

Kadmiyum Etkisi Altındaki Kıbrıs Akasyası (*Acacia cyanophylla* Lindley) Tohumlarının Çimlenmesine *Serratia grimesii* Bakteri Irkının Yaptığı Etkiler

Arzu ÇİĞ^{1*}, Şevket ALP², Muzaffer BAYRAM³

¹Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Siirt; ORCID: 0000-0002-2142-5986

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Van; ORCID: 0000-0002-9552-4848

³Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Van; ORCID: 0009-0007-2406-8287
Gönderilme Tarihi: 27 Eylül 2024 Kabul Tarihi: 31 Aralık 2024

ÖZ

Kıbrıs akasyası (*Acacia cyanophylla* Lindley) kirli havaya dayanıklılık gösterdiği için özellikle yol ağaçlandırmalarında ve kent içi refüj düzenlemelerinde tercih edilen *Leguminosae* familyasına ait bir türdür. Kıbrıs akasyası, peyzajda yol ağaçlandırma çalışmalarındaki bu işlevinin yanı sıra sarı çiçekleri ile sağladığı görsel etki ile de dikkat çekmektedir. Bu araştırmada, kadmiyumun *Acacia cyanophylla* tohumlarının çimlenmesine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Laboratuvar koşullarında ve petri kaplarında yürütülen bu çalışmada kültür ortamları 75, 150, 225 ve 300 ppm konsantrasyonlarındaki kadmiyuma (Cd) maruz bırakılmıştır. Cd bulaştırılan ortamlara ekilen ve ayrıca bu ortamlarda bitki büyüme teşvik edici *Serratia grimesii* bakteri ırkı inoküle edilen tohumların çimlenme oranı, hızı sürgün sayısı parametreleri incelenmiştir. *Serratia grimesii* bakteri ırkı azot bağlama ve ACC deaminaz aktivitesi gösteren bir bakteri ırkıdır. Bakterinin bu özelliklerinin çalışmasıyla Kıbrıs akasyası tohumlarının artan kadmiyum dozlarında çimlenip büyümeleri bu bitki türünün kirli ortamda yetişip kullanılabilirliği hakkında ön izlenim oluşturacaktır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre çimlenme oranları ve hızları, en düşük ve en yüksek olarak sırasıyla %43,33 (Bakteri) ve %70 (150 ppm Cd) oranlarında tespit edilmiştir. Çimlenme hızı da buna paralel olarak en düşük 14,44 ile bakteri ve en yüksek 23,33 ile 150 ppm Cd uygulamasında belirlenmiştir. Bakterinin 75, 150 ve 225 ppm konsantrasyonundaki Cd ile birlikte uygulandığı kültür ortamlarında sürgün oluşumu gözlenmezken, en yüksek sürgün sayısı 300 ppm Cd uygulamasında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimlenme, kadmiyum, Kıbrıs akasyası, PGPB

Effects of *Serratia grimesii* Bacterial Strain on Germination of Golden Wreath Wattle (*Acacia cyanophylla* Lindley) Seeds under Cadmium Impact

ABSTRACT

Golden wreath (*Acacia cyanophylla* Lindley) is a species belonging to the Leguminosae family, which is especially preferred in road afforestation and urban median landscape arrangements due to its resistance to air pollution. In addition to this function in road afforestation studies in landscape, Golden wreath wattle also draws attention with the visual effect it provides with its yellow flowers. Cadmium is a non-nutritive metal considered harmful to the environment and to humans. In this study, it was aimed to determine the effect of cadmium, on seed germination of *A.cyanophylla*. In this study, which was conducted under laboratory conditions and in petri dishes, culture media were exposed to cadmium (Cd) at concentrations of 75, 150, 225 and 300 ppm. In addition, the plant growth promoting *Serratia grimesii* bacterial strain was inoculated into the seeds simultaneously or alone and the germination percentage, rate and shooting number parameters were examined. *Serratia grimesii* bacterial strain is a bacterial strain that exhibits nitrogen fixation and ACC deaminase activity. By studying these properties of the bacteria, the germination and growth of golden wreath wattle seeds in increasing cadmium doses will create a preliminary impression about the growth and usability of this plant species in polluted environments. According to the results obtained from the study, the lowest and highest germination rates and speeds were determined at 43.33% (Bacteria) and 70% (150 ppm Cd), respectively. In parallel with this, the lowest germination rate was determined as 14.44 with bacteria and the highest rate was determined as 23.33 in 150 ppm Cd treatment. While no shoot formation was observed in the culture media where bacteria was applied together with Cd at 75, 150 and 225 ppm concentrations, the highest number of shoots was obtained in 300 ppm Cd treatment.

Keywords: Germination, cadmium, golden wreath wattle, PGPB

GİRİŞ

Acacia cyanophylla Lindley (Kıbrıs akasyası) hızlı büyüme, kuraklığa ve tuzluluğa dayanma yeteneği [1], marjinal arazilerde büyüme ve büyük

biyokütle verimliliği gibi olumlu özellikleri nedeniyle toprakları korumak [2] ve özellikle kurak mevsimlerde yem bulunabilirliğini sağlamak [3] için kullanılmaktadır.

