



Alkalın karakterli bir toprakta yetiştirilen marul bitkisinin (*Lactuca sativa* L.) gelişimi üzerine asitlerle modifiye edilmiş tavuk dışkısı külünün etkisi

 Mehmet Burak TAŞKIN*

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara

Öz

Günümüzde artan dünya nüfusunun gıda gereksiniminin karşılanmasında tavukçuluk endüstrisi ön plana çıkmaktadır. Tavukçuluk üretimi neticesinde ortaya çıkan tavuk dışkısı önemli bir organik madde kaynağıdır, fakat doğru değerlendirilmediğinde çevre kirliliği riski yaratabilmektedir. Bu sebeple tavuk dışkısının kompostlama ve piroliz gibi uygun işlemlerden geçirilerek topraklara uygulanması gerekmektedir. Tavuk dışkısının bertaraf yöntemlerinden birisi de elektrik üretimi amacıyla yakılmasıdır ve süreç sonunda besin elementlerince zengin kül ortaya çıkmaktadır. Tavuk dışkısı külünün (TDK) yüksek pH ve zengin oksit formulu element içerikleri nedeniyle besin elementi yarayışlılığı sınırlıdır. Yapılan çalışmada biyokütle elektrik santrali atığı olan TDK, H_2SO_4 ve H_3PO_4 ile muamele edilmiş (ATDK) ve elde edilen materyalin etkinliği marul bitkisinde sera koşullarında TSP gübresi ile karşılaştırılmalı olarak test edilmiştir. Çalışma konuları; 1- kontrol, 2- TDK, 3- ATDK ve 4- TSP şeklindedir ve tüm materyal uygulamaları 100 mg kg^{-1} P olacak şekilde yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; ATDK uygulamalarının kontrolle karşılaştırıldığında kuru ağırlık ve P konsantrasyonlarını önemli düzeyde artırdığı, Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonlarını ise önemli düzeyde azalttığı belirlenmiştir. Diğer taraftan incelenen tüm besin elementi alım miktarlarının ATDK ve TSP uygulamalarıyla kontrole göre önemli düzeyde arttığı saptanmıştır. Tarımsal üretim sonucunda ortaya çıkan bu şekildeki atıkların gübreye dönüştürülmesiyle tarımsal üretimde verimliliğin artabileceği, çevre kirliliği riskinin ve kimyasal gübrelere dışa bağımlılığımızın azalabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Atık yönetimi, biyokütle elektrik santrali atığı, asit modifikasyonu, marul.

Effect of acid modified poultry manure ash on the growth of lettuce plant (*Lactuca sativa* L.) grown in alkaline soil

Abstract

Meeting to nutrient demand of increasing world population day by day, poultry industry comes to do fore. Poultry manure which is derived from poultry production, is an important source of organic material, but if it is not to evaluate correctly, it can causes environmental pollution. For this reason, poultry manure should be applied to agricultural soil after appropriate process such as composting and pyrolysis. One of the disposal methods of poultry manure, is the burn for electricity generation and after this process poultry manure ash (PMA) emerges which is rich in terms of plant nutrients. Due to high pH and contents of rich oxide forms of elements in PMA, the availability of plant nutrients is limited. In this study, PMA, which is a waste of biomass power plant, modified with H_2SO_4 and H_3PO_4 (AMPMA) at first and then the efficiency of obtained material was tested compared to TSP fertilizer in lettuce plant under greenhouse conditions. The subjects of the study were follows: 1- Control, 2- PMA, 3- AMPMA and 4- TSP fertilizer and all materials were applied at 100 mg P kg^{-1} per soil. According to the results, compared to control, while dry weight and P concentration of plants were significantly increased with AMPMA, Fe, Zn, Cu and Mn concentrations were decreased significantly. On the other hand, AMPMA and TSP were significantly enhanced the all plant nutrients uptake compared to control. With the conversion of this type of wastes, which was derived from agricultural production, to fertilizer can be enhanced the fertility of agricultural production, and can be reduced to environmental pollution risk and dependency of foreign countries for fertilizer production.

Keywords: Waste management, biomass power plant waste, acid modification, lettuce.

© 2025 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (312) 596 1189

E-posta : mbtaskin@ankara.edu.tr

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 18 Mart 2025

Kabul Tarihi : 23 Nisan 2025

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbbd.1660810

Giriş

Ülkemiz topraklarının yaklaşık %90'ında organik madde düzeyinin % 3'ün altında olduğu bilinmektedir (Taban ve ark., 2013). Buna göre topraklarımızın tamamında organik madde düzeyini %3 düzeyine çıkarmak ve bu seviyelerde tutmak için bir defa 2 milyar ton ve her yılda 800 milyon ton organik gübreye (%60 Organik madde içeren) ihtiyaç duyulmaktadır (Gezgin ve ark., 2018). Ülkemiz koşullarında bu durumun gerçekleşme olasılığı oldukça düşüktür. Bununla birlikte topraklarımızın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine katkı sağlayacak ve öncelikli kullanım alanları (yapı, giyim, yem, yem katkı maddesi vb.) dışında kalan her türlü organik atığın uygun işlemlerden geçirildikten sonra tarım topraklarımıza uygulanması gerekmektedir. Bu amaçla kullanılabilir organik materyallerden birisi de tavukçuluk endüstrisinin her geçen gün artan üretimi neticesinde ortaya çıkan tavuk dışkılarıdır.

