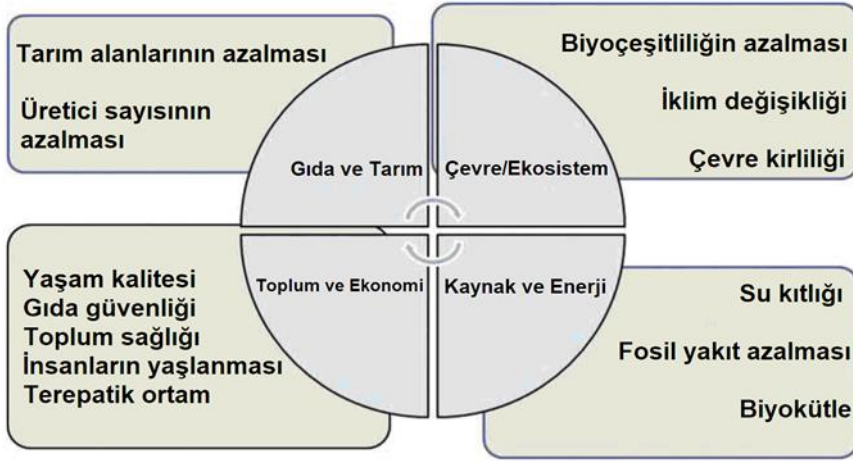
### 2.1. Proje Kapsamı

Dikey Tarım projeleri, bitki yetiştirme süreçlerini optimize etmek, sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmek ve gıda üretimini artırmak amacıyla dikey alanlarda (örneğin binaların içinde veya özel yapılar içinde) gerçekleştirilen tarım uygulamalarını içermektedir. Bu projelerin kapsamı genellikle bitkiler, sebzeler, meyveler, otlar, tıbbi bitkiler veya süs bitkileri yetiştirme ve topraksız yetiştirme yöntemlerini kapsamaktadır. Hidroponik (sıvı besin solüsyonları kullanarak), aeroponik (hava üzerinde yetiştirme) gibi toprak kullanmadan bitki yetiştirme yöntemlerinden faydalanılmaktadır.

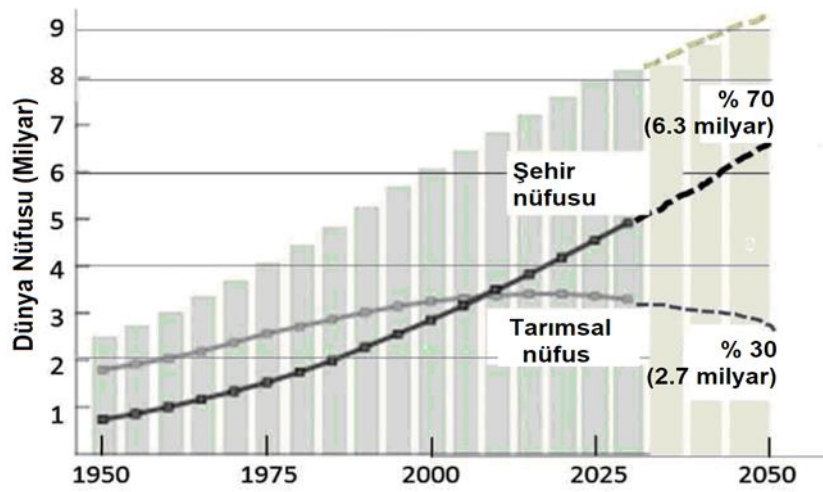
### 2.2. Proje Gerekçesi

Şu anda dünya, tarımın, güvenli ve besleyici gıdaların üretimi, çevre koruma, toplumsal ihtiyaçlar ve hızla artan dünya nüfusu ile iklim değişikliği gibi bir dizi önemli sorunla yüzleşmektedir. Şekil 1'de belirtilen dört ana konu birbirleriyle yakından ilişkili olduğundan, çözümler bulurken birbirlerini destekleyen bir yaklaşım benimsenmelidir. Bu, çevreyi korurken toplumsal refahı artırıcı ve yaşam kalitesini yükselten yolları içermelidir. Hedef, verimli bir şekilde yüksek kaliteli gıdalar üreterek çevresel emisyonları azaltmak ve sosyal refahı artırmaktır.

Tarım ve gıda meseleleri, özellikle kent nüfusu arttıkça tarım üreticilerinin sayısının azalmasına (Şekil 1) yol açan bir dizi zorlukla karşı karşıyadır. Şehirleşme ve çölleşme, tarım alanlarını daraltırken toprak tuzlanması ve kirlenme gibi sorunlar da ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, projenin amacı, dikey tarım uygulamaları ile bu olumsuz etkileri azaltmaktır. Bu uygulamalar, yüksek metrekare fiyatına sahip şehir içi alanlarda, dikey yönde kullanılmasıyla ekonomik açıdan verimli bir şekilde ürün yetiştirilmesine imkân tanımaktadır. Üretilen ürünler, doğrudan son kullanıcılara ulaştırılarak aracı maliyetleri düşürmekte ve gıda güvenliği ile kaliteyi artırmaktadır. Bu yöntemlerin daha geniş çapta yaygınlaştırılması ve benimsenmesi hedeflenmektedir.



Şekil 1. Dünya ve Yaşam Kalitesinin Sürdürülebilirliği ile İlişkili Dört Küresel Sorun [1]



Şekil 2. Dünya'da Kentsel ve Tarımsal Nüfus Eğilimleri [1]

Klasik tarım yöntemleriyle üretilen ürünlerde, üretim süreci ani hava durumu değişikliği, pestisit saldırıları, hastalık vb. süreçlerden olumsuz etkilenmekte, zaman zaman üretimi sekteye uğratmaktadır. Tarım alanlarının, yerleşim alanlarının dışında olmasından kaynaklı olarak son tüketim noktasına gelene kadarki süreçte ürünün birden fazla el değiştirmesi, lojistik maliyetlerinin yüksek olması, lojistik süreçlerinde fire miktarlarının artması gibi sebepler ürünün satış fiyatının artmasına sebep olmaktadır. Klasik tarımda su, gübre ve ilaçların kontrolsüz kullanımı sürdürülebilir üretimi riske atmaktadır. Bu sebeple akıllı Dikey Tarım uygulamaları ile üretim sürecindeki kaynakların daha verimli kullanılması, maliyeti artıran aracı kurumların azalması, lojistik maliyetlere bağlı firelerin azalması, doğal olaylara bağlı üretim aksaklıklarının engellenmesi gibi gerekçelerle sürdürülebilirlik açısından daha verimli sonuçlar vermektedir.

### 2.3. Mevcut Durum

#### *Proje konusu ile ilgili dünyada mevcut durumun tespiti*

- Dikey Tarıma yönelik dünyadaki güncel trendler incelenir.
- Bu trenlere bağlı güncel teknoloji, yazılım, otomasyon, ekipman, yapı, ürün vs. incelenir.

#### ***Proje konusu ile ilgili Türkiye’de mevcut durumun tespiti***

- Türkiye’deki mevcut Dikey Tarıma yönelik alt ve üst yapı uygulamaları incelenir.
- Proje için gerek duyulan alanlarda hizmet alınabilecek firmalar belirlenir.

#### ***Daha önce yapılan çalışmaların başarı-başarısızlık durumlarının tespiti***

- Bu uygulamaları gerçekleştiren kurum ve firmalarla bilgi-tecrübe-fikir alışverişi yapılır.
- Başarılı süreçler arasında kıyaslama yapılarak bölge için en uygun teknoloji, yapı, ekipman, otomasyon, yöntem ve ürün belirlenir.
- Süreç içerisindeki karşılaşılan olumlu ve olumsuz durumlara dair bilgi notları hazırlanır ve bilgi havuzuna eklenir.

#### ***Literatür Araştırması***

Literatür araştırması, bu projeyi uygulayacak kurum ve kuruluşlara mevcut durum hakkında bilgi vermek ve konu hakkında fikir sahibi olmalarını sağlamak amacıyla hazırlanmıştır.

Şehir veya çevresinde üretilen taze gıdalar, üretim yerinden uzakta bulunan gıda işleme tesislerine nakledilmektedir. İşlenmiş ürünlerin bir kısmı daha sonra tekrar üretim bölgesine geri getirilir. Bu durum, üretim alanında yaşayan insanların taze ve sağlıklı sebze ve meyvelerden mahrum kalmasına neden olurken gıda işleme ve taşıma için önemli kaynaklar harcanmaktadır. Despommier (2010), bilim insanları, mühendisler, politika yapıcılar ve mimarlar üzerinde etkili olan dört küresel sorunun çözümü için "dikey tarım" konseptini önermiştir [3]. Modern PFAL uygulamaları, 1999 yılında Kolombiya Üniversitesi Halk ve Çevre Sağlığı profesörü Dickson Despommier tarafından önerilmiş ve 2017 yılında çok seviyeli dikey tarım sistemleri piyasaya sürülmeye başlanmıştır. Allen (2012) ise sağlıklı gıda üretimini teşvik etmek ve topluluklara fayda sağlamak amacıyla "iyi gıdaya dönüş" kavramını ortaya koymuş ve tarımsal ürünlerin yerel tüketimini destekleyen bir sosyal dönüşüm başlatmıştır [4].

Bitki fabrikası kavramı, kapalı dikey tarım sistemlerinin öne çıktığı, "yapay aydınlatmalı bitkisel üretim yapılarını (PFAL)" tanımlayarak, "dikey tarım" ve "yerel tüketim için yerel üretim" yaklaşımlarını teknik, mühendislik ve bilimsel bakış açılarıyla ele alan bir terimdir.

Geleneksel tarım uygulamaları, değişken hava koşulları ve iklim değişiklikleri nedeniyle yılda bir veya iki sefer hasat imkânı sunmaktadır. Seralarda meyve ve sebze üretimi yapıldığında, kontrollü bir ortamda yılda 1 ile 4 defa ürün alınabilmektedir. Ancak, bu süreç yetiştirme bilgisine, mevsime ve sıklıkla zararlı böceklerin sebep olduğu hastalıklara bağlıdır. PFAL ortamlarında yapraklı yeşillikler veya



diğer bitkiler yetiştirildiğinde ise, hassas kontrollü şartlar altında yılda 10-20 kez hasat yapmak mümkündür [1]. Bu şekilde, PFAL yetiştiriciliği deneyim ve bilgi birikiminin açık tarla veya sera yetiştiriciliğine kıyasla daha hızlı bir şekilde gelişebileceği bir platform sunmaktadır.

PFAL yetiştiriciliği sırasında, yetiştiriciler örneğin ışık kaynağı, çeşit veya besin bileşimi gibi tek bir faktörü değiştirerek, diğer faktörlerin sabit kaldığı bir deney yapabilmektedir. Bu yaklaşım, neden-sonuç ilişkilerini anlamalarını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, PFAL deneyleri iklim koşullarından etkilenmemekte, bu da sonuçların daha tekrarlanabilir olmasını sağlamaktadır. Uzmanlar ve araştırmacılar, bir deney yaparak yetiştirme sisteminin bir bölümünü kullanırlarsa, elde edilen sonuçların tam ölçekli bir yetiştirme sisteminde de geçerli olma olasılığı yüksektir. PFAL yöneticileri aynı zamanda üniversiteler veya diğer kuruluşlardaki araştırmacılarla kolayca iş birliği yapabilmektedir. Bu da PFAL'lerin sağladığı büyük bir avantajdır.

Son zamanlarda Türkiye'de, yerel kaynaklarla üretilen konstrüksiyon, LED armatürler, iklimlendirme ve otomasyon sistemleri kullanarak mikro ve makro ölçekte dikey tarım tesislerinin kurulumu hızla artmaktadır. Mikro ölçekli uygulamalar başlangıç yatırım maliyetleri nedeniyle son kullanıcılar arasında tercih edilmezken bazı zincir marketlerin manav reyonlarında bu tür uygulamalara rastlamak mümkündür. Benzer şekilde, Türkiye'deki bazı zincir marketler ve restoranlar da bu tür uygulamalara yer vermektedir (Şekil 3). Ancak, verimlilik açısından bakıldığında, orta ve makro ölçekli uygulamaların daha başarılı sonuçlar verdiği genel olarak bilinmektedir. Orta ve büyük ölçekli yatırımların, yerli kaynaklarla gerçekleştirilen uygulamaların yaygınlaşmasına ivme kazandırdığı ve üniversitelerin ilgili bölümlerinde konuya yönelik Ar-Ge çalışmalarının hızlandığı gözlenmektedir. Gelecekte, teknolojideki gelişmeler ve ölçek ekonomisi ile birlikte mikro ölçekli uygulamaların da başarılı sonuçlar elde etmesi beklenmektedir.



Şekil 3. Mikro Ölçekli Dikey Tarım Uygulamaları [5]

2050 yılına gelindiğinde küresel nüfusun %70'inin kentsel alanlarda yaşayacağı ve toplam nüfusun 9.3 milyar kişiye ulaşacağı beklenmektedir. Bu kentsel nüfus, 2050 yılında, 2009 yılına kıyasla yaklaşık %70 daha fazla gıdaya ihtiyaç duyacaktır [1]. Ancak çevre ve ekosistemle ilgili sorunlar için biyolojik çeşitliliğin azalması, yeşil alanların daralması, çevre kirliliği ve anormal iklim koşulları (küresel ısınma nedeniyle artan yoğun yağışlar, seller, kuraklık, şiddetli rüzgarlar vb.) gibi faktörler söz konusudur. Bu sorunlar genellikle ekosistemlerin istikrarsızlaşmasına yol açmaktadır.