*Sorumlu yazar / Corresponding author: arzu@siirt.edu.tr

Her dem yeşil ve geniş yapraklı olan Kıbrıs akasyası *Leguminosae* (Baklagiller) familyasına ait ve Anavatani Avustralya olan bitki türü olup yaprakları ince uzun ve mavimsi yeşil renktedir (Şekil 1). Parlak sarı küreler halinde gösterişli çiçekleri şubat-mayıs aylarında açar. Yoğun sarı çiçekleri ve formunun estetikliği nedeniyle peyzaj çalışmalarında tercih edilen bir süs bitkisidir. Kıbrıs akasyası rüzgâr perdeleme ve kumul stabilizasyonu çalışmalarında kullanılabilen aynı zamanda kirli havaya dayanıklı bir bitkidir [4].



Şekil 1. Kıbrıs akasyası [5]

Acacia, bozulmuş alanları kolonize etme ve toprağı erozyona, kumul oluşumuna ve çölleşmeye karşı koruma kapasitesi nedeniyle ekilemez toprakların verimlilik potansiyelini artırmada önemli bir rol oynayan bir baklagil ağacıdır [6]. *Acacia cyanophylla* (syn: *Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl) ise Batı Avustralya ve Güney Afrika'nın kurak ve yarı kurak orta bölgelerine özgü bir tür olup 5-8 m yüksekliğe ulaşabilen ve N₂ sabitleyici bakteriler için en karışık konakçı olarak kabul edilen bitkidir [7].

PGPB'ler bitki büyümesini teşvik eden bakterilerdir ve bitki büyümesini iyileştirirler. Bu bakteriler fosfor çözünürlüğünü artırma ve fitohormon üretimi gibi tarıma sağladığı sayısız faydalar sayesinde biyogübre olarak kullanılırlar. Özellikle biyotik ve abiyotik stres koşullarında bitkinin direncini artırırlar. Çevre dostu olarak bilinen faydalı bakteriler tarımın çeşitli dallarında kullanılmaktadır. Farklı stres faktörleri altında nispeten optimum koşulları oluşturarak bitkide dayanıklılığı sağlamaktadır. Bu streslerden biri de ağır metal stresidir. Çevre kirliliğinde etkili olan elementlerin sebep olduğu bu strese karşı PGPB'ler etkindir. Bitki gelişimini uyaran kök bakterilerinin azot bağladığı, fosfat ve ağır metalleri parçaladığı, hormon ürettiği, su alımı ve mineral alımını uyardığı, kök gelişimine katkıda bulunduğu, bitkide enzim aktivasyonunu artırdığı ve bitkide gelişimi teşvik ettiği bilinmektedir [8, 9].

Kadmiyum toksik bir element olup kurşun ve cıva gibi ağır metaldir. Çoğunlukla topraklarda düşük konsantrasyonlarda bulunmakla beraber bitkiler tarafından kolayca alınır, sürgünlere iletilirler ve

bitki sistemi içinde hareket ederler [10]. Bitkide metal konsantrasyonlarındaki artışa, büyümenin gecikmesinde rol oynayarak besin elementleri alımının eksikliğine, düşük enzim aktivitesine ve dolayısıyla fitotoksositeye neden olmaktadır [11].

Priming uygulaması, birçok bitki türünde tohumların çimlenme özelliklerini ve erken büyümesini iyileştirilebilen bir tekniktir.

Ancak, ağaç ve çalı tohumlarının ön hazırlıklara verdiği tepkiye ilişkin bilgiler sınırlıdır [12]. Priming bir tohum işlemidir ve normal koşullara olduğu kadar [13, 14, 15] stres koşulları altında da [16, 17, 18, 19] tohum çimlenmesini, çimlenme oranını, tekdüzeliği ve fide büyümesini artırmada etkili bir teknik olduğu kanıtlanmıştır. Priming uygulamalarının kızılbaş (Alnus glutinosa) [20], çeşitli akasya türleri [21, 22, 23, 24], armada çamı (Pinus armadii) [25], Japon sediri (Cryptomeria japonica) [26], Norveç ladini (Picea abies), gümüşü huş ağacı (Betula pendula), kayın (Fagus sylvatica) ve kıyı çamı (Pinus contorta) [27], yaygın kızılbaş (Alnus glutinosa) ve tüylü huş ağacı (Betula pubescens) [20] gibi süs bitkilerinin tohum çimlenmesini artırdığını bildiren çalışmalar mevcuttur. Kırmızı meşe (Quercus rubra) [28], mimoza (Mimosa bimucronata) [29], lodgpole çamı (Pinus contorta) ve beyaz ladin (Picea glauca) [30] için artan düzgünlük ve fide oluşumu; kızılçam (Pinus brutia) [31] ve Acacia nilotica [32] fide kalitesindeki olumlu etkiler de bazı çalışmalarda ortaya koyulmuştur.

Bu çalışmanın amacı ağır metal stresi olarak 75, 150, 225 ve 300 ppm konsantrasyonlarındaki kadmiyum (Cd) kirliliğine maruz kalan *A.cyanophylla* tohumlarının çimlenme ve büyüme yeteneğinin belirlenmesi ve bitki büyümeyi teşvik edici *Serratia grimesii* bakterisi ile yapılan priming uygulamasının bu koşullar altında çimlenme parametrelerine olan etkisini ortaya koymaktır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

•*Bitkisel Materyal*: İzmir Seferihisar çevre yolu üzerinden Ağustos-2021 tarihinde toplanan *A.cyanophylla* tohumları çalışmanın bitkisel materyalini oluşturmaktadır.

