

***Cladophora* sp. ve Arbüsküler Mikorizal Fungus (AMF) Spor Aşılmasının Mısır Bitkisinin (*Zea mays* L.) Gelişim Parametreleri ve Bazı Rizosfer Toprak Enzimlerine Etkisi**

Çiğdem KÜÇÜK¹, Pınar USLU², Göksal SEZEN³

^{1,2,3}Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

(Alınış / Received: 25.04.2024, Kabul / Accepted: 09.07.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.08.2024)

Anahtar Kelimeler
Cladophora sp.,
AMF spor aşılması,
Rizosfer,
Toprak enzimi

Özet: Bu çalışmada Arbüsküler Mikorizal Fungus (AMF) spor aşılması ve *Cladophora* sp. ekstraktının birlikte uygulamalarının mısır bitkilerinin temel bitki büyüme özellikleri, rizosferdeki alkalın fosfataz, dehidrogenaz, üreaz ve β -glukosidaz enzim aktiviteleri üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma serada tesadüf parselleri faktöriyel deneme desenine göre 3 tekrarlı olarak kurulmuştur. Mikoriza (aşısız, 5 g/kg, 10 g/kg, 15 g/kg ile aşı) ve *Cladophora* sp. (%0, 0.5, 1, 1.5) farklı dozlarda topraklara uygulanmıştır. Uygulamaların etkileri temel bitki büyüme özellikleri üzerinde farklı olmuştur *Cladophora* sp' nin %1.5'luk ekstraktı ve 15 g/kg AMF spor aşılmasının mikoriza aşılmasının birlikte uygulanması ile alkalın fosfataz, üreaz, dehidrogenaz enzim aktivitelerinde en yüksek değerler elde edilmiştir. *Cladophora* sp.'nin %1'lik ekstraktı ve 10 g/kg AMF spor aşılmasının mikoriza aşılmasının birlikte uygulanması ile en yüksek β -glukosidaz aktivitesi aktivite elde edilmiştir. AMF spor aşılması ve *Cladophora* sp.'nin birlikte uygulanması rizosferdeki bazı enzimleri aktive ederek daha sağlıklı bir rizosfer ile bitki kalitesini artırmak için çevre dostu bir strateji olarak sunulabilir.

***Cladophora* sp. and Arbuscular Mycorrhizal Fungus (AMF) Spore Inoculation on Maize (*Zea mays* L.) Developmental Parameters and Some Rhizosphere Soil Enzymes**

Keywords
Cladophora sp.,
AMF spore inoculated,
Rhizosphere,
Soil enzyme

Abstract: In this study, the effects of mycorrhizal fungus spore inoculation and *Cladophora* sp. extract, in combination, on the basic plant growth characteristics of maize plants, alkaline phosphatase, dehydrogenase, urease and β -glucosidase enzyme activities in the rhizosphere were evaluated. The study was established in the greenhouse according to randomized plots factorial experimental design with 3 replications. AMF spore (uninoculated, inoculated with 5 g/kg, 10 g/kg, 15 g/kg) and *Cladophora* sp. (0, 0.5, 1, 1.5%) were applied to the soil at different doses. The effects of the applications were different on basic plant growth characteristics. The highest values of alkaline phosphatase, urease, dehydrogenase enzyme activities were obtained with 1.5% extract of *Cladophora* sp. and 15 g/kg AMF spore inoculation. The highest β -glucosidase activity was obtained with 1% extract of *Cladophora* sp. and 10 g/kg AMF spore inoculation. Co-application of AMF spore inoculation and *Cladophora* sp. may present as an environmentally friendly strategy to improve plant quality with a healthier rhizosphere by activating some enzymes in the rhizosphere.

1. Giriş

Temiz gıda kaynaklarına sağlıklı bir şekilde ulaşmak gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Oysa ki, önümüzdeki yıllarda tarım sektörünün, küresel gıda güvenirliliğini sağlamada çeşitli tehditlerle karşı karşıya kalacağı ve dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 9,7 milyara ulaşacağı tahmin edildiğinden insan tüketimi ve hayvancılık için bitkisel üretim ihtiyacının önemli

ölçüde artacağı düşünülmektedir [1]. Buna ek olarak küresel değişikliği, biyotik ve abiyotik faktörleri değiştirmekte [1] ürün gelişimi ve verimini olumsuz etkilemektedir [2]. Nüfusun hızla artması nedeniyle, tarımsal üretim talebi artacağından, mevcut tarımsal uygulamaların değişeceği de rapor edilmiştir [3]. Ekolojik farkındalık ivme kazanırken, dayanıklı ve güvenli tarımsal uygulamaların da modern tarımın önde gelen önceliklerinden olduğu belirtilmiştir [3].

* İlgili yazar: ckucuk@harran.edu.tr

Son yıllarda dünya genelinde yapılan yoğun tarım, bir zamanlar verimli olan ekilebilir toprakları hem besin maddelerini hem de fiziksel yapısını fakirleştirmiştir [4,5]. Artan tarımsal faaliyetler nedeniyle çevre kirliliğinin artması tarım topraklarında da sorun olmaya başlamış ve parçalanamayan sentetik girdiler çevrede birikmeye başlamıştır. Bu yüzden ötrofikasyon, su kirliliği ve toprak kirliliğine neden olmaktadır. Bu kimyasalların toksik etkilerinin insan, hayvan ve bitkiler üzerinde zararlı etkilerde bulunduğu açıklanmıştır [6]. Bu nedenle, ürünlerde sentetik girdileri azaltmaya çalışmak, verimli ve doğal alternatif uygulamaları bulmak için araştırmalar hız kazanmıştır. Biyostimülantlar bu noktada dikkat çekmektedir [6]. Toprağın kimyasal ve biyolojik özelliklerini düzenleyen, toprağın verimliliğini artıran, bitki büyümesini teşvik eden mikroorganizmaları içeren biyostimülantların veya biyogübrelerin kimyasal gübrelere alternatif olarak son yıllarda kullanımları yaygınlaşmıştır [7]. Biyostimülantlar, çevre dostu uygulamalar olduğundan aşırı ve bilinçsiz kullanılan kimyasal gübrelerin kullanımını azaltmıştır [6].

