

Atrazine ve Glyphosate'ın Toprak Karbon Mineralizasyonuna Olan Etkileri

Burak Koçak^{1*} 

ÖZET

Tarımsal ekosistemlerde yabancı otların kontrolünde en çok tercih edilen yöntemlerden birisi herbisit kullanımıdır. Mikrobiyal aktive toprakta herbisitlerin davranışlarını belirleyen en önemli faktörlerdendir. Karbon mineralizasyonu toprak kalitesinin biyolojik indikatörlerinden olup topraktaki tüm canlıların hayati faaliyetlerini sürdürebilme kapasitesini yansıtmaktadır. Bu derlemede tarım alanlarında yabancı ot kontrolünde en fazla kullanılan bileşikler olan atrazine ve glyphosate'ın toprakta karbon mineralizasyonuna olan etkileri özetlenmiştir.

MAKALE GEÇMİŞİ

Geliş

23 Ekim 2019

Kabul

07 Ocak 2020

ANAHTAR KELİMELER

Toprak karbonu,
Herbisit,
Organik madde
mineralizasyonu

Effects of Atrazine and Glyphosate on Soil Carbon Mineralization

ABSTRACT

One of the most preferred methods for weed control is application of herbicide in agricultural ecosystems. Microbial activity is one of the most important factors that determines behavior and decomposition of herbicides in soil. Carbon mineralization is one of the biological indicators of soil quality while it reflects the sustainability of vital functions of all living beings in soil. In this review, effects of atrazine and glyphosate that are most used in agricultural areas for weed control on soil carbon mineralization were summarized.

ARTICLE HISTORY

Received

23 October 2019

Accepted

07 January 2020

KEY WORDS

Soil carbon,
Herbicide,
Organic matter
mineralization

Giriş

Bitkisel üretimin korunmasında ve ürüne zarar veren organizmaların kontrolünde kullanılan kimyasallara pestisit denilmekte olup bu maddeler yeterli besin üretiminin sağlanması ile insan ve hayvan sağlığının korunmasına yardımcı olmaktadır. Pestisit kalıntıları havanın, suyun, toprağın ve gıdanın önemli bir kontaminasyon kaynağı olabilmekte ve bu da ekosistemlerdeki pek çok bitki ve hayvan toplulukları için bir tehdit haline gelmektedir [1-5]. Herbisitler, pestisitlerin önemli bir grubu olmanın yanında sürdürülebilir tarımda kullanılan araçlardan birisidir. Bu maddeler, bitkisel ve

¹Çukurova University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, Adana / Turkey

*Corresponding Author: Burak Koçak e-mail: bkocak@cu.edu.tr

dolayısıyla hayvan üretimin artışına destek sağlarken tarımsal üretimde insan emeğinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır [6].

Herbisitler tarımda en çok kullanılan pestisit sınıfı olup bütün herbisitler içinde glyphosate dünyada en fazla kullanılan kimyasal olup 2017 itibariyle 1.35 milyon metre tona ulaşacağı bildirilmiştir [7]. Glyphosate gibi pestisitlerin toprak mikrobiyal komünitelerine olan etkilerinin araştırılması, mikroorganizmaların biyojeokimyasal süreçlerini sürdürmesinde kritik bir role sahip olması, patojenlerin kontrolü ve ekosistemlerin insanlığa hizmet sağlaması konularında oldukça önemli bir faktör olduğu belirtilmiştir [7].