•*Kadmiyum (Cd)*: Kadmiyum araştırmada *Cadmium sulphate* (CdSO₄.7H₂O) (Merck, Germany) formunda 75, 150, 225 ve 300 mg.kg⁻¹ Cd şeklinde dört doz olarak kullanılmıştır.

•*Bakteri İzolatı*: Kullanılan bakteri izolatu *Serratia grimesii* (TV62D) bakterisi suşudur. Bakteri irkının özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Kullanılan bakteri suşu izolatu Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'nden temin edilmiştir.

TOVAG 1080147 TÜBİTAK projesi kapsamında Van Gölü Havzası rizosferinden elde edilen izolatların PGPB etkinlikleri test edilmiştir [33].

Çizelge 1. Araştırmada kullanılan bakteri suşu

Bakteri Kodu: TV62D	Azot bağlama	Fosfat çözme	ACC deaminaz aktivitesi	Siderofor üretimi
Bakteri Adı: <i>Serratia grimesii</i>	+	Z ⁺	+++	++
	(normal)	(zayıf)	(çok kuvvetli)	(kuvvetli)

Metot

Çalışma Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Laboratuvarında tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Her tekerrürde 10 adet tohum kullanılmıştır. Çalışma aseptik koşullarda gerçekleştirilmiş olup kullanılan tüm laboratuvar araç-gereçleri otoklavda 121°C'de 20 dakika sterilize edilmiştir.

•*Tohumların Yüzeysel Sterilizasyonu: A.cyanophylla* tohumlarının ekim yapılmadan önce steril kabin içinde yüzeysel sterilizasyonları yapılmıştır. Tohumlar önce %70'lik etil alkolde 5 dakika bekletilmiş olup sonrasında 3 kez steril saf su ile durulanmıştır. Daha sonra ise %5'lik ticari çamaşır suyunda 10 dakika bekletilerek yine 3 kez steril saf su ile durulanmıştır.

•*Bakteri Çoğaltma İçin Katı Besi Ortamı Hazırlama:* Bakterilerin çoğaltılmasında katı besi yeri olarak nutrient agar (Merck-VM71680604) kullanılmıştır. Bir litre saf suya 20 g nutrient agar eklenerek, pH 7.0'ye ayarlanmış ve karışım otoklav yardımıyla, 121°C'de 15 dakika sterilize edilmiştir. Sterilizasyonun ardından besi yerleri 50°C'ye kadar soğutulduktan sonra petri kaplarına aktarılmış ve katılaşması için beklenilmiştir. Bakterilerin stok kültürleri, öze yardımıyla nutrient agar besi yerine eklenmiş, 26±2°C'de, 24 saat inkübe edilmiştir.

•*Bakteri Çoğaltma İçin Sıvı Besi Ortamı Hazırlama:* Sıvı besi yeri olarak ise nutrient broth (Merck-VM775843711) kullanılmıştır. Bir litre saf suya 8 g nutrient broth besi yeri eklenmiş ve pH 7.0'ye ayarlanmıştır. Karışım otoklav yardımıyla, 121°C'de 15 dakika sterilize edilip ve ardından soğumaya bırakılmıştır. Nutrient agar besi yerinde geliştirilen bakterilerden tek koloni alınarak, aseptik koşullarda nutrient broth besi yerine aktarılmıştır. Sıvı besi yerine aktarılan bakteriler 26±2°C'de 24 saat süre ve 120 rpm hızda yatay çalkalayıcıda inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından bakteri konsantrasyonları turbidimetrik olarak ~10⁸ kob (koloni oluşturan bakteri) / ml'ye ayarlanmıştır [35].

Uygulamalar

•*Kontrol:* Tohumlara hiçbir uygulama yapılmamış ve kaba petri kaplarında kaba filtre kâğıtları arasına ekilmiştir. Sonrasında steril saf su ile sulanmıştır.

•*Kadmiyum (Cd) Uygulaması:* 75, 150, 225 ve 300 mg.kg⁻¹ Cd şeklinde hazırlanan dört doz kadmiyum çözeltilisi, uygulanacakları petri kaplarına, tohum ekimi ile birlikte 3 ml olacak şekilde verilmiştir.

•*Bakteriyel İnokülasyon:* Bakteri uygulamaları olan kültürler için belirlenen tohumlar yüzeysel sterilizasyonu yapıldıktan sonra TV62D bakteri çözeltilisi içinde 120 dakika bekletilerek inokülasyon gerçekleştirilmiştir. Priming yapılan tohumlar petri kaplarında kaba filtre kâğıtları arasına ekilmiştir.

•*Kadmiyum × Bakteriyel İnokülasyon Uygulaması:* Bu uygulamada TV62D bakteri izolatu ile priming yapılan tohumlar petri kaplarına ekildikten sonra uygulamalara göre 3 ml kadmiyum dozları ilave edilmiştir. Metal uygulaması bir kereye mahsus olarak yapılmıştır.

Tüm petriler ara ara steril saf su ile nemlendirilmiştir. Kültür kapları karanlık ve 24±2°C sıcaklıkta inkübe edilmiştir.

Analizler

•*Tohumların Çimlenme Oranı Hesaplaması:*

$$\text{ÇY} = \text{ÇTS} / \text{TTS} \times 100$$

Formülde, ÇY: Çimlenme yüzdesi (%); ÇTS: Çimlenen tohum sayısı; TTS: Petrilerde çimlenen toplam tohum sayısı [34].