Biyostimülantların en iyi temsilcilerinden olan mikorizal ortak yaşamın bitkiler üzerinde olumlu etkiler yaptığı çeşitli çalışmalarda tespit edilmiştir [8,9]. Mikoriza uygulamalarının çilek verimini ve meyve kalitesini artırdığı [10], tarla koşullarında ise soğan gelişimi ve verimini mikoriza uygulanmayan parsellere göre önemli ölçüde arttırdığı yapılan çalışmada belirlenmiştir [11]. Bitkilerin büyüme ve gelişimini iyileştirmek için kullanılan çeşitli yöntemler arasında önem kazanan biyostimülantlardan makro alglerin çok çeşitli sekonder metabolitler üretebildiği, aktif bileşik ve minör besin maddelerince zengin olduğu açıklanmıştır [12]. Makro alglerin ve bunların özütlerinin tarımsal uygulamalar için gelecekte önemli potansiyele sahip olduğu çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir [12,13]. Algler sürdürülebilir ve organik bitkisel üretimde bitki büyümesini teşvik eden uyarıcılar olarak kullanılabilir [13]. Alglerin biyogübre olarak kullanılması ile tohum çimlenmesini teşvik ettiği, bitki sağlığını ve büyümesini yani kök ve sürgün uzunluğunu artırma gibi birçok faydasının olduğu bildirilmiştir [14]. Ayrıca makroalglerden elde edilen ekstraktların, topraklara ve bitkiye uygulanması ile bitkilerin su ve besin maddelerini daha iyi absorbe ettikleri, böylece bitkilerin kuraklık ve tuza karşı dirençlerinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca yararlı toprak mikroorganizmalarının gelişimlerinin teşvik edildiği, bitkilerin abiyotik stres toleransına karşı dirençliliklerinin arttığı ve bu sayede zararlılara ve hastalık etmenlerine karşı savunmalarının da arttığı açıklanmıştır [15]. Hem denizde hem de tatlı sularda bulunan yeşil makroalg *Cladophora* sp.; kozmetik ve gıda endüstrilerinde, tıp ve farmakolojide, çevre kirliliğinin biyoindikatörü olarak ve tarımda kullanılmaktadır [16,17]. Dünyada buğdaydan sonra

en fazla üretilen tahıl olan mısırın üretimi ülkemizde de hızla artmıştır [18]. Çalışmada hem Şanlıurfa'da yaygın tarımı yapıldığından [18] hem de AMF sporları ile afinitesinin yüksek olmasından dolayı mısır bitkisi seçilmiştir. Çalışmamızda mikrobiyal organizma olan AMF ile makroalglerden *Cladophora* sp.'nin farklı dozlarda ayrı ayrı ve birlikte mısırın temel bitki gelişme parametreleri ile rizosferdeki enzim aktivitelerinden β -glukosidaz, dehidrogenaz, alkalik fosfataz ve üreaz enzim aktivitelerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmamızda kullanılan mısır çeşidi Pioneer 20105 (P-2105) ticari olarak satın alınmıştır. Makroalg *Cladophora* sp. ise Harran Üniversitesi Biyoloji Bölümü Hidrobiyoloji A.B.D.'dan temin edilmiştir. Kurutulmuş, öğütülmüş *Cladophora* sp.'in 250 g'ı 2500 ml distile suda iyice karıştırılarak belirtilen dozlarda kullanılmıştır. Mikorizal sporu; Mikostar firmasından ticari olarak sağlanmıştır; ürün içerisinde *Glomus mosseae*, *G.intraradices*, *G.clarum*, *G.monosporus*, *G. deserticola*, *G. brasilianum*, *G. aggregatum*, *Gigaspora margarita*, *G.etunicatum*, *G.fasciculatum* bulunmaktadır. Kullanılan ticari ürün içerisinde spor sayısı 1×10^5 propagül/50 g'dır. Denemede kampüs alanında daha önce herhangi bir ekim yapılmamış yerden 0-30 cm derinlikten alınan toprak kullanılmıştır. Denemede kullanılan toprağın pH'ı 7.7; organik madde (%) 1.35; kireç (%) 2.47; EC (mmhos/cm) 2,60; N ise % 0.11 olup, killi bünyeye sahiptir. Kullanılan toprak; hafif alkalik, az kireçli ve organik madde içeriği düşüktür.

2.1. Denemenin kurulumu

Denemede kullanılan topraklar 2 mm'lik elekten geçirilmiş, toprak kaynaklı mikroorganizmaların elimine edilmesi için 121°C'de 1 atm basınçta 3 ardışık gün otoklavlanmıştır. Otoklavlama sonrası topraklar 3 kg'lık (18.5 x 19 cm) plastik saksılara doldurulmuştur. Mikoriza uygulaması 4 farklı dozda (0, 5 (10000 adet/50g), 10 (20000 adet/50g), 15 g/kg (30000adet/50 g)) tohumla birlikte tohum yatağına uygulanmıştır. *Cladosporium* sp. ise bitkiler çimlendikten 15 gün sonra farklı konsantrasyonlarda (% 0, %0.5, %1 ve %1.5) ayrı ayrı su ile karıştırılarak 100 ml toprağa uygulanmıştır. Her bir saksıya 5 mısır tohumu ekilmiş, çimlenme sonrası 2 mısır bitkisi seyreltilmiştir. *Cladophora* sp. uygulaması bitkilerin çimlenmesinden 15 gün sonra başlamış ve 15 gün ara ile hasat sonuna kadar 4 kez uygulanmıştır. *Cladophora* sp. uygulanmayan kontrol saksılarına su eklenmiştir. Bitkiler her hafta bir kez toprağın tarla kapasitesine göre bitkilerin su ihtiyacı belirlenerek saf su ile sulanmıştır, ekimden 60 gün sonra hasat edilmiştir. Deneme her bir uygulama grubu için 3 paralelli olarak, doğal ışık alan serada yürütülmüştür. Deneme, tesadüf parselleri faktöriyel deneme

desenine göre 3 tekrarlı olarak 48 saksı ile kurulmuştur.