Günümüzde dünya nüfusunun 8 milyar seviyesinde olduğu bilinmektedir. Her geçen gün artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacının karşılanmasında beyaz et ve yumurta önemli protein kaynakları arasındadır. Ülkemizde tavukçuluk endüstrisi son yıllarda önemli bir ivme kazanmıştır. Ülkemizde 2024 yılında 270 milyon et tavuğu yetiştirilmiş ve bundan 2.5 milyon ton beyaz et üretimi gerçekleşmiştir. Diğer taraftan aynı yıl içinde 109 milyon yumurta tavuğu yetiştirilirken, 21 milyar adet yumurta üretilmiştir (TÜİK, 2025). Pratik koşullarda bir tavuğun günde 150 g dışkı oluşturduğu ve bunun ülkemizdeki karşılığının 40 bin ton gün-1 olduğu hesaplanmaktadır (Gezgin ve ark., 2018). Uygun işlemlerden geçirildiğinde (kompost, piroliz) zengin besin elementi içeriğiyle önemli bir gübreleme materyali olan tavuk dışkısı, direkt olarak tarım topraklarına uygulanabildiği gibi organomineral gübre üretiminde de değerlendirilebilir (Frazão ve ark., 2021). Diğer taraftan doğru değerlendirilmediğinde çevre kirliliği riski oluşturan bir kirleticie de dönüşebilmektedir (Kelleher ve ark., 2002).

Günümüzde fosil yakıtların yerini alabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Avrupa Birliği Komisyonu, Döngüsel Ekonomi Eylem Planı'nda, biyokütlenin alternatif bir ham madde olarak sürdürülebilir kullanımını teşvik etmektedir (Fiameni ve ark., 2021). Etlik tavuk dışkısı, enerji dönüşümüne uygunluğu, kuru olması ve taşınmasının kolaylığı gibi nedenlerle avantajlı bir kaynak olarak ortaya çıkmaktadır (Nusselder ve ark., 2020). Son yıllarda etlik tavuk dışkısının yakıt olarak kullanıldığı biyokütle elektrik santralleri ülkemizde de yaygınlaşmakta ve kullanılan tavuk dışkısının yaklaşık %10'u atık küle dönüşmektedir. Bu şekilde yalnız bir biyokütle elektrik santralinden yılda 35 bin ton kül ortaya çıkmaktadır. Oluşan bu kül kendi içinde kazan külü (% 30) , taban külü (% 40) ve uçucu kül (% 30) olarak 3 sınıfa ayrılmaktadır.

Yanma sonucunda ortaya çıkan külde (TDK) kütle ilk durumdaki dışkıya göre yaklaşık 10 kat azaldığından azot (N) haricindeki besin maddeleri daha konsantre hale gelmektedir (Millsaps ve ark., 2021). Gunes ve ark. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada tavuk dışkısı külünde % 8 fosfor (P), % 10 potasyum (K), % 30 kalsiyum (Ca), % 6 magnezyum (Mg), % 0.8 demir (Fe), % 0.2 çinko (Zn), % 0.05 bakır (Cu) ve % 0.4 mangan (Mn) olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan materyalin yüksek pH içeriği (pH:12) ülkemiz gibi alkalik karakterli topraklarda kullanımını sınırlandırmaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklıkta yanma neticesinde materyalin bileşimindeki besin elementleri metal oksitler şeklinde yayırsız formlara dönüşmektedir (Fahimi ve ark., 2020; Rivera ve ark., 2022).

Bu sebeple ülkemiz koşullarında TDK'nın uygun asitlerle modifiye edilerek bileşiminde bulunan besin maddelerinin suda çözünabilir hale getirilmesi ve materyal pH'sının asitleştirilmesi etkin bir gübre üretim stratejisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu konuda ülkemiz koşullarında yapılan bazı çalışmalar aşağıdaki gibidir.

Güneş ve ark. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada tavuk gübresi külü HCl, H₂SO₄ ve HNO₃ gibi asitlerle muamele edilmiş ve elde edilen materyallerin etkinliği TSP gübresi ile karşılaştırmalı olarak marul bitkisinde test edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; H₂SO₄ ile muamele edilmiş külde çözünabilir besin maddesi miktarları toplam miktarlara yakın hale geldiğinden TSP gübresi ve diğer modifiye küllere göre daha iyi sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir.

Kan ve ark. (2024) tarafından yapılan bir çalışma kapsamında tavuk gübresi külü artan dozlarda (0, 100, 200, 400, 600, 800 ve 1000 mL) 1 M H₂SO₄ ve 1 M H₃PO₄ ile muamele edilmiş ve elde edilen materyallerin etkinliği TSP gübresi ile karşılaştırmalı olarak marul bitkisinde test edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; 600 mL ve daha fazla 1M H₂SO₄ uygulaması yapılan küllerde yayırsız besin maddesi miktarları daha fazla olduğundan bitki gelişimi ve besin elementi konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Güneş ve ark. (2025) tarafından yapılan başka bir çalışmada, asitle modifiye edilmiş tavuk gübresi külüne üre katılarak 4-14-5 kompozisyonunda kompoze bir gübre elde edilmiş ve etkinliği şeker pancarı bitkisinde

12-30-12 gübresi ile karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Sonuçlara göre elde edilen üre modifiyeli tavuk gübresi külünün şeker pancarında verimi ve kalite parametrelerini önemli düzeylerde iyileştirdiği, yarım dozda kullanıldığında bile 12-30-12 kompoze gübresine eş değer sonuçlar elde edildiğini göstermektedir. Araştırmacılar atıklardan elde edilen bir kompoze gübre olan üre modifiye tavuk gübresi külünün şeker pancarı yetiştiriciliğinde alternatif bir gübre kaynağı olabileceğini ifade etmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada birbirine eşit oranlarda karıştırılan taban külü ve kazan külü ile bunların asitlerle modifiye edilmiş formunun etkisi konvansiyonel tarımda yaygın olarak kullanılan TSP gübresi ile karşılaştırmalı olarak sera koşullarında marul bitkisinde test edilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Çalışma Asitlerle modifiye edilmiş tavuk dışkısı külünün (ATDK) hazırlanması

