



Biostimulant Applications in Medicinal and Aromatic Plants: Advantages, Challenges and Future Perspectives

Merve Göre^{1,a,*}

¹Ege Üniversitesi, Ödemiş Meslek Yüksekokulu, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Programı, 35750, İzmir-Türkiye.

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 27.09.2024 Accepted : 23.10.2024</p> <p>Keywords: Biostimulants Abiotic stress Agricultural sustainability Medicinal and aromatic plants Stress factors</p>	<p>This review investigates the role of biostimulants in enhancing the abiotic stress tolerance of medicinal and aromatic plants. Biostimulants play a crucial role in promoting plant growth and increasing resistance to environmental stress conditions. The negative effects of abiotic stress types such as drought, salinity, temperature, and heavy metal stress on plants can be mitigated using these products. This review addresses various types of biostimulants, their effects on plant metabolism, and the outcomes of these applications on plant quality. The use of biostimulants in agriculture offers advantages such as the conservation of natural resources, improvement of soil health, and optimization of water usage. However, challenges such as the lack of standardization, insufficient knowledge and awareness, and regulatory processes limit the widespread use of these products. The review emphasizes the need for further research to enhance the effectiveness of biostimulants and develop new application strategies in the future. In conclusion, biostimulants are important tools with the potential to increase the productivity of medicinal and aromatic plants and should be considered as part of sustainable agricultural practices.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12(11): 1944-1952, 2024

Tıbbi ve Aromatik Bitkilerde Biyostimülant Uygulamaları: Avantajlar, Zorluklar ve Gelecek Perspektifleri

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makalesi</i></p> <p>Geliş : 27.09.2024 Kabul : 23.10.2024</p> <p>Anahtar Kelimeler: Biyostimülantlar Abiyotik stres Tarımsal sürdürülebilirlik Tıbbi ve aromatik bitkiler Stres faktörleri</p>	<p>Bu derleme, tıbbi ve aromatik bitkilerin abiyotik stres toleransını artırmada biyostimülantların rolünü araştırmak amacıyla hazırlanmıştır. Biyostimülantlar, bitki büyümesini teşvik eden ve çevresel stres koşullarına karşı dayanıklılığı artırmada önemli rol oynamaktadır. Kuraklık, tuzluluk, sıcaklık ve ağır metal stresi gibi abiyotik stres türlerinin bitkiler üzerindeki olumsuz etkileri, bu ürünlerin kullanımı ile azaltılabilmektedir. Bu derlemede, biyostimülantların çeşitli türlerini, bu ürünlerin bitki metabolizması üzerindeki etkilerini ve bu uygulamaların bitki kalitesi üzerindeki sonuçları ele alınmıştır. Biyostimülantların tarımda kullanımı, doğal kaynakların korunması, toprak sağlığının iyileştirilmesi ve su kullanımının optimize edilmesi gibi avantajlar sunmaktadır. Ancak, standartlaşma eksikliği, yetersiz bilgi ve farkındalık, regülasyon süreçleri gibi bazı zorluklar, bu ürünlerin yaygın kullanımını sınırlamaktadır. Gelecekte, biyostimülantların etkinliğini artırmak için daha fazla araştırma yapılması ve yeni uygulama stratejilerinin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Sonuç olarak, biyostimülantlar, tıbbi ve aromatik bitkilerin verimliliğini artırma potansiyeline sahip önemli araçlardır ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının bir parçası olarak dikkate alınmalıdır.</p>

^a merve.gore@ege.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0001-9350-5910>



Giriş

Tıbbi ve aromatik bitkiler, yüzyıllardır ilaç, kozmetik, gıda ve tarım gibi birçok alanda önemli roller üstlenmiş, insan sağlığına faydalı uçucu yağlar ve fenolik bileşikler gibi biyoaktif maddeler üretmektedir (Rahman ve ark., 2023). Ancak, modern tarımda karşılaşılan çevresel zorluklar ve iklim değişikliği bu bitkilerin üretimini olumsuz yönde etkilemektedir. İklim değişikliği, su kıtlığı, toprak tuzluluğu, aşırı sıcaklıklar ve ağır metal kirliliği gibi abiyotik stres faktörleri, bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerini bozarak verim ve kalite kayıplarına yol açmaktadır (Mahajan ve ark., 2020). Bu nedenle, tıbbi ve aromatik bitkilerin üretiminde sürdürülebilir çözümler bulmak bir gereklilik haline gelmiştir.

Son yıllarda tarımsal sürdürülebilirliği artırmak ve verim kayıplarını azaltmak amacıyla biyostimülantların kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Biyostimülantlar, bitkilerdeki büyüme ve gelişim süreçlerini optimize eden, stres toleransını artıran ve ürün kalitesini iyileştiren doğal ya da sentetik maddeler olarak tanımlanmaktadır (Bulgari ve ark., 2017). Organik tarımın yükselişiyle birlikte, biyostimülantlar da kimyasal gübre ve pestisitlerin yerine veya onların kullanımını azaltmak amacıyla tercih edilmektedir. Bu bileşikler, tarımda pestisit veya gübre olarak kullanılmamakla birlikte, bitkilerin su ve besin kullanımını artırarak çevresel streslere karşı daha dayanıklı hale gelmelerine yardımcı olmaktadır. Özellikle çevresel streslerin yoğun olduğu alanlarda biyostimülantlar, fotosentez gibi metabolik süreçleri hızlandırmakta ve antioksidan savunma sistemlerini güçlendirerek tarımsal verimliliği ve ürün kalitesini artırmakta önemli bir rol oynamaktadır (Van Oosten ve ark., 2017; Franzoni ve ark., 2022). Bu özellikler, biyostimülantların, özellikle abiyotik stres altındaki bitkilerde kullanılmasını cazip hale getirmektedir.

Özellikle tıbbi ve aromatik bitkilerde biyostimülant kullanımı, hem bu bitkilerin verim ve kalitesini artırmak hem de stres koşullarına dayanıklılığını güçlendirmek açısından büyük potansiyele sahiptir. Biyostimülantların tarımsal üretimde kullanımı, sadece ürün miktarını değil, aynı zamanda bitkilerin içerdikleri biyoaktif bileşiklerin miktarını ve kalitesini de artırabilmektedir (Zehra ve ark., 2019). Bu derlemede, biyostimülantların abiyotik streslerin altındaki tıbbi ve aromatik bitkilerdeki etkileri ele alınacak, bu alanda yapılan çalışmalar incelenecek ve biyostimülantların tarımda sürdürülebilirlik açısından sağladığı katkılar tartışılacaktır.

Biyostimülantlar: Tanımı, Kategorileri ve Etkileri

Biyostimülantlar, bitkilerin büyüme ve gelişmesini teşvik eden, abiyotik stres koşullarına karşı dirençlerini artıran doğal ya da sentetik maddelerdir. Bu maddeler, bitkilerin besin alımını ve su kullanımını optimize ederek, hücresel süreçlerini düzenler ve biyokimyasal reaksiyonları hızlandırır (Yakhin ve ark., 2017). Geleneksel gübrelerden farklı olarak biyostimülantlar, doğrudan bitkilerin metabolizmasını hedef alarak stres yanıtlarını iyileştirir ve genel bitki sağlığını destekler. Biyostimülantlar çeşitli kategorilere ayrılabilir; bunlar

arasında humik ve fulvik asitler, amino asitler, alg ekstraktları ve mikroorganizmalar yer alır.

