

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNDE ÖRTÜ BİTKİLERİNİN ROLÜ VE ÖNEMİ

Gülcan Demiroğlu Topçu^{1,a,*}, Şükrü Sezgi Özkan^{1,b}, Masoud Hamidi^{2,c}


¹ Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, İzmir, Türkiye


² Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye


* Sorumlu Yazar:

E- posta: gulcan.demiroglu.topcu@ege.edu.tr

(Geliş tarihi: 29 Mayıs 2020; kabul tarihi: 08 Ağustos 2020)

a:  <https://orcid.org/0000-0002-5978-4183>

b:  <https://orcid.org/0000-0001-5989-0384>

c:  <https://orcid.org/0000-0001-5280-2214>

ÖZET. Topraklar ve atmosfer arasındaki ekosistemdeki karbondioksit ve nitroz oksit değişimleri iklim değişikliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, toprakların sürdürülebilir kullanımı, iklim değişikliğinin etkilerini ve ilerlemesini azaltmak için kullanılabilen bir etkidir. İklim değişikliği; öncelikle insan faaliyetleri tarafından yönlendirilmekte ve günümüzde gerçekleşmektedir. Örtü bitkilerinin kullanım alanları oldukça geniştir ve yetiştiriciliği ile iklim değişikliğini azaltmak için sürdürülebilir ve etkili bir önlem olduğu sonucuna varmaktadır. Örtü bitkileri, nitrat sızıntısını azaltıp, toprağa azot kazandırarak, toprakta karbon tutmayı artırarak ve toprak erozyonunu azaltarak sera gazları emisyonlarını azaltabilmektedir.

Anahtar kelimeleri: İklim değişikliği, örtü bitkileri, sera gazları

THE ROLE AND IMPORTANCE OF COVER CROPS IN CLIMATE CHANGE

ABSTRACT. Ecosystem carbon dioxide and nitrous oxide changes between soils and atmosphere play an important role in climate change. Therefore, sustainable use of soils is a factor that can be used to reduce the effects and progress of climate change. Climate change; it is primarily guided by human activities and occurs today. Cover crops are widely used, and concludes that it is a sustainable and effective measure to reduce cultivation and climate change. Cover crops can reduce greenhouse gas emissions by reducing nitrate leakage, adding nitrogen to the soil, increasing carbon retention in soil and reducing soil erosion.

Key words: climate change, cover crops, greenhouse gas emissions

GİRİŞ

Modern tarım, son yıllarda artan iklim değişikliği nedeniyle gıda üretme zorluğu ile karşı karşıya kalmakta [1] ve küresel iklim değişikliğinin ana nedeninin insan faaliyetleri sonucunda sera gazı emisyonlarında gözlenen artış olduğunu bilinmektedir. Tarım uğraşı; sera gazının ve ayrıca su tüketiminin önemli bir sebebidir [2].

Tarımsal faaliyetler; üç ana sera gazı olan karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve nitroz oksit (N₂O) için bir kaynak konumundadır. Sera gazı emisyonlarını ve su tüketimini en aza indirme konusundaki zorunluluklar; sürdürülebilir sistemlerin geliştirilmesi yani sıra daha fazla ekosistem ile uyum sağlanarak çevresel sorunların azaltılması için tarımsal uygulamaların yeniden düzenlenmesini zorunlu kılmaktadır [3, 4].

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE SERA GAZLARI

İklim değişikliği; yıllar boyunca atmosferin uzun vadeli durumunda görülen sistematik bir değişiklik olarak tanımlanmaktadır [5]. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)'ne göre, atmosferde sera gazlarının (karbon dioksit, metan, azot oksit) ve su buharı birikmesi, atmosferin radyasyon dengesini değiştirmektedir [6]. Bu durum, Dünya yüzeyinin ısınmasına yol açmaktadır. Çünkü sera gazları, Dünya yüzeyinin ısı radyasyonunun bir kısmını absorbe etmekte ve tekrar yüzeye doğru iletmektedir [7].