Çalışmada yer alan TDK, %50 - %50 oranında kül karışımlarından (kazan külü ve taban külü) elde edilmiştir. Bu amaçla 250 g kazan külü (KK) ve 250 g taban külü (TK) fiziksel olarak karıştırılmıştır. Asitlerle modifiye edilmiş tavuk dışkısı külü (ATDK) için 500 g TDK alınmış ve üzerine 75 ml H₂SO₄ (% 96, d: 1.84), 17.5 ml H₃PO₄ (% 85, d: 1.71) ve 100 ml su eklenerek iyice karıştırılmış ve 65°C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar hava kurutmalı bir fırında kurutulmuştur. Çalışmada kullanılan TDK, ATDK ve TSP'ye ait suda çözünabilir ve toplam besin elementi içerikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Tavuk dışkısı külü (TDK), asitlerle modifiye edilmiş tavuk dışkısı külü (ATDK) ve triple süper fosfat (TSP) gübresinin suda çözünabilir ve toplam besin elementi içerikleri

Parametreler	TDK		ATDK		TSP	
	Suda Çözünabilir	Toplam	Suda Çözünabilir	Toplam	Suda Çözünabilir	Toplam
pH	-	12.3	-	5.51	-	2.70
EC, dS m ⁻¹	-	24.9	-	39.4	-	33.4
P, %	0.12	4.88	2.55	5.29	17.0	18.3
K, %	4.62	10.2	6.73	8.29	0.29	2.14
Ca, %	0.25	9.79	3.76	6.20	11.5	11.8
Mg, %	0.02	2.27	1.84	2.21	0.18	0.26
Fe, mg kg ⁻¹	1.0	6324	1.3	5304	120	6000
Zn, mg kg ⁻¹	0.05	2301	10	1947	215	296
Cu, mg kg ⁻¹	0.40	494	0.90	444	15.6	33.6
Mn, mg kg ⁻¹	0.3	3322	600	2834	119	217

Sera denemesinin kurulması

Çalışmada kullanılan toprak örneği, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü deneme parsellerinden alınmış olup, fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Deneme toprağının hafif alkalın karakterli, tuzsuz, orta kireçli, kumlu killi tın bünyeye sahip, organik madde, toplam azot, yarıyışlı P, Fe ve Mn bakımından yetersiz, yarıyışlı K, Zn ve Cu bakımından yeterli, yarıyışlı Ca ve Mg içeriği ise fazla bulunmuştur.

Çizelge 2. Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Toprak özelliği	Miktar	Toprak özelliği	Miktar
Tekstür	Kumlu killi tın	Değişebilir Potasyum, mg kg ⁻¹	178
pH	7.88	Değişebilir Kalsiyum, mg kg ⁻¹	4900
EC, dS/m	0.38	Değişebilir Magnezyum, mg kg ⁻¹	500
Organik Madde, %	1.05	Yarıyışlı Demir, (mg kg ⁻¹)	4.39
Kireç (CaCO ₃), %	7.41	Yarıyışlı Çinko, mg kg ⁻¹	0.54
Toplam azot, %	0.06	Yarıyışlı Bakır, mg kg ⁻¹	1.75
Yarıyışlı fosfor, mg kg ⁻¹	7.77	Yarıyışlı Mangan, mg kg ⁻¹	3.09

Çalışma 31.03.2023 - 26.05.2023 tarihleri arasında Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü seralarında yürütülmüştür. Bu amaçla 2 kg toprak alan saksılar (16 cm yükseklik, 17.5 cm üst çap ve 12.0 cm alt çap) kullanılmış olup, çalışma konuları; 1-Kontrol, 2-TDK, 3- ATDK ve 4- TSP şeklindedir. Kontrol saksılarına gübre uygulaması yapılmazken, TDK, ATDK ve TSP 100 mg kg⁻¹ P olacak şekilde ilgili saksılara uygulanmıştır. Çalışmada test bitkisi olarak marul (*Lactuca sativa* cv., Semantal) kullanılmış olup, gübre uygulamaları sonrasında karıştırılan saksılara 1 adet marul fidesi dikilmiştir. Marul

fidelerinin şaşırtılmasından 1 hafta sonra tüm saksılara 50 mg kg⁻¹ N (amonyum nitrat % 33 N) uygulanmış, ilk uygulamadan yaklaşık 1 ay sonra ise tüm saksılara ikinci defa N uygulaması (100 mg kg⁻¹ N, amonyum nitrat % 33 N) yapılmıştır. Deneme süresince bitkiler tarla kapasitesinin % 70'i olacak şekilde sulanmış ve periyodik aralıklarla saksıların yerleri değiştirilmiştir. Hasat olgunluğuna erişen bitkiler toprakla birleştiği yerden kesilmiş ve hava sirkülasyonlu bir kurutma fırınında sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulup, öğütülerek analizlere hazır hale getirilmiştir.

