

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİYEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANABİLİM DALI

ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAPSAMINDA LAVANTA FİDE ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERYEM ŞAHİN

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ GÜLÇİN AKGÖREN PALABIYIK

BİLECİK, 2025

10743500

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİYEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANABİLİM DALI

ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAPSAMINDA LAVANTA FİDE ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERYEM ŞAHİN

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ GÜLÇİN AKGÖREN PALABIYIK

BİLECİK, 2025

10743500

BEYAN

“Çevresel Sürdürülebilirlik Kapsamında Lavanta Fide Üretimi” adlı yüksek lisans hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR	X
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:		/.....	

Meryem ŞAHİN

.../.../2025

İmza

ÖN SÖZ

Bu tez çalışması, hem akademik hem de kişisel gelişim sürecimde önemli bir dönüm noktası olmuştur. Araştırma sürecinde edindiğim bilgiler, karşılaştığım zorluklar ve elde ettiğim deneyimler, sadece bilimsel bir çalışmanın ötesinde, hayata dair pek çok değerli kazanımı da beraberinde getirmiştir.

Tez sürecim boyunca engin bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, akademik bakış açımı geliştirmemde büyük katkısı olan, ilgisini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen çok kıymetli hocam **Doç. Dr. Şenay BALBAY’ a** en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisiyle çalışmak, akademik hayatımın en değerli deneyimlerinden biri olmuştur.

Ayrıca bu çalışmanın her aşamasında beni yönlendiren, katkılarını ve desteğini esirgemeyen, tezimle yakından ilgilenerek yolumu aydınlatan danışmanım **Dr. Öğr. Üyesi Gülçin AKGÖREN PALABIYIK’ a** değerli emekleri ve rehberliği için sonsuz teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan, varlıklarıyla bana güç veren; sevgi ve sabırla desteğini esirgemeyen başta eşim Mehmet Akif ŞAHİN ve oğlum Berat Kayra ŞAHİN olmak üzere, canım aileme ne kadar teşekkür etsem azdır. Onların sonsuz sevgisi ve bana olan inançları, bu süreci aşmamda en büyük dayanağım olmuştur.

Bu çalışmanın, alana katkı sunması ve benzer araştırmalar için yol gösterici olması en büyük temennimdir.

Meryem ŞAHİN

2025

ÖZET

ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAPSAMINDA LAVANTA FİDE ÜRETİMİ

Hem tıbbi ve aromatik bitki olarak hem de farklı endüstrilerde hammadde olarak kullanılan Lavanta (*Lavandula angustifolia*) düşük bakım gereksinimi, kuraklığa dayanıklılığı ve biyoçeşitliliğe sağladığı katkılar nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik açısından da öne çıkan bitkilerdendir. Pek çok farklı alanlarda kendisine yer bulan lavanta bitkisinin sera koşullarında yetiştiriciliğinin çevresel etkileri Bilecik Belediyesi'nin desteğiyle Park ve Bahçeler Müdürlüğü sorumluluğunda olan seralarda incelenmiştir. Çalışmada 200 m² sera alanında yetiştirilen lavanta fidelerinin beşikten mezara çevresel etkileri, “Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi” yaklaşımıyla IDEMAT2025 data seti kullanılarak “karbon ayak izi” , “ekolojik maliyeti”, “su ayak izi” , “kümülatif enerji talebi” değerleri belirlenmiştir. Aynı zamanda ReCiPe2016, TRACI metodları kullanılarak detaylı çevresel etkileri ortaya konmuştur. Avrupa Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları (ESRS)'e göre çevresel maliyetleri analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda alternatif senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryolarda önerilen uygulamalarla ekolojik maliyetlerin azaltılabileceği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel Sürdürülebilirlik, LCA, Karbon Ayak İzi, Su Ayak İzi, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler.

ABSTRACT

LAVENDER SEEDLING PRODUCTION WITHIN THE SCOPE OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

Lavender (*Lavandula angustifolia*), which is used both as a medicinal and aromatic plant and as a raw material in different industries, is one of the prominent plants in terms of environmental sustainability due to its low maintenance requirements, drought resistance and contributions to biodiversity. The environmental impacts of lavender cultivation in greenhouse conditions were investigated in greenhouses under the responsibility of the Directorate of Parks and Gardens with the support of Bilecik Municipality. In the study, the environmental impacts of lavender seedlings grown in 200 m² greenhouse area from cradle to grave, “carbon footprint”, “ecological cost”, “water footprint”, “cumulative energy demand” values were determined by using IDEMAT2025 data set with “Life Cycle Assessment” approach. At the same time, detailed environmental impacts were revealed using ReCiPe2016, TRACI methods. Environmental costs were analyzed according to European Sustainability Reporting Standards (ESRS).

As a result of the study, alternative scenarios were created and it was observed that ecological costs can be reduced with the practices proposed in these scenarios.

Keywords: Environmental Sustainability, LCA, Carbon Footprint, Water Footprint, Medicinal and Aromatic Plants.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK.....	3
3. LAVANTA BİTKİSİNİN EKOLOJİK ÖNEMİ	6
3.1. Lavantanın Botanik Özellikleri ve Yayılışı	6
3.2. Lavanta Yetiştiriciliği ve Çevresel Avantajları	6
3.3. Lavantanın Ekonomik Katkıları.....	7
4. SU AYAK İZİ	9
4.1. Su Ayak İzinin Bileşenleri.....	9
4.1.1. Mavi su.....	10
4.1.2. Yeşil su	10
4.1.3. Gri su.....	11
4.2. Su Stresi	11
5. KARBON AYAK İZİ.....	15
5.1. IDEMAT: Industrial Design Engineering Materials (Endüstriyel Tasarım Mühendislik Malzemeleri).....	17
6. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ	18
6.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Aşamaları	18
6.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Metodolojisi.....	19

7. MATERYAL VE METOT	244
7.1. Materyal	24
7.1.1. Çalışma alanı ve özellikleri	24
7.1.2. Çalışma materyali ve üretim girdileri.....	24
7.2. Metot	30
8. BULGULAR	33
8.1. Karbon Ayak İzi	33
8.2. Ekolojik Maliyet	33
8.3. ESRS'e göre Çevresel Maliyetler	34
8.4. Kümülatif Enerji Talebi.....	35
8.5. Çevresel Etkiler.....	36
8.6. Su Ayak İzi	38
9. TARTIŞMA	41
10. SONUÇLAR	45
KAYNAKÇA	46

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 7.1. Bilecik Belediyesi'ne Ait Seradaki Lavanta Peronuna Ait Envanter Verileri.... **32**

Tablo 8.1. Su Tüketimine Bağlı Kabul Edilen Senaryolar..... **38**



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları	3
Şekil 4.1. Su Ayak İzi Bileşenlerinin Şematik Gösterimi	10
Şekil 4.2. Dünya su stresi haritası	12
Şekil 4.3. Türkiye su stresi haritası	13
Şekil 7.1. Bilecik İli Lokasyon Haritası	24
Şekil 7.2. Bilecik Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğüne ait Alanının Uydu Görüntüsü .	25
Şekil 7.3. Yuvarlak Çatılı Plastik Sera Modeli	26
Şekil 7.4. Sera Üretim Alanı	26
Şekil 7.5. Bilecik Belediyesi Üretim Serası Toprak Hazırlığı	27
Şekil 7.6. Bilecik Belediyesi Üretim Serası Sulama Sistemi	28
Şekil 7.7. Lavanta Üretiminin Akış Şeması	29
Şekil 7.8. Çalışma Kapsamında Lavanta Yetiştiriciliği İçin Ele Alınan Sistem Sınırları.....	31
Şekil 8.1. Lavanta yetiştirilmesinde oluşan karbon ayak izi.....	33
Şekil 8.2. Lavanta yetiştirilmesinde oluşan ekolojik maliyetler	34
Şekil 8.3. Lavanta yetiştirilmesinde ESRS'e göre eko-maliyetler	35
Şekil 8.4. Lavanta yetiştirilmesinde kümülatif enerji gereksinimi	35
Şekil 8.5. Lavanta yetiştirilmesinde kümülatif enerji gereksiniminin çevresel etki kategorileri	36
Şekil 8.6. Lavanta yetiştirilmesinde ReCiPe2016 metoduna göre çevresel etki kategorileri ..	37
Şekil 8.7. Lavanta yetiştirilmesinde TRACI metoduna göre çevresel etki kategorileri	37
Şekil 8.8. Lavanta yetiştirilmesinde su tüketimine bağlı farklı senaryolara göre karbon ayak izi	38
Şekil 8.9. Lavanta yetiştirilmesinde su tüketimine bağlı farklı senaryolara göre ekolojik maliyet	39
Şekil 8.10. Lavanta yetiştirilmesinde su tüketimine bağlı farklı senaryolara göre TRACI metodu çevresel etkileri	40
Şekil 8.11. Lavanta yetiştirilmesinde su tüketimine bağlı farklı senaryolar için ESRS'e göre eko-maliyetler.....	40

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

CH₄	: Metan
CO₂	: Karbon Dioksit
COP	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı
CSRD	: Avrupa Birliği'nin Kurumsal Sürdürülebilirlik Raporlama Direktifi
Ef 3.1	: Çevresel Ayak izi
EF	: Emisyon Faktörü
ESRS	: Avrupa Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları
FV	: Faaliyet Verisi
GHG	: Sera Gazı
GWP	: Küresel Isınma Potansiyeli
H₂	: Hidrojen
IDEMAT	: Endüstriyel Tasarım Mühendislik Malzemeleri
IPCC	: Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli
KgCO_{2e}	: Kilogram karbondioksit eşdeğeri
LCA	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
LCI	: Yaşam Döngüsü Envanter Analizi
LCIA	: Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi
MJ	: Mega Joule
Mt	: Milyon Ton
N₂O	: Azot Oksit
SSIM	: Sürdürülebilir Etki Ölçümleri Vakfı
TRACI	: Kimyasal ve Diğer Çevresel Etkilerin Azaltılması ve Değerlendirilmesi Aracı
UNFCCC	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

1. GİRİŞ

İklim değışikliği, ekosistemler, ekonomiler ve toplumlar üzerindeki geniş kapsamlı etkileriyle insanlığın karşı karşıya olduğu en acil sorunlardan biridir. Küresel sıcaklıklar artarken, bu değışime bağlı gerçekleşen aşırı hava olayları daha sık hale gelmekte ve biyolojik çeşitlilik kaybı hızlanmaktadır (IPCC, 2023). Bu nedenlerle yenilikçi ve sürdürülebilir çözümlere olan ihtiyaç giderek artmaktadır.

Birleşmiş Milletler İklim Değışikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) ve Birleşmiş Milletler İklim Değışikliği Konferansı (COP) gibi uluslararası yapılar, iklim değışikliğine uyum sağlama ve bu değışikliği azaltma konusunda küresel gündemleri şekillendirmede önemli bir rol oynamaktadır.

Sürdürülebilirlik, rehber bir ilke olarak, mevcut ihtiyaçları karşılarcken gelecekteki nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğini tehlikeye atmadan çevresel, sosyal ve ekonomik hedeflerin uyumlaştırılmasını gerektirir (Ben-Eli, 2018). Sürdürülebilirlik girişimleri arasında tarım sektörü, çevresel ayak izi büyük olduğu için önemli bir odak noktası olarak öne çıkmıştır (Tilman, Balzer, Hill ve Bafort, 2011). Su kullanımı, sera gazı emisyonları ve arazi bozulması bu alandaki temel sorunlardandır ve çevresel etkileri azaltmak için yenilikçi üretim yöntemleri ve ürün seçimi üzerine yoğunlaşılması gerekmektedir (Viana vd., 2022).

Su kaynakları, yaşamın vazgeçilmez unsurlarından biri olup, iklim değışikliği nedeniyle giderek daha fazla tehdit altına girmektedir. Azalan su kaynakları, suyun daha verimli ve tasarruflu kullanımını zorunlu hale getirmekte; özellikle tarımsal uygulamalarda suyun etkin yönetilmesi gerekliliği ön plana çıkmaktadır.

Çevresel sürdürülebilirlik kavramı tarımsal üretim sistemlerinin yeniden değerlendirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Artan nüfus değışen tüketim alışkanlıkları ve buna bağlı doğal kaynaklardaki hızlı tükenme, özellikle bitkisel üretim süreçlerinin çevresel etkilerinin güncel bilimsel yöntemlerle analiz edilmesini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) ürün ya da hizmetin tüm yaşam evrelerini “beşikten mezara kadar” ele alarak çevresel etkilerini nicel olarak ölçmeye imkan tanıyan sistematik bir yöntemdir.

Tarımsal üretimin yanı sıra, özellikle büyük şehirlerde gerçekleştirilen peyzaj düzenleme çalışmaları sırasında yoğun su ihtiyacı duyan yeşil alan uygulamaları, bitki seçimi sırasında egzotik ağaç ve çalıların tercih edilmesi, geniş çim alanların kullanılması gibi unsurlar, susuzluk sorunlarını artırmaktadır. Bu noktada az su tüketen ve ekolojik dengeyi

destekleyen bitkilerin kullanılması önemlidir. Kentsel yeşil alanların karbon yutağı görevi görebilmesi, tasarım ve bakım yönünden karbon ayak izi üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir (Strohbach vd., 2012). Lavanta gibi hem su tasarrufu sağlayan hem de çok yönlü kullanım alanlarına sahip bitkiler, sürdürülebilir çevre uygulamalarında ön planda tutulmalıdır.

Lavanta (*Lavandula* spp.), hem tıbbi hem kozmetik hem de estetik açıdan artan talebi nedeniyle ilgi odağındadır ve pazar talebi büyümeye devam etmektedir. Kuraklığa dayanıklılığı ve yüksek adaptasyon yeteneği sayesinde lavanta, sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır (Lis-Balchin, 2002). Ancak lavanta yetiştiriciliği, özellikle sera gibi kontrollü ortamlarda yapıldığında, kaynak kullanımı ve çevresel etkiler dikkate alınmalıdır (Lopez-Marin, Amor ve Pulgar, 2012).

Çalışma, lavanta yetiştiriciliğinin çevresel sürdürülebilirliğini, iklim değişikliği ile mücadele ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile uyum çerçevesinde açıklayarak, su ayak izi ve karbon ayak izi kavramları odağında ele almaktadır. Böylece sürdürülebilirlik çerçeveleri ile tarımsal uygulamalar arasındaki boşluğu kapatmak ve sürdürülebilir çevre konusunda alternatif senaryolar ile üretimde çevresel ayak izini azaltmaya yönelik değerli katkılar sunmayı hedeflenmektedir.

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Sürdürülebilirlik terimi, 1987 yılında Birleşmiş Milletler tarafından onaylanmış Ortak Geleceğimiz (Brundtland) raporu ile küresel boyutta şekillenmiş ve kuşaklara ekonomik, ekolojik ve sosyal koşullara devam ettirilebilir bir dünya bırakma anlayışını taşımaktadır (Gedik, 2020). Sürdürülebilirliğin üç temel boyutu olarak bilinen ekonomik, çevresel ve sosyal unsurların gelişmiş bir şekilde ele alınması, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi ve bu bağlamda olası krizlerin önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Birleşmiş Milletler, 2015 yılında sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) adıyla 2030 yılına kadar hayata geçirilmesi planlanan, 17 ana hedeften oluşan bir eylem planı hazırlamıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları

Kaynak: (Birleşmiş Milletler, 2015).

Bu plan, iklim değişikliğiyle mücadele edilmesi ve tüm insanların barış ve refah içinde yaşamasını sağlamak amacıyla evrensel bir eylem çağrısı niteliğindedir. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA)'ya göre dünyamızı değiştirecek 17 hedef arasından çalışma kriterlerinde yer alanlar şunlardır:

SKA 6 (temiz su ve sanitasyon), herkesin güvenli içme suyuna erişimini sağlamak, su kullanımında verimliliği artırmak ve su kaynaklarını korumayı hedefler. Amaç, 2030 yılına kadar dünya çapında su ve arıtma sistemlerinin geliştirilmesini, sürdürülebilir su yönetimi işlemlerinin evrensel hale getirmeyi planlamaktadır.

SKA 12 (sorumlu üretim ve tüketim), su, enerji ve hammadde gibi doğal tedarikin daha verimli kullanılması ve israfın önlenmesi, üretimde atıkların azaltılması, geri dönüşüm

uygulamalarının yaygınlaştırılması ve daha çevre dostu ürünlerin kullanıma sunulması, çevre dostu üretim tekniklerinin ve gelişmiş yeşil teknolojilerin benimsenmesi, hem sıcaklık hem de çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltmalarını ve sürdürülebilir tüketimin gelişmesini iyileştirmelerini teşvik etmektedir. Bu hedef, kaynakların verimli kullanılması ve sürdürülebilirliğin artırılmasına katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

SKA 13 (iklim eylemi), iklim değişimiyle mücadele etmek, karbon salınımlarını azaltmak, küresel sıcaklık artışını 1,5°C ile sınırlamak, yenilenebilir enerjinin tüketimi, iklim değişikliğiyle mücadelede uluslararası işbirliklerinin büyümesi ve afetlere karşı dayanıklı toplumların beslenmesi bu hedefin ana unsurlarındandır. Ayrıca sera emisyonlarının azaltılması ve karbon ayak izinin azaltılması için küresel stratejiler geliştirilmeyi hedeflemektedir.

SKA 15 (karasal yaşam), yeryüzünü korumak; karasal ekosistemlerin korunması, ekolojik dengeyi koruma, sürdürülebilir ormansızlaşmayı durdurmak, kuraklığın önüne geçmek, bozulan arazilerini düzenlemek, nesli tükenmekte olan türlerin korunması, dağ ekosistemlerinin muhafazasını sağlamak ve tersine çevirmek; biyolojik çeşitlilik kaybını engellemek gibi kritik özelliklere sahiptir.

Gezegeneğimizin sürdürülebilirliği adına yapılacak her planlama insanlığın temel ihtiyacı olan gıdanın ham madde ve doğal kaynaklarla birlikte sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için de tasarlanmalıdır. Tarımda sürdürülebilirlik, doğal kaynakların yok edilmemesi ve verimli bir şekilde kullanılmasını; ekosisteme uyumlu, ekosistemin korunmasını ve gelişmesini destekleyen, teknolojik uygulamaların yapıldığı tarım yöntemlerini ifade etmektedir. Sürdürülebilir tarım, Avrupa Yeşil Mutabakatının ele aldığı bir konudur (Sürdürülebilir Üretim Dergisi, 2023). Tarımda sürdürülebilirlik Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ile doğrudan ilişkilidir ve toprak, su ve biyoçeşitliliğin korunması, çevre dostu üretim tekniklerinin benimsenmesi, girdi ve enerji kullanımının en aza indirilmesi ile entegre atık yönetimi uygulamalarının hayata geçirilmesi ile mümkün olmaktadır (Akgören Palabıyık, 2023).

Avrupa Yeşil Mutabakat'ı, iklim değişikliğini önlemek veya en aza indirmek amacıyla 19 Aralık 2019 tarihinde, Avrupa Birliği tarafından yayınlanmıştır ve Avrupa Birliği'nin yeni ekonomik büyüme stratejisidir. Yeşil Mutabakat aynı zamanda AB üreticilerinin rekabetçi gücünü korumak için ticareti yapılan ürünün karbon yoğunluğu üzerinden hesaplanacak bir takım gümrük düzenlemelerini de tasarlamaktadır. Mutabakatın esas hedefi hem iklim değişikliğini kontrol etmek hem de çevreye verilen zararı en aza indirerek daha fazla iş fırsatları oluşturmak ve ekonomik fayda sağlamaktır. Yeşil Mutabakat emisyon azaltımı, döngüsel

ekonomi modeli, sıfır kirlilik, tarım ve kırsal alanların dönüşümü, sürdürülebilir ulaşım, enerji dönüşümü ve adil geçiş kavramlarını ele almaktadır (Balbay, 2022).

Avrupa Yeşil Eylem Mutabakatı'na uyum kapsamında, arıtılmış atık suların kullanımının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, yeşil ve döngüsel bir ekonominin tesis edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Günümüzde kullanılabilir doğal su kaynakları ile artan su ihtiyacı arasındaki fark giderek büyümektedir. Bu durum, atık suların uygun teknolojiler kullanılarak arıtılmasını ve tarım, sulama, enerji gibi çeşitli alanlarda tekrar kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Özellikle tarımsal faaliyetlerden dönen suların çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde arıtılması ve yeniden kullanılması, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından kritik bir stratejidir. Bu bağlamda, Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan Değişen İklimle Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2023–2033) kapsamında, suyun etkin ve sürdürülebilir kullanımına yönelik çeşitli politikalar geliştirilmiştir. Atık suların tarımsal sulamada yeniden kullanılması, su kaynaklarının korunmasına önemli katkılar sağlayacağı bildirilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023).