2.2. Temel bitki özelliklerinin belirlenmesi

Hasat sonunda her bir uygulamaya ait bitki boyları, kök uzunlukları, yeşil aksam ve kök ağırlıkları belirlenmiştir [19]. Hasat sırasında her bir uygulamadan alınan taze yaprak örneklerinde klorofil tayini Arnon [20]'e göre yapılmıştır.

2.3. Kök bölgesinin bazı mikrobiyolojik özellikleri

Hasat sırasında köklere yapışan topraklar her bir uygulamadan sonra dikkatlice alınmış, kilitli steril poşetlere konularak analizler yapılmaya kadar -20°C'de saklanmıştır.

2.3.1. Alkalın fosfat enzim aktivitesi

Uygulamaların kök bölgesinden alınan toprak örnekleri üzerine sırasıyla tolüen, MUB (pH 11) tamponu eklenmiş, 37°C'de 1 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda örneklerin her birine 0.5 M CaCl₂ ve 0.5 M NaOH eklenmiş ve 10000 x g'de 5 dakika santrifüjlenmiştir. Elde edilen süpernatant, 410 nm'de spektrofotometrede ölçülmüştür [21].

2.3.2. β- glukosidaz enzim aktivitesi

Her uygulamanın kök bölgesinden alınan toprak örneklerine ayrı ayrı toluen, MUB tamponu (pH 6), PNG solüsyonu eklenip, 5 dakika karıştırılmış, 37 °C'de 1 saat inkübe edilmiştir. Süre sonunda, içeriğe 0.5 M CaCl₂ ve 0.1 M THAM tamponu (pH 12) eklenip, çalkalanmıştır. Daha sonra 10000 rpm 10 dakika santrifüjlenen içeriğin süpernatantı spektrofotometrede 410 nm dalga boyunda okunmuştur [21].

2.3.3. Üreaz enzim aktivitesi

Her bir uygulamaya ait rizosfer toprak örneklerine ayrı ayrı toluen ve %10'luk üre çözeltisi eklenerek 15 dakika beklenmiştir. Süre sonunda örnekler sitrat tamponu eklenmiştir. 37°C'de 3 saat inkübasyona bırakılmıştır. Süre sonunda örnekler, whatman filtre kağıdından (No: 42) süzümüştür. Filtratlar sodyum fenolat ve sodyum hipoklorit eklenmiş, oda sıcaklığında 20 dakika beklenmiş sonra oluşan mavi renk 630 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçülmüştür [21].

2.3.4. Dehidrogenaz enzim aktivitesi

Uygulamaların her birine ait toprak örneklerine ayrı ayrı %3'lük 2,3,5 trifeniltetrazoliumklorid eklenmiştir. 24 saat 25°C'de inkübasyona bırakılmıştır. Süre sonunda her bir örneğe metanol eklenmiştir. İçerik Whatman filtre kağıdından

süzülmüştür. Filtratlar spektrofotometrede 485 nm dalga boyunda okunmuştur [21].

2.4. İstatistik analiz

Deneyler sonucunda elde edilen veriler, JMP istatistik programında varyans analizine tabii tutulmuş, uygulamalar arasındaki farklılıklar ise LSD çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir.

3. Bulgular

Cladophora sp. ve mikorizanın birlikte ve ayrı ayrı uygulamalarının mısır bitki boyu üzerinde etkili olduğu saptanmıştır (Tablo 1). *Cladophora* sp.'nin uygulanan farklı dozlarının mısır bitki boyu üzerindeki etkileri farklılık göstermekle birlikte, en yüksek bitki boyu *Cladophora* sp.'nin %0.5'lik dozunda ve 5 g/kg mikorizal spor ile % 1.5'lük *Cladophora* sp.'nin birlikte uygulanması ile elde edilmiştir. Farklı dozlardaki *Cladophora* sp. 'nin kök uzunluğuna etkisi farklı bulunmuştur (Tablo 1). Uygulamaların kök uzunluğuna etkisine bakıldığında ise; 15 g/kg mikorizal spor ve %1 *Cladophora* sp.'nin birlikte uygulanması ile en yüksek kök uzunluğu saptanmış ve kontrole göre kök uzunluğu %66 oranında artış göstermiştir.

