



Abiyotik Strese Karşı Tohuma Manyetik Alan Uygulaması: Manyetoşartlandırma

Uğur Sevilmiş^{1*}, Deniz Sevilmiş², Mehmet Emin Bilgili¹

¹Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Adana, Türkiye

²Yağlı Tohumlar Araştırma Enstitüsü, Osmaniye, Türkiye

* Corresponding author : sevilmissugur@yahoo.com
Orcid No: <https://orcid.org/0000-0003-3820-8387>

Received : 30/10/2019
Accepted : 12/04/2020

Özet: Abiyotik stres faktörleri, tohum çimlenmesi ve erken fide büyümesi gibi bitki büyümesinin kritik aşamalarında tarımsal üretim sistemlerine önemli etkiler yaparak verim üzerinde olumsuz etkiler yapmaktadır. Bu problemi çözmek için tohumlara ekim öncesi uygulanan kimyasal ve fiziksel işlemler, tuzluluk ve kuraklık koşulları altında çimlenme hızını arttıran ve eşzamanlı çıkışı sağlayan ümitvar bir tarımsal stres yönetim tekniği olarak hızla gelişim göstermektedir. Tohumlara uygulanan fiziksel yöntemlerden biri olan manyetik alan uygulaması, stresli çevresel koşullara karşı tarımsal ürünlerin toleransını artıran bir uygulama olarak son yıllarda öne çıkmaktadır. Uygulanan manyetik alan, tohumlarla etkileşime girmekte, metabolizmayı hızlandırmakta, sonuçta çimlenme, birincil ve ikincil metabolitlerin aktivasyonu, enzim aktiviteleri, besin ve su alımını iyileştirmektedir. Sonuçta manyetik alan uygulamaları sadece bitki büyüme ve gelişmesinin erken dönemlerinde değil tüm gelişim süreci boyunca bitkilere olumlu etki etmektedir. Bu derlemede, bu konuda yapılmış uluslararası alandaki az sayıdaki çalışma biraraya getirilmiş ve incelenmiştir.

Keywords: Manyetik alan, manyetoşartlandırma, tohum, abiyotik stres, çimlenme

Magnetic Field Application to Seeds Against Abiotic Stress: Magnetopriming

Abstract: Abiotic stress factors have important effects on agricultural production systems especially during critical stages of plant growth such as seed germination and early seedling growth which have a reducing effect on yield. To solve this problem, chemical and physical applications to the seeds before planting are rapidly developing solutions as a promising agricultural stress management technique that increases the rate of germination and emergence under salinity and drought conditions. Magnetic field application, which is one of the physical methods applied to the seeds, is becoming prominent in recent years that increases the tolerance of crops against stressful environmental conditions. The applied magnetic field interacts with the seeds, accelerates metabolism, improves germination, activate primary and secondary metabolites, enzyme activities and nutrient and water uptake. As a result, magnetic field applications have positive effects on plants not only in the early stages of plant growth and development but also throughout the entire lifecycle of crops. In this review, a limited number of international studies on this subject were clustered and analysed.

Anahtar Kelimeler: Magnetic field, magnetopriming, seed, abiotic stress, germination

1. Giriş

Abiyotik stres faktörleri, küresel olarak, sürdürülebilir tarımsal üretimin önünde büyük engel teşkil etmektedir. Tohum çimlenmesi ve erken dönemde fide büyümesi, stres koşullarında bitki büyümesinin en kritik aşamaları olarak kabul edilmektedir (Anand, 2014). Bu stres faktörlerinden biri olan toprak tuzlanması, kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal üretimde büyük bir problem teşkil etmektedir. Tuzlu bölgelerde tuza dayanıklı türlerin veya çeşitlerin tespiti ve kullanımının yanı sıra, tuz stresinin etkilerini hafifletecek tohum uygulamalarının kullanılması, bu gibi

olumsuz koşullarda tarımsal üretimin sürdürülebilirliği için umut verici bir çözümdür (Costa ve ark., 2018). Ekim sonrası tuz stresine maruz kalacak bitki tohumlarına kimyasal, biyolojik ve fiziksel şartlandırma işlemleri başarıyla uygulanmaktadır. Bu uygulamalar, tohumun veya bitkinin tuza maruz kaldıktan sonra daha hızlı ve uygun tepki vermesini sağlayan fizyolojik ve moleküler yolları aktive edebilmektedirler (Costa ve ark., 2018). Tohuma ekim öncesi yapılan şartlandırma uygulamaları, çimlenme hızını arttıran ve böylece eşzamanlı çıkışı sağlayan ümit verici bir tarımsal stres yönetim tekniği olarak oldukça gelişim göstermeye başlamıştır. Tohumların sürme gücü,

