

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEBZE TOHUMLARINDA MANYETİK UYGULAMALARIN TOHUM
ÇİMLENMESİNE ETKİSİ

Neslihan KADIOĞLU

BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2023

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SEBZE TOHUMLARINDA MANYETİK UYGULAMALARIN TOHUM ÇİMLENMESİNE ETKİSİ

Neslihan KADIOĞLU

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim DEMİR

Bu çalışma, manyetik alan uygulamasının 9 farklı sebze tohumunda (domates, biber, karnabahar, lahana, soğan, havuç, pırasa, patlıcan ve kereviz) çimlenme oranına etkisini incelemek için yürütülmüştür. Uygulamalar kuru tohumlara 15 mT yoğunluğunda 5, 10, 15 dakikalık sürelerle yapılmıştır. Çimlendirme testi ISTA kurallarına göre yürütülmüştür. Çimlenmede optimum sonuç alınan 6 tür (biber, domates, soğan, karnabahar, lahana, havuç)'de en uygun süre olarak ilk üçte 5, son üçte 15 dakika uygulamaları tekrarlanmıştır. Manyetik alan uygulaması, tohum çimlenmesini %8 ile 14 arasında artırmıştır. En yüksek fark %14 ile soğanda, en düşük fark ise %8 ile domates ve lahana tohumlarında görülmüştür. En iyi sonuç alınan uygulama süreleri 6 türde tekrarlanmış ve sadece çimlenme değil aynı zamanda sürgün, kök uzunlukları da ölçülmüştür. Manyetik uygulamalar hem sürgün hem de kök boyunu olumlu etkilemiş, sürgün uzunlukları arasındaki fark 1.4 ile 0.2 cm/bitki, kök uzunlukları ise 3.5 ile 0.5 cm/bitki arasında değişmiştir. En yüksek artış sürgün uzunluğunda domatesten 1.4 cm, kök uzunluğunda ise lahanada 3.5 cm ile oluşmuştur. Uygulamalar tohum su alımı oranında herhangi bir fark oluşturmamıştır. Elektromanyetik alan uygulamasının, tohum çimlenme yüzdelelerini artırmak için sebzelerde alternatif fiziksel uygulama olabileceği sonucuna varılmıştır.

Haziran 2023, 56 sayfa

Anahtar kelimeler: Sebze tohumları, elektromanyetik alan, çimlenme, kök uzunluğu, sürgün uzunluğu.

ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECT OF MAGNETIC TREATMENTS ON SEED GERMINATION OF VEGETABLE SPECIES

Neslihan KADIOĞLU

Ankara University
Graduate School of Naturel and Applied Science
Department of Horticulture

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim DEMİR

This work was carried out to test magnetic field treatment on germination percentages of 9 different vegetable seeds (tomato, pepper, cauliflower, cabbage, onion, carrot, leek, aubergine and celery). Treatment was carried out 5, 10, 15 minutes with 15 mT on dry seeds. Germination were conducted according to ISTA rules. The best treatment periods were repeated on 5 minutes (pepper, tomato, onion) and 15 minutes (cauliflower, cabbage, carrot). Treatment increased seed germination in between 8 and 14%. The highest difference was observed in onion seed as 14% and the lowest in tomato and cabbage as 8%. The effect of the best treatment duration was repeated in 6 species and subsequently, not only germination but also shoot, root length were also measured. Shoot length in treated and control seeds were changed in between 1.4 and 0.2 cm/plant, root length were 3.5 and 0.5 cm/plant. The maximum benefit was obtained in tomato as 1.4 cm difference in shoot, and in cabbage as 3.5 cm in root length. Treatment was not affected on seed water uptake. It can be concluded that electromagnetic field treatment can be an alternative physical treatment to improve seed germination percentages.

June 2023, 56 pages

Key words: Vegetable seeds, electromagnetic field, germination, root length, shoot length.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca ilminden faydalandığım, her konuda değerli bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum, anlayışını ve güler yüzünü hiçbir zaman esirgemeyen, çalışma disiplinini örnek aldığım, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer hocam Prof. Dr. İbrahim DEMİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın istatistiksel analizlerini geliştirmemde yol gösterici ve yardımcı olan Dr. Zeynep GÖKDAŞ'a teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmalarında bana desteği olan Elif KÜÇÜK, Murat ÜNLÜ ve Ahmet Suat YAVUZ'a ve Tohum Bilimi Laboratuvarına emek vermiş bütün çalışma arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan ve beni her konuda güvenip destekleyen, beni sağlıklı ve mutlulukla bugünlere getiren, bu hayattaki en büyük şansım olan canımdan öte anneme, babama, ağabeyime ve teyzeme sonsuz teşekkür ederim.

Neslihan KADIOĞLU

Ankara, Haziran 2023

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1 Materyal	20
3.2 Yöntem	20
3.2.1 Tohum partilerinin başlangıç canlılıklarının ve tohum nemlerinin belirlenmesi.....	20
3.2.2 Elektromanyetik alan uygulamaları (mT: miliTesla).....	22
3.2.3 Çimlendirme testi (TÇ: Toplam çimlenme, NÇ: Normal çimlenme)	24
3.2.4 Ortalama çimlenme zamanı (OÇZ, gün)	26
3.2.5 En uygun manyetik alan uygulamasının tekrar test edilmesi.....	26
3.2.6 Ortalama çimlenme zamanı	29
3.2.7 Çimlenen tohumlarda sürgün uzunluğu saptanması (SU).....	29
3.2.8 Çimlenen tohumlarda kök uzunluğunun saptanması (KU).....	30
3.2.9 Uygulanmış tohumlarda su alım hızının belirlenmesi	30
3.2.10 İstatistiksel değerlendirme	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	32
4.1 Başlangıç Canlılıkları, Ortalama Çimlenme Zamanı ve Tohum Nemleri.....	32
4.2 Manyetik Uygulamanın Normal Çimlenme Üzerine Etkisi	33
4.3 Manyetik Uygulamasının Ortalama Çimlenme Zamanına Etkisi.....	34
4.4 En Uygun Manyetik Alan Uygulama Süresinin Normal Çimlenme Oranı Üzerine Etkisi.....	35
4.5 En Uygun Manyetik Alan Uygulama Süresinin Ortalama Çimlenme Zamanına Etkisi	36

4.6 Manyetik Alan Uygulamasının Sürgün Uzunluğuna (SU) Etkisi.....	36
4.7 Manyetik Alan Uygulamasının Kök Uzunluğuna (KU) Etkisi	37
4.8 Manyetik Alan Uygulamasının Tohum Su Alım Oranına Olan Etkisi	38
5. TARTIŞMA	42
6. SONUÇ.....	46
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ.....	56



SİMGELER DİZİNİ

N	Azot
Cu	Bakır
°C	Celcius
Zn	Çinko
Fe	Demir
P	Fosfor
G	Gauss
g	Gram
H ₂ O ₂	Hidrojen peroksit
Hz	Hertz
Ca	Kalsiyum
kJ	Kilojul
kV	Kilovolt
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
μT	Mikrotesla
mm	Milimetre
mM	Milimol
mT	Militesla
ng	Nanogram
Oe	Oersted
K	Potasyum
KNO ₃	Potasyum nitrat
KH ₂ PO ₄	Potasyum dihidrojen fosfat
cm	Santimetre
Na	Sodyum
NaCl	Sodyum klorür
T	Tesla
%	Yüzde

Kısaltmalar

APX	Askorbat peroksidaz
BTA	Başlangıç tohum ağırlığı
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
ISTA	International Seed Testing Association (Uluslararası Tohum Test Birliği)
öd	Önemli değil
GA ₃	Giberellik asit
GR	Glutasyon redüktaz
GPX	Guaiakol peroksidaz
IAA	İndol-3-asetik asit
NÇ	Normal çimlenme
PEG	Polietilen glikol
POD	Peroksidaz
ROS	Reaktif oksijen türevleri
RNA	Ribonükleik asid
STA	Son tohum ağırlığı
SOD	Süperoksit dismutaz
TÇ	Toplam çimlenme
UV	Ultraviyole

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Elektromanyetik spektrum	5
Şekil 2.1 Manyetik alan uygulanmış bezelye fidesi köklerinde hücresel yapıdaki değişiklikler.....	9
Şekil 2.2 Manyetik alan uygulamalarının mısırdaki çimlenme hızına etkisi	11
Şekil 2.3 Manyetik alan uygulamalarının mısırdaki kök gelişimine etkisi	11
Şekil 2.4 Manyetik alan uygulamasının tuzluluk stresi altında soya fasulyesinin yaprak alanı ve yaprak ağırlığı üzerine etkisi	16
Şekil 2.5 Turp tohumları ile Viofor JPS Delux (Holubowicz vd. 2014).....	18
Şekil 2.6 Turp 'Szkarlata z Białym Koncem' (SKB) tohumlarının manyetik alan uygulamasının 15 °C'de çimlenme oranları üzerindeki etkisi.....	18
Şekil 3.1 Başlangıç canlılıklarındaki 2 mm kökçük sayımı	21
Şekil 3.2 Tohumların başlangıç nemlerinin belirlenmesi.....	22
Şekil 3.3 Elektromanyetik alan uygulama cihazı	23
Şekil 3.4 Teslametre ve tohumların yerleştirildiği alan	24
Şekil 3.5 Çimlendirme testinin yapılışı	25
Şekil 3.6 Çimlendirme testinde normal ve anormal fide görüntüleri.....	26
Şekil 3.7 Çimlendirme testinin yapılışı	27
Şekil 3.8 Domateste çimlendirme testinin normal ve anormal fide görüntüleri	27
Şekil 3.9 Biberde çimlendirme testinin normal ve anormal fide görüntüleri.....	27
Şekil 3.10 Soğanda çimlendirme testinin normal ve anormal fide görüntüleri.....	28
Şekil 3.11 Karnabaharda çimlendirme testinin normal ve anormal fide görüntüleri	28
Şekil 3.12 Lahanada çimlendirme testinin normal ve anormal fide görüntüleri	28
Şekil 3.13 Havuçta çimlendirme testinin normal ve anormal fide görüntüleri	29
Şekil 3.14 Fidelerde sürgün boyunun ölçülmesi	29
Şekil 3.15 Su alım hızının belirlenmesi için yapılanlar	30
Şekil 4.1 Çizelge 4.2'deki sonuçlara göre en uygun sürede uygulanan manyetik alan uygulamasının domateste tohumların su alımına 24 saat içinde etkisi	39
Şekil 4.2 Çizelge 4.2'deki sonuçlara göre en uygun sürede uygulanan manyetik alan uygulamasının biberde tohumların su alımına 24 saat içinde etkisi	39
Şekil 4.3 Çizelge 4.2'deki sonuçlara göre en uygun sürede uygulanan manyetik alan uygulamasının karnabaharda tohumların su alımına 24 saat içinde etkisi	40
Şekil 4.4 Çizelge 4.2'deki sonuçlara göre en uygun sürede uygulanan manyetik alan uygulamasının lahanada tohumların su alımına 24 saat içinde etkisi	40

Şekil 4.5 Çizelge 4.2'deki sonuçlara göre en uygun sürede uygulanan manyetik alan uygulamasının soğanda tohumların su alımına 24 saat içinde etkisi41

Şekil 4.6 Çizelge 4.2'deki sonuçlara göre en uygun sürede uygulanan manyetik alan uygulamasının soğanda tohumların su alımına 24 saat içinde etkisi41



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan türlere ait çeşitler ve üretim yılları	20
Çizelge 4.1 Tezde kullanılan türlere ait tohumların toplam çimlenme (TÇ%), normal çimlenme (NÇ%) oranları, tohum nemi (%) ve ortalama çimlenme zamanlarındaki (OÇZ, gün) değişim.....	32
Çizelge 4.2 Manyetik uygulamanın 5, 10 ve 15 dakika süreyle yapıldığı türlerde uygulanmış ve kontrol tohumlarında normal çimlenme (NÇ%) oranlarındaki değişim	33
Çizelge 4.3 Manyetik uygulamanın 5, 10 ve 15 dakika süreyle yapıldığı tohumlarda OÇZ (ortalama çimlenme zamanı, saat) deki değişim	34
Çizelge 4.4 Çizelge 4.2'deki sonuçlara göre saptanan en uygun sürede (dk) uygulanmış 6 farklı sebze türü tohumlarında normal çimlenme oranına etkisi.....	35
Çizelge 4.5 Çizelge 4. 2'deki sonuçlara göre en uygun sürede manyetik alan uygulama süresinin 6 farklı türde OÇZ (gün)'ye etkisi.....	36
Çizelge 4.6 Manyetik uygulamanın Çizelge 4.2'deki sonuçlar baz alınarak en uygun sürede yapıldığı türlerde çimlendirme sonunda fide sürgün uzunluğundaki (SU) değişim (cm/bitki)	37
Çizelge 4.7 Manyetik uygulamanın Çizelge 4.2'deki sonuçlar baz alınarak en uygun sürede yapıldığı türlerde çimlendirme sonunda fide kök uzunluğundaki (KU) değişim (cm/bitki)	38

1. GİRİŞ

Tohum, üretim materyali ve tarımsal üretimin başlangıç noktası olması, biyolojik ve genetik çeşitliliğin ana kaynağı ve sürdürülebilmesinin en temel unsurudur. Tohum kabuğu ile çevrili döllenmiş olan yumurta, tohum olarak kabul edilir. Taneden meydana gelmiş gerçek bir tohum, bitki taslağını taşıyan döllenmiş olgun bir yumurta, kotiledon ve endospermden oluşan bir besin deposu ve tohum kabuğunun oluşturduğu canlı bitki parçasıdır (Copeland ve McDonald 2001, Desai 2004).

Yeni bir birey oluşturma gücü tohumda kalite, çimlenme ve çıkış gücüne bağlı bir faktördür (Rochalska 2002). Kaliteli bir tohum yüksek çimlenme kabiliyeti ve canlılık oranı, hastalıklardan arı olması, fiziksel safiyet, çeşide ait standart özellik göstermesi ve en uygun nem oranına sahip olmasıyla tanımlanır (Desai 2004).

Tohumda çimlenmenin daha iyi olması için yapılan ön uygulamaların toplamına “priming” genel adıyla, ön çimlendirme, osmotik koşullandırma veya osmotik tohum uygulamaları gibi terimlerle ifade edilen tohum ön uygulamaları bulunmaktadır (Sivritepe 1999, Demir vd. 2008).

Tohumlarda priming, antioksidan fonksiyonları ve DNA onarım işlemlerini içeren çimlenme öncesi metabolizma sırasında tohum kalitesini iyileştirmek ve ayrıca çimlenmeyi, fide çıkışını ve olumsuz çevresel koşullara karşı dayanıklılığı artırmak için kullanılan etkili bir teknik olarak ortaya çıkmıştır (Saranya vd. 2017). Bu teknik ile tohum gücünün artırılmasıyla birlikte hızlı ve birörnek fide oluşumu ve de bitki verimi artmaktadır (Garcia-Cristobal vd. 2015). Tohumda bulunan depo maddelerinin parçalanmasını sağlayan enzimler aktive edilerek priming uygulamalar, depo maddelerinin optimum şekilde kullanımını sağlamaktadır (Demir vd. 1994).

Priming tekniklerinin en yaygın olanları, sadece su ile sağlanan kontrollü su alımının gerçekleştiği hidropriming, osmotik çözeltilerin (PEG, KNO₃, KH₂PO₄) kullanıldığı osmopriming ve perlit veya vermikülit gibi katı ortamların kullanıldığı katı matriks

primingdir (Caserio vd. 2004, Demir ve Okcu 2004). Bu uygulamalar kaliteyi iyileştirmek amaçlı yapılan kültürel, fiziksel, kimyasal, biyolojik, fizyolojik ve bu uygulamaların kombinasyonu şeklinde kullanılan entegre uygulamalardır (Lee 2004).