Ana sera gazları (CO₂, CH₄ ve N₂O) arasında, N₂O; en yüksek küresel ısınma potansiyeline sahiptir. Tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanım faaliyetleri 2007-2016 döneminde küresel olarak insan faaliyetlerinden kaynaklanan %13 karbondioksit (CO₂), %44 metan (CH₄) ve %82 azot oksit (N₂O) emisyonlarını oluşturmakta ve toplam net antropojenik emisyonlarının %23'ünü temsil etmektedir [8, 9]. N₂O'nun tüm emisyonlarının yaklaşık %65'i topraktan gelmekte ve aerobik nitrifikasyon ile anaerobik denitrifikasyondan kaynaklanmaktadır [10]. N₂O emisyonu esas olarak tarımsal faaliyetlerle bağlantılıdır ve azotlu gübre uygulaması ile toprakta azot konsantrasyonları artış göstermektedir [11].

Topraklar ve atmosfer arasındaki ekosistem CO₂ ve N₂O iklim değişikliğinde önemli rol oynamaktadır [12]. 2010 yılında; tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımlarından kaynaklanan küresel emisyonlar 10 milyar tondan fazla CO₂ eşdeğeridir (CO₂ e = CO₂ eşdeğeri = CO₂'ye normalize edilmiş tüm sera gazı toplam etkisi) [13]. Hayvancılık, enterik fermantasyonu veya geviş getiren hayvanların sindirim sistemlerinde meydana gelen fermantasyon ise metan (CH₄) emisyonu ile sonuçlanmaktadır [14].

ÖRTÜ BİTKİLERİ

Örtü bitkisi; toprak örtüsü sağlamak için ekim dönemleri arasında yetiştirilen ve hasat edilmeyen bir otsu veya baklagil bitkisi olarak tanımlanmaktadır [15]. Örtü bitkilerinin en önemli yararı; su akışını ve toprak erozyonunu azaltmalarıdır [16]. Çıplak topraktakine kıyasla evapotranspirasyonu değiştirerek toprak suyu dinamiklerini doğrudan etkilemektedirler [17, 18]. Toprak yapısını ve toprak sağlığını iyileştirme, toprak gözenekliliği ve infiltrasyonu artırma, zararlıları azaltma, toprak mikrobiyolojisini geliştirme, bitki besini üretme, toprağın sıkışmasını azaltma, besin geri dönüşümünü artırma, bir yıllık kışlık yabancı otların kontrolüne yardımcı olma ve zaman içinde verim potansiyelini artırma vb. örtü bitkilerinin diğer sağladığı yararlar arasında yer almaktadır [19].

Örtü bitkileri oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir ve bitki rotasyonuna dahil edildiklerinde çeşitli kullanım olanakları sunmaktadır. Örtü bitkileri; yeşil gübreler, yaşayan veya canlı malçlar (yaşayan malçlar ana ürün sıraları arasında güneş ışığını engelleyerek ve su ve besin maddeleri için yabancı otlar ile rekabet ederek onları bastırır), kalıntı malç (yüksek kalıntılı örtü malçları, toprak koruma programlarında kullanım için iyi uyarlanmış olup örtü bitkisi kalıntısı malç olarak toprak yüzeyinin üzerinde bırakılır), ara ürün (tipik olarak kısa bir süre yetiştirilir ve toprakta kök bölgesinde besin maddeleri tutarak yıkanmalarını azaltmak için endüstri bitkisi hasat edildikten sonra ara bitki olarak ekilir) ve özellikle de yem bitkisi olarak değerlendirilebilmektedirler [16].

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE ÖRTÜ BİTKİLERİ

Yakıt tüketiminin azaltılması, toprak karbon sekestrasyonunun arttırılması ve azot kullanım verimliliğinin geliştirilmesi, geniş getiren hayvanların sindirim verimliliğinin arttırılması ve tarımdaki gübre ve diğer atıklardan kaynaklanan gaz emisyonlarının yakalanması sera gazların emisyonunu azaltabilmektedir [20]. Bu nedenle, toprakların sürdürülebilir kullanımında iklim değişikliği önemli yer teşkil etmektedir [21].