Deneme toprağı ve kül materyallerinde yapılan bazı fiziksel ve kimyasal analizler

Denemede kullanılan toprak örneğinde pH (Jackson, 1958), EC (Richards, 1954), kireç (Hızalan ve Ünal 1966), organik madde (Jackson, 1958), tekstür (Bouyoucos, 1951), toplam N (Bremner, 1965), bitkiye yarayışlı P (Olsen ve ark., 1954), değişebilir K, Ca ve Mg (Pratt, 1965), bitkiye yarayışlı Fe, Zn, Cu ve Mn (Lindsay ve Norvell 1978) analizleri yöntemlerde belirtildiği şekilde yapılmıştır. Tavuk dışkısı külü, ATDK ve TSP'de pH ve EC 1/5 toprak saf su solüsyonunda Jackson (1958) tarafından bildirildiği gibi, suda çözünabilir besin elementi (P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu ve Mn) içerikleri Gunes ve ark. (2024)'na göre ve toplam besin elementi (P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu ve Mn) içerikleri ise PED-XRF cihazında Gunes ve ark. (2009) tarafından önerilen şekliyle belirlenmiştir.

Bitki örneklerinde yapılan besin elementi analizleri

Öğütölüp analize hazır hale getirilen bitki örnekleri HNO₃:HClO₄ karışımı ile (4/1) yaş yakılmış ve toplam P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları Perkin Elmer Optima 2100 DV ICP-OES cihazı ile belirlenmiştir (Temminghoff ve Houba 2004). Bitki besin elementi alım düzeyleri; kuru ağırlık miktarı ile o besin elementinin bitkideki konsantrasyonunun çarpılması ile hesaplanmıştır.

İstatistikî analizler

Sera denemesi şeklinde yapılan çalışma 4 tekerrürlü olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre yürütülmüştür. Araştırma sonunda elde edilen verilerin önemliliği MINITAB 17 paket programı ile ortalamalar arasındaki farkın önemlilik durumu ise MSTAT paket programı kullanılarak Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile belirlenmiştir (Düzgüneş, 1963).

Bulgular ve Tartışma

Marul bitkisi kuru ağırlık değerleri ile makro element konsantrasyonları ve alımları

Tavuk dışkısı külü ile ATDK'nın marul bitkisi kuru ağırlığı ile toplam P, K, Ca ve Mg konsantrasyonlarına etkisi Çizelge 3'te, P, K, Ca ve Mg alımlarına etkisi ise Çizelge 4'te verilmiştir. Bitki kuru ağırlık değerleri incelendiğinde; kontrole göre tüm uygulamaların kuru ağırlıkta önemli bir artış sağladığı (p<0.05), ATDK ve TSP uygulamalarıyla en yüksek kuru ağırlık değerlerine (sırasıyla 6.32 ve 6.25 g saksı⁻¹) ulaşıldığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarla benzer şekilde, Kan ve ark. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada ATDK ve TSP'nin kontrole kıyasla marul bitkilerinin kuru ağırlığını artırdığı belirlenmiştir. TSP ile ATDK uygulamaları arasında bitki kuru ağırlığı bakımından fark gözlenmemiştir. Sonuç olarak ATDK'nın gübreleme materyali olarak TSP'ye eşdeğer bir etkiye sahip olduğu araştırmacılar tarafından bildirilmiştir.

Çizelge 3. Tavuk dışkısı külü (TDK) ile asitlerle modifiye edilmiş tavuk dışkısı külünün (ATDK) marul bitkisi kuru ağırlığı ile toplam fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonlarına etkisi

Uygulamalar	Kuru ağırlık, g saksı ⁻¹	P, g kg ⁻¹	K, g kg ⁻¹	Ca, g kg ⁻¹	Mg, g kg ⁻¹
Kontrol	2.08±0.09 c	2.56±0.06 d	58.8±1.88 b	11.2±0.26 b	3.53±0.03 b
TDK	5.13±0.20 b	3.45±0.12 c	63.8±0.51 a	11.5±0.29 b	3.55±0.03 b
ATDK	6.32±0.19 a	4.04±0.05 b	56.9±1.53 b	11.8±0.34 b	3.86±0.15 b
TSP	6.25±0.10 a	4.51±0.06 a	51.8±0.64 c	14.1±0.38 a	5.71±0.14 a
F değeri	164.3**	107**	15.3**	17.0**	96.2**

Değerler dört tekerrürün ortalaması ± standart hata şeklinde verilmiştir. Ortalamalar arasındaki farkın önemlilik durumu Duncan Testi (p<0.05) ile belirlenmiştir. **p<0.01

Çizelge 4. Tavuk dışkısı külü (TDK) ile asitlerle modifiye edilmiş tavuk dışkısı külünün (ATDK) marul bitkisi toplam fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum alımlarına etkisi

Uygulamalar	P alım, mg saksı ⁻¹	K alım, mg saksı ⁻¹	Ca alım, mg saksı ⁻¹	Mg alım, mg saksı ⁻¹
Kontrol	5.33±0.25 d	122±6.83 c	23.2±1.22 d	7.34±0.25 d
TDK	17.7±1.09 c	327±11.1 b	58.8±1.51 c	18.2±0.63 c
ATDK	25.5±0.50 b	359±7.34 a	74.3±2.06 b	24.3±0.49 b
TSP	28.1±0.44 a	323±2.26 b	87.9±1.96 a	35.6±0.96 a
F değeri	248**	204**	262**	345**

Değerler dört tekerrürünün ortalaması ± standart hata şeklinde verilmiştir. Ortalamalar arasındaki farkın önemlilik durumu Duncan Testi ($p<0.05$) ile belirlenmiştir. ** $p<0.01$