Tablo 1. Uygulamaların bitki temel özelliklerine etkileri

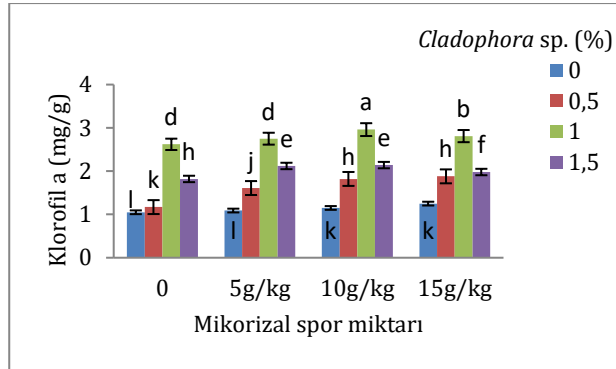
Temel bitki özellikleri	<i>Cladophora</i> sp. (%)	AMF spor uygulaması (g/kg)			
		0	5	10	15
Bitki boyu (cm)	0	40 ₁ *	53.6 _d	51.4 _e	49.2 _f
	0.5	57 _{ab}	45.5 _g	50.2 _{ef}	55.2 _{cd}
	1	50 _{ef}	55.4 _{bc}	43.7 _h	46.3 _g
	1.5	56 _{bc}	58.4 _a	45.9 _g	49.4 _f
Kök uzunluğu (mm)	0	16 _j	36.1 _c	33.8 _d	40.2 _b
	0.5	36 _c	35 _{cd}	30 _e	36 _c
	1	27 _e	23 _g	41 _b	47.2 _a
	1.5	33.3 _d	31 _e	17 _h	18.7 _h
Yeşil aksam kuru ağırlığı (g/b itki)	0	0.40 _k	0.74 _f	1.01 _c	0.74 _f
	0.5	0.74 _f	0.71 _g	1.05 _b	0.74 _f
	1	0.49 _i	0.64 _h	0.96 _d	0.33 _l
	1.5	0.41 _k	0.41 _k	1.11 _a	0.93 _e
Kök kuru ağırlığı (g/b itki)	0	0.24 _k	0.32 _{jh}	0.28 _{jk}	1.06 _g
	0.5	0.46 _i	0.64 _h	1.31 _f	1.37 _e
	1	1.35 _{ef}	1.87 _c	2.15 _a	1.5 _d
	1.5	1.35 _{ef}	1.94 _b	2.16 _a	1.35 _{ef}

*Farklı harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiki olarak önemli fark vardır (p <0.05).

En yüksek yeşil aksam kuru ağırlığı %1.5 *Cladophora* sp. ve 10 g/kg mikorizal uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 1). Kontrole göre artış %61.6 olarak tespit edilmiştir.

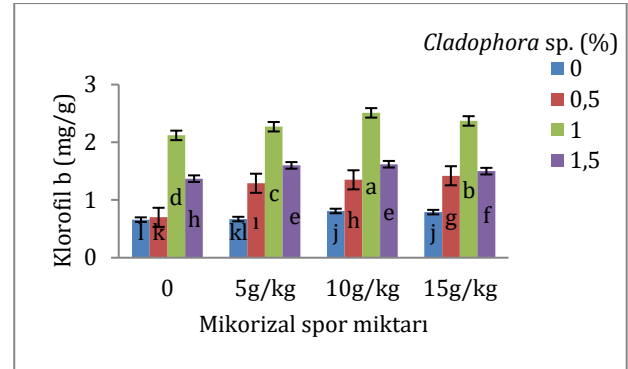
Mikorizal spor uygulamalarında da artan dozlar kök kuru ağırlığını artırmıştır. Uygulamaların mısır kök kuru ağırlığı üzerine etkilerinde de farklılık belirlenmiştir. Mikorizal sporun 10 g/kg'ı ve % 1

Cladophora sp. uygulaması (2.15g) ile 10 g/kg mikorizal spor ve ve %1.5 *Cladophora* sp. (2.16 g) uygulamalarında en yüksek ağırlık alınmıştır (Tablo 1). Mikoriza ve *Cladophora* sp 'nin birlikte uygulanması ile kontrole göre kök kuru ağırlığında artış bulunmuştur. Kontrole göre % 88.9 oranında artış, 10 g/kg mikorizal spor ve %1.5 *Cladophora* sp. 'nin birlikte uygulanması ile elde edilmiştir. En yüksek klorofil a (Şekil 1) ve klorofil b (Şekil 2) içeriği 10g/kg mikorizal spor aşılması x %1 *Cladophora* sp. uygulamasında gözlemlenmiştir.



Uygulamalarının yüksek dozları; incelenen enzim aktivitelerini kontrole göre önemli oranda artırmıştır. 15 g/kg mikorizal spor ile %1.5 *Cladophora* sp. **Şekil 1.** Uygulamaların klorofil a içeriği üzerine etkileri

uygulamasının birlikte etkisi alkalın fosfataz, dehidrogenaz ve üreaz enzim aktivitelerini diğer uygulamalara göre daha fazla etkilemiş ve en yüksek değeri vermiştir. 10 g/kg mikorizal spor x %1 *Cladophora* sp. uygulaması ile yüksek β -glukosidaz enzim aktivitesi elde edilmiştir. 15 g/kg mikorizal spor x %1.5 *Cladophora* sp. uygulaması ile alkalın fosfataz aktivite kontrole göre %48.1 oranında artış göstermiştir. Aynı uygulama ile dehidrogenaz aktivite %70.7; üreaz aktivite %98.7 oranında artmıştır (Tablo 2).