Humik ve Fulvik Asitler

Humik ve fulvik asitler, organik maddenin bozulması sonucu toprakta oluşan doğal bileşiklerdir. Toprağın su tutma kapasitesini artırarak, bitkilerin su ve besin alımını iyileştirirler. Humik asitler, bitkilerin kök gelişimini teşvik ederken, fulvik asitler besin elementlerinin taşınmasını ve hücre içine alınmasını kolaylaştırır (Nardi ve ark., 2021). Tıbbi ve aromatik bitkilerde humik ve fulvik asitlerin kullanımı, uçucu yağ üretimini artırabilir ve bitkilerin stres koşullarında daha dirençli olmasını sağlayabilir (Saber ve ark., 2019; Khosravi ve ark., 2023). Özellikle kuraklık ve tuzluluk stresine karşı bu bileşikler, bitkilerin kök yapısını ve toprak-bitki etkileşimini güçlendirir.

Amino Asitler ve Protein Hidrolizatları

Amino asitler ve protein hidrolizatları, bitkiler için yapı taşları olarak işlev görür. Abiyotik stresler altında bitkiler, özellikle protein sentezi ve enzim aktiviteleri açısından enerji kaybına uğrayabilir. Amino asit biyostimülantları, bitkilerin strese daha iyi dayanmasını sağlamak için hücre içi metabolik süreçleri hızlandırır. Prolin gibi belirli amino asitler, osmotik dengeyi koruyarak bitkilerin su kaybını önler ve hücre zarlarının bütünlüğünü korur (Colla ve ark., 2015a). Bu biyostimülantlar, tıbbi ve aromatik bitkilerde sekonder metabolit üretimini (örneğin fenolik bileşikler ve uçucu yağlar) destekleyerek bitki kalitesini artırabilir (Abd-El-kader ve ark., 2022).

Alg Ekstraktları

Alg ekstraktları, deniz yosunlarından elde edilen biyostimülantlardır ve yüksek oranda mineraller, vitaminler, hormonlar (özellikle sitokinler ve gibberellinler) içerir. Bu ekstraktlar, bitkilerde kök gelişimini ve yaprak büyümesini teşvik eder. Ayrıca, alg ekstraktları, bitkilerin fotosentez kapasitesini artırarak metabolik faaliyetlerin hızlanmasına katkıda bulunur (Battacharyya ve ark., 2015). Tıbbi ve aromatik bitkilerde alg ekstraktlarının kullanımı, uçucu yağ üretimi ve bitkisel verim üzerinde olumlu etkiler yapabilir. Özellikle stres koşullarında bitkinin enerji kullanımını optimize ederek dayanıklılığını artırabilirler.

Mikroorganizmalar (Mikoriza ve Rizobakteriler)

Mikroorganizmalar, özellikle mikoriza mantarları ve rizobakteriler, bitki köklerinde simbiyotik bir ilişki kurarak biyostimülant etkisi gösterir. Mikoriza mantarları, bitkilerin topraktan su ve besin alımını artırırken, rizobakteriler kök büyümesini teşvik eder ve bitkilerin streslere karşı dirençlerini artırır. Bu mikroorganizmalar, bitkilerin topraktaki fosfor ve azot gibi hayati besin maddelerini daha etkin bir şekilde kullanmasını sağlar (Colla ve ark., 2015b). Tıbbi ve aromatik bitkilerde mikoriza ve rizobakterilerin kullanımı, özellikle bitkilerin uçucu yağ içeriğini ve biyokimyasal kompozisyonunu iyileştirerek daha yüksek kaliteli ürün elde edilmesini sağlar (Goudarzian ve ark., 2020).

Diğer Biyostimülanlar (Silikatlar, Deniz Yosunu)

Silikatlar, bitkilerin hücre duvarlarını güçlendirerek abiyotik streslere karşı daha dayanıklı hale gelmesini sağlayan önemli biyostimülanlardır. Silikatlar, özellikle tuzluluk ve kuraklık gibi streslere karşı bitkilerin su yönetimini ve iyon dengesini düzenler. Ayrıca, silikatların bitkilerde oksidatif stresi azaltma kapasitesi vardır. Deniz yosunu bazlı biyostimülanlar ise yüksek besin ve hormon içeriği ile bitkilerin genel sağlığını destekler (Azad ve ark., 2021; Savvas ve Ntatsi, 2015). Tıbbi ve aromatik bitkilerde deniz yosunu ve silikatların kullanımı hem bitkilerin stres toleransını artırır hem de uçucu yağların kalitesini iyileştirir (Bat ve ark., 2019).

Biyostimülanların Kullanımının Ekonomik ve Çevresel Avantajları

Biyostimülanlar, tarım uygulamalarında yalnızca bitki gelişimini iyileştirmekle kalmayıp, aynı zamanda ekonomik ve çevresel açıdan da önemli avantajlar sunmaktadır.

Tarımsal Sürdürülebilirlik ve Biyostimülanlar

Biyostimülanlar, kimyasal gübre ve pestisit kullanımını azaltarak tarımsal üretimde doğal kaynakların korunmasına katkı sağlar. Bu, toprak sağlığını ve biyolojik çeşitliliği artırır. Organik kaynaklı biyostimülanlar, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirerek verimliliği artırır (Santini ve ark., 2021). Bu durum, tarımsal sürdürülebilirliğe büyük katkı sağlar. Aynı zamanda, bitkilerin su alımını artırarak kuraklık dönemlerinde su kullanımını optimize eder. Bu da tarımsal üretimin daha az su tüketimi ile gerçekleştirilmesine olanak tanır.

Biyostimülanların Ekonomik Getirisi

Biyostimülan kullanımı, bitkilerin verim ve kalitesini artırarak çiftçilere daha yüksek gelir sağlar (Kapoore ve ark., 2021). Kimyasal gübre ve pestisit ihtiyacını azaltarak çiftçilerin girdi maliyetlerini düşürür. Bu durum, sürdürülebilir tarım uygulamalarında ekonomik avantajlar sunar. Kaliteli ürünler, pazarda daha yüksek fiyatlarla satılma olanağı sunar. Biyostimülanlarla elde edilen ürünler, organik ve doğal ürünler kategorisinde yer alarak daha geniş bir müşteri kitlesine ulaşma potansiyeli taşır. Özellikle tıbbi ve aromatik bitkilerde elde edilen yüksek kalite, piyasa değerini yükseltmektedir.

Çevresel Sürdürülebilirlik Üzerindeki Etkiler

Biyostimülan kullanımı, doğal ekosistemleri koruyarak biyoçeşitliliğin sürdürülebilirliğine katkı sağlar. Kimyasal girdilerin azalması, toprak ve su kaynaklarının sağlığını korur. Kimyasal gübre ve pestisit kullanımının azalması, su ve toprak kirliliğini azaltır. Bu durum, ekosistemlerin sağlığını ve doğal dengenin korunmasını destekler. Ayrıca, biyostimülanların kullanımı, tarımsal üretimde karbon salınımını azaltarak iklim değişikliği ile mücadelede olumlu bir rol oynar. Daha sürdürülebilir tarım uygulamaları, çevresel etkilerin azaltılmasına katkıda bulunur (Bashir ve ark., 2021).