Su, fosil yakıtlar ve bitki biyokütlesi gibi kaynakların yetersizliği, giderek daha büyük bir endişe kaynağıdır. Temel gıda üretimi için sınırlı sulama suyuna ve değişken yağışlara sahip geniş alanlar bulunurken, artan kentleşme ve daha iyi yaşam standartları arayışı, su talebinin daha da artmasına yol açmaktadır.

Elektrik üretim ve kullanım enerjisinin daha verimli hale getirilmesi, aydınlatma masraflarının azaltılması, iklimlendirme ve bulut bilişim gibi teknolojiler, ısı yalıtımı, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle ve jeotermal enerji gibi doğal kaynaklar üzerindeki çalışmalar, dikey tarım sistemlerinin geliştirilmesine büyük katkı sağlamıştır. Bu teknolojik ilerlemeler, elektrik üretimi, depolama ve kontrol sistemlerini de kapsayarak dikey tarım uygulamalarını daha etkin hale getirmiştir.

Dikey Tarım sistemlerine yönelik toplumsal beklentiler ve endişeler dikkate alındığında, Japonya'nın Kashiwa kentinde bulunan Kashiwa-no-ha bölgesinde ilginç bir örnek bulunmaktadır. Bu proje, Tokyo'nun merkezine sadece 30 dakika uzaklıkta yer almakta olup kentsel tarım gelişimine

odaklanmaktadır. Japonya'daki Akıllı Şehir Projesi, kentsel tarımın bir parçası olarak, dikey tarımın sosyal ve ekonomik boyutları üzerine devam eden bir araştırma olarak sürdürülmektedir. Bu şehir, sürdürülebilirlik ilkelerine dayalı olarak 2003 yılından bu yana planlanmaktadır.



Şekil 4. Japonya'nın Kashiwa Kentindeki Kentsel Tarım Gelişim Projesi

2017 yılında ABD'de, gıda üretimi için 30'dan fazla dikey tarım sistemi (PFAL) olduğu rapor edilmiştir. Bu sayı, 2015 yılında bildirilenden yaklaşık dört kat daha fazladır. Meksika, ABD ve Kanada ile kıyaslandığında, Mexico City'de sadece birkaç ticari deneme ve teknolojik girişim bulunmaktadır. Meksika'nın Sonora kentinde ise yerel pazar için küçük yeşillikler üreten bir şirket faaliyet göstermektedir [7].

Kuzey Amerika'daki birçok PFAL sistemi, marul, lahana, roka, fesleğen ve diğer yapraklı yeşillikler gibi mutfak otları da dahil olmak üzere çeşitli ürünlerin üretimine odaklanmıştır. Özellikle fesleğen, sıkça yetiştirilmekte ve taze kesilmiş yaprakları, küçük yeşillikler veya köklerine bağlı canlı bitkiler olarak satılmaktadır. Bu tür bitkiler, salatalarda kullanılan küçük yeşillikler ve yapraklı baharat bitkileri olarak popülerdir ve PFAL'lerde sıkça yetiştirilmektedir. Bu tercihin arkasındaki ana neden, küçük filizlerin genellikle kısa raf ömrüne sahip olması ve yüksek talep görmesidir. Bu nedenle, bu tür ürünler için PFAL üretim sistemi son derece elverişlidir. Ayrıca, bazı PFAL tesislerinde organik sertifikalı ürünler üretilmekte veya su kültürü yöntemi kullanılmaktadır. Yapraklı yeşilliklerin PFAL'lerden elde edilen pazar payı yüzde olarak küçük olsa da Kuzey Amerika'daki bazı PFAL'ler domates, salatalık, çilek gibi geniş bir ürün yelpazesi yetiştirmektedir.

Fide dikilerek yapılan üretim için, PFAL kullanarak aşılınmış domates fideleri üreten şirketler vardır. Bununla birlikte, diğer bitki türlerinin fide dikme yöntemiyle üretimi için PFAL uygulamaları giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Pensilvanya'daki bir firma, çeşitli genç bitkilerin seralarda büyütülmek

ve yetiştirilmek üzere üretimi için özel bir PFAL oluşturmuştur. Bu PFAL ve sera kombinasyonu oldukça başarılı bir şekilde işlemekte ve gelecek yıllarda daha farklı sebze ve süs bitkisi türleri için uygulamaların yaygınlaşması beklenmektedir.

Dikey tarım (PFAL) tesislerinin çoğu, çok katmanlı bir üretim sistemi kullanarak her seviyeye monte edilmiş LED lambalar içermektedir. Bu katmanlar arasındaki mesafe, Japonya ve diğer Asya ülkelerinde gözlemlenenlere kıyasla biraz daha uzun olabilir (yaklaşık 1 metre). PFAL içinde, ürün yetiştirilen katmanların tasarımı ve katmanlar arası boşlukların belirlenmesi, kullanım kolaylığı, etkin alan kullanımı, enerji verimliliği ve hava dolaşımı gibi faktörleri dikkate alarak gerçekleştirilmektedir.

Hidroponik sistemler, özellikle besleyici film tekniği (NFT) veya besin çözeltisinin sirkülasyonu ile gerçekleşen sığ su kültürü yöntemleri, yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sistemlerin bazı NFT kanalları, alan kullanımını artırmak amacıyla dikey yönde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. PFAL'lerin birçoğu, mevcut binaları yeniden tasarlayarak inşa etme ihtiyacı duymadan, depo alanları gibi mevcut yapılarda uygulanabilmektedir. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) artırımı, konteynerli yetiştirme odalarında yaygın bir uygulamadır, ancak geniş depo binalarında bu uygulama daha az yaygındır. Bu tür binalarda, genellikle insan sağlığını korumak için havalandırma miktarı minimize edilen hava işleme sistemleri bulunmaktadır.

Dikey tarım sistemleri (PFAL), daha yüksek verim ve karlılık elde etmek için daha fazla teknolojik geliştirmeye ihtiyaç duymaktadır. Bu bağlamda, özellikle ortam havasının nem düzenlemesi ve aydınlatma için iklimlendirme (HVAC) optimizasyonu gibi kritik alanlar üzerinde çalışmalar gerekmektedir. Bu alanda, üretkenliği ve üretim kalitesini artırmak amacıyla ABD'deki birçok tarım bilimcisi, yenilikçi aydınlatma teknolojisi geliştirme konusuna odaklanmıştır. Ancak, verimli LED aydınlatmanın getirilmesiyle birlikte, daha düşük soğutma talebi (bu durum düşük nem gereksinimi anlamına gelmektedir) oluşmaktadır. Bundan dolayı yüksek verimli LED aydınlatma kullanılan sistemlerde nem yönetimi sorunları ortaya çıkmaktadır. Verimli LED kullanan üreticiler, yüksek bağıl nem seviyelerinde (bazen %90'ın üzerinde) yaşamakta ve mantar hastalığı salgınlarını önlemek için %60 ile %70 arasında bağıl nem seviyelerine ulaşmak için ek nem alma gereksinimi duymaktadırlar. Dış ortamdaki mutlak nem seviyesi içeriden daha düşük olduğunda, havalandırma nem kontrolü için etkili bir şekilde kullanılabilir.

CO<sub>2</sub> kullanım verimliliğini sürdürmek amacıyla, havalandırma oranını en aza indiren tasarım önerileri yeniden gözden geçirilmelidir. CO<sub>2</sub>'nin maliyeti, elektrikten daha düşük olduğu için, aynı verim artışını elde etmek için CO<sub>2</sub> kullanımını en üst düzeye çıkarmak yerine, nemin serbest bırakılması için en düşük havalandırma oranına sahip olmak, en azından düşük maliyetli teknolojik yenilikler kullanılmaya başlanana kadar değerlendirilmeye değer olabilir. Havalandırma kapasitesi, hava kalitesi sorunları

ortaya çıktığında da önemlidir. Bazı durumlarda, uçucu organik bileşiklerin (VOC) birikimine yol açan kaynakları belirlemek ve ortadan kaldırmak zor olabilir. Bu nedenle, saatte 12 defaya kadar yüksek havalandırma uygun görülmektedir.

Kuzey Amerika'daki ticari dikey tarım sistemlerinin (PFAL) gelişiminde, yerel gıda üretimi ve organik ürünlerin teşvik edilmesine yönelik perakendecilerin güçlü desteği önemli bir rol oynamıştır. Kuzey Amerika'da, geleneksel taze sebze ve meyve tedarik zinciri, sınırlı sayıda büyük ölçekli üretim endüstrisinin kontrolünde bulunmaktadır ve genellikle az sayıda açık alan üretim bölgesine dayanmaktadır. Örneğin, Kaliforniya ve Arizona gibi bölgeler, ABD ve Kanada'da tüketilen marulların ve diğer yapraklı ürünlerin büyük bir kısmını (%90) sağlamaktadır. Ancak, bu tedarik zinciri genellikle ürünün uzun taşıma süreleri (5 gün) ve soğutma gerekliliği nedeniyle tazeliğini kaybetmesine neden olabilmektedir.

Japonya'da floresan (FL) lambaların kullanıldığı bir dikey tarım sistemi (PFAL) için ortalama maliyet bileşenleri Tablo 1'de sunulmuştur [1]. Amortismanın hesaplanması için ekonomik ömür, ülkeden ülkeye değişkenlik göstermektedir. Japonya'da PFAL binası için öngörülen ekonomik ömür 15 yıl, tesisler için 10 yıl ve LED lambalar için 5 yıldır [1].

**Tablo 1.** Dikey Tarım Sisteminin (PFAL) Ortalama Maliyetleri Bileşenleri [1]

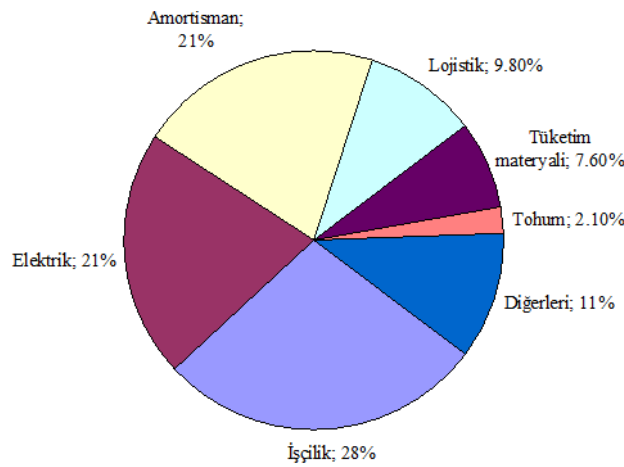
<b>Maliyet Bileşeni</b>	<b>Oranı (%)</b>
Elektrik	25–30
İşçilik	25–30
Amortisman	25–35
Diğerleri	20

Japonya'da yaprak marul üretiminde kullanılan LED aydınlatmalı dikey tarım sisteminin (PFAL) maliyet bileşenlerinin yüzdeleri Şekil 5'te gösterilmektedir [11]. Elektrik, işgücü ve amortisman, üretim maliyetinin temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Bir büyük şehirden uzak bir yerel şehirde bulunan flüoresan aydınlatmalı dikey tarım sisteminde (PFAL), paketleme ve teslimat maliyetleri toplam üretim maliyetinin %12'sini oluşturmaktadır [12]. Eğer dikey tarım sistemi (PFAL), büyük bir şehir içinde veya yakınında bulunuyorsa, paketleme ve teslimat maliyetlerinin oranı %6-8 arasında olacaktır. LED aydınlatmalı bir dikey tarım sistemi (PFAL) kullanımında, elektrik maliyeti toplam üretim maliyetinin %20'sinden daha düşüktür [2].

Dikey tarım sistemlerinde (PFAL), üretim maliyetlerinin yönetimi açısından, yetiştirilen ürünlerin toplam bitki kütlelerine oranı, verimlilik açısından kritik bir göstergedir. Bu sistemlerde elektrik, ışık

enerjisine dönüştürülmekte ve bitkilerde kimyasal enerji olarak depolanmaktadır. Bu nedenle, özellikle yapraklı yeşil bitkilerin üretiminde, kullanılmayan kısımların (örneğin, kökler ve kesilmiş yapraklar) en aza indirilmesi önemlidir. Bu yaklaşım, genelde açık tarla koşullarında yapılan yetiştiricilikten farklıdır. Açık tarlada, bitki kökleri ne kadar sağlam ve gelişmişse, bitkinin büyümesi ve ürün kalitesi o kadar iyi olmaktadır. Bununla yanında, su alımı, inorganik gübre ve oksijen alımı için köklerin önemi vurgulanmalıdır, çünkü bitkilerin hava üstündeki bölümlerini büyütme ve desteklemek için kökler hayati bir role sahiptir.

Üretim maliyetlerini etkili bir şekilde yönetmek için, bitkinin büyüme diğer yönlerini kısıtlamadan kök ağırlığını minimum düzeyde kontrol etmek, önemli bir yetiştirme stratejisidir.