Örtü bitkileri; erozyonu azaltma, atmosferdeki azot miktarını düzenleme, azotlu suyu azaltma, toprak sağlığını iyileştirme vb. yetenekleri nedeniyle uzun zamandır kullanılmaktadır. Son yıllarda, iklim değişikliği konusunda artan farkındalıkla eşzamanlı olarak tekrar gündeme gelmişlerdir. Günümüzde, örtü bitkilerinin topraktan karbon (C) sekanslarını ve sera gazı emisyonlarını nasıl etkilediğini değerlendiren bir dizi analiz ortaya konulmuştur [22, 23].

Örtü bitkileri sera gazları emisyonlarının azaltılmasında son derece etkilidir. Farklı türlerdeki örtü bitkileri, farklı yararlar sağlamaktadır. Üreticiler, üretim alanları için uygun örtü bitkilerini seçerken, öncelikle birincil hedeflerinin ne olduğuna karar vermelidir. Örtü bitkileri, hasat edilerek değil, toprağa veya çevresel kaliteye yarar sağlamaları amacı ile ekilmektedirler [24]. Özellikle, NO₃ sızıntısını azaltması, toprağa N sağlaması, toprakta C tutmayı arttırması ve toprak erozyonunu engellemesi ile sera gazları emisyonlarını azaltabilmektedirler.

Bitki rotasyonlarında; özellikle nadas dönemlerinde örtü bitkisi yetiştiriciliği, biyokütle üretimi yardımıyla toprağa C kalıntılarının girişini arttırmanın önemli bir yoludur. Bu bitkiler, genellikle yaz sonunda ekilir ve birkaç ay sonra hasat edilmekte veya toprağa karıştırılmaktadır [25]. Çevreye yarar sağlayan çeşitli ekosistem hizmetleri açısından da kabiliyetleri yüksektir. Genellikle yağmurlu dönemler olan sonbahar ve kış aylarında meydana gelen ve özellikle su kirliliğine yol açabilen drenaj problemlerinde nitrat sızıntısını azalttıkları bilinmektedir. Doğru yönetildiklerinde, organik maddeyi toprağa geri kazandırarak bir sonraki ürünün N kullanımını da arttırmaktadırlar [26]. Toprakta organik C ve N miktarını uzun vadede iyileştirmekte ve zamanla mineralize olduklarında agroekosisteme besin sağlamaktadırlar [27].

Baklagiller, rizobiyal bakterilerin yardımıyla, toprağı zenginleştirmek için N sağlamaktadırlar. Börülce (*Vigna unguiculata*) ve fiğ (*Vicia spp.*) genellikle yüksek fiksasyon oranlarına sahiptir. Börülce toprağı erozyondan korur, yabancı otları engeller ve 45.35 ila 68 kg NA⁻¹ üretir. Bu N salınımı, örtü bitkileri sürülerek toprağa karıştırıldığında, yüzeyde bırakıldığından daha hızlı gerçekleşmektedir. Tüylü fiğ (*Vicia villosa* L.) sürüldükten 7 ila 10 gün sonra 63.5 kg NA⁻¹ ölçülmüştür [28]. Meta-analiz, baklagil biyokütlesi ≥ 110 kg N/ha göstermiştir [26].

Örtü bitkileri; sürgün ve kök biyokütlesi bünyesinde, toprağın organik maddesinde C'nin sekestrasyonu yolu ile atmosfere karbon dioksit (CO₂) olarak yayılacak C'yi depolayabilmektedirler [29]. Bu döngülerin etkisi, özellikle N₂O ve CO₂'nin sera gazı emisyonlarını etkilemekte ve iklim değişikliğini azaltmaya yardımcı olabilmektedirler [30]. Örtü bitkileri, küresel ekili alanların %25'ine uygulandığında yaklaşık 0.44±0.11 milyar ton CO₂ yıl⁻¹ kullanacakları öngörülmektedir [9]. Bazı araştırmacılar; örtü bitkilerinin N₂O emisyonlarını artırabileceği, hem de çevresel ve yönetim faktörlerine (N gübreleme) bağlı olarak etki gösterilebileceklerini belirtmişlerdir [22, 31].