•*Ortalama Çimlenme Hızı (OÇH) Hesaplaması:*

$$\text{OÇH} = \Sigma Dn / \Sigma n$$

Formülde, D: Deneme başlangıcından itibaren gün sayısı, n: Deneme süresince çimlenen tohum sayısı [36], Hesaplamalar; 7-14-21 günlerindeki çimlenme durumlarına göre yapılmıştır. JMP istatistik programı kullanılarak istatistik analizler gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kadmiyum dozlarının etkisi altındaki *A.cyanophylla* tohumlarının çimlenme oranı ve hızı ile sürgün oluşumuna faydalı bakterinin (*S.grimesii* (TV62D)) etkileri Çizelge 2'de gösterilmiştir. Analiz sonuçları uygulamalar arasındaki farkın istatistik olarak %5 önem derecesine göre önemli olduğunu ortaya koymuştur.

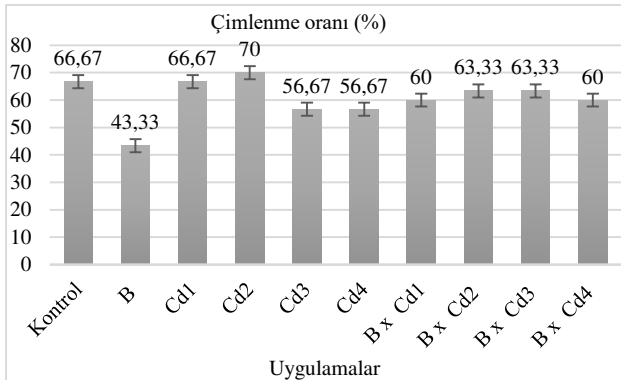
Çimlenme oranı sonuçları incelendiğinde nispeten en yüksek oranın (%70,00) 150 ppm Cd (Cd2) uygulamasına ait tohumlardan elde edildiği görülmektedir. Ancak Cd2 uygulamasının istatistiki olarak kontrol, Cd1, Bakteri × Cd1, Bakteri × Cd2, Bakteri × Cd3 ve Bakteri × Cd4 ve uygulamaları ile birlikte aynı grupta yer aldığı belirlenmiştir. En düşük çimlenme oranı (%43,33) bakteri inokülasyonunun yapıldığı (B) uygulamasında belirlenmiştir. Bakteri inokülasyonunun tek başına olduğu uygulamalardaki tohumların çimlenme oranlarının diğerlerinden daha düşük değerde bulunması dikkat çekmektedir. Bazı

bakteri ırkları salgıladıkları biyokimyasallar ve hormonlar sayesinde çimlenmeyi engelleyici özellik göstermektedir. Bu nedenle bakterilerde bu tarz tepkiler gözlenmektedir. Bu özelliği gösteren bakterilerin herbisit olarak kullanılma potansiyeli de bulunmaktadır. Kadmiyum stresi olmadan bakterinin burada yeterince aktif olmadığı düşünülmektedir. Aynı şekilde bakterinin olduğu kadmiyum bulaşıklı kültür ortamlarında da benzer durum görülmektedir. Stres sırasında bitki tarafından yüksek konsantrasyonda etilen üretilmektedir. ACC deaminaz aktivitesi gösteren bakteriler stres sırasında üretilen yüksek konsantrasyonlardaki etileni indirgeyerek azotlu bileşiklere dönüştürmekte ve böylece bitki gelişimini teşvik etmektedir [37]. B × Cd doz uygulamaları, bakterinin tek başına inoküle edildiği uygulamalardan daha yüksek çimlenme oranına sahip olurken; artan Cd dozları bile bakteri inokülasyonundan daha fazla çimlenmeye sebep olmuştur (Şekil 2).

Çizelge 2. Kadmiyum etkisi altındaki *A.cyanophylla* tohumlarının çimlenme ve sürgün gelişiminde *S.grimesii* faydalı bakteri ırkının etkileri

Parametreler	Çimlenme Oranı (%)	Çimlenme Hızı	Sürgün Sayısı (adet)
Kontrol (Cd ve bakteri uygulanmadı)	66,67 a	22,22 a	2,00 ab
Bakteri (B) (TV62D)	43,33 b	14,44 b	0,33 cd
75 ppm Cd (Cd1)	66,67 a	22,22 a	1,33 abcd
150 ppm Cd (Cd2)	70,00 a	23,33 a	1,00 abcd
225 ppm Cd (Cd3)	56,67 ab	18,89 ab	1,67 abc
300 ppm Cd (Cd4)	56,67 ab	18,89 ab	2,33 a
B × 75 ppm Cd (Cd1)	60,00 a	20,00 a	0,00 d
B × 150 ppm Cd (Cd2)	63,33 a	21,11 a	0,00 d
B × 225 ppm Cd (Cd3)	63,33 a	21,11 a	0,00 d
B × 300 ppm Cd (Cd4)	60,00 a	20,00 a	0,67 bcd

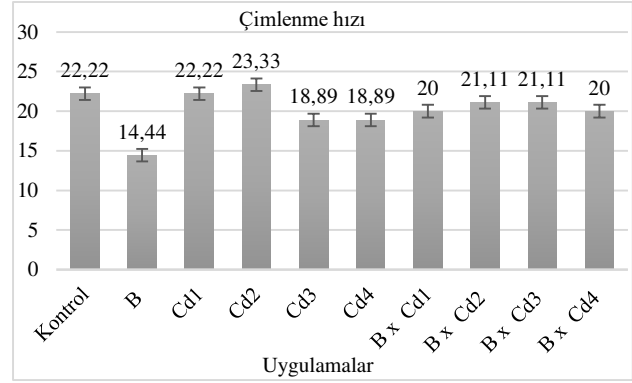
Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasında %5 düzeyinde farklılık vardır.