Abiyotik Stres Türleri ve Tıbbi-Aromatik Bitkilerin Adaptasyonu

Abiyotik stresler, çevresel faktörlerden kaynaklanan ve bitkilerin büyüme, gelişme ve üretim süreçlerini olumsuz yönde etkileyen streslerdir. Tıbbi ve aromatik bitkilerin abiyotik streslere tepkileri, bu bitkilerin sahip olduğu biyokimyasal ve fizyolojik özellikler nedeniyle diğer kültür bitkilerine göre farklılık gösterebilir (Rahman ve ark., 2023). Bu bitkilerin içerdiği uçucu yağlar, fenolik bileşikler, flavonoidler ve diğer biyoaktif maddeler, abiyotik stres faktörleri altında önemli değişikliklere uğrar. Bu değişimler, hem bitkinin stresle başa çıkma kapasitesini hem de bitkiden elde edilen ürünün kalitesini etkiler (Ramakrishna ve ark., 2011).

Kuraklık Stresi

Kuraklık stresi, suyun yetersiz olduğu koşullarda bitkilerin büyüme ve gelişmesinin olumsuz etkilenmesine neden olan bir stres faktörüdür. Su eksikliği, bitkilerin su ve besin alımını azaltarak fotosentez hızını düşürür, stomaların kapanmasına ve transpirasyon oranlarının azalmasına neden olur (Yang ve ark., 2021). Bu da bitkide enerji üretimini sınırlayarak büyüme ve verim kayıplarına yol açar. Tıbbi ve aromatik bitkilerde kuraklık stresi, özellikle uçucu yağ içeriklerinde azalmaya neden olabilir (Nia ve ark., 2016; Cheng ve ark., 2017; Bistgani ve ark., 2024). Bitkilerin kuraklık stresine dayanıklılığını artırmak için biyostimülanlar, su tutma kapasitesini artırarak ve antioksidan enzim aktivitelerini düzenleyerek faydalı olabilir.

Tuzluluk Stresi

Toprakta biriken fazla tuz, bitkilerde osmotik baskı yaratarak su ve besin alımını zorlaştırır. Tuzluluk stresi, özellikle hücre zarlarının yapısını bozarak iyon dengesizliğine ve oksidatif strese yol açar. Bitkiler, bu stresle başa çıkabilmek için osmotik düzenleyici bileşikler üretir, ancak bu süreç fazla enerji gerektirir ve bitkinin genel sağlığını olumsuz etkiler (Parihar ve ark., 2015). Tuzluluk stresi, tıbbi ve aromatik bitkilerde uçucu yağ sentezini, fenolik bileşiklerin üretimini ve genel biyokimyasal bileşimi değiştirebilir (Said-Al Ahl ve ark., 2011; Elansary ve ark., 2019). Biyostimülanlar, toprak yapısını düzenleyip tuz alımını azaltarak bu stresi hafifletebilir ve bitkilerin dayanıklılığını artırabilir.

Sıcaklık Stresi

Aşırı yüksek ya da düşük sıcaklıklar, bitkilerde ciddi metabolik bozukluklara yol açabilir. Yüksek sıcaklıklar proteinlerin denatürasyonuna ve enzim aktivitelerinin bozulmasına neden olurken, düşük sıcaklıklar hücre zarlarının donmasına ve su kaybına yol açabilir. Sıcaklık stresi, bitkilerin büyümesini durdurabilir, çiçeklenmeyi engelleyebilir ve ürün kalitesini düşürebilir (Waraich ve ark., 2012). Tıbbi ve aromatik bitkilerde, sıcaklık stresi uçucu yağ üretimini ve kaliteyi büyük ölçüde etkileyebilmektedir (Abdelmajeed ve ark., 2013; Mahajan ve ark., 2020). Biyostimülanlar, sıcaklık stresine karşı bitkilerin termal dayanıklılığını artıran ve protein stabilitesini koruyan maddeler olarak işlev görebilir.

Ağır Metal Stresi

Endüstriyel kirlilik ve tarımda aşırı gübre kullanımı nedeniyle toprakta biriken ağır metaller, bitkilerde toksik etkilere neden olabilir. Kurşun, kadmiyum, arsenik ve civa gibi ağır metaller, bitkilerin büyümesini durdurarak hücrel enzim aktivitelerini baskılar, oksidatif stres seviyelerini yükseltir ve hücre ölümüne yol açabilir (Mahajan ve ark., 2020). Bu durum, tıbbi ve aromatik bitkilerin içeriğindeki biyoaktif maddelerin azalmasına ve ürün kalitesinin düşmesine neden olabilir. Biyostimülantlar, ağır metal birikimini azaltabilir ve bitkilerde antioksidan savunma mekanizmalarını güçlendirerek stresin etkilerini hafifletebilir.

Abiyotik stresler, tıbbi ve aromatik bitkilerde uçucu yağ sentezini doğrudan etkileyebilir. Kuraklık, tuzluluk veya sıcaklık stresi gibi durumlar, uçucu yağların miktarını ve bileşimini değiştirebilir. Örneğin, Origanum ve Lavandula gibi bitkilerde su eksikliği uçucu yağ üretimini azaltabilir veya yağın bileşiminde daha fazla stresle başa çıkma kapasitesi sağlayan bileşenlerin artmasına yol açabilir. Biyostimülantlar, uçucu yağ üretimini ve kalitesini optimize ederek bu streslerin olumsuz etkilerini hafifletebilir.

Biyostimülantların Abiyotik Stres Toleransını Artırma Mekanizmaları

Biyostimülantlar, bitkilerin abiyotik streslere karşı direncini artırarak metabolik süreçleri destekler ve büyümeyi teşvik eder. Abiyotik stresler altında bitkilerin fizyolojik fonksiyonları bozulabilir; biyostimülantlar, bu bozulmaları önleyerek bitkilerin hayatta kalmasını ve üretkenliğini sağlar. Aşağıda, biyostimülantların bu süreçleri nasıl düzenlediğine dair başlıca mekanizmalar açıklanmaktadır.

Fotosentez ve Metabolik Aktivitelerin İyileştirilmesi

Abiyotik stresler, bitkilerde fotosentez hızını düşürerek büyümeyi ve gelişmeyi olumsuz etkileyebilir. Özellikle kuraklık ve tuzluluk stresi altında stomaların kapanması, bitkilerin karbon dioksit alımını azaltır ve net fotosentez oranı düşer. Tıbbi ve aromatik bitkiler, kuraklık ve tuzluluk gibi streslere karşı osmotik düzenleme mekanizmaları geliştirir. Bu bitkiler, su kaybını sınırlamak için yaprak yüzeylerindeki stomalarını kapatır ve osmoregülatör maddeler (prolin, betain vb.) sentezleyerek hücrel su dengesini korumaya çalışırlar. Bu süreç, bitkinin yaşamsal fonksiyonlarını sürdürmesini sağlarken, üretim ve verim düşüşüne de yol açabilir (Dobrikova, 2023). Biyostimülantlar, bitkinin su kullanımını artırabilir ve fotosentezi artırarak bu etkileri hafifletir. Özellikle alg ekstraktları ve amino asitler, fotosentetik enzimlerin aktivitesini destekleyerek bitkilerin enerji üretimini artırır (Bulgari ve ark, 2017). Alg ekstraktları, fotosentezde yer alan klorofil sentezini teşvik eder ve bitkilerin ışık enerjisini daha verimli kullanmasını sağlar. Bu sayede bitkilerin enerji üretimi artar ve stres koşullarında dahi büyümeye devam edebilirler. Amino asitler ise fotosentetik pigmentlerin korunmasına yardımcı olur ve fotosentez hızını stabilize eder. Bu süreçte enerji verimliliğini artırarak bitkilerin metabolik faaliyetlerini düzenler.

