

Farklı Uygulama Seviyelerindeki Termik Santral Uçucu Külünün Buğday (*Triticum aestivum* L.) Bitki Gelişimi Parametreleri Üzerine Etkisi

Hilal AGAÇ¹, Günnur ERDOĞAN², F. Sevil YALÇIN^{3*}

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, 17000, Çanakkale

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, 17000, Çanakkale

³ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Biyoloji Eğitimi, 17000, Çanakkale

¹<https://orcid.org/0000-0002-8099-197X>

²<https://orcid.org/0000-0001-6120-5761>

³<https://orcid.org/0000-0003-0661-6431>

*Sorumlu yazar e-posta: sevilyalcin@comu.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 09.05.2023

Kabul tarihi: 28.09.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

Anahtar Kelimeler:

Çan Termik Santrali

Buğday

Uçucu kül

Çevresel etki

Çanakkale Çan Termik Santrali'nde kömür yakılması sonucu oluşan uçucu kül, bir katı atık olarak günümüzde ciddi bir çevre sorunudur. Uçucu kül, genellikle organik kirleticiler olan Se, As, B, V, Al, Pb, Hg, Cr gibi olası toksik metaller ve radyonüklidlerden Uranyum, Toryum içerdiğinden dünya çapında çevresel bir tehlike olarak kabul edilmektedir. Uçucu kül toksik maddeler içermesine rağmen oksitlerin ve eser elementlerin çoğunu da içermektedir. Oksitlerin varlığı alkali pH'a katkıda bulunurken eser elementler bitki büyümesi için besin sağlar, bu nedenle uçucu kül, fiziko-kimyasal ve biyolojik özellikleri iyileştirdiği için tarım sektöründe düşük konsantrasyonda ve toprak düzenleyici olarak kullanılabilirliği önerilmektedir. Bu çalışmayla birlikte farklı uçucu kül seviyelerinin buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisi üzerindeki etkisini belirlemek ve uygun uçucu kül uygulamalarını saptamak amaçlanmıştır. Çalışma, uçucu külün farklı uygulamalarının (Kontrol, %0,15, %0,3, %0,6 ve %1,2) toprağa karıştırılması ile tesadüf bloklar deneme desenine göre sera denemesi olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, uçucu külün daha düşük uygulamaları (%0,15, %0,3 ve %0,6) buğday bitkisinde çıkış oranı ve büyüme parametreleri olan bitki boyu ve kuru ağırlığını artırmıştır. Öte yandan, uçucu kül daha yüksek uygulamalarda (%1,2), olumsuz bir etki göstermiş ve buğday bitkisinin fide boyu, yaş ağırlık ve yaprak alanını azaltmıştır.

Effect of Thermal Power Plant Fly Ash at Different Application Levels on Plant Growth Parameters of Wheat

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 09.05.2023

Accepted: 28.09.2023

Published online: 22.01.2024

Keywords:

Çan Thermal Power

Wheat

Fly ash

Environmental effects

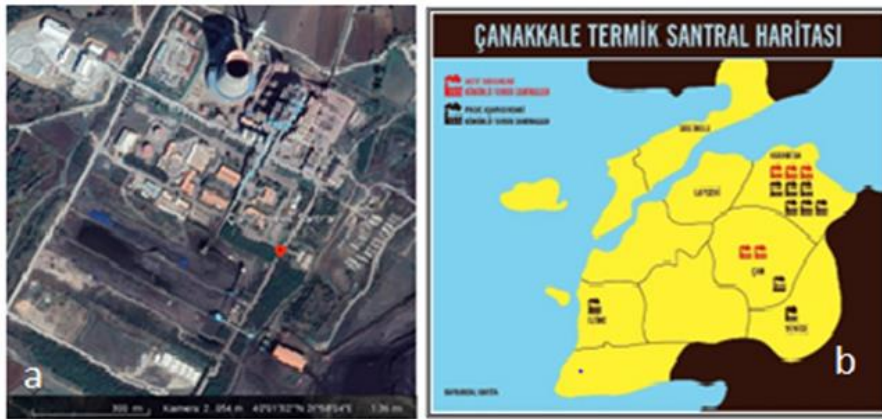
As a solid waste, fly ash produced by the combustion of coal at the Canakkale Can Thermal Power Plant is a severe environmental hazard today. Fly ash is regarded as a global environmental threat since it typically contains organic pollutants, potentially harmful metals including Se, As, B, V, Al, Pb, Hg, and Cr, as well as radioactive elements like Uranium and Thorium. Fly ash contains poisonous materials, but it also has the majority of oxides and trace elements. The present study aimed to investigate the impact of fly ash on various growth parameters of Gonen and Sagittario wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars, including plant emergence rate, seedling height, fresh and dry weight, and leaf area. The research was conducted as a greenhouse experiment using a random blocks experimental design. Various dosages of fly ash (Control, %0,15, %0,3, %0,6 and %1,2)

were mixed into the soil. The application of lower concentrations of fly ash (%0,15, %0,3 and %0,6) resulted in a significant improvement in the rate of plant emergence as well as growth parameters such as plant height and dry weight in wheat plants. In contrast, when administered at a higher dosage of %1,2, fly ash exhibited an adverse impact, resulting in a reduction in the height of seedlings, fresh weight, and leaf area of wheat plants

To Cite: Aaç H., Erdoğan G., Yalın FS. Farklı Uygulama Seviyelerindeki Termik Santral Uucu Klnn Buğday (*Triticum aestivum* L.) Bitki Gelişimi Parametreleri zerine Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 276-293.

1. Giriş

Günümüzde ısı için yakılan ve bir fosil yakıt olan kömür dünyanın birincil enerjisinin yaklaşık dörtte birini ve elektriğinin beşte ikisini sağlamaktadır (IEA, 2020). Türkiye’de 2022 yılında elektrik üretiminin, %34,6’sı kömürden elde edilmiştir (ETKB, 2022). Türkiye’deki elektrik enerjisi üreten termik santrallerde yılda yaklaşık olarak üretilen 7 milyon ton linyit kömürünün yaklaşık %82’si kullanılmakta (TUİK, 2022) ve bunun sonucunda 24,4 milyon ton uçucu kül, atık olarak ekosisteme bırakılmaktadır (TUİK, 2020). Dünyada ve Türkiye’de büyük ölçekli endüstriyel faaliyetler, artan şehirleşme ve döngüsel ekonomiye doğru ilerleme nedeniyle elektrik talebindeki artış ve buna bağlı olarak termik santral sayılarının günümüzde ve gelecekte artması beklenen bir gerçektir. anakkale’de bugün 5 tane termik santral kömürle çalışır durumdadır. Bunlar; Bekirli Biga, Değirmencik Biga, Kara Biga Cenal, an (şekil 1a) ve an ODAş termik santralleridir. Önümüzdeki süreçte ise Çanakkale’de yaklaşık 17000-18000 MW gücünde 16 tane kömürlü termik santralin üretim yapması planlanmaktadır (şekil 1b). Buna paralel olarak Türkiye’nin toplam enerji üretiminin yaklaşık 90000 MW olduğu düşünülecek olursa, ülkemizdeki üretim yaklaşık beşte biri kadarlık enerji üretiminin Çanakkale’de yapıldığı ortaya çıkmaktadır (Parlak ve ark., 2022).



şekil 1.a. Google Earth uydu görüntüsünde an Termik santrali görünümü (Görüntü tarihi 21.03.2021 Kamera 2,054 m 40*01*32*N26*58*04*E 136 m) **b.** Çanakkale aktif ve yapılması planlanan termik santraller kavramsal haritası (TEMA, 2018)

anakkale ve Biga Yarımadası hem Türkiye hem de dünya çapında kömür madenciliği ve kömürlü termik santral tehdidinin en ciddi boyutlarda yaşandığı bölgelerden birisidir. Bu bölgede yer alan kömürlü termik santrallerden kaynaklanan salımlar, asit birikmesi (asit yağışları) ve ağır metal içeren

uçucu kül birikmesine neden olmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda bu birikme, yağmurların kirleticileri yıkaması ve dolayısıyla birikmenin çoğunluğu, kuzey ve kuzeydoğudan esen rüzgárlarla nemli hava kütlelerinin santrallerin kuzey ve güneyindeki tepe ve dağlarla karşılaşması ile olduğu rapor edilmiştir. Asit birikmesinin Biga, Çan ve Marmara kıyı kuşağını kapsayan alanda 20-80kg/hektar olacağı hesaplanmış ve yine en fazla etkilenen alanlarda uçucu kül birikiminin ise yaklaşık 10-20 kg/hektar olacağı öngörülmektedir (TEMA, 2018).

