

AKILLI ŞEHİRLERDE SÜRDÜRÜLEBİLİR GIDA ARZINA YÖNELİK BİR YAKLAŞIM, DİKEY TARIM UYGULAMALARI

Mesut SAMASTI¹, Doç. Dr. İsmail ÖNDEN², Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK³,
Recep SAVAŞ⁴, Bestami KARA⁵

¹TÜBİTAK TÜSSİDE, Akıllı Sistemler Danışmanlık Grubu, Kocaeli, 41400, mesut.samasti@tubitak.gov.tr

²TÜBİTAK TÜSSİDE, Akıllı Sistemler Danışmanlık Grubu, Kocaeli, 41400, İsmail.onden@tubitak.gov.tr

³Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, 01330, Adana, hhozturk@cu.edu.tr

⁴Hamburg University of Technology, Germany, savas.recep@outlook.com

⁵Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara, bestami.kara@csb.gov.tr

ÖZET

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte şehirlerde sunulan hizmetler çeşitlenmekte ve artmaktadır. Bu durum, toplumun yaşam standartlarını artırmaktadır. Artan yaşam standartları ise şehir yaşamının cazibesini artırmakta, bu ise kırsal bölgelerden şehirlere olan göçü hızlandırmadaki gerekçelerden bir tanesi olmaktadır. Şehirlerde artan nüfus yoğunluğuna bağlı olarak yerleşim alanlarının genişlemesi ile birlikte, tarımsal üretim için kullanılan alanlar azalmakta, şehirlerde yaşayan insanlar için gerekli olan gıda maddeleri, tarımsal üretim için uygun arazilere sahip yakın şehirlerden veya ulaşım ağı kuvvetli ise daha uzak bölgelerden temin edilmektedir. Bununla birlikte, yaşam süresi kısa olan hızlı bozulabilir tarım ürünlerinin şehir dışındaki bölgelerden temin edilmesi durumunda, ürün hasarları fazla olabilmekte ve ürünlerin satış maliyetlerinin önemli bir kısmını lojistik giderleri oluşturmaktadır. Arsa değeri yüksek olan veya tarım için uygun arazisi bulunmayan şehir içerisindeki bölgelerde, küçük veya atıl alanların dikey üretim amacıyla kullanılmasına olanak sağlayan tarımsal üretim uygulamaları ile kontrollü üretim yapılabilmektedir. Bu sayede metro istasyonlarındaki atıl bölgeler, binalardaki atıl bölgeler gibi aktif kullanılmayan alanların ekonomiye kazandırılması ve sürdürülebilir ve güvenilir gıda arzına yönelik bir araç üretilmesi söz konusu olabilmektedir. Ek olarak, geleneksel tarımsal üretimde çiftçinin kontrolü dışında gerçekleşen sel, don, kuraklık, hastalık ve zararlılarla mücadele gibi sebeplerle meydana gelen kayıplar da azalmaktadır. Ayrıca, dikey tarım uygulamaları ile üretim yeri ile tüketim yeri aynı bölgede olduğu için, gıda tedarik zincirinde lojistik giderleri azalmaktadır. Bu durum ise bu ürünleri toplumun daha ucuza satın almasına olanak sağlamaktadır. Çevresel etkileri açısından ise azalan lojistik hareketliliğe bağlı olarak, egzoz emisyon değerlerinin azalmasının yanı sıra, üretimde daha az girdi kullanılmaktadır. Ayrıca, geleneksel tarımda belirli zamanlarda başvurulmuş hastalık ve zararlılar ile mücadele ilaçlamaları sonrasında yapılan sulama ile yer altı sularının kirletilmesi gibi olumsuzluklar dikey tarım uygulamalarında azalmaktadır.¹