Sürdürülebilir gıda sistemine geçişle birlikte çevresel ayak izi azaltılabilecek, biyolojik çeşitlilik kaybı karşısında gıda güvenliği sağlanabilecek ve böylece sağlıklı toplumlar oluşturulabilecektir. AB, gıda sistemini daha sürdürülebilir kılmak için “Tarladan Sofraya” stratejisini kabul etmiştir. Bu strateji doğrultusunda gıda sisteminin sıfır veya olumlu çevresel etkiye sahip olması, biyoçeşitlilik kaybının tersine çevrilmesi, herkesin gıdaya yeterli, güvenli ve sürdürülebilir şekilde erişiminin sağlanması hedeflenmektedir. Yeşil Mutabakat hedeflerinde öncelikli sektörlerden birisini AB'nin sera gazı emisyonlarının %10'undan sorumlu olan tarım sektörü oluşturmaktadır. Avrupa tarım ve gıda sistemi, Ortak Tarım Politikası tarafından desteklenmektedir. Bu sistem hâlihazırda iyi işleyen güvenli ve kaliteli bir sistemdir. Ortak tarım politikası ve AB Yeşil Mutabakatı hedefleri kapsamında; organik tarım alanlarının %25'ine ulaşmak, kimyasal ve tehlikeli pestisit kullanımını ve riskini %50 azaltmak, gübre kullanımını en az %20 ve besin maddesi kaybını en az %50 azaltmak, AB'nin tarım arazilerindeki yarı doğal yaşam alanlarının en az %10'unda biyolojik çeşitlilik açısından zengin peyzaj alanları oluşturmak yer almaktadır. Aynı zamanda da Yeşil Mutabakat kapsamında bu sistemin sürdürülebilir hale gelmesi hedeflenmektedir (Şahin vd., 2023).

3. LAVANTA BİTKİSİNİN EKOLOJİK ÖNEMİ

3.1. Lavantanın Botanik Özellikleri ve Yayılışı

Ballıbabagiller (Lamiaceae) familyası dünya çapında özellikle ılıman kuşakta geniş bir yayılım gösteren bitki grubunu oluşturmaktadır. Yaklaşık 245 cins ve 7886 türü kapsayan bu aileyi, genellikle ot, nadiren ağaç ve çalı türlerinden oluşmaktadır (Abdelhalim, A., ve Hanrahan, J., 2021). Lamiaceae üyeleri, uçucu yağ içerme özellikleri nedeniyle kozmetik ürünlerin bileşiminde yer almaktadır. Familya içinde yer alan kekik (Thymus), nane (Mentha), biberiye (Rosmarinus), adaçayı (Salvia) ve lavanta (Lavandula) gibi türler ekonomik açıdan önemli yer tutmaktadır. Ayrıca bu bitkiler baharat ve süs bitkisi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Lamiaceae familyasının tıbbi ve ekonomik önemi, geniş bitki çeşitliliği, güçlü adaptasyon yeteneği ve uçucu yağ bileşenleri ön plana çıkma nedenleridir (Çatak ve Atalay, 2022; Habán vd., 2023).

3.2. Lavanta Yetiştiriciliği ve Çevresel Avantajları

Lavanta, derin kök yapısı ile toprağın yapısını iyileştirmekte, yüzeysel akışın azaltılması yoluyla erozyon riskini düşürmektedir. Aynı zamanda lavanta tarlalarının uzun ömürlü olması, toprak işleme sıklığını azaltarak karbon salınımını sınırlar ve toprak organizmalarının yaşam alanını korur. Bu yönüyle lavanta, agroekolojik tarım sistemlerinin bir parçası olarak değerlendirilebilecek önemli bir bitki türüdür. Agroekoloji, doğal kaynakların korunmasına, ekolojik dengeye ve toplumsal katılıma dayalı bir üretim modeli sunarken; lavanta da düşük girdi gereksinimi, kuraklığa dayanıklılığı ve biyolojik çeşitliliği desteklemesiyle bu modele uyum sağlamaktadır (Yeni, O ve Teoman, Ö., 2023).

Türkiye florasında, Lamiaceae familyasına ait ekonomik ve ekolojik değeri yüksek bitkiler (Hiperakümülatör bitkiler), peyzaj onarımında, hem estetik hem de işlevsel açıdan büyük önem taşımaktadır. Hiperakümülatör bitkiler, toprakta bulunan ağır metalleri biriktirme özelliğine sahip olup, bu özellikleri sayesinde ekolojik restorasyonda etkili bir araç sunmaktadır. Lamiaceae familyasına ait türler, renk, doku ve form gibi özelliklerle peyzaj düzenlemelerinde tercih edilmekte, aynı zamanda ağır metallerin temizliğinde de potansiyel göstermektedir. Bu familyadan türlerin kullanımı, sürdürülebilir düzenleme tasarımları için doğal bir çözüm sunmaktadır (Esringü ve Sezen, 2021).

Lavanta yetiştiriciliği, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de tarımsal verimlilik açısından çok yönlü avantajlar sunan bir üretim modelidir. Özellikle düşük su ihtiyacı, besin maddesi talebinin az olması ve zararlılara karşı doğal direnç özellikleri sayesinde lavanta,

geleneksel tarımın yapılamadığı veya ekonomik olarak verimsiz olan marjinal arazilerin değerlendirilmesinde ideal bir bitki türü olarak öne çıkmaktadır.

Ekolojik bakımdan lavanta, kuraklık stresine karşı yüksek dayanıklılık göstermesi, düşük bakım ve girdi ihtiyacı ile dikkat çekmektedir. Bu özellikleri sayesinde, verimliliği düşük olan tarım arazilerinde sürdürülebilir üretim olanağı sunmakta, aynı zamanda toprak erozyonunun önlenmesine katkı sağlamaktadır (Fontez vd., 2023). Derin kök sistemine sahip olması, toprak yapısını iyileştirmekte; çiçeklenme döneminde ise polinatör canlılara nektar sağlayarak biyolojik çeşitliliğin korunmasına yardımcı olmaktadır. Bu yönüyle lavanta, çevre dostu üretim sistemlerinin geliştirilmesinde stratejik bir tür olarak değerlendirilmektedir.

3.3. Lavantanın Ekonomik Katkıları

Lavanta bitkisi, soğuğa dayanıklı yapısıyla düşük sıcaklıklarda hayatta kalabilmekte, yaz aylarında ise aşırı sıcaklara karşı tolerans gösterebilmektedir. Bu özellikleri sayesinde hem Akdeniz hem de İç Anadolu bölgelerinde başarılı yetiştiricilik örnekleri mevcuttur. Ayrıca kuraklık stresine karşı geliştirdiği fizyolojik adaptasyon mekanizmaları sayesinde, lavanta üretimi sulama gereksiniminin düşük olduğu bölgelerde de sürdürülebilir bir şekilde yapılabilir.

Ekonomik açıdan lavanta, yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülebilir bir bitki olması nedeniyle hem yerel hem de uluslararası pazarda talep gören bir üründür. Özellikle uçucu yağı, sabun, parfüm, krem, aromaterapi ürünleri ve doğal temizlik malzemelerinde kullanılmakta; bu da lavantayı kozmetik ve sağlık endüstrisinin vazgeçilmez hammaddelerinden biri hâline getirmektedir. Aynı zamanda lavanta çiçekleri; dekoratif objeler, hediyelik ürünler ve kurutulmuş bitki olarak da ekonomik katkı sağlamaktadır.

Bununla birlikte lavanta, tarım turizmi (agriturizm) faaliyetleriyle de bütünleşerek çiftçilere alternatif gelir kaynakları oluşturmaktadır. Özellikle mor çiçeklenme dönemlerinde lavanta tarlalarının estetik görünümü, ziyaretçi çekerek kırsal bölgelerde hizmet sektörünü de canlandırmaktadır. Böylece lavanta, sadece tarımsal bir ürün olmanın ötesine geçerek kırsal kalkınma politikalarının da destekleyici unsurlarından biri hâline gelmektedir.

Türkiye’de lavanta tarımı, son yıllarda kırsal kalkınma projeleri, tarım turizmi (agriturizm), ekoturizm gibi trendler ve tıbbi ve aromatik bitki üretimine yönelik teşvikler ve alternatif ürün arayışları çerçevesinde yaygınlaşmıştır (Ceylan ve Somuncu, 2021). Özellikle Isparta, Afyon, Burdur ve Çanakkale gibi illerde lavanta üretimi; hem ekonomik getiri sağlaması hem de kırsal turizmle bütünleşmesi bakımından bölgesel kalkınmaya katkı sunan

bir tarımsal faaliyet hâline gelmiştir (BAKA, 2020). Bu yönüyle lavanta bitkisi, yalnızca tarımsal üretim değeriyle değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve yerel ekonomik kalkınma hedeflerine katkı sunan stratejik bir bitki türü olarak önem kazanmıştır (Devyani, Menon S, 2025).



4. SU AYAK İZİ

Su ayak izi, bir ürünün üretimi, bir hizmetin sağlanması veya bireysel tüketim sürecinde doğrudan ve dolaylı olarak kullanılan toplam su miktarını ifade eden bir kavramdır (Aldaya vd., 2012). Su kaynaklarının etkin yönetimini sağlamak, sürdürülebilir su kullanımını teşvik etmek ve su kıtlığı gibi küresel sorunlara çözüm üretmek için önemli bir analiz aracı olarak kabul edilmektedir. Bu analizler, tarım, sanayi ve evsel su kullanımı gibi alanlarda su tüketiminin etkilerini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır (Mekonnen ve Hoekstra, 2011). Yaşam döngüsü perspektifine dayanan su ayak izi kavramı ve metodolojisi, tarımda gerçek su kullanımını incelemek için güçlü bir araç sağlamaktadır (Ma vd., 2024).

Günümüzde nüfus artışı, iklim değişikliği ve sanayileşme gibi faktörler su kaynakları üzerinde büyük bir baskı oluşturmaktadır. Bu nedenle, su ayak izi analizleri, su kaynaklarının daha verimli kullanılması, su kirliliğinin azaltılması ve sürdürülebilir su yönetimi politikalarının geliştirilmesi için kritik bilgiler sunmaktadır (Hoekstra vd., 2011).

4.1. Su Ayak İzinin Bileşenleri

Su ayak izi, suyun farklı kaynaklardan nasıl kullanıldığını ve çevreye olan etkilerini açıklayan üç ana bileşenden oluşmaktadır: mavi su ayak izi, yeşil su ayak izi ve gri su ayak izi (Hoekstra vd., 2011).

Su ayak izi kavramı, su kaynaklarının kullanımı ve yönetimi konusunda bütünsel bir bakış açısı sunmaktadır. Mavi, yeşil ve gri su ayak izi bileşenleri, suyun farklı kaynaklardan nasıl kullanıldığını ve çevresel etkilerini anlamaya yardımcı olmaktadır. Su ayak izi analizleri, özellikle su yoğun endüstrilerde su kullanımını optimize etmek, su kirliliğini azaltmak ve sürdürülebilir su yönetimini sağlamak için büyük bir önem taşımaktadır (Mekonnen ve Hoekstra, 2011).



Şekil 4.1. Su Ayak İzi Bileşenlerinin Şematik Gösterimi

Kaynak: (Aldaya vd., 2012).

Hoekstra ve arkadaşları (2011), su ayak izi kavramını ve bileşenlerini (yeşil, mavi, gri su ayak izi) detaylı bir şekilde tanımlamıştır (Şekil 4.1.). Bu şekil, bir tüketici veya üreticinin su ayak izini doğrudan ve dolaylı su kullanımı, su çekimi, su tüketimi ve su kirliliği açısından göstermektedir. Yeşil, mavi ve gri su ayak izi kavramları, suyun farklı şekillerde kullanımını ve çevresel etkilerini temsil etmektedir. Su ayak izi hesaplamaları için küresel bir standart oluşturmuştur.

4.1.1.Mavi su

Mavi su ayak izi, yüzey ve yeraltı su kaynaklarından (nehirler, göller, akiferler) çekilen ve tüketilen su miktarını ifade etmektedir (Mekonnen ve Hoekstra, 2011). Bu su genellikle sulama, endüstriyel işlemler ve evsel kullanım için tüketilmektedir. Mavi su ayak izi, su kaynaklarının aşırı kullanımı ve tükenme riskini göstermesi açısından önemlidir. Özellikle kurak bölgelerde bu kaynakların sürdürülebilir kullanımı kritik bir faktördür. Örneğin, bir lavanta tarlasının sulanması için sondaj kuyusundan çekilen su, mavi su ayak izine dahil olmaktadır.

4.1.2. Yeşil su

Yeşil su ayak izi, bitkilerin büyüebilmesi için kullandığı yağış sularını kapsamaktadır. Toprakta depolanan bu su, bitkiler tarafından doğrudan kullanılmakta ve sulama ihtiyacını azaltarak su tasarrufu sağlamaktadır. Yağışa bağlı tarım sistemlerinde verimliliği artırmak için

büyük önem taşımaktadır (Hoekstra vd., 2011). Örneğin, lavanta bitkisinin büyümesi için toprakta depolanan yağmur suyu, yeşil su ayak izine dahil olmaktadır.

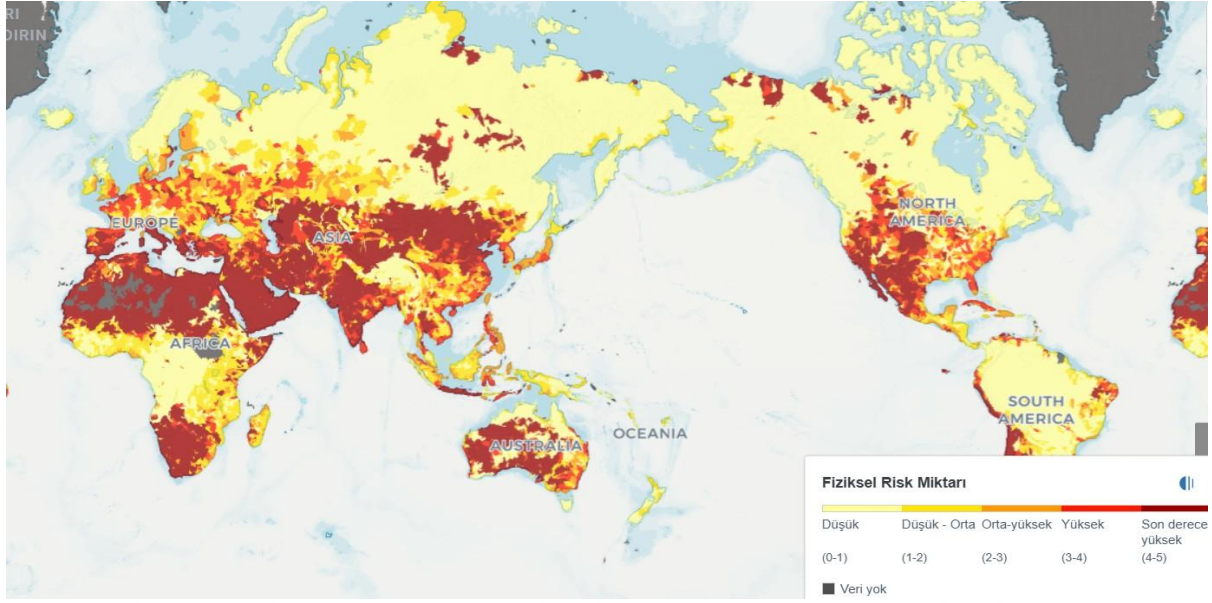
4.1.3. Gri su

Gri su ayak izi, kirlenen suyun temizlenmesi için gereken su miktarını ifade etmektedir. Bu kavram, tarım, sanayi ve evsel atık sularının neden olduğu kirliliğin giderilmesi için gerekli olan suyu kapsamaktadır. Gri su ayak izi, su kaynaklarının kalitesini koruma ve ekosistem sağlığını destekleme konusunda kritik bir rol oynamaktadır (Franke vd., 2013). Örneğin, lavanta üretiminde kullanılan gübre ve pestisitlerin neden olduğu kirliliği temizlemek için gereken su, gri su ayak izine dahil olmaktadır.

4.2. Su Stresi

Su kıtlığı, dünyanın birçok bölgesinde, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, insan toplumunun istikrarını ve sürdürülebilir kalkınmasını tehdit eden kritik bir sorun haline gelmiştir (Munia vd., 2020). Küresel nüfusun yaklaşık üçte biri ila yarısı günümüzde su kıtlığı yaşamakta olup, bu durum en çok Hindistan ve Çin'de yoğunlaşmaktadır (Mekonnen ve Hoekstra, 2016) (Şekil 4.2). Birleşmiş Milletler tarafından hazırlanan raporlar, dünya nüfusunun %29' unun su fakiri olduğunu belirtmekte, 2025 yılı itibari ile bu oranın %34'e ulaşması beklendiğine, 2030 yılına kadar küresel nüfusun yarısının ciddi su stresıyla karşı karşıya kalacağına vurgu yapmaktadır (UNEP, 2015). Kuraklık ve seller, su stresini daha da şiddetlendirerek su yönetimi üzerinde ek baskılar oluşturacaktır (Rodell ve Li, 2023). Su kıtlığı, gıda üretiminin azalması, içme suyu eksikliği ve ekosistem sağlığının bozulması gibi birçok sosyal ve çevresel sorunu beraberinde getirmektedir (Porkka vd., 2016). Bu bağlamda, su ayak izi analizleri, su kıtlığının nedenlerini ve etkilerini anlamada önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir.

Ülkeler su varlıklarına göre su stresini bakımından sınıflandırılmaktadır. Eğer bir ülkede kişi başına 1.700 m^3 ve üzeri su düşüyorsa o ülke yeterli miktarda suya sahiptir. 1.700 m^3 suya sahipse su stresini altındadır. 1.000 m^3 ve altında suya sahipse su fakiri ülkedir.



Şekil 4.2. Dünya su stresi haritası.

Kaynak: (WRI Aqueduct, 2025).

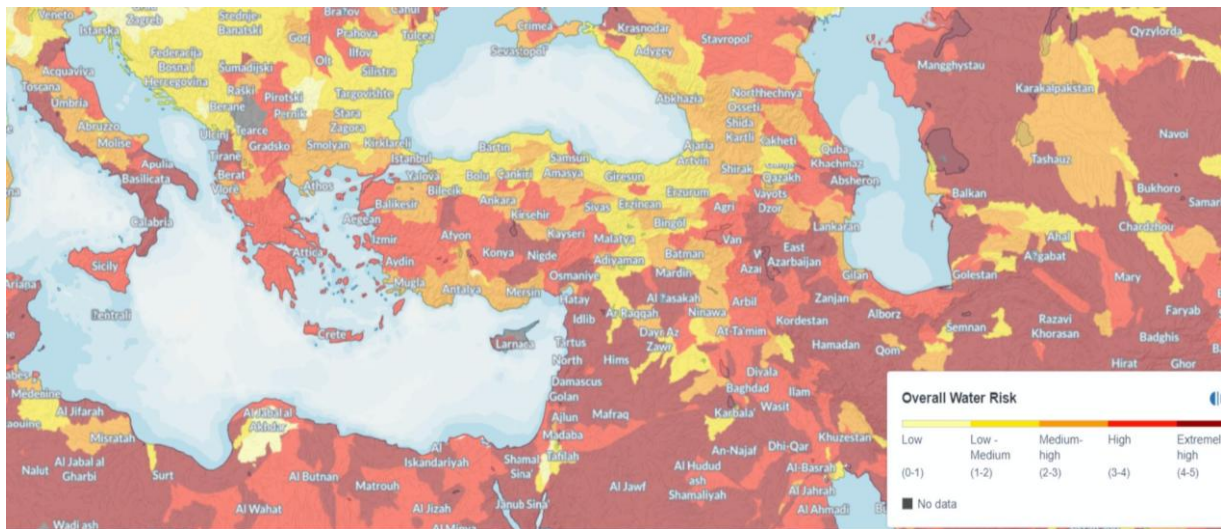
Doğrudan su kullanımı, tüketici veya üreticinin doğrudan kullandığı suyu ifade etmekte ve tarım sektöründe bitkilerin büyümesi için gerekli olan yağış suyunu (yeşil su) içermektedir. Yeşil su, toprakta depolanan ve bitkiler tarafından doğal olarak kullanılan sudur. Dolaylı su kullanımı ise ürünlerin veya hizmetlerin üretim süreçlerinde dolaylı olarak kullanılan suyu kapsamaktadır. Örneğin, bir ürünün ham maddesinin yetiştirilmesi veya işlenmesi sırasında kullanılan su, dolaylı su kullanımına dahildir (Hoekstra vd., 2011).