Yüksek nitrat seviyeleri, azotlu gübrelerin aşırı kullanımı ve toprak organik maddesinin mineralizasyonu ile doğal nitrat üretiminden kaynaklanmaktadır [32]. Bu

uygulanan gübre N'nin yaklaşık % 50'si tarım arazilerinden kaybolmaktadır [26]. Nitrat formundaki azot, en çok suda çözünmekte ve bu nedenle sızıntıya karşı en savunmasız formdur. Toprak çıplakken ve yağmur yağınca, nitratlar harekete geçmektedir. Eğer bitki, uygulanan tüm N'yi kullanmadıysa, ekim mevsiminin sonunda toprakta nitrat bulunabilmektedir. Yıllık N uygulamasının bitki ihtiyaçlarına en uygun olduğu bir alanda bile, nitratlar ürün toplandıktan sonra birikmekte ve yağmur yağdığında sızıntı olabilmektedir. Örtü bitkileri, agroekosistemlerden gelen NO₃ sızıntısını azaltmak için iyi bir araç olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, bunların etkinliği toprağa, endüstri ve örtü bitkileri yönetimi ve iklime bağlı olarak bölgeden bölgeye ve yıldan yıla değişebilmektedir [33].

Örtü bitkileri, nitrat sızıntısını iki şekilde azaltmaktadır. Kendi ihtiyaçları için mevcut nitratı emmekte ve aynı zamanda, bir miktar toprak nemini kullanarak besin maddelerinin sızmamaları için mevcut su miktarını azaltmaktadır [28]. Baklagil olmayan örtü bitkilerinin, tatlı su sistemlerine sızan NO₃ miktarını ortalama %56 oranında önemli ölçüde azaltabileceği saptanmıştır [33]. Amerika Birleşik Devletleri'nde çavdar (*Secale cereale* L.) beş yıl boyunca kışlık ürün olarak yetiştirildiğinde, drenaj suyu NO₃ konsantrasyonlarını ortalama %48 oranında azalttığı sonucuna varılmıştır [34].

Dünya toprakları, atmosferik CO₂ konsantrasyonunun önemli zenginleştirme kaynağı olmuştur. Toprak organik karbon havuzunun azaltılması, toprak drenajı, çiftçilik, bitki kalıntısının uzaklaştırılması, biyokütle yakma, düşük girdili tarım ve erozyon vb. diğer süreçlerle toprak kirliliği ve dejenerasyonu artmaktadır [35]. Tarım sektöründeki karbon tutumu, tarım arazilerinin ve ormanların atmosferden karbondioksiti bağlama kapasitesini ifade etmektedir. Toprakta karbon tutulması ciddi iklim değişikliğini sınırlamada uluslararası hedeflere önemli ölçüde katkıda sağlayabilmektedir. Ormanların, ekili alanların ve özellikle meraların yönetimindeki değişiklikler, toprağın organik karbon tutma potansiyelini yükseltmekte ve toprak verimliliğini arttırmakta, nem tutmayı ve iklim değişikliğini azaltmakta ve bir kazan-kazan stratejisi olabilmektedir [26]. Agroekosistemlerde, küresel değişim ve yönetim arasında, toprağın atmosferik C için bir kaynak olup olmayacağını belirleyecek güçlü bir etkileşim olması muhtemeldir. Özellikle, toprak C daha yoğun ekim sistemlerine, azalan nadas frekansı ve artan kalıntı C girişleri ile pozitif tepki vermektedir. Dolayısıyla, iklimin olumsuz yönlerini azaltmak veya olumlu etkileri arttırmak için güçlü bir potansiyel olabilmektedir. Eğer bu yönetimin, bitki mikro iklimi, toprak su dengesi ve besin seviyeleri de dahil olmak üzere toprak C'yi kontrol eden çok çeşitli faktörleri etkilediğini düşünülürse bu şaşırtıcı olmayacaktır [36]. Yönetim uygulamalarında özellikle örtü bitkileri toprağın organik karbon havuzunu güçlendirmektedir [35]. Organik karbon toprağın fiziksel durumunu iyileştirmekte ve sonuç olarak net CO₂ emisyonunu düşürmektedir [8, 35]. C fiksasyon oranları, doğrudan ekim sistemi için 0.85 ton ha⁻¹ yıl⁻¹ ve çok yıllık ağaç aralarında uygulanan örtü bitkileri için 1.54 ton ha⁻¹ yıl⁻¹ olarak belirlenmiştir [37, 38]. Meta analiz (örtü bitkilerinin ekimi yoluyla tarım topraklarında karbon tutulması) sonucu dünya çapında mevcut örtü bitkisi çalışmalarının çoğunu göstermiştir ve ortalama yıllık toprak organik karbon tutulması 0.32 ± 0.08 ton ha⁻¹ yıl⁻¹ ve maksimum 16.7 ton ha⁻¹ yıl⁻¹ kadar bulunmuştur. Potansiyel ekim alanlarının geniş mekânsal kapsamı ile birlikte nispeten yüksek tutulma oranı, örtü bitkilerinin yetiştiriciliğini kapsayan sonucun iklim değişikliğini azaltmak için sürdürülebilir ve etkili bir önlem olduğu sonucuna varmaktadır [23, 39].