Bitki P konsantrasyonu üzerine uygulamaların etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Uygulamalar arasında en yüksek artış TSP ile olmuş ve bunu sırasıyla ATDK ve TDK izlemiştir (Çizelge 3). Benzer şekilde bitkiye P alımı üzerine uygulamaların etkisi önemli bulunmuş ve 28.1 mg saksı⁻¹ ile TSP uygulaması en yüksek P alımı sağlayan uygulama olmuştur. Bunu sırasıyla ATDK (25.5 mg saksı⁻¹) ve TDK (17.7 mg saksı⁻¹) uygulamaları izlemiştir (Çizelge 4). Marul, P seven bir bitkidir (Johnstone ve ark., 2005). Tavuk dışkısı külünde elementler CaO ve MgO gibi alınamaz formlar ve hidroksiapatit (HAP) gibi daha az alınabilir formlardır. Kül çeşitli oranlarda farklı asitlerle muamele edildiğinde, bu alınamaz formlar bitki tarafından alınabilir fosfat ve sülfat formlarına dönüşmüş ve özellikle P olmak üzere bitki yararışlı element miktarlarını artırmıştır. Nitekim Li ve ark. (2020) tarafından tavuk gübresiyle yapılan H₂SO₄ modifikasyonu ve Komiyama ve ark. (2013) tarafından tavuk gübresiyle yapılan H₃PO₄ modifikasyonu ile de benzer sonuçlar bildirilmiştir.

Bitki K konsantrasyonu ve alımı üzerine uygulamaların etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Kontrolle karşılaştırıldığında bitki K konsantrasyonu TDK uygulaması ile önemli oranda yüksek bulunmuşken, ATDK kontrolle aynı sınıfta yer almış, TSP ise daha düşük K konsantrasyonuna neden olmuştur (Çizelge 3). Bitkiye K alımı bakımından tüm uygulamalar kontrole göre daha yüksek olurken, 359 mg saksı⁻¹ ile ATDK en yüksek K alımı sağlayan uygulama olmuştur. Bitkiye K alımı bakımından TDK ve TSP aynı sınıfta yer almıştır (Çizelge 4). Gunes ve ark. (2024) yaptıkları bir çalışmada, TDK'nın bileşimindeki önemli K seviyesi (%10.5) nedeniyle, TDK ve TDK + H₂SO₄ uygulamalarının TSP'ye oranla bitkilerdeki K konsantrasyonunu önemli ölçüde artırdığını belirlemişlerdir. Diğer taraftan, çalışmamızda TSP gübresinin K içeriğinin (% 2.14) düşük olması bitkideki K konsantrasyonunun da düşük bulunmasına sebep olmuştur.

Kül uygulamalarının bitki Ca konsantrasyonu ve alımına etkisi önemli olmuştur ($p<0.05$). Bitki Ca konsantrasyonu bakımından kül uygulamaları kontrole aynı sınıfta yer almış, TSP ise bunlardan daha yüksek Ca konsantrasyonu sağlamıştır (Çizelge 3). Bitkiye Ca alımı bakımından tüm uygulamaların kontrole göre artış sağladığı belirlenmiştir. TSP 87.9 mg saksı⁻¹ ile en yüksek Ca alımı sağlayan uygulama olurken bu uygulamayı sırasıyla ATDK (74.3 mg saksı⁻¹) ve TDK (58.8 mg saksı⁻¹) izlemiştir. TSP gübresi bilindiği gibi monokalsiyum fosfat formunda bir gübredir ve kireç varlığında trikalsiyum fosfat şeklinde yararışsız forma geçtiği birçok literatürde yer almaktadır. Bu çalışmada kullanılan toprak örneğinde kireç içeriği (% 7.41) çok yüksek olmadığından fiksasyona uğramamıştır. Diğer taraftan, Gunes ve ark. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada TSP gübresinin TDK ve TDK + H₂SO₄ uygulamalarına göre marul bitkisinde daha yüksek Ca konsantrasyonuna neden olduğu ifade edilmiştir. Çalışmamızda kullanılan TSP gübresinin toplam Ca konsantrasyonunun % 11.8 olduğu ve bunun neredeyse tamamının (%11.5) suda çözünabilir olduğu görülmektedir. Bu bağlamda TSP ile diğer kül kaynaklarına göre daha yüksek Ca konsantrasyonu beklenen bir sonuçtur. Tavuk dışkısı külünün asitlerle modifikasyonu sonucunda, çözünabilir Ca miktarı artmış ve bitkide Ca konsantrasyonu kontrole göre artmış fakat bu artış önemli bulunmamıştır.

Bitki Mg konsantrasyonu ve alımı üzerine uygulamaların etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Kalsiyum konsantrasyonuna benzer şekilde, TDK, ATDK ve kontrol, bitki Mg konsantrasyonu bakımından aynı sınıfta yer almış, TSP ise bu uygulamalardan daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 3). Bitki Mg alımı bakımından tüm uygulamalar kontrole göre daha yüksek bulunmuş ve TSP uygulaması bitkiye en yüksek Mg alımı sağlayan uygulama olmuştur (Çizelge 4). Çalışmadan elde edilen sonuçlarla paralel şekilde; Kan ve ark. (2024) ile Gunes ve ark. (2024) marul bitkisiyle yaptıkları çalışmalarda, karşılaştırma amacıyla kullanılan TSP gübresinin bitki Mg konsantrasyonunu TDK ve ATDK'ya göre daha fazla artırdığını bildirmişlerdir.