Günümüzde 200'den fazla etken madde herbisit olarak kullanılmakta ve bunların birçoğunun toksisite potansiyeli değerlendirilmiş olup JMPR (Joint Meeting on Pesticide Residues) tarafından kabul edilebilir günlük alım dozları belirlenmiştir [8]. Genel olarak yeni geliştirilen herbisitlerin memelilere olan toksik etkilerinin düşük olduğu bildirilmiştir [9]. Ancak herbisitlere maruz bırakılan bir veya birkaç tür hayvanda gelişim ve üremenin etkilendiğini gösteren deneysel ve anekdot niteliğinde kanıtların sayısı arttığı ifade edilmiştir. Bazı herbisitlerin insanlarda doğuştan kusura neden olduğu bulunmuştur. Örneğin, 2,4-D (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid) ile dioxin, oryzalin ve picloram gibi herbisitlerle kombine olarak uygulanması insanlarda üreme problemlerine neden olduğu bildirilmiştir [9]. Dioxin içeren 2,4,5-T'nin (2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid) bazı formülasyonlarına maruz kalan işçilerde üç nadir görülen kansere (Hodgkin hastalığı, yumuşak doku kanseri ve Hodgkin olmayan lenfoma) görüldüğü bildirilmiştir [10]. Glyphosate'ın toksik olmayan düşük konsantrasyonlarının in vitro insan plasental hücrelerinde aromataz enziminin bozulmasına yola açtığı ve östrojen sentezinden sorumlu olan aromataz enzim aktivitesini azalttığı bildirilmiştir [11]. 2015 yılında IARC (International Agency for Research on Cancer) pek çok pestisidin insanlar kansere neden olma risklerini yeniden değerlendirdi ve glyphosate'ın insanda olası karsinojenik etkiye yol açan bir madde olarak 2A kategorisine aldığını bildirmiştir [12].

Atrazine C3 bitkilerinde fotosentezde görev yapan spesifik enzimleri hedefleyen ve yaygın bir biçimde kullanılan bir herbisittir [13]. Bu herbisit dünya çapında mısır ve şeker kamışı tarlalarında geniş yapraklı yabancı otların kontrolünde kullanılmakta olup tarımsal alanların yakınlarındaki su kaynaklarında en fazla tespit edilen kimyasallardan

birisi olduğu bildirilmiştir [14, 15]. Atrazine'in sudaki varlığı düşük konsantrasyonlarda bile pek çok sucul canlısına toksik olduğu ve kurbaçalarda hermafroditizme yol açtığı bulunmuştur [16-18]. Ayrıca tatlı su alglerinin büyümesini inhibe ettiği ve toprak solucanlarında DNA aberasyonlarına yol açtığı ifade edilmiştir [19, 20]. Atrazine'in insanlarda endokrinal bozulmalara, düşük yapma ve düşük doğum ağırlığına sebep olduğu belirtilmiştir [21-23]. Atrazine, gine domuzunda derinin hassaslaşmasına neden olurken 30 ile 60 gün süresince uygulanan 30 mg/kg atrazine dozu koyunlarda ölümcül olduğu ifade edilmiştir [9]. Bu toksik etkiler Avrupa Birliği'nin bu herbisit kullanımını tamamen yasaklanması gerektiği konusundaki iddiasını desteklemektedir [24]

Pestisitlerin tarımsal ekosistemlerdeki davranışlarının ayrışma sürecine bağlı olduğu bilinmektedir. Ayrışma, pestisit moleküllerinin birbirlerinden ayrıldığı kimyasal bir işlem olup bu işlem ışıkla parçalanma, mikrobiyolojik ayrışma, kimyasal ayrışma ve bitki detoksifikasyonu kapsamaktadır. Ayrıca pestisit parçalanması, pestisidin kalıcılığını, zararlı organizma kontrolündeki etkinliği ile toprak ve su kaynaklarının kontaminasyon riski oluşup oluşmamasını belirlemektedir [25-29]. Bu derlemede Atrazine ve Glyphosate'ın toprakta karbon mineralizasyonuna etkileri ve bazı önemli herbisitlerin bu biyolojik aktiviteye olan etkileri incelenmiştir

Toprakta Karbon Mineralizasyonu

Mikroorganizmalar, toprakta besin döngülerinin sürdürülmesini sağlamaktadır ve bu önemli aktivite olmasaydı, pek çok gerekli element bitkilere yararlı hale gelmeyeceği bilinmektedir [30]. Bunun tam tersi düşünüldüğünde yeşil bitkiler yoluyla karbon (C) ve enerji girişi olmasaydı, toprak sadece kayaların parçalanmasıyla oluşan mineral partiküllerden meydana gelecekti. Bitki ve hayvan kalıntıları ile mikrobiyal aktivite, toprağa organik katkılar sağlamanın yanında mineral toprak parçacıklarının agregatlaşmasına ve dolayısıyla daha verimli hale gelmesine yardımcı olmaktadır [31]. Toprakta mikroorganizmalar, mikrofauna ve makrofaunanın oluşturdukları kompleks bir besin ağının konağı olarak görev yapmaktadır [32, 33].