Priming tekniklerindeki gelişmeler sayesinde tohum ekiminden fide çıkışına kadar olan süreçteki yaşanan sorunlar azaltılabilmekte, çimlenme hızı yükseltilebilmekte ve uniform fide çıkışı sağlanabilmektedir (Demir vd. 2008). Düşük ve yüksek sıcaklık (Sung vd. 1998) ve özellikle doğrudan tohum ekimi ile üretilen domates ve biber gibi küçük embriyolu tohumların düşük ve yüksek sıcaklık ortamları ile olumsuz toprak koşullarında hızlı ve homojen çıkışın önemli olması (Demir ve Ellis 1992, Giri ve Schillinger 2003) ve ayrıca tuzluluk gibi çimlenme üzerine olumsuz etkileri azaltılabilmekte ve depolama aşamasında yaşanmanın etkisinin yavaşlatılarak tohumun depolama süresi uzatılabilmektedir (Basu 1994, Demir ve Okcu 2004). Tohum çimlenmesi ve fide çıkışının iyileştirilmesi amacıyla uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik uygulamalardan bağımsız olarak ticari boyutlarda yeterli uygulama alanı bulamamış olan bazı uygulamalar da vardır. Bunlardan birisi de statik ya da elektromanyetik uygulamalardır.

Tarihsel olarak, elektrik ve manyetizma fiziğın iki ayrı dalı olarak ele alınmakta iken 1820 yılında Oersted elektrik akımının mıknatıslı pusula iğnesini saptırabildiğini inceledikten kısa bir süre sonra Ampère tüm manyetik olayların hareketli yüklerden kaynaklandığını ileri sürmüş ve Faraday'ın hareketli mıknatısın elektrik akımı üretmesini keşfinden sonra Maxwell ve Lorentz elektromanyetik teoriyi tamamladığında elektrik ve manyetizma artık fiziğın iki ayrı dalı değil, tam anlamıyla, elektromanyetizma olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Elektromanyetik alan: elektromanyetik durgun veya hareketli elektrik yüklerinin etkili çalışmasıdır. Elektromanyetik alan teorisi, bir yerde bulunan elektrik yüklerinin diğer yükler üzerindeki etkisinin incelenmesi şeklinde tanımlanır. Elektrik yükleri uzayın tamamında elektrik ve manyetik alanlar oluşturur ve bu alan içindeki diğer yükler bir kuvvetin etkisi altında kalırlar. Yükler arasındaki etkileşim alan tarafından iletilmiş olur (Gürdal 2017).

Dünyanın manyetik alanı, çevrenin doğal bir bileşeni ve bitkiler de dahil olmak üzere canlı organizmalar için kaçınılmaz bir çevresel faktördür. Jeomanyetik alanın yoğunluğu, bitki gelişiminin genellikle gerçekleştiği yaklaşık 50 μ T (mikro Tesla) (ekvator yakınında 35 μ T, Dünya'nın manyetik kutupları yakınında 70 μ T) civarındadır (Zhadin 2001). Jeomanyetik alanın bitkilerin gelişimi üzerindeki etkisi bilimsel olarak ilk kez 1862'de Fransız kimyager Louis Pasteur (1822–1985) tarafından, fermantasyon deneyleri sırasında, dünyanın manyetik alanının uyarıcı bir etkiye sahip olduğunu keşfettiği zaman belirlenmiştir.

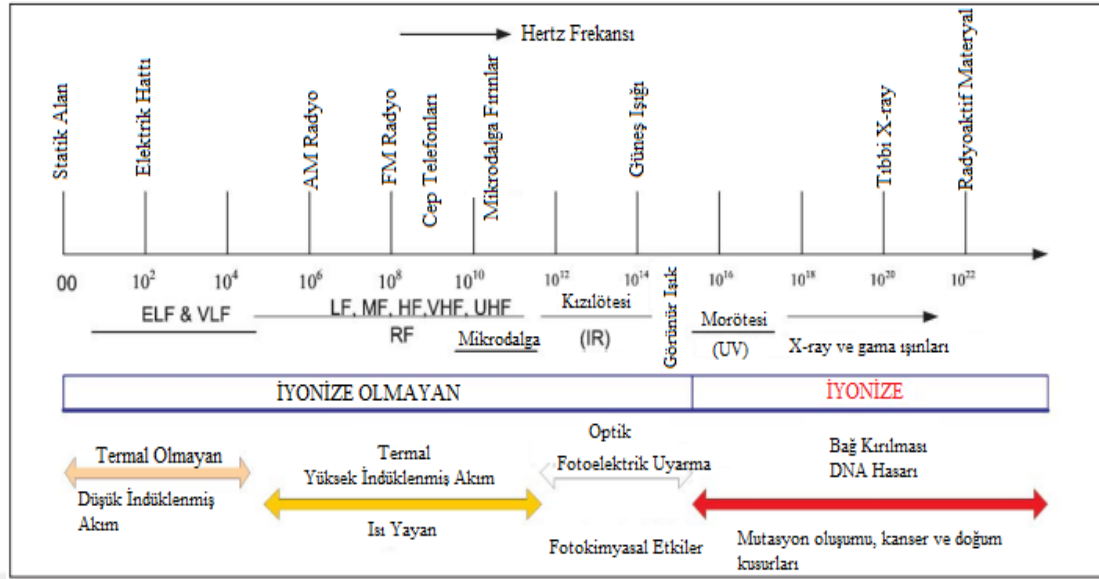
Yaşamları boyunca tüm canlılar iki tür manyetik alana maruz kalmaktadır. Bu manyetik alanlardan birincisi doğal olmakta ve topraktan kaynaklanmaktadır. Toprağın manyetik alanı 0.03-0.07 mT'dır. İkinci olarakta yaşam alanlarımız ve sanayi bölgelerde elektrik gücünün kullanımı dolayısıyla oluşan yapay manyetik alan olarak ayrılmaktadır (Williams vd. 2007).

Manyetik alanların rolü ve biyolojik organizmaların işleyişi üzerindeki etkilerine manyetobiyoloji denir. Manyetobiyoloji; mühendislik, fizik, kimya, biyoloji gibi birçok bilim dalının ilke ve tekniklerini kapsayan ve biyofizik merkezli yeni çok disiplinli bir bilim dalıdır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun radyobiolojisindeki bir yaklaşımdır. Bu alanın konuları bakımından, dokuların ısınmasına yol açmayan elektromanyetik (salınımlı) ya da düşük yoğunlukta olan statik özellikteki manyetik alanların dokulardaki biyolojik etkileri (doku ısınması olmayan) bulunmaktadır (Silva ve Dobranszki 2016).

Statik manyetik ve elektromanyetik uygulamalar, tohumlarda çimlenme ve gücü artırarak nihayetinde verimi arttıran teknikleri olarak kullanılmaktadır. Elektromanyetik alanların birçok bitki ve tohumun gelişimi için biyo-uyarıcı olarak etkilemiş olduğu bilinmektedir. Manyetik alan yoğunluğu değerleri tesla (T) veya gauss (G) olarak ölçülmektedir (Mitchell ve Cambrosio 1997, Kataria vd. 2017, Nyakane vd. 2018).

Elektromanyetik alan oluşturan, günlük hayatta kullandığımız ve etrafımızda da yaygınlaşan cep telefonları, televizyon, radyo, mikrodalga gibi teknolojik aletler, radarlar, tıbbi ve endüstriyel cihazlar, ulaşım araçları ve yüksek gerilim hatları bulunmakta olup canlı organizmayı etkilemektedir. Radyasyon tüm bunlardan yayılarak atom ya da moleküllerden elektron koparabilme yeteneğine göre iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon şeklinde sınıflandırılabilir. Manyetik alanın bitkiler üzerindeki etkisi ise bitkilerin kalitesi, tohumun çimlenme oranı, çimlenme hızı ve çiçek sayısı üzerine olumlu etkileri bulunmaktadır (Penuelas vd. 2004).

İyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon, hücrelerde bulunan moleküllerdeki bağları parçalayarak atom ya da moleküllerdeki yüklü hale geline enerji bulunmaktadır. İyonize olan ışınlar çok yüksek frekanslı olup X ışınları, mor-ötesi ışınlar ve gama ışınları parçacık yayılımında olan ışınlardır. İyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik radyasyon atomları ve moleküllerdeki bağları parçalamak için yeterli miktarda foton enerjileri bunları iyonlaştıracak düzeyde değildir. İyonlaştırıcı olmayan ışınlar çok düşük frekanslı (50 Hz) manyetik ve elektrik alanlardır. Az enerjiden yüksek enerjiye göre sıralandığında; radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi radyasyon, görünür ışınlar, lazer ışınları ve morötesi ışınlardır (Şekil 1.1). Elektromanyetik alanların sebep olduğu ışınım, iyonlaştırıcı olmayan radyasyon alanında bulunmaktadır. Elektromanyetik alan iyonize edici olmamasına rağmen radikal çifti rekombinasyonunda etkili olmaktadır. Bunun sonucunda hücrelerdeki oksijene dayalı serbest radikal aktivitesini ve konsantrasyonunu kısmen kararlı yapıya dönüştürerek artırabilmektedir (Scaiano vd. 1995). Serbest radikallerin zararlı etkilerini engellemek üzere organizmada antioksidant savunma sistemleri çalışır. Serbest radikaller oksidatif stres yaratmakta ve bu serbest radikaller ile antioksidantlar arasındaki hassas denge korunamazsa birçok fizyolojik zararlanma oluşabilir (Malecka vd. 2001).



Şekil 1.1 Elektromanyetik spektrum (Zamanian ve Hardiman 2005)

Manyetik alanın kullanım alanları arasında tarım, tıp, çevre koruma ve biyolojik mühendislik bulunmaktadır (Yao ve Shen 2015). Manyetik uygulamanın avantajları ise düşük maliyet, kolay uygulama, çevre dostu, güvenli, ekolojik, kimyasal olmaması, yüksek girdi-çıktı oranının bulunmasıdır (Carbonell vd. 2004, Efthimiadou vd. 2014).

Manyetik alan uygulamasının tohum çimlenmesi sürecinde, çıkış oranını artırdığı, tohumdaki enzim aktivitesini yükselttiği, tohumda su absorpsiyon sürecini hızlandırdığı ve tohum solunumunu teşvik ettiği belirlenmiştir (Xu ve Zheng 2009, Yao ve Shen 2015). Manyetik alan uygulaması su alım hızının artmasıyla bakla tohumlarında kontrolle karşılaştırıldığında enzimleri aktive ederek çimlenme yüzdesinde, sürgün uzunluğunda, yaş ve kuru ağırlığında olumlu etkiler gözlenmiştir (Podlesna vd. 2019). Manyetik alan uygulamalarında domates (Moon ve Chung 2000), marul (Garcia-Reina vd. 2001), mısır (Florez vd. 2007) ve nohut (Vashisth ve Nagarajan, 2008a) gibi türlerde olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Manyetik alan uygulamalarının pozitif etkileri, protein biyosentezinde, hücre sentezinde, fotokimyasal aktivite, solunum oranı, enzim aktiviteleri, nükleik asit oranı ve büyüme-gelişme döneminde de görülmektedir (Levin ve Ernst 1997, Stange vd. 2002, Çakmak vd. 2010). Manyetik alan çoğunlukla hücre zarlarını etkilemektedir. Bu nedenle uygulama, hücre zarıyla kaplı organeller olan

mitokondri ve endoplazmik retikulum'un hücre zarlarını düşük sıcaklığın olumsuz etkilerinden korumaktadır (Tenforde 1991). Hücre zarı ve α -amilaz enzimi etkinliğini artıran her uygulama, makro molekülleri yıkarak, tohumlarda çimlenme oranı ve metabolizma hareketliliğinin artmasına sebep olmaktadır (Orzeszko-Rywka ve Rochalska 1999). Manyetik alan uygulaması yapılan tohumlar çimlenme için kullanılan depo maddelerinden daha iyi yararlanabilmektedir (Rochalska ve Orzesko-Rywka 2005). Manyetik alanın tohum kalitesini artırmasının nedeni, iyonik konsantrasyondaki değişiklikler ve buna bağlı olarak tohumun içine su alımının daha hızlı gerçekleşmesidir. Manyetik alan etkisiyle iyonik konsantrasyonun düzenlenmesi tohumun osmotik basıncını etkilemektedir. Bu durum, tohumun nemi daha iyi alabilmesini sağlamaktadır (Soltani vd. 2006).

Manyetik alana ilişkin çalışmaların bazılarında tohumlara uygulama öncesi nemlendirme işlemi uygulanırken, diğer çalışmalarda ise genellikle tercih edilen kuru tohumlara doğrudan manyetik su uygulanmıştır. Buna örnek olarak biber, marul, soğan ve lahana tohumlarına manyetik alan uygulamasında çimlenme oranı ve fide çıkış oranında artışlar tespit edilmiştir. Çimlenme oranı bakımından kontrol grubuyla karşılaştırıldığında en iyi sonuç %48 artışla soğanda bulunmuştur. Ortalama çimlenme zamanı bakımından biber dışındaki tüm türlerde olumlu etki gözlenmiştir. SOD enzim aktivitesinde manyetik uygulamanın marul tohumlarında 3 kat artış sağladığı belirlenmiştir (Sarı 2019). Manyetik alan uygulamalarının kuru tohumlara ekim öncesi uygulanmasıyla çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme zamanı, sürgün ve kök boyu, fide yaş ağırlığı gibi parametrelerinin nohut (Mahajan ve Pandey 2014) ve soya fasulyesi (Shine vd. 2011) türlerinde olumlu etkisi gözlenmiştir.

Manyetik alan uygulaması tuz ve düşük sıcaklık stres koşullarına dayanıklılığı (Sun vd. 2010, Sakthivel vd. 2013) ve düşük canlılığa sahip olan depolanmış tohumların çimlenmesini artırmıştır (Alexander ve Doijode 1995). Ayrıca uygulama zararlı ve hastalıklara olan direnci de artırmıştır (Diaz vd. 1997). Çimlenme oranı, çimlenme hızı, sürgün boyu, yaş ağırlık bakımından olumlu etkisi bulunmuştur ve ayrıca yaşlanma süreci gecikmiştir (Lihua ve Jixun 2001, Rochalska ve Orzeszko-Rywka 2005).

Manyetik alan uygulanmış tohumlardan yetiştirilen bitkilerde sürgün uzunluğunda ve yaş ağırlığında artış görülmüştür (Florez vd. 2007). Bitkilerde oksin içeriğini artırmış, hormonların ve enzim metabolizmasının sentezini ve taşınmasını teşvik etmiş ve nihai verimi artırmıştır (Mitrov vd. 1988, Eşitken 2003).

Manyetik alanın etkileri ise yoğunluk, süre, kaynak frekansı, manyetik alanın modeli, bitki türü, bitki çeşidi ve bitki yaşı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Tohumlar ve bitkiler, farklı frekanslarda ve manyetik alan yoğunluklarında farklı tepkiler verebilmektedir (De Micco vd. 2014).

Bu çalışmada, 9 sebze türü tohumunda manyetik alan uygulamasının tohum çimlenmesine etkisi araştırılmıştır. Bu türlerin biber, domates ve patlıcan yazlık; karnabahar, lahana, soğan, havuç, pırasa ve kereviz kışlık sebze türleridir. Belirtilen tüm türler fide ile üretilebildiği için hızlı çimlenme fide kalitesini olumlu etkileyecektir (Demir vd. 2008). Bu bakımdan manyetik alan uygulamaları basit, hızlı, ve etkin bir metot olarak kullanım alanı bulabilir. Ayrıca tez sonuçları mevcut uygulamanın türlere bağlı olarak nasıl tepki verdiğini belirlemek ve gelecekte uygun türlerin daha iyi değerlendirilmesi için anlamlı sonuçlar sunacaktır.