Su çekimi, yüzey ve yeraltı su kaynaklarından (nehirler, göller, akiferler) çekilen suyu ifade etmektedir. Sulama, endüstriyel prosesler ve evsel kullanım gibi faaliyetlerde kullanılan bu su, mavi su ayak izini oluşturmaktadır. Mavi su, özellikle kurak bölgelerde su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı açısından kritik öneme sahiptir (Mekonnen ve Hoekstra, 2011). İklim değişikliği, yıllık ve mevsimsel yağış ile sıcaklık değişimlerindeki belirsizlikleri artırarak, su kaynakları üzerindeki baskıyı şiddetlendirmektedir (Schewe vd., 2014; Rodell ve Li, 2023). Bu durum, su çekimi ve tüketim süreçlerini doğrudan etkileyerek su kıtlığı riskini artırmaktadır.

Su tüketimi, kullanılan suyun bir kısmının geri dönüşü olmayan şekilde kaybolmasını ifade etmektedir. Sulama sırasında buharlaşan veya bitkiler tarafından alınan su bu kapsamda değerlendirilmektedir. Bu durum, mavi su ayak izi ile ilişkilidir ve su kaynaklarının verimli kullanımı için önemli bir göstergedir (Hoekstra vd., 2011).

Su kirliliği, üretim süreçlerinde suyun kirlenmesine neden olan faaliyetleri ifade etmektedir. Tarımda kullanılan kimyasallar, endüstriyel atıklar ve evsel atık sular, su kirliliğinin

temel kaynaklarıdır. Bu kirliliği temizlemek için gereken su miktarı, gri su ayak izini oluşturmaktadır. Gri su ayak izi, su kaynaklarının kalitesini korumak ve çevresel etkileri azaltmak için önemli bir göstergedir (Franke, Hoekstra, Boyacioglu, 2013).



Kaynak: (WRI Aqueduct, 2025).

Türkiye su kullanım dağılımı incelendiğinde, en yüksek payın tarımsal üretim olduğu bildirilmiştir. Türkiye'nin toplam su ayak izi 140 milyar m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Buna göre, su ayak izinin %89'u tarım sektörü, %7'si evsel su kullanımı ve %4'ü endüstriyel üretim tarafından oluşturulmaktadır (WWF-Türkiye, 2014). Tarım sektörünün önemli bir ürünü olan bitkisel üretimde kullanılan suyun %66'sından fazlasını yeşil su kaynaklarından (yağış suyu) sağlamaktadır. Ayrıca otlatma yöntemlerinde hayvanların beslendiği ot ve bitkiler tamamen yağış suları ile yetiştirildiğinden bu sistemin su ayak izi neredeyse yeşil sudan oluşmaktadır. Bu oranlar, tarım sektörü için yağışın ne kadar kritik bir yapıya sahip olduğunu ve bu sektörün

kuraklık koşullarında ciddi şekilde etkileneceğini gösteriyor. Bitkisel üretimde kullanılan suyun yaklaşık %20'si ise mavi su kaynaklarından (yüzey ve üretim suları) karşılanmaktadır. Bu durum, sulama yöntemlerinin esnek ve suyun verimli çalışmasının tarım sektörü için ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır (WWF-Türkiye, 2014).



5. KARBON AYAK İZİ

Karbon ayak izi bir ürün, hizmet veya faaliyetin yaşam döngüsü boyunca atmosfere saldığı toplam sera gazı miktarının karbondioksit (CO₂) eşdeğeri cinsinden ifadesidir. Wiedmann ve Minx 2008 yılında yaptığı çalışmayla karbon ayak izini "Karbon ayak izi, bir faaliyetin doğrudan veya dolaylı olarak neden olduğu veya bir ürünün yaşam evreleri boyunca biriken toplam karbondioksit emisyonu miktarının bir ölçüsüdür" anlamında tanımlamıştır.

Karbon ayak izi, küresel ısınmaya doğrudan etki eden karbondioksit (CO₂) gazı başta olmak üzere sera gazlarının miktarını ölçmeye yönelik geliştirilmiş önemli bir göstergedir. Atmosferdeki CO₂ seviyelerinin giderek artması, araştırmacıları çevresel etkilerin izlenmesi ve azaltılması amacıyla farklı alanlarda karbon ayak izi hesaplama çalışmalarına yönlendirmiştir (Kumaş vd., 2019). Özellikle iklim değışikliğinin hem küresel politikaların hem de kurumsal stratejilerin öncelikli gündem maddelerinden biri haline gelmesiyle birlikte ürün bazlı ve süreç bazlı karbon ayak izi hesaplamalarına duyulan ihtiyaç da hızla artmaktadır. Bu durum tarımsal üretim sistemlerinin çevresel etkilerinin daha şeffaf ve ölçülebilir hale getirilmesini gerekli kılmaktadır.

Dünya genelinde sera gazı (GHG) emisyonlarının en büyük kaynağını enerji sektörü oluşturmaktadır. 2021 verilerine göre, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %75,7'si enerji sektöründen kaynaklanmakta olup; bu oran elektrik ve ısı üretimi (%29,7), ulaşım (%13,7), imalat ve inşaat (%12,7) ile binalardan (%6,6) kaynaklanan emisyonları kapsamaktadır. Ayrıca, fosil yakıt üretimi ve iletimi sırasında ortaya çıkan kaçak emisyonlar ile diğer yakıtların yanmasından kaynaklanan emisyonlar da bu sektöre dahil edilmektedir (Ge vd., 2024). Enerji sektörünü, küresel emisyonların %11,7'sini oluşturan tarım sektörü takip etmektedir. Tarımsal faaliyetler arasında özellikle hayvancılık, gübre kullanımı ve tarım topraklarından salınan metan gazı önemli bir yer tutmaktadır. Endüstriyel süreçler (kimyasal ve çimento üretimi gibi, enerji kullanımını hariç tutan faaliyetler) küresel emisyonların %6,5'ini oluştururken, atık yönetiminden kaynaklanan metan ve azot oksit emisyonları %3,4 oranındadır. Arazi kullanımı, arazi kullanımındaki değışiklikler ve ormancılık sektörü ise net olarak %2,7 oranında emisyon üretmekte, aynı zamanda karbon yutakları işlevi görerek atmosferden karbon uzaklaştırmaktadır (Climate Watch, 2025; WRI, 2024). İnsan kaynaklı sera gazı emisyonları, karbon ayak izinin temel bileşenini oluşturmaktadır. Karbon ayak izi, bir kişi, kurum veya ülkenin doğrudan veya dolaylı olarak atmosfere saldığı toplam sera gazı miktarını ifade etmektedir. Bu gazlar çoğunlukla karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve azot oksitler (N₂O) gibi gazlardan oluşmaktadır. Enerji, ulaşım, tarım ve arazi kullanımı gibi sektörler, karbon ayak

izininin en büyük kaynaklarını oluşturmaktadır. Küresel karbon ayak izinin azaltılması, iklim değişikliğiyle mücadelede net sıfır emisyonu ulaşmanın en kritik adımlarından birisidir (Climate Watch, 2025).

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2025 tarihinde yayımladığı Sera Gazı Emisyon İstatistikleri bültenine göre, 2023 yılında Türkiye'nin toplam sera gazı emisyonu 552,2 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğeri olarak bulunmuştur. Bu değer, 2022 yılına kıyasla % 1,4 oranında düşüş göstermektedir. Kişi başına düşen sera gazı emisyonu 1990 yılında 4,1 ton, 2022 yılında 6,6 ton iken 2023 yılında 6,5 ton CO₂ eşdeğeri olarak gerçekleşmiştir. Sektörel dağılım incelendiğinde, 2023 yılında toplam sera gazı emisyonlarında en büyük payı % 71,6 ile enerji kaynaklı emisyonlar oluşturmuş, bunu %13 ile tarım sektörü, %12,8 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %2,5 ile atık sektörü takip etmiştir (TÜİK, 2025).

Bitkisel üretimde her bir girdi, üretim sisteminin genel çevresel performansını doğrudan etkilemektedir. Seralarda yapılan üretimler elektrik gibi girdiler nedeniyle yüksek sera gazı salımı potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, bitkisel üretim sistemlerinin iklim değişikliği üzerine olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik uygulamaların geliştirilmesi, karbon ayak izi verileriyle desteklenmelidir.

Lavanta'nın sera gazı emisyonları üzerindeki etkisine dair çalışmalar az olsa da, bu çalışmalar daha çok lavanta esansiyel yağ üzerinde, tarımsal uygulamaları, distilasyon süreçleri, ve tedarik zinciri üzerine odaklanmaktadır. Aşağıda lavanta ile ilgili yapılan çalışmalardan bazılarına değinilmiştir.

Çoşkuntuna ve arkadaşları 2023 yılında lavanta unu ve lavanta uçucu yağı inek yemi olarak eklendiğinde metan ve CO₂ salınımında azalma sağlayabileceği üzerine yaptıkları çalışmada lavanta ununun atık malzemelerinin sera gazı emisyonlarını en aza indirmede yem katkısı olarak kullanılabileceği, lavanta uçucu yağı endüstrisinde ekonomik avantajlar sunabileceği araştırılmıştır.

Demir ve arkadaşlarının 2021-2022 yıllarında üretim sezonunda Türkiye'nin Kırklareli ili Merkez ilçesinde yaptıkları bir çalışmada lavanta üretimindeki enerji tüketimindeki girdilerin sera gazı emisyonlarını incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışma çıktısına göre lavanta üretiminde sera gazı oranı 0,08kg CO₂-eq/kg-1 olarak hesaplanmıştır.

Eren ve arkadaşlarının 2019 yılında Türkiye'de farklı aromatik bitkilerin üretiminde sera gazı emisyonlarının (GHG) belirlenmesi çalışması yapılmış ve lavanta için toplam sera gazı emisyonlarının 494,81 kg CO₂-eq/ha olduğu sera gazı oranı 0.10 kgCO₂-eşkg-1 olarak

ölçülmüştür. Sera gazı emisyonlarıyla ilişkili olarak makine ve gübrelerin yaygın kullanımıyla alakalı olduğu gübre kullanımını azaltarak tarım uygulamalarının yapılması önerilmektedir.

Avramidou ve arkadaşlarının 2024 yılında yapmış oldukları çalışmaya göre Akdeniz Havzasında tarımda endemik aromatik bitkilerin enerji girdilerini, sera gazı emisyonlarını azaltmakta ve su ile toprak kaynaklarını korumada önemli bir bölge olduğu vurgulanmış, yaptıkları çalışmada lavanta ve kekik yetiştirilmesinde enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları değerlendirilmiş, kekik yetiştirilmesinin lavanta yetiştirilmesine kıyasla daha iyi değerler gösterdiği görülmüştür. Kekik karbon ayak izi $5,3 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}^{-1}$ olarak bulunmuş ve topraksız iklim koşullarına daha iyi adapte olduğunu göstermiştir.

5.1. IDEMAT: Industrial Design Engineering Materials (Endüstriyel Tasarım Mühendislik Malzemeleri)

Delft Teknoloji Üniversitesi'nin kâr amacı gütmeyen bir yan kuruluşu olan Sürdürülebilir Etki Ölçümleri Vakfı (SSIM) tarafından geliştirilen IDEMAT, yaşam döngüsü envanteri (LCI) verilerinin kapsamlı bir derlemesidir. Bu verilerin çoğunluğu hakemli bilimsel makalelere, kitaplara, raporlara, doktora tezlerine, Delft Teknoloji Üniversitesi, Plastics Europe tarafından geliştirilen LCI (Life Cycle Inventories)'lere dayanmaktadır. Geriye kalan LCI'ler de sektörde öncü konumda olan şirketler tarafından oluşturulmuştur (www.ecocostsvalue.com).

LCA uygulayıcıları bir ürünün çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla yaşam döngüsü envanteri (LCI) oluştururken alt sistemlerin girdi ve çıktı verilerini matematiksel olarak entegre ederek bütünsel bir yaşam döngüsü zinciri oluşturmaktadır. Her alt sistemin LCI'si malzeme akışları, enerji tüketimi (ısı, elektrik), su tüketimi, ulaşım hizmetleri, üretim süreçleri ve kullanım ömrü sonu işlemleri gibi girdiler ile emisyonlar, atıklar ve yan ürünler gibi çıktılarından oluşmaktadır. Bu LCA'lerin derlenmesi toplam sistemin sınırları içinde olduğundan ve çift sayım hatası yapılmadığından emin olmayı gerektirmektedir. Sistem sınırları "beşikten mezara" (hammadde çıkışından nihai bertarafa) , "beşikten beşiğe" (geri dönüşüm veya yeniden kullanım dahil) veya hibrit bir yaklaşımla tanımlanır. Sistemin dışında kalan alt sistemler ihmal edilmekte ve analiz dışı bırakılmaktadır. Toplam çevresel etkiye katkısı belirlenen eşiğin altında kalan girdi/çıktıların daha az katkısı olan emisyonların kesme kriteri açıkça belirtilmeli belli emisyonun altında kalan prosesler LCI 'ye dahil edilmemektedir (www.ecocostsvalue.com).

6. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ

Yaşam döngüsü, bir ürün veya hizmetin hammadde temininden başlayarak üretim, genişleme, kullanım, bakım ve ömrün boyunca kapsamlı parçalara kadar tüm aşamaları kapsayan bütüncül bir kavramdır. Bu kavram, kötüleşme etkilerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiştir (ISO 14040, 2006). Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment - LCA), bir ürün veya hizmetin yaşam süreci boyunca ortaya çıkan enerji ve madde kullanımı ile büyüme oranlarının sistematik bir biçim analizini yapan bilimsel bir yöntemdir (Guinée, 2002). Böylece yalnızca ürünün kullanım aşamasına değil, aynı zamanda üretim, erişim ve dağıtım gibi tüm yaşam kapsamı aşamalarına odaklanılarak, büyümenin sürdürülebilirliğe ulaşması mümkün hale gelmektedir (Finnveden vd., 2009).

6.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Aşamaları

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA), bir ürün veya hizmetin portföyünün kapsamlı bir şekilde analiz edilmesini sağlayan sistematik bir yöntemdir. LCA çalışmaları dört temel aşamadan oluşmaktadır: Hedef ve Kapsam Tanımı, Yaşam Döngüsü Envanter Analizi (LCI), Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (LCIA) ve Yorumlama (ISO, 2006; Finnveden vd., 2009).

1. Hedef ve Kapsam Tanımı: Bu aşama, LCA çalışmasının yürütülme gerekçelerini, amaçlarını ve hedef kitleyi belirlemektedir. Ayrıca sistem sınırlarının çizildiği ve fonksiyonel birimin tanımlandığı aşamadır. Fonksiyonel birim, değerlendirmeye konu olan ürün veya hizmetin kullanımının güzel bir şekilde birleşmesi ve LCA sonuçlarının karşılaştırılabilir olmasını sağlamaktadır (ISO, 2006; Curran, 2006).

2. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi (LCI): Bu aşamada, ürün veya hizmetin yaşam konusu boyunca kullanılan enerji, malzeme ve emisyonlar gibi girdiler ile atık ve yan ürünler gibi çıktılar sistematik olarak hazırlanmaktadır. Veri kalitesi, envanter analizinin güvenilirliğinin dağılımı için kritik bir faktör olmaktadır (Curran, 2006; Klöpffer, 2006).

3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (LCIA): LCIA, envanter analizinden elde edilen girilenlerin ve gelişen büyüme etkilerinin güzel ve nitel olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu aşamada, saldırganlık etki kategorileri belirlenir ve potansiyel etkilerin önemi analiz edilmektedir. Etki kategorileri genellikle küresel tüketim potansiyeli, ozon katmanının incilmesi, asitleşme, ekotoksisite gibi olumsuzlukları içermektedir (Finnveden vd., 2009).

4. Yorumlama: Son aşama olan yorumlama, önceki aşamalardan elde edilen veriler, hedef ve kapsam çerçevesinde analizlerin değerlendirilmesini içermektedir. Bu aşamada başarının iyileşmesi, hassasiyet analizi yapılmakta ve karar vericilere yönelik öneriler geliştirilmektedir. Yorumlama aşaması, LCA çalışmalarından eski bilimin anlamlandırılarak karar alma parçalarına entegre edilebilmesine yönelik kritik bir erişime sahiptir (ISO, 2006; Finnveden vd., 2009).

LCA'nın kapsamı ve detay düzeyi; kullanım amacı, sistem sınırlamalarının çizimi ve işlevsel birimin tanımına bağlı olarak değişkenlik gösterilebilmektedir. Bu esneklik, yöntemin sektörlerde farkındalığın artmasına, bu etkileri daha iyi anlamak ele almak için yöntemler geliştirmesine olan ilgiyi artırmasına ve farklı alanlarda uygulanabilmesine olanak sağlamıştır (Conradi, 2025).

6.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Metodolojisi

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA), yalnızca bir yöntem değildir; Aynı zamanda ürün ve çözümlülüklerin pazarlarında ve ülkelerde kullanılan bir analiz çerçeveleridir. Bu analiz, farklı etki kategorilerinde değerlendirme yapılmasına izin vermektedir. Bu nedenle LCA uygulamalarında yalnızca toplam karbon ayak izi değil, aynı zamanda ekolojik ayak izi, enerji tüketim türleri, su kullanımı, asitleşme, ötrofikasyon ve toksisite gibi çok çeşitli etki kategorilerinde sisteme dahil edilmesi gerekmektedir. LCA çalışmalarında, reaksiyon etkilerinin özet ve sistematik biçimde değerlendirilebilmesi amacıyla ReCiPe2016 ve TRACI gibi kabul görmüş etki değerlendirme yöntemlerinin yanı sıra, ESRS gibi tutarlı ve karşılaştırılabilir Avrupa sürdürülebilirlik raporlama standartları kullanılmaktadır (Salles ve Brantsch, 2025). Bununla birlikte aşağıda LCA' nın yaygınlıklarında kullanılan temel analiz göstergeleri ve metodolojiler detaylandırılmıştır.

Sürdürülebilirlik raporlaması ülkelere göre farklı metodolojiler ile karşımıza çıkmaktadır. Yaygın olarak kullanılanlar:

1. Karbon Ayak İzi ve Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)
2. Ekolojik Ayak İzi
3. Enerji Tüketimi Türleri
4. Çevresel Ayak İzi, Çevresel Etki Kategorileri (EF 3.1)
5. ReCiPe2016 Metodu
6. TRACI Metodu

7. ESRS: Avrupa Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları.

Ekolojik ayak izi, bireylerin, toplumların veya ürünlerin doğal kaynakları tüketme hızının, ekosistemlerin kendini yenileme kapasitesi ile karşılaştırılmasına olanak sağlayan bir sürdürülebilirlik göstergesi olarak kullanılmaktadır (Wackernagel ve Rees, 1996). Bu gösterge, tarım alanları, ormanlık bölgeler, karbon tutma kapasitesine sahip doğal alanlar, balıkçılık sahaları ve yerleşim bölgeleri gibi biyolojik olarak üretken kara ve su yüzeylerinin toplam kullanımını dikkate almaktadır (Nautiyal ve Goel, 2021). Böylece, sürdürülebilir olmayan tüketim kalıpları ve ekosistem üzerindeki çevresel baskı görünür hâle getirilmektedir (Galli et al., 2012). Karbon ve su ayak izleri gibi bileşenler ekolojik ayak izlerinden kaynaklanmaktadır ve iklim değişikliği sorunları ciddi bir endişe konusu haline geldikçe dünya çapında popüler hale geldiği görülmektedir.

Ekolojik ayak izi, sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde çevresel baskının nicel olarak belirlenmesine ve insan faaliyetlerinin doğal kaynaklar üzerindeki etkilerinin izlenmesine imkân tanımaktadır (Özsoy ve Dinç, 2016). LCA (Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi) uygulamalarında bu gösterge; karbon ayak izi, su ayak izi ve arazi kullanımı gibi parametrelerin bütüncül biçimde analiz edilmesiyle kullanılmakta ve ürünlerin çevresel performanslarının geniş bir perspektifle değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır (QSI, 2024; Kitzes et al., 2007).

Ekolojik ayak izi kavramı, çeşitli sektörlerde uygulanmakta ve sürdürülebilir üretim yöntemlerinin önemini ortaya koymaktadır. Örneğin, Galli ve çalışma arkadaşları 2012 yılında yaptıkları çalışmada farklı tarımsal üretim modellerinin ekolojik ayak izi üzerindeki etkilerini karşılaştırmakta; Kitzes ve arkadaşlarının 2007 yılında yapmış oldukları çalışmada ise bu göstergenin ulusal düzeyde hesaplanmasına yönelik metodolojik geliştirmeler sunmaktadır.