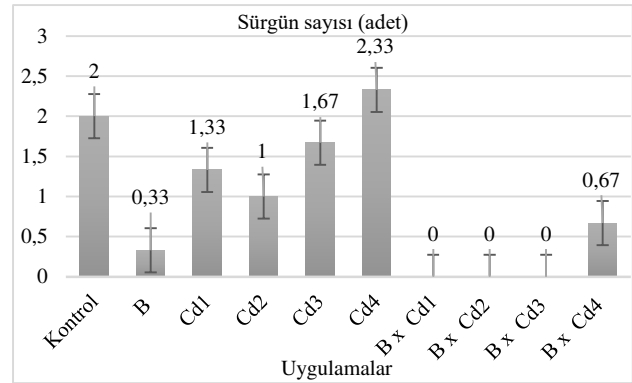
Şekil 2. Kadmiyum etkisi altındaki *A.cyanophylla* tohumlarının çimlenme oranına faydalı bakterinin etkisi

Akasya tohumlarının çimlenme hızı en düşük 14,44 günde bakteri inokülasyonu yapılan B uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek çimlenme hızı ise 150 ppm Cd uygulamasında (Cd2) 23,33

olarak bulunurken bu uygulamadan elde edilen değer istatistik olarak kontrol, Cd1, B × Cd1, B × Cd2, B × Cd3 ve B × Cd4 uygulamaları ile aynı grupta yer almıştır. Çimlenme hızının tüm kadmiyum uygulamalarında bakterinin tek kullanıldığı ortamdakilerden daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Cd3 ve Cd4 uygulamaları bakteri uygulamasına göre çimlenme hızını arttırmış ancak, kontrol grubu tohumların çimlenme hızından daha düşük değerlere sahip olmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Kadmiyum dozlarının etkisi altındaki *A.cyanophylla* tohumlarının çimlenme hızına faydalı bakterinin etkisi



Şekil 4. Kadmiyum dozlarının etkisi altındaki *A.cyanophylla* tohumlarından sürgün oluşumuna faydalı bakterinin etkisi

Kültür ortamlarında çimlenen tohumların bazılarında sürgün oluşumu gözlenmiş olup kayıt altına alınmıştır. En yüksek sürgün sayısı 300 ppm Cd uygulanan Cd4 uygulamasında ortalama 2,33 olarak elde edilmiştir. Öte yandan Cd4 ile Cd3 ve Cd2 ve Cd1 uygulamaları arasındaki fark ise önemli bulunmamıştır. En düşük sürgün sayısı ise bakterinin tek başına uygulandığı tohumlardan elde edilmiş olup ortalama 0,33 adet olarak belirlenmiştir. Bakterinin inoküle edildiği Cd1, Cd2 ve Cd3 doz kadmiyum stresi altındaki ortamlarda ise sürgün oluşumu gözlenmemiştir (Şekil 4).

Eshkab vd. [12] yapıkları çalışmada, priming işlemlerinden önce, *A.cyanophylla* tohumlarını fiziksel uykuda kalmayı aşmak için mekanik olarak çizmişlerdir. Daha sonra tohumları 10 mmol NaCl, CaCl₂ ile KCl çözeltileriyle ayrı ayrı priming ajanlarıyla 5 dakika süre ile ya da distile edilmiş suyla işlemişlerdir. Çimlenme oranına ilişkin sonuçlar tüm uygulamalar için istatistik olarak önemsiz bulunmuştur. Tüm priming uygulamaları çimlenme kapasitesini %99'a kadar arttırmış olup priming yapılmayan kontrol grubu tohumlarında da %94'lük yüksek çimlenme yüzdesi elde edilmiştir. Çimlenme hızı kontrol bitkilerinde en düşük, distile su uygulamalarında ise en yüksek değeri vermiştir ve uygulamalar arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Çimlenmelerde elde edilen kuru ağırlıklar ise en yüksek olarak distile su uygulamasında elde edilirken, en düşük kontrol tohumlarında belirlenmiştir.

Fabaceae (baklagiller familyası) üyesi olan *Sesbania punicea* tohumlarının kurşun dozları etkisi altında çimlenmelerinde B1: *Brevibacterium frigoritolerans* (KF58B), B2: *Microbacterium oxydans* (KF58C), B3: *Paenarthrobacter nitroguajacolicus* (KF3B), B4: *Paenibacillus xylanilyticus* (KF63C), B5: *Bacillus zhangzhouensis* (KF3A) bakteri izolatlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada en yüksek çimlenme oranı %60 ile B3 × Pb₀ uygulamasında elde edilirken en düşük çimlenme oranı ise %23,33 ile B4 × 10 ppm Pb uygulamasında belirlenmiştir. Aynı çalışmada çimlenme hızı en düşük 5,83 ile B4 × 10 ppm Pb uygulamasında; en yüksek ise 15 ile B3 × Pb₀ uygulamasında elde edilmiştir [38].