önemli bir tohum kalite parametresidir ve tarımsal üretimde önemli bir rol oynamaktadır. Genelde hasat ve depolama sırasında da tohum kalitesi bir miktar düşer ve bir ekonomik kayıp ortaya çıkar. Uygun tarla yönetim stratejilerinin yanı sıra, çeşitli tohum hazırlama teknikleri tohum kalitesini iyileştirilebilir kapasitesindedir (Khan ve ark., 2017). Tohum teknolojisi açısından genelde bitkisel üretimde verimi arttırmak için kullanılan fiziksel yöntemler, kimyasal madde kullanan geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında avantajlara sahiptir. Tohumların sürme gücünü arttırmaya yönelik fiziksel yöntemler, gen ifadesindeki değişiklikleri, yapısal ve morfolojik değişimleri ve metabolit veya protein birikimini etkileyerek iyileştirme sağlarlar. Tohumlara ekim öncesi uygulanan fiziksel yöntemler, mikrodalga ile ışınlama, iyonize edici radyasyon uygulama ve manyetoşartlandırmadır (magnetopriming) (Rehman ve ark., 2019).

Manyetoşartlandırma (tohumların manyetik alana maruz bırakılması), abiyotik stres altında tohumların sürme gücünü geliştiren ve bitki standının düzgün oluşmasına yardımcı olan bir fiziksel uyarıcı özelliği göstermektedir (Anand, 2014). Manyetoşartlandırma, topraktaki kuraklık ve tuz gibi abiyotik stres koşullarında, bitkilerde bulunan antioksidanları artırıp oksidatif stresi azaltarak stresin olumsuz etkilerini azaltmaktadır (Radhakrishnan, 2019). Dünyanın manyetik alanı, çevrenin doğal bir bileşenidir ve bitkiler dahil canlı organizmalar için kaçınılmaz bir çevresel faktördür. Dünya yüzeyindeki jeomanyetik alanın yoğunluğu, ekvatorda 35 μ T (mikro Tesla), kutuplarda 70 μ T civarındadır. Manyetik ortamdaki değişim bitkilerin gelişimini de değiştirebilir (Guruprasad ve ark., 2016).

2. Tarla Bitkileri Alanında Yapılmış Çalışmalar

Anand, (2014), mısır, buğday ve nohut üzerinde, su eksikliği ve tuzluluk altında manyetoşartlandırma denemeleri yapmış, tohumun su emme özelliklerinin iyileştiğini, fide çimlenme gücünün artarak tohumların daha hızlı çimlendiğini tespit etmiştir. Tohumları manyetoşartlandırılmış olan ve her iki büyüme koşulunda da daha hızlı çimlenmekte olan fidelerde gözlemlendiği artan hidrojen peroksit seviyelerinin, manyetoşartlandırmanın tohum çimlenme sürecinde oksidatif sinyal düzeyindeki rolünü ortaya koyduğunu bildirmiştir. Kontrollü koşullarda yürüttüğü denemelerde, yüksek fotosentetik verim ve Na^+ 'nın dengeli bir şekilde dağıtılması, manyetoşartlandırılmış tohumlardan tuzluluk altında elde edilen verimin artması ile sonuçlandığını tespit etmiştir.

Rathod ve Anand, (2016), tuza duyarlı olan HD 2967 ve tuza toleranslı olan Kharchia 65 buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinin tohumlarını, 50 mT (2 saat) statik manyetik alana maruz bırakmış ve fide aşamasından oluma kadar bitkileri tuz stresine (150 mM NaCl) maruz bırakmıştır. Manyetoşartlandırma, hem tuzsuz hem de tuzlu koşullarda her iki genotipin bitki boyu, yaprak alanı ve kuru biyomas ağırlığında önemli artışlar yapmıştır. Tuz stresi altında, manyetoşartlandırma uygulanan tohumlardan elde edilen bitkilerdeki tüm bitki parçalarında Na^+ / K^+ oranı, kontrole kıyasla daha düşük olmuştur. Tuzlu koşullarda, tuza dayanıklı olan çeşit, elektoroşartlandırma

uygulanmasından, hassas olandan daha fazla fayda sağlamış ve manyetoşartlandırma yapılmayan ve tuzsuz koşullarda yetiştirilen bitkiler kadar verim vermiştir.