Avrupa Komisyonu ürünlerin çevresel performansını ölçmenin ortak bir yolu olarak Ürün Çevresel Ayak İzi ve Kuruluş Çevresel Ayak İzi yöntemlerini önermiş ve sistem sınırlarını, veri tabanlarını ve işlevsel birimleri tanımlar ve karbon ayak izi, su kullanımı, toksisite ve ötrofikasyon etkileri gibi 16 etki kategorisindeki (EF 3.1) çevresel etkileri hesaplamak ve raporlamak için standartlaştırılmış metodolojiler sunmaktadır (EU-Commission Recommendation, 2021).

ReCiPe2016, Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDDE / LCIA) sürecinde kullanılan kapsamlı bir etki değerlendirme metodudur. Bu yöntem, yaşam döngüsü envanterinden elde edilen emisyon ve kaynak kullanımı verilerini, karakterizasyon faktörleri yardımıyla sınırlı sayıda çevresel etki puanına dönüştürmeyi amaçlamaktadır. ReCiPe2016

metodolojisi, iki farklı analiz düzeyinde karakterizasyon sunmakta: Orta nokta (midpoint) ve uç nokta (endpoint).

Orta nokta göstergeleri belirli çevresel etkileri temsil eden 17 kategoriden oluşmaktadır. Bu kategorilerden kısaca şöyle bahsedebiliriz. (1) İklim değişikliği, atmosfere salınan sera gazları küresel sıcaklıkların artmasına ve iklim sistemlerinin değişmesine neden olmaktadır. (2) Ozon tabakasının incilmesi, bazı kimyasallar stratosferdeki ozon moleküllerini yok ederek zararlı UV ışınlarının yeryüzüne ulaşmasını arttırmaktadır. (3) Asitleşme, kükürt ve azot oksitlerin atmosferdeki su buharıyla birleşmesi sonucu oluşan asit yağmurları toprak ve su ekosistemlerine zarar vermektedir. (4) Tatlı su ötrofikasyonu, tarım ve atık sularla özellikle fosfor gibi besin maddeleri tatlı sularda alg patlamalarına ve oksijen azlığına neden olmaktadır. (5) Deniz suyu ötrofikasyonu, azot ağırlıklı besin maddelerinin deniz ortamına taşınması deniz yaşamında dengesizlik ve oksijen yitimine neden olmaktadır. (6) İnsan toksisitesi (Kanserojen ve kanserojen olmayan), zararlı kimyasalların insanlar üzerinde kanserojen ve ya sağlık etkileri oluşturmalarıdır. (7) Tatlı su, deniz ve toprak ekotoksisitesi, zehirli maddelerin sucul ve karasal ekosistemlerdeki canlı üzerinde olumsuz etkiler oluşturmalarıdır. (8) Foto-kimyasal oksidant oluşumu, güneş ışığıyla etkileşime giren hava kirleticilerinin oluşturduğu ozon, insan sağlığına ve bitkilere zarar verebilmektedir. (9) İnorganik solunum etkileri, inorganik toz ve gazların solunum yolu hastalıklarına neden olmaktadır. (10) Organik solunum etkileri, uçucu organik bileşiklerin solunması sonucu sağlık sorunlarına yol açmasıdır. (11) Su kullanımı, tatlı su kaynaklarının tüketimi, ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından risk oluşturmaktadır. (12) Toprak kullanımı, arazilerin tarım, sanayi ve yerleşim amacıyla kullanılması doğal habitatların bozulmasına neden olmaktadır. (13) Kaynakların tükenmesi-fosil yakıtlar, fosil yakıtların aşırı tüketimi yenilemez enerji kaynaklarının tükenmesine ve çevresel bozulmalara yol açmaktadır. (14) Kaynakların tükenmesi- mineraller ve metaller, endüstride kullanılan değerli maden ve minerallerin aşırı kullanımı doğal rezervlerimizin azalmasına neden olmaktadır. (15) İyonlaştırıcı radyasyon, nükleer faaliyetlerden yayılan radyasyon, insan sağlığına ve çevreye uzun vadeli zararlar verebilmektedir. (16) Partikül madde oluşumu, sanayi ve ulaşım kaynaklı ince parçacıklar havayı kirletmekte ve solunum yolu hastalıklarını arttırmaktadır. (17) Küresel ısınma-insan sağlığı, iklim değişikliği sıcak hava dalgaları ve vektör kaynaklı hastalıklar gibi insan sağlığını tehdit etmektedir. Bu göstergeler, çevresel sorunların bilimsel olarak daha net tanımlanabildiği, daha az belirsizliğe sahip olan aşamalardır.

Uç nokta göstergeleri ise çevresel etkilerin daha üst düzeydeki üç bileşen üzerindeki etkisini ortaya koyar: (1) insan sağlığı, (2) ekosistem çeşitliliği (biyolojik çeşitlilik) ve (3) doğal

kaynakların tükenmesi. Bu üst düzey gruplama, LCA sonuçlarının karar vericiler açısından daha anlaşılır ve yönetilebilir hale gelmesini sağlamaktadır. Ancak, orta noktadan uç noktaya geçerken her seviyede belirsizlik artmaktadır.

ReCiPe2016 sürümünde bu yapı, yaşam döngüsü envanteri (LCI) parametrelerinden orta noktalara ve oradan da son noktalara uzanan bir ilişki modeli sunar. Bu yapı sayesinde hem teknik hem de stratejik karar alma süreçlerinde etkili bir araç işlevi görmektedir (RIVM, 2023).

TRACI (Kimyasal ve Diğer Çevresel Etkilerin Azaltılması ve Değerlendirilmesi Aracı), çevresel etki değerlendirmesi kapsamında karakterizasyon faktörleri sunan bir araçtır. Bu faktörler; ozon tabakasının incelmeye, iklim değışikliğı, asitleşme, ötrofikasyon, duman oluşumu, insan sağlığı üzerindeki etkiler ve ekotoksisite gibi katagoriler için ortak eşdeğerlik birimlerinde çevresel etkilerin nicel analizini sağlamaktadır (U.S.epa, 2024; Bare vd., 2023).

Avrupa Birliğı şirketlerin çevresel performanslarını ESRS'ye göre raporlamalarını istemektedir. Bu raporlama ile kurumsal uygulamaları Yeşil Mutabakat ve net sıfır emisyon hedefleri de dahil olmak üzere AB'nin daha geniş sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu hale getirecektir (European Commission). ESRS ve LCA, çevresel etkileri değerlendirme yaklaşımlarında yakından bağlantılıdır; çünkü her ikisi de bir şirketin sürdürülebilirlik performansının kapsamlı ve bilime dayalı bir anlayışını vurgulamaktadır. Her ikisi de sürdürülebilirlik raporlamasını ve karar alma süreçlerini iyileştirme konusunda ortak bir hedefe sahiptir. ESRS kurumsal sürdürülebilirlik açıklamaları için çerçeveyi belirlerken, LCA bir şirketin değer zincirindeki etkilerin değerlendirilmesi ve ölçülmesi için bilimsel ve metodolojik bir temel sağlar. Birlikte, AB'de sürdürülebilirliğe yönelik kapsamlı ve uygulanabilir bir yaklaşım oluştururlar (Salles ve Brantsch, 2025).

ESRS'ler, geniş bir yelpazedeki çevresel, sosyal ve yönetim sorunlarını ele almak üzere farklı tematik alanlara ve açıklama konularına ayrılmıştır. Çevresel Standartlar aşağıdaki şekilde yapılandırılmıştır (EFRAG, 2022):

ESRS E1: İklim Değişikliği: Sera Gazı (GHG) emisyonlarını, iklimle ilgili riskleri, azaltma stratejilerini ve uyumu kapsar.

ESRS E2: Kirlilik: Kirleticiler ve zararlı maddeler dahil olmak üzere hava, su ve toprağa yapılan emisyonları ele alır.

ESRS E3: Su ve Deniz Kaynakları: Su tüketimini, kalitesini ve deniz ekosistemlerini kapsar.

ESRS E4: Biyoçeşitlilik ve Ekosistemler: Biyoçeşitlilik, ormansızlaşma ve ekosistem restorasyonu üzerindeki etkilere odaklanır.

ESRS E5: Kaynak Kullanımı ve Döngüsel Ekonomi: Kaynak verimliliği, atık yönetimi ve döngüsel uygulamaları ele alır.

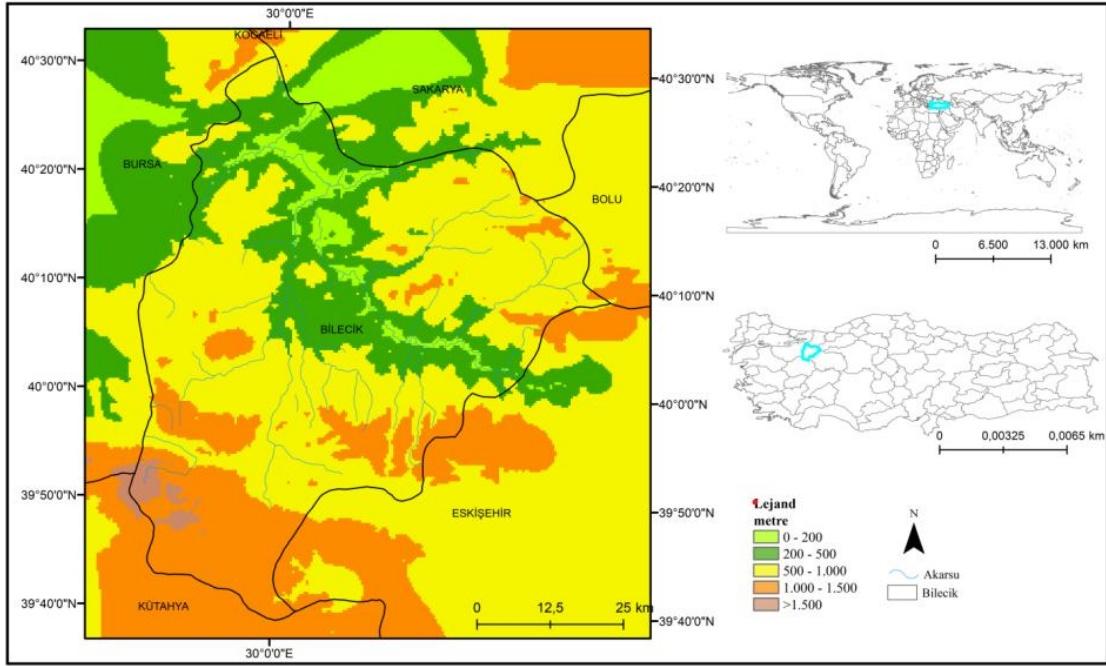


7. MATERYAL VE METOT

7.1. Materyal

7.1.1. Çalışma alanı ve özellikleri

Bilecik ili, Marmara Bölgesi'nin Güney Marmara bölümünde yer almakta olup, 39° ile 40°31' kuzey enlemleri ile 29°43' ile 30°41' doğu boylamları arasında konumlanmaktadır (Mentese ve Koca, 2022).

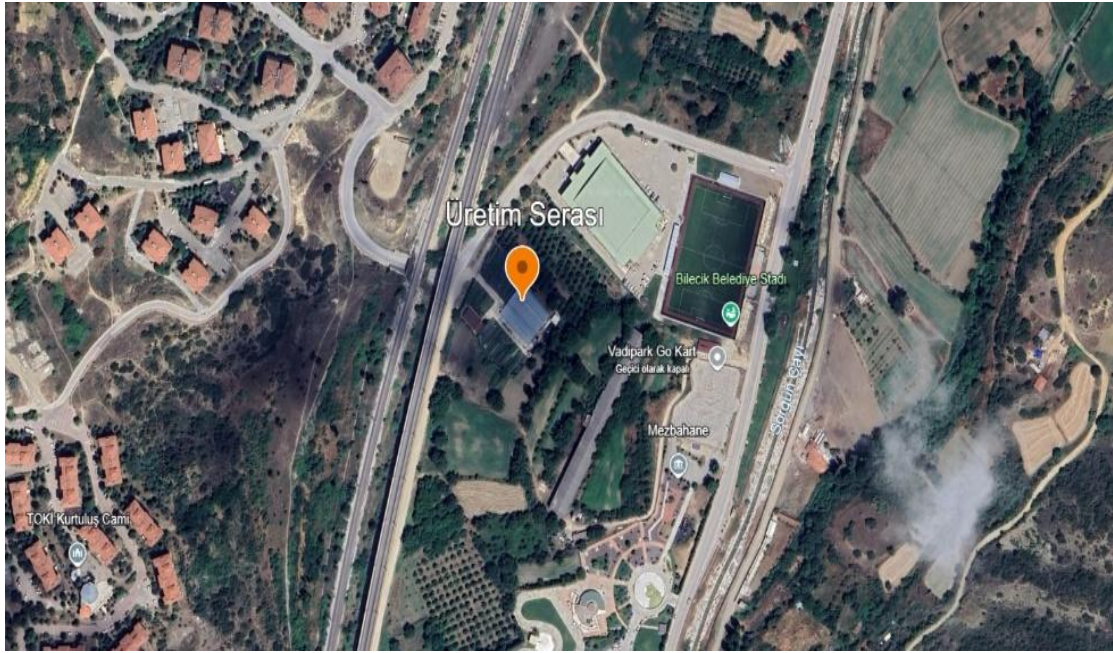


Şekil 7.1. Bilecik İli Lokasyon Haritası (Mentese, 2022).

İklim açısından Bilecik, Akdeniz iklimi ile step iklimi arasında geçiş bölgesinde yer almakta olup, yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise ılık ve yağışlı geçmektedir (Aygün, 1998). Sıcaklıklar kuzeyden güneye ve batıdan doğuya doğru azalmaktadır. Yıllık sıcaklık ortalaması 12,6°C olup, yıllık yağış miktarı 460,6 mm'dir (MGM, 2024). Bilecik ilinin başlıca akarsuyu Sakarya Nehri olup, il topraklarına İnhisar ilçesi yakınlarında girer ve doğu-batı yönünde ikiye böler. Ayrıca, Karasu Deresi ve Göksu Çayı da önemli su kaynaklarındandır. Bilecik sınırları içerisinde yer alan Çerkeşli Gölü, ilin tek doğal gölüdür (Bilecik Valiliği, 2025). Bilecik ilinin topraklarının büyük bir kısmını (%59,7) kahverengi orman toprakları oluşturur. Diğer önemli toprak grupları arasında kireçsiz kahverengi orman toprakları (%32,5) ve alüvyal topraklar (%4,2) yer alır. Bilecik ilindeki bitki örtüsü, yer şekillerine bağlı olarak kuzeyden güneye ve batıdan doğuya farklılık gösterir. Orman, maki ve step alanları, ilin bitki örtüsü gruplarını oluşturur. Kızılçam, karaçam, meşe, ardıç ve kayın gibi ağaç türleri yaygındır. Alçak bölgelerde

kızılçam, yüksek bölgelerde ise karaçam ve meşe türleri bulunur. Ayrıca, Bilecik'te, ekolojik koşullar nedeniyle "çimtein" ve "ters lale" gibi endemik bitkiler yetişmektedir (MEB, 2021).

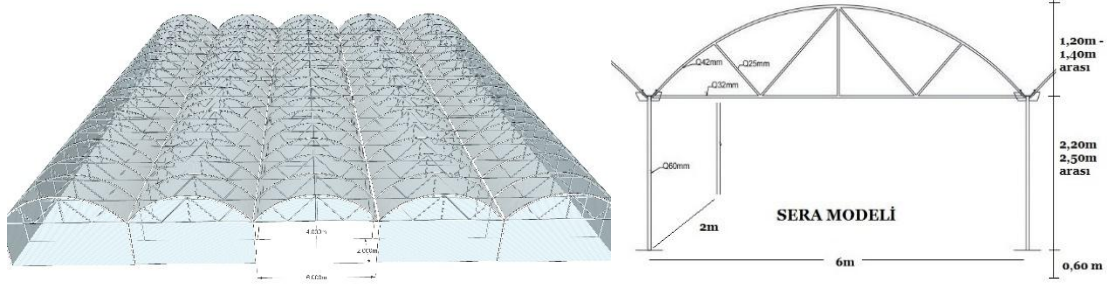
Bu çalışma, Bilecik Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü'ne bağlı üretim serasında gerçekleştirilmiştir(Şekil 7.2). Serada lavanta çeliklerinin üretimi, gelişimi ve dış ortamda dikime hazır hale gelme sürecinin beşikten mezara yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılarak lavanta bitkilerinin çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Araştırma alanı olan sera içi kontrollü ortamda gerçekleştirilmiştir ve sulama işlemi sisleme yöntemiyle sağlanmıştır.



Şekil 7.2. Bilecik Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğüne ait Alanının Uydu Görüntüsü

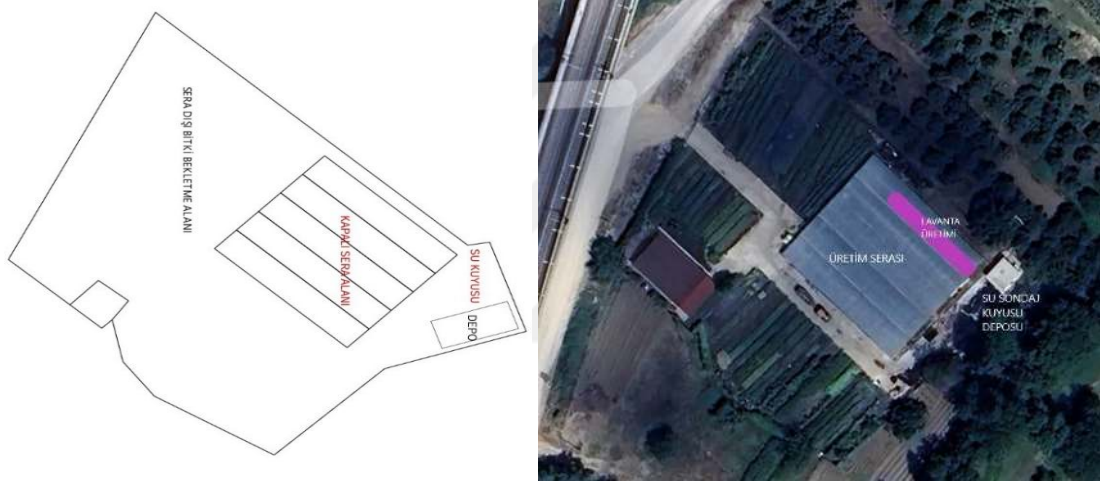
Kaynak: (Google Earth, 2024).

Bilecik Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğüne ait 175-200 mikron kalınlığında, UV, IR, EVA katkılı, şeffaf plastik malzeme kaplı, silindirik çatı tipli orta büyüklükte kurulan üretim serası kullanılmıştır. Sera 6,00m x 34,00m ebatlarında 5 blok birleşik halde olup (6,00m x 5 blok = 30m) mahya yüksekliği 4 m'dir ve çatı 30° açıyla eğimlendirilmiştir. Her blokta 2 adet olmak üzere toplam 10 adet havalandırma penceresi bulunmaktadır. Ayrıca sera tünelleri yanlardan açılıp havalandırılabilir şekilde tasarlanmıştır. Tüm sistem 80kg/m² kar yüküne, 80km/h rüzgâr yüküne dayanıklı olarak imal edilmiştir. Tohum, fide ve çelik üretimi amacıyla tasarlanmış üretim seraları yuvarlak çatılı plastik seralardır (Şekil 7.3).



Şekil 7.3. Yuvarlak Çatılı Plastik Sera Modeli (Bilecik Belediyesi Üretim Serası)

Bilecik Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü'ne ait Lavanta (*Lavandula angustifolia* sp.) ve diğer bitki türlerinin de yetiştirildiği 5 dönümlük sahanın 1000 m² lik alanı kapalı sera üretim alanı olarak kullanılmaktadır. Lavanta bitkisi kapalı sera üretim alanının 200 m² lik kısmına yerleştirilmiştir ve tüm çalışma bu alanda yürütülmüştür (Şekil 7.4).



Şekil 7.4. Sera Üretim Alanı.

Lavanta yetiştiriciliği çelik alımıyla başlayarak 7-8 cm uzunluğuna ulaşan lavanta çeliklerinin viyollara düzenli şekilde dikilmesiyle devam eder. Çalışmada lavanta çeliklerinin gelişim süreçleri detaylı olarak anlatılmıştır.

7.1.2. Çalışma materyali ve üretim girdileri

Lavantanın üretimi, anaç bitkilerden çeliklerin alınmasıyla başlamaktadır. Bu yöntem, bitkilerin genetik olarak aynı özelliklere sahip bireyler oluşturmaya olanak tanır (Hartmann ve Kester, 2002). Vejetatif çoğaltma, özellikle tarım ve bahçecilik sektörlerinde büyük öneme sahiptir ve bitkilerin genetik saflığını koruyarak, ticari ölçekte yüksek verim sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Kara ve Baydar, 2020; Turgut vd., 2024). Çelikleme yöntemi, lavanta yetiştiriciliğinde en yaygın ve pratik kullanılan çoğaltma şeklidir.