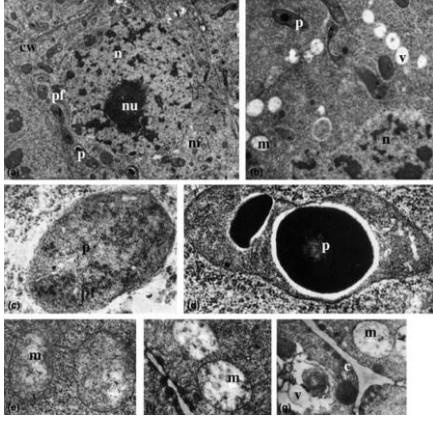
2. KAYNAK ÖZETLERİ

Soğan ve çeltik tohumlarına 30 dakika süreyle 108 Oersted (Oe)'lik elektromanyetik alan uygulanmıştır. Bu uygulamanın çimlenme yüzdesi, fide çıkış oranı, sürgün ve kök boyu, yaş ve kuru ağırlığı bakımından kontrol grubuyla karşılaştırıldığında anlamlı artış sağladığı gözlenmiştir (Alexander ve Doijode 1995).

Martinez vd. (2000) arpa tohumlarına 125 mT yoğunluğunda statik manyetik alan uygulaması yapılmıştır. 7 gün sonra kontrol grubuna göre tüm uygulamalar sürgün uzunluğunu artırmıştır. Tohumlara uygulanan 1, 10, 20, 60 dakika ile 24 saatlik manyetik alan uygulamasının kontrole göre fide uzunluğu ve ağırlığı üzerinde olumlu etkisi görülmüştür.

Domates tohumlarına 60 Hz, 4 ila 12 kV/cm arasında değişen elektrik alanları ve 3 ila 1000 Gauss arasında manyetik alan uygulamaları yapılmıştır. Manyetik alan uygulanmış olanların kontrole göre çimlenme oranı 1.1 ve 2.8 kat arttığı tespit edilmiştir. 12 kV/cm yoğunluğunda elektrik alanı ve 15 saniye süre boyunca uygulama yapıldığında çimlenme oranını kontrol grubuna göre artırmıştır ancak bu yoğunluktan yüksek olması ve sürenin 60 saniyeden uzun olması durumunda çimlenmede engelleyici rol oynamıştır (Moon ve Chung 2000).

Düşük manyetik alan uygulamasının bezelye fidesi köklerinin meristem hücrelerinin hücresel yapısındaki değişiklikler incelenmiş, uygulama sonucunda vakuollerin olduğu gözlenmiştir. Mitokondri kontrole göre 1.5-2 kat daha büyük çapa sahip olmuştur. Ayrıca meristem hücre bölünmesinde etkili olduğu tespit edilmiştir (Belyavskaya 2001) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Manyetik alan uygulanmış bezelye fidesi köklerinde hücresel yapıdaki değişiklikler

Marul tohumlarına 0-10 mT yoğunluğunda statik manyetik alan uygulaması yapılmıştır. Bunun sonucunda çimlenme oranı artışı gerçekleşmiş olup su alımının da artışı gözlenmiştir. Ayrıca manyetik alan yoğunluğunu artırdıkça su alım hızının da önemli düzeyde arttığı belirlenmiştir (Garcia-Reina ve Arza 2001).

Lahana tohumlarına 10 mT yoğunluğunda olup 10 dakika süreyle manyetik alan uygulanmış ve kontrol grubuna göre su alım oranı artmış ayrıca çimlenmeyi olumlu etkilediği tespit edilmiştir (Garcia-Reina vd. 2001).

Mısır tohumlarında 0.15 Tesla yoğunluğunda ve 10 dakika süreyle manyetik alan uygulamasından sonra kontrol grubuna göre çimlenme oranını %20, sürgün uzunluğunu %25 ve yaş ağırlığını da %72 artırmıştır (Aladjadjiyan 2002).

Fasulye tohumlarında 85 mT yoğunluğunda ve 15 saniye süre boyunca uygulama yapılmıştır. Tarla çıkışına etkisine baktığımızda uygulamanın kontrole göre karşılaştırıldığında %9.9 artırmıştır. Manyetik alan uygulamasının çimlenme ve çıkış oranında olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Podlesny vd. 2004).

Yao vd. (2005) nemlendirilmiş hıyar tohumlarına 0, 0.2 ve 0.45 T yoğunluğundaki manyetik alan uygulanmıştır. Çimlenmeden sonra tohumlar toprağa ekilmiştir. Hıyar

fideleri sırasıyla 0 (kontrol) ve 3.5 kJm^{-2} UV-B ışınına maruz bırakılmıştır. Manyetik alan uygulamasından 16 saat sonra 0.2 T tohum çimlenme oranını %29.13 ve 0.45 T ise %43.77 artırmıştır. 48 saat sonrada ise toplam çimlenme yüzdesinde çok az fark olmuştur. 96 saat sonra da 0.2 ve 0.45 T yoğunluğundaki uygulama fide çıkış oranını artırmıştır. UV-B radyasyonu olmadığında, manyetik alan uygulanmış fideler 0.45 T'da biyokütle ve yaprak alanında, kontrole göre artış olmuştur. UV-B ve manyetik alan kombinasyonu biyokütle ve yaprak alanında önemli ölçüde azalmıştır. Toplam yaprak sayısı 0.45 T yoğunluğunda %11.96 artırmıştır. UV-B radyasyonu ve manyetik alan kombinasyonu fide gelişimini önemli ölçüde azaltmıştır. UV-B radyasyonu toplam yaprak sayısını 0.2 T yoğunluğunda %13.26 ve 0.45 T yoğunluğunda ise %22.62 oranında azalttığı bulunmuştur.

Tarla koşullarında yapılan bir araştırmada, domates tohumlarına 100 mT şiddetinde 10 dakika ve 170 mT şiddetinde 3 dakika manyetik alana maruz bırakılmıştır. Vejetatif sürede alınan yaprak alanı, yaprak kuru ağırlığı ve özgül yaprak alanı bakımından önemli ölçüde artışa neden olmuştur. Ayrıca kontrol bitkilere oranla yaprak, gövde ve kök büyüme indeksi bakımından önemli artışlar kaydedilmiştir (De Souza vd. 2006).

Kuşkonmaz (*Asparagus officinalis*) tohumları 7 mT manyetik alan etkisine maruz bırakılmıştır. Uygulama sonucunda, tohumlarında su alımı daha kolay gerçekleşmiş ve çimlenme süreci daha kolay olmuştur. Tohum çimlenme oranı, epikotil ve hipokotil uzunlukları kontrol grubuna göre önemli derecede farklılık göstermiştir (Soltani vd. 2006).

Domates tohumlarına 125 ve 250 mT yoğunluğunda manyetik alan uygulanmıştır. Bu denemede çimlenme ve fide gelişimi bakımından aşamaları araştırılmıştır. Uygulama yapılmış olan tohumların ortalama çimlenme zamanı kontrole göre daha hızlı olduğu tespit edilmiş ve ayrıca çimlenme yüzdesi de daha yüksek bulunmuştur (Martinez vd. 2009).

Abou El-Yazied vd. (2011) domates tohumlarında 0, 0.1, 0.15 ve 0.2 Tesla yoğunluğunda ve 0, 1, 5, 10 ve 15 dakika sürelerinde uygulama yapılmıştır. 0.1 Tesla

yoğunluğunda ve 15 dakika uygulama süresi en iyi çimlenme yüzdesini verirken, 0.2 Tesla ve 15 dakika uygulamasında ise kontrole göre en düşük çimlenme yüzdesini vermiştir.

Shine (2011) çalışmasında, mısır tohumlarına 100 mT yoğunluğunda 120 dakika ve 200 mT yoğunluğunda 60 dakika boyunca manyetik alan uygulamıştır. Manyetik alan uygulaması mısır bitkilerinin köklerinde gelişme göstermiştir. Uygulamadan sonra mısırdaki verim artışı bildirmiştir (Şekil 2.2-2.3).



Şekil 2.2 Manyetik alan uygulamalarının mısırdaki çimlenme hızına etkisi



Şekil 2.3 Manyetik alan uygulamalarının mısırdaki kök gelişimine etkisi

Hıyar tohumlarına 100 ila 250 mT statik manyetik alan yoğunluğunda 1, 2 ve 3 saat süreyle manyetik alan uygulanmıştır. Uygulama kontrol grubuyla karşılaştırıldığında çimlenme oranını %18.5, normal çimlenme yüzdesini %49, bitki boyunu %34 ve kuru ağırlığını %33 düzeyinde artırmıştır. Bu uygulamalar arasında çimlenme parametreleri üzerinde en iyi sonucu 200 mT yoğunluğunda 1 saatlik süre vermiştir.

Bununla birlikte su alım hızı da uygulama yapılmış tohumlarda daha yüksek değerler sağlamıştır. Ayrıca, uygulama yapılan gruplarda hidrolitik enzimler olan amilaz ve proteazın aktiviteleri sırasıyla %51 ve %13 oranında kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, süperoksit radikalleri %40 ve hidrojen peroksit ise %8 oranında artış göstermiştir. Uygulama sonucunda antioksidan enzimler, süperoksit dismutaz (%8), katalaz (%83) ve glutatyon redüktaz (%77) aktivitelerinde kontrole göre artış kaydedilmiştir (Bhardwaj vd. 2012).

Marul tohumlarına 125 mT ve 250 mT yoğunluğunda ve 1, 6 ve 12 saat süreyle manyetik alan uygulanmıştır. Bu uygulamaların çimlenme yüzdesi, kök boyu ve ağırlığı üzerinde olumlu etkilerinin olduğu tespit edilmiştir. En iyi sonuçlar, her iki manyetik uygulama yoğunluğunda olup 1 ve 6 saatlik uygulamalar olmuştur (Mousavizadeh vd. 2013).

Biber tohumlarına 57 ve 60 mT yoğunluğunda manyetik alan uygulanmıştır. Bu denemede üç farklı yöntem uygulanmıştır. İlki manyetik alan uygulanmış kuru tohumlarla, ikincisi manyetik su ve son olarakta hem manyetik uygulanan kuru tohumlar hem de manyetik suyla uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamaların çimlenme oranı, fide gelişimi, meyve verim ve kalitesi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Çimlenme yüzdesi bakımından uygulama yapılmış olanlar kontrolle kıyaslandığında %33.7-44.9 oranında artış göstermiştir. Uygulamalar sürgün uzunluğunu, yaş ağırlığı, kuru ağırlığı ve yaprak alanını artırmıştır. En iyi sonuçlar ise uygulama yapılan kuru tohumlar+manyetik suyla yapılmış olan uygulamalardan elde edilmiştir. (Ahamed vd. 2013).

Domates tohumlarına 12.5 mT elektro manyetik alan yoğunluğunda 5, 10 ve 15 dakika sürelerde uygulama yapılmıştır. Ekimden 15 gün sonra ise domates fidelerinin araziye dikimleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada fide çıkış oranı, bitki boyu, bitki başına yaprak sayısı, gövde çapı, çiçek sayısı, fide yaş ve kuru ağırlığı, verim ve likopen içeriği araştırılmıştır. 10 ve 15 dakikalık uygulamalar bitki boyu ve likopen içeriği hariç tüm büyüme parametrelerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ancak istatistiksel

olarak anlamlı olmasa da likopen içeriği manyetik alan uygulamalarında daha yüksek bulunmuştur. 15 dakikalık uygulama süresinde bitki başına verim kontrolle karşılaştırıldığında %80.93 daha yüksek bulunmuştur (Efthimiadou vd. 2014).

Çeri domatesi tohumlarının hem statik hem de elektromanyetik alan uygulamaları yapılmıştır. Bunun sonucunda çimlenme yüzdesi, kalitesi ve veriminin arttığı tespit edilmiştir. Bunun sonucunda ise kuru tohumlara elektro manyetik alan uygulamasının statik manyetik alan uygulamasına göre daha olumlu sonuçlar verdiği bulunmuştur. Denemede en iyi sonucun, 100 mT yoğunluğundaki ve 30 dakika süren statik manyetik alanda elde edildiği belirlenmiştir (Gupta vd. 2015).

Düşük ve yüksek kaliteli soğan tohumlarından oluşan iki farklı tohum lotuna, 0.06 ve 0.03 T yoğunluklarında ve 30, 60 ve 90 dakika sürelerinde uygulamalar yapılmıştır. Kaliteli olan tohumlarda 0.06 T yoğunluğunda ve 30 dakikalık uygulamada çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme zamanı, sürgün ve kök uzunluğu, yaş ve kuru ağırlığı bakımından kontrolle karşılaştırıldığında artışlar tespit edilmiştir. Kalitesi düşük olan tohumlarda da en hızlı ortalama çimlenme zamanını 0.03 T yoğunluğu ile 60 dakikalık uygulamada bulunmuştur (Hozayn vd. 2015).

Jedlicka vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, pavlina domates çeşidine günlük 20 dakika süreyle 20 mT, 40 mT ve 60 mT manyetik alan yoğunluklarında ve 50 Hz frekansında uygulama yapılmıştır. Çimlenme hızında, en hızlı çimlenme zamanı 40 mT'da bulunmuştur. Kontrole göre %50 daha kısa sürededir. Manyetik alan uygulanmış domates tohumları daha hızlı çimlenme süresi ve fidelerin daha hızlı gelişimini göstermiştir. Sürgün ve kök boyları daha uzun ve kontrole göre 14 gün erken meyve tutumu göstermiştir. 40 mT uygulanmış olanların ortalama meyve ağırlığı kontrol grubuna göre 16 gram daha fazla bulunmuş ve meyveleri eşit şekilde olgunlaştığı tespit edilmiştir.

Zinya çiçeği (*Zinnia elegans* Jacq.) tohumlarına 50, 100 ve 150 mT manyetik alan yoğunluğunda 5, 10 ve 15 dakikalık sürelerde uygulamalar yapılmıştır. Çalışmada

uygulama yapılmış zinya çiçeği kontrol grubuyla karşılaştırıldığında normal çimlenme oranı, çimlenme enerjisini ve çimlenme indeksini artırmıştır. Ortalama çimlenme zamanını %50 azaltmıştır. Çalışmada uygulama sonucunda sürgün uzunluğu, kök uzunluğu, bitki yaş ve kuru ağırlığı ile α -amilaz üretimini de artırmıştır. Uygulamalar karşılaştırıldığında, en iyi sonucun 100 mT yoğunluğunda 15 dakikalık sürede elde edildiği görülmüştür (Afzal vd. 2016).

Mısır tohumlarına 50, 100, 150, 200 ve 250 mT statik manyetik alan yoğunluğu kullanılarak 1, 2, 3 ve 4 dakikalık sürelerde uygulamalar yapılmıştır. Uygulama yapılmış mısır tohumları, çimlenme oranı, çimlenme hızı, fide uzunluğu ve fide kuru ağırlığı bakımından önemli ölçüde artış göstermiştir. Tüm uygulamalar arasında en iyi sonucu veren ise 1 saatlik süreyle 200 mT manyetik alan yoğunluğu olarak tespit edilmiştir (Vashisth ve Joshi 2017).