Arazi kullanım değişikliği ve ilgili arazi değişim süreçleri (erozyon, toprak işleme işlemleri, biyokütle yakma, aşırı gübreler, kalıntıların uzaklaştırılması ve turba

arazilerinin drenajı) nedeniyle mevcut karbon kaybı oranı 0.7 ila 2.1 milyar ton karbon yıl⁻¹ arasında değişmektedir. Toprak erozyonu, toprak karbonu kaybı nedeniyle başlıca arazi bozulma sürecidir. Toprak organik maddesi toprak yüzeyinde yoğunlaştığı için, toprak erozyonu toprak karbonunun hızla tükenmesine yol açmaktadır [8, 40]. Küresel olarak, erozyon 201 milyar ton toprak kaybına neden olmakta ve bu toprak kaybı yılda 0.8 ile 1.2 milyar ton yayılan karbona karşılık gelmektedir. Toprak erozyonu nedeni ile Afrika, Asya ve Güney Amerika yılda 0.60 ile 0.92 milyar ton arasında karbon salmaktadır. Tarım topraklarının akarsulara ve nehirlerle akarak yıkanması önlenmelidir. Örtü bitkilerinin sera gazları azaltışları yılda hektar başına 1.7 ila 2.4 ton CO₂ iken, sadece bitki rotasyonu yapılan alanların yılda hektar başına 0.7 ile 1.5 ton CO₂'dir. Üçlü ekim sistemlerinde daha yüksek karbon tutma oranlarına yönelik bir eğilim bulunmasına rağmen varyasyon oranı yüksektir [32]. Toprak, iklim ve ekim sistemlerindeki farklılıklar da ekim rotasyonu özelinde karbon tutulmasını etkilemektedir. Bitki yetiştirme tekniklerinin, azot yakalamasının etkinliğini en üst düzeye çıkarma ve sonraki ürün üzerindeki potansiyel olumsuz etkileri en aza indirme amacıyla toprak ve iklim koşulları ile ekim sistemine adapte edilmelerinin yarar sağlayacağı düşünülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğal dengenin insanoğlu tarafından bozulduğu ve bu bozulmaların olumsuz etkilerinin giderek arttığı günümüz Dünya'sında, küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkileri her alana hızla yayılmaktadır. Dünyanın içinde bulunduğu küresel iklim değişikliği krizi, mevcut üretim ve tüketim sistemleri devam ettiği sürece iyimser öngörüler yapmanın imkânsız olduğu kanaatini uyandırmaktadır. Bilindiği gibi iklim değişikliği de atmosferin, özellikleri nedeniyle tıpkı bir sera gibi yarı kapalı bir sistem oluşturması sonucunu doğurmaktadır. İklim değişikliği ve örtü bitkileri yetiştiriciliği ile C sekestrasyonu, drenaj ve sera gazı emisyonları gibi çeşitli değişkenler arasında olumlu ilişkiler olduğu aşikârdır. Örtü bitkilerinin sera gazı dengesini azaltma yeteneğinin en üst düzeye çıkarılması için bitki habituslarının optimum seviyeye ulaştırılması gerektirmektedir. Hedeflere bağlı olarak, yetiştirilecek bölgenin koşullarına göre en uygun tarihlerde örtü bitkileri ekilmeli, bitki büyüme ve gelişmesi için yeterli süre sağlanarak rotasyon planları optimize edilmelidir. Örtü bitkilerinin kullanımının yaygınlaştırılması, agroekosistemlerin gelişmesine ve eko-ekolojik üretimin teşvik edilmesi yanı sıra iklim değişikliğinin önemli ölçüde azaltılmasına katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] FAO (2012): Climate Change and Food Security, Climate Change Adaptation and Mitigation in Agriculture, 22p.
- [2] Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... & Balzer, C. (2011): Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342.
- [3] Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., ... & Scholes, B. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical transactions of the royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 789-813.
- [4] McKenzie, F. C., Williams, J. (2015): Sustainable food production: constraints, challenges and choices by 2050. *Food Security*, 7(2), 221-233.