Balakhnina ve ark., (2015), buğday (*Triticum aestivum* L.) tohumlarına 30 mT, 50 Hz, 30 s manyetik alan uygulamasının (+MF) su basması koşullarında (FI) yetiştirilen tohumların çimlenmesi, fide büyüme oranı ve bitki toleransına etkisini araştırmışlardır. MF, toprağın optimum sulanması durumunda büyüme süreçlerini uyarınmıştır. Oksidatif işlemlerin yoğunluğunu yansıtan tiyobarbitürik asit miktarı, MF uygulanmış tohumlardan elde edilmiş bitkilerin yapraklarında uygulanmamış bitkilerinden daha düşük olmuştur. Tohumlara 30 mT, 50 Hz, 30 s manyetoşartlandırma uygulaması, su basması altında buğday tohumlarının çimlenmesini ve büyümesini teşvik etmemiş ancak bitki antioksidan potansiyelinin artmasına neden olmuştur.

Shine ve ark., (2017), tohumların biyostimülasyonu amacıyla sabit manyetik alan uygulamasının mısır bitkisinde (*Zea mays* L.) ortaya çıkardığı fizyokimyasal değişiklikleri laboratuvar koşullarında incelemiştir. Manyetoşartlandırma sonrası, çimlenme yüzdesi, çimlenme hızı, fide uzunluğu, taze ağırlığı, kuru ağırlığı ve sürme gücü indeksleri gibi çimlenme ile ilgili parametrelerde iyileşmeler tespit etmişlerdir. Fide uzunluğu ve sürme gücü, manyetoşartlandırma sonrası en fazla iyileşen parametreler (sırasıyla % 72 ve % 59) olmuştur. Reaktif oksijen türlerindeki değişimini anlamak için iki doz (60 dakika boyunca 200 mT ve 120 dakika boyunca 100 mT) kullanılarak bir aşama ileri bir çalışma daha yürütmüşlerdir. Elde edilen sonuçlar, manyetoşartlandırmanın, tohum çimlenmesi için bir biyostimulant olarak etkili bir şekilde kullanılabileceğini ve etkisinin, reaktif oksijen türleri bağlamında biyokimyasal olarak tanımlanabildiğini göstermiştir.

Javed ve ark., (2011), ekim öncesi tohumlara farklı düzeyde manyetoşartlandırma uygulamasının mısır bitkilerinde büyüme, klorofil pigmentleri, fotosentez, su ilişki özellikleri, floresans ve ozmoprotektan seviyeleri üzerine etkilerini normal ve kuraklık stresi koşullarında test etmişlerdir. İki mısır çeşidinin tohumlarını, farklı manyetoşartlandırma ($T_0 = 0$ mT; $T_1 = 100$ mT, 5 dakika; $T_2 = 100$ mT, 10 dakika; $T_3 = 150$ mT, 5 dakika ve $T_4 = 150$ mT, 10 dakika) ile muamele etmişlerdir. Manyetik ön işlemden geçirilmiş tohumlardan elde edilmiş bitkilerde klorofil a, A, E, gs, Ci ve fotokimyasal su verme ve fotokimyasal olmayan su verme işlemleri iyileşmiş, bu durum, kuraklığa bağlı olumsuz etkilerin büyüme üzerindeki etkilerini önemli ölçüde hafifletmiş, diğer özellikler üzerinde ise önemli bir etki göstermemiştir. Tüm manyetoşartlandırma uygulamalarının kuraklığın olumsuz etkilerini azaltmada faydalı olduğu görülmüş, en etkili uygulama olarak 10 dakika boyunca 100 ve 150 mT uygulaması bulunmuştur.

Baghel ve ark., (2019), tuz stresinin mısır tohumunun çimlenmesi, bitkilerin büyümesi, fotosentezi ve verimi üzerindeki zararlı etkilerinin azaltılmasında manyetoşartlandırma kullanımının etkinliğini incelemiştir.