Hormon Düzenlemeleri

Bitkisel hormonlar, bitkilerin stres koşullarında yanıt vermesinde kritik rol oynar. Abiyotik stres koşullarında bitkilerin hormon dengesi değişir. Özellikle abscisic acid (ABA), jasmonik asit (JA) ve etilen gibi stres hormonları, abiyotik streslere karşı bitki tepkilerini düzenler. Abscisic acid (ABA), kuraklık ve tuzluluk stresine karşı bitkilerdeki ana düzenleyici hormondur ve stomaların kapanmasında önemli bir rol oynar (Ali ve ark., 2020). Bunun yanında, jasmonik asit (JA) ve etilen gibi stres hormonları, bitkinin stres yanıtını yönlendirir. Tıbbi ve aromatik bitkilerde bu hormonların dengeyi koruması, bitkilerin abiyotik streslere daha toleranslı hale gelmesini sağlar (Wang ve ark., 2020). Biyostimülantlar, bu hormonların düzeyini düzenleyerek bitkilerin stres tepkisini optimize edebilir. Alg ekstraktları ve humik asitler, bitkide doğal hormon üretimini uyararak bitkinin streslere karşı daha dayanıklı olmasına katkı sağlar. Bu biyostimülantlar, bitkide sitokinin ve gibberellin hormonlarını artırarak hücre bölünmesi ve büyümesini teşvik eder. Protein hidrolizatları, hormon sinyal yollarını düzenleyerek stres yanıtını modifiye eder. Bu biyostimülantlar, ABA seviyelerini düzenleyerek stomaların kontrolünü sağlar ve su kaybını sınırlar (Paulert ve ark., 2021).

Su ve Besin Alımının Artırılması

Kuraklık ve tuzluluk gibi stresler altında bitkilerin su alımı zorlaşabilir ve köklerin besin maddelerini toplaması engellenebilir. Tıbbi ve aromatik bitkiler, stres koşullarında kök sistemlerini yeniden yapılandırarak hayatta kalmaya çalışırlar. Özellikle tuzlu topraklarda, bitkiler kök bölgelerindeki tuz birikimini tolere edebilmek için kök hücre duvarlarında yapısal değişiklikler yapar (Dobrikova, 2023). Ayrıca, kök bölgesindeki mikrobiyal faaliyetler de bitkinin abiyotik stresle başa çıkma kapasitesini etkileyebilir. Biyostimülantlar, kök büyümesini teşvik ederek ve faydalı mikrobiyal etkileşimleri artırarak bitkilerin bu streslere karşı direnç kazanmasına yardımcı olabilir. Özellikle mikoriza mantarları ve alg ekstraktları, bu süreçte kritik bir rol oynar. Mikoriza mantarları, bitki kökleri ile simbiyotik ilişkiler kurarak bitkilerin daha geniş bir kök alanına erişmesini sağlar. Bu sayede bitkiler, topraktaki su ve besin maddelerini daha etkin bir şekilde alabilir. Mikoriza, özellikle fosfor alımını artırarak bitkilerin büyümesini teşvik eder (Delaeter ve ark., 2024). Fulvik asitler, topraktaki besin maddelerini şelatlayarak bitkiler tarafından daha kolay emilmesini sağlar. Bu süreç, bitkilerin stres altındaki performansını artırır ve besin eksikliklerini gidermeye yardımcı olur (Canellas ve ark., 2015).

Antioksidan Sistemlerin Güçlendirilmesi

Tıbbi ve aromatik bitkiler, abiyotik stresler karşısında bir dizi metabolik yanıt gösterirler. Stres koşulları altında bitkilerde reaktif oksijen türleri (ROS) birikir ve ve bu da oksidatif stresle sonuçlanır. Oksidatif stres, hücre zarlarına zarar vererek protein denatürasyonuna ve DNA hasarına yol açabilir (Miller ve ark., 2008). Tıbbi ve aromatik bitkiler, oksidatif strese karşı doğal antioksidan savunma mekanizmalarına sahiptir ve bu zararlı etkileri azaltmak için antioksidan sistemlerini aktive ederler. Abiyotik stresler altında bitkiler, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz

(CAT) ve peroksidaz (POD) gibi enzimlerin seviyelerini artırarak ROS'un zararlı etkilerini azaltmaya çalışır (Kusvuran ve ark., 2016). Abiyotik stres koşulları altında fenolik bileşiklerin sentezi genellikle artar. Ancak bu artış, bitkinin enerji gereksinimini artırarak büyüme üzerinde olumsuz bir etkiye neden olabilir. Biyostimülanların bu süreçte fenolik bileşiklerin sentezini düzenleyerek bitkinin stresle başa çıkma kapasitesini artırdığı bilinmektedir. Özellikle tıbbi bitkilerde, antioksidan bileşiklerin sentezi hem bitkinin hayatta kalma şansını artırır hem de bu bileşiklerin farmakolojik değerini artırır. Ayrıca, fenolik bileşikler, flavonoidler ve terpenoidler gibi sekonder metabolitler, bitkilerin stres toleransında önemli bir rol oynar. Bu bileşikler, hem hücresele düzeyde stresle başa çıkma mekanizmalarını güçlendirir hem de bitkinin ticari değerini artıran unsurlardır (Chiappero ve ark., 2021). Biyostimülanlar, bitkilerin doğal antioksidan savunma mekanizmalarını destekler ve bitkilerin stres toleransını daha da güçlendirebilir. Amino asitler ve alg ekstraktları, bitkilerin antioksidan enzimlerini (süperoksit dismutaz, katalaz ve peroksidaz) aktive ederek oksidatif hasarı önler. Bu sayede hücrelerin yapısal bütünlüğü korunur ve bitkiler stres koşullarında hayatta kalabilir. Humik ve fulvik asitler, hücresele zarları stabilize eder ve serbest radikalleri nötralize eder. Bu durum, bitkilerin stres altında daha dayanıklı olmasını sağlar (Canelles ve ark., 2015).

Tıbbi ve Aromatik Bitkilerde Biyostimülan Uygulamaları

Tıbbi ve aromatik bitkilerde biyostimülanların kullanımı, bu bitkilerin üretimini artırmak ve kalitelerini iyileştirmek için giderek daha fazla ilgi gören bir yaklaşımdır. Biyostimülanların bitkiler üzerindeki olumlu etkileri, özellikle uçucu yağ verimi ve bileşimi, antioksidan kapasite ve stres toleransı gibi özellikler açısından önemli kazanımlar sağlamaktadır.