- [5] Uejio, C. K., Mak, S., Manangan, A., Luber, G., Bartlett, K. H. (2015): Climatic Influences on *Cryptococcus gattii* Populations, Vancouver Island, Canada, 2002–2004. *Emerging infectious diseases*, 21(11), 1989.
- [6] National Research Council (2012): *Climate Change: Evidence, Impacts, and Choices: Set of 2 Booklets, with DVD*. National Academies Press.
- [7] UNFCCC (2011): *Fact Sheet: Climate Change Science - The Status of Climate Change Science Today*, 7p.
- [8] The World Bank (2012): *Carbon Sequestration in Agricultural Soils*, International Bank for Reconstruction and Development/International Development Association or The World Bank, 118p.
- [9] IPCC (2019): *Climate Change and Land, IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems*, 43p.
- [10] Smith, K. A. (1997): The Potential For Feedback Effects Induced By Global Warming on Emissions of Nitrous Oxide By Soils, *Journal of the Global Change Biology* 3, 327–338 pp.
- [11] Signor, D., Cerri, C. E. P., Conant, R. (2013): N₂O Emissions due to Nitrogen Fertilizer Applications in Two Regions of Sugarcane Cultivation in Brazil, *Journal of the Environ. Res. Lett.* 8, 9p.
- [12] Xu, X. O., Tian, H. and Hui, D. (2008): Convergence in The Relationship of CO₂ and N₂O Exchanges Between Soil and Atmosphere Within Terrestrial Ecosystems, *Journal of the Global Change Biology* 14, 1651-1660 pp.
- [13] FAO (2014): *Greenhouse Gas Emissions from Agriculture, Forestry and Other Land Use*, 1p.
- [14] ATTRA (2009): *Agriculture, Climate Change and Carbon Sequestration*, National Sustainable Agriculture Information Service, 16p.
- [15] Roberts, T., Ortel, C., Hoegenauer, K., Wright, H., Brown, S. M. (2018): *Understanding Cover Crops*, University of Arkansas System, 8p.
- [16] Wszelaki, A., Broughton, S. (2012): *Cover Crops and Green Manures*, University of Tennessee Institute of Agriculture, 4p.
- [17] Justes, E., Mary, B., Nicolardot, B. (1999): Comparing the effectiveness of radish cover crop ,oilseed rape volunteers and oilseed rape residues incorporation for reducing nitrate leaching. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 55, 207-220.
- [18] Bodner, G., Loiskandl, W., Kaul, H. P. (2007): Cover crop evapotranspiration under semi-arid conditions using FAO dual crop coefficient method with water stress compensation. *Agricultural Water Management*, 93, 85-98
- [19] NRCS (2013): *Cover Crop Benefits & Opportunities*, United States Department of Agriculture, 2p.
- [20] ASA, CSSA, SSSA (2010): *Agriculture's Role in Greenhouse Gas Emissions & Capture*, 20p.
- [21] Halldorsson, G., Sigurdsson, B. D., Gudmundsson, J., Kätterer, T., Singh, B. R., Arnalds, A. (2015): *Soil Carbon Sequestration - For Climate, Food Security and Ecosystem Services*, Nordic Council of Ministers, Denmark, 16p.
- [22] Basche, A.D., Miguez, F.E., Kaspar, T.C., Castellano, M.J. (2014): Do cover crops increase or decrease nitrous oxide emissions? A meta-analysis. *Journal of Soil and Water Conservation*, 69, 471-482
- [23] Poeplau, C., Don, A. (2015): Carbon Sequestration in Agricultural Soils via Cultivation of Cover Crops - A Meta Analysis, *Journal of the Agriculture, Ecosystems and Environment* 200, 33-41pp.
- [24] Kladivko, E. (2011): *Cover Crops for Modern Cropping Systems*, Purdue University, 3p.
- [25] Demiroğlu Topçu, G., Özkan, Ş.S., Özçelik, A.E., Acaroğlu, M. (2017): Investigation of Agronomic Techniques of Sunn Hemp (*Crotalaria juncea* L.) as an Alternative Forage and