Marul bitkisi mikro element konsantrasyonları ve alımları

Tavuk dışkısı külü ile ATDK'nın marul bitkisi toplam Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonlarına etkisi Çizelge 5'te, Fe, Zn, Cu ve Mn alımlarına etkisi ise Çizelge 6'da verilmiştir. Bitki Fe konsantrasyonu üzerine uygulamaların etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Kontrolle karşılaştırıldığında TSP uygulaması ile en yüksek Fe konsantrasyonuna ulaşılırken, bu uygulamayı TDK izlemiştir. Diğer taraftan, ATDK uygulaması ile kontrole göre daha düşük Fe konsantrasyonu belirlenmiştir (Çizelge 5). Kül uygulamalarının bitki Fe alımı üzerine etkisi önemli olmuştur ($p<0.05$). Kontrolle karşılaştırıldığında tüm uygulamalar bitkiye Fe alımını artırmıştır. En yüksek Fe alımı sağlayan uygulama TSP ($2071 \mu\text{g sakı-1}$) olurken, bu uygulamayı sırasıyla TDK ($1112 \mu\text{g sakı-1}$) ve ATDK ($1078 \mu\text{g sakı-1}$) izlemiştir (Çizelge 6). Çalışmada materyaller 100 mg kg-1 P olacak şekilde uygulanmış ve topraktaki P seviyesi (7.77 mg kg-1) de yeterlilik sınırına oldukça yakın bulunmuştur. Zhang ve ark. (2012) topraktaki P seviyelerinin yüksek olması durumunda, toprakta çözünmeyen Zn ve Fe-fosfat bileşiklerinin oluşabileceğini ve Zn ve Fe'in bitkiler için daha az kullanılabilir hale gelebileceğini ifade etmişlerdir. Diğer taraftan TSP gübresinin çalışmada kullanılan diğer materyallere göre daha yüksek (120 mg kg-1) suda çözünabilir Fe içeriğine sahip olması, TSP'yi ön plana çıkarmış olabilir.

Çizelge 5. Tavuk dışkısı külü (TDK) ile asitlerle modifiye edilmiş tavuk dışkısı külünün (ATDK) marul bitkisi toplam demir, çinko, bakır ve mangan konsantrasyonlarına etkisi

Uygulamalar	Fe, mg kg^{-1}	Zn, mg kg^{-1}	Cu, mg kg^{-1}	Mn, mg kg^{-1}
Kontrol	$182 \pm 14.5 \text{ c}$	$42.6 \pm 2.71 \text{ a}$	$11.1 \pm 0.53 \text{ a}$	$77.4 \pm 2.51 \text{ b}$
TDK	$217 \pm 22.3 \text{ b}$	$28.1 \pm 1.03 \text{ b}$	$6.90 \pm 0.13 \text{ b}$	$82.0 \pm 1.87 \text{ ab}$
ATDK	$171 \pm 13.5 \text{ d}$	$18.9 \pm 1.02 \text{ c}$	$5.30 \pm 0.19 \text{ c}$	$68.4 \pm 3.22 \text{ c}$
TSP	$330 \pm 47.5 \text{ a}$	$14.1 \pm 0.55 \text{ c}$	$6.40 \pm 0.29 \text{ b}$	$85.4 \pm 1.16 \text{ a}$
F değeri	6.73**	64.6**	61.9**	10.1**

Değerler dört tekrerrürün ortalaması $\pm$ standart hata şeklinde verilmiştir. Ortalamalar arasındaki farkın önemlilik durumu Duncan Testi ($p<0.05$) ile belirlenmiştir. ** $p<0.01$

Çizelge 6. Tavuk dışkısı külü (TDK) ile asitlerle modifiye edilmiş tavuk dışkısı külünün (ATDK) marul bitkisi toplam demir, çinko, bakır ve mangan alımlarına etkisi

Uygulamalar	Fe alım, $\mu\text{g sakı}^{-1}$	Zn alım, $\mu\text{g sakı}^{-1}$	Cu alım, $\mu\text{g sakı}^{-1}$	Mn alım, $\mu\text{g sakı}^{-1}$
Kontrol	$379 \pm 36.3 \text{ d}$	$88.1 \pm 4.19 \text{ c}$	$23.0 \pm 1.16 \text{ c}$	$160 \pm 4.49 \text{ c}$
TDK	$1112 \pm 120 \text{ b}$	$144 \pm 6.96 \text{ a}$	$35.4 \pm 1.90 \text{ b}$	$420 \pm 11.1 \text{ b}$
ATDK	$1078 \pm 64.4 \text{ c}$	$119 \pm 5.60 \text{ b}$	$33.4 \pm 0.43 \text{ b}$	$431 \pm 8.33 \text{ b}$
TSP	$2071 \pm 317 \text{ a}$	$88.0 \pm 2.83 \text{ c}$	$40.0 \pm 1.82 \text{ a}$	$533 \pm 9.42 \text{ a}$
F değeri	16.0**	27.5**	24.4**	335**

Değerler dört tekrerrürün ortalaması $\pm$ standart hata şeklinde verilmiştir. Ortalamalar arasındaki farkın önemlilik durumu Duncan Testi ($p<0.05$) ile belirlenmiştir. ** $p<0.01$

Bitki Zn konsantrasyonu ve alımı üzerine uygulamaların etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Tüm uygulamalar kontrole göre bitki Zn konsantrasyonunu önemli düzeyde düşürmüştür (Çizelge 5). Bitkiye Zn alımı bakımından TSP, kontrolle aynı sınıfta yer alırken, kül uygulamaları bu uygulamalara göre daha yüksek Zn alımı sağlamıştır (Çizelge 6). Fosforlu gübrelerinin çinko beslenmesi üzerindeki olumsuz etkileri iyi bilinmektedir (Marschner, 2012). Materyallerdeki suda çözünabilir P içeriği arttıkça bitkilerde Zn içeriğinin düşmesi beklenen bir sonuçtur. Kan ve ark. (2024), çalışmada elde edilen sonuçlara benzer şekilde kül uygulamalarındaki P içeriğinin artışına bağlı olarak Zn içeriğinin kontrole göre önemli oranda düştüğünü belirlemişlerdir. Ancak, $1000 \text{ mL H}_2\text{SO}_4$ ile asitleştirilmiş TDK uygulamasında, kontrol seviyesine yakın bir Zn seviyesine ulaşıldığı bunun nedeni olarak ta bu uygulamanın daha yüksek suda çözünür Zn konsantrasyonu sağlaması gösterilmiştir.