Bu süreçte Termik santral faaliyetleri ve bu faaliyetler sonucu oluşan atıkların sağlık, biyoçeşitlilik ve doğal ortam üzerine negatif etkilerinin olması kaçınılmazdır. Bu santrallerin faaliyetleri ile oluşan uçucu külün bertarafı, dünya çapında önemli bir çevre sorunu yaratmaktadır. Bu büyük miktardaki katı atığın hem bölgesel hem de küresel düzeyde yönetimi, bugünün ve geleceğin başlıca kaygısıdır. Uçucu kül, termik santralinde kömürün yakılması sonucu oluşan ince mineral bir atık ürün (Bhatt ve ark., 2019) olup element bileşimi (hem besleyici hem de toksik elementler), kullanılan kömürün türlerine ve kaynaklarına göre değişmektedir (Camberato ve ark., 1997). Uçucu kül çeşitli şekillerde yeniden değerlendirilebilmektedir. Uzun yıllardır çimento, kompozit bağlayıcılar ve betonda katma değerli mineral katkı maddesi olarak, ayrıca yol yapımında, maden ışlahında, mineral yün imalatında, metal geri kazanımında kullanılmaktadır (Ukwattage ve ark., 2013; Bhatt ve ark., 2019). Ancak potansiyel olarak yılda üretilen toplam kül miktarının yalnızca sınırlı bir kısmı geri dönüştürülebilmektedir. Bununla birlikte, büyük miktarlarda kül hala biriktirilmektedir. Uçucu külün birikmesi küresel bir çevre sorunudur çünkü; kül depolama sahalarında biriken çok miktardaki atık malzemenin tarım alanlarına, su kaynaklarına ve doğal çevreye karışması ve özellikle de kül partiküllerinin (rüzgarla taşınan) solunum sistemi yoluyla alınması vb. gibi nedenler, yerel halkın sağlığına zarar veren bir çevre kirliliği yaratmaktadır (Tang ve ark., 2022; Wyszowski ve ark., 2022). Uçucu kül genellikle potansiyel olarak tehlikeli ve zararlı ağır metaller, organik kirleticiler ve bazı radyonüklidler içermektedir. Kül sağılmasının bir sonucu olarak bunların su, toprak ve havadaki zehirli konsantrasyonları ekolojik sorunlara neden olabilir. Bu sorunlar arasında elektrik santrali çevresinde ekolojik olarak arazinin bozulması, kül dökümünün çevredeki su yollarına sızarak ve besin zincirine ilerleyerek yarattığı sağlık sorunları (insan ve hayvan solunumu için) ve tarımsal sorunlar (toprak, toprak mikroorganizmaları ve mahsuller üzerinde zararlı etki) şeklinde sıralanabilir (Delić ve ark., 2022). Termik santrallerde oluşan külü depolamak maliyetli olduğu için uçucu külü daha yüksek verimlilik ve karlılıkla kullanmak için yeni yöntemler geliştirmek önem arz etmektedir.. Uçucu kül, çevre kirletici olarak kabul edilir, ancak birçok temel bitki besinini içerdiiğinden toprağa uygun şekilde karıştırıldığında, toprak özelliklerini iyileştirerek tarım sektöründe alternatif bir yol olarak sunulabilir ve aynı zamanda güvenli bertaraf için çözüm sağlayabilmektedir. Uçucu külün tarımda iyileştirici veya gübre olarak kullanılabileceği bildirilmektedir (Rusănescu ve Rusănescu, 2023).

Tarımda toprak özelliklerini değeristirmek için uçucu külün kullanımı son yıllarda giderek önem kazanmaya başlamıştır. Toprağa uçucu kül eklenmesi, elektrik iletkenliğini, su tutma kapasitesini, organik karbon içeriğini, toprak gözenekliliğini geliştirerek ve bitki büyümesi için gerekli makro

elementler (P, Ca, Mg) ve temel eser elementleri (Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, B) kazandırmaktadır. Uçucu kül, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirmek için bir toprak düzenleyici olarak da çalışmaktadır. Uçucu kül As, Cd, Mo, Pb, Se ve Sb gibi potansiyel olarak zararlı eser elementler içermesine rağmen, Cu, Fe, Zn, Mn ve Mo gibi mineral bileşenleri de içerir ve dolayısıyla ikincil bir gübre kaynağı olarak işlev görebilmektedir. Tarımda, toprakta uçucu kül uygulaması, toprağın gelişmiş besin mevcudiyeti ve fizikokimyasal özellikleri nedeniyle mahsul üretimi ile ilgili cesaret verici sonuçlar göstermiştir (Ou ve ark., 2020; Varshney ve ark., 2022). Uçucu kül için her potansiyel uygulama üç ana avantajla sonuçlanır: birincisi, sıfır maliyetli bir hammadde kullanımı, ikincisi, doğal kaynakların korunması ve üçüncüsü, atıkların ortadan kaldırılmasıdır (Özgün ve Işık, 2021). Yapılan birçok araştırmada, uçucu külün toprağa ve ürün verimliliğine etkisi araştırılmıştır. Toprağı uçucu külle zenginleştirmek, bitkilerin büyümesini ve mısır, nohut, pirinç ve buğday gibi tahıl ürünlerinin verimini artırmıştır (Singh ve Sukul, 2019; Tripathi ve ark., 2020; Sahoo ve ark., 2021; Ou ve ark., 2022). Uçucu külde, bitkilerin büyümesi ve gelişimi için gerekli olan iz elementler yüksek konsantrasyonlarda bulunur, ancak uçucu külde biyolojik olarak toksik olabilecek B, Mo ve Se gibi elementlerin konsantrasyonları topraktaki seviyelerine göre büyük ölçüde artmaktadır (Kalra ve ark., 2003). Bu sorunları azaltmak için, fiziksel ya da kimyasal olarak değiştirilmiş uçucu kül gibi çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Kullanılan tekniklerden bir tanesi çeşitli organik katkı maddeleri ile birlikte uçucu kül kullanılarak toprağın toksik yapısının değiştirilmesine ilişkin çalışmalarda, bitki besin mevcudiyetini iyileştirdiği, toksik ağır metallerin emilimini azalttığı, tamponlanmış toprak pH'ı, artan organik madde içeriği, uyarılmış mikrobiyal aktivite, iyileştirilmiş toprak sağlığı ve bitki verimini artırdığı saptanmıştır (Pandey 2013). Bu durum sürdürülebilir tarımda güvenli ve verimli bir alternatif olarak kabul edilmektedir (Varshney ve ark., 2022). Yapılan çalışmalarda toprak ıslahında kullanılan kül, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliğindeki eksikliklerini düzenleyip toprak verimi üzerinde bazı olumlu etkiler sağlamaktadır (Ou ve ark., 2020; Varshney ve ark., 2022). Tüm bu sonuçlar doğrultusunda, yapılan bu çalışmada önemli bir çevre sorunu olan uçucu külün ülkemizde ve bölgemizde yaygın olarak üretimi yapılan buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisinin gelişimi üzerine olan etkilerinin ve uygun uçucu kül konsantrasyonunun saptanması, ayrıca atık yönetimi yaklaşımıyla sürdürülebilir tarım potansiyelinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Uçucu Kül Temini ve Karakterizasyonu

Uçucu kül örnekleri 320 MW kurulu gücü ile Türkiye'nin 56., Çanakkale'nin ise 5. büyük enerji santrali olan Çan Termik santralinden temin edilmiştir (Şekil 2 a-b). Uçucu kül örnekleri 0-15 cm derinlikten, sahayı karakterize edecek şekilde 5 farklı noktadan alınmıştır. Santralin linyit kömür ihtiyacı Çan linyitleri işletmesinden sağlanmaktadır. Çan Linyitleri %2,86 nem, %51,65 kül ve %6,33 kükürt içermektedir (Özgen, 2021).