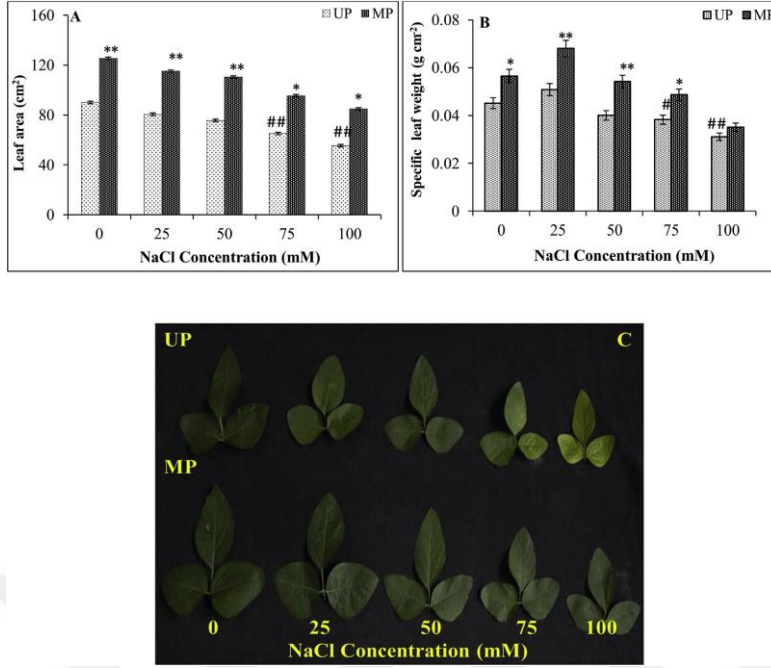
Nohut tohumlarına manyetik suyla 8 ve 12 saat süreyle uygulama yapılmıştır. Çimlenme oranı, sürgün ve kök uzunluğu bakımından 8 saat uygulamanın kontrol grubuna göre üstünlük sağladığı belirlenmiş olup 12 saatlik uygulamada ise aynı parametrelerde herhangi bir fark görülmemiştir (Berlla vd. 2018).

Ispanak tohumlarına 150 ve 300 mT yoğunluğunda, sırasıyla 1 ve 24 saatlik sürelerle statik manyetik alan uygulanmıştır. Manyetik uygulamanın çimlenme yüzdesi, çimlenme indeksi, ortalama çimlenme zamanı, bitki gelişimi ve verimi üzerine çalışmalar yapılmıştır. En iyi uygulama ise 150 mT yoğunluğunda 1 saatlik süre olarak tespit edilmiştir. Bu manyetik uygulama ilkbaharda bitki verimini olumlu şekilde etkilerken, sonbaharda etkisiz olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak, özellikle ilkbaharda ekilen ıspanak tohumlarında çimlenme özelliklerinin ve verimin iyileştirilmesi için tohumların 1 saat süreyle 150 mT yoğunluğundaki sabit manyetik alana tabi tutulması önerilmiştir (Alpsoy vd. 2019).

Çeltik tohumlarında 125 ve 250 mT manyetik alan yoğunluğunda uygulama yapılmıştır. Kök uzunluğunun 3. günü ölçümlerinde 250 mT sürekli uygulamanın kontrole göre

21.56 mm artış olduğu tespit edilmiştir. Ölçümlerin 7. gününde ise 125 mT uygulamasının kontrole göre 9.38 mm artış sağladığı görülmüştür. En büyük farklılıklar ise 250 mT yoğunluğunda ve 24 saat süreyle uygulandığında ortaya çıkmıştır. Ayrıca en büyük farklılığın elde edildiği bu uygulamada ikincil köklerinin kontrolünkinden daha iyi bir gelişim gösterdiği belirlenmiştir (Florez vd. 2019).

Kataria vd. (2019) çalışmasında soya fasulyesi tohumlarına 200 mT yoğunluğunda 1 saat süre boyunca manyetik alan uygulanmıştır. 0, 25, 50, 75 ve 100 mM NaCl çözeltisinin farklı konsantrasyonlarında 500 ml'lik üç doz verilmiştir. Manyetik alan uygulaması, hem tuzlu hem de tuzlu olmayan koşullarda kontrole göre yaprak alanı, özgül yaprak ağırlığını, kök nodüllerinin sayısını, kök nodüllerinin taze ağırlığını ve nitrojen fiksasyonunu artırmıştır. Uygulama yapılmayan tohumlardaki soya fasulyesi bitkilerinin yapraklarındaki H_2O_2 seviyesini artırmıştır. SOD, APX, GR ve POD gibi antioksidan enzimlerin aktivitesinin, uygulama yapılmayan bitkilerin yapraklarındaki NaCl konsantrasyonlarının 0'dan 100 mM'a artış olmuştur. Bu çalışmada, manyetik alan uygulamasının tuz stresi altında yaprak gelişimini, özgül yaprak ağırlığını, nitrojenaz aktivitesini ve tohum verimini iyileştirdiği bulunmuştur. Tuzluluk genellikle ROS üretimini, özellikle de proteinler, lipidler ve nükleik asitler gibi ana hücre bileşenlerine zarar verebilen H_2O_2 üretimini yükseltmiştir (Ozgur vd. 2013). Manyetik alan uygulaması hücre zarı geçirgenliğini ve iyon kanallarındaki iyon taşınımını artırır, bu da bazı metabolik yolların aktivitelerini etkilemekte ve sonuç olarak bitkilerin gelişimini, fotosentezini ve verimini artırmaktadır (Galland ve Pazur 2005).



Şekil 2.4 Manyetik alan uygulamasının tuzluluk stresi altında soya fasulyesinin yaprak alanı ve yaprak ağırlığı üzerine etkisi

Turp tohumlarına 6 mT, 8 ve 20 mT değişken statik manyetik alan yoğunluğunda, 3 ve 12 dakika boyunca uygulamalar yapılmıştır. Uygulanmış tohumların kontrole göre çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme zamanı, sürgün ve kök uzunluğuna olumlu etki ettiği belirlenmiştir. Ayrıca en iyi sonucun 12 dakikalık süre boyunca ve 20 mT statik manyetik alan yoğunluğunda yapılan uygulamada elde edildiği belirlenmiştir (Konefal-Jonacha vd. 2019).

Bakla tohumlarına 30 ve 85 mT yoğunluğunda, 15 saniye süre boyunca manyetik alan uygulaması yapılmıştır. Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında çimlenme aşamasında su alım oranının artmasıyla birlikte, IAA içeriğinde 21.5, 27.5 ve 22.0 ng/g ve GA₃ içeriğinde ise 180, 892, 239 ng/g artış olmuştur. Uygulamaların tohumlarda çimlenme oranlarını, fide uzunluğunu ve ağırlığını da önemli derecede artırdığı tespit edilmiştir (Podlesna vd. 2019).

Marul tohumlarına 0.44, 0.77 ve 1 Tesla yoğunluğunda 1, 2 ve 3 saatlik süreyle uygulama yapılmıştır. Bu uygulamaların sürgün uzunluğu, kök uzunluğu, sekonder

kökler ve gövde kalınlığı bakımından olumlu sonuçları olduğu saptanmıştır. En iyi sonucu sürgün uzunluğu bakımından kontrol grubuyla karşılaştırıldığında 1 Tesla ve 1 saat süreyle olan uygulamadan %26.54 oranında artış sağlanırken, kök uzunluğu bakımından ise 0.44 Tesla yoğunluğunda 3 saatlik süre ile %74.80 oranında artış sağlanmıştır. Gövde kalınlığı bakımından da tüm uygulamalarda artış temin edilirken en çarpıcı sonucu 0.77 Tesla yoğunluğunda 2 ve 3 saatlik uygulamalar 2.5 kat artış ile göstermiştir (Abdel Latef vd. 2020).

Mısır tohumlarına (30, 60, 90 ve 120 dakika) 50 mT yoğunluğunda ayrıca 60 dakikalık sürelerde 100 ve 200 mT yoğunluğunda manyetik alan uygulamaları yapılmıştır. Bu uygulamaların tohum kalitesi üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla çimlenme yüzdesi değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda çimlenme yüzdesi bakımından en iyi sonuçlar 50 mT yoğunluğunda 60 dakikalık süreli uygulamalarda elde edilmiştir. Bu uygulamaların ardından 30 dakikalık süreli uygulamalar ikinci en iyi sonucu vermiştir (Singh ve Verma 2020).

Xianzong vd. (2020), iki turp çeşidinin tohumları; 'Carmen' (C) ve 'Szkarlata z Białym Koncem' (SBK) kullanılarak manyetik alan uygulaması yapmışlardır. Manyetik alan Viofor JPS Delux cihazından üretilmiştir (Şekil 2.1). Turp tohumları 20 mT manyetik alan yoğunluğunda sırasıyla 10, 30 ve 60 dakika süreyle uygulanmıştır. Çalışmada, ilk normal sayımı 4 gün sonra, ikincisi ise 10 gün sonra yapılmıştır. Daha sonra, her birinin sürgün uzunlukları ve yaş ağırlıkları ölçülmüştür. Yapılan araştırma manyetik alan uygulamasının sadece tohum kalitesini değil, aynı zamanda sürgün boyunu ve yaş ağırlığını da olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Uygulama süresinin çimlenme oranı üzerindeki etkisi manyetik alana maruz kalma süresinin artmasıyla birlikte artmıştır. Uygulamanın hem 'C' hem de 'SBK' çeşitlerinin tohum kalitesini artırdığı ve 60 dakikanın en etkili uygulama süresi olduğu belirlenmiştir (Şekil 2.5-2.6).



Şekil 2.5 Turp tohumları ile Viofor JPS Delux (Holubowicz vd. 2014)



Şekil 2.6 Turp 'Szkarlata z Białym Koncem' (SKB) tohumlarının manyetik alan uygulamasının 15 °C'de çimlenme oranları üzerindeki etkisi

450 gauss manyetik suyla uygulama yapılan soğan tohumlarının kontrol grubuna göre çimlenme oranı, çimlenme hızı, sürgün boyu ve tarla çıkış oranına etkisinin olumlu olduğu gözlenmiştir. Çimlenme oranları incelendiğinde kontrol grubu %80 olduğu görülmüş, uygulama yapıldığında ise çimlenme oranı %92.4 tespit edilmiştir. Tarla çıkışına etkisinde ise kontrol grubunun %75.2 bulunmuştur, ancak uygulama yapıldığında bu oranın %86'ya yükseldiği belirlenmiştir (Zalama ve Fathalla 2020).

Bal kabağı tohumlarına 30 mT yoğunluğunda ve 1 dakika süre boyunca manyetik alan uygulanmıştır. Kontrol grubuna göre çimlenme enerjisi bakımından %20 oranında artış bulunmuştur. Ayrıca kontrol grubuna göre saksıdaki bitkilerin yapraklarında %42 daha fazla klorofil a içerdiği bulunmuş ve bunun yanı sıra karotenoid oranı %81 daha fazla olduğu belirlenmiştir (Dziwulska-Hunek vd. 2021).

Nohut tohumlarına 100 ve 200 mT yoğunluğunda ve 1 saatlik süreyle manyetik alan uygulanmıştır. Bu çalışmada çimlenme indeksleri, fide gelişimi ve enzim aktivitesi araştırılmıştır. En iyi sonucu vermiş olan 100 mT yoğunluğundaki uygulama kontrol grubuyla karşılaştırıldığında çimlenme yüzdesi, çimlenme hızı, sürgün boyu, kök boyu ve α -amilaz enzim aktivitesi bakımından olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca uygulama sonucunda tohum sızıntı sularının elektriksel iletkenliğinin kontrole göre önemli ölçüde azaldığını göstermiştir (Sharma vd. 2021).

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Araştırma, 2021-2022 yılları arasında Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Tohum Bilimi laboratuvarında yürütülmüştür.

Araştırmada sıcak iklim sebze türlerinden domates (*Solanum esculentum* Mill), biber (*Capsicum annuum* L.), patlıcan (*Solanum melongena* L.) ile serin iklim sebze türlerinden lahana (*Brassica oleracea* var. capitata), karnabahar (*Brassica oleracea* var. botrytis), soğan (*Allium cepa* L.), pırasa (*Allium porrum* Don.), kereviz (*Apium graveolens* var. Rapaceum Mill), havuç (*Daucus carota* L.) tohumları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan türler, çeşitler ve üretim yılları Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan türlere ait çeşitler ve üretim yılları

Tür	Çeşit	Üretim yılı
Biber	Sera Demre	2021
Domates	SC-2121	2021
Karnabahar	İgloo	2021
Lahana	Yalova1	2021
Soğan	Karbeyazı	2021
Havuç	Nantes Scarlet	2021
Pırasa	İnegöl-92	2021
Patlıcan	Kemer-27	2021
Kereviz	Çanakkale Kök	2021

3.2 Yöntem

3.2.1 Tohum partilerinin başlangıç canlılıklarının ve tohum nemlerinin belirlenmesi

Tohum partilerinin başlangıç canlılıklarının belirlenmesi amacıyla standart çimlendirme testi yapılmıştır. Bütün tohum partileri 3 tekerrür × 50 tohum olacak şekilde ISTA

(International Seed Testing Association, 2020) kurallarına göre yürütülen teste tabi tutulmuş 2 mm'lik kökçük çıkışı toplam çimlenme (TÇ) olarak değerlendirilmiş, çimlenme sonunda normal çimlenme oranı (NÇ)'da belirlenmiştir.



Şekil 3.1 Başlangıç canlılıklarındaki 2 mm kökçük sayımı

Tohumların başlangıç nem tayini 1 gram tohum x 2 tekerrür olmak üzere domates, kereviz ve havuçta 130 °C'de 1 saat; biber, patlıcan, lahana, karnabahar, soğan ve pırasa da ise 103 °C'de 17 saat tutularak yapılmıştır (ISTA 2020). Kurutulan örnekler desikatörde 30 dakika bekletilip, nihai ağırlıkları belirlendikten sonra aşağıdaki formül kullanılarak, nem değerleri % cinsinden verilmiştir (Şekil 3.2).

$$\text{Nem miktarı (\%)} = \frac{\text{BTA} - \text{STA}}{\text{BTA}} \times 100$$

BTA: Başlangıç tohum ağırlığı

STA: Son tohum ağırlığı



Şekil 3.2 Tohumların başlangıç nemlerinin belirlenmesi

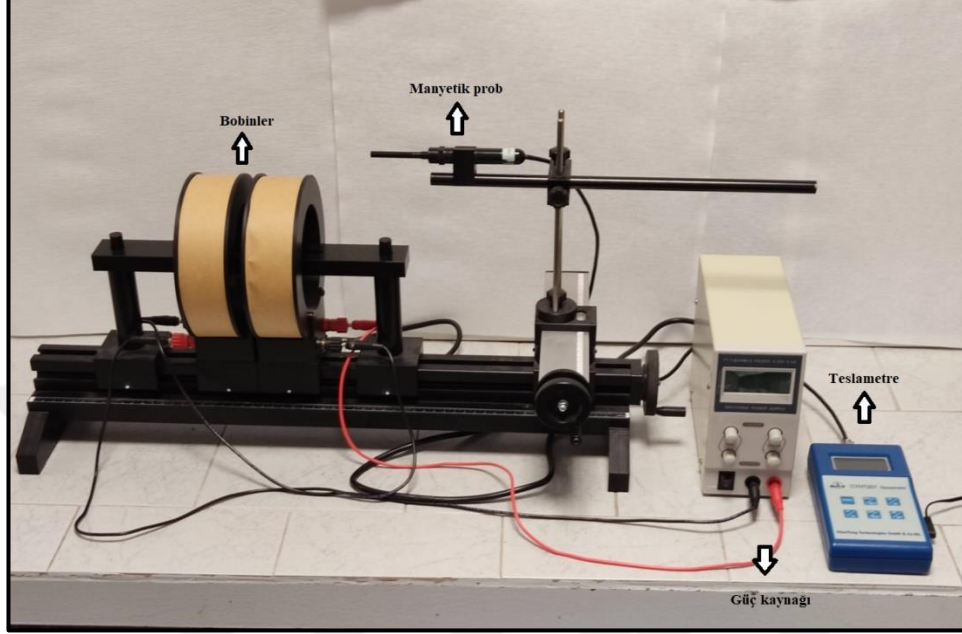
3.2.2 Elektromanyetik alan uygulamaları (mT: miliTesla)

Elektromanyetik alan yoğunluğu değerleri tesla (T), gauss (G) veya militesla (mT) olarak ifade edilmektedir.