Origanum türleri, tıbbi ve aromatik özellikleri nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Biyostimülanlar, kekik üretiminde uçucu yağ kalitesini artırmak ve bitkinin strese karşı direncini güçlendirmek amacıyla sıklıkla kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar, alg ekstraktları ve humik asitlerin kekik bitkisinde uçucu yağ verimini artırdığını göstermiştir. Özellikle karvakrol ve timol gibi aktif bileşiklerin oranlarında önemli artışlar gözlenmiştir (Mikhi ve ark., 2019; Abdali ve ark., 2023). Bir başka çalışmada, amino asit bazlı biyostimülanlar kullanıldığında, kekik bitkisinde antioksidan aktivite artışı ve fenolik bileşiklerin miktarında iyileşme sağlandığı belirlenmiştir. Bu durum, bitkinin farmakolojik özelliklerini güçlendirmektedir. Ayrıca, biyostimülanların kekik kök gelişimini teşvik ettiği, bu sayede su ve besin alımını iyileştirdiği tespit edilmiştir (Cheng ve ark., 2017). Bu, bitkinin kuraklık gibi streslere karşı daha dayanıklı olmasını sağlar.

Bir başka kekik türü *Thymus vulgaris*, tıbbi ve aromatik bitkiler arasında yaygın olarak kullanılan bir tür olup, özellikle uçucu yağlarının kalitesi büyük önem taşır. Biyostimülanlar, kekik üretiminde verimi artırmak ve bitkinin stres koşullarına karşı dayanıklılığını güçlendirmek için kullanılmaktadır. Alg ekstraktları kullanılarak yapılan çalışmalarda, kekik bitkisinde uçucu yağ veriminde ve özellikle timol ve karvakrol oranlarında

önemli artışlar sağlanmıştır (Rasuli ve ark., 2024). Bu bileşikler, kekik bitkisinin antimikrobiyal ve antioksidan özelliklerini güçlendiren ana bileşenlerdir. Humik asit bazı biyostimülanlar, kekik bitkisinde kök büyümesini teşvik etmiş ve bitkinin kuraklık stresine karşı daha dirençli olmasını sağlamıştır. Aynı zamanda, bitkinin fotosentetik performansı artmış ve bu da biyokütle veriminde iyileşmelere yol açmıştır (Saber ve ark., 2019). Kekik üzerinde yapılan diğer bir çalışmada, mikroorganizmalar (rizobakteriler) ile yapılan biyostimülan uygulamaları, bitkinin besin alımını artırarak büyüme hızını ve uçucu yağ bileşimini olumlu yönde etkilemiştir (Abdollahi-Arpanahi ve ark., 2019).

Lavanta (*Lavandula*) türleri, parfümeri, kozmetik ve tıbbi ürünlerde yaygın olarak kullanılan uçucu yağlarıyla bilinir. Lavanta bitkilerinde biyostimülan uygulamaları, uçucu yağ miktarını ve kalitesini artırmak için oldukça etkilidir. Alg ekstraktları ile yapılan çalışmalar, lavanta bitkilerinde linalool ve linalil asetat gibi ana bileşenlerin üretiminde artış sağladığını göstermiştir (Caccialupi ve ark., 2022). Bu bileşenler, lavantanın ticari değerini artıran uçucu yağlardır. Ayrıca, lavanta bitkilerine uygulanan mikroorganizma bazlı biyostimülanlar, kök ve bitki büyümesini teşvik ederek bitkilerin stresli koşullarda daha iyi performans göstermesini sağlamıştır (Mujezinović ve ark., 2022). Mikoriza mantarları, özellikle fosfor alımını artırarak lavanta bitkilerinin daha sağlıklı büyümesine katkı sağlamıştır (Pirzad ve Mohammadzadeh, 2018). Lavanta üzerinde yapılan bir diğer çalışmada, biyostimülanların uygulandığı bitkilerin antioksidan kapasitelerinin arttığı ve bu sayede oksidatif strese karşı daha dirençli hale geldikleri tespit edilmiştir (Truzzi ve ark., 2021).

Adaçayı (*Salvia*) türleri, özellikle sağlık sektöründe geniş kullanım alanına sahip olup, biyostimülan uygulamaları ile verim ve kaliteyi artırmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Humik ve fulvik asitler kullanılarak yapılan deneylerde, adaçayı bitkisinde uçucu yağ miktarının ve fenolik bileşiklerin miktarının arttığı gözlemlenmiştir (Khosravi ve ark., 2023). Bu, adaçayının farmakolojik etkilerini güçlendirmiştir. Amino asit bazlı biyostimülanlar, adaçayı bitkisinin büyümesini teşvik ederken, bitkideki su ve besin alımını iyileştirmiştir. Bu uygulamalar sonucunda bitkiler kuraklık gibi stres koşullarında daha verimli hale gelmiştir (Farruggia ve ark., 2024). Ayrıca, biyostimülanların adaçayında antioksidan sistemleri güçlendirdiği ve bu sayede bitkilerin oksidatif strese karşı daha dayanıklı olduğu belirlenmiştir (Mujezinović ve ark., 2022).

Biberiye (*Rosmarinus officinalis*), güçlü antioksidan özelliklere sahip fenolik bileşikleri ve uçucu yağlarıyla bilinen önemli bir tıbbi ve aromatik bitkidir. Biyostimülanlar, biberiyede verim ve kaliteyi artırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmıştır. Alg ekstraktları ve humik asitler, biberiye bitkisinde uçucu yağ içeriğini ve rosmarinik asit gibi önemli fenolik bileşiklerin seviyesini artırmıştır. Bu, biberiyenin antioksidan kapasitesini ve antimikrobiyal özelliklerini güçlendirmiştir. Biyostimülanların biberiyede kök gelişimini artırarak su ve besin alımını iyileştirdiği, bu sayede bitkinin kuraklık gibi stres koşullarında daha dayanıklı hale geldiği gözlemlenmiştir (Nia ve ark., 2016). Bir çalışmada, mikroorganizma bazlı biyostimülanlar (örneğin, mikoriza

mantarları) kullanıldığında, biberiyede büyüme parametrelerinde iyileşme ve fotosentez hızında artış kaydedilmiştir (Pirzad ve Mohammadzadeh, 2018).

Nane (*Mentha piperita*), tıbbi ve aromatik kullanımı olan bir bitki olup, biyostimülant uygulamaları ile verimi ve kalitesi artırılabilir. Nane bitkisinde uçucu yağ verimi ve özellikle mentol içeriği oldukça önemlidir. Amino asit bazlı biyostimülantlar, nane bitkisinde klorofil içeriğini artırarak fotosentez hızını yükseltmiş ve bu da bitkinin biyokütle veriminde artış sağlamıştır. Ayrıca, uçucu yağ içerikleri de artmış ve mentol gibi aktif bileşiklerin oranında önemli iyileşmeler gözlemlenmiştir (Abd-Elkader ve ark., 2022). Mikoriza uygulamaları, nane bitkisinde kök gelişimini teşvik ederek bitkinin stres koşullarına karşı daha dayanıklı olmasını sağlamış ve verimi artırmıştır (Goudarzian ve ark., 2020). Bu simbiyotik ilişkiler, özellikle tuzluluk stresine karşı direnç geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Nane bitkisinde humik asit kullanımı, toprak yapısını iyileştirerek bitkinin su ve besin alımını artırmış, bu da verim artışına ve stres toleransına olumlu katkı sağlamıştır (Elansary ve ark., 2019).