Şekil 2. a. Google Earth uydu görüntüsünde Çan Termik santrali görünümü (Görüntü tarihi 21.03.2021 Kamera 1,439 m 40*01'48*N27*01'12"E 165 m) **b.** Google Earth uydu görüntüsünde Çan Termik santrali kül boşaltma alanı görünümü (Görüntü tarihi 28.03.2021 Kamera:7,030 m)

Çalışmada kullanılan Çan Termik Santral uçucu külünün analizi Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma Merkezi'nde ICP-OES (İndüktif Eşleşmiş Plazma/Optik Emisyon Spektrometresi) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Külün içerdiği metal konsantrasyonu sırasıyla Al(156,1mg/Kg)>Fe(69,36mg/Kg)>Ni(49mg/Kg)>Zn(23,82mg/Kg)>Cr(10,38mg/Kg)>Cu(3,90mg/Kg)>Pb(3,59mg/Kg) Cd (0,08mg/Kg)>Mn (-0,34mg/Kg)Co (-0,93mg/Kg) ile kimyasal içerikleri; Na,(1277mg/Kg)> Ca (542,3 mg/Kg),>Mg(350,4 mg/Kg)> P (308,2 mg/Kg)>K(166,7 mg/Kg)>B (2,03 mg/Kg) , pH aralığı 8,10 ve tuzluluk 1,6 (g/lt) olarak tespit edilmiştir..

2.2. Kullanılan Toprak Özellikleri

Yetiştirme ortamı olarak kullanılan toprak, pH 0,5-6,7, tuzluluk (EC) 1(g/lt), organik madde(%2,98), K(%0.25), Ca(%0.45),P (%0.03),Mg(%0.04),N(%0,17),S (%0.008),Zn (%0.0017),Mg(%0.045),Na (0.065), Al (%0.0043),Fe (%0.0121),Mn (%0.0212), Co (%0.0001),Cd (%0.00001), Pb (%0.0003) ,Ni (%0.0003),Cr(%0.00003) şeklinde fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir.

2.3. Bitki Materyali

Çalışmada deneme bitkisi olarak Balıkesir Ticaret ve Sanayi Borsası'ndan temin edilen Gönen-98 ve Sagittario buğday çeşitlerine ait tohumlar kullanılmıştır. Çalışmada, bu buğday çeşitleri, dekara dane veriminin ve un kalitesinin yüksek olması sebebiyle üretici tarafından tercih edildiği için Biga ve Çanakkale bölgesinde yaygın olarak yetiştiriliyor olması sebebiyle seçilmiştir. Bu buğday çeşitlerin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Gönen-98: İzmir'deki Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü (ETAE) tarafından tescil edilmiş ekmeklik buğday çeşididir. Başakları kılçıklı ve beyazdır. Bin tane ağırlığı 36 ila 39 gramdır ve soğuğa ve kurağa hassastır. Sürme, راستیға ve sarı pasa karşı dayanıklıdır (Doğan ve ark.,2014).

Sagittario : (2008). talya orijinli ekmeklik bir çeşit olup, Tasaco Tarım tarafından tescil edilmiştir. Başak yapısı kılçıklı, başak rengi beyazdır. Bin dane ağırlığı 40-45 gramdır.Harman olma kabiliyeti iyidir. Sapı sağlamdır, yatmaz sulanan alanlarda performansı yüksektir (Tunçel ve Yılmaz,2008).

2.4. M1 Sera Denemesi

Sera koşullarında yürütülen bu çalışmada, 5 farklı uçucu kül uygulamaları (0, % 0,15, %0,3,%0,6 ve % 1,2) hazırlanmıştır. Hazırlanan uçucu kül uygulamaları kontrol (T1),%0,15(T2), %0,3(T3),%0,6 (T4) ve % 1,2(T5), 3 kg toprak alan plastik deneme sandıklarında (27 x 41 x 8 cm) deney toprağı ile homojen şekilde karıştırılmıştır. Deneme 3 tekrarlı tesadüf bloklar deneme desenine göre yürütülmüştür.

Her iki buğday çeşidine ait 500'er adet tohum, toprak ve kül karışımı ile doldurulmuş toplam 15 adet plastik kaplara 3 cm derinliğine ekilmiş ve 1000 ml distile su ile sulanmıştır. Bitkiler kontrollü koşullarda 20 gün boyunca $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ ve 16 saat ışıklı/8 saat karanlık foto periyod ile yetiştirilmiştir.

Denemenin 8. gününde bitki çıkış oranı hesaplanmıştır. Yirmi gün sonunda fide boyu (cm), yaprak alanı (cm^2) ve yaş ve kuru ağırlıkları (g) yöntem ve formüller ile ölçülmüş ve hesaplanmıştır. Çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Eğitim Fakültesi Biyoloji laboratuvarında yürütülmüştür.

Çıkış oranı (%): Deneme sandıklarına ekilen tohumlardan çıkışlar, ekim yapıldıktan 8 gün sonra sayılmaya başlanmıştır. Çıkan tohumların ekilen toplam tohum sayısına oranlanmasıyla çıkış oranı (%) belirlenmiştir (Sakin, 1998).

Fide boyu (cm): İlk gerçek yaprak büyümesi durduğunda fide boyu hasat edilen fidelerin toprak yüzeyinden fidenin ucuna kadar olan uzunluğun ölçülmesiyle saptanmıştır (Sakin, 1998).

Bayrak yaprak alanı (cm^2) Bayrak yaprak alanı = Uzunluk x Maksimum genişlik x 0,835 (Akten, 1998).

Fide kuru ağırlığı: Yaş ağırlığı saptanan fideler daha sonra 72°C 'de etüvde 72 saat bekletilip kurutulduktan sonra hassas terazide tartılarak fide kuru ağırlığı belirlenmiştir (Pour ve ark., 2021).

2.5. İstatistiksel Analiz

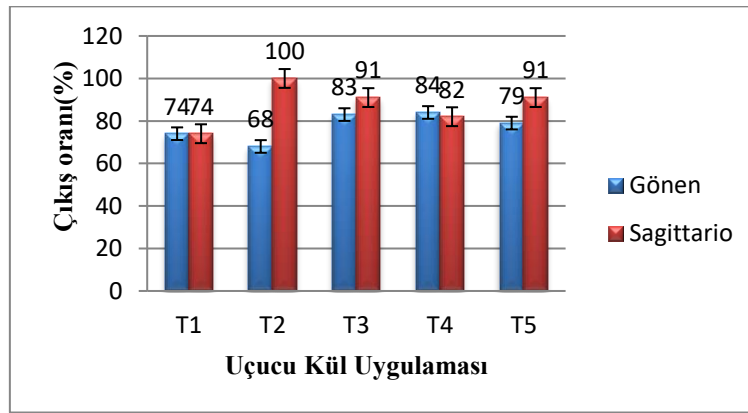
Araştırmada incelenen özelliklere ilişkin sonuçların varyans analizleri yapılarak, uygulamalar arasındaki farklılıkların önemlilik düzeyleri LSD (Least Significant Difference) testine göre ($p < 0.05$ ve $p < 0.01$ seviyelerinde) belirlenmiştir. Sonuçlar tablo ve şekillerde standart sapma olarak verilmiştir.