**Şekil 5.** Japonya'da Marul Üreten LED Aydınlatmalı Bir Dikey Tarım Sisteminin (PFAL) Maliyet Bileşenlerinin Yüzdeleri

Perakendecilerin ve tüketicilerin artan talebiyle birlikte, dikey tarım sistemleri olan PFAL'ler daha fazla dikkat çekmekte ve yaygınlaşmaktadır. Bu sistemlerde, üretim daha kontrollü bir şekilde gerçekleşmekte ve yerel tedarik zinciri oluşturulması teşvik edilmektedir. Ancak, PFAL'lerin geleneksel üretim yöntemlerine karşı bazı zorlukları vardır. Halk arasında, topraksız veya yapay bir ortamda yetiştirildiği düşüncesi nedeniyle, bu ürünlerin "yüksek teknoloji" kullanıldığı algısı yaygındır. Ayrıca, gıda kaynaklı hastalık salgınları da dikkate alındığında, ürünlerin üretim yöntemleri hakkında daha fazla şeffaflık ve bilgi talep edilmektedir.

Bu nedenle, hidroponik veya kontrollü çevre teknolojileri ile yetiştirilen ürünlerin etiketlerde açıkça belirtilmesi ve tedarik zincirinin izlenebilirliğinin sağlanması önerilmektedir. Bu tür uygulamalar, tüketicilerin bu ürünlere olan güvenini artırabilir ve hidroponik tarımın daha geniş bir şekilde kabul görmesine katkıda bulunabilir. Bu, özellikle PFAL'lerde yetiştirilen yapraklı yeşilliklerin pazarının genişlemesi için bir adım olabilir.

Kontrollü ortamlarda yetiştiricilik (CEA) uygulamaları ve dikey tarım sistemleri (PFAL), hızla büyüyen bir endüstri sektörü olarak önemli bir ivme kazanmaktadır. Bu nedenle, bu gelişen sektörün desteklenmesi

için akademik araştırma kapasitesinin artırılması son derece kritik bir adımdır. Endüstri ve akademik dünya arasındaki iş birliğini güçlendiren endüstri derneklerinin kurulması, bu hedefi gerçekleştirmede etkili bir yöntem olabilir. Bu dernekler, sektörün ihtiyaçlarına odaklanarak araştırma ve inovasyonu teşvik edebilirler.

Akademik kurumlar, bu alandaki eğitim ve öğretim faaliyetlerini artırarak önemli bir rol oynayabilirler. Özellikle PFAL uygulayıcıları ve planlamacıları için özel eğitim ve öğretim fırsatları sunmak, sektörün nitelikli profesyonellerle desteklenmesine katkı sağlayabilir. Günümüzde sera ürünü üretimi için birçok üniversite ve ilgili endüstriler arasında iş birliği yoluyla eğitim ve öğretim sağlanmaktadır. Ancak, PFAL'lara özgü konular henüz yeterince kapsamamıştır.

Kontrollü ortamlarda yetiştiricilik alanında çevrimiçi kursların artırılması da önemlidir. Bu tür çevrimiçi eğitimler, geniş bir kitleye ulaşarak PFAL ve CEA konularında farkındalığı artırabilir ve uzmanlaşmış bilgi sağlayabilir. Bu şekilde, sektördeki ihtiyaçlar ve gelişmeler hakkında daha fazla insanın bilgilendirilmesi ve nitelikli profesyonellerin yetiştirilmesi sağlanabilir.

### **Biyolojik Sistemlerle Entegre Bitkisel Üretim Sistemleri**

Bitkisel üretim sistemleri taze gıdaların elde edilmesi için genel olarak üç farklı türde uygulanır: açık tarla alanları, kontrollü veya kontrolsüz seralar ve kapalı mekân sistemleri şeklinde kategorize edilebilir (Şekil 6). Bu üretim sistemlerinin bazıları ticari amaçla kullanılırken diğerleri bireysel, aile veya grup bazlı etkinliklerde tercih edilmektedir.

### **Bitkisel Üretim Sistemlerinin Kararlılığı ve Kontrol Edilebilirliği**

Bitkisel üretim sistemlerinin kararlılık ve kontrol edilebilirlik açısından özellikleri incelendiğinde, doğal ve yapay kararlılık ile doğal ve yapay kontrol edilebilirliğe sahip oldukları görülmektedir (Tablo 2). Değişen iklim koşulları ve toplumsal gereksinimler altında genel sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla, farklı bitkisel üretim sistemlerinin kararlılık ve kontrol edilebilirlik açısından farklı yeteneklere sahip olması gerekmektedir. Bitkisel üretim sistemi seçimi; sosyal, çevresel, ekonomik ve kaynak faktörlerine bağlı olarak şekillenmektedir. Açık tarla alanlarında, toprağın (kök bölgesi) doğal kararlılığının korunması önemlidir çünkü bu kararlılık, ortamın (hava) düşük seviyede doğal ve yapay kontrol edilebilirliğini sağlamaktadır.



Şekil 6. Bitkisel Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması [1]

Tablo 2. Bitkisel Üretim Sistemlerinin Karşılaştırılması [1]

Denge ve kontrol edilebilirlik	Açık Tarla	Sera		Kapalı Mekân Sistemi
		Toprak Kültürü	Su Kültürü	
Hava bölgesinin doğal dengesi	Çok düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Hava bölgesinin kontrol edilebilirliği	Çok düşük	Orta	Orta	Çok yüksek
Kök bölgesinin doğal dengesi	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük
Kök bölgesinin kontrol edilebilirliği	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek
Verim ve kalitenin hassasiyeti	Yüksek	Orta	Kısmen düşük	Düşük
Birim alan başına yatırım maliyeti	Düşük	Orta	Kısmen yüksek	Oldukça yüksek
Verim	Düşük	Orta	Kısmen yüksek	Oldukça yüksek

Organik gübre uygulamaları, genellikle toprakta su içeriği, hava geçirgenliği, pH düzeyi ve sıcaklık gibi faktörleri dengede tutarak kök bölgesinin kararlılığını artırmaktadır. Ancak, bu uygulamanın tüm mikroorganizmalar için eşit derecede faydalı olmadığını unutmamak gerekir. Bu nedenle, toprakta yararlı bitki büyüme ve gelişmesine katkı sağlayan mikroorganizmaların hakimiyetini sürdürmek önemlidir.

Kapalı mekân bitkisel üretim sistemleri genellikle hem hava hem de kök bölgesi ortamını yapay olarak yüksek düzeyde kontrol edilebildiği veya hem hava hem de kök bölgesi ortamında doğal kararlılığın ve kontrol edilebilirliğin düşük olduğu sistemlerdir. Yapay kararlılığı ve kontrol edilebilirliği en üst düzeyde tutmak için etkili bir çevre kontrol sistemi gereklidir, bu sayede kaynak kullanımı ve çevre kirliliği minimumda tutulabilir.

Seralar, açık alanlar ile kapalı mekân sistemleri arasında kalan bir kararlılık ve kontrol edilebilirlik seviyesine sahiptir. Toprak kültürü, hidroponik kültürlere kıyasla kök bölgesi ortamında daha doğal bir kararlılık sağlamaktadır. Ancak, kentsel alanlardaki toprak genellikle ağır metaller, tarımsal kimyasallar ve diğer toksinlerle kirlenmektedir. Bu sorun, kök bölgelerinin topraktan izole edildiği hidroponik sera yöntemiyle çözülebilir.



Kimyasal ve hayvansal gübrelerin aşırı kullanımı sonucu sera toprağında tuz birikimi, ürün veriminde azalmaya yol açabilmektedir. Ancak bu verim kaybı, hidroponik kültür sistemi ile önlenebilir. Sera ısıtma maliyetleri, özellikle kış aylarında sera ürünü yetiştirme sürecinde önemli bir faktördür. Ancak kentsel alanlarda, endüstriyel fabrikalar ve ofisler gibi kaynaklardan gelen atık ısı, sera ısıtması için bir potansiyel ısı kaynağı olarak kullanılabilir.

Eğer atık ısı kaynağı sıcaklığı düşük (10-20 °C) fakat miktarı yüksekse, ısı pompaları verimli bir şekilde bu atık ısıyı yakalayarak ısıtma için daha yüksek sıcaklıklara (40-60 °C) çevirebilmektedir [1].

Kapalı mekân üretim sistemleri ışık kaynağı açısından iki guruba ayrılabilir:

1. Sadece yapay ışık
2. Yapay ışık ve (tamamlayıcı) güneş ışınımı

## 2.4. İhtiyaç Analizi

### *Projeye duyulan ihtiyacı ortaya koyan verilerin incelenmesi*

- Üretilen ürüne ait sektörel analizin yapılması
- Bölgesel ve ulusal üretim miktarlarının çıkarılması
- Ürüne ait üretim darboğazlarının ve etkilerinin analiz edilmesi

Ticari üretim için PFAL'lerde yetiştirilmeye uygun bitkilerin başlıca özellikleri şunlardır:

- Yetiştirme rafları arasında 40-50 cm dikey bir mesafeye sahip ve çok katmanlı yetiştirme raflarında yetiştirilmeye uygun olarak kısa boylu (yaklaşık 30 cm veya daha az) bitkiler (Şekil 7)
- Yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda hızlı büyüyen (ekim/dikimden 10-30 gün sonra hasat edilebilir) bitkiler
- Düşük ışık şiddeti ve yüksek dikim yoğunluğunda iyi büyüyüp/gelişen bitkiler
- Taze, temiz, lezzetli, besleyici ve tarım ilacı içermeyen yüksek değerli ürünler
- Ürün değeri, çevresel kontrol ile etkili bir şekilde geliştirilebilen bitkiler
- Bitkinin taze kütlelerinin yaklaşık %85'i ürün olarak satılabilir bitkiler (Yaprak marulunun kök ağırlık oranı %10 ile %15'in altında olmalıdır).
- Herhangi bir yere/ortama aktarma gerektirmeyen bitkiler

Gelişmiş kalite ve verim için PFAL yerine güneş ışınımından yararlanan seralarda üretilmeye uygun başlıca bitkiler şunlardır:

- Fazla miktarlarda işlevsel bileşen içeren domates, yeşilbiber ve hıyar gibi sebze ve meyveler
- Çilek ve yaban mersini gibi meyveler
- Orkide ve gül gibi değerli süs bitkileri

- Damla sulama ile yetiştirilmeye uygun mango ve üzüm gibi meyveler
- Ginsengi ve safran gibi tek yıllık tıbbi ve aromatik bitkiler

PFAL üretimi için uygun olmayan bitkiler arasında pirinç, buğday, mısır ve patates gibi, öncelikle insanlar ve hayvanlar için temel kalori kaynağı olarak kullanılan ürünler bulunmaktadır. Ayrıca, biyoenerji kaynağı olarak kullanılan şeker kamışı ve kolza tohumu gibi bitkiler ile büyük meyve ağaçları ve kereste üretimi için kullanılan sedir ve çam gibi ağaç türleri de PFAL üretimi için uygun değildir. Bu tür bitkiler geniş alanlara ihtiyaç duyar ve hasat döngüleri birkaç aydan başlayarak 10 yıl veya daha fazla sürebilir. Bu bitkilerin değer/kütle oranları düşüktür. Aşağıdaki hedeflere ulaşmak için bir PFAL tasarlanmalı ve işletilmelidir:

- En az miktarda kaynak kullanarak bitkilerin kullanılabilir veya satılabilir kısımlarının miktarını en üst düzeye çıkarmak
- En yüksek kaynak kullanım verimliliğini (KKV) korumak
- Çevreye salınan kirleticileri en aza indirmek
- Önceki üç hedefe ulaşırken maliyetleri en aza indirmek

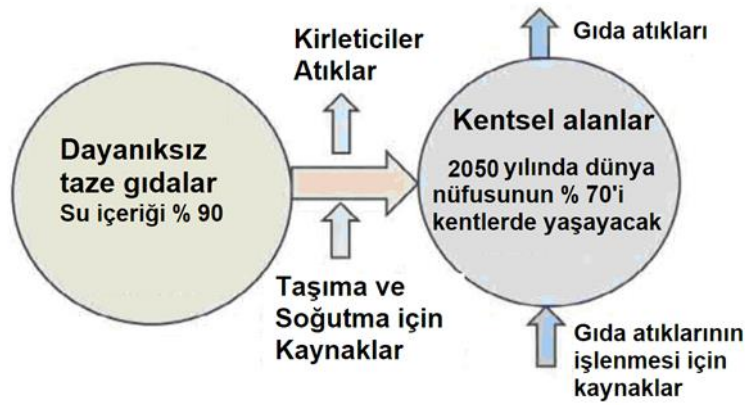
Bir PFAL içerisinde özellikle aydınlatma ve iklimlendirme için önemli miktarda elektrik tüketilmektedir. Bu bağlamda, elektrik ve ışık enerjisi, bir PFAL'de kullanım verimliliğini artırmak için en kritik iki kaynağı oluşturmaktadır.



Şekil 7. Yapay Aydınlatmalı Bitkisel Üretim Yapısı (PFAL)

Kentlerde ekonomik ve ticari olarak üretilebilecek ürünler genellikle taze ve fonksiyonel gıdalar için kullanılmaktadır. Su içeriği yüksek olan ürünler (%90-95) genellikle hacimli ve hassastır, dolayısıyla soğutulmadan veya özenli paketleme olmadan taşınmaları zordur. Taze gıdaların kırsal alanlardan kentlere taşınması sırasında kullanılan sıradan ticari kamyonlar, her ton başına 0.8 kg ila 1.9 kg CO<sub>2</sub> emisyonu üretmektedir [6].