Şekil 2. Uygulamaların klorofil b içeriği üzerine etkileri

Tablo 2. Uygulamaların bazı rizosfer enzim aktivitelerine etkileri

<i>Cladophora</i> sp. (%)	Mikorizal spor miktarı (g/kg toprak)	Alkalın fosfataz aktivite (μ pNP/g toprak)	β -glukosidaz (mg-p-nitrofenol/g toprak)	Üreaz aktivite (mg N/100 g toprak)	Dehidrogenaz aktivite (μ pTPF/g toprak)
0	0	18.6 \pm 0.08j*	4.1 \pm 0.02 j	0.18 \pm 0.04k	21.7 \pm 0.7j
	5	24.8 \pm 0.06h	10.94 \pm 0.3 g	3.18 \pm 0.03h	25.3 \pm 0.5i
	10	23.1 \pm 0.02i	17.08 \pm 0.07 c	3.66 \pm 0.01f	41.3 \pm 0.2f
	15	24.9 \pm 0.03gh	13.47 \pm 0.06 e	8.65 \pm 0.03c	54 \pm 0.1d
0.5	0	20.7 \pm 0.02d	5.98 \pm 0.01 i	1.61 \pm 0.01j	21.3 \pm 0.5j
	5	23.7 \pm 0.02efg	11.47 \pm 0.1 f	3.22 \pm 0.02gh	26.9 \pm 0.2g
	10	23 \pm 0.02ef	11.15 \pm 0.2 fg	1.14 \pm 0.07e	42.3 \pm 0.3g
	15	27.2 \pm 0.01de	10.57 \pm 0.3 h	8.32 \pm 0.03d	53.1 \pm 0.2b
1	0	19.6 \pm 0.02hi	8.36 \pm 0.1 h	1.40 \pm 0.02j	25.3 \pm 0.9 i
	5	24 \pm 0.02g	15.93 \pm 0.4 d	3.44 \pm 0.08 fg	38.9 \pm 0.4 g
	10	23.3 \pm 0.03 fg	25.29 \pm 0.1 a	4.26 \pm 0.07e	43.9 \pm 0.1e
	15	32.3 \pm 0.02de	6.29 \pm 0.5 i	12.83 \pm 0.01b	53.1 \pm 0.2c
1.5	0	23.2 \pm 0.01gh	8.76 \pm 0.1 h	2.68 \pm 0.01j	25 \pm 0.3 i
	5	24.3 \pm 0.02de	16.29 \pm 0.04 d	3.51 \pm 0.09f	38.8 \pm 0.3g
	10	24.4 \pm 0.01de	11.06 \pm 0.04 g	3.65 \pm 0.06f	48.8 \pm 0.2de
	15	35.9 \pm 0.01a	17.93 \pm 0.04 b	15.58 \pm 0.04a	74.3 \pm 0.2a

* Farklı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistik olarak önemli fark vardır (P<0.05).

4. Tartışma ve Sonuç

Son yıllarda sürdürülebilir tarımsal üretim sistemlerinin gelişmesi ile birlikte bitki verimliliğini artırmak ve sürdürülebilir bir ekolojik çevreye ulaşmak için besin uyucularının ve simbiyotiklerin kullanımlarının gerekli olduğu bildirilmiştir [14]. Mikrobiyal ve mikrobiyal olmayan uyucuların birlikte veya tek tek uygulamalarının bitki gelişme ve verimliliğini etkili bir şekilde artırdığı açıklanmıştır

[12]. *Cladophora* sp., mikoriza, *Cladophora* sp. x AMF spor aşılması uygulamaları istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0.05). % 1.5 oranında *Cladophora* sp. ve %5 mikoriza uygulaması ile kontrole göre % 31.5 oranında bitki boyunda artış elde edilmiştir. Bitki gelişiminin teşvik edilmesinin, hormonal durumunu değiştirdiğini, böylece besin emilimini önemli ölçüde artırdığı yapılan çalışmalarda açıklanmıştır [22,23] Bizim sonuçlarımızla uyumlu olarak Golubkina ve ark. [24] arbusküler mikoriza uygulamasının çörtük bitkisinin büyüme özelliklerini artırdığını saptamışlardır. Benzer olarak, Begüm ve ark. [25], arbusküler mikorizanın bitki ile simbiyotik ilişki

kurup geniş hif sistemi oluşturarak bezelye bitkilerinde su ve besin emilimini artırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca toprağa uygulanan makroalglerin; rezenenin gelişimini iyileştirdiği saptanmış, rezenenin makroalg uygulanmayan kontrollere göre daha fazla gelişme göstermesinin gelişen kök sistemi ile daha fazla su ve besin sağlanmasına, bitki hormonlarının etkisi ile gelişmenin teşvik edilmesine bağlanmıştır [25]. Hussain ve ark. [26] domates bitkilerinin kök uzunluğu, gövde ve kök kuru ağırlığı gibi büyüme özelliklerinin makro alg uygulamaları ile arttığını bildirmişlerdir. El Chami ve ark. [27] tarafından yapılan bir çalışmada yosun gübresi uygulamaları ile armut veriminin arttığı, yosun gübresi uygulaması ile mineral gübrelemenin %13 oranında azaltıldığı bildirilmiştir. *Cladophora* sp. ve mikoriza uygulamalarının artan dozu, kontrol ile karşılaştırıldığında kök ağırlığını arttırmıştır. 10 g/kg mikorizal spor x %1.5 *Cladophora* sp. uygulaması ve 10 g/kg mikorizal spor x %1 *Cladophora* sp. ile en yüksek kök kuru ağırlığı alınmıştır. Bu artışın mikorizanın ve *Cladophora* sp.'nin bitki kök gelişimini teşvik ettiğini göstermektedir. Sonuçlarımız Asadi ve ark. [28], El Chami ve ark. [27]'nin bulguları tarafından da desteklenmektedir. Kontrol bitki örnekleri ile karşılaştırıldığında; uygulama ile klorofil a içeriği % 64.5 ve klorofil b içeriği % 73.7 oranında artmıştır. Sonuçlarımız mikoriza ve *Cladophora* sp.'nin birlikte kullanımının fotosentetik pigmentlerin önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Klorofil içeriği bitki fotosentezini ve büyüme potansiyelini ölçmek için önemli bir indekstir. Bitki biyostimülantlarının uygulanmasına verilen ortak yanıtın klorofil biyosentezinde önemli rol oynayan klorofil a, klorofil b ve karotenoid gibi fotosentetik pigmentlerin artması olduğu açıklanmıştır [29]. Bitkilerde klorofil a ve b içeriğindeki artış, biyostimülant olarak kullanılan mikoriza ve *Cladophora* sp.'de alanin, aspartat, asparajin ve glutamat gibi serbest aminoasitlerin yüksek içeriğine bağlanabilir [29]. Makroalg uygulamalarının fotosentetik pigment içeriğini arttırmanın yanı sıra, bitki büyümesini etkili bir şekilde teşvik edebilen ve yaprak gelişimini artırabilen oksinler, gibberelinler, betain, poliamin vb. gibi bitki büyümesini düzenleyen maddeleri içerdikleri açıklanmıştır [31].