Bu amaçla mısır tohumlarını 1 saat süresince 200 mT statik manyetik alana (SMF) tabi tutmuşlardır. Manyetoşartlamadan geçirilmiş mısır tohumları, tuzlu ve tuzsuz koşullarda, uygulama yapılmamış tohumlara kıyasla nispeten daha yüksek çimlenme yüzdesi ve çimlenme stresi tolerans indeksi göstermişlerdir. Tohumlara uygulama yapılması, yapılmamasına kıyasla, farklı tuz stresi altında NaCl (0, 25, 50, 75 ve 100 mM) fide kuvveti, bitki boyu, yaprak alanı ve biyokütle oluşumu gibi büyüme parametrelerini iyileştirmiştir. Fotosentetik pigmentler, PSII'nin fotokimyasal kuantum verimi (Fv / Fm), yaprak başına elektron taşınımı (ETo / CSm) ve reaksiyon merkezlerinin yoğunluğu (RC / CSm) uygulama sayesinde yükselmiştir. SMF uygulamasının bu uyarıcı etkisi, fotosentez ve stoma iletkenliği oranında da gözlemlenmiş ve bu, tuz stresi altında mısır bitkilerinin veriminin artmasıyla sonuçlanmıştır. Tuz toleransının geliştirilmesi için, mısır tohumlarının 1 saat boyunca 200 mT manyetik alan ile manyetoşartlandırılması etkili bir uygulama olarak tespit edilmiştir.

Baghel ve ark., (2016), manyetoşartlandırmanın soya (*Glycine max* L.) bitkisinin büyümesi üzerindeki tuz kaynaklı yan etkileri hafifletmedeki etkinliğini araştırmışlardır. Soya tohumlarını 1 saat boyunca 200 mT statik manyetik alana maruz bırakmışlar, uygulamanın büyüme, karbon ve azot metabolizması ve tohum verimi üzerindeki etkilerini farklı tuzluluk seviyelerinde (0, 25 ve 50 mM NaCl altında) değerlendirmişlerdir. Manyetoşartlandırma işlemi, muamele edilmemiş tohumlara kıyasla hem tuzsuz hem de tuzlu koşullar altında bitki büyüme özelliklerini, kök nodül sayısını, nodül taze ağırlığını, bitki biyokütle üretimi ve fotosentetik performansını önemli ölçüde arttırmıştır. Nitrat redüktaz aktivitesi, fotosentetik pigmentler ve net fotosentez oranı, uygulama yapılmamış tohumlara kıyasla uygulama yapılmış tohumlardan elde edilen bitkilerde daha yüksek olmuştur. Uygulama yapılması, kök nodüllerindeki hemechrome ve leghemoglobin içeriğini de arttırmıştır, ayrıca karbon ve azot metabolizması, soya verimi, bakla sayısı, tohum sayısı ve tohum ağırlığını tuzlu koşullar yanında tuzsuz koşullarda da arttırmıştır. Sonuç olarak, manyetoşartlandırma uygulaması, NaCl'nin soya üzerindeki olumsuz etkilerini etkili bir şekilde hafifletmiştir.

Kataria ve ark., (2019), yürüttükleri tarla denemesinde, tohumlarına 1 saat boyunca 200mT statik manyetik alan uyguladıkları soyada, tuz stresi altında büyüme, azot fiksasyonu, fotosentez, antioksidan sistem ve verimi incelemişlerdir. Tohuma manyetoşartlandırma uygulamasıyla, kontrole kıyasla yaprak alanı, özgül yaprak ağırlığı, fotosentez, nitrojenaz aktivitesi önemli derecede artarken; H₂O₂, askorbik asit ve antioksidan enzimler önemli ölçüde azalmış ve sonuçta, hem tuzlu hem de tuzsuz koşullar altında soyanın biyokütle üretimi, verimi ve hasat indeksi değerleri iyileşmiştir.

Hozayn ve Ahmed, (2019), triptofan veya askorbik asit ile birlikte uygulanan manyetoşartlandırmanın, tuzluluk altında (2000, 4000, 6000 ve 8000 ppm) çimlenen arpa (*Hordeum vulgare* L.) tohumlarının tuza tepkisini değiştirip değiştiremeyeceğini araştırmışlardır. Manyetoşartlama

uygulanmış tohumları, triptofan veya askorbik asit içeren çözeltiler ile sulamışlardır. Manyetoşartlanmayan tohumları kontrol olarak almışlardır. Çimlenme parametreleri, farklı tuzluluk seviyelerinde manyetoşartlandırma uygulamasıyla iyileşmiştir. Triptofan ve askorbik asit ile birlikte manyetoşartlanma uygulanan tohumların çimlenmesi ve tohum canlılığı, farklı tuzluluk seviyelerinde daha yüksek değerler vermiştir. Ayrıca bazı enzim, peroksidaz, polifenoloksidaz ve kitinaz aktiviteleri de önemli ölçüde artmıştır. Tuzluluk altında fide büyümesi sırasında, manyetoşartlandırılmış tohumlar 6000 ppm'e kadar tuz altında bu enzimlerin birikimini önemli ölçüde arttırmıştır.