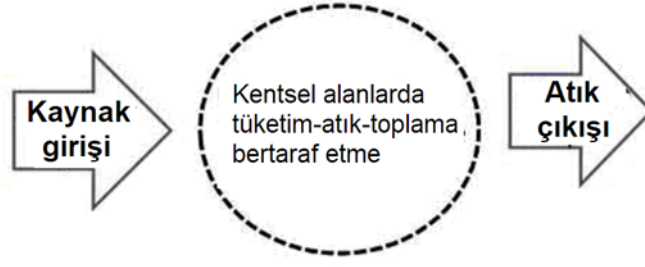
Ayrıca, taşıma sırasında gıdaların soğutulmasıyla ek CO<sub>2</sub> yayılmaktadır. Bu nedenle, bozulabilir taze gıdaların uzak mesafelere taşınması, kaynakların tüketilmesine ve çevrenin kirletilmesine yol açmaktadır (Şekil 8). Bunun yanı sıra, gıda atıklarını yönetmek için ek kaynaklar gerekmektedir [1].



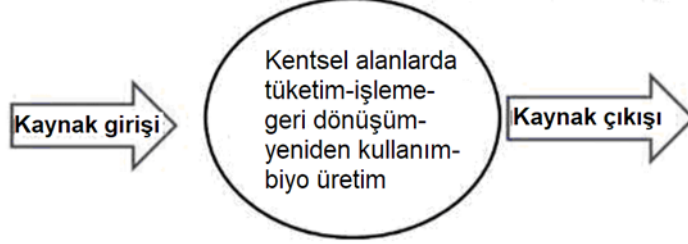
Şekil 8. Bozulabilir Gıda Lojistiği ve Geleceğe Yönelik Nüfus Projeksiyonu

Bununla birlikte, taze yiyeceklerin uzun mesafeler boyunca soğutulmadan taşınmaması veya özenli paketleme olmaması durumunda, çoğu zaman bozulmaktadır. Bu nedenle, gıda taşıma mesafelerinin kısaltılması veya "yerel üretim için yerel tüketim" yaklaşımı, özellikle taze gıdalar için büyük önem taşımaktadır. Kentlerde üretilen gıda atıkları ve atık sular, doğaya bırakılmadan önce veya geri dönüşüme tabi tutulmadan önce işlenmelidir. Bu işlem sırasında fosil yakıt veya elektrik gibi kaynaklar yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenle, kaynak akışının azaltılması, kentsel bölgelerde atık üretimini ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını düşürmeye yardımcı olmaktadır. Başka bir deyişle, kentsel bölgelerdeki kaynak "üretiminin" azaltılması gerekmektedir. Bu hedef, mevcut "tüketim odaklı açık döngülerin" yerine, kaynak girdilerine dayalı yeni "tüketim/geri dönüşüm/yeniden üretim kapalı döngülerin" benimsenmesiyle gerçekleştirilebilir (Şekil 9) [1].

**(A) Tüketmek-atmak (kaynak verimliliği) açık sistem**



**(B) Tüketmek-işlemek-dönüştürmek/yeniden kullanmak kapalı sistem**



Şekil 9. Kaynak Kullanımı Bakımından Açık ve Kapalı Sistemler

***Proje ile ilgili beklentiler ve paydaşlara sağlanan faydalar ile çözüm getirilen problem ve sıkıntıların tespiti***

Dikey Tarım projesi ile ilgili beklentiler genellikle aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

Sürdürülebilir bir bitkisel üretim sistemi oluşturmak amacıyla, PFAL'ler geliştirilmiştir. Sürdürülebilir PFAL tasarımları oluşturulurken, sistematik ve bilimsel yöntemlerden yararlanılmalıdır. Ancak, bu yöntemler sürekli olarak değişen koşullara ve sürekli iyileştirmeye açık olmalıdır. PFAL'lerin sürdürülebilirliğini sağlamak için aşağıdaki gereksinimleri karşılamaları önemlidir:

- PFAL'ler, küresel gıda üretimi, çevre koruma, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı ve sosyal kalkınma gibi alanlarda eşzamanlı ve uyumlu katkılar sunmalıdır.
- Üretimden tüketim aşamasına kadar olan süreçlerde, tesisin tedarik zinciri boyunca kaynak tasarrufu sağlaması ve düşük karbon salınımına sahip olması gerekmektedir. Özellikle, PFAL'ler yağ bazlı ürünlerin kullanımını azaltarak ve enerji tüketimini en aza indirerek su ve petrokimya kullanımını büyük ölçüde azaltmalıdır.
- Çevre kirliliğini minimumda tutarak, çevre koruma amaçlarına hizmet etmelidir.
- Kaynak kullanım verimliliğini ve doğal enerji kullanımını en üst düzeye çıkararak kaynakların ürünlere dönüşümünü optimize etmelidir.
- Değişken iklim koşullarına ve çevresel faktörlere karşı dirençli olmalı, yıl boyunca sürekli yüksek kalitede ve verimli ürünler sağlamalıdır.
- Çalışanlar ve yerel topluluklar için güvenli ve hoş bir çalışma ortamı yaratmalı, çevre sağlığı ve refahını korumalıdır.

- Engelliler ve yaşlılar da dahil olmak üzere farklı insan grupları için istihdam fırsatları sunmalı ve topluma katkı sağlamalıdır.
- Sistem, doğal çevresel değişikliklere ve sosyal evrime uyum sağlayarak sürdürülebilirliği sağlamalıdır.
- Uluslararası teknoloji transferini kolaylaştırarak standart sistemlerin geliştirilmesine katkıda bulunmalıdır.

Yukarıda özetlenen beklentiler göz önünde bulundurulduğunda Dikey Tarım projeleri kullanım amaçlarına bağlı olarak iki grupta incelenmektedir:

1. Çoğunlukla ticari üretim için kullanılan yapay aydınlatmalı bitkisel üretim yapıları (PFAL)
2. Genel olarak ticari üretim dışında kullanılan havalandırılmalı ve yapay aydınlatmalı bitkisel üretim yapıları (m-PFAL; mini veya mikro-PFAL)

Yapay aydınlatmalı bitkisel üretim yapıları (PFAL), genellikle ticari üretim amacıyla kullanılmaktadır ve temel bileşenleri Şekil 10'da ve Tablo 3'te sunulmuştur. PFAL'ler, yüksek KKV (Kaynak Kullanım Verimliliği) ve ME (Maliyet Etkinliği) değerlerine sahipken, düşük verim kırılabilirliği (K) ve ürün kalitesi ile çevresel kirlenici emisyonlarının az olduğu koşullarda, yüksek değerli ürünlerin (verim ve birim değer veya kaliteli ürün) yetiştirilmesini hedeflemektedir. Ancak, PFAL'ler henüz yeni gelişen ve dolayısıyla teknik olarak olgunlaşmamış üretim yapılarıdır. Bu nedenle, ticari uygulamaları hala oldukça sınırlıdır.

Öte yandan, PFAL'ler yüksek KKV, ME ve K değerlerine ulaşma potansiyeline sahiptir ve gelecek yıllarda kentsel alanlarda daha yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanması beklenmektedir.

**Tablo 3.** Ticari Üretim için Kullanılan Yapay Aydınlatmalı Bitkisel Üretim Yapılarının (PFAL) Temel Bileşenleri [1]

No	Bileşenler
1	Hava geçirmez olmalıdır (hava değişimi sayısı saatten 0.015'den az).
2	Çatı ve duvarları ısı yalıtımlı olmalıdır (Isı transfer katsayısı $0.15 \text{ W/m}^2 \text{ C}$ 'den düşük).
3	Yetiştirme ve uygulama odalarında hava ve sıcak su dolaşımı olmalıdır.
4	Aydınlatma sistemi ve hidroponik yetiştirme yataklarına sahip çok katlı mimari tasarım olmalıdır.
5	Esas olarak soğutma (aynı anda nem alma) ve hava dolaşımı için klimalar olmalıdır.
6	Konsantrasyonunu 1000 ppm civarında tutmak için CO2 zenginleştirilmesi yapılmalıdır.
7	Zemin temiz tutmak için epoksi reçine levha ile kaplanmış olmalıdır.
8	Klimaların soğutma panelinde (evaporatör) yoğunlaştırılmış suyu toplama ve yeniden kullanma sistemi olmalıdır.
9	Besin çözeltisi temini için dolaşım ve sterilizasyon sistemi bulunmalıdır.



**Şekil 10.** Yapay Aydınlatmalı Bitkisel Üretim Yapısı (PFAL)

Dikey Tarım yapıları için sürdürülebilirliği artırmak amacıyla çözülmesi gereken sorunlar şunlardır:

(a) Aşağıdakiler azaltılmalıdır:

- Üretim ve ürün soğutma için elektrik tüketimi
- Bina inşaatı için malzeme ve enerji tüketimi

(b) Aşağıdakiler artırılmalıdır:

- Kompost üretimi
- Biyoyakıt üretimi
- Bitki fotosentezini ve diğer amaçları teşvik etmek için CO<sub>2</sub>
- Kentsel alanlardaki PFAL'ler etrafında biyolojik çeşitlilik
- Egzersiz ve rekreasyon için PFAL'lerin çevresi
- Estetik değerler

(c) Aşağıdakilerin yaygınlaştırılmalıdır:

- Aktif topluluk katılımı
- Sosyal gelişme

- Yoksullara taze yiyecek sağlamak
- Eğitim
- Tasarım ve üretim yönetimi için yazılım geliştirme

Dikey Tarım projelerinin paydaşlara sağladığı faydaların yanı sıra, bir PFAL'de kaynak kullanımının etkinliği ile ilgili zorluklar aşağıda verilmektedir:

- Aydınlatma sisteminin iyileştirilmesi:
  - Yukarı aydınlatma
  - Yeşil LED'lerin kullanılması
  - LED lambadaki LED çiplerinin yerleşimi
- Yetiştirme ve tohum üretimi:
  - PFAL için uygun sebzelerin seçimi ve ıslahı
  - PFAL kullanarak tohum çoğaltılması
  - PFAL kullanarak yetiştirme
- Tıbbi ve/veya işlevsel bitkilerin verimli ikincil metabolit üretimi için seçim, yetiştirme ve çevresel kontrol
- Geçici yöntemler ile ilaç üretimi
- Bitkinin satılabilir parçanın toplam bitki kütlesine oranını arttırmak için, kök kütlesi kısıtlı yeni bir yetiştirme sisteminin geliştirilmesi
- PFAL'lerde sürekli çiçek açan çilek, yaban mersini ve diğer meyve üretimi
- Bataryalı veya bataryasız güneş PV sistemleri ve diğer doğal enerji sistemleriyle bağlantılı PFAL'ler
- Macun, sos, salamura sebzeler, meyve suyu, kozmetik, aroma, vb. işlenmiş gıdalar için hammadde üretimi
- PFAL'leri ekolojik kentsel planlama ve yönetime entegre etmek
- Eğitim, kendi kendine öğrenme ve hobi olarak mikro, mini ve küçük PFAL'ler
- İşlevsel bileşenler ve fizyolojik olaylar üzerindeki çevresel ve genetik etkilerin biyokimyasal ve moleküler biyolojik analizleri ve bunların ıslah ve çevre kontrolü uygulamaları
- PFAL sisteminden elde edilen büyük veriler kullanılarak veri madenciliği
- Bilgi ve iletişim teknolojisinin PFAL'a tanıtılması
- Bitki özelliklerinin müdahale edilmeden ölçümü için bir fenotipleme biriminin geliştirilmesi

Bir PFAL içinde, kaynak koruma açısından ele alınması gereken pek çok sıkıntı olabilmektedir. Toplumun esnekliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak amacıyla, açık alanlar ve seralar gibi farklı bitki üretim sistemlerine ihtiyaç vardır. PFAL, bu çeşitliliği sağlayan bir bitki üretim sistemi olarak öne çıkmaktadır.

Özellikle kentsel alanlarda, PFAL'lerin kullanımının önemi vurgulanmıştır. Ancak, PFAL'ler sadece kentsel bölgelerde değil, aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarıyla elektrik sağlanabilen kırsal ve yerel alanlarda da değerli bir araç olabilmektedir. PFAL'ler, zorlu iklim koşulları, su kıtlığı ve toprak bozulması gibi faktörler nedeniyle bitkilerin yetiştirilemediği durumlarda da etkili bir çözüm sunabilmektedir.

Ayrıca, mevcut PFAL teknolojilerinin gelecekteki versiyonlarından farklı olarak 5, 10 ve 20 yıl sonra nasıl değerlendirilmesi gerektiği de önemlidir. PFAL'lerin araştırma, teknoloji, iş dünyası ve uygulamaları hızla gelişmekte olup hem fırsatlar hem de zorluklar sunmaktadır. Yeni nesil akıllı PFAL'lerin geliştirilmesi için yapay zekâ (AI), nesnelerin interneti (IoT), biyoinformatik, omik teknolojileri (metabolomik, proteomik, genomik, fenomik), robotik, bilgisayar ağı ve veri depolama gibi ileri teknolojilerden yararlanmak gerekmektedir. Bu faktörler, gelecekte PFAL'lerin daha etkili, verimli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına katkı sağlayacaktır.