3. Bulgular

Gönen ve Sagittario çeşitlerinin tohumlarının farklı uçucu kül uygulamaları ile karıştıran toprakta çıkış ortalamaları Tablo 1'de ve Şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 1. Farklı uçucu kül ve toprak karışımı uygulamalarının buğday çeşitlerinin tohum çıkış oranı üzerine etkisi

	Uygulama	Çeşit		Ortalama
		Gönen	Sagittario	
Tohum Çıkış Oranı (%)	T1	74	74	74
	T2	68	100	84±22,62
	T3	83	91	87±5,65
	T4	84	82	83±1,41
	T5	79	91	85±8,48
Ortalama		77,6± 6,65	87,6±9,91	



Şekil 3. Farklı uçucu kül uygulamalarının iki farklı buğday çeşidi tohumunun çıkış oranı üzerine etkisi (8.gün)

Gönen çeşidinde kontrole (%74) göre çıkış oranı T3 (%83) ve T4 (%84) uygulamalarında daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Sagittario çeşidinde ise; kontrole (%74) göre çıkış oranlarının tüm uçucu kül uygulamalarında yüksek olduğu ancak T2 (%100) uygulamasında en yüksek değere ulaştığı saptanmıştır.

Uçucu kül uygulamalarının, fide yüksekliği üzerine etkisini belirlemek amacıyla T1, T2, T3, T4 ve T5 uçucu kül ve toprak karışımına ekilen her iki buğday çeşidine ait 500 adet tohumdan yetiştirilen fidelerin boyları ölçülmüş ve veriler Tablo 2`de verilmiştir.

Fide boyları incelendiğinde, Gönen çeşidinde; kontrole (20,97±5,067cm) göre T2 (22,15±4,49cm), T3 (22,44±4,375cm) ve T4 (23,79±4,687cm) kül uygulamalarında fide boylarında artış olduğu ancak T5 (21,33±4,078cm) de azalma olduğu belirlenmiştir (p<0,05).

Sagittario çeşidinde ise, kontrole (19,98±4,94cm) göre, T2 (22,45±5,17cm), T3 (23,50±5,22) T4(22,80±4,73cm) ve T5 (21,93±4,79cm) kül uygulamalarının hepsinde fide boylarında artış olduğu saptanmıştır (p<0,05).

Her iki buğday çeşidi, üzerine farklı uçucu kül uygulamalarının bayrak yaprak ayası alanı üzerine etkisi Tablo 2` de verilmiştir.

Farklı uçucu kül uygulamalarının Gönen buğday çeşidinin yaprak alanında kontrole (2,083 cm²) göre T2 (1,650 cm²), T3(1,586 cm²), T4 (1,702 cm²) ve T5 (1,278 cm²) uygulamalarında azaltıcı bir etkisinin olduğu bulunmuştur (p<0,01).

Sagittario çeşidinde ise, kontrole (1,998 cm²) göre sadece T2 (2,334 cm²) uçucu kül uygulama grubunda artış olurken diğer uygulama gruplarında T3 (1,845 cm²), T4 (1,434 cm²), T5 (1,526 cm²) düşüş olduğu saptanmıştır (p<0,01).

Buğday bitkisinin her iki çeşidi tohumlarının ekildiği farklı uçucu kül ve toprak karışımında yetişen fidelerin yaş ve kuru ağırlıklarında meydana gelen değişimler Tablo 2'de verilmiştir.

İncelenen Gönen ve Sagittario çeşitlerinde yaş fide ağırlıklarının, kontrole göre her uygulama grubunda azaldığı görülmüştür. Çeşit grupları ortalamaları arasındaki farkların önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0,05). Gönen soya çeşidinde kuru ağırlıkların, kontrole göre her uçucu kül uygulama grubunda arttığı saptanmıştır. Bu artış özellikle kontrole göre (0,017±0,06 mg/bitki) en fazla T3 (0,019±0,004 mg/bitki), T4 (0,019±0,005mg/bitki), T5 (0,019±0,004mg/bitki) uygulamalarında gözlenirken en düşük kuru ağırlık T2 (0,018±0,004 mg/bitki) uygulamasında tespit edilmiştir (p<0,05). Sagittario çeşidinde ise kuru ağırlığın, bütün uygulamalarda kontrole göre arttığı bulunmuştur. Bu artış özellikle kontrole göre (0,014±0,005mg/bitki) en fazla T3 (0,02±0,004mg/bitki) uygulamasında gözlenmiştir. Diğer uygulamalarda kuru ağırlık artışı sırasıyla T2(0,019±0,005mg/bitki), T4 (0,019±0,005mg/bitki) ve T5 (0,018±0,006mg/bitki) şeklindedir (p<0,05).

Tablo 2. Farklı uçucu kül ve toprak karışımı uygulamalarının buğday çeşitlerinin fide boyu, bayrak yaprak alan, yaş ve kuru ağırlıkları üzerine etkisi

Buğday çeşidi	Uygulama	Fide boyu(cm)	Yaprak alanı (cm ²)	Yaş ağırlık(g/bitki)	Kuru ağırlık(g/bitki)
Gönen	T1	20,97 ^b ±5,06	2,08 ^a	0,11 ^a ±0,05	0,017 ^{ab} ±0,006
	T2	22,15 ^{ab} ±4,49	1,65 ^{ab}	0,067 ^b ±0,02	0,018 ^{ab} ±0,004
	T3	22,44 ^{ab} ±4,37	1,58 ^b	0,062 ^b ±0,02	0,019 ^a ±0,004
	T4	23,79 ^a ±4,68	1,70 ^{ab}	0,066 ^b ±0,02	0,019 ^a ±0,005
	T5	21,33 ^{ab} ±4,07	1,27 ^b	0,051 ^c ±0,02	0,019 ^b ±0,004
Sagittario	T1	19,98 ^b ±4,94			
	T2	22,45 ^a ±5,17	1,99 ^{ab}	0,123 ^a ±0,04	0,014 ^b ±0,005
	T3	23,50 ^a ±5,22	2,33 ^a	0,082 ^b ±0,007	0,019 ^a ±0,005
	T4	22,80 ^a ±4,73	1,84 ^{bc}	0,068 ^c ±0,02	0,02 ^a ±0,004
	T5	21,9 ^{ab} ±4,79	1,43 ^c	0,061 ^c ±0,02	0,019 ^a ±0,005
		2,42	1,52 ^c	0,058 ^c ±0,03	0,018 ^{ab} ±0,06
			0,45	0,01	0,003

LSD

Not: Harf grupları, kontrol ve uygulama grupları ile fide yüksekliği, yaş ve kuru ağırlık ortalamaları açısından LSD çoklu testine göre Gönen ve Sagittario çeşidi için 0,05 ve yaprak alanını için 0,01 seviyesinde önemli farklılık olduğunu göstermektedir. ± Standart sapma

4. Tartışma

Uçucu kül pH değeri, düşük kütle yoğunluğu, elektrik iletkenliği, kil ve silt parçacıkları, yüksek su tutma kapasitesi ve temel besin kaynağı dahil olmak üzere değişen fizikokimyasal özellikleriyle tarım, ormancılık ve çorak arazi iyileştirmede mükemmel bir toprak iyileştiricisi olarak rol oynamaktadır (Masto ve ark., 2014). Yapılan araştırmalar atık bertaraf sorununda, çevresel ve tarımsal olarak toprak iyileştirmede veya ucuz bir gübre olarak uçucu külden yararlanılabileceğini ortaya koymuştur (Panda ve ark., 2018; Rajakumar ve Patil, 2019; Münir ve ark., 2020; Ou ve ark., 2020).

Tohum çimlenmesi, tohumun hidrasyonu ile başlar ve tohum kabuğundan embriyonik eksenin (genellikle radikal) ortaya çıkmasıyla sonuçlanır. Uçucu kül katkılı toprak, su tutma kapasitesini ve havalandırmayı artırarak tohumun çimlenme yüzdesini artırır. Bu çalışmanın sonuçlarına bakıldığında, buğday bitkisi yetiştirmek için kullanılan topraklara uçucu kül ilave edildiğinde, kontrol bitkisine göre tüm tohumlarda çıkış oranlarının arttığı saptanmıştır. Bu artışın Gönen çeşidi için T3 ve T4 uygulamalarında; Sagittario çeşidinde ise T2 uygulamasında en yüksek değere ulaştığı görülmüştür. Benzer sonuçlar Kumar ve Pandey (2022) tarafından da rapor edilmiştir.