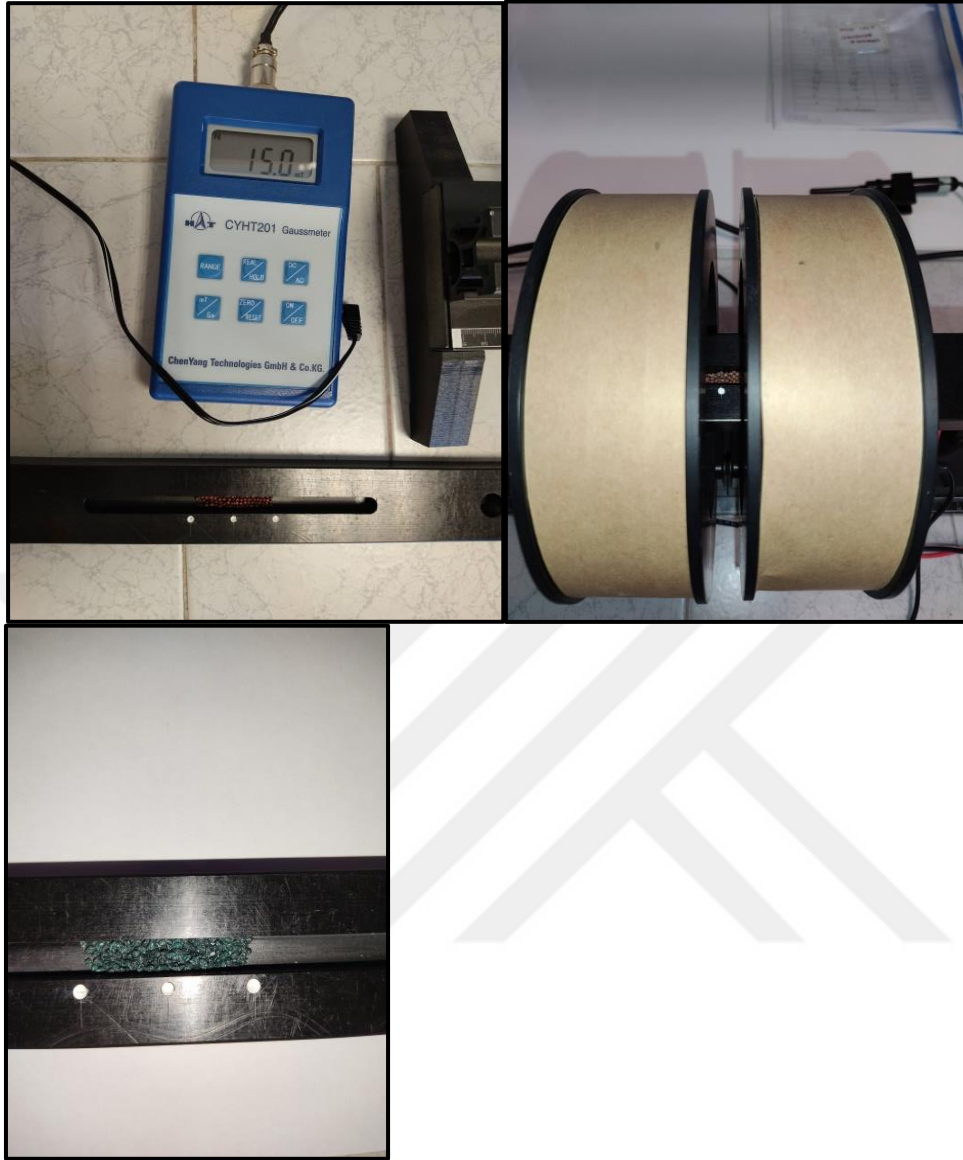
$$1 \text{ tesla (T)} = 1000 \text{ militesla (mT)} = 10.000 \text{ gauss (G)}$$

Araştırmada kullanılan cihazın (Şekil 3.3) yarattığı manyetik alan yoğunluğu 15 militesla (mT)' dir. Uygulama yoğunluğu sabit kalmış ve süreleri 5, 10, 15 dakika

şeklinde ayarlanmıştır (Şekil 3.4). Uygulama oda sıcaklığında yapılmıştır. Her türde uygulanmış ve kontrol tohumları çimlendirme testine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.3 Elektromanyetik alan uygulama cihazı



Şekil 3.4 Teslametre ve tohumların yerleştirildiği alan

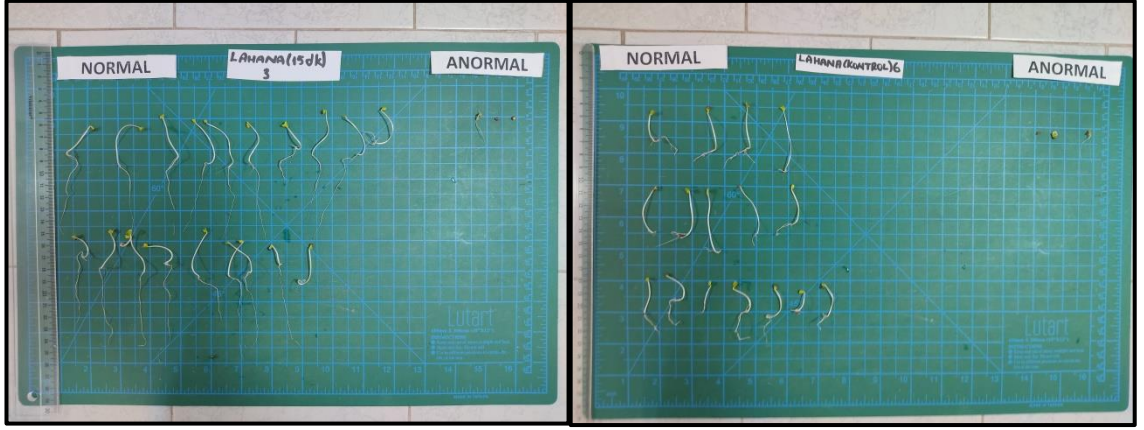
3.2.3 Çimlendirme testi (TÇ: Toplam çimlenme, NÇ: Normal çimlenme)

Çimlendirme testi her türde 150 tohum (6 tekerrür $\times$ 25 tohum) olacak şekilde petri kabında yürütülmüştür. Çimlendirme testleri ISTA kurallarına göre domates, biber ve patlıcan için 25 °C’de; lahana, karnabahar, soğan, pırasa, kereviz ve havuçta ise 20 °C sıcaklıkta karanlıkta yürütülmüştür. Çimlendirme testleri kerevizde 21 gün; domates, biber, patlıcan, pırasa ve havuçta 14 gün; soğanda 12 gün; lahana ve karnabahar için 10 gün boyunca sürdürülmüştür. Bu süre boyunca ilk dört gün günde üç kez ve sonrasında

her gün aynı saatte olacak şekilde sayımlar yapılmıştır (şekil 3.5). imlendirme denemesinin sonunda toplam imlenme (T), normal (N) ve anormal değerlendirmesi (ISTA 2020) yapılmıştır (şekil 3.6).



şekil 3.5 çimlendirme testinin yapılışı



Şekil 3.6 Çimlendirme testinde normal ve anormal fide görüntüleri

3.2.4 Ortalama çimlenme zamanı (OÇZ, gün)

Çimlendirme denemesi sırasında yapılan saatlik sayımlardan (2 mm kökçük çıkışı) yararlanılarak aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (Demir vd. 2008).

$$OÇZ = \frac{\sum n \times D}{\sum n}$$

OÇZ: Ortalama çimlenme zamanı (saat)

n: Günde çimlenen tohum sayısı

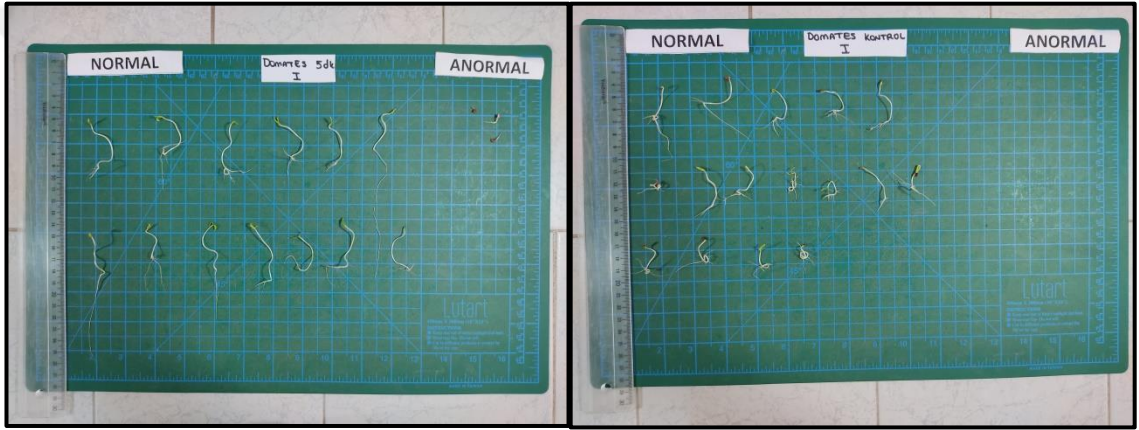
D: Çimlenme testinin başlangıcından itibaren geçen saat

3.2.5 En uygun manyetik alan uygulamasının tekrar test edilmesi

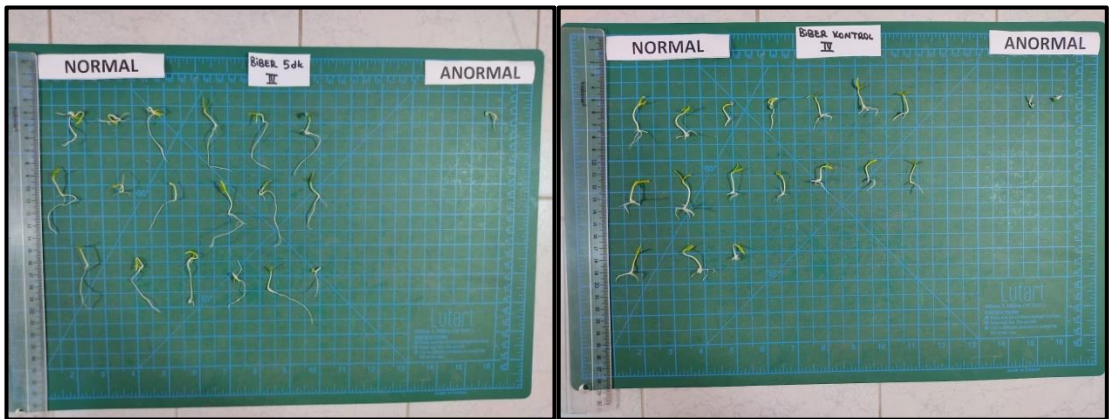
Tüm türlerde yapılan çimlendirme testinde istatistiksel olarak olumlu sonuç alınmış olan domates, biber ve soğanda 5 dakika, karnabahar, lahana ve havuçta ise 15 dakika uygulamaları ve 4 tekerrür $\times$ 20 tohum olacak şekilde tekrarlanmıştır. Çimlendirme testi petri kabında yapılmıştır. Çimlendirme testinde sayımlar günlük olarak yapılmıştır (Şekil 3.7-3.13).



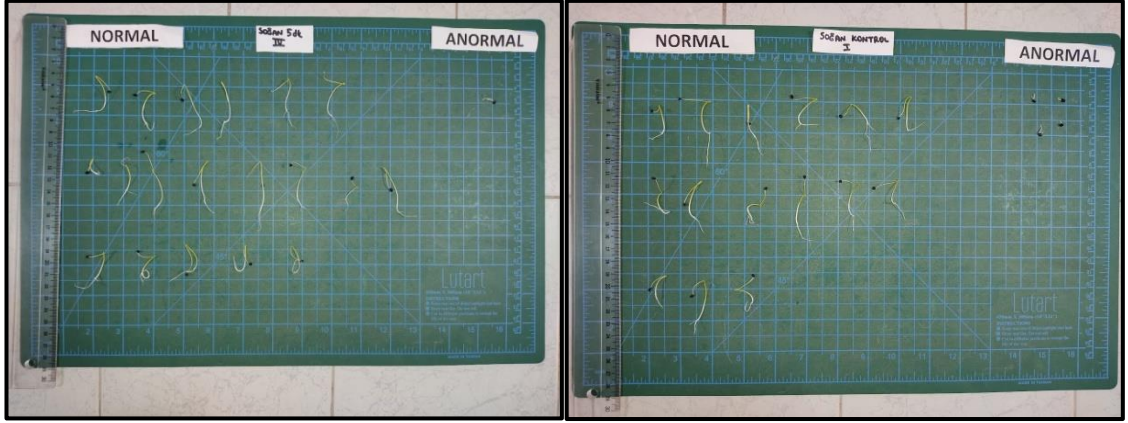
Şekil 3.7 Çimlendirme testinin yapılışı



Şekil 3.8 Domateste çimlendirme testinin normal ve anormal fide görüntüleri



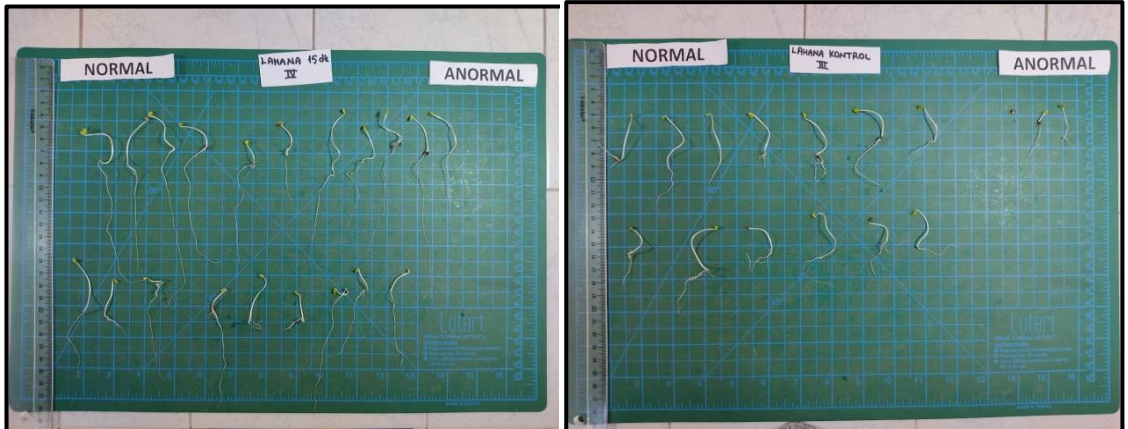
Şekil 3.9 Biberde çimlendirme testinin normal ve anormal fide görüntüleri



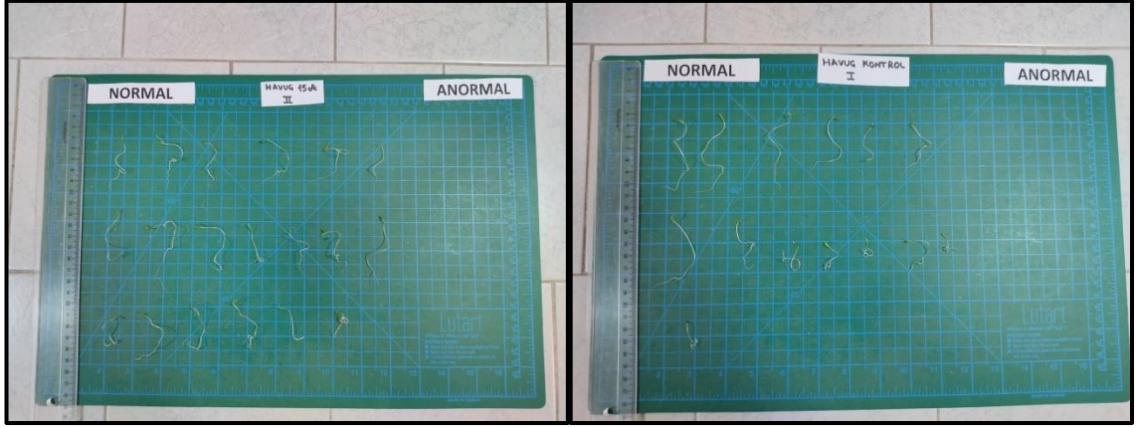
Şekil 3.10 Soğanda çimlendirme testinin normal ve anormal fide görüntüleri



Şekil 3.11 Karnabaharda çimlendirme testinin normal ve anormal fide görüntüleri



Şekil 3.12 Lahanada çimlendirme testinin normal ve anormal fide görüntüleri



Şekil 3.13 Havuçta çimlendirme testinin normal ve anormal fide görüntüleri

3.2.6 Ortalama çimlenme zamanı

3.2.4’de belirtildiği şekilde hesaplanmıştır.