Bitkinin yarı odunsu dallarından alınan çelikler, uygun şekilde hazırlanarak köklendirme ortamına dikilir. Alt yaprakları temizlenen çelikler, çoğunlukla ilkbahar veya sonbahar döneminde alınır ve serada köklendirilir. Seralarda ortam sıcaklığı, nem oranı ve ışık gibi faktörler kontrol altında tutulduğu için köklenme başarısı oldukça yüksektir. Bazı bitkilerde köklenme kapasitesi düşük olabilir, ancak bitki büyüme düzenleyicilerinin (örneğin oksin ve sitokinler) kontrollü bir şekilde kullanılması, kök gelişimini optimize edebilir. Çalışmada lavantaların gelişim süreci boyunca çeşitli tarım ilaçları ve yaprak gübreleri uygulanmıştır. Ayrıca modern sisleme sistemlerinin kullanımı, köklenme oranlarını artırmak için önemli bir faktördür (Hartmann vd, 2011). Çelikler, uygun karışım ortamında köklendirme hormonuyla desteklenerek viyollere dikilmiştir. Çelik dikimi için en yaygın kullanılan materyaller arasında torf, perlit, vermikülit, kokopit ve bunların çeşitli oranlarda karışımları yer alır (Şekil 7.5). Bu materyallerin her birinin su tutma kapasitesi, hava geçirgenliği ve pH düzeyi farklıdır.



Şekil 7.5. Bilecik Belediyesi Üretim Serası Toprak Hazırlığı.

Sera içerisinde lavanta yetiştiriciliği, özellikle su kaynaklarının verimli kullanımı açısından dikkatle planlanması gereken bir süreçtir. Bu çalışmada, lavanta bitkilerinin sulanması için sondaj kuyusundan sağlanan yeraltı suyu kullanılmıştır. Sera ortamında sisleme yöntemiyle sulama yapılmıştır (Şekil 7.6). Otomatik sisleme sistemleri, istenilen nem ortamını sürekli ve kontrollü bir şekilde sağlayarak çeliklerin su kaybetmesini önler. Sisleme sistemleri, belirli aralıklarla ortama ince su zerrecikleri püskürterek hava nemini artırır ve ortam sıcaklığını düşürerek köklendirme ortamının daha stabil kalmasını sağlar. Bu sistemler, çeliklerin yaprak yüzeylerini periyodik olarak ıslatarak su kaybını minimize eder ve köklenme sürecini destekler (Schnelle vd., 2005; UMass Extension, 2023). Böylece hem buharlaşma azaltılır hem de çeliklerin strese girmesi önlenmiş olur. Sera içerisinde lavanta çeliklerinin sulanmasında

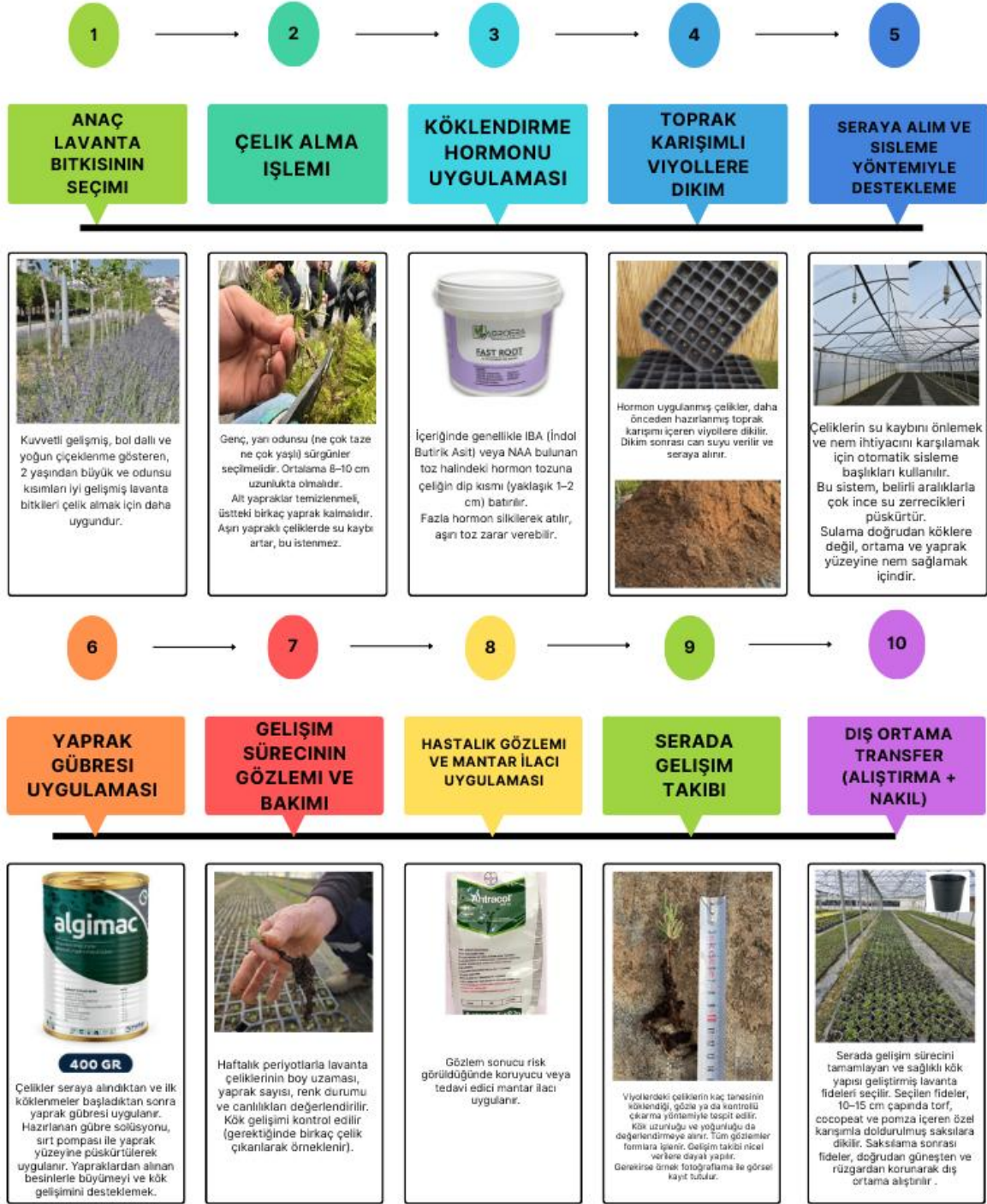
Netafim marka mikro-sprinkleri/emitörleri baş aşağı montajlı şekilde sulama için homojen dağılımı sağlayacak şekilde yerleştirilmiştir. Üretim serası sulama sistemi Şekil 7.6'da gösterilmiştir.



Şekil 7.6. Bilecik Belediyesi Üretim Serası Sulama Sistemi.

Netafim SPINNET™, damla sulama teknolojisinin en gelişmiş örneklerinden biri olup, suyun etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamakta ve su israfını en aza indirmektedir. Bu sistem, özellikle sera koşullarında yüksek verimlilik ve homojen su dağılımı sağlamasıyla öne çıkmaktadır. Bu sayede, buharlaşma ve yüzey akışı kaynaklı su kayıpları en aza indirilmektedir. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yayımlanan Su Verimliliği Yönetmeliği (2024) kapsamında, sulama sisteminin kullanımı, su tüketiminin azaltılması ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı açısından önemli bir adım olarak değerlendirilebilir.

Üretim serası içerisinde anaç bitkiden alınan çeliklerin çoğaltılarak yetiştirilen lavantaların dış ortama transfere kadar geçen süreçler şekil 7.7'de verilmiştir.



Şekil 7.7. Lavanta Üretim Akış Şeması.

Tüm bu uygulamalar yaklaşık 8 aylık bir süreçte sürdürülmüştür. Tüm bu aşamalarda kullanılan tarımsal girdiler su ayak izi ve karbon ayak izi hesaplamaları için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

7.2. Metot

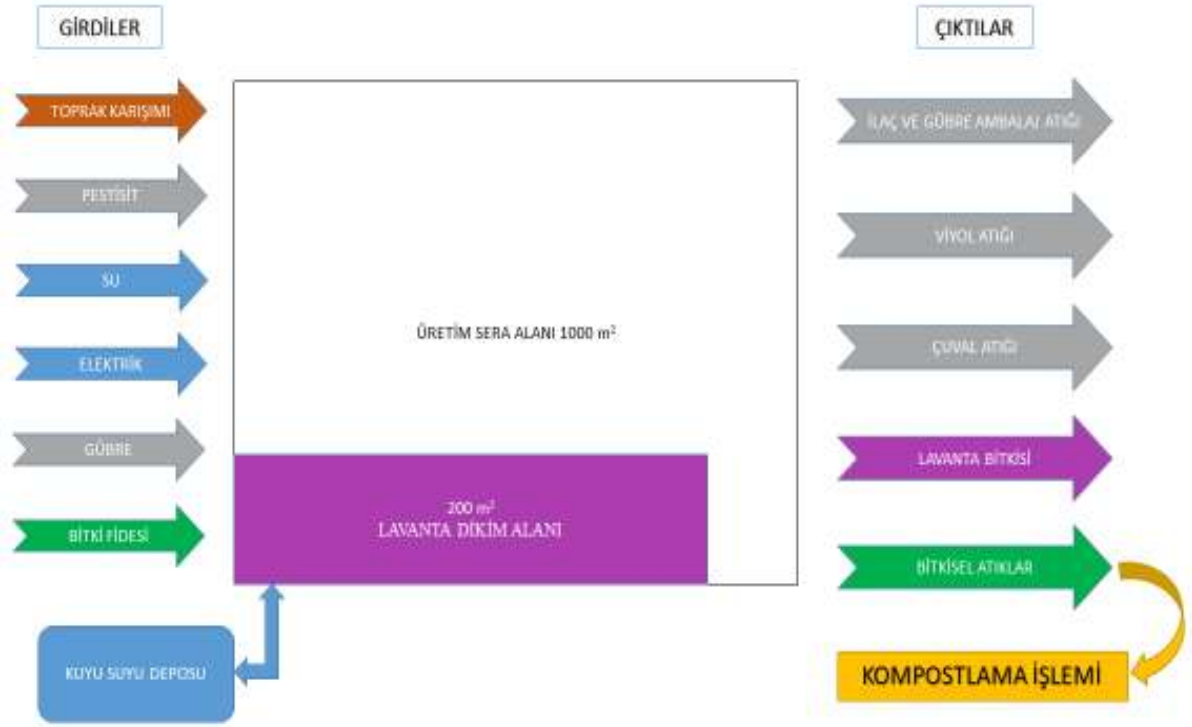
Çalışmada, Bilecik Belediyesi'ne ait 200 m²'lik üretim serasında 8 ay boyunca yetiştirilen *Lavandula angustifolia* fidelerinin “beşikten mezara” yaşam döngüsü değerlendirmesini (LCA) yapılarak üretim sürecinin çevresel etkileri ortaya konması hedeflenmiştir. ISO 14040:2006 ve 14044:2006 standartlarına uygun şekilde beşikten mezara olarak analizler gerçekleştirilmiştir. Kapsam 2 ve Kapsam 3 emisyonlarını içerecek şekilde: Girdi malzemelerinin üretimi (hormonlar, gübre, ilaç, viyol, saksı vb.), enerji ve su kullanımı (elektrik, yüksek su stresi altındaki bölgelerden alınan su), lojistik ve taşıma faaliyetleri (girdi malzeme tedariki), atıkların bertarafı ve geri dönüşüm süreçleri, lavanta bitkisi atığının kompostlama yoluyla bertarafı, değerlendirme kapsamına alınmıştır.

Çalışmada sistem sınırı olarak Bilecik Belediyesine ait üretim sera alanı seçilmiştir (Şekil 7.8). Fonksiyonel birim olarak belediyeye ait 200 m²'lik serada bir üretim döneminde yetiştirilen 8670 adet lavanta fidesi kabul edilmiştir. Bu doğrultuda, çevresel etkiler Belediyenin üretim serası alanının 200 m² lik peronunda lavanta yetiştirilmesi üzerinden hesaplanmıştır. Aynı zamanda çalışmada farklı senaryolara ölçeklenebilir karşılaştırmalar yapılması amaçlanmıştır.

Yaşam döngüsü çalışması IDEMAT2025.version6 data seti kullanılarak ReCiPe2016 ve TRACI Metodlarına göre 200 m²'lik üretim alanı ve 1 adet lavanta fidesinin çevresel etkisi belirlenmiştir. Çalışma boyunca karbon ayakizi, ekolojik maliyet, kümülatif enerji talebi, su ayakizi, Avrupa Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları (ESRS)'e göre çevresel maliyetleri değerlendirilmiştir. Tüm hesaplamalar Eşitlik 1'e göre gerçekleştirilmiştir (7.1). Emisyon faktörü verileri IDEMAT2025.version6 data setinden sağlanmıştır.

$$\text{Emisyon} = \text{Faaliyet Verisi} * \text{Emisyon Faktörü} \quad (7.1)$$

Verilerde belirsizlikler %10 (mükemmel eşleşme), %30 (ikame veri), %100 (yüksek belirsizlik) oranları ile yönetilmiştir.



Şekil 7.8. Çalışma Kapsamında Lavanta Yetiştiriciliği İçin Ele Alınan Sistem Sınırları.

Çalışmada lavanta yetiştiriciliği için kullanılan 200 m²'lik peronda ihtiyaç duyulan hammadde, enerji, su tüketimi, taşıma ve atıkların bertarafı envanter bilgileri Tablo 7.1'de paylaşılmıştır. Lavantaya ait çevresel etkilerin belirlenmesinde bu veriler kullanılmıştır. Yaprak gübresi (büyüme hızlandırıcı) çok küçük değere sahip olduğu için sistem girişlerinde hesaplamalara dahil edilmemiştir. Köklendirme ortamı için kullanılan toprağın sera arazisindeki doğal ortamdan temin edilmesi nedeniyle hesaplama dışı bırakılmıştır.

Tablo 7.1. Bilecik Belediyesi'ne Ait Seradaki Lavanta Peronuna Ait Envanter Verileri.

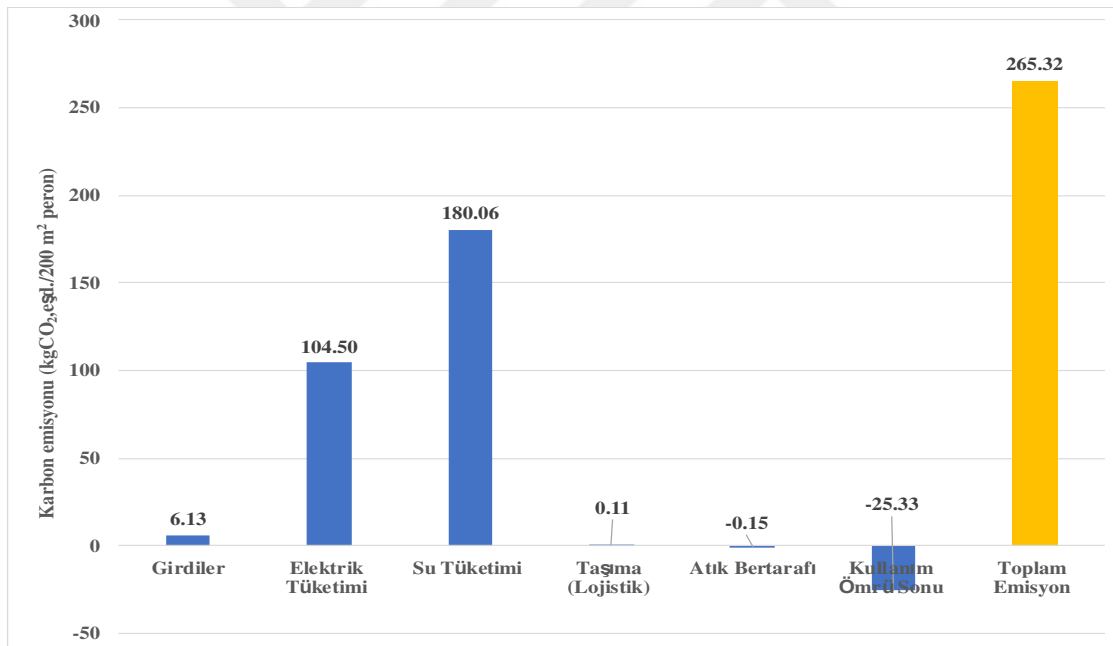
Aşamalar	Girdiler/Çıktılar	Miktar	Idemat2025 Database Adı
Girdiler (kg)	Köklendirici Hormon Naphthyl acetamide: 2000 ppm, Naphthyl acetic acid: 3500 ppm, İndol Butirik Asit (IBA): 2500 ppm	0,06875	Naftalinler
		0,03125	Bütan oksidasyonu ile formik asit üretimi
	Yaprak Gübresi (Büyüme hızlandırıcı)	0,016	
	Mantar İlacı (fungusit)	0,8	Ferbam (Iron(III) Dimethyldithiocarbamate)
	Köklendirme Ortamı (Toprak)		
	Viyol (48 göz yapısında)	0,06	PP (Polipropilen)
	Saksı (Fideleme sonrası)	0,055	PP (Polipropilen) kimyasal geri dönüştürülmüş
	Polipropilen big bag torba (1000 kg SWL, 5:1 SF, dairesel PP big bag)	1,5	PE (HDPE Yüksek Yoğunluklu Polietilen) kimyasal geri dönüştürülmüş
Proses	Su Tüketimi (m ³)	286,2	Yüksek su stresi (BWS %40-80) içme suyu
	Elektrik Tüketimi (MJ)	629,64	Türkiye elektrik üretimi
Taşıma (km)	Köklendirici Hormon, 250 gr	333	Kamyon + Römork (Net 24 ton taşıma kapasitesi, B7 sınıfı) – Minimum ağırlık/hacim oranı: 0,32 ton/m ³ – (tkm bazında)
	Yaprak Gübresi (Büyüme hızlandırıcı),_400 gr	451	Kamyon + Römork (Net 24 ton taşıma kapasitesi, B7 sınıfı) – Minimum ağırlık/hacim oranı: 0,32 ton/m ³ – (tkm bazında)
	Mantar İlacı (fungusit),_800 gr	10158	Konteyner gemisi (Minimum ağırlık/hacim oranı: 0,41 ton/m ³)
	Mantar İlacı (fungusit),_800 gr	926	Kamyon + Römork (Net 24 ton taşıma kapasitesi, B7 sınıfı) – Minimum ağırlık/hacim oranı: 0,32 ton/m ³ – (tkm bazında)
Atıklar (kg)	Plastik Ambalaj (PP)	0,015	PP (Polipropilen), Belediye atığının elektrik üreterek yakılması
	Metal Kutu	1	Metaller açık çevrim geri dönüşümü
	Lamineli plastik/alüminyum	0,03	Alüminyum geri dönüşüm, kapalı çevrim (% 79 bakır parça ticaret karması)
	Viyol (PP)	0,2	PP (Polipropilen) kapalı döngü kimyasal geri dönüşüm
	Saksı (Fideleme sonrası)_PP Saksı S1142 (1.5L)	0,055	PP (Polipropilen) kapalı döngü kimyasal geri dönüşüm
Kullanım Ömrü Sonu	Lavanta bitkisi atığı, kg	1500	Organik atıkların kompostlanması (nakliyesiz)

8. BULGULAR

Çalışmada, 200 m²'lik üretim alanı ve 1 adet lavanta fidesinin çevresel etkisi araştırılmıştır. Bu doğrultuda karbon ayak izi, ekolojik maliyet, enerji tüketimi, su ayak izi, ESRS'e göre çevresel maliyetleri belirlenmiştir.

8.1. Karbon Ayak İzi

Lavanta fidelerinin yetiştirilmesi ve sahada dikilerek üretilmesi süresince oluşan karbon emisyonu değerleri Şekil 8.1'de verilmiştir. 200 m²'lik peronda yetiştirilen lavanta fidelerinin toplam karbon ayak izi 265.32 kg CO₂. eşd. olarak belirlenmiştir. Karbon ayak izini en fazla artıran süreçler sırasıyla 180.06 kg CO₂. eşd. su tüketimi ve 104.5 kg CO₂. eşd. ile elektrik tüketimi kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Pestisit, fungusit, gübre gibi girdilerin neden olduğu karbon ayak izi 6.13 kg CO₂. eşd. olduğu gözlenmiştir. 1 adet lavanta fidesinin karbon ayak izi 0.03 kg CO₂. eşd.'dir.