Uygulamaların bitki Cu konsantrasyonu ve alımı üzerine önemli düzeyde etki ettiği belirlenmiştir ($p<0.05$). Çinko konsantrasyonu ile benzer şekilde Cu konsantrasyonu da uygulamalara bağlı olarak önemli düzeyde düşmüş ve ATDK en düşük Cu konsantrasyonuna sebep olan uygulama olmuştur (Çizelge 5). Diğer taraftan, marul bitkisine Cu alımı bakımından tüm uygulamaların kontrole göre daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. TSP uygulaması ile bitkiye en yüksek düzeyde ($40 \mu\text{g sakı-1}$) Cu alımı sağlanırken, bunu sırasıyla TDK ($35.4 \mu\text{g sakı-1}$) ve ATDK ($33.4 \mu\text{g sakı-1}$) uygulamaları izlemiştir (Çizelge 6). Patel ve Goswami (2020), kül uygulamalarına bağlı olarak mikro element konsantrasyonlarında meydana gelen bu azalmaların asit karışımındaki yüksek suda çözünür P konsantrasyonu ile açıklanabileceğini ifade etmişlerdir.

Bitki Mn konsantrasyonu ve alımı üzerine uygulamaların etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$). TSP uygulaması ile bitkide en yüksek Mn konsantrasyonuna ulaşılrken, ATDK uygulaması neticesinde en düşük Mn konsantrasyonu belirlenmiştir (Çizelge 5). Tüm uygulamaların bitkiye Mn alımını kontrole göre önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Uygulamalar arasında bitkiye Mn alımı bakımından en başarılı uygulama TSP olurken, bu uygulamayı sırasıyla ATDK ve TDK uygulamaları izlemiştir. Gunes ve ark. (2025) tarafından yapılan bir çalışmada; TDK öncelikle asitlerle ($H_2SO_4-H_3PO_4$) muamele edilmiş sonrasında ise azotla zenginleştirilmiştir. Bu şekilde üretilen gübrenin çalışmada elde edilen sonuca benzer şekilde şeker pancarı yapraklarında Mn konsantrasyonlarının kontrole göre düşmesine neden olduğu bildirilmiştir.

Sonuç

Tarımsal biyokütle atıklarının alternatif enerji kaynağı olarak kullanımı günümüzde artan bir ivme kazanmaktadır. Bu amaçla değerlendirilebilecek atıklardan birisi de tavuk dışkılarıdır. Ülkemizde her yıl önemli miktarlarda tavuk dışkısı ortaya çıkmakta ve doğru değerlendirilmediğinde bu kıymetli atık çevre kirliliğine sebep olabilmektedir. Tavuk dışkısının yüksek sıcaklıklarda elektrik üretilmesi amacıyla yakılması neticesinde elde edilen kül, azot hariç tüm besin maddelerini içermektedir. Bununla birlikte yakma esnasında elementler oksit formlarına dönüşmekte ve bu durum yarayışlılığı düşürmektedir. Tavuk dışkısı külünde besin elementi yarayışlılığını artırabilecek stratejiler arasında asitlerle modifikasyon da gelmektedir. Yapılan çalışmada asitlerle modifiye edilmiş tavuk dışkısı külünün marul bitkisinde kuru ağırlık ve P konsantrasyonu ile bitkiye besin maddesi alımlarının tamamını artırdığı belirlenmiştir. Ülkemizde kullanılan kimyasal gübrelerin tamamına yakını ithal edilmektedir. Bu gibi atıkların uygun işlemlerden geçirilmesi neticesinde elde edilen gübrelerin, tarımsal üretimde verimliliği artırabileceği, çevre kirliliği riskini azaltabileceği ve gübrede dışa bağımlılığımızı azaltabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple bu tarz çalışmaların farklı asit kombinasyonlarıyla, farklı bitki türlerinde ve farklı bölgelerde yapılması son derece önemlidir.

Teşekkür

Bu çalışmanın analizlerinin yapılmasında emeği geçen değerli arkadaşlarım Dr. Öğr. Üyesi Hanife AKÇA ve Seval MÜNGAN ile gerekli düzeltmelerin yapılmasında desteğini gördüğüm kıymetli Hocam Prof. Dr. Aydın GÜNEŞ'e teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Bouyoucos GJ, 1951. A realibration of hydrometer for making mechanical analysis of soil. *Agronomy Journal* 43, 434-438.
- Bremner JM, 1965. Total Nitrogen Methods of Soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties'. In: Black CA (ed), Black. Amer. Soc. of Agron. Inc. Pub. Agronomy Series. No: 9, Madison, Wisconsin, U.S.A. 1149-1178.
- Düzgüneş O, 1963. Bilimsel Araştırmalarda İstatistik Prensipleri ve Metotları. E.Ü. Matbaası, İzmir.
- Fahimi A, Bilo F, Assi A, Dalipi R, Federici S, Guedes A, Valentim B, Olgun H, Ye G, Bialecka B, Fiameni L, Borgese L, Cathelineau M, Boiron MC, Predeanu G, Bontempi E, 2020. Poultry litter ash characterisation and recovery. *Waste Manag.* 111:10-21.
- Fiameni L, Fahimi A, Marchesi C, Sorrentino GP, Zanoletti A, Moreira K, Valentim B, Predeanu G, Depero LE, Bontempi E, 2021. Phosphorous and silica recover from Rice Husk Poultry Litter Ash: a sustainability analysis using a zero-Waste Approach. *Materials* 14:6297. <https://doi.org/10.3390/ma14216297>.
- Frazão JJ, de Melo Benites V, Pierobon VM, Ribeiro JVS, Lavres J, 2021. A poultry litter-derived organomineral phosphate fertilizer has higher agronomic effectiveness than conventional phosphate fertilizer applied to field-grown maize and soybean. *Sustainability*. 13(21):11635.
- Gezgin S, 2018. Türkiye topraklarının organik madde durumu, organik madde kaynaklarımız ve kullanımı. *Organomineral Gübre Çalıştayı*, 29:12-16.
- Gunes A, Inal A, Kadioglu YK, 2009. Determination of mineral element concentrations in wheat, sunflower, chickpea and lentil cultivars in response to P fertilization by polarized energy dispersive X-ray fluorescence. *X-Ray Spectrometry*. 38:451-462.
- Gunes A, Kan S, Taskin MB, Gokmen Yilmaz F, Deniz Yagcioglu K, Kadioglu YK, Akca H, Gezgin S, 2024. Recycling and optimization of poultry manure incineration ash as a source of phosphorus and balanced mineral fertilization. *J Mater Cycles Waste Manage.* 26(6):3509-3524. <https://doi.org/10.1007/s10163-024-02062-x>.