Anahtar Sözcükler: Akıllı şehir, dikey tarım, verimlilik

ABSTRACT

SUSTAINABLE VERTICAL FARMING APPLICATIONS IN SMART CITIES

In conjunction with the development of technology, the services offered in big cities accelerated, and accordingly to those, the life standards of the society have been significantly increasing. Increasing life standards, on the other hand, affects positively the attractiveness of city life. This brings acceleration of the migration from rural areas to metropolises. With the expansion of settlement areas due to the increasing population density in cities, the size of areas used for agriculture keep decreasing, and the needed food for the city are supplied from nearby cities with suitable lands for agriculture. However, product damage may be spectacularly high, while supplying rapidly perishable and short lifetime agricultural products from regions outside of the city. Besides of that when the price analysis is made, it is visible that a significant part of the sales costs consists of logistics expenses. Controlled production is carried out with agricultural practices that allow the vertical use of narrow areas in areas within the city which are valuable in terms of land. During the production phase of traditional agriculture, losses due to reasons such as floods, frosts, droughts, and pest control which are beyond the control of the farmer can be prevented. In addition, since production and consumption areas are in the same location with vertical farming practices, logistics costs decrease so that the society can have these products with affordable price. In terms of environmental effects within controlled agricultural applications, the amount of saved water can increase up to 95% in production as well as the decrease in exhaust emission up to 1.9 kgCO₂/ton/km due to decreased logistics mobility. One of the several negative effects of traditional agriculture is pollution of groundwater by irrigation after pesticides used in the fight against pests. By applying vertical farming practices, water resources are saved and not polluted.

Keywords: Smart city, vertical farming, efficiency

¹ Bu çalışma, TÜBİTAK TÜSSİDE Akıllı Şehir çalışmaları kapsamındaki fizibilitelelerden biri olan Dikey Tarım Fizibilite Raporu'ndan derlenmiştir.

1. GİRİŞ

Kırsal bölgelerde üretilen gıda ürünleri, son tüketim noktasına ulaşmadan önce depolama, ürün işleme ve paketleme gibi süreçlerden geçip perakende satış noktalarına, oradan da son tüketiciye ulaşmaktadır. Her bir süreçte gerçekleşen lojistik faaliyetlerde dikkate alındığında, ürünün satışa kadar süreçteki maliyeti artmaktadır. Maliyet artışına sebep olan giderler incelendiğinde, ürünün birkaç farklı konumda depolanması veya işlenmesine bağlı maliyet giderleri, her süreçte lojistik operasyonlara tabi olmasına bağlı olarak oluşan ek taşıma maliyetleri, ürünün birden fazla aracı üzerinden hareket etmesi sonucu oluşan giderler, işlem süresince zamana bağlı kayıpların artması ve kayıp giderlerinin diğer sağlam ürünlerin üzerine eklenmesi gibi durumlar satış fiyatını artırmaktadır. Bu durum, sürece bağlı maliyet artışının yanı sıra, son tüketicinin taze ve sağlıklı ürün tüketmesine de engel olmaktadır.

Bu duruma çözüm olması amacıyla geliştirilen dikey tarım uygulamaları, alanı hem zemin, hem de yükseklik boyutunda hacimsel kullanarak, birim zemin alanında yetiştirilen ürün adetinin artmasına olanak sağlamaktadır. Yapay aydınlatma ve akıllı otomasyon sistemleri ile üretim süreci sadece gündüz değil, tam zamanlı ve sürekli üretime dönmemektedir. Bu durumda klasik tarım alanlarında yılda 1-2 kez gerçekleştirilen hasatlar, dikey tarım uygulamalarında yılda 10-20 hasat zamanına kadar çıkabilmektedir. Literatürde Yapay Aydınlatmalı Bitki Fabrikaları (Plant Factory with Artificial Light) (PFAL) şeklinde adlandırılan dikey tarım uygulamalarına yönelik akademik çalışmalar incelendiğinde, Despommier (2010), bilim adamları, mühendisler, politikacılar ve mimarlar üzerinde güçlü bir etkisi olan birbiriyle ilişkili dört küresel sorunu çözmek için “dikey tarım” kavramını önermiştir (Despommier, 2010). Allen (2012), “İyi Gıdaya Dönüş” kavramını önererek yerinde üretim ve tüketim yaklaşımıyla sağlıklı gıda yetiştirmeye yönelik sosyal bir proje başlatmıştır (Allen, 2012). Tarımsal üretimde hava ve iklim şartlarının kontrol edilememesi ve tahmin edilememesi üretim kapasitesini sınırlamaktadır. Klasik tarım yaklaşımında yılda 1-2 kez yapılabilirken, sera ortamında bu oran 1-4’e kadar çıkabilmektedir. Ancak mevsime ve zararlı böceklerle bağlı olarak bu sayı değişebilmektedir (TÜSSİDE, 2020). Akıllı sistemlerle hassas kontrollü olarak takip edilen dikey tarım uygulamalarında yıllık hasat miktarı 10-20 arasında yapılabilir (Kozai, 2013). Kozai ve Niu (2016), kentsel alanlardaki taze gıda ürün ve fire vb. atık akışına yönelik çalışma gerçekleştirmiş, kentsel alanda dikey tarım uygulamaları ile atık miktarında azalma olacağı tespit etmişlerdir. Ayrıca, yapay aydınlatma ile hangi ürünlerin üretilip üretilmeyeceği yönünde sınıflandırma yapmışlardır (Kozai T. N., 2016). Fanh (2016), PFAL uygulamalarına yönelik Tayvan’daki endüstriyel gelişmeleri incelemiş, tarımsal riskleri minimize etse de PLAF uygulamalarında işletim modelinin iyi kurgulanmadığı sürece karlılığının kesin olmadığı gözlemlemişlerdir (Fang, 2016). An ve arkadaşları (2020), salatalık üretiminde normal sera ortamı ile PFAL uygulamasının kıyaslamasını yapmış, PFAL ile gerçekleştirilen üretimde aşılama, gelişim ve su kullanım verimliliğinin daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir (An, 2020). Normal tarım ve sonrasındaki ticari olumsuzluklara alternatif çözüm olarak dikey tarım uygulamalarını öneren Epting (2016), dikey tarım uygulamalarıyla belediyelerin bütünlüğünün iyileşeceği ve gıda sistemini kontrol eden güç yapılarının tekrardan nasıl şekilleneceğini incelemiştir (Epting, 2016).