- Energy Crop in Turkey, 1st International Conference on Energy and Thermal Engineering, 25-28 April 2017, Proceedings Book, Pp:333, Istanbul/Turkey.
- [26] Tonitto, C., David, M. B., Drinkwater, L. E. (2006): Replacing Bare Fallows with Cover Crops in Fertilizer-Intensive Cropping Systems: A Meta-Analysis of Crop Yield and N Dynamics, *Journal of the Agriculture, Ecosystems and Environment* 112, 58-72.
- [27] Constantin, J., Le Bas, C., Justes, E. (2015): Large-scale assessment of optimal emergence and destruction dates for cover crops to reduce nitrate leaching in temperate conditions using the STICS soil-crop model. *European Journal of Agronomy*, 69, 75-87.
- [28] Clark, A. (2007): *Managing Cover Crops Profitably*, Published by The Sustainable Agriculture Network, Beltsville, MD, 248p.
- [29] Thompson, S. L., Govindasamy, B., Mirin, A., Caldeira, K., Delire, C., Milovich, J., Erickson, D. (2004): Quantifying the effects of CO₂-fertilized vegetation on future global climate and carbon dynamics. *Geophysical Research Letters*, 31(23).
- [30] Kaye, J.P., Quemada, M. (2017): Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 4.
- [31] Peyrard, C., Mary, B., Perrin, P., Véricel, G., Gréhan, E., Justes, E., Léonard, J. (2016): N₂O emissions of low input cropping systems as affected by legume and cover crops use. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 224, 145-156.
- [32] INRA (2012): *The Use of Cover Crops to Reduce Nitrate Leaching Effect On The Water and Nitrogen Balance and Other Ecosystem Services*, Delegation of Scientific Expertise, Foresight and Advanced Studies, 8p.
- [33] Thapa, R., Mirsky, S. B. and Tully, K. (2018): Cover Crops Reduce Nitrate Leaching in Agroecosystems A Global Meta-Analysis, *Journal of the Environmental Quality*, 12p.
- [34] Kaspar, T. C., Jaynes, D. B., Parkin, T. B., Moorman, T. B. and Singer, J. W. (2012): Effectiveness Of Oat And Rye Cover Crops İn Reducing Nitrate Losses in Drainage Water, *Journal of the Agricultural Water Management* 110, 25-33pp.
- [35] Lal, R. (2006): Carbon Management In Agricultural Soils, *Journal of the Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12: 303-322.
- [36] Paustian, K., Elliott, E. T., Peterson, G. A. and Killian, K. (1996): Modelling Climate, CO₂ and Management Impacts on Soil Carbon In Semi-Arid Agroecosystems, *Journal of the Plant and Soil*, Vol. 187, No. 2, 110, 351-365.
- [37] González-Sánchez, E. J., Ordóñez-Fernández, R., Carbonell-Bojollo, R., Veroz-González, O., & Gil-Ribes, J. A. (2012): Meta-analysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture. *Soil and Tillage Research*, 122, 52-60.
- [38] Thorup-Kristensen, K., Rasmussen, C.R. (2015): Identifying new deep-rooted plant species suitable as undersown nitrogen catch crops. *JSoil Water Conserv* 70:399-409.
- [39] Tribouillois, H., Cohan, J. P., Justes, E. (2016): Cover crop mixtures including legume produce ecosystem services of nitrate capture and green manuring: assessment combining experimentation and modelling. *Plant and Soil*, 401, 347-364.
- [40] Guardia, G., Abalos, D., García-Marco, S., Quemada, M., Alonso-Ayuso, M., Cárdenas, L. M., Dixon, E. R., Vallejo, A. (2016): Effect of cover crops on greenhouse gas emissions in an irrigated field under integrated soil fertility management. *Biogeosciences* 13:5245-5257.