3.2.7 Çimlenen tohumlarda sürgün uzunluğu saptanması (SU)

Çimlendirme testi sonunda seçilen 40 fide (4 tekerrür × 10 fide) kök hizasından kesilerek uzunlukları ölçülmüştür. Sonuçlar cm/bitki olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Fidelerde sürgün boyunun ölçülmesi

3.2.8 Çimlenen tohumlarda kök uzunluğunun saptanması (KU)

Çimlendirme testi sonunda rastgele seçilen 40 bitkinin (4 tekerrür × 10 fide) kök uzunluğu ölçülerek cm/bitki olarak ifade edilmiştir.

3.2.9 Uygulanmış tohumlarda su alım hızının belirlenmesi

Çimlenmede olumlu sonuç alınan domates, biber ve soğanda 5 dakika, karnabahar, lahana ve havuçta ise 15 dakika boyunca manyetik alan uygulaması tekrar edilmiş ve çimlendirme kağıtlarının üzerinde hem uygulanmış hem de kontrol tohumlarından 0.5 gramdan iki örnek konularak aşağıdaki formül esas alınarak 2, 4, 6, 8 ve 24 saat sonra tartılıp su alım oranı başlangıç ağırlığına göre % olarak belirlenmiştir (Şekil 3.15).

$$\% \text{ nem} = \frac{\text{Son ağırlık} - \text{Başlangıç ağırlığı}}{\text{Başlangıç ağırlığı}} \times 100$$



Şekil 3.15 Su alım hızının belirlenmesi için yapılanlar

3.2.10 İstatistiksel değerlendirme

Kalite parametre değerleri her türde manyetik uygulama yapılmış ve kontrol tohumları arasında SPSS paket programıyla duncan kullanılmış ve %5 düzeyinde karşılaştırılmıştır.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Başlangıç Canlılıkları, Ortalama Çimlenme Zamanı ve Tohum Nemleri

Denemede 2021 yılına ait dokuz türde ticari tohum partileri kullanılmıştır. Kullanılan bu dokuz türde toplam çimlenme değerleri %73 ile %100 arasında, normal çimlenme değerleri %62 ile %87 arasında değişmiş ve en yüksek normal çimlenme değerini soğan ve pırasa, en düşük değeri ise biber ve domates tohumları göstermiştir. Tohum nemi ise türler arasında %5.5-10.2 arasında değişmiştir. En düşük nem içeriği karnabaharda, en yüksek nem içeriği ise patlıcanda saptanmıştır. Ortalama çimlenme zamanı değerlendirildiğinde en hızlı çimlenen tür 2.2 gün ile lahana, en yavaş çimlenen ise 10.7 gün ile kereviz olmuş ve diğer türler bu ikisi arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 Tezde kullanılan türlere ait tohumların toplam çimlenme (TÇ%), normal çimlenme (NÇ%) oranları, tohum nemi (%) ve ortalama çimlenme zamanlarındaki (OÇZ, gün) değişim

Tür	TÇ (%)	NÇ (%)	Tohum nemi (%)	OÇZ (gün)
Biber	77	62	7.6	4.4
Domates	79	62	8.1	4.2
Karnabahar	86	64	5.5	2.9
Lahana	93	78	6.5	2.2
Soğan	100	87	8.8	3.8
Havuç	79	71	8.7	4.8
Pırasa	95	87	9.7	4.5
Patlıcan	73	66	10.2	4.6
Kereviz	79	69	8.8	10.7

4.2 Manyetik Uygulamanın Normal Çimlenme Üzerine Etkisi

Çizelge 4.2 incelendiğinde türler arasında istatistiksel harflendirmelere bakılarak manyetik uygulamanın etkisinin kontrole göre fark oluşturmaya rağmen bu farkların çoğu türde istatistiksel olarak anlamlı olmadığı saptanmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı olan tek tür biberdir. Biberde 5 dakikalık manyetik alan uygulaması kontrole göre %14'lük artış göstermiştir. Domates ve soğanda istatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte 5 ve 15 dakikalık uygulamalarda artış gözlenmiştir. Kontrole göre uygulamaların istatistiksel olarak farkı anlamlı olmasa da uygulama süreleri arasında farkın bulunduğu türler de mevcuttur. Örneğin domateste 10 ile 15 dakika arasındaki fark ya da soğanda 5, 15 ve 10 dakika uygulamaları arasındaki fark buna örnek olabilir.

Çizelge 4.2 Manyetik uygulamanın 5, 10 ve 15 dakika süreyle yapıldığı türlerde uygulanmış ve kontrol tohumlarında normal çimlenme (NÇ%) oranlarındaki değişim

Tür	Uygulama süresi (Dakika)			
	5	10	15	Kontrol
Biber	71±8.5 ^a	68±6.7 ^{ab}	66±13.6 ^{ab}	57±9.3 ^b
Domates	69±4.8 ^{ab}	58±8.7 ^b	71±10.0 ^a	59±13.0 ^{ab}
Karnabahar	68±10.4 ^a	63±18.5 ^a	73±4.8 ^a	63±6.0 ^a
Lahana	81±4.1 ^a	77±6.9 ^a	85±7.9 ^a	76±11.3 ^a
Soğan	90±7.5 ^a	79±8.6 ^b	89±6.9 ^a	84±6.7 ^{ab}
Havuç	73±4.8 ^a	76±11.9 ^a	75±3.3 ^a	70±11.5 ^a
Pırasa	88±9.5 ^a	88±4.4 ^a	90±6.6 ^a	85±6.5 ^a
Patlıcan	37±11.8 ^a	35±10.9 ^a	40±10.7 ^a	39±9.3 ^a
Kereviz	71±6.9 ^a	67±9.0 ^a	63±5.9 ^a	68±6.7 ^a

Ortalamalar (±) standart hata ile sunulmuştur. Aynı satırda farklı harflere sahip değerler istatistiksel olarak anlamlıdır ($P \leq 0.05$).

4.3 Manyetik Uygulamasının Ortalama Çimlenme Zamanına Etkisi

Çizelge 4.3 incelendiğinde türler içerisinde bütün uygulama sürelerinde en hızlı çimlenen tür lahana olarak gözlenmiştir. Çimlenme sürecinde bu tür 40 ile 45 saat arasında çimlenme göstermiştir. En yavaş çimlenen ise kereviz olarak gözlenmiştir. Kerevizde ortalama çimlenme süresi 200 saatin üzerinde olmuştur. Diğer türler bu iki süre arasında çimlenme göstermiştir. Uygulamaların etkisine baktığımız zaman biber, domates, karnabahar, lahana, havuç, pırasa ve patlıcanda her üç uygulama zamanı da kontrolden farksız görülmüştür ($P \geq 0.05$). Hemen hemen bütün türlerde çimlenme zamanı incelendiğinde uygulamalar istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermemiştir; ancak bazı türlerde istatistiksel olarak anlamlı olmamakla beraber soğan 68 saatle 5 dakikalık uygulamada, kerevizde ise 200 saatle 5 dakika ve 202 saatle 10 dakika uygulamaları daha hızlı çimlenmeye olanak sağlamıştır.

Çizelge 4.3 Manyetik uygulamanın 5, 10 ve 15 dakika süreyle yapıldığı tohumlarda OÇZ (ortalama çimlenme zamanı, saat) deki değişim

Tür	Uygulama süresi (Dakika)			
	5	10	15	Kontrol
Biber	121±10 ^a	128±10 ^a	125±10 ^a	129±12 ^a
Domates	103±14 ^a	101±17 ^a	99±10 ^a	100±14 ^a
Karnabahar	67±17 ^a	56±6 ^a	56±13 ^a	56±7 ^a
Lahana	44±8 ^a	45±6 ^a	42±8 ^a	40±7 ^a
Soğan	68±2 ^a	71±6 ^{ab}	76±6 ^b	72±4 ^{ab}
Havuç	115±10 ^a	107±12 ^a	114±10 ^a	107±12 ^a
Pırasa	95±7 ^a	90±9 ^a	93±8 ^a	90±2 ^a
Patlıcan	122±20 ^a	136±22 ^a	132±30 ^a	148±36 ^a
Kereviz	200±15 ^a	202±14 ^a	221±15 ^b	216±16 ^{ab}

Ortalamalar ($\pm$) standart hata ile sunulmuştur. Aynı satırdaki farklı harflere sahip değerler istatistiksel olarak anlamlıdır ($P \leq 0.05$).

4.4 En Uygun Manyetik Alan Uygulama Süresinin Normal Çimlenme Oranı Üzerine Etkisi

Çizelge 4.4 incelendiğinde, uygulama sonuçları biber, domates ve soğanda 5'er dakika, karnabahar, lahana ve havuçta ise 15 dakikalık uygulamaların normal çimlenme oranını en yüksek seviyeye çıkardığı görülmektedir. Bu süreler Çizelge 4.2'de en fazla fayda sağlanan ve türe göre değişkenlik gösteren sürelerdir. Sonuçlar belirtilen sürelerde uygulamanın biber, soğan ve karnabaharda kontrole göre istatistiki açıdan %5 düzeyinde anlamlı olduğunu ortaya koymuştur. Diğer üç türde ise fark anlamlı bulunmamıştır. Önemli olmamasına rağmen kontrole göre domateste %8, lahanada %8, havuçta %9 fark oluşmuştur. Türler arasında uygulamanın en önemli farkı %14 ile soğanda gözlenmiştir. Bütün türlerde fark olmasına rağmen hepsinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Ancak üçünde anlamlı bir fark bulunmuştur.

Çizelge 4.4 Çizelge 4.2'deki sonuçlara göre saptanan en uygun sürede (dk) uygulanmış 6 farklı sebze türü tohumlarında normal çimlenme oranına etkisi

Tür	Uygulama süresi (dk)	Uygulama	Kontrol
Biber	5	71±4.8 *	61±4.8
Domates	5	71±4.8 öd	63±6.5
Soğan	5	93±6.5 *	79±8.5
Karnabahar	15	70±4.1 *	60±5.8
Lahana	15	84±8.5 öd	76±6.3
Havuç	15	83±11.9 öd	74±4.8

Uygulama ve kontrol grupları arasındaki ilişkiyi belirlemek için bağımsız örneklem t testi kullanılmıştır. Ortalamalar standart hata değerleri ile birlikte verilmiştir. *: Anlamlı (P<0.05) öd: Önemli değil

4.5 En Uygun Manyetik Alan Uygulama Süresinin Ortalama Çimlenme Zamanına Etkisi

Çizelge 4.5'e baktığımızda bu uygulamaların çimlenme hızına yapmış olduğu etki bakımından tek istatistiksel anlamlı fark soğanda bulunmuştur. Diğer türler birbirine çok yakın değerler vermiş ve aradaki fark anlamlı bulunmamıştır ($P>0.05$). Uygulama yapılan türler arasında en hızlı çimlenen 2.1 gün ile lahana ve en yavaş olanı ise 5 günle biber olmuştur. Kontrolde ise benzer şekilde lahana 2.0 günle en hızlı çimlenen ve biber ise 5.1 günle en yavaş bir çimlenen tür olmuştur.

Çizelge 4.5 Çizelge 4. 2'deki sonuçlara göre en uygun sürede manyetik alan uygulama süresinin 6 farklı türde OÇZ (gün)'ye etkisi

Tür	Uygulama süresi	Uygulama	Kontrol
Biber	5	5±0.3 öd	5.1±0.5
Domates	5	4.2±1.0 öd	4.0±0.2
Soğan	5	3.3±0.1 *	3.5±0.1
Karnabahar	15	2.4±0.1 öd	2.6±0.2
Lahana	15	2.1±0.3 öd	2.0±0.3
Havuç	15	4.5±0.6 öd	4.8±0.4

Uygulama ve kontrol grupları arasındaki ilişkiyi belirlemek için bağımsız örneklem t testi kullanılmıştır. Ortalamalar standart hata değerleri ile birlikte verilmiştir. *: Anlamlı ($P<0.05$) öd: Önemli değil

4.6 Manyetik Alan Uygulamasının Sürgün Uzunluğuna (SU) Etkisi

Çizelge 4.6 incelendiğinde, uygulanmış türlerin sürgün uzunlukları 1.5 cm ile 5.4 cm arasında değişmiştir. Kontrolde ise değerler 1.3 cm ile 4.6 cm arasında olmuştur. Manyetik uygulamaların sürgün boyuna etkisini gözlemlediğimizde, uygulanan bütün türlerde etkinin anlamlı ($p<0.05$) olduğu görülmüştür. Domateste 1.4 cm sürgün boyuyla en fazla fark ortaya çıkarken, soğanda 1.3 cm ile oldukça yüksek, karnabahar ve havuçta 0.7 cm, lahanada 0.5 cm ve biberde ise 0.2 cm fark oluşmuştur.

Çizelge 4.6 Manyetik uygulamanın Çizelge 4.2'deki sonuçlar baz alınarak en uygun sürede yapıldığı türlerde çimlendirme sonunda fide sürgün uzunluğundaki (SU) değişim (cm/bitki)

Tür	Uygulama süresi (Dk)	Sürgün Uzunluğu (cm)	
		Uygulama	Kontrol
Biber	5	1.5±0.3*	1.3±0.3
Domates	5	4.7±0.8*	3.3±0.6
Soğan	5	5.4±0.7*	4.1±0.7
Karnabahar	15	3.7±0.7*	3.0±0.7
Lahana	15	4.2±0.7*	3.7±0.8
Havuç	15	5.3±0.8*	4.6±1.0

Uygulama ve kontrol grupları arasındaki ilişkiyi belirlemek için bağımsız örneklem t testi kullanılmıştır. Ortalamalar standart hata değerleri ile birlikte verilmiştir. *: Anlamlı (P<0.05)

4.7 Manyetik Alan Uygulamasının Kök Uzunluğuna (KU) Etkisi

Çizelge 4.7 incelendiğinde, kök boyunda uygulanmış türlerdeki kök uzunluğu soğanda 2.2 cm ile lahanada 7.2 cm arasında değişiklik gösterirken diğer türler bu ikisi arasında yer almıştır. Kontrolde ise en düşük soğanda 1.7 cm ile lahanada en yüksek 3.7 cm arasında değişiklik göstermiştir. Bütün türlerde uygulamalar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0.05). Uygulanmış türlerin kontrole göre kök uzunluğundaki en yüksek fark 3.5 cm ile lahanada, en düşük fark ise 0.5 cm ile soğanda görülmüştür.