Thomas ve ark., (2013), manyetoşartlamanın tuzlu koşullar altında nohut (*Cicer arietinum* L.) tohumlarının çimlenmesi üzerindeki etkisini değerlendirmek için Pusa 1053 (Akdeniz tipi) ve Pusa 256 (yerli) nohut tohumlarına 1 saat boyunca 100 mT statik manyetik alan uygulamışlardır. Kök ve sürgün uzunluğu ve sürme gücü ölçümleri manyetoşartlandırmanın tuz stresini azaltmada etkili olduğunu ve bu uygulamanın Pusa 256 çeşidine kıyasla Pusa 1053 çeşidinde daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar çalışmanın sonucunda, kuru nohut tohumlarına manyetoşartlandırma uygulayarak, nohutta erken dönem tuz stresinin olumsuz etkilerinin azaltılabileceğini tespit etmişlerdir.

Mridha ve ark., (2016), tohumları ekim öncesi statik manyetik alanla muamele edilen nohutta, su stresi altında, ışık kullanım etkinliği ve su kullanım etkinliğindeki değişimi araştırmışlardır. Denemeleri sera ve açık tarla koşullarında desi ve kabulü tipi genotipler ile yapmışlardır. Uygulamaya maruz kalan tohumlar (100 mT, 1 saat), kök hacminde ve yüzey alanında sırasıyla %70 ve %65 oranında artış göstermiştir. Uygulama, bitkilerin, toprak nemi kaybolmadan, aktif büyüme döneminde (ekimden 78-118 gün sonra) %60 daha yüksek nem çekmesini sağlamıştır. Uygulama yapılan her iki genotip de daha iyi su kullanım etkinliği, biyokütle ve radyasyon kullanım etkinliğine sahip olmuştur.

Janalizadeh ve ark., (2017), manyetoşartlandırmanın susam (*Sesamum indicum* L.) tohumunun çimlenmesi üzerine etkisini su stresi koşulları altında araştırmışlardır. Manyetik alana maruz bıraktıkları kuru susam tohumlarını (kontrol-manyetoşartlandırma yok, 10 dakika boyunca 25 mT ve 60 dakika boyunca 75 mT manyetoşartlandırma), daha sonra farklı potansiyellerde (kontrol-distile su, -2, -4, -6 ve -8 bar) polietilen glikol 6000 (PEG6000) ile muamele etmişlerdir. Uygulamalar sonucunda manyetoşartlandırmanın çimlenme oranı, kök uzunluğu, kök kuru ağırlığı ve fide uzunluğu ile fide ağırlığı canlılık endekslerinde, özellikle kontrol işlemine kıyasla yüksek su stresi düzeylerinde, artışa neden olduğunu göstermişlerdir.

3. Bahçe Bitkileri Alanında Yapılmış Çalışmalar

Bhardwaj ve ark., (2012), salatalık (*Cucumis sativus*) tohumlarını 1, 2 ve 3 saat boyunca 100 ila 250 mT arasında statik manyetik alan kuvvetine maruz bırakmışlardır. Manyetoşartlandırma yapılan tohumların yapılmayanlara kıyasla çimlenme yüzdesi %18.5, çimlenme oranı %49.0,