### ***Projenin başarılı olmasını sağlayacak güçlü yönlerin ve başarısızlığa neden olabilecek zayıf yönlerin tespiti***

- Güçlü Yönler
  - Maliyet değişimlerinden geleneksel tarıma göre daha az etkilenme
  - CO<sub>2</sub> salınımının ve yeraltı su kaynakları kirlenmesinin azalması
  - Daha verimli ve pratik üretim
  - Sınırlı alanlarda daha fazla bitki yetiştirme olanağı sağlaması
  - Suyun etkili bir şekilde kullanılmasını sağlayarak su tasarrufu yapılmasına yardımcı olması
  - Mevsimsel sınırlamalara bağlı kalmadan yıl boyunca üretim yapma olanağı sağlaması
  - Zararlı böceklerin ve hastalıkların bitkilere bulaşmasını önlemeye yardımcı olması
  - Kimyasal kullanımını azaltması
- Zayıf Yönler
  - Yatırım maliyetleri
  - Kısıtlı ürün çeşidi üretimi
  - Uzmanlık gerektiren operasyonların söz konusu olması
  - Büyük meyve ağaçları veya tahıllar gibi büyümek için daha fazla alan gerektiren bitkilerin dikey tarım sistemlerine uygun olmaması
  - Pazarda, geleneksel tarım ürünleri ile rekabet edebilmesinin zor olması



## 2.5. Talep Analizi

*Proje ile üretilecek ürünlere ve/veya sunulacak hizmetlere yönelik mevcut talebin tespiti*

- Nüfus, tüketim alışkanlıkları, dikkate alınarak talep miktarları belirlenir.

*Talebin gelecekteki gelişim potansiyeli ve talep için gelecek öngörülerin tespiti*

- Geleceğe yönelik nüfus, ekonomi ve teknoloji öngörülerini dikkate alınarak hesaplamalar yapılır.

## 3. Teknik Analiz ve Alternatif Teknolojilerin Değerlendirilmesi

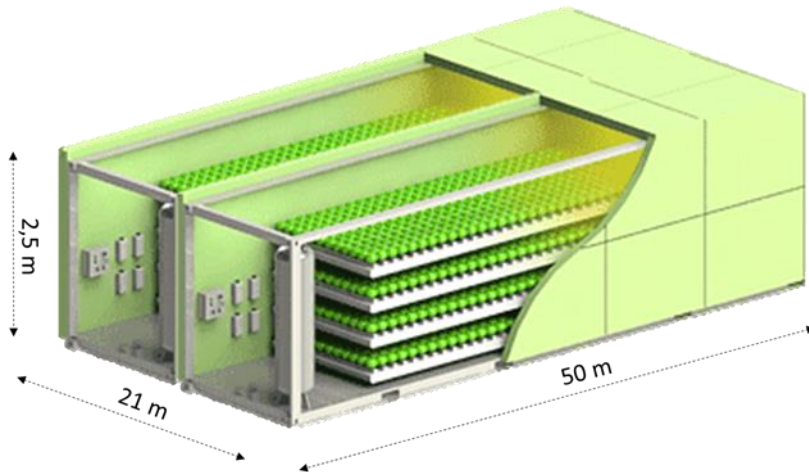
*Fiziki/Mekânsal Büyüklük*

- Fiziki/mekânsal büyüklük projenin gerçekleşeceği şehir, mahalle, bölge, yaşam alanına bağlıdır.
- Kaç metrekaresel kapalı alanda üretim yapılacağına karar verilir.
- Kapalı alanda kaç sıralı üretim alanının oluşturulacağına karar verilir.

Dikey tarım konusunda, bireysel kullanım için mikro düzeyde uygulamalar mevcuttur. Ancak, bu tür mikro uygulamaların günümüz koşullarında, oluşturacağı etki ve başlangıç yatırım maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda verimli olmadığı kabul edilmektedir. Verimlilik açısından daha iyi sonuçlar elde etmek için orta ve büyük ölçekli dikey tarım uygulamalarına yönelmek daha mantıklıdır.

### Örnek Vaka

200.000 kişinin yaşayacağı 1.000 hektarlık örnek proje alanında, bu nüfusa karşılık gelecek dikey tarım uygulamasının 1.000 metrekaresel bir alanda yapılması varsayılmıştır. 1.000 metrekaresel bir alanda gerçekleştirilecek olan bir dikey tarım uygulamasına ait taslak çizim Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Dikey Tarım Taslak Çizim

**Tablo 4.** 1.000 metrekarelik Alanda Uygulanacak Olan Dikey Tarım Teknik Alan Özellikleri

Kapalı Alan Sera Teknik Alan Özellikleri	Özellikler
En	21 metre
Boy	50 metre
Yükseklik	2,5 metre
Raf Özellikleri	
En	1 metre
Boy	10 metre
Yükseklik	5 kat 2,5 metre
Katlar Arası Aralık	50 cm
Raflar Arası Boşluk	90 cm
Oluk tipi	Kare PVC Boru
Oluk ölçüsü	10-4 cm
Fide dikim aralığı	20 cm
Havalandırma Tipi	
Sulama Sistemi ve Gübreleme	Besleyici film tekniği (NFT) sistemiyle EC ve pH kontrollü akıllı otomatik sistem
İklimlendirme	
Otomasyon Sistemi	Isı, Sıcaklık, Nem, Işık, CO <sub>2</sub> , EC, pH gibi değerler ölçülecektir.
Led Özellikleri	Yeşillik grubu yetiştirmek için üretilen led aydınlatmalar kullanılacaktır.
Yazılım	Ölçülen değerler uzaktan telefon veya bilgisayar yardımıyla kontrol edilecektir.
Üretim Şekli	Topraksız tarım

### **Kapasitenin Belirlenmesi**

- $[(\text{yetiştirme alanı}) \times \text{üretim kat adedi} \times \text{yıllık hasat adedi}] \times (\text{satılabilir bitkilerin ekilen bitkilere oranı}) \times (\text{kat etkin alanının toplam zemin alanına oranı})$ .
- Örneğin :  $[20 \text{ bitki/m}^2 (\text{yetiştirme alanı}) \times 15 \text{ kat} \times 20 \text{ hasat/yıl}] \times 0,9 (\text{satılabilir bitkilerin ekilen bitkilere oranı}) \times 0,5 (\text{kat etkin alanının toplam zemin alanına oranı})$ .
- Toplam zemin alanının diğer yarısı, operasyon odası, yürüme yolu, fide üretimi ve ekipman için ayrılmıştır. Bitkinin toprak üstü kısmıyla birlikte 80-100 g'a kadar olan kısmın dikiminden hasat

vaktine kadar olan süre 12-15 gün arasındadır. Tohum ekiminden fidelerin dikime hazır hale gelmesine kadar olan süre ise 20-22 gün olarak hesaplanmaktadır.

- Ortam kontrolü, uygun bitki türleri seçimi, katman düzenlemesi ve yetiştirme sistemlerindeki ilerlemelere bağlı olarak, dikey tarım sistemlerinin (PFAL) yatırım maliyetleri gelecek 5 ila 10 yıl içinde yaklaşık olarak %20 oranında düşecektir [1].

### ***Yapısal Proje Gereksinimleri***

Dikey Tarım uygulaması için yapısal proje gereksinimleri aşağıda verilmiştir:

- Projelendirilen alanın elektrik, temiz su girişi, pis su çıkışı, hava girişi ve çıkışı, gibi altyapı gereksinimlerin belirlenmesi
- Otomasyon sisteminin tasarlanması ve kurulması
- Uygun LED modüllerin ve LED sürücülerin seçilmesi ve birleştirilmesi
- Uygun su motorlarıyla yan sulama bileşenlerinin seçilmesi ve tedarik edilmesi
- Yazılımın projeye uygun hale getirilmesi
- Yazılım bileşenleriyle otomasyon bileşenlerinin birlikte çalışmasının sağlanması ve seranın otomatik olarak çalışır hale gelmesi
- Uzaktan kontrol için internet, bilgisayar ağı gibi yardımcı işletmelere tabi bağlantılarının projelendirilmesi, kurulması, çalışır hale getirilmesi
- Sera konstrüksiyonunun projelendirilmesi
- Kullanılacak su kanallarının projelendirilmesi ve tedarik edilmesi

### ***Yazılım ve Donanım Gereksinimleri***

Proje kapsamında ihtiyaca göre kurulacak çeşitli sistemlerin yazılım ve donanım gereksinimleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

#### **Yazılım**

- Otomasyon yazılımı
- Bitki izleme ve yönetim yazılımı
- Uzaktan erişim ve kontrol yazılımları
- Aydınlatma kontrol yazılımları

#### **Donanım**

- Sensörler

- Sulama ve besin çözültisi sistemi
- Aydınlatma sistemleri
- İklim kontrol sistemleri
- Otomasyon kontrol üniteleri
- Veri toplama ve iletişim cihazları

***Alternatif teknolojiler nelerdir? Karşılaştırma yapınız.***

- Geleneksel Seracılık: Dikey tarım yerine daha yaygın olarak kullanılan geleneksel seracılık, bitkilerin yatay düzlemde yetiştirilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemde bitkiler daha fazla alana yayıldığından, yüksek verim potansiyeli sunmaktadır.
- Hidroponik Sistemler: Hidroponik, toprak kullanmadan su içerisinde çözülmüş besin maddeleri ile bitkilerin yetiştirilmesini sağlayan bir yöntemdir. Dikey tarım yerine hidroponik sistemler kullanarak da verimli ve sürdürülebilir üretim sağlanabilmektedir.
- Akvaponik Sistemler: Akvaponik, hidroponik ile akvaryumculuğun birleştiği bir sistemdir. Balık yetiştiriciliği ve bitki yetiştiriciliği bir arada gerçekleştirilmektedir. Balıkların atıkları bitkiler için besin kaynağı olarak kullanılmaktadır.
- Açık Alan Tarımı: Açık alanlarda geleneksel toprak kullanarak yapılan tarım, dikey tarımın alternatifi olabilir. Bu yöntem daha düşük maliyetli olabilir ancak daha fazla alan gerektirmektedir.
- Yatay Hidroponik Sistemler: Dikey yerine yatay hidroponik sistemler kullanarak bitkilerin yatay düzlemde büyütülmesi sağlanabilmektedir. Bu da verimli üretim imkânı sunmaktadır.
- Aeroponik Sistemler: Aeroponik, bitkilerin köklerine su püskürtülerek yetiştirildiği bir yöntemdir. Bu sistemde bitkiler daha az su kullanarak büyümektedir.
- Gece Dondurucu Soğutma: Bitkilerin soğuk hava depolarında saklanarak uzun süre taze kalması sağlanabilmektedir. Bu yöntem, ürünlerin mevsim dışında da tüketilmesini mümkün kılmaktadır.
- Açık Alan Hibrit Sistemler: Açık alan ve dikey tarım yöntemlerini birleştirerek, bitkilerin hem yatay hem de dikey düzlemde büyüdüğü hibrit sistemler oluşturulabilmektedir.
- Yenilenebilir Enerji Kullanımı: Dikey tarımın enerji maliyetlerini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynakları, örneğin güneş panelleri veya rüzgâr türbinleri, kullanılabilir.
- Geleneksel Tarım Yöntemleri İyileştirilmesi: Geleneksel toprak bazlı tarım yöntemlerinin modern teknolojilerle iyileştirilmesi ve verimliliğin artırılmasını kapsamaktadır.

Bu alternatif teknolojiler, proje hedefleri, bütçesi ve yerel koşullara bağlı olarak değerlendirilmelidir.

Açık alanlarda, toprak (kök bölgesi) ortamının doğal kararlılığını korumak en temel gerekliliktir. Bu kararlılık, ortamın (hava) kontrolünün hem doğal hem de yapay yöntemlerle düşük seviyede olmasını sağlamaktadır. Organik gübre uygulamaları, genellikle su içeriği, havalanma yeteneği, pH seviyesi ve toprak sıcaklığı gibi faktörleri dengeleyerek, kök bölgesinin kararlılığını olumlu yönde etkilemektedir. Ancak, bu tür uygulamaların her tür mikroorganizma için faydalı olmadığını unutmamak önemlidir. Bu yüzden bitki büyümesi ve gelişimi için yararlı mikroorganizmaların toprakta baskın olmasını sağlamak gerekmektedir.

İç mekân bitkisel üretim sistemleri genellikle hem hava hem de kök bölgesi ortamının yüksek oranda yapay olarak kontrol edilebilirliğine sahiptir. Diğer yandan, bu sistemlerde hem hava hem de kök bölgesi ortamı düşük düzeyde doğal kararlılığa ve kontrol edilebilirliğe sahip olabilmektedir. Yüksek seviyede kontrol edilebilirlik ve yapay kararlılık sağlamak amacıyla, kaynak kullanımını azaltmak ve çevre kirliliğini en aza indirmek için etkili bir çevre kontrol sistemi oluşturmak gereklidir.

Seralar, açık alanlar ile kapalı mekân sistemleri arasında bir kararlılık ve kontrol seviyesine sahiptir. Toprak kültürü, kök bölgesi ortamına göre hidroponik kültürlere kıyasla daha yüksek bir doğal kararlılığa sahiptir. Ancak kentsel alanlarda, toprak genellikle ağır metaller, tarımsal kimyasallar ve diğer toksinlerle kirlenmektedir. Bu durum, hidroponik seraların kullanılmasıyla kültür yataklarının topraktan izole edildiği bir yöntemle çözülebilir.