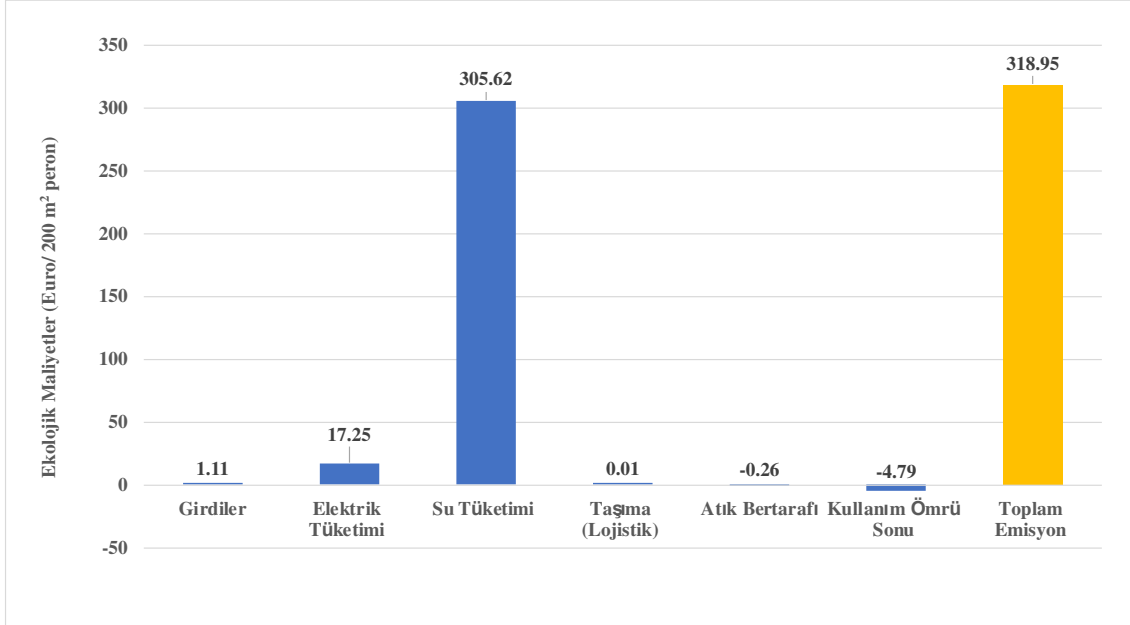


Şekil 8.1. Lavanta yetiştirilmesinde oluşan karbon ayak izi (200 m² peron ve 8670 adet fide).

8.2. Ekolojik Maliyet

Lavanta fidelerinin yetiştirilmesi ve sahada kullanılmasına bağlı olarak oluşan ekolojik maliyet araştırılmıştır. 200 m²'lik peronda yetiştirilen lavanta fidelerinin toplam ekolojik maliyeti 318.95 Euro olduğu belirlenmiştir. Bu maliyetin 305.62 Euro değeri su tüketiminden kaynaklandığı tespit edilmiştir (Şekil 8.2). 1 adet lavanta fidesinin ekolojik maliyeti 0.037 Euro'dur. 1 adet lavanta fidesinin su tüketimine bağlı ekolojik maliyeti ise 0.035 Euro'dur.

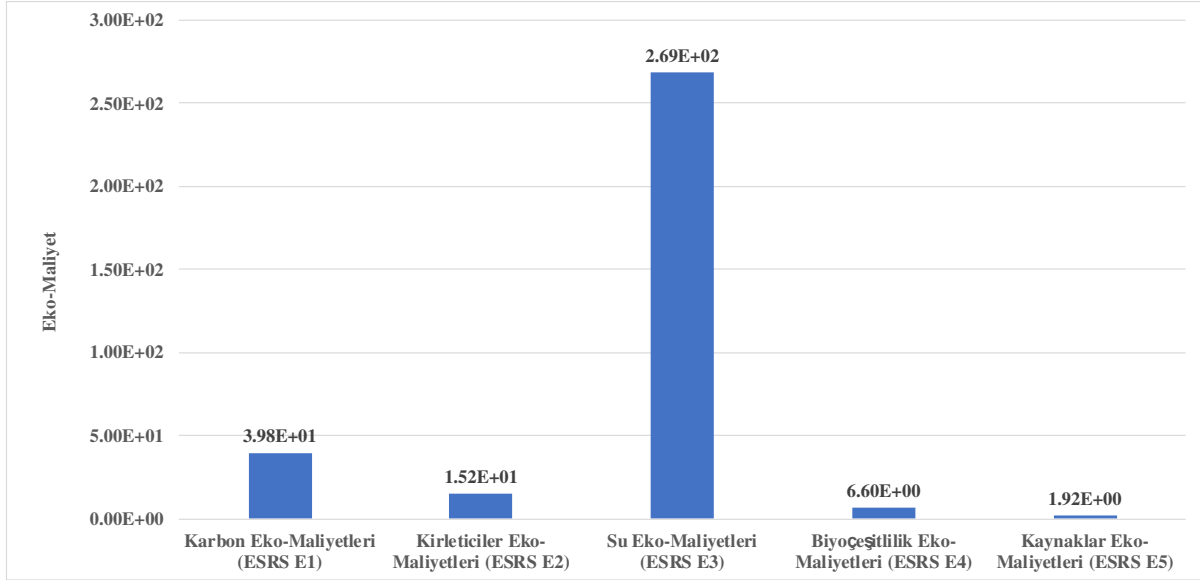
Türkiye su stresi yüksek ülkeler arasındadır. Bu nedenle IDEMAT2025 verilerinden yüksek su stresi EF verileri kullanılarak hesaplar gerçekleştirildiği için su tüketimi kaynaklı ekolojik maliyet değerleri yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 8.2. Lavanta yetiştirilmesinde oluşan ekolojik maliyetler (200 m2 peron ve 8670 adet fide).

8.3. ESRS'e göre Çevresel Maliyetler

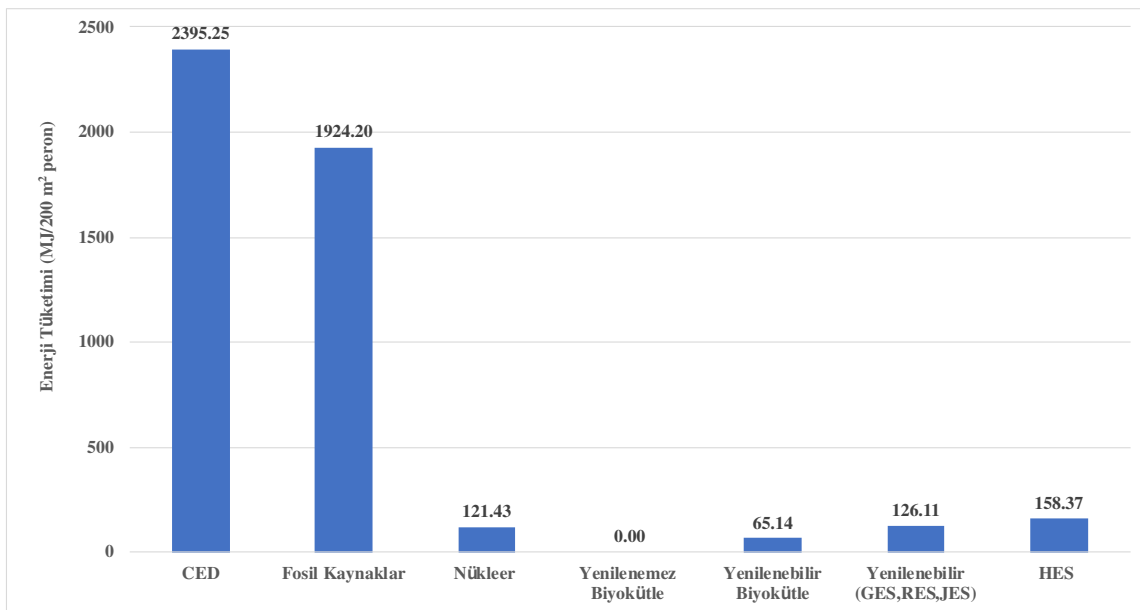
Avrupa Birliği'nin Kurumsal Sürdürülebilirlik Raporlama Direktifi (CSRD), neredeyse tüm kuruluşların ESG (Çevresel, Sosyal ve Yönetişim) alanındaki riskleri ve fırsatları hakkında bilgi açıklamasını zorunlu kılar. CSRD' nin gerekli ayrıntıları, ayrı olarak Avrupa Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları'nda (ESRS) açıklanmaktadır. Çevre alanları odağında İklim Değişikliği (ESRS E1), Kirleticiler (ESRS E2), Su ve deniz kaynakları (ESRS E3), Biyolojik çeşitlilik ve ekosistemler (ESRS E4), Kaynak kullanımı ve döngüsel ekonomi (ESRS E5) konuları ayrı olarak ele alınmıştır (<https://www.ecocostsvalue.com/csrd/>). Lavanta fidelerinin yetiştirilmesi ve sahada kullanılmasına bağlı olarak en fazla su kaynaklarından kaynaklı eko maliyetin (ESRS E3) olduğu gözlenmiştir (Şekil 8.3). 8.2. Ekolojik Maliyet bölümünde su tüketimine bağlı ekolojik maliyetin yüksek olduğu bilgisini desteklemektedir.



Şekil 8.3. Lavanta yetiştirilmesinde ESRS'e göre eko-maliyetler (200 m² peron ve 8670 adet fide).

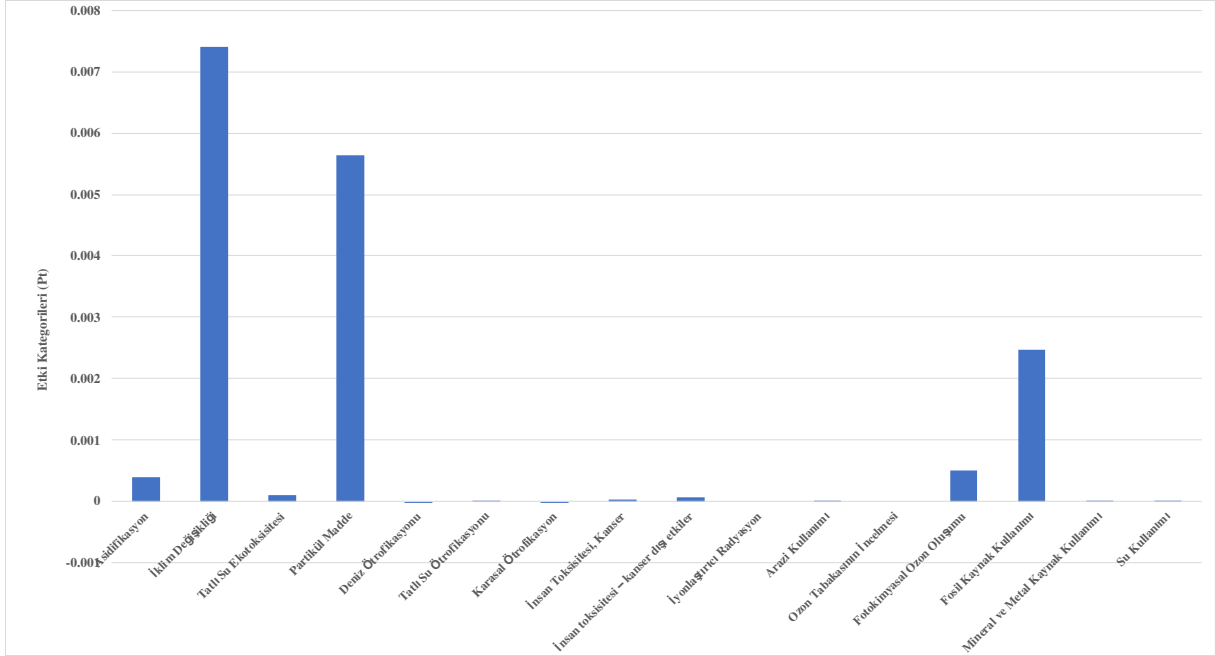
8.4. Kümülatif Enerji Talebi

Yenilenebilir ve yenilenemez kaynakların enerji gereksinimleri arasında ayrım yapmak için kümülatif enerji talebi (CED) metodolojileri kullanılmıştır (Wiesen ve Wirges, 2017; Huijbregts vd. 2010). CED, bir ürün veya hizmetin yaşam döngüsü boyunca enerji tüketimini ifade etmek için oluşturulmuş bir etki göstergesidir, bu nedenle uluslararası alanda enerji kaynaklarının tükenmesiyle ilgili çevresel etkilerin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Huijbregts vd. 2010). 8 ay boyunca 200 m² peron içinde lavanta fidelerinin yetiştirilmesi için gerekli kümülatif enerji 2395.25 MJ olduğu belirlenmiştir. Bu enerjinin 1924.20 MJ'ü fosil kaynaklardan sağlanmıştır (Şekil 8.4).



Şekil 8.4. Lavanta yetiştirilmesinde kümülatif enerji gereksinimi (200 m² peron ve 8670 adet fide).

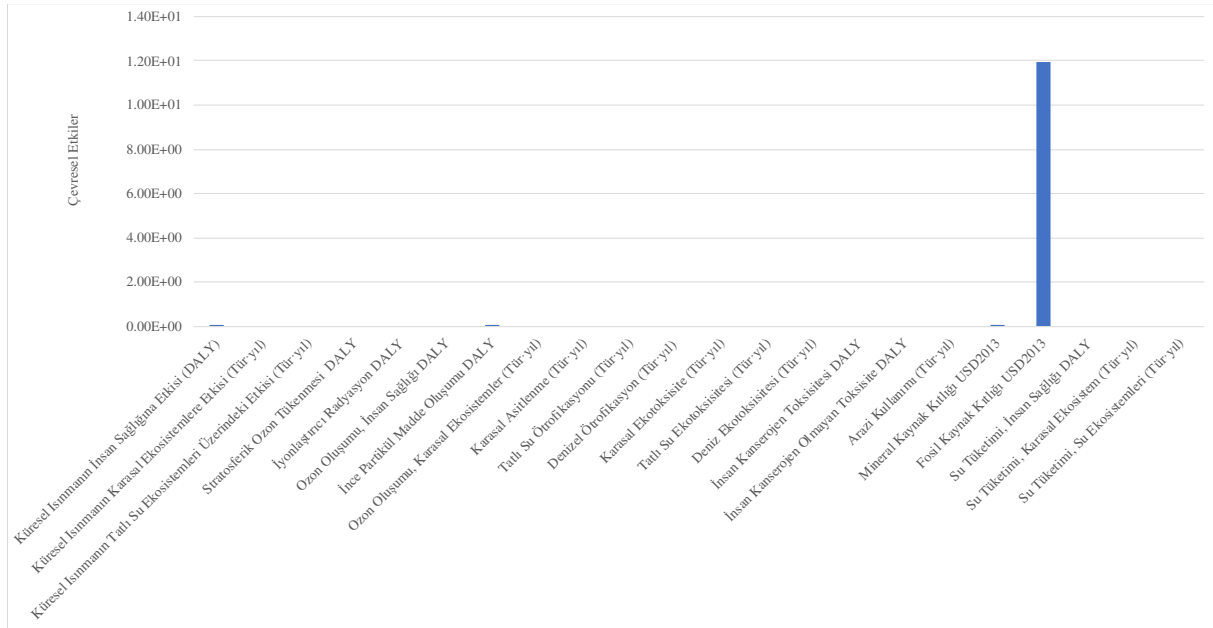
Kümülatif enerji gereksinimi metodolojisine göre çevresel etki kategorileri incelendiğinde en fazla etkinin iklim değişikliği üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda fosil yakıt kullanımına bağlı olarak partikül madde değerinin yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 8.5).



Şekil 8.5. Lavanta yetiştirilmesinde kümülatif enerji gereksiniminin çevresel etki kategorileri (200 m² peron ve 8670 adet fide).

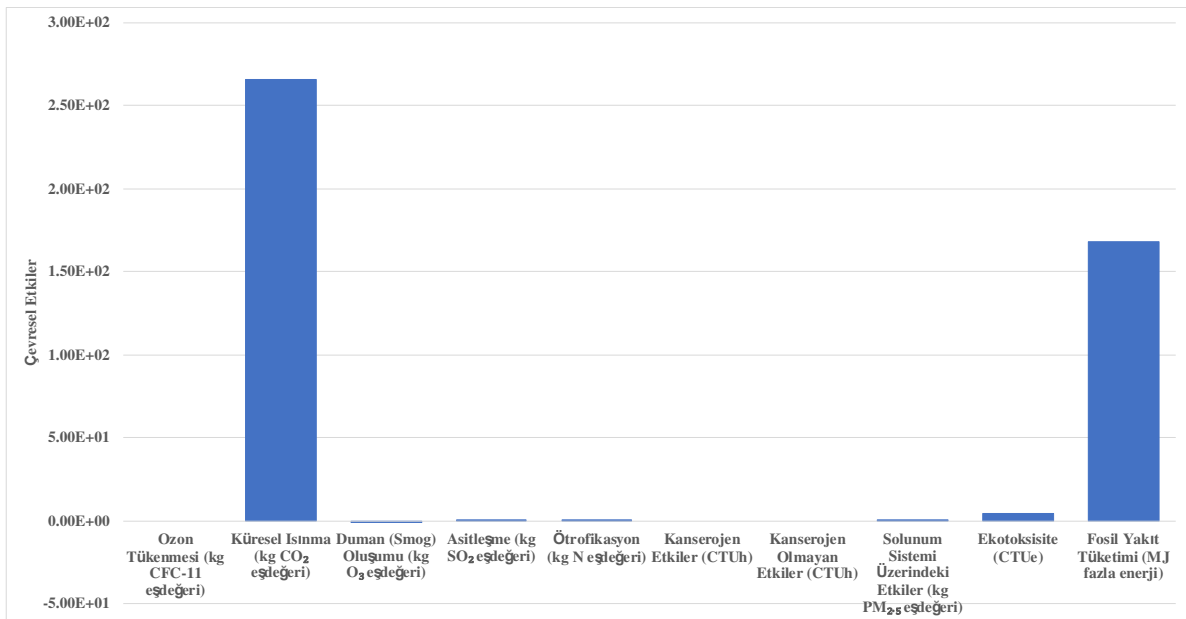
8.5. Çevresel Etkiler

Yaşam döngüsü analizlerinde etki kategorilerinin ayrıntılı olarak ele alındığı metod, ReCiPe2016'dır. 8 ay boyunca 200 m² peron içinde lavanta fidelerinin yetiştirilmesi ve sahada kullanılmasına bağlı olarak oluşan çevresel etkiler detaylı olarak incelenmiştir. Enerji tüketiminde kullanılan fosil yakıt kaynaklı olarak "Fosil Yakıt Kıtılığı" kategorisinin etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8.6).



Şekil 8.6. Lavanta yetiştirilmesinde ReCiPe2016 metoduna göre çevresel etki kategorileri (200 m² peron ve 8670 adet fide).

Kimyasal ve Diğer Çevresel Etkilerin Azaltılması ve Değerlendirilmesi Aracı (TRACI) metodu ozon tabakasının incelenmesi, küresel ısınma, asitlenme, ötrofikasyon gibi potansiyel etkileri olan stres faktörlerinin niceliksel olarak belirlenmesine olanak tanır. 8 ay boyunca 200 m² peron içinde lavanta fidelerinin yetiştirilmesi ve sahada kullanılmasına bağlı olarak TRACI metoduna oluşan çevresel etkiler detaylı olarak incelenmiştir (Şekil 8.7). Fosil yakıt tüketimi ve buna bağlı olarak küresel ısınma potansiyelinin yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 8.7. Lavanta yetiştirilmesinde TRACI metoduna göre çevresel etki kategorileri (200 m² peron ve 8670 adet fide).