Bitki ve hayvan kalıntılarının ayrışmasında büyük bir rolü olan mikroorganizmalar aynı zamanda toprakta organik karbonun (TOK) da önemli bir rezervuarıdır. Bununla beraber, toprak karbonca zengin organik maddenin büyük bir kısmını tutmaktadır. Bu kısım belli bir dereceye kadar ayrışmakta ve zamanla yoğunlaşarak dayanıklı bir karbon

deposu olan humusa ve mikrobiyal ayrışmaya fiziksel olarak dayanıklı diğer moleküllere toprak matriksinde dönüştürebilmektedir. Tarımsal sistemlerde toprak işlenmesi organik karbonu toprak mikroorganizmalara daha yararlı hale getirirken bozulmamış topraklarda TOK birikme eğilimindedir [34].

Topraktaki mikrobiyal metabolik aktivite genelde katabolik solunumun ölçülmesiyle belirlenmekte olup solunumun küresel karbon döngüsünde temel bir süreç olduğu ve toprakta enerjinin bölünmesinde hayati bir role sahip olduğu bilinmektedir. Aerobik solunum süreçlerinde O₂ tüketilir, CO₂ salınır ve bu şekilde ekosistemden atmosfere doğru bir karbon kaybı meydana gelmektedir. Toprakta organik madde, hazır yararlı ölü örtü ve bitkisel salgılar kimyasal olarak değişime uğrar ve mikrobiyotaya solunum süreçleri yoluyla bu maddelerdeki bitki besin elementleri mineralize olurlar. Küresel iklim değişiminin toprakta karbon depolanması, bağlanması ve salınımı ile yakından ilişkili olduğundan toprakta karbondioksit oluşumu son yıllarda oldukça önem kazandığı bilinmektedir [35, 36]

Çeşitli uygulamaların ve farklı madde girişlerinin toprak mikrobiyal aktivitesine olan etkilerinin tespit edilmesinde toprakta CO₂ salınım yöntemi yaklaşık 100 yıldır kullanılmaktadır [37-40]. Laboratuvarında kurutulan ve elenen bir toprak tekrar nemlendirilip inkübe edildiğinde ölçülen 3 günlük karbon mineralizasyonu, arazi nemli toprakta ölçülen 24 günlük karbon mineralizasyonu ile önemli derecede örtüştüğü bildirilmiştir [41]. Ayrıca, kurutulan (40°C ve 60°C) ve tekrar nemlendirilen topraklardaki kısa dönemli karbon mineralizasyonunun (1-3 günlük), uzun dönemli (100 günlük) CO₂ oluşumu ve toprak mikrobiyal biyokütle karbonu ile önemli bir biçimde korelasyon gösterdiği ifade edilmiştir [42, 43]. Toprakta inkübasyon süresince mineralize olan karbonun toprak organik karbonuna olan oranına “ Karbon mineralizasyon oranı” denilmektedir [39, 40, 44]

Atrazine İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Atrazine, günümüzde halen pek çok sayıda geniş yapraklı yabancı otun kontrolünde yaygın bir biçimde kullanılan bir herbisit olup yeraltı ve yer yüzey sularında sıklıkla tespit edilmektedir. Atrazine'in toprakta ayrışmasını sağlayan ana süreç mikrobiyal ayrışmadır. ¹⁴C-atrazin'in arazi koşullarına uyumlu bir toprakta, bu koşullara adapte olmayan bir toprağa göre daha hızlı ayrıştığı bulunmuştur [45]. Aynı çalışmada araştırmacılar, her iki toprağa glukoz ilave edip laboratuvar koşullarında inkübe