Çiğ [39], bir çalışmada *Brevibacillus choshinensis* (TV53D) ve *Serratia grimesii* (TV62D) bakteri izolatlarının keçiboynuzu tohumlarına priming tekniğini uygulayarak çimlenme hızı ve oranını incelemiştir. Çimlenme hızı *Serratia grimesii* (TV62D) bakteri izolatlarının inoküle edildiği tohumlarda 2,00 ile en düşük olarak ortaya çıkarken, en yüksek çimlenme ise 2,29 ile kontrol grubu tohumlarında belirlenmiş ve *Brevibacillus choshinensis* (TV53D) uygulaması ile istatistik olarak aynı grupta yer almıştır. Çimlenme oranı ise en yüksek %93,33 ile kontrol grubu tohumlarda gözlenmiş olup istatistik olarak bu uygulama *Brevibacillus choshinensis* (TV53D) uygulaması ile aynı grupta yer almıştır. En düşük çimlenme oranı ise %80 ile *Serratia grimesii* (TV62D) priming yapılmış keçiboynuzu tohumlarında belirlenmiştir.

Nikel dozlarının *Sesbania punicea* tohumlarının çimlendirilmesinde yarattığı stresi indirmek için tohumlara priming yapılan bir çalışmada en yüksek çimlenme yüzdesi nikel uygulamaları arasında

yüksek doz olarak kullanılan 100 ppm Ni içeren ortamlardan %49,33 olarak elde edilirken bu sırayı kontrol ve 50 ppm Ni uygulamaları takip etmiştir. En düşük çimlenme hızı ise Ni uygulamaları arasında 10,50 ile 50 ppm Ni ortamlarında gerçekleşmiştir. Ancak en yüksek çimlenme hızı 12,33 ile 100 ppm Ni içeren ortamlarda görülmüştür. Her iki parametrenin ortalama değerleri arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuştur. Aynı çalışmada B1: *Brevibacterium frigoritolerans* (KF58B), B2: *Microbacterium oxydans* (KF58C), B3: *Paenarthrobacter nitroguajacolicus* (KF3B), B4: *Paenibacillus xylanilyticus* (KF63C), B5: *Bacillus zhangzhouensis* (KF3A) bakteri izolatlarının yalnız ya da Ni dozları ile birlikte uygulandığı kültür ortamlarında en yüksek çimlenme oranı %60 ile B3 × Ni₀; en düşük çimlenme oranı ise %30 ile B2 × 500 ppm Ni uygulamalarında elde edilmiştir. Çimlenme hızı ise en düşük 7,50 ile B2 × 500 ppm Ni; en yüksek ise 15 ile B3 × Ni₀ uygulamalarından elde edilmiştir [40].

Baklagiller familyasından olan *Sesbania punicea* tohumlarının bazı faydalı bakteri ırkları ile inoküle edilerek kurşun ve nikel gibi ağır metal bulaştırılmış kültür ortamlarında yapılan çimlendirme çalışmalarında elde edilen verilerle karşılaştırıldığında yapılan bu çalışmada elde edilen verilerle paralellik olduğu görülmektedir. Bu farklılığın öncelikle kullanılan bitkisel materyallerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışmalarda kullanılan bitki türlerine ait tohumlar aynı familyadan olduğu için ona etki eden mekanizmaların da etkisi benzer olabilir. Bunun yanında kurşun ve nikel metallerinin kadmiyumdaki farklı etki edeceği de düşünülmektedir. Faydalı bakterilerin etkileri pek çok kontrollü testlerden geçerek kesinlik kazanmıştır. Ancak genel olarak bitki gelişimini teşvik etse de bitki türü ve kullanıldığı ortamların farklılığı sebebiyle etki mekanizmaları da farklı olacaktır. Faydalı bakterilerin stres ortamında daha etkin olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada bakterilerin tek başına kullanıldığı kültür ortamlarına ekilen tohumların diğer ortamda çimlendirilen tohumların çimlenme oranı ve hızından düşük olmasının sebebinin bu olduğu düşünülmektedir. Ancak bakteri ile priming muamelesi görmüş tohumlardan; Cd1, Cd2 ve Cd3 dozlarının bulaştığı kültür ortamlarında sürgün edilememiştir. Diğer uygulamalarda çimlenen tohumlarda sürgün gelişimi gözlenmiş olup yine bakteri inokülasyonunun tek başına olduğu uygulamada en düşük ortalama elde edilmiştir. 300 ppm kadmiyum bulaşmış ortamda priming kullanılan tohumların sürgün oluşturması da diğerlerinden daha yüksek doz olan bu uygulamada bakteri etkinliğini göstermektedir.

SONUÇ

Bitki çimlenmesi, bitki gelişiminin en kritik aşamalarından biridir ve çevresel faktörler bu süreci önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Kadmiyum, bitkilerin kök gelişimini, su alımını ve besin maddelerini absorbe etme yeteneğini olumsuz etkileyerek çimlenme oranını düşürebilmektedir. Bu bağlamda, *A.cyanophylla* tohumlarının kadmiyum varlığındaki çimlenme potansiyelini anlamak hem bitkinin ekolojik rolünü korumak hem de toprak sağlığını iyileştirmek açısından önemlidir. *A.cyanophylla*, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde yaygın olarak bulunan, iklim değişikliği ve toprak erozyonuna karşı dirençli bir ağaç türüdür. Bu bitki, ekosistem dengesi ve toprak verimliliği açısından önemli bir role sahiptir. Ancak, günümüzde sanayileşme ve tarımsal faaliyetler sonucu topraklarda ağır metallerin, özellikle kadmiyumun (Cd), birikimi önemli bir çevresel sorun haline gelmiştir. Kadmiyum, bitkiler üzerinde toksik etkiler yaratabilen bir metal olup, toprakta düşük konsantrasyonlarda bile bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

A.cyanophylla'nın kadmiyum varlığındaki çimlenme potansiyelinin incelenmesi, bu türün ekolojik rolünü korumak ve çevre kirliliği ile mücadele etmek açısından önem taşımaktadır. Bu çalışma, kadmiyumun tohum çimlenmesi üzerindeki etkilerini anlamayı ve sürdürülebilir tarım uygulamaları çerçevesinde biyolojik gübre olarak da nitelendirilen faydalı bakterilerin stres faktörüne karşı direnç sağlamasına yönelik stratejiler geliştirmeyi amaçlamaktadır.