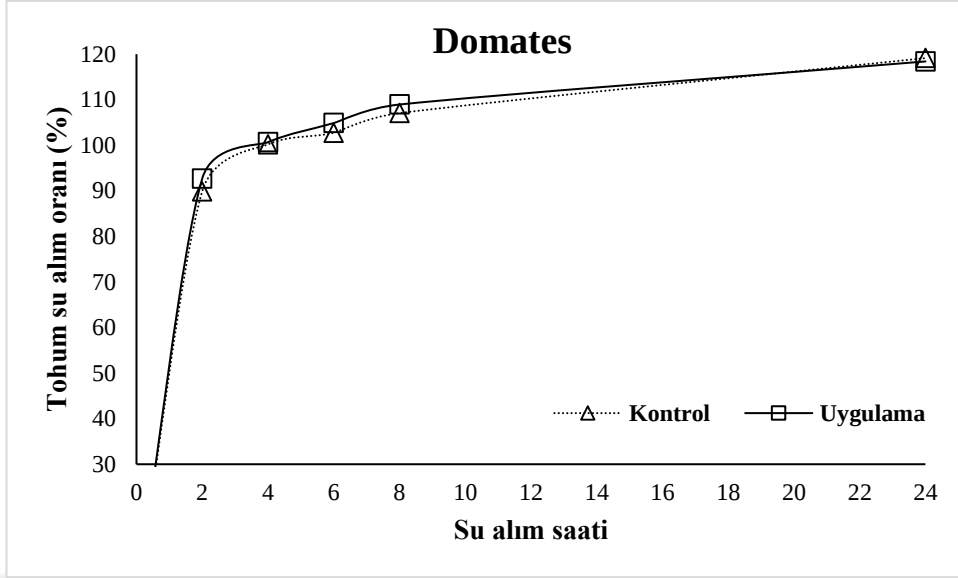
Çizelge 4.7 Manyetik uygulamanın Çizelge 4.2’deki sonuçlar baz alınarak en uygun sürede yapıldığı türlerde çimlendirme sonunda fide kök uzunluğundaki (KU) değişim (cm/bitki)

Tür	Uygulama süresi (Dk)	Kök Boyu (cm)	
		Uygulama	Kontrol
Biber	5	3.7±1.6*	2.8±1.2
Domates	5	4.2±1.8*	2.2±0.9
Soğan	5	2.2±0.6*	1.7±0.5
Karnabahar	15	3.4±1.6*	2.2±1.2
Lahana	15	7.2±3.4*	3.7±1.7
Havuç	15	3.3±0.9*	2.6±0.9

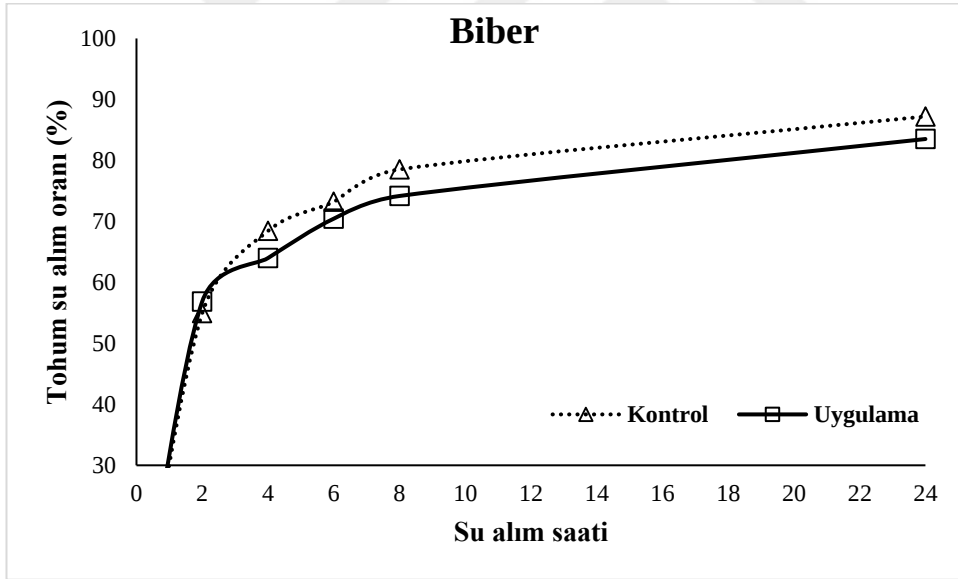
Uygulama ve kontrol grupları arasındaki ilişkiyi belirlemek için bağımsız örneklem t testi kullanılmıştır. Ortalamalar standart hata değerleri ile birlikte verilmiştir. *:Anlamlı (P<0.05)

4.8 Manyetik Alan Uygulamasının Tohum Su Alım Oranına Olan Etkisi

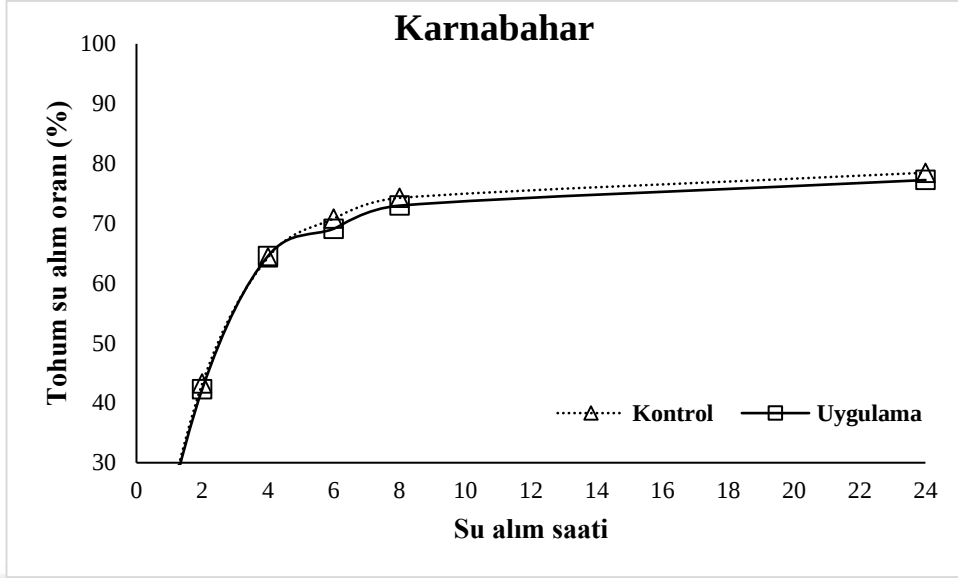
Elektromanyetik uygulamanın tohumun su alım oranına etkisi bakımından herhangi bir fark görülmemiştir. Aynı saatlerde su alım hızına bakıldığında domates en hızlı, soğan ve lahana en yavaş su alan tohumlar olarak gözlenmiştir. Türlerin çoğunda 8 saat ile beraber su alımı tamamlanmış ancak soğanda su alımı 24 saate kadar devam etmiştir (Şekil 4.1-4.6).



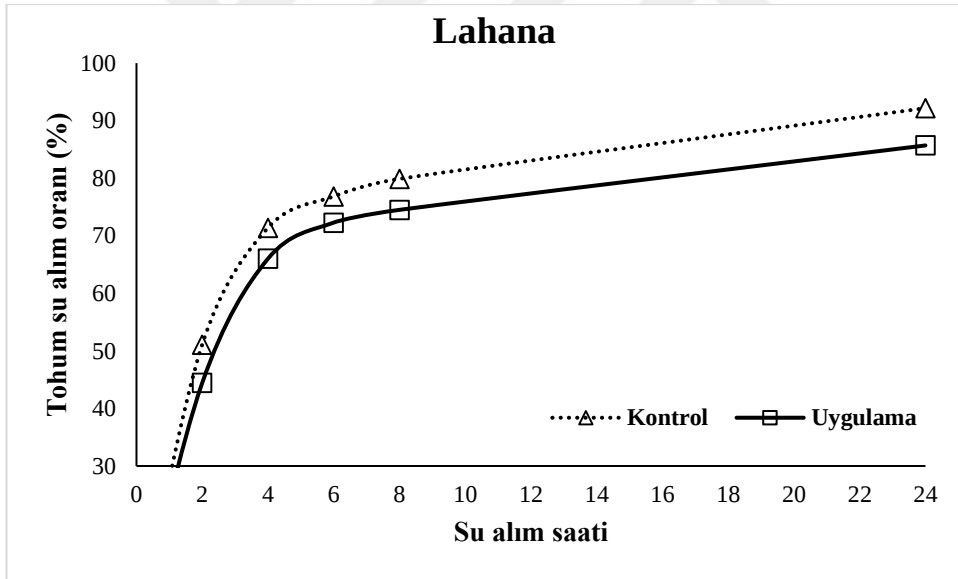
Şekil 4.1 Çizelge 4.2'deki sonuçlara göre en uygun sürede uygulanan manyetik alan uygulamasının domateste tohumların su alımına 24 saat içinde etkisi



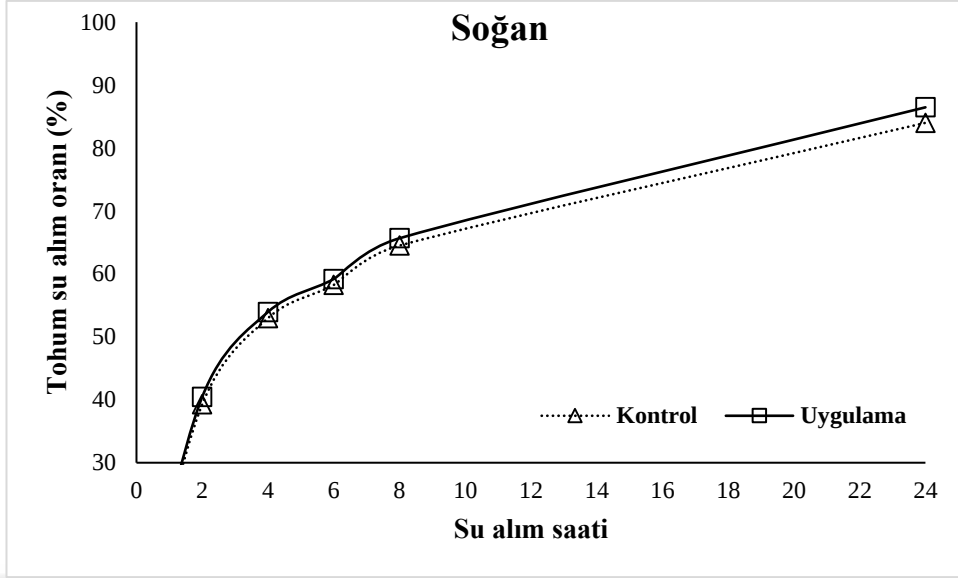
Şekil 4.2 Çizelge 4.2'deki sonuçlara göre en uygun sürede uygulanan manyetik alan uygulamasının biberde tohumların su alımına 24 saat içinde etkisi



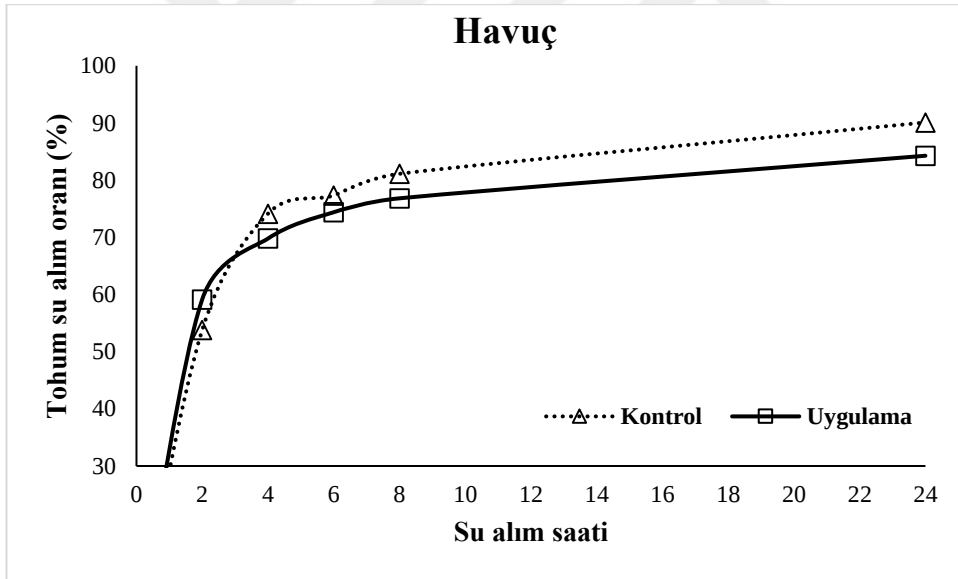
Şekil 4.3 Çizelge 4.2’deki sonuçlara göre en uygun sürede uygulanan manyetik alan uygulamasının karnabaharda tohumların su alımına 24 saat içinde etkisi



Şekil 4.4 Çizelge 4.2’deki sonuçlara göre en uygun sürede uygulanan manyetik alan uygulamasının lahanada tohumların su alımına 24 saat içinde etkisi



Şekil 4.5 Çizelge 4.2'deki sonuçlara göre en uygun sürede uygulanan manyetik alan uygulamasının soğanda tohumların su alımına 24 saat içinde etkisi



Şekil 4.6 Çizelge 4.2'deki sonuçlara göre en uygun sürede uygulanan manyetik alan uygulamasının havuçta tohumların su alımına 24 saat içinde etkisi

5. TARTIŞMA

Bu tez elektromanyetik alan uygulamalarının domates, biber, patlıcan, lahana, karnabahar, soğan, pırasa, kereviz ve havuç tohumlarının çimlenme kalitesini artırmak amacıyla yapılmıştır. Uygulamaların çimlenme parametrelerinin yanında su alım hızı bakımından etkileri de belirlenmiştir. Sonuçlar, elektromanyetik uygulamaların türler üzerindeki etkisinin uygulama sürelerine göre farklı olduğunu göstermiştir (Çizelge 4.2-4.3).

Manyetik alan uygulamaları bu çalışmada tüm türlerde çimlenme oranlarını önemli ölçüde artırmıştır. Türler sınıflandırıldığında çimlenme oranı bakımından kontrol grubuna göre en yüksek olumlu etki %14 farkla soğanda, daha sonra %10 farkla biber ve karnabaharda görülmüştür. Domates, lahana ve havuçta da fark olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (Çizelge 4.4). Manyetik alan uygulamaları ortalama çimlenme zamanı bakımından tüm türler arasında sadece soğanda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$). Diğer türlerde birbirine yakın değerler elde edilmiştir (Çizelge 4.5). Türlerle göre etkinin değişken olabileceği gözlemlenmiştir. Çalışma sonuçları, manyetik uygulamaların etkisinin sadece kullanılan manyetizmanın düzeyine değil aynı zamanda süre, uygulama yöntemine ve de türe görede farklılıklar gösterebileceğini savunan Dorna vd. (2010) yaptığı çalışmayı desteklemektedir.