Uygulamalarımız yaprakların klorofil içeriğini arttırmış, bu da fotosentez kapasitesinin artmasına bağlı olarak bitkinin vejetatif gelişimini olumlu yönde etkilemiştir. Sonuçlarımız Meng ve ark. [31], Weisany ve ark. [32]'nin sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Mahmoud ve ark. [13] tarafından yapılan bir çalışmada 3ml/l oranında kahve renkli alg uygulaması ile kırmızı turp bitkilerinin yapraklarında fotosentetik pigment içeriklerinin kontrole göre önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Mikorizal spor ve makroalg uygulamaları, rizosfer ve kök sistemi etrafına düşük ve yüksek moleküler ağırlıklı organik bileşikler yaymış makro ve mikro

besin elementlerinin emilimini önemli ölçüde arttırmıştır [33]. Mısır gelişimi üzerine *Cladophora* sp. ve mikorizanın ayrı ayrı ve birlikte olan etkilerinin belirlenmesine yönelik olan bu çalışmada, uygulamaların yararlı etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için mısır bitkilerinin rizosferdeki dehidrogenaz, alkalın fosfataz, üreaz, β -glukosidaz gibi temel toprak enzimleri incelenmiştir (Tablo 2). Uygulamanın etkisi ayrı ayrı incelendiğinde; toprak enzimleri üzerinde uygulamaların tekli uygulamaları etkili olmamakla birlikte; artan dozlar enzim aktivitelerini kontrole göre arttırmıştır. Genova ve ark. [34] bezelye bitkilerinin arbüsküler mikorizal fungi ve *Rhizobium* ile aşılması sonrası rizosferdeki alkalın ve asit fosfataz aktivitenin arttığını saptamışlardır. Bu enzimlerin, toprakta bitkiler tarafından alınamayan formdaki fosforun mineralizasyonu ile kökler tarafından kolayca alınmasına ve bitkiler için kullanılabilirliğine yardımcı olduğu bildirilmiştir [34]. Çalışmamızda mikorizal sporun artan dozları ile alkalın fosfataz aktivitedeki artış, araştırmacıların bulguları ile desteklenmektedir.

El Sawah ve ark. [35] tarafından yapılan bir çalışmada mikorizal fungus sporu fungi ile bitki gelişimini teşvik eden bakterilerden *Bradyrhizobium* sp., *Bacillus subtilis*'in birlikte topraklara uygulanması ile dehidrogenaz fosfataz, proteaz ve invertaz enzim aktivitelerinde artış olduğu saptanmıştır. Toprakta bulunan besin maddelerinin toprak mikroorganizmalarına daha fazla enerji ve besin sağlayarak enzim aktivitelerini artırdıkları Vazquez ve ark. [36] tarafından bildirilmiştir. Çalışmamızda da topraklara eklenen *Cladophora* sp. ve mikorizanın topraktaki besin maddesi içeriğini etkilediği, dolayısıyla toprak enzim aktivitelerinin de kontrole göre arttığını göstermektedir. Dehidrogenaz aktivite *Cladophora* sp. ve mikorizanın topraklara eklenmesi ile artış göstermiştir. Ayrıca *Cladophora* sp. ve mikorizal sporun birlikte uygulanması ile artan dozlarla da aktivite artmıştır. *Cladophora* sp. x mikorizal spor uygulamaları toprağın β -glukosidaz aktivitesini arttırmıştır. Özellikle uygulamaların artan dozları aktiviteyi kontrole oranla önemli düzeyde arttırmıştır. 10 g/kg mikorizal spor x %1 *Cladophora* sp. uygulaması ile kontrol karşılaştırıldığında β -glukosidaz aktivite % 83.78 oranında artmıştır. Enzim aktivitesindeki artışın topraktaki mikroorganizmalar için enerji kaynağı olarak önemli olan karbonhidratların dönüşümünü gösterdiği düşünülmektedir. Uygulamalar sadece bitkinin değil aynı zamanda toprağın biyolojik aktivitesini de arttırmıştır. Topraklarda β -glukosidaz aktivitenin artmasının suda çözünür karbonun arttırılması ile rizosferdeki mikrobiyal popülasyonun aktifleştirdiğinden kaynaklanabileceği Caldwell [37], Fiorentinove ark. [38] tarafından tespit edilmiştir. Mikorizalar fosfataz enzimi üreterek, hareketsiz fosforu hareketli forma dönüştürerek, diğer besin maddelerinin alımını ve organik maddenin