etiklerinde atrazin mineralizasyonunu etkilenmediğini ancak yüksek miktarda azot ilavesinde (2.5 g N/kg toprak) atrazine mineralizasyonunu durdurduğunu bildirmişlerdir [45]. Toprağa atrazine'in uygulama dozunun 2 (94 mg/ kg toprak), 4 (188 mg/ kg toprak) ve 6 (282 mg/kg toprak) katı uyguladığında karbon mineralizasyonunun arttığı bildirilmiş olup uygulama dozunun 2 kat artması halinde toprağa giren atrazin karbonunun %67'sinin, 4 kat dozda %78'den fazlasının ve 6 kat dozda %28'inin mineralize olduğu tespit edilmiştir [46]. Ayrıca araştırmacılar, atrazine'in toprak karbon mineralizasyonuna duyarlı olduğunu ifade etmişlerdir [46]. Atrazine'nin 0,2 ile 1000 mg/kg arasında 10 farklı dozu yarı kurak bir bölgeden alınmış toprağa karıştırıldığında mikrobiyal solunumun arttığını ve sadece toprak mikrobiyal popülasyonunun çok küçük bir kısmının atrazine'i tamamen CO₂ ve H₂O'ya dönüştürdüğü bildirilmiştir [47]. Buna ek olarak atrazine'in kısmi ayrışmasıyla meydana gelen organik ürünlerin daha fazla çeşitteki toprak mikroorganizmalarınca kullanılabileceğini bildirmişlerdir [47]. Glyphosate (2.16 mg etken madde/g toprak) ve atrazine'in (2.25 mg etken madde/g toprak) tavsiye edilen dozlarını ve bunun 2 katını beraber tropik bir toprağa karıştırıldığında atrazine varlığının geçici olarak toprakta mikrobiyal biyokütleyi azalttığı ve karbon mineralizasyonunu arttırdığı belirlenmiştir. Aynı çalışmada karbon mineralizasyonundaki artışın herbisit toksisitesine dirençli organizmaların ölü biyokütleyi mineralize etmiş olabileceğini ifade edilmiştir [48].

Glyphosate İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Glyphosate, ekim öncesi ya da çıkış sonrasında yabancı otların kontrolünde kullanılan, yapraklara uygulanan ve seçici olmayan bir herbisittir. Bu herbisit bitkinin yaşayabilmesi için gerekli olan aromatik aminoasitlerin sentezini engellemekte olup toprakta kil minerallerince adsorbe olabilmektedir [49]. Atrazine'in ve Glyphosate'ın tavsiye edilen tarla dozlarının 2 (94 mg/kg toprak), 4 (188 mg/ kg toprak) ve 6 (282 mg/kg toprak) katı beraber toprağa uygulandığında karbon mineralizasyonun kontrole göre sırasıyla %244, %46 ve %76 arttığını bulmuşlardır [46]. Aynı çalışmada araştırmacılar, bu herbisitlerin karbon mineralizasyonun 4 ve 6 kat dozlarındaki azalışın atrazine'nin mineralizasyonunda meydana gelen klor iyonunun mikrobiyal toksisiteye yol açabileceğini bildirmişlerdir. Glyphosate'ın tavsiye edilen dozu (47 µg/g toprak) ile bunun 2 (94 µg/g toprak), 3 (140 µg/g toprak) ve 5 (234 µg/g toprak) katı topraklara karıştırıldığında kümülatif karbon mineralizasyonunun doz artışına bağlı arttığı

bulunmuş olup yüksek dozlarda bile toprak mikroorganizmalarının glyphosate'ı doğrudan ve sürekli olarak parçalayabildikleri bildirilmiştir [49]. Bu çalışmaya ek olarak glyphosate'ın tavsiye edilen tarla uygulama dozu (6 l/ha) ve bunun 2 katı (12 l/ha) zeytin topraklarına karıştırıldığında karbon mineralizasyonunu artırıcı özelliğine sahip olduğu ve toprak mikroorganizmalarının glyphosate'ı karbon kaynağı olarak kullanabildikleri ifade edilmiştir [50]. Başka bir çalışmada, glyphosate'ın düşük dozları (1.5 ve 15 mg etken madde/kg toprak) topraklara karıştırıldığında karbon mineralizasyonunda kontrol ile uygulamalar arasında istatistiksel bir fark olmadığı bulunmuştur. Ancak aynı çalışmada herbisit yüksek dozu (1500 mg etken madde/kg toprak, GLY) ve bununla beraber diamonyum fosfat gübresi (250 mg/kg toprak, GLY+G) toprağa karıştırıldığında ise her iki uygulamada topraktan CO₂ çıkışının arttığını ancak GLY+G uygulamasının GLY uygulamasına göre C girişini %16 azalttığı belirlenmiştir [51]. Osmaniye'de bir turunçgil bahçesinde glyphosate'ın püskürtme öncesi ve sonrası alınan toprakları ile kontrol amacıyla alınan Osmaniye Korkut Üniversitesi Kampüsü'ü toprağına herbistin tavsiye edilen tarla dozunun kendisi, 2 ve 4 katı karıştırıldığında turunçgil toprağında bütün dozların karbon mineralizasyonunu önemli bir biçimde artırırken kampüs toprağındaki artışın önemsiz olduğu ifade edilmiştir [52].