Farklı bir çalışmada Kumar ve Kumar (2021), toprağa uygulanan düşük konsantrasyonda uçucu kül (25 g/m²) uygulamasının, börülce tohumlarının çimlenme yüzdesini artırdığını ancak yüksek konsantrasyonlarda uçucu külün (50 ve 100 g/m²) kontrole kıyasla tohum çimlenme yüzdesinde azalmaya neden olduğunu saptamışlardır. Birçok tartışmalara yol açmasına rağmen, Çevre Koruma Ajansı (EPA) kömür külünün gübre olarak kullanılmasının güvenli olduğu düşüncesini savunmaktadır (Apps, 2023). Kömür uçucu kül uygulamaları bazı bitkilerin büyümesi ve mineral alımı üzerindeki olumlu etkisine bağlı olarak bitkinin çimlenme ve üretkenliği üzerinde potansiyel bir fayda yaratmaktadır (Bilski ve ark., 2011). Bazı durumlarda, tohum çimlenmesi yüzdesindeki azalma, uçucu kül konsantrasyonundaki artışın sonucu olabilir. Yonca (*Medicago sativa* L.) ile yapılan bir saksı denemesinde, toprağa yüksek oranda uçucu kül eklenmesi nedeniyle bitki çimlenme yüzdesinde bir azalma olduğu rapor edilmiştir. Bunun nedeni olarak toprağa aşırı uçucu kül eklenmesinin, ağır metaller ve diğer zararlı maddelerde bir artışa yol açmasından dolayı olduğu öne sürülmüştür (Du ve ark., 2020). Uçucu kül K, Ca, Mg, Fe, Zn, B, Mo ve S gibi büyüme için gerekli birçok elementleri içerdiğinden, toprağa düşük uygulama oranlarında tohum çimlenmesini tetikleyebilir. Ancak daha yüksek uygulama oranlarında uçucu külden bulunan Cu, Co, Ni, Se, Al, Cr vb. iz elementler tohum çimlenme sürecini bozabilir ve bu nedenle süreci geciktirebilir veya engelleyebilir (Bhattacharya ve ark., 2021).

Bitkilerin farklı uçucu kül oranlarına karşı verdikleri cevapları gösteren en iyi parametrelerden biri de fide boyunun ölçülmesidir (Meicenheimer, 2014).

Bu çalışmada, topraklara eklenen uçucu kül uygulamalarındaki kademeli artış, kontrole göre buğday bitkisinin Gönen ve Sagittario çeşitlerinde etkili olduğu olmuştur. Gönen çeşidinde fide boyunda kontrole (T1) göre T2, T3 ve T4 uçucu kül uygulama gruplarının da artış olduğu ayrıca en yüksek fide boyu ortalamasının ise T4 uygulamasında olduğu saptanmıştır. Sagittario çeşidinde ise, kontrole (T1) göre tüm uygulama gruplarında artış olduğu ancak en yüksek fide boyu ortalamasının T3 uygulamasında

olduğu saptanmıştır. Buradan hareketle uçucu kül oranlarındaki değişmeden fide yüksekliklerinin etkilendiği ve bunun istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. ($p < 0,05$).

Elde edilen sonuçlar, Jain ve Tembhurkar (2022) tarafından Hint fistiği (*Jatropha curcas* L.) bitkisi ile yapılan çalışmada %10 uçucu kül uygulanmasının bitki boyunu ve büyümesini artması, bu çalışma sonuçları ile uyumludur. Varshney ve ark., (2021) çuha çiçeği (*Primula vulgaris* Huds.) ile yaptıkları çalışmada %10, %20, %40, %60, %80 ve %100 uçucu kül katılan topraklarda, en fazla fide boyu ortalamasının %40 kül katkılı topraklarda olduğunu saptamışlardır. Benzer şekilde Pandey ve ark., (2009), toprağa sınırlı konsantrasyonda uçucu kül eklenmesinin, bitki büyümesi ve veriminin çeşitli parametrelerinde olumlu sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Bu çalışmalara ek olarak Mısır (*Zea mays* L., Leghari ve ark., 2022), Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L., Jain ve Tembhurkar, 2023), Fasülye (*Phaseolus vulgaris* L., Manisha, 2022) gibi farklı bitkiler üzerinde yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Toprakta farklı oranlarda uçucu kül uygulamalarında , uçucu külden bulunan Ca, Mg, K, Mn, Mo, Zn, vb. gibi belirli temel elementlerinin bitkiler tarafından uçucu külden kolay bir şekilde sağlanması bitki büyümesinin uyarılması sonucu bitki boyunda artışa neden olmaktadır (Kumar ve Kumar 2016; Rajpoot ve ark., 2018; Du ve ark., 2020).

Uçucu kül uygulaması toprak dokusundaki gözenekliliği artırabilir ve su tutma kapasitesini iyileştirerek kalıcı olarak değiştirebilir (Szerement ve ark., 2021; Varshney ve ark., 2022). Su tutma kapasitesindeki bu iyileşme, bitki büyümesi için faydalıdır. Uçucu külden bulunan kireç, topraktaki asidik bileşenlerle reaksiyona girerek S, B ve Mo gibi besin maddelerini mahsul bitkilerinin kullanabilmesi için serbest hale geçmesini sağlamaktadır. Böylece uçucu kül toprağa iyi bir besin ortamı sağlamış olur. Bu çalışmada analiz sonuçlarına bakıldığında kullanılan kontrol toprağının pH miktarı 5,5-6,7 aralığındayken uçucu külün pH aralığının ise 8,10 değerinde olduğu ölçülmüştür. Uçucu kül uygulaması aynı zamanda asidik toprakların pH'ını artırır (Yadav ve Pandita, 2019). Böylelikle bu çalışmada kullanılan Çan termik santral uçucu külü gibi, çoğu Termik santral tarafından üretilen uçucu külün çoğu alkali yapıdadır; bu nedenle, tarım topraklarına uygulanması, toprak pH'ını artırabilir ve böylece toprağın asidik doğasını nötralize edebilir (Usman ve ark., 2022).

Ayrıca uçucu külün alkali yapısı onu iyi bir nötralize edici madde yaparak uçucu külün hidroksit ve karbonat tuzları, topraktaki asitliği nötralize etme yeteneği sağlar. Toprak asitliğini nötralize eden uçucu kül, bitkiler için uygun besinleri sağlamak için bir kireçleme maddesi olarak da görev almaktadır (Yadav ve ark., 2022). Yapılan çalışmalar, uçucu külün asit topraklarda kireçleme maddesi olarak kullanılmasının toprak özelliklerini iyileştirebileceğini ve ürün verimini artırabileceğini göstermiştir (Usman ve ark., 2022; Yadav ve ark., 2022; Saravanan ve ark., 2023).

Toprağın elektriksel iletkenliği uçucu kül uygulamasıyla artar (Ahmad ve ark., 2021). Fe, Zn, Cu, Mn, Ni ve Cd gibi metaller de uçucu kül içinde daha yüksek konsantrasyonlarda bulunur (Bhattacharya ve ark., 2021). Uçucu külden bulunan yüksek iz element iyon varlığı tahıllarda iyonik taşıyıcıların aktivitesini artırarak Zn, Mn ve Cu gibi temel iyonların birikimini ve bitki büyümesi için gerekli

besinleri sağlayabilir (Varshney ve ark., 2022). Uçucu kül, aynı zamanda zengin bir Si kaynağı olarak da kabul edilir ve Si eksikliği olan topraklara uçucu kül uygulaması sonucu pirinç bitkilerin büyümesinin yanı sıra Si içeriğini de iyileştirdiği saptanmıştır (Panda ve Dash, 2020; Anggria ve ark., 2021).