Kimyasal ve hayvansal gübrelerin aşırı kullanılması sonucu sera toprağında tuz birikmesi, ürün veriminde azalmaya yol açmaktadır. Bu azalmayı engellemek için hidroponik kültür sistemleri de tercih edilebilir.

Seraların ısıtılması, özellikle kış aylarında ürün yetiştirme maliyetini artırmaktadır. Ancak, kentsel alanlarda endüstriyel fabrikalar ve ofisler gibi yerlerden gelen atık ısı, sera ısıtmasında alternatif bir kaynak olarak kullanılabilir.

***Teknoloji seçiminin dayandığı kriterler nelerdir? Açıklayınız.***

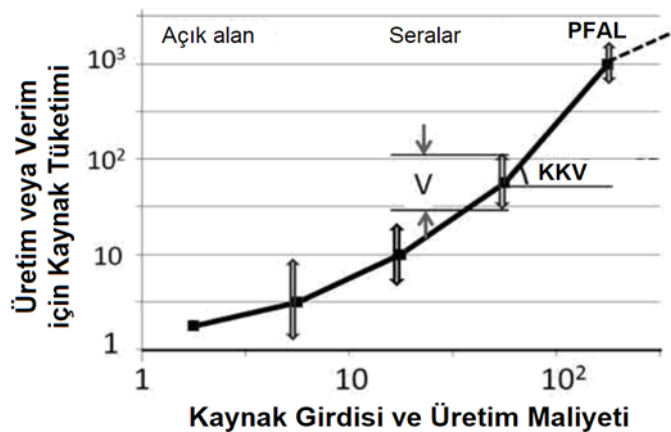
- 1) *Teknoloji yeni mi?*
- 2) *Teknoloji yerli mi?*
- 3) *Teknoloji yerli değilse yerlileştirilebilir mi?*
- 4) *Kaynak kullanım verimliliği (KKV): Ürün tarafından sabitlenen kaynak miktarının kaynak girdisine oranıdır.*
- 5) *Kırılganlık veya verimin ve birim değer (kalite) yıllık sapması (K)*
- 6) *Maliyet Etkinliği (ME)*

**Teknik tasarım süreçlerini (süreç tasarımı, makine-donanım, inşaat işleri, arazi düzenleme, yerleşim düzeni vb.) açıklayınız.**

1. Lokasyon seçimi için hangi analizlerin yapılacağına belirlenmesi
2. Konstrüksiyon işlemleri
3. Otomasyon işlemleri
4. Aydınlatma işlemleri
5. İklimlendirme işlemleri
6. Sulama ve gübreleme işlemleri
7. Donanım ve yazılımsal kararların hangi tekniklerle oluşturulduğuna belirtilmesi
8. Üretim süreçlerinin oluşturulması
9. Ürünlerin pazarlama ve satış süreçlerinin oluşturulması

#### 4. Finansal Analiz

Şekil 12, verimin ve birim değerin (kalite) yıllık sapmasının kırılğanlık açısından nasıl değiştiğini göstermektedir. Başlangıç ve işlem kaynak girdisinin artışı, sadece eğrinin (hem KKV hem de ME) eğiminin arttığı ve kırılğanlığın (V) azaldığı durumlarda meydana gelmektedir. Sistemin tasarım aşamasındaki kaynak girdileri, gerektiğinde yaşam döngüsü değerlendirmelerine (LCA) dahil edilebilmektedir. Taze gıda üretim sisteminin tasarımı ve işletilmesi sürdürülebilirlik perspektifiyle ele alındığında, yukarıda belirtilen bu kriterlere öncelik verilmelidir.



Şekil 12. Verim Değeri ve Kaynak Girdisi Miktarından Etkilenen Güvenlik Açığı [1]

PFAL iyi tasarlanır ve iyi yönetilirse aşağıdaki yararlar sağlanacaktır [2]:

- Kilogram başına üretim maliyeti %30 oranında azaltılabilir.

- Kilogram başına ekonomik değer %15 oranında artırılabilir.
- İlk yatırım maliyeti kolayca %30 oranında azaltılabilir.

Eğer bu hedeflere başarılı bir şekilde ulaşırsa, Yapay Aydınlatmalı Bitkisel Üretim Yapıları (Plant Factory with Artificial Light) (PFAL), işlenmiş gıda malzemelerinin üretimi için yüksek değerli ürünlerin yetiştirilmesi amacıyla herhangi bir yerel veya kırsal alanda kullanılabilir hale gelebilmektedir. Elde edilen bitkiler kurutulabilmekte, bazı durumlarda toz haline getirilebilmekte ve 1 ila 6 ay süreyle depolanabilmektedir. Daha sonra bu ürünler, daha ileri işlemler için bir gıda fabrikasına taşınabilmektedir. Bu şekilde yönetilen PFAL'ler, soğuk, sıcak veya kuru bölgelerde yaşayan insanların rahatça çalışabileceği kentsel alanlardan uzak herhangi bir alanda kullanılabilir.

### Örnek Vaka

Projeye ilişkin bütçe, ilk yatırım maliyeti ve yıllık işletim giderleri olmak üzere iki farklı tabloda detaylı bir şekilde incelenmiştir. İlk yatırım maliyeti, proje başlangıcında bir defaya mahsus olmak üzere gerçekleştirilen maliyetleri içermektedir. Bu kapsamda, toplamda 375.433 \$'lık bir başlangıç yatırımı öngörülmektedir. İlk yatırımın farklı maliyet kalemleri dikkate alındığında, "Aydınlatma" giderlerinin toplam maliyetin %25'ini, "Otomasyon Sistemi"nin %19'unu ve "Konstrüksiyon"un ise %16'sını oluşturacağı gözlemlenmektedir. İlk yatırımın maliyet kalemleri detayları Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Proje İlk Yatırım Maliyeti

Yatırım Bütçesi	\$	Oran
Konstrüksiyon	61.097	16%
Otomasyon Sistemi	72.319	19%
Aydınlatma	92.269	25%
İklimlendirme ve Havalandırma	38.154	10%
Sulama ve Gübreleme	36.783	10%
Yazılım	24.937	7%
Proje Yönetimi	23.690	6%
Tarımsal Danışmanlık	6.234	2%
Yıllık Bakım	19.950	5%
<b>Toplam</b>	<b>375.433</b>	<b>100%</b>

İlk yatırım aşamasını tamamladıktan sonra, sistem işletimine geçildiğinde yıllık 124.154 \$ tutarında işletim gideri öngörülmektedir. Bu işletim giderlerini oluşturan maliyet kalemleri incelendiğinde, enerji tüketiminin %41 oranıyla en büyük gider kalemini oluşturduğu görülmektedir. İşletme giderlerine ait ilgili maliyet kalemleri Tablo 6'da detaylı olarak yer almaktadır.

**Tablo 6. Yıllık İşletme Giderleri**

Tahmini Üretim Gideri	Birim	Birim Fiyat (TL)	Miktar	Tutar (\$)	Oran
Yıllık Elektrik Tüketimi	kWh	0,58	709.632	51.320	<b>41%</b>
Yıllık Su Tüketimi	M <sup>3</sup>	12,1	4.000	6.034	<b>5%</b>
Yıllık Besin Tüketimi	Litre	6,5	15.000	12.157	<b>10%</b>
Diğer Giderler	Adet	156.250	1	19.482	<b>16%</b>
İşçilik	Adet	150.000	1	18.703	<b>15%</b>
Fide Tüketimi	Adet	0,2	660.000	16.458	<b>13%</b>
<b>Toplam</b>				<b>124.154</b>	<b>100%</b>

Pilot PFAL uygulamasının yıllık toplam 8 hasat yapacağı ve bu şekilde yıllık 209.000 \$ gelir elde edileceği tahmin edilmektedir. Gelirin oluşumunu gösteren hesaplamalar Tablo 7'de sunulmuştur. Aynı şekilde, yıllara göre gelir ve gider dengesi Tablo 8'de detaylı olarak verilmiştir.

**Tablo 7. PFAL Gelirleri**

Fide Satış Bilgileri	
Fide Sayısı (Adet)	55.000
Hasat Sayısı (Adet)	8
Yıllık Fide Sayısı (Adet)	440.000
Yıllık Fire Miktarı (Adet)	22.000
Satılacak Yıllık Marul (Adet)	418.000
Marul Satış Fiyatı (\$)	0,5
Toplam (\$)	209.000

**Tablo 8. Yıllara göre Gelir-Gider Çizelgesi**

Gelir-Gider Tablosu	2021	2022	2023	2024	2025
Gelir	209.000	239.750	275.713	317.070	364.630

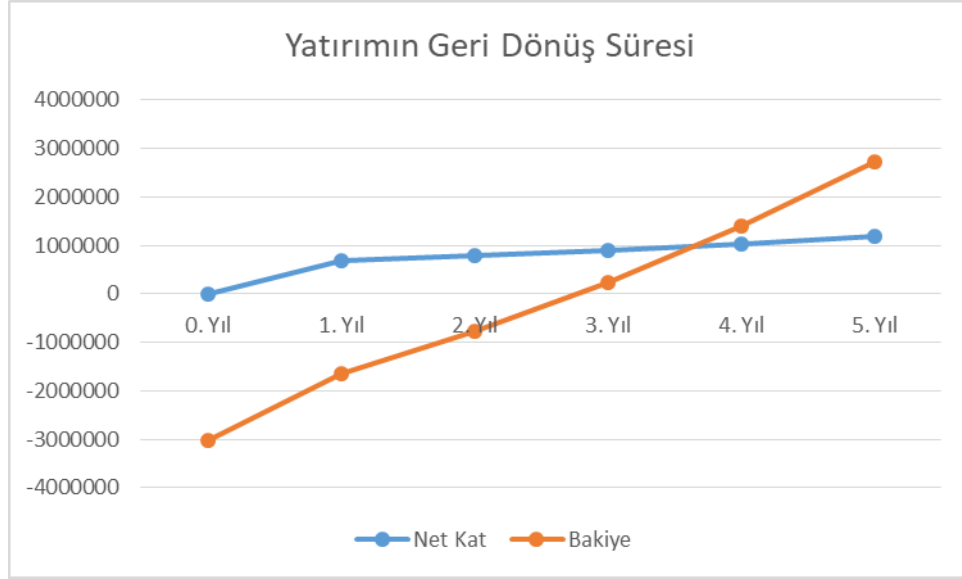


Gider	124.156	142.780	164.197	188.826	217.150
Toplam Kar	84.844	96.970	111.516	128.244	147.480

Örnek vaka kapsamında tasarlanan 1.000 metrekareselik PFAL uygulamasının, projenin dördüncü yılını tamamlamadan önce ilk yatırım maliyetini karşılayarak kar elde etmeye başlayacağı öngörülmektedir. Projeye bağlı olarak yıllara göre hesaplanan net kar ve ilk yatırım borcunun geriye kalan bakiyesi Tablo 9'da detaylandırılmıştır. Ayrıca, net kar ile bakiye arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 13'te sunulmuştur.

**Tablo 9.** Yatırımın Geri Dönüşü

Yatırımın Geri Dönüşü	Net kar	Bakiye
0. Yıl	-	-375.433
1. Yıl	84.844	-291.111
2. Yıl	96.970	-194.141
3. Yıl	111.516	-82.625
4. Yıl	128.244	45.619
5. Yıl	147.480	193.099



**Şekil 13.** Yatırımın Geri Dönüş Süresi

## 5. Ekonomik Analiz

Yatırım bütçesinin planlanmasında aşağıdaki maliyet kalemleri göz önüne alınmalıdır.

- Konstrüksiyon
- Otomasyon Sistemi
- Aydınlatma
- İklimlendirme ve Havalandırma
- Sulama ve Gübreleme
- Yazılım
- Proje Yönetimi
- Tarımsal Danışmanlık
- Yıllık Bakım

İşletim maliyetlerinin hesaplanmasında aşağıdaki parametreler göz önüne alınmalıdır.

- Yıllık Elektrik Tüketimi
- Yıllık Su Tüketimi
- Yıllık Besin Tüketimi
- İşçilik
- Fide Tüketimi
- Diğer Giderler

Gelirlerin hesaplanmasında aşağıdaki parametreler göz önüne alınmalıdır.

- Fide Sayısı (Adet)
- Hasat Sayısı (Adet)
- Yıllık Fide Sayısı (Adet)
- Yıllık Fire Miktarı (Adet)
- Satılacak Yıllık Ürün (Adet)
- Ürün Satış Fiyatı (TL)

### **Yapay Aydınlatmalı Dikey Tarım Sisteminin Yatırım Maliyeti**

2014 yılında Japonya'da 15 katlı ve katmanlar arasında 50 cm dikey mesafe bulunan, gereken tüm ekipmanlarla donatılmış bir dikey tarım sisteminin (PFAL) yatırım maliyeti, yaklaşık olarak 4000 \$/m<sup>2</sup> seviyesindeydi. Bu maliyet, ısıtıcılar, vantilatörler, ısı perdeleri ve diğer ekipmanlar olmak üzere seranın maliyetinin yaklaşık 15 katıdır. 2014 yılında Japonya'da, yaprak marulunun toptan fiyatı, adet başına yaklaşık 0,7-0,8 \$ aralığındaydı. Bu durumda, 4000 \$/m<sup>2</sup> ilk yatırım maliyetiyle karşılaştırıldığında, yıllık satışlardan elde edilen maksimum gelir 2100-2400 \$/m<sup>2</sup> aralığındadır.