fide uzunluğu %34.0 ve kuru ağırlığı %33.0 artmıştır. Farklı manyetik alan dozları arasından, 1 saat boyunca 200 mT manyetoşartlandırma uygulaması, çimlenme parametreleri üzerinde önemli bir etki göstermiştir. Bu uygulama, çimlenen tohumların su alımını, hidrolitik enzimler, reaktif oksijen türleri ve antioksidan enzim sistemindeki değişiklikleri incelemek için seçilmiş ve ileri incelemeye tabi tutulmuştur. Tohumların şişmesi sürecinde su alma değerleri, kontrole kıyasla, uygulamanın yapıldığı tohumlarda daha yüksek bulunmuştur. Hidrolitik enzimler olan amilaz ve proteazın aktiviteleri, uygulama yapılmayan kontrolden sırasıyla %51 ve %13 oranında daha yüksek olmuştur. Yine kontrole kıyasla uygulama yapılan tohumlarda, süperoksit radikalleri %40, hidrojen peroksit %8 artırken antioksidan enzimlerinden süperoksit dismutaz %8, katalaz %83 ve glutation redüktaz %77 artış göstermiştir. Salatalık bitkisinin kuru tohumlarının manyetoşartlandırılması uygulamasının tohumların çimlenme gücünü artırmada kullanılabileceği sonucuna varmışlardır. Diğer şartlandırma metodlarından farklı olarak manyetoşartlandırmanın uygulama sonrası kurutma gerektirmemesinin kolayca depolanma avantajı da sağladığı bildirilmiştir.

Touati ve ark., (2013), laboratuvar koşullarında, iki turp (*Raphanus sativus*) çeşidinin (Kırmızı: RR, Kırmızı-Beyaz:R+W) tohumlarına manyetoşartlandırma uygulamasının (100 ve 200 mT), farklı uygulama sürelerinde (2 ve 3 saat) fidelerin büyümesi ve oksidatif durumu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. 3 saat uygulanan 100 mT manyetoşartlandırma uygulaması, 8 günlük fidelerin biyokütlesinin kontrole kıyasla RR için %26, R+W için %29 artmasına yol açmıştır. Bunun yanı sıra turp bitkilerinde katalaz aktivitesi önemli ölçüde artmıştır (kotiledonlarda yaklaşık %36). Bununla birlikte, asimilasyon pigmentleri önemli ölçüde azalmış (yaklaşık %25), ancak malondialdehit içeriği değişmeden kalmıştır. Sonuç olarak, turp tohumlarına ekim öncesi 100 mT / 3 saat manyetoşartlandırma uygulaması, iyi bir oksidatif durum oluşturup bitkilerin erken dönem gelişimini iyileştirmiştir.

Bukhari ve ark., (2019), kudret narı (*Momordica charantia* L.) tohumlarına 5 saniye boyunca 50 mT gücünde manyetik alan uygulamıştır. Uygulama, çimlenme yüzdesini, büyümeyi, yaprak klorofil miktarını, antimikrobiyal aktiviteyi, amino asit ve fenolik miktarını artırırken, meyve besin değeri üzerinde ihmal edilebilir bir etki yapmıştır.

Razmjoo ve Alinian, (2017) tarafından, kimyon tohumları (*Cuminum cyminum* L.) 1 dakika boyunca 0, 150 mT, 250 mT, 500 mT ve 1 T manyetik alan kuvvetiyle muamele edilmiş ve çimlenme parametreleri incelenmiştir. Tüm manyetoşartlandırma işlemleri, kontrol ile karşılaştırıldığında, çimlenme parametrelerini ve fide büyümesini geliştirmiştir. 500 ve 150 mT en etkili uygulamalar olarak öne çıktığından bu uygulamaları tarla çalışmaları için seçmişlerdir. Tohumları 12 dakika boyunca 150 mT ve 500 mT statik manyetik kuvvet alanlarına maruz bırakmış ve tarlaya dikmişlerdir. Statik manyetik alan uygulaması fidelerin çıkış, çiçeklenme ve olgunlaşma

sürelerini kısaltmış, klorofil miktarını artırmış ve prolin içeriğini azaltmıştır. En yüksek biyolojik verim, tohum verimi, uçucu yağ verimi, yağ içeriği ve esensiyel yağ verimi, sırasıyla 500 mT, ardından 150 mT ve kontrol altında kaydetmişlerdir.

Isaac Alemán ve ark., (2014) tarafından, çok düşük frekanslı elektromanyetik alanların kahve fidelerinde net fotosentez, transpirasyon, fotosentetik pigment konsantrasyonu ve ribüloz 1,5 bisfosfat karboksilaz / oksijenaz (RBCS1) gen ekspresyonu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. İşlem görmemiş kahve bitkilerini kontrol olarak alıp, diğer bitkileri 3 dakika boyunca 2 mT gücünde 60 Hz'lik sinüzoidal manyetik alana maruz bırakılmışlardır. Manyetik uygulamaya maruz kalmış bitkilerde net fotosentez ve fotosentetik pigment konsantrasyonunda önemli bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, kontrol bitkilerine göre, RBCS1 gen ekspresyonu artmış (yaklaşık iki kat) ve transpirasyon hızı düşüş göstermiştir. Sonuç olarak, bulgular, 60 Hz'lik manyetik alanın kahve bitkilerine in vitro uygulanmasının, bazı fotosentetik, fizyolojik ve moleküler faaliyetlerde değişiklik yaparak, canlılıklarını arttırabildiğini ve daha geç gelişim aşamalarında daha iyi bir bitki gelişimi sağlayarak fide kalitesini iyileştirebileceğini göstermiştir.