Termik santral kül özelliklerine bağlı olarak tarımda kullanılmasına yönelik yapılan araştırmalarda, kül özelliklerinin, kömürün kaynağına bağlı olarak önemli ölçüde değiştiği (Singh ve ark., 2010) aynı zamanda asidik özellik gösteren küllerin toprakta bulunan bazı elementlerin toksik seviyelere yükselmesine neden olduğu saptanmıştır (Haynes, 2009).

Bitkiler için bir gelişme göstergesi olarak kabul edilen yaprak alanı ölçümü (Weraduwege ve ark., 2015) uçucu kül uygulanan topraklarda yetiştirilen bitki çalışmalarında da kullanılmıştır (Ahmad ve ark., 2021; Jain ve Tembhurkar, 2022). Bu çalışmada farklı uygulamalardaki uçucu kül uygulamalarının yaprak alanı üzerine etkisi incelendiğinde; Gönen çeşidinde kontrole göre uygulama gruplarının tümünde yaprak alanı değerlerinde azalma gözlenmiştir. Sagittario çeşidinde ise, kontrole (T1) göre sadece T2 uçucu kül uygulama grubunda artış olurken diğer uygulama gruplarında düşme olduğu saptanmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda uçucu kül oranlarındaki değişmeden yaprak alanlarının etkilendiği ve bunun istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($p<0,01$).

Yaprakların alanındaki değişiklikler, hava değişiminin etkisine veya sıcaklıktaki artışa bağlanabilir. Bununla birlikte uçucu kül, ısıyı emme yeteneğine sahiptir ve toprağa karıştırılan uçucu kül, toprağın sıcaklığını yükseltmiş olabilir ve bu da daha yüksek oranda uçucu kül uygulamalarında bitkilerin büyümesinin azalmasına neden olabilir (Jain ve Tembhurkar, 2022). Mercimek (*Lens culinaris* Medik.) bitkisinin büyümesi üzerine yapılan bir başka çalışmada artan uçucu kül uygulamalarının kontrole göre yaprak alanını azalttığı saptanmıştır (Hussain ve Faizan, 2023). Pancar (*Beta vulgaris*) bitkisi ile yapılan bir başka çalışmada, %15 uçucu kül uygulamasının yaprak alanı artışına (Shakeel ve ark., 2020), benzer şekilde Aynisefa (*Calendula officinalis* L.) bitkisinde ise %40 uçucu kül uygulamasının yaprak alanında artışa neden olduğu bulunmuştur (Varshney ve ark., 2021).

Ajaz (2003) tarafından salatalık (*Cucumis sativus* L.) bitkisinin gelişim parametreleri üzerine uçucu küllerin farklı oranlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, toprağa farklı seviyelerde (%10, %25 ve %50) karıştırılan uçucu kül, bitki gelişimini pozitif olarak etkilemiş bunun yanı sıra yaprak alanı, verim ve fotosentetik pigmentleri de olumlu yönde etkilediği bulunmuştur.

Bozyel (2011) tarafından yapılan bir başka çalışmada bitki yetiştirme ortamı olarak toprak kullanılmış olup ortama 40, 80, 160, 320 ve 640 g ağırlığında toz atık (taban külü) karıştırılmıştır. Toz atık uygulamalarının, mısır (*Zea mays*) bitkisi üzerinde; çimlenme oranı, klorofil a-b, toplam klorofil ve karotenoid miktarlarının, yaprak üst ve alt yüzey stoma indeksinin, yaprak iletim demetleri ve bulliform hücrelerinde enine ve boyuna gelişiminin artmasına olumlu bir etki sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Biyokütle değişimi, deneysel çalışmalar kapsamında bitki büyümesinin değerlendirilmesinde önemli parametrelerden biri olarak kabul edilir. Gönen ve Sagittario çeşitlerinde, kontrole göre yaş ağırlık incelendiğinde ise; her uygulama grubunda yaş ağırlıkta bir azalma meydana geldiği saptanmıştır ($p<0,05$).

Uçucu kül oranlarının artmasıyla, yaş ağırlıkta kontrole kıyasla bir düşüş gözlenmesinin sebebi, uçucu külde zararlı olan Co, Cu, Fe, Mn ve Zn gibi bazı toksik ağır metallerin varlığı olabilir. Uçucu kül oranı arttıkça, ROS üretimi yoluyla oksidatif strese neden olabilecek ağır metallerin mevcudiyeti artar. ROS, DNA hasarını artırır, membran fonksiyonel bütünlüğünü engeller ve protein aktivitesini bozar (Varshney ve ark., 2021b).

Gönen ve Sagittario çeşitlerinde, farklı uçucu kül uygulamalarından elde edilen kuru ağırlık miktarı ise, kontrole göre yüksek bulunmuştur. Özellikle Sagittario çeşidinde kontrole göre (T1) en yüksek kuru ağırlık miktarı T3 uçucu kül uygulamasında artmıştır. Uçucu kül oranlarındaki değişmeden yaş ve kuru ağırlıkların etkilendiği ve bunun istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($p < 0,05$).

Önemli bir bitki gelişme ölçütü olarak değerlendirilen bitki kuru madde miktarlarında kontrol grubuna göre farklı kül dozlarında saptanan farklı oranlardaki artışlar, daha önce yapılan çalışmalarda (Usmani ve ark., 2019; Ultra, 2020; Ultra ve Manyiwa, 2021) da belirlenmiş olup bu sonuç, uçucu kül içeriğinde bulunan makro ve mikro elementlerinin bitki gelişimini teşvik etmesi ve toprak düzenleyicisi (gübre) olarak görev yapabileceği ile ilişkilendirilmiştir (Yu ve ark., 2019; Varshney ve ark., 2022).

Kumar ve Pandey (2022) buğday ile yaptıkları çalışmalarında, %25 uçucu kül uygulanmış toprakta yetiştirilen bitkide maksimum taze ve kuru ağırlık elde etmişlerdir.

Jain ve Tembhurkar (2023) Hint fıstığı bitkisi (*Jatropha curcas*), Hint kayını (*Milletia pinnata* L.) ve Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkileri ile yaptıkları çalışmada, düşük uçucu kül konsantrasyonunda kuru ağırlıkta artış ve daha yüksek konsantrasyonlarda azalma görülmüş ve bunun nedeni olarak da ağır metallerin varlığı öne sürülmüştür.

Bir başka çalışmada, buğday kuru ağırlığı üzerine uçucu külün etkisinin olduğu ancak bu etkinin net olarak anlaşılmadığı belirtilmiştir (Erdal ve ark., 2012). Uçucu küle karşı bitkilerin göstermiş oldukları duyarlılığın türler arasında farklılık gösterdiği bildirilmiştir (Haynes, 2009). Buradan yola çıkılarak, tarımsal amaçlı olarak kullanılabilir uçucu kül uygulamalarında bitkilerin bu duyarlılıklarının da dikkate alınması gerekliliği önemlidir.

5. Sonuç

Sonuç olarak; uçucu kül de ağır metallerin varlığına rağmen, toprak iyileştirici olarak son yıllarda tarımda kullanılmaktadır. Yapılan bu sera çalışması, toprakta uçucu kül karışımının buğdayın morfo-fizyolojisi açısından, gelişiminde önemli bir artışa yol açabileceğini göstermiştir. Ek olarak uçucu kül, bitkiler için besin olarak gerekli olan mikro ve makro besinlerin kaynağını sağlayabilir. Çalışmanın sonuçlarına göre, toprağa T2, T3 ve T4 uçucu kül uygulama düzeylerinin ilavesiyle her iki buğday çeşidinin gelişim parametreleri üzerinde olumlu etkiler meydana gelmiştir. Yüksek düzeyde uçucu kül (T5) uygulamasının ise buğday gelişimi üzerinde olumsuz etkileri gözlemlenmiştir. Böylelikle yüksek orandaki uçucu kül konsantrasyonları, topraktaki ağır metallerin miktarını artırabilmesi nedeniyle uygun olmayacağı sonucuna varılmıştır. Bu doğrultuda, termik santral uçucu külünün tarımsal amaçlı kullanılabilirliği düşünülebilir ancak, bu küllerin bitkinin genel gelişimine ket vurucu özellikte olduğu

da göz ardı edilmemelidir. Bununla birlikte, termik santral uçucu külü buğday bitkisinin iki farklı çeşidinin gelişim özellikleri üzerinde olumlu etkiler (tohum çıkış oranı, fide boyu, kuru ağırlık) meydana getirmiştir. Uçucu küllerin tarımda kullanılabilmesi için, kullanılacak olan uçucu külün özelliklerinin iyi bilinmesi, uygun uçucu kül konsantrasyonlarının belirlenmesi, uçucu külde bulunan ağır metal içeriklerinden bitkilerin ne derecede etkilendiği belirlenmelidir. Uçucu kül uygulamasının bazı toprak özelliklerini iyileştirebileceği düşünülse de, bu tür uygulamaların olası olumsuz etkilerinin daha iyi anlaşılması için farklı tarla ve bahçe bitkileri için kapsamlı daha fazla araştırma yapılması önerilmektedir.