Bununla birlikte, mevcut bir dikey tarım sistemi (PFAL) ile yılda 200 adet/m<sup>2</sup>/yıl marul üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu üretim değeri (200 adet/m<sup>2</sup>/yıl), açık tarla koşullarında yapılan marul üretimi

(32 adet/m<sup>2</sup>/yıl) ile karşılaştırıldığında 100 kat daha fazla, serada yapılan marul üretimi ile karşılaştırıldığında ise 15 kat daha fazladır [1].

Bu bağlamda, bir dikey tarım sisteminin (PFAL) birim üretim kapasitesi başına düşen ilk yatırım maliyetinin, bir seraninkine yaklaşık olarak benzer seviyelerde olduğu görülmektedir. Ancak, bu öngörü, birçok değişken faktöre dayanmakta ve gerçek değerler bu faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Bir dikey tarım sisteminin (PFAL) ilk yatırım maliyetini, oldukça değişken olan açık alanların maliyetiyle kıyaslamak zorlu bir görevdir. Ayrıca, tarlada yetişen yaprak marullarının boyutu ve ağırlığı, genellikle bir dikey tarım sistemi (PFAL) kullanılarak yetiştirilenlerden iki veya üç kat daha büyük olma eğilimindedir. Öte yandan, açık alanlarda ve dikey tarım sistemlerinde (PFAL) yetiştirilen marulların perakende fiyatları, bu ağırlık farkına bakılmaksızın Japonya'da önemli ölçüde farklılık göstermemektedir.

### **İlk Yatırım Maliyetleri ve Elektrik Tüketimini Azaltmak için Yapılacaklar**

Yeni tasarımların özellikleri şunlardır:

- Aydınlatma sistemini iyileştirerek, kg ürün başına aydınlatma ve iklimlendirme için elektrik tüketimini azaltmak
- Başlangıçta kullanılan kaynakları ve finansal yatırımı azaltmak
- Güneş, rüzgâr, biyokütle ve jeotermal enerji kaynaklarından elektrik üretmek ve üretilen elektriği depolayarak en verimli şekilde kullanmak

Günümüz koşullarında, 1 kg taze marul üretimi için yaklaşık 7-10 kilovatsaat (kWh) (25-36 MJ) elektrik kullanılmaktadır. Ancak, yakın zamanda bu elektrik tüketiminin aşağıdaki uygulamalarla %50 oranında azaltılabilmesi ve 4-5 kWh/1 kg ürün kütlesine kadar düşebilmesi mümkündür [8].

- LED'leri optimum ışık kalitesi, aydınlatma döngüsü ve aydınlatma planına göre kullanmak
- Bitki yaprakları tarafından alınan ışık enerjisinin, ışık kaynaklarından yayılan ışık enerjisine oranını en üst düzeye çıkarmak için reflektörlü iyi tasarlanmış bir aydınlatma sistemi kullanmak ve tüm yaprak yüzeylerine eşit aydınlatma sağlamak,
- Belirli bir elektrik enerjisi tüketimi için bitki fotosentezini, büyümesini ve kuru madde üretimini en üst düzeye çıkarmak için sıcaklık, CO<sub>2</sub> konsantrasyonu ve besin kaynağını en uygun şekilde kontrol etmek
- Yetiştirme panellerindeki ekim yoğunluğunu en üst düzeye çıkarmak için ekim zamanını veya otomatik aralığı optimize etmek
- Bitkilerin satılabilir kısımlarının en üst düzeye çıkarılması (kalıntıları en aza indirilmesi)

Bu yöntemler, elektriğin karbonhidratlara dönüştürülmesine dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Hem üretim miktarı (kg) hem de her kilovatsaat (kWh) elektrik için elde edilen ekonomik değer, çevresel kontrol önlemleri ve istenen ikincil metabolitlerin üretimi için uygun bitki türlerinin seçimiyle daha da iyileştirilebilmektedir. Elektrik maliyetlerini azaltmak için aşağıdaki yöntemler kullanılabilir.

- Elektrikten ışık enerjisine dönüşüm faktörünü geliştirmek için gelişmiş LED'ler kullanmak
- Lambaların yaydığı ışık enerjisinin, bitki yaprakları tarafından emilen ışığa oranını artırmak için iyi tasarlanmış reflektörlerle aydınlatma sistemini geliştirmek
- Bitkilerin büyümesini ve kalitesini artırmak için ışık kalitesini iyileştirmek
- Sıcaklığı, CO2 konsantrasyonunu, besin çözeltisini, nemi ve diğer etmenleri en uygun şekilde kontrol etmek
- Yetiştirme yöntemini geliştirmek ve çeşit seçimi yoluyla bitkilerin satılabilir kısmının oranlarını arttırmak. Güneş ışınımı kısmen kullanıldığında, PFAL'lerde kontrol edilebilen tüm faktörler kararsız ve öngörülemez hale gelir.

Çimento ve demir gibi materyaller, PFAL inşaatında önemli ölçüde azaltılması gereken iki ana malzemedir. Bu malzemelerin üretimi ve PFAL tasarımı sırasında yüksek enerji tüketimi ve fazla miktarda CO<sub>2</sub> emisyonu söz konusudur. Ahşap malzemeler, PFAL bileşenleri için potansiyel bir alternatif sunmaktadır.

Mevcut PFAL'ler, birim üretim alanı başına düşen yapraklı sebzelerin yıllık verimliliğini açık alanlara göre 100 katın üzerinde artırmaktadır. Yeni nesil PFAL'ler ise yıllık 200 kat daha fazla üretkenlik ve daha üstün kalite ile daha yüksek ekonomik değer sunarak bu trendi daha da ileri taşıyacaktır [9].

Bir PFAL'de 10 saatlik bir beklenmeyen elektrik kesintisi, bitki büyümesini ciddi şekilde etkilemez. Genel olarak, PFAL'lerde bitkiler günde 15-16 saat boyunca ışık almaktadır. Eğer bir elektrik kesintisi nedeniyle ışıklı süre sadece 10 saat olursa, sonraki dönemde ışıklı süre 20 saate kadar uzatılabilmektedir. Ek olarak, PFAL'ler iyi yalıtılmış ve hava geçirmez oldukları için tüm lambalar ve iklimlendirme kapalıysa, kültür odasındaki hava sıcaklığı dışarıdaki hava sıcaklığına çok yavaş tepki verir. Bu nedenle, dış sıcaklık aşırı yüksek veya düşük olsa bile, bitki büyümesi sadece kısa bir süre (yarım gün) etkilenebilir. Ancak, besin çözeltisini dolaştıran pompayı çalıştırmak için PFAL'da yedek bir sistem bulundurulmalıdır.

Tasarruf edilen kaynakların yüzdeleri ve bir seraya kıyasla PFAL'de elde edilen ürün kalitesi ve verimindeki iyileşmeler aşağıdaki gibidir [10]:

- Yetiştirme odasını temiz ve zararlı böceklerden uzak tutarak pestisit uygulamasında %100 oranında azalma
- Bitki yaprakları tarafından aktarılan ve klimaların soğutma panellerinde sıvı suya kondense edilen su buharının geri dönüşümü ile su tüketiminde %95 oranında azalma
- Birim üretim alanı başına yıllık verimde 10 kattan fazla artış (açık alana göre yıllık verimde 100 kattan fazla artış) sayesinde, alan kullanımında seraya kıyasla %90 oranında azalma

- İklim ve mevsime bakılmaksızın, doğru ve optimum çevresel kontrol ile verim ve kalite değişmesinde %90 oranında azalma
- Dolaşımdaki besin çözeltilisinin daha az drenajı ile geri dönüşümle gübre tüketiminde %50 oranında azalma
- Yetiştirme sistemlerinin, organize uygulamaların, otomasyonun ve bitkilerin daha az fizyolojik bozukluğunun optimal yerleşimi ile birim verim başına çalışma saatlerinde %50-70 oranında azalma.
- Ürünün fiziksel, kimyasal ve biyolojik hasarından kaynaklanan daha az kayıp nedeniyle bitki kalıntısında %10-30 oranında azalma

Bu yüzde değerleri, ilgili literatürde deneysel kanıtlar ve teorik açıklamalarla desteklenmektedir. Ancak, PFAL'lerin daha geniş bir kullanımının teşvik edilmesi için daha fazla deneysel kanıt ve daha kapsamlı teorik bilgilere ihtiyaç vardır.

## 6. Sosyal Etkinin Analizi

PFAL'ler, şu anda özellikle yapraklı sebzelerin üretimine odaklansa da, aşağıdaki endişe ve taleplere yanıt vererek sosyal çevreye katkıda bulunmayı amaçlamaktadır:

- Yaşlı ve yalnız yaşayan bireyler için taze sebzelerin güvenilirliği, sürekli arzı ve istikrarlı fiyatları, özellikle yiyecek/içecek sektörü (restoranlar vb.) ve evde yemek seçeneklerinde (hazır gıda ve perakendeciler) tutarlı alımlar için artan talebi karşılamadaki endişelere yardımcı olması
- Sağlık ve yaşam kalitesi endişelerine yanıt olarak işlevsel taze sebzeler ve tıbbi bitkiler talebi
- Soğuk, sıcak ve kuru bölgelerde yıl boyunca sürekli taze salata sebzelerinin üretilmesine olan talep
- Yaşlılar, engelliler ve işsizler için istihdam fırsatlarını artırmayı hedefleyen yerel düzeyde daha fazla kendi kendine yetme yeteneği sağlama talebi (PFAL'ler güvenli ve konforlu bir çalışma ortamı ve yıl boyunca istihdam sağlamaktadır)
- Marketler, süpermarketler, restoranlar, hastaneler ve sosyal hizmet tesisleri gibi yaşam tarzı ve toplumsal yapılarıdaki değişikliklere yanıt verme talebi
- Elektrik, bilgi, inşaat, sağlık ve gıda sektörlerinde yeni iş fırsatları oluşturma talebi
- Kentsel alanlarda boş arazilerin, kullanılmayan depolama alanlarının, gölgeli bölgelerin, çatıların ve bodrumların verimli bir şekilde kullanılmasına yönelik talep
- Bahçe bitkileri, tarım, ağaçlandırma, çevre düzenlemesi ve çöl rehabilite edilmesi gibi yüksek kaliteli nakil bitkilerine talep

- Su tasarrufu sağlayan kültür sistemleriyle tuzlu veya yetersiz sulama suyu ve kentsel alanlardaki su kaynaklarını daha etkin bir şekilde kullanma talebi

Yenilikçi teknolojik ilerlemeler, elektrik tüketimindeki verimliliği artırma, aydınlatma maliyetlerini düşürme, iklimlendirme ve bulut bilişimi gibi alanlarda iyileştirmeler yapma, ısı yalıtımı, elektrik enerjisi depolama kapasitesi ve doğal enerji kaynaklarını kullanarak (güneş, rüzgar, biyokütle, jeotermal) çalışan küçük bilgi kontrol sistemlerinin geliştirilmesi gibi unsurlar, Dikey Tarım Sistemlerinin (PFAL) oluşturulması ve geliştirilmesine destek sağlamıştır.

### **Yapay Aydınlatmalı Bitkisel retim Yapılarının Kentlerdeki Rolü**

PFAL'ler, gıda üretiminin ötesinde çevresel, sosyal ve kültürel aıllardan değişik işlevlere sahiptir. Bu işlevler şunlardır:

- İklim değişikliği (küresel ısınma), zararlı böcekler ve doğal afetler (aşırı rüzgar, yağmur, sel, kuraklık, vb.) ve bunun sonucunda da ürün verimi ve kalitesinin zayıflıkları
- Kentsel nüfusun artması
- Gıda güvenliğini artırmak amacıyla yerel tüketim için yerel üretime yönelik taleplerin artması
- Taze ve gıda, sağlık hizmetleri için işlevsel gıda ve/veya daha yüksek yaşam kalitesi için taleplerin artması
- Sulama ve fosil yakıtlar için artan su kısıtlığı ve/veya su fiyatları
- Çiftçilerin yaşlanması dolaylı tarımla ilgili nüfusun azalması
- Kentleşme, toprak kirliliği ve toprak yüzeyinde tuz birikimi vb. nedenlerle tarımsal üretim alanlarının azalması
- Kentsel alanlarda yaşayan insanlar tarafından bitki yetiştirme veya gıda üretme fırsatlarının azaltılması

PFAL'lerin çevresel, kaynak, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliği etkileyen olumlu yönleri şunlardır:

#### **A. Çevresel ve Kaynak Sürdürülebilirliği**

(a) Aşağıdakiler azalır:

- Sulama suyu
- rnleri yıkamak için su
- Pestisit uygulaması
- Kanalizasyona gübre sızması
- Bitkilerin kullanılamaz ve/veya satılamaz kısımları
- Gıda taşıma mesafesi

(b) Aşağıdakilerin geri dönüşüm kullanımı teşvik edilir:

- Süzölmüş su ve besin çözültisi

(c) Aşağıdakiler iyileşir:

- Kaynak kullanım verimliliği (KKV)

B. Sosyal Sürdürülebilirlik

(a) Yerel istihdamdaki artış

C. Ekonomik Sürdürülebilirlik

(a) Aşağıdakiler artar:

- Ürünlerin verimi ve kalitesi ve azalan güvenlik açığı
- Yerel taze gıda üretimi ve satışı
- Yerel gıda güvenliği ve emniyeti
- Yıkanmadan yenebilen taze yapraklı yeşillikler
- Daha uzun raf ömrü

(b) Aşağıdakiler azalır:

- Verim başına arazi
- Ürün kaybı
- Üretilen ürün başına çalışma süresi

## 7. Çevresel Etkinin Analizi

Kentsel bölgelerde PFAL kullanarak taze sebze üretiminin avantajları aşağıda verilmektedir:

- Geleneksel tarım yöntemlerine kıyasla, PFAL'lerde birim alan başına 100 kat daha fazla yıllık üretim sağlanmaktadır. Çok katmanlı yapılar, optimal çevre kontrolü ve yararlı böceklerin korunması sayesinde iklim ve mevsimden bağımsız üretkenlik elde edilmektedir.
- PFAL'ler, gölgeli veya kullanılmayan alanlar gibi farklı mekanlarda tasarlanabilmektedir. Toprak veya güneş ışığı gerekmesizin üretim gerçekleştirilebilmektedir.
- Üretim ve tüketim bölgeleri arasındaki mesafe kısalarak yakıt tüketimi, CO<sub>2</sub> emisyonları ve gıda nakliyesine bağlı trafik azaltılmaktadır. Bu sayede çevreye daha az zarar verilmektedir.
- Vatandaşlar, uygun fiyatlarla taze ürünler elde edebilmektedir.
- Nakliye sırasında taze ürünlerin soğutulması gerekliliği azalmakta, böylece ürün ve yakıt kaybı en aza indirilmektedir.
- Farklı insan grupları için güvenli, keyifli ve hafif iş imkanları yaratılmakta, özellikle yaşlılar ve engelliler için uygun ortamlar sağlanmaktadır.