Türkiye’deki PFAL uygulamaları son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. PFAL için gerekli olan konstrüksiyon, led armatürler, iklimlendirme ve otomasyon sistemleri yerli kaynaklarla üretilmeye başlanmış, oluşan bilgi ve tecrübe havuzu ile mikro ve makro ölçekte tesisler kurulabilecek yeterlikte firmalar kurulmuştur. Türkiye’deki bazı zincir marketler ve restoranlarda da uygulaması mevcuttur (Şekil 1).



Şekil 1. Mikro Ölçekli Dikey Tarım Uygulamaları (Medium.com, 2020)

2. YÖNTEM

Çalışma kapsamında İstanbul Esenler’de proje uygulaması devam eden Esenler Akıllı Şehir pilot uygulaması kapsamında, 1000m²’lik bir alanda dikey tarım uygulamasına yönelik kavramsal bir plan gerçekleştirilmiştir ve bu planın fizibilite analizi gerçekleştirilmiştir. Fizibilite analizi kapsamında üretim kapasitesi analizi, ihtiyaç ve talep analizi, teknik analiz, finansal ve ekonomik analiz, sosyal etki analizi, çevresel etki analizi ve risk analizlerine ilişkin değerlendirmeler yapılacaktır.

Kapasite analizi, sonraki analizlerin altlığı oluşturmaktadır. Kurulacak sistem ile hangi şartlar altında ne kadar üretim yapılabileceği hesaplanmaktadır. Bu sayede bir sonraki analiz başlığı olan ihtiyaç ve talep analizindeki veriler de dikkate alınarak proje ile ihtiyacın ne kadarının karşılanacağı belirlenmektedir.

İhtiyaç ve talep analizi kapsamında projeye duyulan ihtiyaç sektörel veya tematik düzeyde, ulusal ve bölgesel olacak veriler kullanılarak, projenin hangi ihtiyacı karşılamada nasıl rol oynayacağını, projenin paydaşları ve proje beklentilerini de dikkate alarak analizler yapılmaktadır. Talebi belirleyen temel etkenler tespit edilerek, mevcut ve geçmiş yıllardaki kapasite kullanımı ve gelecek öngörülerini analiz edilmektedir.

Teknik analiz bölümünde projenin yapısal ve sistemsel olarak gereksinimleri incelenmektedir. Ayrıca bu sistem ile yapılacak üretim kaleminin alternatif farklı yöntemler ile üretilme süreçleri de dikkate alınarak karşılaştırmalı analizi yapılmaktadır.