- Gunes A, Taskin MB, Sahin O, Deniz Yagcioglu K, Kadioglu YK, Tugrul M, Abaci AY, Altunbay G and Eser U, 2025. Transforming Biomass Energy Waste into Innovative Fertilizer: Impact of Poultry Litter Incineration Ash-Based Fertilizer on Sugar Beet Nutrition, Yield, and Quality. *Sugar Tech.* 27(2):608-620.
- Güçdemir İH, 2006. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi. Güncelleştirilmiş ve Genişletilmiş 5. baskı. Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 231, Teknik yayın no: T.69, Ankara.
- Hızalan E, Ünal H, 1966. Topraklarda Önemli Kimyasal Analizler. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, 278, Ankara.
- Jackson ML, 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall, New Jersey, 498.
- Johnstone PR, Hartz TK, Cahn MD, Johnstone MR, 2005. Lettuce response to phosphorus fertilization in high phosphorus soils. *HortScience*. 40:1499–1503.
- Kan S, Yilmaz FG, Yagcioglu KD, Kadioglu YK, Gezgin S, Gunes A and Taskin MB, 2024. Valorization of Poultry Litter Incineration Ash as a Sustainable and Balanced Fertilizer Source. *J Soil Sci Plant Nutr.* 24:7570-7580.
- Kelleher BP, Leahy JJ, Henihan AM, O'dwyer TF, Sutton D and Leahy M J, 2002. Advances in poultry litter disposal technology—a review. *Bioresource Technol.* 83(1):27-36.
- Komiyama T, Kobayashi A and Yahagi M, 2013. The chemical characteristics of ashes from cattle, swine and poultry manure. *J Mat Cycles Waste Manag.* 15:106–110. <https://doi.org/10.1007/s10163-012-0089-2>.
- Li Q, Wang S, Wang L, Zhang L, Wan X and Sun Z, 2020. The recovery of phosphorus from acidic ultra-high phosphorous wastewater by the struvite crystallization. *Water.* 12:946. <https://doi.org/10.3390/w12040946>.
- Lindsay WL, Norvell WA, 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Sci Society America Journal.* 42:421-428.
- Marschner P, 2012. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*, 3rd edn. Academic Press, London.
- Millsaps CR, Reiter MS, Whitehurst BM, Whitehurst GB, Maguire RO, Thomason WE, 2021. Granulated Poultry Litter Ash Acidulation and physical characteristics. *Transac ASABE* 64:1227– 1235. <https://doi.org/10.13031/trans.14164>.
- Nusselder S, de Graaff LG, Odegard IYR, Vandecasteele C and Croezen HJ, 2020. Life cycle assessment and nutrient balance for five different treatment methods for poultry litter. *J Cleaner Produc.* 267: 121862.
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS, Dean NC, 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soil by Extraction with Sodium Bicarbonate. *United States Department of Agriculture Circular* 939:1-18.
- Patel D, Goswami D, 2020. Phosphorus Solubilization and Mobilization: Mechanisms, Current Developments, and Future Challenge. In: Yadav, A., Rastegari, A., Yadav, N., Kour, D. (eds) *Advances in Plant Microbiome and Sustainable Agriculture. Microorganisms for Sustainability*, vol 20. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3204-7_1.
- Pratt PF, 1965. *Chemical and Microbiological Properties. Methods of Soil Analysis*. Ed: Black CA, American Society of Agronomy Madison 771-1572.
- Richards LA, 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. In: *United States Department of Agriculture Handbook*, 1070, USA.
- Rivera R, Chagnes A, Cathelineau M, Boiron MC, 2022. Conditioning of poultry manure ash for subsequent phosphorous separation and assessment for a process design. *Sustain Mat Tech.* 31:e00377. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00377>.
- Taban S, Turan MA, Katkat AV, 2013. Tarımda organik madde ve tavuk gübresi. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi.* 10(1):9-13.
- Temminghoff EE, Houba VJ, 2004. *Plant analysis procedures*. 1-178, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.
- TÜİK 2025. 2024 yılı kümes hayvanı sayıları ve hayvansal üretim miktarları. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hayvansal-Uretim-Istatistikleri-2024-53935>. Erişim tarihi 11.03.2025.
- Zhang YQ, Deng Y, Chen RY, Zhen LC, Xin PC, Yost R, Zhang FS and Chun QZ, 2012. The reduction in zinc concentration of wheat grain upon increased phosphorus-fertilization and its mitigation by foliar zinc application. *Plant Soil.* 361:143–15