- PFAL'lerde yetişen bitkiler için gerekli olan su, CO<sub>2</sub> ve gübre gibi kaynaklar, kentsel alanlarda üretilen atık su, bitkisel atıklar ve CO<sub>2</sub> ile yeniden kullanılabilir.
- PFAL'ler, su ürünleri yetiştiriciliği, mantar üretimi ve fermantasyon sistemleri gibi diğer atık yönetimi yöntemleri ile entegre edilerek kaynak verimliliği artırılabilir.
- Gündüz ve gece saatlerine bağlı olarak artan elektrik arzı kullanılabilir.
- PFAL uygulamaları sayesinde sulama suyunun etkin kullanımı sağlanarak %90'a kadar su tasarrufu elde edilebilir.

## 8. Risk Analizi

### Yapay Aydınlatmalı Bitkisel Üretim Yapılarına Yöneltilen Eleştiriler

Toplumun PFAL'lere artan ilgisi, önceden bahsedildiği gibi, son yıllarda belirgin bir şekilde artmıştır. Bununla birlikte, PFAL'ler de beraberinde önemli eleştiriler ve endişeler getirmiştir. Bu eleştiriler ciddiyetle göz önünde bulundurulmalı, değerlendirilmeli ve her türlü sorunun çözümü için çaba gösterilmelidir. Eleştiriler, yanıltıcı anlayışlara ve olgunlaşmamış teknolojiye dayandığında, gerçek durum somut verilere dayalı bir şekilde açıklanmalı ve teknoloji geliştirilmelidir. PFAL'ler ve kentsel tarım ile ilgili temel eleştiriler aşağıda belirtilmiştir:

- Başlangıç maliyeti yüksektir.
- Üretim maliyeti yüksektir.
- Güneş ışınımı ücretsiz olmasına karşın, elektrik maliyeti yüksektir,
- İşçilik maliyeti yüksektir.
- Yetiştirilen sebzeler ne lezzetli ne de besleyicidir.
- Çoğu PFAL sistemi kâr etmemektedir.
- Arazi fiyatı çok yüksektir.
- Ekonomik olarak sadece yapraklı yeşillikler üretebilir.

### Yapay Aydınlatmalı Bitkisel Üretim Yapılarının Tasarım ve Yönetimi

Yapay aydınlatmalı bitki fabrikalarını (PFAL) etkili bir şekilde tasarlamak ve yönetmek için, aşağıda belirtilen bilimsel, teknik ve işle ilgili konuların anlaşılması gerekmektedir.

- Işık kaynakları ve aydınlatma sistemleri
- Çevresel ölçüm ve kontrol
- Enerji yönetimi
- Malzemeler
- İşgücü yönetimi
- Atık kontrolü



- Bitki ekofizyolojisi
- Hidroponik bitki besleme
- Otomasyon
- Fayda/maliyet analizi
- Finans
- Taze gıda pazarlaması
- Satış promosyonu

PFAL tasarımı ve yönetimi için, çeşitli endüstrilerde mevcut olan çeşitli bilgisayar destekli araçlar bulunmaktadır. Ancak, PFAL'ler için özel olarak geliştirilmiş bu tür araçlar henüz sınırlıdır. Dolayısıyla, PFAL'ler için geliştirilecek bir bilgisayar destekli tasarım ve yönetim aracı, diğer endüstrilerde kullanılan araçlarda yaygın olarak kullanılan yöntem ve tekniklere dayalı olarak geliştirilmelidir.

Bu noktada, PFAL'lerin canlı organizmaları -yani bitkileri- üretmek amacıyla kullanıldığının altı çizilmelidir. Bu nedenle, PFAL tasarımı ve yönetiminin en kritik kısmı, bitki ve yetiştirme ortamının etkileşim modelini içermelidir.

## 9. Genel Değerlendirme ve Sonuç

Bu kılavuzda, kentsel bölgelerde taze gıda üretiminin artan önemi ve bu üretimin nasıl etkili bir şekilde gerçekleştirilebileceği konuları ele alınmıştır. İlk olarak, kentsel bölgelerde kaynak kullanımı ve atık yönetimi konuları değerlendirilmiştir. Bunun ardından, kentsel atıkların büyük bir kısmının bitki yetiştirmek için değerli bir kaynak olarak kullanılabilmesi ve bu sayede kaynak kullanımının ve atık oluşumunun önemli ölçüde azaltılabileceği vurgulanmıştır. Ayrıca, kentsel tarımın ekonomik açıdan uygun olmadığı ve PFAL'lerin (Plant Factory with Artificial Lighting) yüksek enerji tüketimi ve üretim maliyetleri gibi eleştirilere yanıt verilmiştir.

PFAL'lerin düşük kaynak tüketimi ve çevre etkisi ile yüksek verimli ve değerli bitkiler üretebildiği ve diğer biyolojik sistemlerle birleştirilerek, kentsel bölgelerdeki bazı temel sorunları hafifletebileceği ifade edilmiştir. Bu yöntemler, kentsel alanlarda taze gıda üretimi konusundaki zorluklara katkıda bulunabilir.

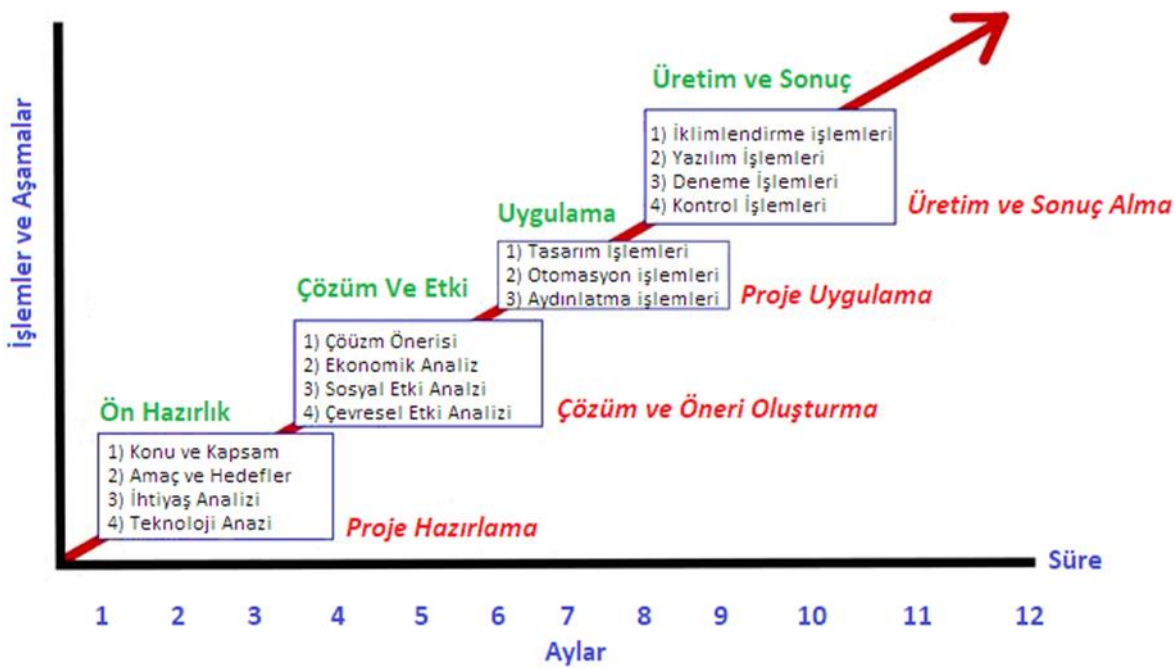
Dikey tarım, hala büyük bir potansiyel taşıyan ve sürekli olarak gelişmekte olan bir sektördür. Avrupa'da bu alandaki şirket sayısı sınırlı olsa da, birçok yatırımcıyı cezbetmektedir. Fakat, Avrupa'daki dikey tarım endüstrisinin pazar performansını tam olarak değerlendirmek için henüz erkendir.

Gelecekte, ürün maliyetlerinin düşürülmesi ve enerji verimliliğinin artırılması gibi hedefler öncelik taşımaktadır. Genellikle yapraklı sebzeler ve bitkiler yetiştirilen ürünler arasında yer alırken aynı

zamanda çilek ve domates gibi ürünlerin yetiştirilmesi de mümkündür. Dikey tarım, özel metabolitlere sahip bitkilerin üretimi için de uygun bir platform sunabilir; bu bitkiler tıbbi ürünler (farmasötikler), hastalıkları önleyici ve tedavi edici özelliklere sahip gıdalar (nutrasötikler) veya cilt bakım ürünleri gibi alanlarda kullanılabilir.

Dikey tarımın çeşitli uygulama alanları, sadece bitki yetiştirme konusuna odaklanan özel çiftliklerin yanı sıra, restoranlar ve süpermarketlerde mağaza içi tarım, mobilya sektöründe faaliyet gösteren şirketler tarafından desteklenen cihazlı tarım gibi farklı iş alanlarını da kapsamaktadır.

## 10. Yol Haritası



Şekil 14. Dikey Tarım Yol Haritası Şeması [13]

## 11. Kaynakça

- [1] Kozai, T., Nui, G. (2020a). Role of the plant factory with artificial lighting (PFAL) in urban areas. In: Plant Factory An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production Second Edition Edited by Toyoki Kozai Genhua Niu Michiko Takagaki. Elsevier Academic Pres. ISBN: 978-0-12-816691-8.
- [2] Kozai, T. (Ed.), 2018. Smart Plant Factory: The Next Generation Indoor Vertical Farms. Springer, 456 pages.
- [3] Despommier, D., 2010. The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century. St. Martin's Press, New York, 305 pp.

- [4] Allen, W., 2012. Good Food Revolution: Growing Healthy Food, People and Communities. Gotham Books, USA, p. 256.
- [5] Medium.com. (2023, 04 08). <https://medium.com/@infarm.com/grown-and-harvested-in-stores-infarm-produce-now-in-copenhagen-ad3baed24caa> adresinden alındı.
- [6] Ohyama, K., Takagaki, M., Kurasaka, H., 2008. Urban horticulture: its significance to environmental conservation. *Sustain. Sci.* 3, 241-247.
- [7] Kubota, C., 2020. PFAL business and R&D in Asia and North America: status and perspectives. In: *Plant Factory An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production Second Edition* Edited by Toyoki Kozai Genhua Niu Michiko Takagaki. Elsevier Academic Pres. ISBN: 978-0-12-816691-8.
- [8] Kozai, T., Fujiwara, K., Runkle, E. (Eds.), 2016. LED Lighting for Urban Horticulture. Springer, p. 454.
- [9] Kozai, T., Uraisami, K., Kai, K., Hayashi E., 2019. Some thoughts on productivity indexes of plant factory with artificial lighting (PFAL). *Proceedings of International symposium on environment control technology for value-added plant production*, Aug. 28-30. Beijing, China, 29 pages.
- [10] Kozai, T., Nui, G. 2020b. Conclusions: resource-saving and resource-consuming characteristics of PFALs. In: *Plant Factory An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production Second Edition* Edited by Toyoki Kozai Genhua Niu Michiko Takagaki. Elsevier Academic Pres. ISBN: 978-0-12-816691-8.
- [11] Ijichi, H., 2018. Plant factory business in Japan. *Agric Biotechnol* 2 (6), 19-23 (in Japanese).
- [12] Ohyama, K., 2015. Actual management conditions on a large-scale plant factory with artificial lighting (written in Japanese: Dai-kibo keiei de no keiei jittai). *JGHA Prot. Hortic. (JGHA Shisetsu to Engei)* 168, 30-33.
- [13] TÜBİTAK- TÜSSİDE. (Ekim 2020). Esenler Belediyesi Akıllı Şehir Uygulamaları Fizibilite Projesi. Dikey Tarım Uygulaması Ön Fizibilite Raporu.