KAYNAKLAR

1. NAS (National Academy of Sciences), 1980. Firewood crops; shrub and tress species for energy production. National Academies Press, Washington D.C.
2. FAO, 2010. Global forest assessment. Country report: Libyan Arab Jamahiriya.
3. Choukr-Allah, R. 1997. The potential of salt-tolerant plants for utilization of saline water. Séminaires Méditerranéennes, Ser. A/number 31:313-325, <http://om.ciheam.org/article.php?idpdf=ci971547>.
4. Birişçi, T., Sönmez Türel, H., Özeren Alkan, M. 2017. Kültürpark'ın ağaç, ağaççık ve çalıları. Bitki Tanıtım Kitabı. ISBN:978-975-18-0223-1, Anadolu Matbaacılık, İzmir Büyükşehir Belediyesi, 128s.
5. URL-1. <https://www.agaclar.net/forum/genis-yaprakli-agaclar/33534.htm> (Erişim: 27.08.2024)
6. Teixeira, H., Rodríguez-Echeverría, S. 2016. Identification of symbiotic nitrogen-fixing bacteria from three African leguminous trees in Gorongosa National Park. Syst Appl. Microbiol. 39(5):350-358, <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2016.05.004>.
7. Boukhatem, Z.F., Domergue, O., Bekki, A., Merabet, C., Sekkour, S., Bouazza, F., Duponnois, R., de Lajudie, P., Galiana, A. 2012. Symbiotic characterization and diversity of rhizobia associated with native and introduced acacias in arid and semi-arid regions in Algeria. FEMS Microbiol. Ecol. 80(3):534-547, <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2012.01315.x>.
8. Dejerdjevic, M.A., Gabriel, D.W., Rolfe, B.G. 1987. Rhizobium-the refined parasite of legumes. Annual Reviews of Phytopathology 25:145-168.
9. Ferreira, M.C.B., Fernandes, M.S., Döberener, J. 1987. Role of *Azospirillum brasilense* nitrate reductase in nitrate assimilation by wheat plants. Biology and Fertility of Soils 4:47-53.
10. Hashem, A., Abd-Allah, E.F., Alqarawi, A.A., Al-Huqail, A.A., Wirth, S., Egamberdieva, D. 2016. The interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and endophytic bacteria enhances plant growth of *Acacia gerrardii* under salt stress. Frontiers in Plant Sciences 7:1089, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01089>.
11. Groppe, M.D., Ianuzzo, M.P., Rosales, E.P., Vázquez, S.C., Benavides, M.P. 2012. Cadmium modulates NADPH oxidase activity and expression in sunflower leaves. Biol Plant 56:167-171, <https://doi.org/10.1007/s10535-012-0036-z>.
12. Eshkab, İ., Shanta, M.B., Hisham N.El Waer 2014. Influence of pre-sowing seed treatments on germination properties and early seedling growth of *Acacia cyanophylla*. Int. Journal of Advances in Agricultural & Environmental Eng. (IJAAEE) 1(2):208-211, <http://dx.doi.org/10.15242/ijaaee.c0215157>.
13. Farooq, M., Basra, S.M.A., Wahid, A. 2006. Priming of field-sown rice seed enhances germination, seedling establishment, allometry and yield. Plant Growth Regulators 49:285-294, <http://dx.doi.org/10.1007/s10725-006-9138-y>.
14. Yari, L., Khazaei, F., Sedghi, H., Sheidaei, S. 2011. Effect of seed priming on grain yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). ARPN Journal of Agricultural and Biological Science 6(6):1-5.
15. Saleem, M.S., Sajid, M., Ahmed, Z., Ahmed, S., Ahmed, N., Islam, S.U. 2014. Effect of seed soaking on seed germination and growth of bitter gourd cultivars. Journal of Agriculture and Veterinary Science 6(6):7-11.