Finansal ve ekonomik analiz bölümünde, önerilen sistem ile elde edilecek mali fayda analiz edilmektedir. İhtiyaç olan ilk kurulum ekipmanları ve maliyetleri, üretim sürecindeki girdi maliyetleri, ürüne ait gider kalemleri, ürün için belirlenen satış miktarı ile elde edilecek olan birim kar ve genel hesaplamalarda başabaş noktası hesaplanmaktadır. Planlanan şekilde üretim yapılabilmesi durumunda yatırımın geri dönüş hızı da bu bölümde incelenmektedir.

Sosyal etki analizi ile yapılacak çalışmalarda önerilen çalışmanın toplum tarafından sosyal kabulünün nasıl olacağı, projenin uygulanması ile toplumun yaşam konforlarına nasıl etki edeceği incelenmektedir.

Çevresel etki analizi çalışmalarında, projenin uygulanması ile birlikte dolaylı ve direkt olarak hangi alanlarda ne gibi çevresel etki olacağı analiz edilmektedir. Çevresel etkide oluşan herhangi bir değişim, sosyal etki analizi üzerinde doğrudan veya dolaylı etkiye sahiptir.

Risk analizi çalışmaları ile projenin planlanma veya uygulama sürecinde risk teşkil eden durumların analiz edilmesini kapsamaktadır. Analiz başlıklarının bir bölümü nicel, bir bölümü ise nitel olarak incelenecektir.

3. UYGULAMA

Uygulama kapsamında dikey tarım uygulamasında marul yetiştirilmesi ve ilk yıl 8 hasat dönemi olacağı planlanmıştır. Bölgedeki hane halkının sayısı ve yıllık ortalama marul tüketim rakamları hesaplanmıştır. Tüketilecek marulların yerinde üretilmesi ile elde edilecek finansal, ekonomik, çevresel ve sosyal etkileri analiz edilmiştir.

Hesaplamalarda her bir hasat döneminde 55.000 adet marul fidesi ekileceği, %5’inin fire verileceği kabul edilmiştir. İlerleyen dönemlerde sistem süreçlerinin sorunsuz ilerlemeye başlaması ile birlikte yıllık hasat sayısı 8 iken, yurtdışı uygulama örneklerinde olduğu gibi bu rakamın 10-20 hasat dönemine çıkması muhtemeldir.

3.1. Üretim Kapasite Analizi

1000m²’lik kapalı bir alanda gerçekleştirilecek sürdürülebilir dikey tarım uygulamasında yapının en 21m, boy 50, yükseklik ise 2,5m olacağı öngörülmüştür. Raf özellikleri olarak eni 1m, boyu 10m ve yapının yüksekliği 2,5m olduğu için 40-50cm aralıklı olarak zemin dahil 5 kat raf olacağı kabul edilmiştir. İlgili yapı içerisinde her bir hasat döneminde 55.000 fide dikileceği ve bu fidelerin %5’in fire olacağı varsayılmıştır. Dikey tarım uygulamalarında teoride yıl içerisinde 10 ile 20 arasında hasat yapılabilir. Çalışma kapsamında ilk yıl sonuçların daha gerçekçi olabilmesi için 8 adet hasat gerçekleştirileceği öngörülmüştür. Bu durumda ilgili proje alanında yıllık 418.000 kıvırcık ve marul üretilileceği hesaplanmıştır.

3.2. İhtiyaç ve Talep Analizi

TÜİK verilerine göre 2019 yılında 414.219 ton göbek ve kıvırcık üretimi gerçekleşmiştir. Toplamda 7.177 ton ithalat, 1.557 ton ise ihracat gerçekleşmiştir. Toplam üretim ile ihracat ve ithalat rakamları eş zamanlı değerlendirildiğinde iç

piyasaya kalan yaklaşık olarak 413.380 ton kıvırcık ve göbek kaldığı görülmektedir. Satışa sunulan ürünlerin 133,8 gr ile 320,09 gr arasında ağırlıklarının değiştiği yapılan araştırmalar sonucu tespit edilmiştir (Kibar, 2018). Analiz kapsamında ortalama ağırlıklar 250 gr alındığında 1.653.518.040 adet kıvırcık ve göbek üretildiği hesaplanmıştır. Bu ürünlerin tedarik zinciri sürecinde ve satış anında %20 oranında fire olacağı kabulü yapıldığında satışa sunulacak toplamda 1.322.814.432 adet ürün olacağı hesaplanmıştır. Bu ürün adeti 2019 yılının nüfus değeri ile oranlandığında kişi başı yıllık 15,9 adet kıvırcık veya göbek tüketileceği hesaplanmıştır.