parçalanmasını ya da mineralizasyonunu bozulmasını artırarak, topraktaki besin maddelerinin kullanılabilirliğini dolaylı olarak artırmıştır [39]. Çalışmamızda da mikoriza uygulamaları ile incelenen özelliklerin kontrole göre artış göstermesi Roupel ve ark. [39]'un bulguları ile benzerlik göstermektedir. Sonuç olarak, uygulamalar kontrole göre bitki boyu, mısır kök uzunluğu, kök yaş ve kuru ağırlığı, klorofil içeriğini artırmıştır. İncelenen temel bitki özelliklerinin tümünde etkili tek bir doz belirlenememekle birlikte, uygulamaların artan dozları etkili bulunmuştur. Küresel gıda güvenliği için hayati önem taşıyan gıda üretimini güvence altına almak için kimyasal gübrelerin yerine biyolojik organizmaların kullanımı ile hem çevre kirliliği önlenebilir hem de gerekli enerji ve kimyasal gübrelerin miktarı azaltılabilir. Aynı zamanda faydalı mikroorganizmaların etkinliği ile tarımsal sistemlerin sürdürülebilirliği artırılabilir. Mikorizal spor ve *Cladophora* sp'nin bitkilere uygulanması ile daha fazla besin ve su ihtiyacı karşılanacağından, bitkiler hastalık ve stres faktörlerine karşı daha dayanıklı hale gelebilirler. Böylece verimi artırmanın yanında su ve besin maddeleri gibi doğal kaynakların kullanımını optimize ettiğinden mikoriza ve *Cladophora* sp.'nin uygulanması hastalık ve zararlılar gibi olumsuzlukların neden olduğu kayıpları da önemli ölçüde azaltılabilir. Mikoriza ve *Cladophora* sp.'nin birlikte kullanımı, mısır verimliliği ve gelişimine destek sağlayarak, tarımsal ekosistemdeki toprak enzim aktivitesini artırarak toprakları daha verimli kılabilir. Çalışmamızda uyguladığımız mikoriza ve *Cladophora* sp'nin ayrı ayrı veya birlikte kullanımının mısır gelişimini ve rizosferik enzim aktivitesini teşvik edebileceği düşünülmektedir. Ancak çalışma sera koşullarında yapıldığından aynı çalışmanın ileride tarla koşullarında da uygulanması daha net sonuçlar elde edilebilecektir.

Teşekkür

Bu çalışmayı destekleyen Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No 23078) teşekkür ederiz.

Etik Beyanı/Declaration of Ethical Code

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

[1] Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S.S., Zou, X., Zhang, X., Liv, Y. 2019. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants*, 8, 34-63.

- [2] FAO, 2021. The impact of disasters and crises on agriculture and food security: 2021. (Rome, Italy: FAO) <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb3673en> (Erişim Tarihi: 2021).
- [3] Surjeeth, N., Petrov, V., Guinan, K.J., Rasul, F., O'Sullivan, J.T., Gechev, T. S. 2022. Current insights into the molecular mode of action of seaweed based biostimulants and the sustainability of seaweeds as raw material resources. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 7654-7677.
- [4] Patle, P.N., Kadu, P.R., Gabhane, A.R., Pharande, A.L., Bhagat, A.P., Bhojar, S.M. 2019. Consequences proved due to excess application of agrochemical on soil health deterioration. A review for sustainable agriculture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8, 63-66.
- [5] Mandal, A., Sarkar, B., Mandal, S., Vithanage, M., Patra, A.K., Manna, M.C. 2020. Impact of agrochemicals on soil health. *ss161-187*. Prasad, M.N.V. 2020. Agrochemicals detection, treatment and remediation. Oxford, United Kingdom, 665s.
- [6] Verma N, Sehrawat AR, Pandey D, Pandey BK 2020. Seaweed: a novel organic biomaterial. *Current Journal of Applied Science Technology*, 39, 1-8.
- [7] Suleiman, A.K.A., Lourenço, K.S., Clark, C., 2020. From toilette agriculture: Fertilization with microalgal biomass from waste water impacts the soil and rhizosphere active microbiomes, greenhouse gas emissions and plant growth. *Resources Conservation Recycling*, 161, 104924.
- [8] Santander, C., Aroca, R., Ruiz-Lozano, J.M., Olave, J., Cartes, P., Borie, F., Cornejo, P. 2017. Arbuscular mycorrhiza effects on plant performance under osmotic stress. *Mycorrhiza*, 27, 639-657.
- [9] Pons, C., VoB., Schweiger, R., Müller, C. 2020. Effects of drought and mycorrhiza on wheat and aphid infestation. *Ecology Evolution*, 10, 10481-10491.
- [10] Lingua, G., Bona, E., Manassero, P., Marsano, F., Todeschini, V., Cantamessa, S., Copetta, A., D'Agostino, G., Gamalero, E., Berta, G. 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting *Pseudomonads* increases anthocyanin concentration in strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* var, Selva) in conditions of reduced fertilization. *International Journal of Molecular Science*, 14, 16207-16225.
- [11] Bordre, M., Dudhane, M., Jite, P.K. 2009. Role of bioinoculant (AM Fungi) increasing in growth, flavor content and yield in *Allium sativum* L.