Sonuç ve Öneriler

Karbon mineralizasyonu toprakta mikrobiyal aktivitenin belirlenmesinde kullanılan eski ama güvenilir bir yöntemdir. Karbon mineralizasyonundaki değişimler, pestisit toksisitesinin belirlenmesinde önemli bir kriter olarak değerlendirilmektedir.

Laboratuvar koşulları altında yapılan çalışmalarla atrazine ve glyphosate'ın tavsiye edilen tarla dozları topraklara karıştırıldıklarında mikrobiyal aktiviteyi olumsuz etkilemediği ancak karbon mineralleşmesinin bu herbisitlere duyarlı olduğu söylenebilir. Buna ek olarak, aynı herbisitlerin tavsiye edilen tarla dozlarının iki ve dört katları uygulandığında toprak karbon mineralizasyonunu teşvik ettiği ve hatta toprak mikroorganizmalarının bu herbisitleri yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmek amacıyla enerji kaynağı olarak kullanabileceği yapılan çalışmalarda ortaya çıkarılmıştır. Buna karşın, arazide pek çok faktörün herbisitlerin toksisite potansiyelini maskeleyen veya azaltma ihtimali olduğundan dolayı, laboratuvar ile arazi uygulamaları arasında fark çıkabilir. Bu yüzden bu herbisitlerin toprak karbon mineralizasyonuna olan etkileri

konusunda genel bir sonuca varılması için arazi koşullarında denenmesi gerekmektedir. Glyphosate'ın ve atrazine'in tarım arazilerinde uygulama sıklıkları fazla olduğundan dolayı toprağın fonksiyonunda ve bitkisel üretimde meydana gelebilecek potansiyel negatif etkilerinden kaçınmak için bu kimyasalların kritik sınırlarının tanımlanması amacıyla daha fazla araştırma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynaklar