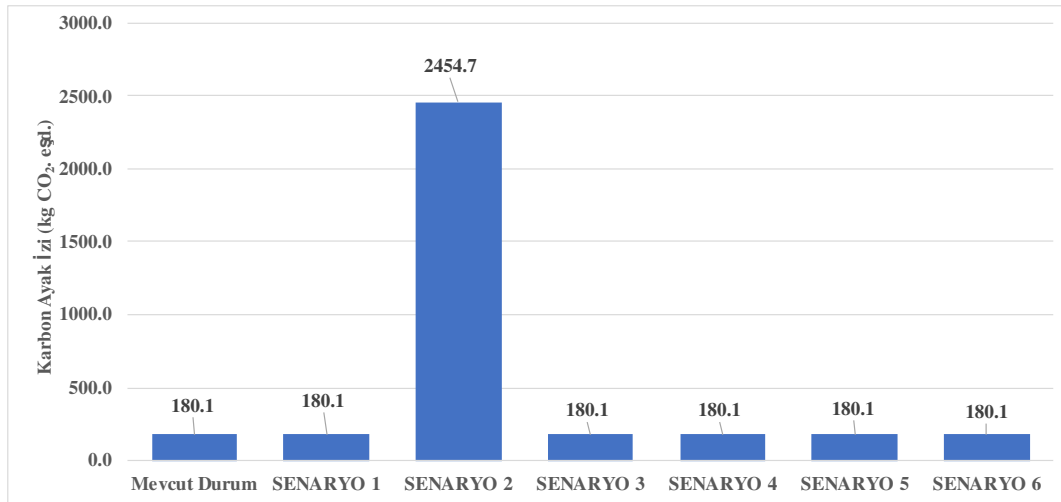
8.6. Su Ayak İzi

Bölüm 8.2 ve 8.3’de su tüketimine bağlı olarak ekolojik maliyetlerin yüksek olduğu belirlenmiştir. Ekolojik maliyetleri düşürebilmek için IDEMAT2025 verilerine bağlı olarak farklı senaryolar geliştirilmiştir (Tablo 8.1). Tüm senaryolar için mevcut durumdaki mavi su tüketimi olan 286.2 m³ miktarı kabul edilmiştir. Sera kapalı alanda yağmur suyu kullanılmadığı için yeşil su miktarı sıfırdır. Atık su oluşmadığından gri su miktarı da sıfırdır.

Tablo 8.1. Su Tüketimine Bağlı Kabul Edilen Senaryolar.

	IDEMAT2025
Mevcut Durum	Yüksek su stresine sahip içme ve soğutma suyu (BWS %40–%80)
SENARYO 1	Su stresi olmayan bölgeden temin edilen içme suyu.
SENARYO 2	Endüstriyel kullanım amaçlı arıtılmış (ters ozmoz) su
SENARYO 3	Düşük su stresine sahip içme ve soğutma suyu (BWS <%10)
SENARYO 4	Düşük-orta su stresine sahip içme ve soğutma suyu (BWS %10–%20)
SENARYO 5	Orta-yüksek su stresine sahip içme ve soğutma suyu (BWS %20–%40)
SENARYO 6	Çok yüksek su stresine sahip içme ve soğutma suyu (BWS > %80)

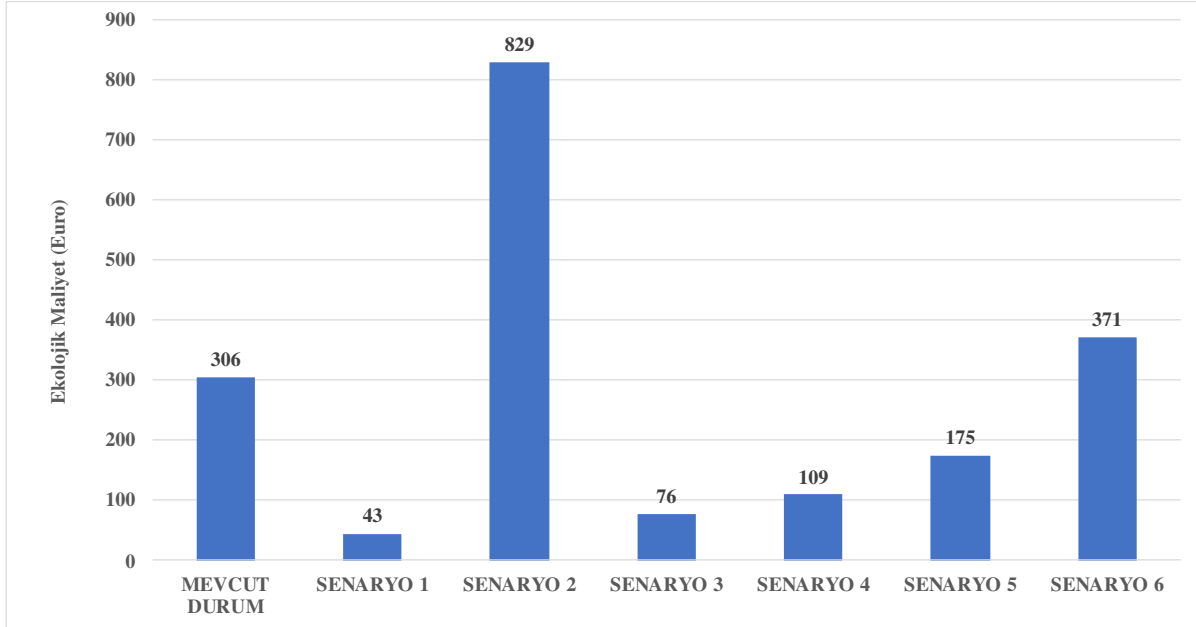
Lavanta yetiştiriciliğinin su tüketimine bağlı karbon ayak izinin, farklı senaryolar özelinde değerlendirildiğinde ters osmoz sisteminin yer aldığı Senaryo 2 için karbon emisyonun yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 8.8). Diğer senaryolarda oluşan karbon emisyonu mevcut durum ile aynı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 8.8. Lavanta yetiştirilmesinde su tüketimine bağlı farklı senaryolara göre karbon ayak izi (200 m² peron ve 8670 adet fide).

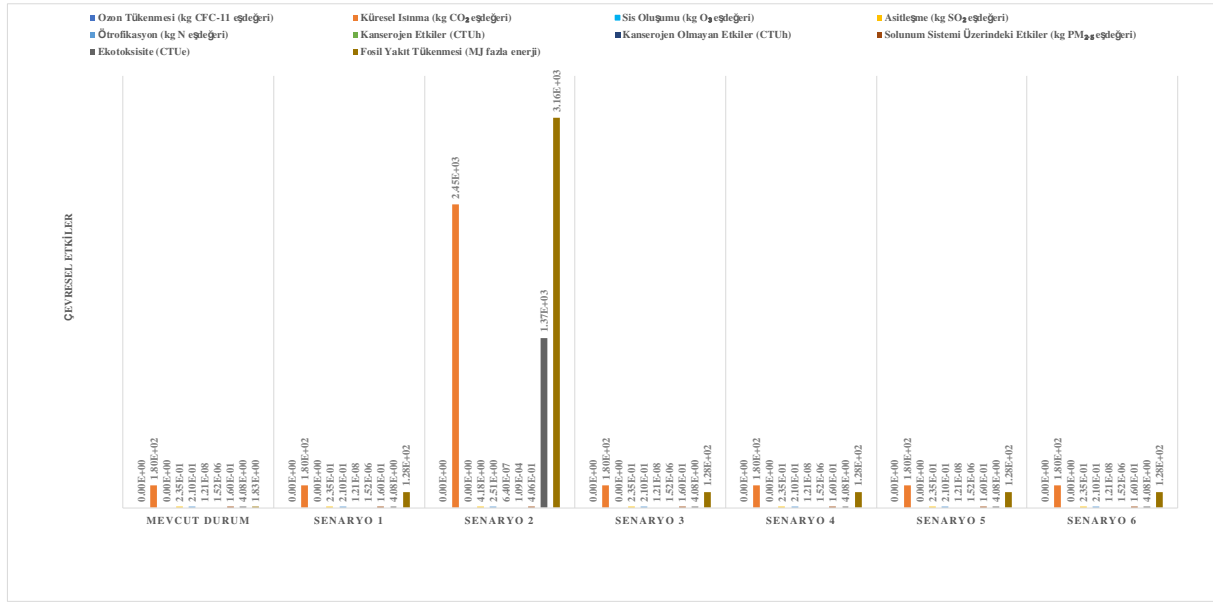
Lavanta yetiştiriciliğinin su tüketimine bağlı ekolojik maliyetin, farklı senaryolar özelinde değerlendirildiğinde mevcut durumun ekolojik maliyeti 306 Euro ve ters osmoz

sisteminin yer aldığı Senaryo 2’nin ekolojik maliyeti 829 Euro ile en yüksek değer olduğu gözlenmiştir. Çok yüksek su stresine sahip ülkeler için olan Senaryo 6’nın ekolojik maliyeti 371 Euro’dur. En düşük ekolojik maliyetin gözlemlendiği Senaryo 1 ise su stresi olmayan bölgeler için olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8.9).



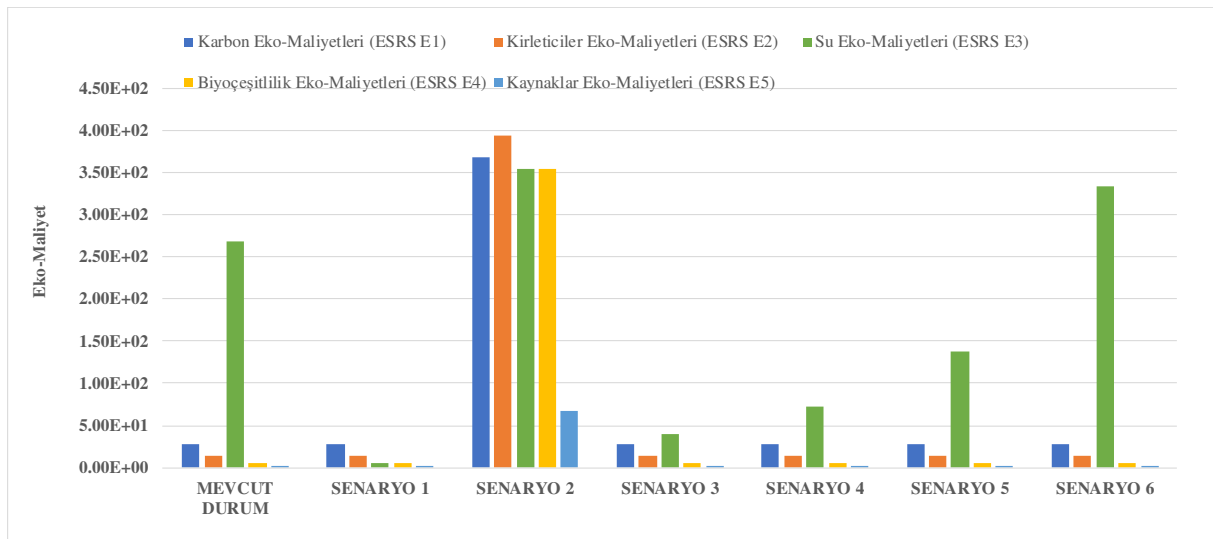
Şekil 8.9. Lavanta yetiştirilmesinde su tüketimine bağlı farklı senaryolara göre ekolojik maliyet (200 m² peron ve 8670 adet fide).

Lavanta yetiştiriciliğinin su tüketimine bağlı TRACI metodu çevresel etkileri, farklı senaryolar özelinde değerlendirilmiştir. 8.5. Çevresel Etkiler bölümünde mevcut durumun çevresel etkileri TRACI ve ReCiPe2016 metodlarına göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir ve detaylı sonuçların alındığı ReCiPe2016 etki kategorilerinin mevcut durum üzerinde etkisi oldukça küçük olduğu belirlendiğinden dolayı su tüketimi senaryoları için TRACI metodu çevresel etkilerinin incelenmesi tercih edilmiştir. Ters Osmoz sistemin kullanıldığı Senaryo 2’nin çevresel etkilerinin yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 8.10).



Şekil 8.10. Lavanta yetiştirilmesinde su tüketimine bağlı farklı senaryolara göre TRACI metodu çevresel etkileri (200 m² peron ve 8670 adet fide)

Bölüm 8.3’de lavanta fidelerinin yetiştirilmesi ve sahada kullanılmasına bağlı olarak en fazla su kaynaklarından kaynaklı eko maliyetin (ESRS E3) olduğu belirlenmiştir. Buna göre farklı su tüketimi senaryolarına göre ESRS odağında eko maliyetler incelenmiştir. ESRS kapsamında ele alınan beş parametrenin yüksek olduğu senaryo, ters osmoz sistemin kullanıldığı Senaryo 2’dir. Su stresinin artmasına bağlı olarak eko-maliyetlerin yükseldiği gözlenmiştir. Senaryo 1’de karbon eko-maliyetlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 8.11).



Şekil 8.11. Lavanta yetiştirilmesinde su tüketimine bağlı farklı senaryolar için ESRS’e göre eko-maliyetler (200 m² peron ve 8670 adet fide).

9. TARTIŞMA

Artan kentleşme ve iklim değişikliğinin çevresel etkileri, sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir üretim sistemlerine olan ihtiyacı ön plana çıkarmaktadır. Bu bağlamda düşük girdi gereksinimi olan, çevre adaptasyonu yüksek, kullanım amacı çok yönlü olan ve kırsal kalkınmaya katkı sağlayan lavanta hem önemli bir tıbbi aromatik bitki hem de peyzaj bitkisi olmaktadır. Çalışmada lavanta bitkisinin sera koşullarında üretim sürecine ilişkin çevresel etkiler, yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) bakımından detaylı bir biçimde ele alınmıştır.

LCA, ürünün ve ürün süreçlerinin çevresel etkilerini analiz etmeye olanak tanıyan bütüncül bir yaklaşımdır. Özellikle sera ortamındaki bitkisel üretim sistemlerinde enerji, su ve tarımsal girdilerin maliyetinin doğru hesaplanması sürdürülebilir tarım uygulamalarının planlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada lavanta bitkisinin 200 m²'lik sera alanında yetiştirilmesi sürecinde yaygın kabul görmüş etki değerlendirme metodolojilerinden Idemat 2025 veri tabanı kullanılarak karbon ayak izi, su ayak izi, ekolojik maliyeti, ReCiPe2016, TRACI metodlarına çevresel etkiler incelenmiş ve ESRS'e göre eko-maliyetler belirlenmiştir.

200 m²'lik peronda yetiştirilen lavanta fidelerinin toplam karbon ayak izi 265.32 kg CO₂. eşd. olarak belirlenmiştir. Karbon ayak izini en fazla artıran süreçler sırasıyla 180.06 kg CO₂. eşd. su tüketimi ve 104.5 kg CO₂. eşd. ile elektrik tüketimi kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Pestisit, fungusit, gübre gibi girdilerin neden olduğu karbon ayak izi 6.13 kg CO₂. eşd. olduğu gözlenmiştir. 1 adet lavanta fidesinin karbon ayak izi 0.03 kg CO₂. eşd.'dir.

Lavanta bitkisinin karbon ayak izinin düşük olmasının temel nedenleri arasında su ve besin gereksiniminin diğer tarımsal ürünlere kıyasla az olması, pestisit ve kimyasal gübre kullanımının minimum düzeyde tutulabilmesi ve dayanıklı yapısıyla hastalık ve zararlılara karşı doğal direncinin yüksek olması yer almaktadır. Ayrıca lavanta üretiminde kullanılan enerji miktarının sınırlı olması ve organik yetiştirme yöntemlerinin uygulanabilmesi, çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Bu faktörler bir araya geldiğinde lavantanın karbon salınımının yok denecek kadar az olduğu ve sürdürülebilir tarım uygulamalarında önemli bir alternatif oluşturduğu ortaya çıkmaktadır.

200 m²'lik peronda yetiştirilen lavanta fidelerinin toplam ekolojik maliyeti 318.95 Euro olduğu belirlenmiştir. Bu maliyetin 305.62 Euro değeri su tüketiminden kaynaklandığı tespit edilmiştir (Şekil 8.2). 1 adet lavanta fidesinin ekolojik maliyeti 0.037 Euro'dur. 1 adet lavanta

fidesinin su tüketimine bağı ekolojik maliyeti ise 0.035 Euro'dur. Türkiye su stresi yüksek ülkeler arasındadır.

Lavanta fidelerinin yetiştirilmesi ve sahada kullanılmasına bağı olarak en fazla su kaynaklarından kaynaklı eko maliyetin (ESRS E3) olduğı gözlenmiştir.

8 ay boyunca 200 m² peron içinde lavanta fidelerinin yetiştirilmesi için gerekli kümülatif enerji 2395.25 MJ olduğı belirlenmiştir. Bu enerjinin 1924.20 MJ'ü fosil kaynaklardan sağlanmıştır (Şekil 8.4). Kümülatif enerji, belirli bir süre içinde toplam üretilen ve tüketilen enerjinin miktarını ifade etmektedir. Günümüzde ve geçmişte dünya enerji üretiminde fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğalgaz) hakim rol oynamıştır. Bu durumun sebepleri ise, fosil yakıtların yüksek enerji yoğunluğu ve kolay ulaşılabilirliği, enerji altyapısının fosil yakıtlarla uyumlu olması, yenilebilir enerji teknolojilerinin görece yeni ve maliyetlerinin yüksek olması gelmektedir.

8 ay boyunca 200 m² peron içinde lavanta fidelerinin yetiştirilmesi ve sahada kullanılmasına bağı olarak oluşan çevresel etkiler ReCiPe2016 metoduna göre detaylı olarak incelenmiştir. Enerji tüketiminde kullanılan fosil yakıt kaynaklı olarak "Fosil Yakıt Kıtlığı" kategorisinin etkili olduğı tespit edilmiştir (Şekil 8.6). TRACI metoduna göre oluşan çevresel etkiler detaylı incelendiğinde fosil yakıt tüketimine bağı olarak küresel ısınma potansiyelinin yüksek olduğı gözlenmiştir. Bunun temel nedeni, ters ozmoz sistemlerinin enerji yoğun teknolojiler olması ve süreçte harcanan enerjinin büyük ölçüde fosil kaynaklardan sağlanmasıdır.

Tüm senaryolar için mevcut durumdaki mavi su tüketimi olan 286.2 m³ miktarı kabul edilmiştir. Sera kapalı alanda yağmur suyu kullanılmadığı için yeşil su miktarı sıfırdır. Atık su oluşmadığından gri su miktarı da sıfırdır. Ekolojik maliyetleri düşürebilmek için IDEMAT2025 verilerine bağı olarak farklı senaryolar geliştirilmiştir. Ters ozmoz sisteminin yer aldığı Senaryo 2 için karbon emisyonun yüksek olduğı gözlenmiştir. Farklı senaryolar özelinde değerlendirildiğinde mevcut durumun ekolojik maliyeti 306 Euro ve ters ozmoz sisteminin yer aldığı Senaryo 2'nin ekolojik maliyeti 829 Euro ile en yüksek değer olduğı gözlenmiştir. ESRS kapsamında ele alınan beş parametre arasından en yüksek olan senaryo, ters ozmoz sistemin kullanıldığı Senaryo 2'dir. Su stresinin artmasına bağı olarak ESRS E3 eko-maliyetlerin yükseldiğı gözlenmiştir. Senaryo 1'de karbon eko-maliyetlerinin yüksek olduğı belirlenmiştir (Şekil 8.11).

ESRS kapsamında değerlendirilen çevresel parametrelerin çoğunun Senaryo 2' de yüksek çıkması, su stresi altındaki bölgelerde bu tür arıtma sistemlerinin yaygınlaştırılmasının uzun vadede sürdürülebilir tarım ilkeleriyle çelişebileceğine işaret etmektedir. Bu durum, özellikle kuraklıkla karşı karşıya olan bölgelerde alternatif su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Su arıtımında kullanılan bu sistem, her ne kadar yüksek saflıkta su sağlasa da, karbon emisyonlarını artırarak çevresel sürdürülebilirlik açısından olumsuz sonuçlar doğurmuştur. Ayrıca, enerji ihtiyacının artması, sadece karbon ayak izini değil, aynı zamanda ekonomik ve çevresel eko-maliyetleri de artırmıştır. Bu bulgu, üretim süreçlerinde kullanılan suyun yalnızca miktarı değil, aynı zamanda niteliği ve elde ediliş şeklinin de çevresel etki açısından önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, her ne kadar ters ozmoz su sistemleri ürün kalitesi açısından avantaj sağlayabilecek olsa da, çevresel bütünlük perspektifiyle değerlendirildiğinde, suyun arıtılma süreciyle birlikte gelen enerji tüketimi ve emisyon yükü, tarımsal üretimde daha sürdürülebilir ve düşük etkili su kaynaklarının tercih edilmesinin gerekliliğini göstermektedir.

Yapılan çalışmalarda lavanta, daha çok tarım bilimi (agronomi) ve peyzaj yönüyle irdelenmiş olup çevresel etkileri üzerine çalışmalar oldukça sınırlıdır. Karbon ayak izi ve çevresel etki kategorileri üzerinde elektrik tüketimine bağlı fosil yakıt kaynakların etkili olduğu gözlenmiştir. Ekolojik maliyetlerde ise su tüketiminin etkili olduğu belirlenmiştir. Su tüketimine bağlı değerlendirilen senaryolarda karbon ayak izinin etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Ekolojik maliyetlerde ise su stresinin artmasına bağlı olarak maliyetlerin yükseldiği tespit edilmiştir. Elde edilen veriler ve oluşturulan senaryolar ekolojik maliyetlerin önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermektedir.