Teşekkür

Çalışmalar esnasında yardımlarından dolayı Av. Ümran AYDIN'a, Mustafa SERİN'e ve Mehmet Uzunoğlu'na teşekkürü bir borç biliriz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarların tamamı, makaleye benzer oranda katkı sağlamıştır. Bu çalışmanın ilk şekli 12-15 Eylül 2017 tarihlerinde düzenlenen XIII. Uluslararası Katılımlı Ekoloji ve Çevre Kongresi- UKECEK, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye Kongresi'nde, sunulmuştur.

Kaynakça

- Anggria L., Siregar AF., Sipahutar IA., Rostaman T., Suntari R., Fitriani U. Improving rice plant using Si materials on P and Si uptake, growth and production in ultisols, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021; 648(1): 012149. IOP Publishing.
- Apps J. Planting an idea: A Guidebook to Critical and Creative Thinking About Environmental Problems 2023; Fulcrum Publishing.
- Bhatt A., Priyadarshini S., Mohanakrishnan AA., Abri A., Sattler M., Techapaphawit S. Physical, chemical, and geotechnical properties of coal fly ash: A global review 2019; Case Studies in Construction Materials, 11, e00263.
- Bhattacharya T., Pandey SK., Pandey VC., Kumar A. Potential and safe utilization of Fly ash as fertilizer for *Pisum sativum* L. Grown in phytoremediated and non-phytoremediated amendments. Environmental Science and Pollution Research 2021; 28(36): 50153-50166.
- Bilski J., Mclean K., McLean E., Soumaila F., Lander M. Revegetation of coal ash by selected cereal crops and trace elements accumulation by plant seedlings. International Journal of Environmental Sciences 2011; 1(5): 1033-1046.

- Bozyel ME. Termik santral toz atığının mısır (*Zea mays* L.) büyümesi üzerine etkisinin anatomik olarak incelenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 116, Çanakkale, Türkiye, 2011.
- Camberato JJ., ED Vance AV. Someshwar. Composition and land application of paper manufacturing residuals. In: Rechcigl J, Mac Kinnon H (eds) Agricultural uses of by products and wastes 1997; ACS, Washington DC, 185-203.
- Delić D., Stajković-Srbinović O., Buntić A. Hazards and usability of coal fly ash. *Advances in Understanding Soil Degradation* 2022; 571-608.
- Doğan Y., Toğay Y., Toğay N. Türkiye’de tescil edilmiş bazı ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşitlerinin Mardin-Kızıltepe koşullarında verim ve bazı verim özelliklerinin belirlenmesi. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 2014; 24(3): 241-247.
- Du T., Wang D., Bai Y., Zhang Z. Optimizing the formulation of coal gangue planting substrate using wastes: The sustainability of coal mine ecological restoration. *Ecological Engineering* 2020; 143: 105669.
- Erdal İ., Özkul M., Yavuz G., Küçükyumruk Z. Kireçli bir toprakta yetiştirilen nohut ve buğdayın gelişimi ve mineral beslenmesi üzerine termik santral uçucu külünün etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2012; 7(2): 65-72.
- ETKB, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2022. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>. Erişim Tarihi: 11.03.2023.
- Haynes RJ. Reclamation and revegetation of fly ash disposal sites-challenges and research needs. *Journal of Environmental Management* 2009; 90(1): 43-53.
- Hussain A., Faizan S. Rhizobium induced modulation of growth and photosynthetic efficiency of *Lens culinaris* Medik. grown on fly ash amended soil by antioxidants regulation. *Environmental Science and Pollution Research* 2023; 1-11.
- IEA, International Energy Agency. 2020. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>. Erişim Tarihi: 11.03.2023.
- Jain S., Tembhurkar AR. Studies on growth and yield response of *Jatropha curcas* plant on fly ash amended soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 2022; 53(11): 1391-1401.
- Jain S., Tembhurkar, AR. Growth, remediation, and yield assessment of *Jatropha curcas*, *Milletia pinnata*, and *Helianthus annuus* on fly ash amended soil: a comparative study. *Acta Physiologiae Plantarum* 2023; 45(2): 1-11.
- Kalra N., Jain MC., Joshi HC., Chaudhary R., Kumar S., Pathak H., Hussain MZ. Soil properties and crop productivity as influenced by flyash incorporation in soil. *Environmental Monitoring and Assessment* 2003; 87: 93-109.
- Kumar K., Kumar A. A case study of fly ash utilization for enhancement of growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) to sustainable agriculture. *Biomass Conversion and Biorefinery* 2021; 1-14.

- Kumar K., Kumar A. Effect Of Fly Ash on morpho-physiological properties of soil and *Vigna mungo* L. *Biotech Today: An International Journal of Biological Sciences* 2016; 6(2): 49-54.
- Kumar R., Pandey MM. Effect of fly ash on growth of *Vigna Mungo* L. *Plant Archives* 2022; 22(1): 217-221.
- Leghari SK., Kakar AU., Gulshan AB., Hussain F., Shah SQ., Baloch A., Jakrro MI. Effect of coal fly ash on seedling growth, productivity, biochemical and heavy metals uptake of *zea mays* L. and soil characteristics in semi-arid and climatic conditions of Quetta Valley. *GU Journal of Phytosciences* 2022; 2(2): 119-128.
- Masto RE., Sengupta T., George J., Ram LC., Sunar KK., Selvi VA., Sinha AK. The impact of fly ash amendment on soil carbon. *Energy Sources. Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 2014; 36(5): 554-562.
- Meicenheimer RD. The plastochron index: Still useful after nearly six decades. *American Journal of Botany* 2014; 101(11): 1821–1835.
- Munir MAM., Liu G., Yousaf B., Ali MU., Abbas Q., Ullah H. Synergistic effects of biochar and processed fly ash on bioavailability, transformation and accumulation of heavy metals by maize (*Zea mays* L.) in coal-mining contaminated soil. *Chemosphere* 2020; 240, 124845.
- Nautiyal D., Manisha PB. Effect of different levels of fly ash and NPK on growth and yield of Kidney Beans (*Phaseolus vulgaris*) in Dehradun. *The Pharma Innovation Journal* 2022; 11(9): 3087-3090
- Ou Y., Ma S., Zhou X., Wang X., Shi J., Zhang, Y. The effect of a fly ash-based soil conditioner on corn and wheat yield and risk analysis of heavy metal contamination. *Sustainability* 2020; 12(18): 7281.
- Ou Y., Ma S., Zhou X., Jin S., Wang L., Wang X., Xiao Y. Multi-element interactive improvement mechanism of coal fly ash-based soil conditioner on wheat. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 2022; 194(4): 1580-1605.
- Özgen S. Farklı kömür türlerinden piritik kükürdün knelson konsantratör ile uzaklaştırılması. *El-Cezeri* 2021; 8(3): 1351-1359.
- Özgün S., Işık G. *Zea mays* L.'nin termik santral uçucu kül uygulamalarına karşı ekofizyolojik tepkileri. *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma* 2021; 14(2): 286-291.
- Panda D., Panda D., Padhan B., Biswas M. Growth and physiological response of lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf.) under different levels of fly ash-amended soil. *International Journal of Phytoremediation* 2018; 20(6): 538-544.
- Pandey VC., PC Abhilash., RN Upadhyay., DD Tiwari. Application of fly ash on the growth performance and translocation of toxic heavy metals within *Cajanus cajan* L. implication for safe utilization of fly ash for agricultural production. *Journal of Hazardous Materials* 2009; 166: 255-259.