Mohammadi ve ark., (2016), manyetoşartlandırmanın normal durumda ve ozmotik stres altında, şifalı bitki olan Zufa otu (*Hyssopus officinalis* L.) tohumlarının çimlenmesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Farklı sürelerde (5, 10, 20 ve 30 dakika) manyetik alan ile (45, 90, 200, 250 mT) şartlandırılmış tohumlar, normal şartlarda veya mannitol kullanımıyla oluşturulmuş ozmotik stres altında (100, 200, 300 mM) petri kaplarında çimlendirilmiş ve 10 gün boyunca büyütülmüştür. 200mT / 5dk manyetik alan uygulaması, normal koşullarda çimlenme oranını %15, tohum canlılık indeksini %42 arttırmıştır. Manyetoşartlandırma uygulaması, osmotik stres altında tohum çimlenme yüzdesini %14 oranında arttırmıştır.

4. Sonuç

Uluslararası literatürde, tarla bitkileri (buğday, mısır, arpa, soya, nohut ve susam), bahçe bitkileri (salatalık, turp ve kahve) ve tıbbi aromatik bitkiler (kudret narı, kimyon ve zufa otu) üzerinde farklı türlerde yapılmış olan kısıtlı sayıda manyetoşartlandırma çalışması tespit edilmiştir. Bu çalışmalar incelendiğinde manyetoşartlandırmanın, su kısıtı ve tuz stresi koşullarında tohumun su emme, çimlenme gücü, çimlenme süresi, kök hacmi, yüksek fotosentetik düzey, bitki boyu, yaprak alanı, kuru ve yaş biyomas ağırlığı, su kullanım etkinliği ve tohum verimini iyileştiren bir biyostimulant görevi görmekte olduğu görülmektedir. Abiyotik stres altında bu etkinin reaktif oksijen türleri bağlamında etki gösterdiği tahmin edilmektedir. Bir baklagil olan soyada yapılmış olan uygulamalarda nodül sayısı, ağırlığı ve aktivitesini iyileştirdiği görülmektedir. Diğer şartlandırma metodlarından farklı olarak manyetoşartlandırmanın uygulama sonrası kurutma gerektirmemesinin tohumları kolayca depolanma avantajı sağladığı da görülmektedir. Bu uygulamalar konusunda

daha fazla sayıda türle ve farklı koşullarda farklı araştırmacılarla daha çok sayıda çalışmanın yapılmasıyla konunun daha detaylı olarak ortaya konması sağlanabilecektir. Ülkemizde de bu konuda yapılacak çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Conflict of interest disclosure:

Authors declare no conflict of interest.