Proje kapsamında değerlendirilen 65bin hanelik ve 177.040 kişilik nüfusun yıllık $177.004 \times 15,6 = 2.814.936$ adet / yıl tüketim gerçekleştireceği hesaplanmıştır. Bu değer bölgedeki kıvırcık ve göbek ihtiyacının %15'ine denk gelmektedir.

3.3. Teknik Analiz

Tarım faaliyetleri genel olarak açık alanlar, örtü altı alanlar ve kapalı alanlar başlığı altında sınıflandırılabilirler. Örtü altı alanlar kendi içerisinde kontrollü ve kontrolsüz ortamlar olarak iki alt gruba ayrılmaktadır. Kapalı mekanlar ise yapay aydınlatmalı ve diğer kapalı mekanlar olarak iki alt gruba ayrılmaktadır. Bu grupların karşılaştırmalı analizler yapıldığında aşağıdaki tablo elde edilmektedir (Kozai T. N., 2020).

Tablo 1. Bitkisel Üretim Sistemlerinin Karşılaştırılması (Kozai ve Niu, 2020)

Denge ve kontrol edilebilirlik	Açık Tarla	Sera		Kapalı Mekan 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

Dikey tarım uygulamaların için teknik ihtiyaçlar incelendiğinde aşağıdaki şartların yerine getirilmesi gerekmektedir (TÜSSIDE, Sürdürülebilir Dikey Tarım Uygulamaları, 2019).

- Sistem hava geçirmez olmalıdır (hava değişimi sayısı saatten 0.015'den az).
- Isı yalıtımı çatı ve duvarları yeterli şartı sağlamalıdır (Isı transfer katsayısı $0.15 \text{ W/m}^2\text{°C}$ 'den düşük).
- Sistem içerisinde hava ve sıcak su dolaşımı olmalıdır.
- Dikey yapı içerisinde aydınlatma sistemi ve hidroponik yetiştirme yataklarına sahip çok katlı mimari tasarım olmalıdır.
- Sistem içerisinde havanın kontrol altında tutulabilmesi için soğutma (aynı anda nem alma) ve hava dolaşımı için klimalar olmalıdır.
- Sistem içerisinde bitkilerin ihtiyacı için konsantrasyonunu 1000 ppm civarında tutmak için CO_2 zenginleştirilmesi yapılmalıdır.
- Zemin epoksi reçine levha ile kaplanmış olmalıdır. Bu yapının tozuması ve temiz kalması için yardımcı olmaktadır.
- Klimaların soğutma panelinde (evaporatör) yoğunlaştırılmış su tekrar kullanılacak şekilde sisteme dahil edilmelidir.
- Bitkilerin ihtiyacı olan besin çözeltisi temini için dolaşım ve sterilizasyon sistemi bulunmalıdır.

3.4. Finansal ve Ekonomik Analiz

Dikey tarım uygulamaları kapalı bir sistem içerisinde kontrollü üretim yaptığından pestisit kontrorlünde %100 azalma olmaktadır. Yapı içerisindeki iklimlendirme sistemlerinde sulama sistemi ile entegre ve döngüsel olarak çalıştığı için su tüketiminde %95'e varan oranlarda tasarruf elde edilebilmektedir. Üretim dikey ekseninde de yapıldığı için klasik sera yaklaşımlarına göre 10 kattan fazla üretim hacmine, normal tarla üretimine göre ise 100 kata kadar daha fazla üretim yapılabilir. Klasik üretim süreçlerinde gübreleme yapıldığında, sulama sonucu bitki tarafından kullanılmayan gübreler su ile birlikte yer altı sularına karışmaktadır. Bu sistemde ise su döngüsel olarak kullanıldığı için her döngüde su içerisindeki gübre miktarı analiz edilerek ihtiyaç kadarı suya dahil edilmektedir. Bu sayede güre

tüketiminde %50 oranında tasarruf sağlanmaktadır. Üretim süreci otomasyon tarafından optimize edildiğinden verim artmaktadır. Üretilen ürünler tüketim yeri içerisinde olduğu için nakliyeyle ilgili firelerde %10-30 arasında azalma olmaktadır (Kozai & Nui, Conclusions: resource-saving and resource-consuming characteristics of PFALs, 2020b).