Lavanta yetiştirilen alanlarda lavanta bitki köklerine uygulanan malçlama yöntemiyle toprak yüzeyinde nem tutucu bir tabaka oluşturulmakta ve böylece su kaybının önüne geçilmektedir (Bayram, Arabacı & Aytaç, 2024). Bu uygulama, bitkinin su kullanım verimliliğini artırmakta ve sulama ihtiyacını azaltarak üretimin çevresel etkilerini minimum düzeye indirmektedir. Dolayısıyla, malçlama yöntemi lavanta yetiştiriciliğinde sürdürülebilir su yönetimi açısından etkili bir uygulama olarak değerlendirilmektedir. Tarımsal faaliyetler için kullanılan suların tekrar kullanılması çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde ayrılması ve yeniden kullanılması, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından önemlidir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda lavanta üretim sürecinde su ve karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik farklı sistemlerin entegre edilmesinin mümkün ve etkili

olduğu belirlenmektedir. Yağmur suyu hasadı uygulamalarının yapılması, pestisit kullanımının azaltılması enerji verimliliği yüksek ekipmanların tercih edilmesi ve hassas sulama tekniklerinin uygulanması ile çevresel etkilerin önemli ölçüde düşürülebileceği ortaya konulmaktadır. Tarım sektörü özellikle lavanta gibi düşük su tüketimine sahip aromatik bitkilerde enerji ve emisyon yoğunluğu bakımından sanayi ve enerji üretimi gibi sektörlere kıyasla görece daha düşük çevresel yük oluşturmaktadır. Bu durum sektörün “iklim dostu” üretim modelleri içerisinde önemli bir konumda yer aldığını göstermektedir. Ancak tarımın bu avantajının sürdürülebilmesi için mevcut iyi uygulamaların yaygınlaştırılması, yerel iklim koşullarına uyumlu teknolojilerin kullanılmasının sağlanması ve üreticilere yönelik eğitim programlarının güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu sayede tarım sektörünün hem ekonomik hem de ekolojik açıdan sürdürülebilir bir yapıya kavuşturulması mümkün olmaktadır.



10. SONUÇLAR

Çalışmada 200 m² sera alanında yetiştirilen lavanta fidelerinin beşikten mezara çevresel etkileri, “Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi” yaklaşımıyla IDEMAT2025 data seti kullanılarak “karbon ayak izi” , “ekolojik maliyeti”, “su ayak izi” , “kümülatif enerji talebi” değerleri belirlenmiştir. Aynı zamanda ReCiPe2016, TRACI metodları kullanılarak detaylı çevresel etkileri ortaya konmuştur. Avrupa Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları (ESRS)’e göre çevresel maliyetleri analiz edilmiştir.

200 m²’lik peronda yetiştirilen lavanta fidelerinin toplam karbon ayak izi 265.32 kg CO₂. eşd. olarak belirlenmiştir. 1 adet lavanta fidesinin karbon ayak izi 0.03 kg CO₂. eşd.’dir.

200 m²’lik peronda yetiştirilen lavanta fidelerinin toplam ekolojik maliyeti 318.95 Euro olduğu belirlenmiştir. 1 adet lavanta fidesinin ekolojik maliyeti 0.037 Euro’dur. 1 adet lavanta fidesinin su tüketimine bağlı ekolojik maliyeti ise 0.035 Euro’dur.

Lavanta fidelerinin yetiştirilmesi için gerekli kümülatif enerji 2395.25 MJ olduğu belirlenmiştir. Bu enerjinin 1924.20 MJ’ü fosil kaynaklardan sağlanmıştır.

ReCiPe2016 metoduna göre enerji tüketiminde kullanılan fosil yakıt kaynaklı olarak “Fosil Yakıt Kıtlığı” kategorisinin etkili olduğu tespit edilmiştir. TRACI metoduna göre oluşan çevresel etkiler detaylı incelendiğinde fosil yakıt tüketimine bağlı olarak küresel ısınma potansiyelinin yüksek olduğu gözlenmiştir.

Tüm senaryolar için mevcut durumdaki mavi su tüketimi olan 286.2 m³ miktarı kabul edilmiştir. Sera kapalı alanda yağmur suyu kullanılmadığı için yeşil su miktarı sıfırdır. Atık su oluşmadığından gri su miktarı da sıfırdır. Ters osmoz sisteminin yer aldığı Senaryo 2 için karbon emisyonun yüksek olduğu gözlenmiştir. Farklı senaryolar özelinde değerlendirildiğinde mevcut durumun ekolojik maliyeti 306 Euro ve ters osmoz sisteminin yer aldığı Senaryo 2’nin ekolojik maliyeti 829 Euro ile en yüksek değer olduğu gözlenmiştir. ESRS kapsamında ters osmoz sistemin kullanıldığı Senaryo 2’nin eko-maliyeti en yüksektir. Su stresinin artmasına bağlı olarak ESRS E3 eko-maliyetlerin yükseldiği gözlenmiştir. Senaryo 1’de karbon eko-maliyetlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Abdelhalim, A., & Hanrahan, J.** (2021). Biologically active compounds from Lamiaceae family: Central nervous system effects. *Studies in natural products chemistry*, 68, 255-315.
- Adam, K. L. & Rittenhouse, T.** (2010). Lavender production, markets, and agritourism. ATTRA - *Sustainable Agriculture*. [Erişim : 16.10.2024, <https://attra.ncat.org/publication/lavender-production-markets-and-agritourism/>]
- Akgören Palabiyik, G.** (2023). Tarımda Sürdürülebilirlik; Konvansiyonel Tarıma Sürdürülebilir Yaklaşımlar. Endüstriyel Sürdürülebilirlik Ve Döngüsel Ekonomi Uygulamaları (pp.31-42), *Detay Yayıncılık*.
- Aldaya, M. M., Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M.** (2012). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Routledge.
- Avramidou, G., Platis, D. P., Menexes, G. C., Anagnostopoulos, C. D., Tsaboula, A. D., Kalburtji, K. L., & Mamolos, A. P.** (2024). Evaluation and selection of aromatic plants based on agri-environmental indicators. *Environment, Development and Sustainability*, 1-17.
- Aygün, K.** (1998). *Bilecik Şehir Coğrafyası* (Master's thesis, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- Batı Akadeniz Kalkınma Ajansı (BAKA)** (2020). *Lavanta Tarımı ve Endüstrisi Fizibilite Raporu*. [Erişim Tarihi: 15.12.2024, <https://baka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/lavanta-tarimi-ve-endustrisi.pdf>]
- Balbay, Ş.** (2022). AB Yeşil Mutabakatı'nda sıfır atık projesi ve döngüsel ekonomi modeli nerede? *T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı*. ISBN: 978-625-7076-36-4
- Bare, J. C., Norris, G. A., Pennington, D. W., & McKone, T.** (2003). TRACI – The tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts. *Journal of Industrial Ecology*, 6(3), 49–78.
- Bayram, E., Arabacı, O., & Aytaç, Z.** (2024). Medicinal and aromatic plants in Türkiye. *Zeitschrift für Arznei- & Gewürzpflanzen*, 29(4), 0–0.
- Ben-Eli, M. U.** (2018). Sustainability: definition and five core principles, a systems perspective. *Sustainability Science*, 13(5), 1337-1343.
- Bilecik İl Milli Eğitim Müdürlüğü (MEB).** (2021). *Şehrimiz Bilecik*. [Erişim Tarihi: 16.10.2024, http://bilecik.meb.gov.tr/meb_iys_dosyalar/2021_05/24145150_Yehrimiz_Bilecik.pdf]

- Bilecik Valiliği.** (2025). *Bilecik İli* [Erişim: 19.07.2025, <http://www.bilecik.gov.tr>].
- Birleşmiş Milletler.** (2015). *Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri: 17 Goals to Transform Our World*. [Erişim: 19.03.2025, <https://sdgs.un.org/goals>]
- Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC).** (t.y.). Conference of the Parties (COP). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. [Erişim: 19.11.2023, <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>]
- Ceylan, S., & Somuncu, M.** (2021). Lavanta Tarımında Tarım Turizmine: Kuyucak (Isparta) ve Akçaköy (Burdur) Örneği. *Uluslararası Kırsal Turizm ve Kalkınma Dergisi (IRTAD)* E-ISSN: 2602-4462, 5(1).
- Climate Watch Historical GHG Emissions** (2025). Washington, DC: World Resources Institute. [Erişim: 10.06.2025, <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions>]
- Conradi-Galnares, E., Blandón-González, B., & Marrero-Meléndez, M.** (2025). Life Cycle Assessment (LCA) Fundamental Principles. In *Life Cycle Analysis Based on Nanoparticles Applied to the Construction Industry: A Comprehensive Curriculum* (pp. 27-41). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Coşkuntuna, L., Lackner, M., Erten, K., Gül, S., Palangi, V., Koç, F., & Esen, S.** (2023). Greenhouse Gas Emission Reduction Potential of Lavender Meal and Essential Oil for Dairy Cows. *Fermentation*, 9(3), 253.
- Curran, M. A.** (2006). *Life-cycle assessment: principles and practice*. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency.
- Çatak, E., & Atalay, A.** (2022). Lamiaceae (Labiatae) (Ballıbabagiller) Familyası'nın ekonomik ve tıbbi değerleri. *Euroasia Matematik, Mühendislik, Doğa ve Tıp Bilimleri Dergisi*, 9(20), 150-157.
- Çerçioğlu, M.** (2019). Sürdürülebilir atık yönetiminde sera atıklarının kompost olarak değerlendirilmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(1), 167-177.
- de Salles, A. C. N., & Brantsch, P.** (2025). How Life Cycle Assessment Supports Sustainability Reporting: Example from Clean Aviation. *Engineering Proceedings*, 90(1), 56.

Demir, C., Gökdoğan, O., & Firat-Baran, M. (2022). Determination of energy usage and greenhouse gas emissions in lavender production. *Revista De Investigaciones Universidad Del Quindío*, 34(S5), 192-202.

Devyani, Menon S. (2025). The lavender revolution: Sustainable farming and global economic implications. *International Journal of Research in Agronomy*, 8(4S),209-216.

EFRAG. (2022) [Draft] *European Sustainability Reporting Standards*. ESRS 1 General Requirements, November, 2022. [Erişim: 18.07.2025, <https://www.efrag.org/sites/default/files/sites/webpublishing/SiteAssets/08%20Draft%20ESRS%20E1%20Climate%20Change%20November%202022.pdf>]

Esringü, A., & Sezen, I. (2021). Türkiye florasında peyzaj özelliği gösteren hiperakümülatör bitkilerin maden alanlarının onarımında kullanımı. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(1), 327-334.

EU-Commission Recommendation. (2021). Commission Recommendation (EU) 2021/2279 of 15 December 2021 on the Use of the Environmental Footprint Methods to Measure and Communicate the Life Cycle Environmental Performance of Products and Organizations, Official Journal of the European Union. 2021. [Erişim: 05.03.2024, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reco/2021/2279/oj>]

Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., ... & Suh, S. (2009). Recent developments in life cycle assessment. *Journal of environmental management*, 91(1), 1-21.

Fontez, M., Bony, A., Nicole, F., Moja, S., & Jullien, F. (2023). *Lavandula angustifolia* Mill. a model of aromatic and medicinal plant to study volatile organic compounds synthesis, evolution and ecological functions. *Botany Letters*, 170(1), 65-76.

Franke, N., Hoekstra, A. Y., & Boyacioglu, H. (2013). *Grey water footprint accounting: Tier 1 supporting guidelines*. (Value of Water Research Report; No. 65). *Unesco-IHE Institute for Water Education*.

Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., & Giljum, S. (2012). Integrating ecological, carbon and water footprint into a “footprint family” of indicators: definition and role in tracking human pressure on the planet. *Ecological indicators*, 16, 100-112.

Ge, M., Friedrich, J., & Vigna, L. (2024). Where Do Emissions Come From? 4 Charts Explain Greenhouse Gas Emissions by Sector. *World Resources Institute*. [Erişim Tarihi: 10.06.2025,

<https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors>]

Gedik, Y. (2020). Sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarla sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma. *International Journal of Economics, Politics, Humanities & Social Sciences*, 3(3), 196-215.

Guinée, J. B. (2002). *Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards* (Vol. 7). Springer Science & Business Media.

Habán, M., Korczyk-Szabó, J., Čerteková, S., & Ražná, K. (2023). *Lavandula species, their bioactive phytochemicals, and their biosynthetic regulation. International Journal of Molecular Sciences*, 24(10), 8831.

Hartmann, H. T., & Kester, D. E. (2002). *Plant propagation: Principles and practices* (7th ed.). PrenticeHall. [Erişim: 05.03.2024, <https://archive.org/details/PlantPropagationPrinciplesAndPacticesByHartmannAndKesters8thEdition>]

Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2011). *Plant propagation: Principles and practices* (8th ed.). Prentice Hall. [Erişim: 05.03.2024, <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2220455>]

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Earthscan.*

Huijbregts, M.A.J., Hellweg, S., Frischknecht, R., Hendriks, H.W.M., Hungerbühler, K., Hendriks, A.J. (2010). Cumulative energy demand as predictor for the environmental burden of commodity production. *Environ. Sci. Technol.* 44 (6), 2189–2196..

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2021 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press.

Jim, C. Y. (2004). Green-space preservation and allocation for sustainable greening of compact cities. *Cities*, 21(4), 311-320.

Kara, N., & Baydar, H. (2020). Lavantada köklenme üzerine çelik kalınlıklarının etkisi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı), 58-61.

Klöpffer, W. (2006). The Hitch Hiker' s Guide to LCA-An orientation in LCA methodology and application. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(2), 142-142.

Kitzes, J., Peller, A., Goldfinger, S. ve Wackernagel, M. (2007). Ulusal Ekolojik Ayak İzi Hesaplarını Hesaplamak İçin Güncel Yöntemler [エコロジカル・フットプリント指標の現状と課題]. *滋賀大学環境総合研究センター研究年報*, 4 (1), 1-9.

Kumaş, K., Akyüz, A. Ö., Zaman, M., & Güngör, A. (2019). Sürdürülebilir bir çevre için karbon ayak izi tespiti: MAKÜ Bucak Sağlık Yüksekokulu örneği. *El-Cezeri*, 6(1), 108-117.

Küresel Amaçlar. (2023). *Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları*. [Erişim Tarihi: 13.10.2023, <https://www.kureselamaclar.org/>]

Lis-Balchin, M. (Ed.). (2002). *Lavender: the genus Lavandula*. CRC Press.

Lopez-Marin, J., del Amor, F. M., & Pulgar, J. (2012). Irrigation influence on the microclimate of a Mediterranean plastic greenhouse with black mulch and without crop. *Acta Horticulturae*, 1170, 693-698.

Ma, J., Zhang, P., Deng, X., Lai, X., Ren, C., Zhang, J., Liu, J., Zhang, Y., & Long, A. (2024). Assessment of Crop Water Footprint and Actual Agricultural Water Consumption in Arid Inland Regions: A Case Study of Aksu Region. *Sustainability*, 16(7), 2911.

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1577-1600.

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2), e1500323.

Mentese, S., & Koca, S. (2022). Tarıma uygun alanların belirlenmesi: Bilecik İli Örneği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 20(2), 383-406.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) (2024). Bilecik İli Resmi İklim İstatistikleri. [Erişim Tarihi: 13.10.2023, <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=BILECIK>]

Munia, H. A., Guillaume, J. H. A., Wada, Y., Veldkamp, T., Virkki, V., & Kummu, M. (2020). Future transboundary water stress and its drivers under climate change: A global study. *Earth's Future*, 8(7), e2019EF001321.

Nautiyal, H., & Goel, V. (2021). Sustainability assessment: Metrics and methods. *In Methods in sustainability science* (pp. 27-46). Elsevier

Netafim. (t.y.). *SPINNET™* Sera İçi Sulama Sistemi. <https://www.netafim.com>

Özsoy, C. E., & Dinç, A. (2016). Sürdürülebilir kalkınma ve ekolojik ayak izi. *Finans Politik ve Ekonomik Yorumlar*, (619), 35-55.

Poblete, R., Salihoglu, G., & Salihoglu, N. K. (2021). Incorporation of solar-heated aeration and greenhouse in grass composting. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(21), 26807-26818.

Porkka, M., Gerten, D., Schaphoff, S., Siebert, S., & Kummu, M. (2016). Causes and trends of water scarcity in food production. *Environmental Research Letters*, 11(1), 015001.

QSI. (2024). Karbon Ayak İzi & Ekolojik Ayak İzi. [Erişim Tarihi: 13.07.2025, <https://www.qsi.com.tr/karbon-ayak-izi-ekolojik-ayak-izi>]

RIVM – Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. (2023). *ReCiPe: Life cycle assessment method*. [Erişim Tarihi: 13.07.2025, <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>]

Rodell, M., & Li, B. (2023). Changing intensity of hydroclimatic extreme events revealed by GRACE and GRACE-FO. *Nature Water*, 1(3), 241-248.

Schewe, J., Heinke, J., Gerten, D., Haddeland, I., Arnell, N. W., Clark, D. B., ... & Kabat, P. (2014). Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3245-3250.

Schnelle, M. A., Cole, J. C., & Dole, J. M. (2003). Mist propagation systems and humidity chambers for the nursery and greenhouse.

Strohbach, M. W., Arnold, E., & Haase, D. (2012). The carbon footprint of urban green space— A life cycle approach. *Landscape and Urban Planning*, 104(2), 220-229.

Sustainability Impact Metrics. (t.y.). Idemat and ecoinvent, and eco-costs midpoint tables. <https://www.ecocostsvalue.com/data-tools-books>

Sürdürülebilir Üretim Dergisi. (2023). Sayı:10/Mayıs-Haziran/2023. [Erişim Tarihi: 19.07.2025, <https://www.surdurulebiliruretim.com/yarinin-garantoru-surdurulebilir-tarim/>]

Şahin, M., Akkoy, S., & Poyraz, M. (2023). Alternative Agriculture Practice: Vertical Agriculture. *SSRJ| Social Sciences Research Journal| e-ISSN: 2147-5237| Frequency: Continuous Publication| Dates of Publication: 2012-9999| International Academic Journal*, 12(15), 2087-2096.

Tarım ve Orman Bakanlığı. (2024). *Su Verimliliği Yönetmeliği. Resmî Gazete*, Sayı: 32765. [Erişim Tarihi: 15.10.2024, <https://www.resmigazete.gov.tr>]

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(50), 20260-20264.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2025). *Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2023*. [Erişim: 10.06.2025, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2023-53974>]

Turgut, F., Yıldırım, M. U., Baş, M., & Sarihan, E. O. (2024). Farklı köklendirme ortamları ve IBA uygulamalarının lavantada (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.) ilkbahar ve sonbahar çeliklerinin köklenmesine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 39(1), 55-70.

UMass Extension. (2024). *Greenhouse & Floriculture: Mist and Fog Equipment for Propagation. University of Massachusetts Amherst*. [Erişim Tarihi: 08.10.2024, <https://www.umass.edu/agriculture-food-environment/greenhouse-floriculture>]

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2023, October 5). *Tool for the Reduction and Assessment of Chemicals and Other Environmental Impacts (TRACI)*. [Erişim Tarihi: 13.07.2025, <https://www.epa.gov/chemical-research/tool-reduction-and-assessment-chemicals-and-other-environmental-impacts-traci>]

Viana, C. M., Freire, D., Abrantes, P., Rocha, J., & Pereira, P. (2022). Agricultural land systems importance for supporting food security and sustainable development goals: A systematic review. *Science of the total environment*, 806, 150718.

Wackernagel, M., & Rees, W. (1998). *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth* (Vol. 9). New society publishers.

Wiedmann, T., & Minx, J. (2008). A definition of ‘carbon footprint’. *Ecological economics research trends*, 1(2008), 1-11.

Wiesen, K., Wirges, M. (2017). From cumulated energy demand to cumulated raw material demand: the material footprint as a sum parameter in life cycle assessment. *Energy Sustain. Soc.* 7 (1), 13.

WWF-Türkiye. (2014). *Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu: Su, Üretim ve Uluslararası Ticaret İlişkisi*. İstanbul: WWF-Türkiye.

World Resources Institute (WRI) Aqueduct 4.0. (2025). *Updated Decision-Relevant Global Water Risk Indicators*. [Erişim: 17.07.2025, <https://www.wri.org/applications/aqueduct/water-risk-atlas>]

Yeni, O., & Teoman, Ö. (2023). Agroekolojik Bakış Açısından Türkiye’de Tarımsal Sürdürülebilirlik. *Fiscaoeconomia*, 7 (zel Sayı), 120-151.