1. Khan, S.U., Pesticides in the soil environment / Shahamat U. Khan. Fundamental aspects of pollution control and environmental science ; 5. 1980, Amsterdam ; New York : New York: Elsevier Scientific Pub. Co. ; distributors for the U.S. and Canada, Elsevier/North-Holland.
2. Aktar, M.W., D. Sengupta, and A. Chowdhury, Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary toxicology*, 2009. 2(1): p. 1-12.
3. Lozowicka, B., et al., Studies of pesticide residues in tomatoes and cucumbers from Kazakhstan and the associated health risks. *Environmental monitoring and assessment*, 2015. 187(10): p. 609-609.
4. Eason, C.T., et al., Assessment of Risks of Brodifacoum to Non-target Birds and Mammals in New Zealand. *Ecotoxicology*, 2002. 11(1): p. 35-48.
5. Pereira, J.L., et al., Toxicity evaluation of three pesticides on non-target aquatic and soil organisms: commercial formulation versus active ingredient. *Ecotoxicology*, 2009. 18(4): p. 455-463.
6. Pingali, P. and P. Roger, *Impact of Pesticides on Farmer Health and the Rice Environment*. 1995.
7. Newman, M.M., et al., Glyphosate effects on soil rhizosphere-associated bacterial communities. *Science of the Total Environment*, 2016. 543: p. 155-160.
8. IPCS, I.P.o.C.S., *The WHO (World Health Organization) Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to Classification 2002-2003*, ed. W.H. Organization. 2002, Geneva.
9. Gupta, P.K., *Toxicity of Herbicides*, in *Veterinary Toxicology (Third Edition)*, R.C. Gupta, Editor. 2018, Academic Press. p. 553-567.
10. Kennepohl, E., I.C. Munro, and J.S. Bus, *Phenoxy herbicides (2,4-D)*, in *Hayes' Handbook of Pesticide Toxicology (Third Edition)*, R. Krieger, Editor. 2010, Elsevier: San Diego p. 1829-1847.
11. Richard, S., et al., Differential effects of glyphosate and roundup on human placental cells and aromatase. *Environmental Health Perspectives*, 2005. 113(6): p. 716-720.
12. (IARC), I.A.f.R.o.C., *Some organophosphate insecticides and herbicides*. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 112. 2015, Geneva: World Health Organization Press.
13. Johnsen, K., et al., Pesticide effects on bacterial diversity in agricultural soils - a review. *Biology and Fertility of Soils*, 2001. 33(6): p. 443-453.
14. Chen, Q.L., et al., Soil microbial community toxic response to atrazine and its residues under atrazine and lead contamination. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015. 22(2): p. 996-1007.
15. Graziano, N., et al., 2004 National Atrazine Occurrence Monitoring Program using the Abraxis ELISA method. *Environmental Science & Technology*, 2006. 40(4): p. 1163-1171.
16. Hussain, R., et al., Pathological and genotoxic effects of atrazine in male Japanese quail (*Coturnix japonica*). *Ecotoxicology*, 2011. 20(1): p. 1-8.
17. Christin, M.S., et al., Effects of agricultural pesticides on the immune system of *Xenopus laevis* and *Rana pipiens*. *Aquatic Toxicology*, 2004. 67(1): p. 33-43.
18. Hayes, T.B., et al., Hermaphroditic, demasculinized frogs after exposure to the herbicide atrazine at low ecologically relevant doses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2002. 99(8): p. 5476-5480.

19. Weiner, J.A., M.E. DeLorenzo, and M.H. Fulton, Relationship between uptake capacity and differential toxicity of the herbicide atrazine in selected microalgal species. *Aquatic Toxicology*, 2004. 68(2): p. 121-128.
20. Song, Y., et al., DNA damage and effects on antioxidative enzymes in earthworm (*Eisenia foetida*) induced by atrazine. *Soil Biology & Biochemistry*, 2009. 41(5): p. 905-909.
21. Hase, Y., et al., Atrazine binds to F1F0-ATP synthase and inhibits mitochondrial function in sperm. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2008. 366(1): p. 66-72.
22. Winchester, P.D., J. Huskins, and J. Ying, Agrichemicals in surface water and birth defects in the United States. *Acta Paediatrica*, 2009. 98(4): p. 664-669.
23. Fakhouri, W.D., J.L. Nunez, and F. Trail, Atrazine Binds to the Growth Hormone-Releasing Hormone Receptor and Affects Growth Hormone Gene Expression. *Environmental Health Perspectives*, 2010. 118(10): p. 1400-1405.
24. Sass, J.B. and A. Colangelo, European Union bans atrazine, while the United States negotiates continued use. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 2006. 12(3): p. 260-267.
25. Subhani, A., et al., Effects of Pesticides (Herbicides) on Soil Microbial Biomass - A Review. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2000. 3.
26. Ortiz-Hernández, M.L., et al., Pesticide biodegradation: mechanisms, genetics and strategies to enhance the process, in *Biodegradation- Life of Science*, R. Chamy, Editor. 2013, Intech-publishing: Rijeka. p. 251-287.
27. D.K., J., V. J.P., and Y. J., Microbe Induced Degradation of Pesticides in Agricultural Soils, in *Microbe-Induced Degradation of Pesticides*, S. Singh, Editor. 2017, Springer, Cham.
28. Das, S. and T.K. Adhya, Degradation of chlorpyrifos in tropical rice soils. *Journal of Environmental Management*, 2015. 152: p. 36-42.
29. Mercurio, P., et al., Glyphosate persistence in seawater. *Marine Pollution Bulletin*, 2014. 85(2): p. 385-390.
30. Spohn, M., Element cycling as driven by stoichiometric homeostasis of soil microorganisms. *Basic and Applied Ecology*, 2016. 17(6): p. 471-478.
31. Stott, D.E., A.C. Kennedy, and C.A. Cambardella, Impact of Soil Organisms and Organic Matter on Soil Structure, in *Soil Quality and Soil Erosion*, R. Lal, Editor. 1999, RC Press/Soil and Water Conservation Society: Boca Raton. p. 57-73.
32. Hirsch, P., Microorganisms Cycling Soil Nutrients, in *Modern Soil Microbiology*, J.D.v. Elsas, et al., Editors. 2019, CRC Press. p. 179-192.
33. Crotty, F.V., et al., Divergence of feeding channels within the soil food web determined by ecosystem type. *Ecology and Evolution*, 2014. 4(1): p. 1-13.
34. Schimel, J.P. and S.M. Schaeffer, Microbial control over carbon cycling in soil. *Frontiers in Microbiology*, 2012. 3.
35. Dilly, O., Microbial Energetics in Soils, in *Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions*, A. Varma and F. Buscot, Editors. 2005, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 123-138.
36. Lal, R., Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 2004. 123(1-2): p. 1-22.
37. Gainey, P.L., Parallel Formation of Carbon Dioxide, Ammonia, and Nitrate in Soil. *Soil Science*, 1919. 7(4): p. 293-312.
38. Haney, R.L., W.H. Brinton, and E. Evans, Estimating Soil Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Mineralization from Short-Term Carbon Dioxide Respiration. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2008. 39(17-18): p. 2706-2720.
39. Kocak, B. and C. Darici, Priming effects of leaves of *Laurus nobilis* L. and 1,8-cineole on carbon mineralization. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2016. 76(1): p. 100-104.
40. Sagliker, H.A., et al., Is parent material an important factor in soil carbon and nitrogen mineralization ? *European Journal of Soil Biology*, 2018. 89: p. 45-50.
41. Franzluebbers, A.J., Potential C and N mineralization and microbial biomass from intact and increasingly disturbed soils of varying texture. *Soil Biology & Biochemistry*, 1999. 31(8): p. 1083-1090.
42. Franzluebbers, A.J., et al., Flush of carbon dioxide following rewetting of dried soil relates to active organic pools. *Soil Science Society of America Journal*, 2000. 64(2): p. 613-623.
43. Haney, R.L., et al., Soil C extracted with water or K₂SO₄: pH effect on determination of microbial biomass. *Canadian Journal of Soil Science*, 1999. 79(4): p. 529-533.