- under field condition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanic Cluj-Napoca*, 37, 124-128.
- [12] Dziergowska, K., Welna, M., Szymczycha Madeja, A., Checnamowski, J., Michalak, I. 2021. Valorization of *Cladophora glomerata* biomass and obtained bioproducts into biostimulants of plant growth and as sorbents (Biosorbents) of metal ions. *Molecules*, 26,6917-6941.
- [13] Mahmoud, S. H., Salama, D.M., El-Tanahy, A.M.M., Abd El-Samad, E.H. 2019. Utilization of seaweed (*Sargassum vulgare*) extract to enhance growth, yield and nutritional quality of red radish plants. *Annals Agricultural Sciences*, 64, 167-175.
- [14] Gonzalez-Perez, B.K., Rivas-Castillo, A.M., Valdez-Calderon, A., Gayosso Morales, M.A. 2022. Microalgae as biostimulants: a new approach in agriculture. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 38,1-12.
- [15] Chai, Y.N., Schachtman, D.P. 2022. Root exudate simpact plant performance under abiotics tress. *Trends Plant Sciences*, 27, 80-91.
- [16] Prazukin, A.V., Anufriieva, E.V., Shadrin, N.V. 2020. Is biomass of filamentous greenalgae *Cladophoraspp.* (*Clorophyta, Uivophtceae*) an unlimited cheap and valuable resource for medicine and pharmacolgy? A review. *Reviews in Aquaculture*, 12,2493-2510.
- [17] Michalak,I.,Mesyasz,B.2021.Concise review of *Cladophoraspp.*: A macroalga of commerical interest. *Journal of Applied Phycology*, 33,133-136.
- [18] Taşdan, K. 2021. Durum Tahmin Mısır 2021. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, TEPGE, Ankara, Türkiye 43s.
- [19] Doğan, S., Demirel, K., Çamoğlu, G., Nar, H., Akçal, A 2020. Farklı sulama seviyelerinin ceylan gözünün bitkisel özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi. *ÇOMÜ Lapseki Meslek Yüksekokulu Uygulamalı Araştırmalar Dergisi*, 1,1-15.
- [20] Arnon, D.T. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-15.
- [21] Küçük, Ç., Şinşek, N. 2020. The effects of different agricultural wastes on some microbiological properties of soil. *EJONS International Journal on Mathematics, Engineering & Natural Sciences*, 15, 451-460.
- [22] Sukumar, P. Legue, V., Vayssieres, A., Martin, F.,Tuskan, G.A., Kalluri, U.C. 2013. Involment of auxin pathways in modulating root architecture during beneficial plant microorganism interaction. *Plant, Cell and Environment*, 36,909-919.
- [23] Yakhin, O.I., Lubyarov, A.A., Yakhin, I.A., Brown, P.T. 2017. Biostimulants in plant science: Aglobal perspective. *Frontiersin Plant Science*, 7,2049.
- [24] Golubkina, N., Logvinenko, L., Novitsky, M.,Zamana,S.,Sokolov, S., Gonzalez-Gonzalez, M. F., Ocampo-Alvarez, H., Santacruz-Ruvalcaba, F., Sanchez-Hernandez, C. V., Casarrubias-Castillo, K., Becerril-Espinosa, A., Castaneda-Nava, J. J., Hernandez-Herrera, R. M. 2020. Physiological, ecological, and biochemical implications in tomato plants of two plant biostimulants: arbuscular mycorrhizal fungi and seaweed extract. *Frontiers in Plant Science*, 11,1-18.
- [25] Begüm, M., Bordoloi, B.C., Singha, D.D., Ojha, N.J.2018. Role of seaweed extract on growth, yield and quality of some agricultural crops: A review. *Agricultural Revolution*, 39,321-326.
- [26] Hussain, H.I., Kasinadhuni, N., Arioli, T. 2021. The effect of seaweed extract on tomato plant growt, productivity and soil. *Journal of Applied Phycology*, 33,1305-1314.
- [27] El Chami, D.,Galli, F. 2020. An assessment of seaweed extracts: Innovation for sustainable agriculture. *Agronomy*, 10, 1433.
- [28] Asadi, M., Rasouli, F., Amini, T., Hassanpouraghdam, M.B., Souri, S., Skrovankova, S., Mlcek, J., Ercisli, S. 2022. Improvement of Photosynthetic Pigment Characteristics, Mineral Content, andAntioxidant Activity of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) by Arbuscular Mycorrhizal Fungus and Seaweed Extract Foliar Application. *Agronomy*, 12, 1943.
- [29] Carillo, P., Colla, G.,Fusco, G.M., Dell'Aversana, E., El-Nakhel, C., Giordano, M., Pannico, A., Cozzolino, E., Mori, M., Reynaud, H. 2019. Morphological and physiological responses induced by protein hydrolysate-based biostimulant and nitrogen rates in greenhouse spinach. *Agronomy*, 9, 450.
- [30] Gupta, S., Stirk, W.A., Plackova, L., Kulkarni, M.G., Dolezal, K., Van Staden, J. 2021. Interactive effects of plant growth-promoting rhizobacteria and a seaweed extract on the growth and physiology of *Allium cepa* L. (onion). *Journal of Plant Physiology*, 262, 153437.
- [31] Meng, C., Gu, X., Liang, H.,Wu, M.,Wu, Q., Yang, L., Li, Y., Shen, P. 2022. Optimized preparation and high-efficient application of seaweed fertilizer on peanut. *Journal of Agricultural and Food Information*, 7, 100275.
- [32] Weisany, W., Raei, Y., Pertot, I. 2015. Changes in the essential oil yield and composition of dill

(*Anethum graveolens* L.) as response to arbuscular mycorrhiza colonization and cropping system. *Industrial Crops and Products*, 77, 295–306.

- [33] Ronga, D., Biazzi, E., Parati, K., Carminati, D., Carminati, E., Tava, A. 2019. Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy*, 9, 192.
- [34] Genova, M., Zehirov, G., Djonova, E., Kaloyanova, N., Georgiev, G., Stancheva, I. 2006. The effect of inoculation of pea plants with mycorrhizal fungi and *Rhizobium* on nitrogen and phosphorus assimilation. *Plant, Soil Environment*, 52, 435-440.
- [35] El Sawah, A.M., El-Keblawy, A., Ali, D. F. I., İbrahim, H. M., El-Sheik, M. A., Sharma, A., Hamoud, Y. A., Shaghaleh, H., Brestic, M., Skalicky, M., Xiong, Y., Sheteiwy, M. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria enhance soil key enzymes, plant growth, seed yield and qualitative attributes of Guar. *Agriculture*, 11, 1-19.
- [36] Vazquez, E., Benito, M., Espejo, R., Teutscherova, N. 2020. Response of soil properties and microbial indicators to landuse change in an acid soil under Mediterranean conditions. *Catena*, 189, 10.
- [37] Caldwell, B. A. 2005. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review. *Pedobiologica*, 49, 637-644.
- [38] Fiorentiono, N., Vertorino, V., Woo, S.L., Pepe, O., De rosa, A., Gioio, L. 2018. *Trichoderma*-based biostimulants modulate rhizospore microbial population and improve N uptake efficiency, yield and nutrition alquality of leafy vegetables. *Frontiers in Plant Science*, 9, 743.
- [39] Roupael, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., Agnolucci, M., De Pascale, S., Bonini, P., Colla, G. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 196, 91–108.