Üretim sürecinde %5 oranında fire olacağı kabulü yapılmış. Ürünler çabuk bozulabilir ürünler olduğu için lojistik ve rafta bekleme süreleri de dikkate alınarak üretilen ürünlerin toplamda %20'sinin satılamayacağı kabulü yapılmıştır. Satış fiyatı için ise piyasada ortalama satış fiyatı dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Analizler sonucu sistemin her yılı karlı kapatacağı, sisteme ait yapılan yatırımların 4 yıl içerisinde geri döneceği hesaplanmıştır.

3.5. Sosyal Etki Analizi

Taze sebze üretiminde klasik tarım uygulamalarında yaşanan doğa olayları sonucu üretimde meydana gelen aksaklıklardan dolayı fiyat ve arz tutarsızlığı yaşanmaktadır. Şehir bölgelerinde konumlandırılacak dikey tarım uygulamaları ile birlikte taze sebze üretimi kontrollü ortamda yapılacağı için gıda güvenliği ile arz ve fiyat tutarlılığını sağlamaktadır. Dikey tarım uygulamaları ile birlikte taze sebze üretimi yıl boyunca devam etmektedir. Üretimdeki tutarlılık toplumsal refahın korunmasında etkili olmaktadır. Kentsel alanlarda konumlandırılan dikey tarım uygulamaları ile ek istihdam olanakları oluşturulmaktadır. Ayrıca şehir içerisindeki atıl alanların dikey tarım uygulamaları ile ekonomiye kazandırılması toplumsal ekonomik refah üzerinden olumlu etki oluşturacaktır.

5.6. Çevresel Etki Analizi

Kent alanlarında konumlandırılan dikey tarım uygulamaları klasik tarım uygulamalarına göre çevresel olarak avantajları bulunmaktadır.

Dikey tarım uygulamalarında sulama faaliyeti kapalı sistem içerisinde döngüsel olarak hareket etmektedir. Bu sayede normal tarım uygulamalarında olduğu gibi sulama sonucu bitkinin faydalanamadığı suyun yer altı sularına karışması ya da hava durumuna bağlı olarak aşırı buharlaşma ile kaybolması engellenmektedir. Bu durum dikey tarım uygulamalarının su kullanım verimliliğini normal tarım uygulamalarına göre %90 civarında daha tasarruflu olmasını sağlamaktadır.

Sulama sistemi ile birlikte gerçekleşen gübreleme faaliyeti dikey tarımda daha verimlidir. Normal tarım uygulamalarında bitki tarafından kullanılmayan gübre bileşenleri sulama ile birlikte toprağa ve yer altı sularına karışmaktadır. Ancak dikey tarım uygulamalarında gübre su ile birlikte verildiği için bitki tarafından kullanılmayan gübre bileşenleri sistemden çıkmamakta, kapalı sistem içerisinde su ile birlikte hareket etmektedir. Su içerisindeki gübre yoğunluğu sistem otomasyonu tarafından kontrol edilerek ihtiyaç anında yeterli yoğunluk sağlanacak şekilde gübre eklemesi yapılmaktadır. Bu sayede aşırı gübre kullanımı engellenmektedir.

Dikey tarım ile gerçekleşen üretim faaliyeti kapalı bir sistem olduğu için zararlı böcek ve haşerelerle mücadele etmek daha kolaydır. Bu durumda zararlılara yönelik ilaçlama faaliyeti azalmaktadır. Bu durum üretilen ürünün kalitesinin yanı sıra sağlık açısından da güvenilirliğinin artmasına olanak sağlamaktadır. Normal tarım uygulamalarında pestisit kontrollü zor olduğu için orantısız ilaçlama yapılmaktadır. Bu durum ürünün sağlık açısından güvenilirliğini düşürmektedir.

Normal tarımsal faaliyetlerde gerek gübreleme gerekse pestisit ile mücadele kapsamında yapılan ilaçlama sonrasında yapılan sulama ile gübre ve pestisit ilaçlarının toprağa ve yer altı sularına karışmasına sebep olmaktadır. Bu durum yeraltı sularının kirlenmesine, topraktaki aşırı gübre ve pestisit kullanımına bağlı oluşan kirlilik ile üretimin sürekliliğini tehlikeye girmesine sebep olmaktadır.