44. Aka Sagliker, H., et al., Effects of Imazamox on Soil Carbon and Nitrogen Mineralization under Two Different Humidity Conditions. *Ekoloji*, 2014. 23(91): p. 22-28.
45. Abdelhafid, R., S. Houot, and E. Barriuso, How increasing availabilities of carbon and nitrogen affect atrazine behaviour in soils. *Biology and Fertility of Soils*, 2000. 30(4): p. 333-340.
46. Haney, R.L., et al., Soil carbon and nitrogen mineralization as affected by atrazine and glyphosate. *Biology and Fertility of Soils*, 2002. 35(1): p. 35-40.
47. Moreno, J.L., et al., Effects of atrazine on microbial activity in semiarid soil. *Applied Soil Ecology*, 2007. 35(1): p. 120-127.
48. Bonfleur, E.J., et al., The Effects of Glyphosate and Atrazine Mixture on Soil Microbial Population and Subsequent Impacts on Their Fate in a Tropical Soil. *Water Air and Soil Pollution*, 2015. 226(2).
49. Haney, R.L., et al., Effect of glyphosate on soil microbial activity and biomass. *Weed Science*, 2000. 48(1): p. 89-93.
50. Eser, F., H.A. Sagliker, and C. Darici, The effects of glyphosate isopropylamine and trifluralin on the carbon mineralization of olive tree soils. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2007. 31(5): p. 297-302.
51. Zabaloy, M.C. and M.A. Gomez, Microbial respiration in soils of the Argentine Pampas after metsulfuron methyl, 2,4-D, and glyphosate treatments. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2008. 39(3-4): p. 370-385.
52. Sagliker, H.A., Carbon Mineralisation in Orange Grove Soils Treated with Different Doses of Glyphosate-Amine Salt. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 2018. 19(3): p. 1102-1110.