Papatya (*Matricaria chamomilla*), antienflamatuvar ve yatıştırıcı özellikleriyle bilinen tıbbi bir bitkidir. Biyostimülantlar, papatya bitkisinin stres koşullarına karşı dayanıklılığını artırmak ve uçucu yağ kalitesini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Fulvik asit ve amino asitler, papatya bitkisinde büyüme ve çiçek verimini artırmış, aynı zamanda uçucu yağ veriminde önemli iyileşmeler sağlamıştır. Uçucu yağın içeriğinde α -bisabolol ve apigenin gibi farmakolojik açıdan önemli bileşiklerin miktarında artış sağlanmıştır (Alizadeh Salteh, ve ark., 2023). Alg ekstraktları, papatya bitkisinde antioksidan savunma mekanizmalarını güçlendirerek oksidatif strese karşı daha dirençli hale getirmiştir (Zarezadeh ve ark., 2020). Bu da bitkinin genel stres toleransını artırmış ve kaliteyi iyileştirmiştir. Papatya bitkisine uygulanan mikroorganizmalar, kök gelişimini teşvik ederek bitkinin su ve besin alımını iyileştirmiş ve bu sayede bitki veriminde artış gözlemlenmiştir (Ahmad ve Rabea, 2022).

Oğulotu (*Melissa officinalis*), sakinleştirici etkileri ile bilinen bir tıbbi bitkidir. Biyostimülantlar, oğulotu bitkisinin kalitesini artırmak ve verim elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Amino asitler ve alg ekstraktları ile yapılan biyostimülant uygulamaları, oğulotu bitkisinde uçucu yağ içeriğini artırmış, özellikle citral ve geranial bileşenlerinin seviyelerini yükseltmiştir (Majkowska-Gadomska ve ark., 2020). Bu bileşenler, oğulotunun tıbbi etkilerini güçlendirmektedir. Bir çalışmada, humik asit uygulamaları, oğulotu bitkisinde kök gelişimini teşvik etmiş ve bu sayede bitkinin su ve besin alımını iyileştirmiştir. Ayrıca biyostimülantların, oğulotu bitkisinde antioksidan aktiviteyi artırdığı ve bu sayede oksidatif stres koşullarına karşı daha dirençli hale geldiği belirlenmiştir (Gorgini Shabankareh ve ark., 2017).

Sarı kantaron (*Hypericum perforatum*), depresyon tedavisinde kullanılan önemli bir tıbbi bitkidir. Biyostimülant uygulamaları, bu bitkinin aktif bileşenlerinin kalitesini artırmak için kullanılmaktadır. Humik asitler ve amino asitler, Saint John's Wort bitkisinde hypericin ve hyperforin gibi önemli aktif bileşiklerin miktarını artırmıştır. Bu, bitkinin farmakolojik etkinliğini artırmaktadır. Ayrıca, biyostimülantların bu

bitkinin büyüme ve gelişimini desteklediği, bu sayede verim ve kaliteyi artırdığı gözlemlenmiştir (Kaboli Farshchi ve ark., 2016). Yapılan bir başka çalışmada, mikroorganizmalar kullanılarak yapılan biyostimülant uygulamaları, bitkide kök gelişimini ve besin alımını iyileştirmiştir (Süntar ve ark., 2016).

Ekinezya (*Echinacea purpurea*), bağışıklık sistemini güçlendiren özellikleri ile bilinen bir bitkidir. Biyostimülant uygulamaları, ekinezyada verim ve aktif bileşenlerin kalitesini artırmak için kullanılmaktadır. Amino asit bazlı biyostimülantlar, ekinezya bitkisinde büyüme hızını artırarak kök ve yaprak gelişimini teşvik etmiştir. Bu durum, bitkinin genel veriminde artış sağlamıştır. Yapılan bu çalışmada, humik asit uygulamaları sayesinde aktif bileşenler olan echinacoside ve diğer polifenollerin miktarında artış gözlemlenmiştir (Fallah-Hosseini ve ark., 2022). Ayrıca, biyostimülantların ekinezya antioksidan kapasitesini artırdığı ve bu sayede stres koşullarına karşı daha dayanıklı hale geldiği belirlenmiştir (Bat ve ark., 2020).

Farklı tıbbi ve aromatik bitkilerde elde edilen bu sonuçlar, biyostimülantların tıbbi ve aromatik bitkilerde verim ve kaliteyi artırmadaki etkisini açıkça göstermektedir. Biyostimülantların kullanımı, bitkilerin stres koşullarına dayanıklılığını artırırken, aynı zamanda potansiyel sağlık yararlarını da artırmaktadır. Özellikle uçucu yağ fenolik bileşikler ve terpenoidlerin miktarındaki artış, bu bitkilerin tıbbi ve aromatik özelliklerini güçlendirir.

Gelecek Perspektifleri ve Zorluklar

Biyostimülantların tıbbi ve aromatik bitkilerde kullanımı, birçok avantaj sağlasa da bazı zorluklarla da karşılaşmaktadır. Biyostimülantların etkinliği, kullanılan ürünlerin içeriğine ve uygulama koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu durum, farklı üreticiler arasında standart bir kalite kontrol mekanizmasının olmaması nedeniyle zorluk yaratmaktadır (Li ve ark., 2022). Ayrıca, çiftçiler ve üreticiler arasında biyostimülantların faydaları ve kullanımı hakkında yeterli bilgi ve farkındalık bulunmamaktadır. Bu da biyostimülantların potansiyelinin tam olarak kullanılmamasına yol açmaktadır. Biyostimülantların, tarımsal ürünlerde kullanılmadan önce geçmesi gereken regülasyon ve onay süreçleri, çoğu zaman zaman alıcı ve karmaşık olabilmektedir. (Caradonia ve ark., 2019). Bu durum, ürünlerin pazara girişini geciktirmektedir. Bunun yanı sıra, biyostimülantların etkinliğini artırmak için uygun uygulama tekniklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Biyostimülantların etkinliğini ve bitkiler üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için araştırmaların yapılması gerekmektedir. Özellikle farklı bitkilerde biyostimülantların nasıl çalıştığını açıklayan mekanizmaların incelenmesi önemlidir. Ayrıca, diğer tarım uygulamalarıyla (örneğin, gübreleme ve sulama) entegrasyonu zor olabilmektedir.

Biyostimülantların uzun dönemli etkileri ve bu uygulamaların toprak sağlığı üzerindeki etkileri hakkında daha fazla bilgiye ihtiyaç vardır. Bu, sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesine katkıda bulunacaktır. Farklı bitkilerde ve iklim koşullarında biyostimülantların etkinliğinin araştırılması, uygulama yöntemlerinin

optimize edilmesine yardımcı olacaktır. Her bitki türü için spesifik biyostimülant uygulamaları geliştirilmesi gerekmektedir. Yeni biyostimülantlar ve formülasyonlar geliştirmek, özellikle doğal ve organik tarım uygulamaları için önemlidir. Bu hem bitki verimini artıracak hem de çevresel sürdürülebilirliği destekleyecektir.

Sonuç

Bu derleme makalesinde, biyostimülantların tıbbi ve aromatik bitkilerin abiyotik stres toleransını artırmadaki rolü, kullanım mekanizmaları, avantajları ve mevcut zorlukları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Biyostimülantlar, bitki gelişimini iyileştirirken, çevresel sürdürülebilirliği destekleyerek tarımsal üretim süreçlerinde önemli bir yer edinmektedir. Özellikle doğal kaynakların korunması, toprak sağlığının iyileştirilmesi ve su kullanımının optimize edilmesi gibi yönleriyle tarımsal sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadırlar.