Üretimin kentsel alan içerisinde olmasına bağlı olarak ürünün tedarik zincirinde üretim ile tüketim noktası arasındaki zaman ve operasyonlar ciddi oranda azalmaktadır. Bu sayede uzun süreli olan tedarik süreci içerisinde meydana gelecek bozulma ve çürüme gibi kayıpların önüne geçilecektir. Bu durum, bozulan ürünlere ait üretim sürecinde gerçekleşen enerji tüketimi, gübre ve ilaç kullanımı gibi durumların israf olmamasına olanak sağlayacaktır.

Üretim konumu ile tüketim konumu arasındaki mesafe fazla olmadığı için lojistik faaliyetlere ait süreçlerde zamansal ve operasyonel olarak kısalma olacaktır. 1000m²'lik alan üzerinden yapılan analizlerde, 100km mesafeden gerçekleşen ürün sevkleri dikkate alınmıştır. Yapılan analizlerde 100km'lik mesafeden gerçekleştirilen ürün sevklerine ait seferlerde 8.400km daha az sefer atacağı hesaplanmıştır. Bu durum havadaki CO₂ emisyon değerlerinin azalmasında etkili olacaktır. Ayrıca trafikteki toplam sefer km üzerinde yaşanacak azalma ile trafik sıkışıklığının azalmasına yardımcı olacaktır. Bu sayede trafikteki beklemelemlere yönelik yaşanan hava ve ses kirliliğinin azalmasına yönelik olumlu etki oluşacaktır.

5.7. Risk Analizleri

Dikey tarım uygulamalarının riskleri incelendiğinde ilk risk yatırım süreçlerinde gözlemlenmiştir. Sistemin ilk kurulum maliyeti yüksektir. İlk yatırım maliyetini oluşturan yüksek kalemler incelendiğinde, kent alanlarındaki arazi

maliyeti, dikey tarıma ait yapı gereçleri ve otomasyon sistemleri örnek olarak verilebilir. Dikey tarım uygulamasına ait üretim maliyetleri normal tarıma göre daha yüksektir. Çünkü normal tarımda açık alanda doğal güneş ışığı ile üretim yapılmaktadır. Dikey tarım uygulamasında ise mevcut alan dikey eksen üzerinde raflı şekilde konumlandırılan led yapay aydınlatmalar ile üretim gerçekleştirildiğinden enerji maliyeti artırmaktadır. Sistemin üretim sürekliliği için enerjiye bağımlıdır. Bu sebeple enerjide yaşanacak uzun süreli kesintiler üretimi riske sokabilmektedir.

Yapay tarım uygulamasında normal tarım uygulamalarına göre daha az elemana ihtiyaç vardır ama normal tarıma göre daha kalifiyeli elemanlara ihtiyaç durulmaktadır. Bu durumda birim personel maliyeti yüksek çıkmaktadır. Ayrıca kalifiyeli eleman bulma zorluğu bulunmaktadır.

Dikey tarım ile üretilen ürünlerde büyüme alanı sınırlı olduğu için normal tarım uygulamalarına göre ürünler daha küçük olmaktadır. Yapay ışığa bağlı olarak ürün kalite ve lezzeti daha düşük olduğundan, tüketim aşamasında düşük müşteri memnuniyeti riski bulunmaktadır.

Yapay aydınlatmalı dikey tarım uygulamalarında sadece raf ömrü kısa olan yapraklı yeşillikler üretilebilmektedir. Diğer sebzelerin üretimi için uygun değildir.

Ürün verimliliği ışık dalga boyuna göre farklılık gösterebilmektedir. Üretim aşamasında ürüne yönelik doğru tespit edilemeyen ışık dalga boyu üretimin gerçekleşmesi verimlilik kaybına sebep olabilmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma akıllı şehirlerde konumlandırılacak sürdürülebilir dikey tarım uygulamalarına yönelik inceleme ve analiz çalışması gerçekleştirilmiştir. Konu ile ilgili genel inceleme ve tanımlama yapıldıktan sonra fizibilite yaklaşımıyla 1000m²'lik kapalı bir alanda oluşturulacak dikey tarım uygulamasının kapasite analizi, ihtiyaç ve talep analizi, finansal ve ekonomik analiz, sosyal etki analizi, çevresel etki analizi ve risk analizi yapılmıştır.