16. Sivritepe, N., Sivritepe, H.O., Eriş, A. 2003. The effect of NaCl priming on salt tolerance in melon seedlings grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae* 97(3-4):229-237, [https://doi.org/10.1016/s0304-4238\(02\)00198-x](https://doi.org/10.1016/s0304-4238(02)00198-x).
17. Basra, S.M.A., Farooq, M., Tabassum, R., Ahmad, A. 2005. Physiological and biochemical aspects of pre-sowing seed treatment in fine rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Science Technology* 33:623-628, <http://dx.doi.org/10.15258/sst.2005.33.3.09>.
18. Soughir, M., Elouaer, M.A., Hannachi, C. 2013. The effect of NaCl priming on emergence, growth and yield of fenugreek under saline conditions. *Cercetări Agronomice in Maldova* 2(154):73-83.
19. Agholaghi, M.A., Sedghi, M. 2014. The effect of halo- and hydro-priming on germination characteristics of millet seeds under salinity stress. *Cercetări Agronomice in Maldova* 2(158):41-48, <http://dx.doi.org/10.2478/cerce-2014-0015>.
20. Ashraf, M., Foolad, M.R. 2005. Pre-sowing seed treatment- a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy* 88:223-271, [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(05\)88006-x](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(05)88006-x).
21. Nasim, F.H., Mohammad, A., Mohammad, A. 1995. Effect of priming treatments on germination of *Acacia nilotica* seeds. *Hamdard Medicus* 30(2):116-123.
22. Rehman, S., Harris, P.J.C., Bourne, W.F. 1998. Effects of pre-sowing treatment with calcium salts, potassium salts or water on germination and salt tolerance of *Acacia* seeds. *Journal of Plant Nutrition*, 21(2):227-285, <https://doi.org/10.1080/01904169809365402>.
23. Harris, P.J.C., Bourne, W.F., Rehman, S. 1999. Effect of hardening on the salinity tolerance of *Acacia* seeds. Conference: Sixth Symposium on Seed Establishment, ISHS, Roanoke, Virginia, USA, pp:34.
24. Cao, B., Zhai, M., Wu, L. 2005. Effect of prechilling on germination of *Robinia pseudocacia* under salt stress. *Journal of Beijing Forestry University* 27(4):39-42.
25. Wang, Y., Sujuan, G., Wang, W. 2011. Effect of priming on germination and physiological properties of *Pinus armandii* seeds. *Journal of Northeast Forestry* 39(2):21-23.
26. Kim, D., Han, S., Ku, J., Lee, K. 2009. Effect of cryoprotectants and post storage priming on seed germination of sugi (*Cryptomeria japonica* D.Don). *Silvae Genetica* 58(4):162-168. <https://doi.org/10.1515/sg-2009-0021>.
27. Shen, T.Y., Odén, P.C. 2002. Relationship between seed vigour and fumarase activity in *Picea abies*, *Pinus contorta*, *Betula pendula* and *Fagus sylvatica*. *Seed Science and Technology* 30(1):177-186.
28. Struve, D.K. 1998. Seed conditioning of red oak: a recalcitrant North American seed. *Scientia Agricola*, pp:67-73, <https://doi.org/10.1590/s0103-90161998000500012>.
29. Brancalion, P.H.S., Tay, D., Novembre, A.D.L.C, Rodrigues, R.R., Tay, D. 2008. Priming *Mimosa bimucronata* seeds - a tropical tree species from Brazil. *Acta Horticulturae* 78:163-167. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2008.782.18>.
30. Huang, Y.G. 1999. Enhancing tolerance of lodgepole pine and white spruce seeds to thermohygrostresses by Osmo conditioning. *Seed Science and Technology* 17(2):341-353.
31. Khalil, S.K., Mexal, J.G., Otiz, M. 1998. Osmotic priming hastens germination and improves seedlings size of *Pinus brutia* var. *eldarica*. *Tree Plant Notes* 48(1-2):24-27.
32. Neeraj, K., Saxena, A.K. 2003. Effect of presowing treatments on seed germination and seedling growth of *Acacia nilotica* Wild. *Range Management and Agroforestry* 24(2):104-113.
33. Erman, M., Kotan, R., Çakmakçı, R., Çiğ, F., Karagöz, K., Sezen, M. 2010. Van Gölü havzasından izole edilen azot fikseri ve fosfat çözücü bakterilerin buğday ve şeker pancarında büyüme ve verim özellikleri üzerine etkileri. *Türkiye 4. Organik Tarım Sempozyumu*, 28 Haziran-1 Temmuz 2010, Erzurum, s:326-330.
34. Gosh, P., Dash, P.K., Rituraj, S., Mannan, M.A. 2014. Effect of salinity on germination, growth and yield of radish (*Raphanus sativus* L.) varieties. *International Journal of Biosciences* 5(1):37-48, <https://doi.org/10.12692/ijb/5.1.37-48>
35. Clarck, D.S. 1965. Method for estimating the bacterial population on surfaces. *Can J. Microbiol.* 22:374.
36. Sivritepe, H.Ö. 2012. Tohum gücünün değerlendirilmesi. *Alatarım* 11(2):33-44.
37. Çakmakçı, R. 2009. Stres koşullarında ACC deaminaze üretici bakteriler tarafından bitki gelişiminin teşvik edilmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 40(1):109-125.
38. Çiğ, A. 2022. Determination of germination and some early development parameters of *Sesbania punicea* (Cav.) Benth. seeds by bacteria applications showing ACCD activity under lead stress. *International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies*, 6-8 March 2022, Turkish Republic of Northern Cyprus, pp:1617-1628.
39. Çiğ, A. 2022. A study on the effects of *Brevibacillus choshinensis* (TV53D) and *Serratia*

grimesii (TV62D) bacterial strains on the germination of *Ceratonia siliqua* L. seeds. International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies, 6-8 March 2022, Turkish Republic of Northern Cyprus, pp:1508-1517.

40.Çığ, A. 2021. Germination of *Sesbania punicea* (Cav.) Benth. seeds by bacteria applications showing ACCD activity and nickel-contaminated media. 7. International Conference on Agriculture, Animal Science and Rural Development, 18-19 September 2021, Muş, Türkiye, pp:995-1006.