References

- Anand A 2014. Magnetopriming-an alternate strategy for crop stress management of field crops. In Proceedings of the international conference on radiation biology: frontiers in radiobiology-immunomodulation, countermeasures and therapeutics: abstract book, souvenir and scientific programme 46(1): 71.
- Baghel L, Kataria S, Guruprasad KN 2016. Static magnetic field treatment of seeds improves carbon and nitrogen metabolism under salinity stress in soybean. *Bioelectromagnetics* 37(7): 455-470.
- Baghel L, Kataria S, Jain M 2019. Mitigation of adverse effects of salt stress on germination, growth, photosynthetic efficiency and yield in maize (*Zea mays* L.) through magnetopriming. *Acta Agrobot* 72(1).
- Balakhmina T, Bulak P, Nosalewicz M, Pietruszewski S, Włodarczyk T 2015. The influence of wheat *Triticum aestivum* L. seed pre-sowing treatment with magnetic fields on germination, seedling growth, and antioxidant potential under optimal soil watering and flooding. *Acta physiol plant* 37(3): 59.
- Bhardwaj J, Anand A, Nagarajan S 2012. Biochemical and biophysical changes associated with magnetopriming in germinating cucumber seeds. *Plant Physiol Bioc* 57: 67-73.
- Bukhari SA, Farah N, Mustafa G, Mahmood S, Naqvi SAR 2019. Magneto-Priming Improved Nutraceutical Potential and Antimicrobial Activity of *Momordica charantia* L. Without Affecting Nutritive Value. *App Biochem Biotech* 188(3): 878-892.
- Costa SF, Martins D, Agacka-Moldoch M, Czubačka A, de Sousa Araújo S 2018. Strategies to Alleviate Salinity Stress in Plants. In *Salinity Responses and Tolerance in Plants, Volume 1* (pp. 307-337). Springer, Cham.
- Guruprasad KN, Shine MB, Joshi J 2016. *Impact of Magnetic Field on Crop Plants*. Publisher: Breeding and Genetic Engineering: The Biology and Biotechnology Research.
- Hozayn M, Ahmed AA 2019. Effect of Magneto-priming by tryptophan and ascorbic acid on germination attributes of barley (*Hordeum vulgare*, L.) under salinity stress. *Eurasia J Biosci* 13(1): 245-251.
- Isaac Alemán E, Oliveira Moreira R, Almeida Lima A, Chaves Silva S, González-Olmedo JL, Chalfun-Junior A 2014. Effects of 60 Hz sinusoidal magnetic field on in vitro establishment, multiplication, and acclimatization phases of *Coffea arabica* seedlings. *Bioelectromagnetics* 35(6): 414-425.
- Janalizadeh GM, Nezami A, Khazaie HR, Goldani M, Feizi H 2017. Effect of magneto priming on seed germination of sesame (*Sesamum indicum*) seed under water stress conditions. *Iranian J Seed Res* 6(1): 165-176
- Javed N, Ashraf M, Akram NA, Al-Qurainy F 2011. Alleviation of adverse effects of drought stress on growth and some potential physiological attributes in maize (*Zea mays* L.) by seed electromagnetic treatment. *Photochem Photobiol* 87(6): 1354-1362.
- Kataria S, Baghel L, Jain M, Guruprasad KN 2019. Magnetopriming regulates antioxidant defense system in soybean against salt stress. *Biocatal Agric Biotechnol* 18, 101090.
- Khan FA, Bhat SA, Narayan S, Maqbool R, Murtuza I, Khan FU 2017. Seed deterioration and priming-An Overview. *SKUAST J Res* 19(1): 12-21.
- Mohammadi R, Roshandel P, Tadayon A 2016. The Effect of magnetopriming on seed germination of *Hyssopus officinalis* under osmotic stress. *Iranian Journal of Seed Science and Research* 3(1): 99-109.
- Mridha N, Chattaraj S, Chakraborty D, Anand A, Aggarwal P, Nagarajan S 2016. Pre-sowing static magnetic field treatment for improving water and radiation use efficiency in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under soil moisture stress. *Bioelectromagnetics* 37(6): 400-408.
- Radhakrishnan R 2019. Magnetic field regulates plant functions, growth and enhances tolerance against environmental stresses. *Physiol Mol Biol Pla* 1-13.
- Rathod GR, Anand A 2016. Effect of seed magneto-priming on growth, yield and Na/K ratio in wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress. *Indian J Plant Physi* 21(1): 15-22.
- Razmjoo J, Alinian S 2017. Influence of magnetopriming on germination, growth, physiology, oil and essential contents of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Electromagn Biol Med* 36(4): 325-329.
- Rehman A, Mazhar K, Ijaz M, Ali Q, Ahmad S 2019. Seedling Pretreatment: Methods and Protocols. In *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings* (pp. 117-134). Springer, Singapore.
- Shine MB, Kataria S, Guruprasad KN, Anjali A 2017. Enhancement of maize seeds germination by magnetopriming in perspective with reactive oxygen species. *J Agric Crop Res* 5(4): 66-76.
- Thomas S, Anand A, Chinnusamy V, Dahuja A, Basu S 2013. Magnetopriming circumvents the effect of salinity stress on germination in chickpea seeds. *Acta Physiol Plant* 35(12): 3401-3411.
- Touati MA, Boughanmi NG, Salem MB, Haouala R 2013. Effects of moderate static magnetic field presowing treatment on seedling growth and oxidative status in two *Raphanus sativus* L. varieties. *Afr J Biotechnol* 12(3).