Oluşturulacak dikey tarım uygulamasında yıllık 8 hasat üzerinden yapılacak planlamada proje ile bölgedeki hane halkının yıllık marul tüketiminin %15'nin karşılanabileceği, projeye ait gerçekleştirilecek ilk yatırım maliyetinin 4 yılın sonunda geri dönebileceği hesaplanmıştır.

Çalışmanın hayata geçmesi ile birlikte mevsimsel etkilerden bağımsız yeşil sebzelerin uygun maliyetli temininin kolaylaşacağı, bölgedeki hane halkının kaliteli ve taze yeşillik tüketmesine olanak sağlanması gibi sosyal etkileri olacaktır.

Ürün için bölgesel lojistik transferlerin azalmasına bağlı olarak maliyet tasarrufunun yanı sıra, yakıt tüketimine bağlı CO₂ emisyon değerlerinde düşme, trafikteki nakliye araçlarında azalma, dikey tarım uygulamaları ile su kullanımında tasarruf, kapalı sistem kontrollü ilaç ve gübre kullanımına bağlı çevreye ve yeraltı sularına verilecek zararın azalması mümkün olacaktır.

Çalışma kapsamında sunulan uygulamanın ekonomik, sosyal ve çevresel olumlu etkilerinin yanı sıra risklerinde olduğu görülmüştür. Ürün kalitesi ve tadının klasik tarım ile üretilen ürünler kadar iyi olmaması, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, üretim maliyetinin yüksek olması, enerjiye sürekli bağımlı olması gibi etkenler riskler arasında değerlendirilmiştir. İlerleyen dönemlerde bilimsel ve teknoloji gelişmeler sonucunda üretim sürecine ait risklerin azalması, maliyetlerin düşmesi ve verimliliğin yükselmesi ile kentsel alanlarda dikey tarım uygulamalarının yaygınlaşacağı öngörülmektedir.

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya konu olan akıllı şehir fizibilitelerinin yapılmasında olanak sağlayan T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü yetkilerine, bu projelerde bize görev veren TÜBİTAK TÜSSİDE yetkililerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Allen, W. (2012). Good Food Revolution: Growing Healthy Food, People and Communities. Gotham Books, USA, p. . 256.
- An, S. P. (2020). Growth of Cucumber Scions, Rootstocks, and Grafted Seedlings as Affected by Different Irrigation Regimes during Cultivation of ‘Joenbaekdadagi’ and ‘Heukjong’ Seedlings in a Plant Factory with Artificial Lighting. *Agronomy*.
- Despommier, D. (2010). The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century. St. Martin’s Press, New York, 305 pp.
- Epting, S. (2016). Participatory Budgeting and Vertical Agriculture: A Thought Experiment in Food System Reform. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 737-748.
- Fang, W. (2016). Business Models for Plant Factory With Artificial Lighting (PFAL) in Taiwan. *LED Lighting for Urban Agriculture*, 289–293.
- Kıbar, B. (2018). Marulda Bitkisel Özellikler, Bazı Kalite Özellikleri ve Elementler Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi (UTYHBD)*, 149 - 160 .
- Kozai, T. (2013). Sustainable plant factory: closed plant production system with artificial light for high resource use efficiencies and quality produce. *Acta Hortic.* 1004, 27-40.
- Kozai, T. N. (2016). Role of the plant factory with artificial lighting (PFAL) in urban areas. *An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*, 7-33.
- Kozai, T. N. (2020). 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*.
- 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*.
- Medium.com. (2020, 10 07). <https://medium.com/@infarm.com/grown-and-harvested-in-stores-infarm-produce-now-in-copenhagen-ad3baed24caa> adresinden alındı
- TÜSSİDE. (2019). Sürdürülebilir Dikey Tarım Uygulamaları. *Esenler Akıllı Şehir Projesi , Dikey Tarım Fizibilite Raporu*.
- TÜSSİDE. (2020). Akıllı Şehirlerde Dikey Tarım Uygulamaları Değerlendirme Raporu.