- Parlak M., İsmail TAS., Görgişen C. Termik santrallerin etrafındaki topraklarda ağır metal kapsamalarının belirlenmesi: Çanakkale örneği. ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi 2022; 10(2): 367-380.
- Panda L., Dash S. Characterization and utilization of coal fly ash: a review. Emerging Materials Research 2020; 9(3): 921-934.
- Pandey, V. C. Suitability of *Ricinus communis* L. cultivation for phytoremediation of fly ash disposal sites. Ecological Engineering, 2013; 57: 336-341.
- Pour AH., Tosun M., Haliloğlu K. Buğdayda (*Triticum Aestivum* L.) farklı süre ve dozlarda uygulanan etil metansülfonat EMS)'ın çimlenme ve fide ile ilgili bazı karakterler üzerine etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2021; 52(2): 190-200.
- Rajpoot L., Kumar K., Asma KA. Approach for improve plant (*Pisum sativum* L.) growth and yield using kiln coal fly ash amended soil. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research 2018; 5(7): 72-77.
- Rajakumar GR., Patil SV. Effect of fly ash on growth and yield of crops with special emphasis on heavy metals and radionuclides. Int J Curr Microbiol App Sci 2019; 8(8): 127-137.
- Rusănescu CO., Rusănescu, M. Application of fly ash obtained from the incineration of municipal solid waste in agriculture. Applied Sciences, 2023; 13(5): 3246
- Sahoo CR., Sahu RK., Padhy RN. Growth, yield and element-analysis of rice (*Oryza sativa* L.), grown in soil amended with fly ash and municipal biosolids. Paddy Water Environ 2021; 19: 149–157.
- Sakin M. Makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf.)'da gama ışını ve EMS'nin farklı dozlarının M1 ve M2 bitkileri üzerindeki etkileri. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no:95 Tokat, Türkiye, 1998.
- Saravanan M., Sudalai S., Dharaneesh AB., Prahaaladhan V., Srinivasan G., Arumugam A. An extensive review on mesoporous silica from inexpensive resources: properties, synthesis, and application toward modern technologies. Journal of Sol-Gel Science and Technology 2023; 105(1): 1-29.
- Shakeel A., Khan AA., Hakeem KR. Growth, biochemical, and antioxidant response of beetroot (*Beta vulgaris* L.) grown in fly ash-amended soil. SN Applied Sciences 2020; 2: 1-9.
- Singh RP., Gupta AK., Ibrahim MH., Mittal AK. Coal fly ash utilization in agriculture: its potential benefits and risks. Reviews in Environmental Science and Biotechnology 2010; 9: 345-358.
- Singh L., Sukul M. Impact of vermicompost, farmyard manure, fly ash and inorganic fertilizers on growth and yield attributing characters of maize (*Zea mays* L.). Plant Arch. 2019; 19(2): 2193–2200.
- Szerement J., Szatanik-Kloc A., Jarosz R., Bajda T., Mierzwa-Hersztek, M. Contemporary applications of natural and synthetic zeolites from fly ash in agriculture and environmental protection. Journal of Cleaner Production 2021; 311: 127461.

- Tang Q., Zhang H., Zhao X., Miao C., Yang P., Zhou Z., Chen L. Speciation, bioaccessibility and human health risk assessment of chromium in solid wastes from an ultra-low emission coal-fired power plant, China. *Environmental Pollution* 2022; 315: 120400.
- TEMA, Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı. 2018. <https://www.tema.org.tr/basinodasi/basin-bultenleri/kaz-daginda-planlanan-termik-santral>. Erişim tarihi: 12.03.2023.
- Tripathi DM., Singh D., Tripathi S. Influence of coal fly ash on soil properties and productivity of chickpea crop in the semi-arid region of Bundelkhand. *Current World Environ* 2020; 15(1): 127–136.
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu. 2020. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198>. Erişim Tarihi: 11.03.2023.
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu. 2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kati-Yakitlar-Ekim-2022-45670>. Erişim Tarihi: 11.03.2023.
- Tunçel NB., Yılmaz N. Çanakkale'de yaygın olarak tarımı yapılan yazlık buğday çeşitlerinin kalite özellikleri üzerine çeşit ve çevre faktörlerinin etkisi. *Gıda* 2008; 33(2): 69-73.
- Ukwattage NL., Ranjith PG., Bouazza M. Ukwattage, N. L., Ranjith, P. G., & Bouazza, M. The use of coal combustion fly ash as a soil amendment in agricultural lands (with comments on its potential to improve food security and sequester carbon). *Fuel* 2013; 109: 400-408.
- Ultra VU. Growth and yield of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) in fly ash with nutrient amendments and Mycorrhiza for three-ratoon period. *International Journal of Phytoremediation* 2020; 22(14): 1551-1561.
- Ultra VU., Manyiwa T. Influence of mycorrhiza and fly ash on the survival, growth and heavy metal accumulation in three Acacia species grown in Cu–Ni mine soil. *Environmental Geochemistry and Health* 2021; 43: 1337-135.
- Usmani Z., Kumar V., Gupta P., Gupta G., Rani R., Chandra A. Enhanced soil fertility, plant growth promotion and microbial enzymatic activities of vermicomposted fly ash. *Scientific Reports* 2019; 9(1): 10455.
- Usman M., Anastopoulos I., Hamid Y., Wakeel A. Recent trends in the use of fly ash for the adsorption of pollutants in contaminated wastewater and soils: Effects on soil quality and plant growth. *Environmental Science and Pollution Research* 2022; 1-20.
- Varshney A., Dahiya P., Singh N., Mohan S. Variations in morphological parameters and pigment content of *Calendula officinalis* grown in fly ash amended soil. *Plant Archives* 2019; 19(2): 2959-2963.
- Varshney A., Mohan S., Dahiya P. Assessment of leaf morphological characteristics, phenolics content and metal (loid) s concentrations in *Calendula officinalis* L. grown on fly ash amended soil. *Industrial Crops and Products* 2021a; 174: 114233.

- Varshney A., Mohan S., Dahiya P. Growth and antioxidant responses in plants induced by heavy metals present in fly ash. *Energy, Ecology and Environment* 2021b; 6: 92-110.
- Varshney A., Dahiya P., Sharma A., Pandey R., Mohan S. Fly ash application in soil for sustainable agriculture: an Indian overview. *Energy, Ecology and Environment* 2022; 7(4): 340-357.
- Weraduwege SM., Chen J, Anozie FC, Morales A, Weise SE, Sharkey TD. The relationship between leaf area growth and biomass accumulation in *Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in Plant Science* 2015; 6: 167.
- Wyszkowski M., Wyszkowska J., Kordala N., Borowik A. Applicability of ash wastes for reducing trace element content in *Zea mays* L. grown in Eco-Diesel contaminated soil. *Molecules* 2022; 27(3): 897.
- Yadav VK., Pandita PR. Fly ash properties and their applications as a soil ameliorant. In *Amelioration Technology for Soil Sustainability* 2019; 59-89. IGI Global.
- Yadav VK., Gacem A., Choudhary N., Rai A., Kumar P., Yadav KK. Islam S. Status of coal-based thermal power plants, coal fly ash production, utilization in India and their emerging applications. *Minerals* 2022; 12(12): 1503.
- Yu CL., Deng Q., Jian S., Li J., Dzantor EK., Hui D. Effects of fly ash application on plant biomass and element accumulations: a meta-analysis. *Environmental Pollution* 2019; 250: 137-142.