Yapılan araştırmalar, biyostimülantların verim ve kalite üzerindeki olumlu etkilerini göstermektedir. Çeşitli tıbbi ve aromatik bitkilerde gerçekleştirilen uygulamalar, bu ürünlerin potansiyel faydalarını ortaya koymuştur. Ancak, biyostimülantların etkinliğini artırmak ve geniş bir kullanım alanı bulmalarını sağlamak için bazı zorluklar hâlâ mevcuttur. Standartlaşma eksikliği, yetersiz bilgi ve farkındalık, regülasyon süreçleri gibi faktörler, biyostimülantların tarımda yaygın kullanımını sınırlamaktadır.

Gelecekte, biyostimülantların etkinliğine dair daha fazla araştırma yapılması ve bu ürünlerin uzun dönemli etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca, yeni biyostimülant formülasyonları geliştirmek ve farklı bitkiler için spesifik uygulama yöntemleri oluşturmak, bu alandaki bilgi birikimini artıracaktır.

Sonuç olarak, biyostimülantlar, tıbbi ve aromatik bitkilerin stres toleransını artırmada önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Çiftçiler, üreticiler ve araştırmacılar, bu ürünlerin potansiyelini en üst düzeye çıkarmak için iş birliği yapmalı ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını destekleyen yenilikçi çözümler geliştirmelidir.

Kaynaklar

Abd-El-kader, E. H., Ali, A. F., & Tawfik, O. H. (2022). Growth and essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.) plants as influenced by compost and some biostimulants. *Archives of Agriculture Sciences Journal*, 5(1), 53-76.

Abdali, R., Rahimi, A., Siavash Moghaddam, S., Heydarzadeh, S., Arena, C., Vitale, E., & Zamanian, M. (2023). The role of stress modifier biostimulants on adaptive strategy of oregano plant for increasing productivity under water shortage. *Plants*, 12(24), 4117.

Abdelmajeed, N. A., Danial, E. N., & Ayad, H. S. (2013). The effect of environmental stress on qualitative and quantitative essential oil of aromatic and medicinal plants. *Archives des sciences*, 66(4), 100-120.

Abdollahi Arpanahi, A., Feizian, M., & Mehdipourian, G. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria enhance oil content and physiological status of *Thymus daenensis* Celak. under drought stress. *Journal of Medicinal Herbs*, 9(4), 223-231.

Aftab, T., Choudhary, S., Naeem, M., Masroor, M., Khan, A., & Aftab, T. (2019). A review of medicinal and aromatic plants and their secondary metabolites status under abiotic stress. *Journal of Medicinal Plants*, 7(3), 99-106.

Ahmad, R. A., & Rabea, K. M. (2022). Effect of mycorrhiza, cytokinin and organic fertilizer on the growth and yield of chamomile plant (*Matricaria recutita* L.). *Indian Journal of Ecology*, 49(20), 119-125.

Ali, S., Hayat, K., Iqbal, A., & Xie, L. (2020). Implications of abscisic acid in the drought stress tolerance of plants. *Agronomy*, 10(9), 1323.

Alizadeh Salteh, S., Nasiri Kaleibar, A., Zaare-Nahandi, F., & Adlipour, M. (2023). Salicylic acid and fulvic acid foliar application influence the growth, some physiological responses and essential oil content of *Thymus vulgaris* L. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(4), 165-178.

Azad, M.O.K., Park, B.S., Adnan, M., Germ, M., Kreft, I., Woo, S.H., & Park, C.H. (2021). Silicon biostimulant enhances the growth characteristics and fortifies the bioactive compounds in common and tartary buckwheat plant. *Journal of Crop Sciences Biotechnology*, 24, 51-59.

Bashir, M. A., Rehman, A., Raza, Q. U. A., Raza, H. M. A., Zhai, L., Liu, H., & Wang, H. (2021). Biostimulants as plant growth stimulators in modernized agriculture and environmental sustainability. *Technology in Agriculture*, 311.

Bat, M., Tunçtürk, R., & Tunçtürk, M. (2019). *Echinacea purpurea* L.) bitkisinde kuraklık stresi ve deniz yosunu uygulamalarının bazı fizyolojik parametreler üzerine etkisi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(1): 99-107. DOI: 10.18016/ksutarimdog.a.vi.535210.

Battacharyya, D., Babgohari, M.Z., Rathor, P., & Prithiviraj, B. (2015). Seaweed Extracts as Biostimulants in Horticulture. *Science Horticulture*, 196, 39-48.

Bistgani, Z. E., Barker, A. V., & Hashemi, M. (2024). Physiology of medicinal and aromatic plants under drought stress. *The Crop Journal*, 12 (2), 330-339.

Bulgari, R., Morgutti, S., Cocetta, G., Negrini, N., Farris, S., Calcante, A., Spinardi, A., Ferrari, E., Mignani, I., & Oberti, R. (2017). Evaluation of borage extracts as potential biostimulant using a phenomic, agronomic, physiological, and biochemical approach. *Frontier Plant Sciences*, 8, 935.

Caccialupi, G., Caradonia, F., Ben Hassine, M., Truzzi, E., Benvenuti, S., Ronga, D., & Francia, E. (2022). Use of biostimulants to increase biomass production in Lavandin (*Lavandula x intermedia*) cultivated in Tuscan-Emilian Apennines. In AISSA.

Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 15-27.

Caradonia, F., Battaglia, V., Righi, L., Pascali, G., & La Torre, A. (2019). Plant biostimulant regulatory framework: prospects in Europe and current situation at international level. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38, 438-448.

Cheng, C., Liu, Z., Zhou, Y., Wei, H., Zhang, X., Xia, M., & Peng, J. (2017). Effect of oregano essential oil supplementation to a reduced-protein, amino acid-supplemented diet on meat quality, fatty acid composition, and oxidative stability of *Longissimus thoracis* muscle in growing-finishing pigs. *Meat science*, 133, 103-109.

Chiappero, J., del Rosario Cappellari, L., Palermo, T. B., Giordano, W., Khan, N., & Banchio, E. (2021). Antioxidant status of medicinal and aromatic plants under the influence of growth-promoting rhizobacteria and osmotic stress. *Industrial Crops and Products*, 167, 113541.

Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., Roupheal, Y. (2015a). Protein Hydrolysates as Biostimulants in Horticulture. *Science Horticulture*, 196, 28-38.

Colla, G., Roupheal, Y., Di Mattia, E., El-Nakhel, C., Cardarelli, M. (2015b). Co-Inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma Atroviride* Acts as a Biostimulant to Promote Growth, Yield and Nutrient Uptake of Vegetable Crops. *Journal of Science Food Agriculture*, 95, 1706-1715.

- Delaeter, M., Magnin-Robert, M., Randoux, B., & Lounès-Hadj Sahraoui, A. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi as biostimulant and biocontrol agents: a review. *Microorganisms*, 12(7), 1281.
- Dobrikova, A.G. (2023). Abiotic Stress Tolerance in Crop and Medicinal Plants. *Plants*, 2023; 12(24):4167. <https://doi.org/10.3390/plants12244167>
- Fallah Hosseini, Z., Riahi, H., Ghorbani Nohooji, M., & Shariatmadari, Z. (2022). The Effect of Cyanobacterial Bioelicitors on Total Phenolic Content of *Echinacea purpurea* L. *Journal of Phycological Research*, 6(2), 914-922.
- Farruggia, D., Di Miceli, G., Licata, M., Leto, C., Salamone, F., & Novak, J. (2024). Foliar application of various biostimulants produces contrasting response on yield, essential oil and chemical properties of organically grown sage (*Salvia officinalis* L.). *Frontiers in Plant Science*, 15, 1397489.
- Franzoni, G., Cocetta, G., Prinsi, B., Ferrante, A., & Espen, L. (2022). Biostimulants on crops: Their impact under abiotic stress conditions. *Horticulturae*, 8(3), 189.
- Gorgini Shabankareh, H., Sabouri, F., Saedi, F., & Fakheri, B. A. (2017). Effects of different levels of humic acid on growth indices and essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under different irrigation regimes. *Crop Science Research in Arid Regions*, 1(2), 166-176.
- Goudarzian, A., Pirbalouti, A. G., & Hossaynzadeh, M. (2020). Menthol, balance of menthol/menthone, and essential oil contents of *Mentha x Piperita* L. under foliar-applied chitosan and inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 23(5), 1012-1021.
- Kaboli Farshchi, H., Azizi, M., Nemati, S. H., & Rowshan, V. (2016). Effect of potassium sulphate and humic acid on growth, yield and essential oil content in *Hypericum perforatum* L. *Journal of Horticultural Science*, 29(4), 518-527.
- Kapooore, R. V., Wood, E. E., & Llewellyn, C. A. (2021). Algae biostimulants: A critical look at microalgal biostimulants for sustainable agricultural practices. *Biotechnology Advances*, 49, 107754.
- Khosravi, F., Bahmanyar, M. A., & Akbarpour, V. (2023). Effect of different levels of humic acid and zinc sulfate on morphological and phytochemical traits of (*Salvia officinalis* L.). *Journal of Horticultural Science*, 37(3), 615-627.
- Kusvuran, S., Kiran, S., & Ellialtioglu, S. S. (2016). Antioxidant enzyme activities and abiotic stress tolerance relationship in vegetable crops. *Abiotic and biotic stress in plants—recent advances and future perspectives*, 481-506.
- Mahajan, M., Kuiry, R., & Pal, P. K. (2020). Understanding the consequence of environmental stress for accumulation of secondary metabolites in medicinal and aromatic plants. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 18, 100255.
- Majkowska-Gadomska, J., Jadwisieńczyk, K., Francke, A., & Kaliniewicz, Z. (2022). Effect of biostimulants on the yield and quality of selected herbs. *Applied Sciences*, 12(3), 1500.
- Mikhi, S., Doulati, B., & Rahimi, A. (2019). Effects of Micronutrients and Humic Substance Application on some Quantitative and Qualitative Traits of Medicinal and Aromatic Herbs of Istanbul oregano. *Agricultural Engineering*, 42(2), 51-66.
- Miller, G., Shulaev, V., & Mittler, R. (2008). Reactive oxygen signalling and abiotic stress. *Physiologia plantarum*, 133(3):481-489.
- Mujezinović, F., Avdić, J., Livančić, B., Ašimović, Z., Smajić Murtić, M., & Murtić, S. (2022). Enhancement of antioxidant properties of lavender (*Lavandula officinalis* L.), sage (*Salvia officinalis* L.) and basil (*Ocimum basilicum* L.) by application of natural biostimulants. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 87(1), 77-81.
- Nardi, S., Schiavon, M., & Francioso, O. (2021). Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*, 26, 2256.
- Nia, A. F., Badi, H. N., Mehrafarin, A., Bahman, S., & Sahandi, M. S. (2016). Changes in the essential oil content and terpene composition of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) by using plant biostimulants. *Acta agriculturae Slovenica*, 107(1), 147-157.
- O. Elansary, H., Mahmoud, E. A., El-Ansary, D. O., & Mattar, M. A. (2019). Effects of water stress and modern biostimulants on growth and quality characteristics of mint. *Agronomy*, 10(1), 6.
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental science and pollution research*, 22, 4056-4075.
- Paulert, R., Ascrizzi, R., Malatesta, S., Berni, P., Nosedà, M. D., Mazetto de Carvalho, M., & Pistelli, L. (2021). Ulva intestinalis extract acts as biostimulant and modulates metabolites and hormone balance in basil (*Ocimum basilicum* L.) and parsley (*Petroselinum crispum* L.). *Plants*, 10(7), 1391.
- Pirzad, A., & Mohammadzadeh, S. (2018). Water use efficiency of three mycorrhizal Lamiaceae species (*Lavandula officinalis*, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris*). *Agricultural Water Management*, 204, 1-10.
- Rahman, S., Iqbal, M., & Husen, A. (2023). Medicinal plants and abiotic stress: an overview. *Medicinal Plants: Their Response to Abiotic Stress*, 1-34.
- Ramakrishna, A., & Ravishankar, G.A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signal Behav*, 6:1720-1731
- Rasuli, N., Riahi, H., Shariatmadari, Z., Nohooji, M. G., MehrabanJoubani, P., & Dehestani, A. (2024). Enhancing thymol and carvacrol biosynthesis in *thymus vulgaris* l. using *laurencia caspica* seaweed extract: biostimulant potential and gene expression insights. *Journal of Applied Physiology*, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4626550/v1>
- Saber, M., Changizi, M., Khaghani, S., Gamariyan, M., Pourmeidani, A., & Jafari, A. A. (2019). Effect of Salinity and Humic Acid on Morphological Traits and Essential Oil Content of *Thymus Kotschyanus*. *Archives of Pharmacy Practice*, 10(2-2019), 89-96.
- Said-Al Ahl, H. A. H., & Omer, E. A. (2011). Medicinal and aromatic plants production under salt stress. A review. *Herba Polonica*, 57(2).
- Santini, G., Biondi, N., Rodolfi, L., & Tredici, M. R. (2021). Plant biostimulants from cyanobacteria: An emerging strategy to improve yields and sustainability in agriculture. *Plants*, 10(4), 643.
- Savvas, D., & Ntatsi, G. (2015). Biostimulant Activity of Silicon in Horticulture. *Science Horticulture*, 196, 66-81.
- Süntar, I., Oyardı, O., Akkol, E. K., & Özçelik, B. (2016). Antimicrobial effect of the extracts from *Hypericum perforatum* against oral bacteria and biofilm formation. *Pharmaceutical Biology*, 54(6), 1065-1070.
- Truzzi, E., Benvenuti, S., Bertelli, D., Francia, E., & Ronga, D. (2021). Effects of biostimulants on the chemical composition of essential oil and hydrosol of lavender (*Lavandula x intermedia emeric ex loisel.*) cultivated in tuscan-emilian apennines. *Molecules*, 26(20), 6157.
- Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., & Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4, 1-12.
- Wang, J., Song, L., Gong, X., Xu, J., & Li, M. (2020). Functions of jasmonic acid in plant regulation and response to abiotic stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), 1446.

- Waraich, E. A., Ahmad, R., Halim, A., & Aziz, T. (2012). Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(2), 221-244.
- Yakhin, O.I., Lubyantsev, A.A., Yakhin, I.A., Brown, P.H. (2017). Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Frontiers Plant Science*, 7, 2049.
- Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, 7(3), 50.
- Zarezadeh, S., Riahi, H., Shariatmadari, Z., & Sonboli, A. (2020). Effects of cyanobacterial suspensions as bio-fertilizers on growth factors and the essential oil composition of chamomile, *Matricaria chamomilla* L. *Journal of Applied Phycology*, 32, 1231-1241.