Tohum teknolojisinde fizyolojik uygulamalar tohumun nem içeriğini artırarak yarar sağlayan metotlardır. Manyetik uygulamalar ise fiziksel uygulamalar grubuna girmekte olup tohum nemini artırmadan yani kuru bir şekilde uygulanabilme avantajına sahiptir. Bu da tohumu nemle temas ettirmeden, kurutma işlemine gerek kalmadan ve buna bağlı olabilecek olumsuz etkiyi gözlemeden yapılabilmesi bakımından önemlidir. Nitekim bazı araştırmacılar da manyetik uygulamaların en önemli avantajı olan tohumun kuru bir şekilde ekim öncesi uygulanabiliyor olmasıyla çimlenme ve fide gelişim parametreleri üzerinde olumlu etkisinin gözlemlendiğini biber (Ahamed vd. 2013), havuç (Dorna vd. 2010), turp (Krawiec vd. 2013, Konefal-Janocha vd. 2019) türlerinde vurgu yapmışlardır.

Manyetik alan uygulaması çimlenme oranı yanında çimlenme sonrası bitki gelişimi, sürgün ve kök uzunluğu, yaş ağırlığı, bitki başına ortalama meyve ağırlığı ve meyve sayısına da olumlu etki yapmaktadır (Aladjadjiyan 2002, Rochalska ve Orzeszko-Rywka 2005, Baghel vd. 2016). Yapılan çalışmada, önceki araştırmalarla benzer sonuçlar elde etmiş olmamıza rağmen, farklı sebze türlerine ait tohumlarda sürgün ve kök boylarında olumlu etkiler gözlenmiştir (Çizelge 4.6-4.7).

Bitkiler üzerinde manyetik alanın etkisine yönelik çalışmalar oldukça eskiye dayanmaktadır. Savastin (1928) buğday bitkilerinin boylarının uzunluğu üzerine manyetik alan uygulamasının %100 artış sağladığını gözlemlemiştir. Daha sonra Audus (1960) manyetik alanın kök gelişimine olan etkisini tespit etmiştir. Mısır tohumlarına 5 mT yoğunluğunda uygulanan manyetik alan uygulamasının kök uzunluğunu artırdığı saptanmıştır (Muraji vd. 1992). Nitekim bizim çalışmamızda da 5 dakika uygulaması domates, biber ve soğanda en uygun uygulama süresi olmuştur (Çizelge 4.4). Ayrıca soğanda da kök gelişimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0.05$) diğer türlerde de istatistiksel olarak farklı olmasa da etkin bulunmuştur (Alexander ve Doijode 1995). Çalışmamızda manyetik alan uygulaması çimlenmiş fidelerde sürgün uzunluğuna olumlu etki göstermiştir (Çizelge 4.6). Bir başka çalışmada ise tohumlara ekim öncesi manyetik alan uygulamasının bitki gelişimini olumlu şekilde etkilediği belirlenmiştir (Vashisth ve Nagarajan, 2008b). Domates tohumlarına 3 mT ve 25 mT yoğunluğunda devamlı ve 5 dakikalık manyetik alan uygulamaları yapılmıştır. Bu uygulamalar kontrol grubuyla karşılaştırıldığında kök boyu 3 mT’da %29 ve 25 mT’da ise %25 farkla olumlu yönde etki sağlamıştır (Feizi vd. 2012). Benzer sonuçlar bizim çalışmamızda da saptanmıştır (Çizelge 4.6).

Bu çalışmada elektromanyetik alan uygulaması bütün türlerde sürgün uzunluğu ve kök uzunluğunda istatistiksel olarak anlamlı etki sağlamıştır. Sürgün uzunluğunda kontrol grubuyla karşılaştırıldığında en yüksek fark 1.4 cm ile domateste olmuştur. Kök uzunluğunda ise en yüksek fark 3.5 cm ile lahanada gözlenmiştir. Sürgün ve kök boyundaki önemli farkların araziye ya da fide üretim alanına yapılan ekimlerde bitki gelişimini olumlu etkileme potansiyeli vardır.

Manyetik alan uygulamasının bitkilerde etkisinin farklı şekillerde olduğu belirtilmektedir. Manyetik alan uygulamaları canlılarda hormon ve enzim etkinliği üzerindeki fonksiyonlarının değişmesine, hücre zarı geçirgenliğini etkileyerek besin elementlerinin alınması ve taşınmasını, DNA sentezini ve gen ekspresyonu bakımından organizmaların biyolojik fonksiyonlarını etkilediği tespit edilmiştir (Strasak vd. 2002). Bu çalışmada, manyetik alan uygulamasının fizyolojik temelleri üzerinde detaylı bir şekilde çalışılmamıştır. Ancak gelecekte bu konu ile ilgili çeşitli çalışmalar planlanmaktadır.

Çilek yapraklarında (Eşitken ve Turan 2003) ve hurma fidelerinde (Dhawi vd. 2009) manyetik alan uygulamasının özellikle oksin, sitokinin ve gibberellinlerin sentezini aktif hale getirerek bitki büyümesini teşvik edici etkisi olduğu bitkinin sürgün ve kök uzunluğunda artış gözlemlendiği ortaya konmuştur. Manyetik alanın hücre zarının geçirgenliğini artırmasıyla sitoplazmadaki N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu ve Zn birikimini artırdığı tespit edilmiştir. Sitokininler hücre bölünmesinde etkili olurken, oksin ve gibberellinler hücre uzamasında faydalı olmaktadır (Arteca 1996). Uygulama süresi de etki farklılığına belirleyici olmaktadır (Singh ve Verma 2020).

Fasulye tohumlarına 130 mT manyetik alan uygulaması meristematik hücrelerinde mitotik aktiviteyi artırmıştır. Bu uygulama GPX aktivitesinde belirgin bir artış sağlamış ancak vejetatif gelişime etkisi olmamıştır (Mroczek-Zdyrska vd. 2016).

Hıyar tohumlarına 80, 140 ve 240 mT yoğunluğunda 5, 10, 15 ve 20 dakikalık sürelerdeki manyetik alan uygulamalarında sürgün ve kök uzunluğu, yaprak alanı, çimlenme oranı ve klorofil içeriği bakımından olumlu etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak kuru ağırlıkta herhangi bir etki bulunmamıştır. En iyi uygulamanın 140 mT yoğunluğunda 5 ve 10 dakikalık sürelerde olduğu öngörülmüştür (Ghanbarpour vd. 2021).

Mısır tohumlarına 12.5 mT yoğunluğunda ve 30 dakikalık süreyle elektromanyetik alan uygulaması yapılmıştır. Araştırma sonucunda çimlenme oranı, klorofil içeriği, fotosentez hızı, transpirasyon hızı, stoma iletkenliği ve kuru ağırlık bakımından olumlu

etki tespit edilmiştir. Mısır bitkisinde gelişim, verim ve kaliteyi artırmak için bu uygulamanın kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Chanioti 2021). Manyetik alan uygulaması protein biyosentezine etki ederek bitki kök gelişimine yardımcı olmaktadır (Phirke vd. 1996). Manyetik alan uygulaması hücre bölünmesinde etkili olarak sürgün ve kök uzunluğunda artış sağlamıştır. Hücre bölünmesinde görülen en uzun evre olan G1 evresi RNA ve protein sentezi ile öne çıkar. Manyetik alan etkisiyle de hücre bölünmesinde artış meydana gelirken RNA ve protein sentezinde G1 evresinde etkili olduğu tespit edilmiştir (Polk ve Postow 1996).

Bu tez çalışmasındaki sonuçlara bakıldığında, 15 mT elektromanyetik alan yoğunluğuna göre en uygun uygulama sürelerinin domates, biber ve soğan için 5 dakika; karnabahar, lahana ve havuç için ise 15 dakika olduğu bulunmuştur.

Bitkisel üretim için tohum kalitesindeki iyileştirmelerdeki ekim öncesi uygulamaların yeri önem kazanmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan elektromanyetik alan uygulamalarının türler üzerinde belirlenen sürelerde çimlenme parametreleri üzerinde etkisi bulunmuştur. Bu uygulamanın en büyük avantajı kuru tohumlar üzerinde kullanılabilesidir. Bu sayede bitki gelişiminin etkisiyle de daha hızlı ve etkili sonuçlar elde edilebilir. Elektromanyetik alanın farklı türlerde ve yoğunluklarda uygulanmasıyla elde edilen fizyolojik etkilerin belirlenmesi bu alanda yapılan çalışmalarda yol gösterici olacaktır.

6. SONUÇ

Bu çalışmada kullanılan 15 mT dozundaki manyetik alan 5 ve 15 dakikalık uygulama süreleri ile biber, domates, soğan ve karnabahar, lahana ve havuçta hem çimlenme oranını hem de kök ve sürgün boyunu kontrole göre artırmıştır. Bu sonuç manyetik alanın sebze tohumlarında potansiyel kullanım alanı bulacağını göstermektedir. Gelecek çalışmalarda uygulamanın fizyolojik temelleri üzerinde yoğunlaşılması yararlı olacaktır.



KAYNAKLAR

- Abdel Latef, A.A., Dawood, M.F., Hassanpour, H., Rezayian, M., Younes, N.A. 2020. Impact of the static magnetic field on growth, pigments, osmolytes, nitric oxide, hydrogen sulfide, phenylalanine ammonia-lyase activity, antioxidant defense system, and yield in lettuce. *Biology*, 9,172.
- Abou El-Yazied., A., Shalaby, O., El-Gizawy, A., Khalf, S. and El-Satar, A. 2011. Effect of magnetic field on seed germination and transplant growth of tomato. *Journal of American Science*, 7(12); 306-312.
- Afzal, I., Abbası, K.Y., Iqbal, A., Younis, A., Bakhtavar, M.A., Rehman, H.U. 2016. Enhancement of zinnia seed germination and seedling emergence through magnetic seed stimulation. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 15(5); 173.
- Ahamed, M., Elzaawely, A. and Bayoumi, Y. 2013. Effect of magnetic field on seed germination, growth and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Asian Journal of Crop Science*, 5(3); 286-294.
- Aladjadjiyan, A. 2002. Study of the influence of magnetic field on some biological characteristics of zea mays. *Journal of Central European Agriculture*, 3(2); 89-94.
- Alexander, M.P. and Doijode, S.D. 1995. Electromagnetic field, a novel tool to increase germination and seedling vigour of conserved onion (*Allium cepa* L.) and rice (*Oryza sativa* L.) seeds with low viability. *Plant Genetic Res. Newsletter*, 104, 1-5.
- Alpsoy, H. C. and Unal, H. 2019. Effect of stationary magnetic field on seed germination and crop yield in spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 72(5).
- Arteca, R.N. 1996. Plant growth substances, principles and applications. Chapman and Hall, 260s, New York.
- Audus, L.J. 1960. Magnetotropism: a new plant-growth response. *Nature*, 185, 132-134.
- Baghel, L., Kataria, S. and Guruprasad, K. 2016. Static magnetic field treatment of seeds improves carbon and nitrogen metabolism under salinity stress in soybean. *Bioelectromagnetics*, 37, 455-470.
- Basu, R.N., 1994. An appraisal of research on wet and dry physiology seed treatments, *Seed Sci. and Technol.*, 22, 107-26.
- Belyavskaya, N. 2001. Ultrastructure and calcium balance in meristem cells of pea roots exposed to extremely low magnetic fields. *Adv. Space Res.* 28, 645–650.

- Berlla, J., Prashant, K. and Bineeta, M. 2018. Influence of different priming treatments on seedling parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds. International Journal of Chemical Studies, 6(4); 1793-1796.
- Bhardwaj, J., Anand, A. and Nagarajan, S. 2012. Biochemical and biophysical changes associated with magnetopriming in germinating cucumber seeds. Plant Physiology and Biochemistry, 57, 67-73.
- Carbonell, M., Martinez, E., Diaz, J., Amaya, J. and Florez, M. 2004. Influence of magnetically treated water on germination of signalgrass seeds. Seed Science and Technology, 32(2); 617-619.
- Caserio, R.F., Bennett, M.A. and Filho, J.M. 2004. Comparison of priming and subsequent drying techniques for onion seed lots: Effects on germination and vigor. 27th ISTA Congress Seed Symposium, Abst. No: 190, 122 p., Budapest/Hungary.
- Chanioti, S., Katsenios, N., Efthimiadou, A., Stergiou, P., Xanthou, Z., Giannoglou, M., Dimitrakellis, P., Gogolides, E. and Katsaros, G. 2021. Pre-sowing treatment of maize seeds by cold atmospheric plasma and pulsed electromagnetic fields: Effect on plant and kernels characteristics. Australian Journal of Crop Science, 15(2); 251–259.
- Copeland, L.O. and McDonald, M.B. 2001. Principles of seed science and technology. 4rd Ed., Kluwer Academic Publishers. Boston.
- Çakmak T., Dumlupınar, R. and Erdal, S. 2010. Acceleration of germination and early growth of wheat and bean seedlings grown under various magnetic field and osmotic conditions. Bioelectromagnetics, 31, 120-129.
- De Micco, V., Paradiso R., Aronne, G., DePascale, S., Quarto, M. and Arena, C. 2014. Leaf anatomy and photo chemical behavior of solanum lycopersicum L. plants from seeds irradiated with low-let ionizing radiation. Sci. World J., 428-141.
- Demir, İ., Ellialtıoğlu, Ş., Tıprıdamaz, R., 1994. The effect of different priming treatments on reparability of aged eggplant seeds. Acta Horticulturae, 362, 205-212.
- Demir, İ., Ellis R.H. 1992. Development of pepper seed quality. Ann. of App. Biol., 121, 385-389.
- Demir, I., Ermiş, S., Mavi, K. and Matthews, S. 2008. Mean germination time of pepper seed lots (*Capsicum annuum* L.) predicts size and uniformity of seedlings in germination tests. Seed Science and Technology, 36, 21-30.
- Demir, İ., Okcu. G. 2004. Aerated hydration treatment for improved germination and seedling growth in aubergine (*Solanum Melongena*) and pepper (*Capsicum annum*). Annals of Applied Biology, 144, 121-123.

- Desai, B.B. 2004. Seeds handbook: Biology, production, processing and storage. 2nd Ed. ISBN: 0-8247-4800-X. Marcel Dekker Inc. New York.
- De Souza, A., Garcia, D., Sueiro, L., Gilart, F., Porras, E. and Licea, L. 2006. Pre-sowing magnetic treatments of tomato seeds increase the growth and yield of plants. *Bioelectromagnetics*, 27, 247–257.
- Dhawi, F., Al-Khayri, J.M. and Essam, H., 2009. Static magnetic field influence on elements composition in date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 5, 161-166.
- Diaz, D., Riquenes, J., Sotolongo, B., Portuondo, M., Quintana, E. and Perez, R. 1997. Effect of magnetic treatment of irrigation water on the tomato crop. *Agrotecnia de Cuba*, 27(1); 107-110.
- Dorna, H., Gorski, R., Szopinska, D., Tylkowska, K., Jurga, J., Wosinski, S. and Tomczak, M. 2010. Effect of a permanent magnetic field together with the shielding of an alternating electric field on carrot seed vigour and germination. *Ecological Chemistry and Engineering*, 17(1); 53-61.
- Dziwulska-Hunek, A., Kachel, M., Gagos, M. and Szymanek, M. 2021. Influence of silver nanoparticles, laser light and electromagnetic stimulation of seeds on germination rate and photosynthetic parameters in pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) leaves. *Applied Sciences*, 11(6); 2780.
- Efthimiadou, A., Katsenios, N., Karkanis, A., Papastylianou, P., Triantafyllidis, V., Travlos, I. and Bilalis, D.J. 2014. Effects of presowing pulsed electromagnetic treatment of tomato seed on growth, yield, and lycopene content. *The Scientific World Journal*, 1-6.
- Eşitken, A. 2003. Effects of magnetic fields on yield and growth in strawberry 'Camarosa'. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78(2); 145–147.
- Eşitken, A. and Turan, M. 2003. Alternating magnetic field effects on yield and plant nutrient element composition of strawberry (*Fragaria x ananassa* cv. *Camarosa*). *Acta Agric. Scand. Sect. B. Soil and Plant Sci.*, 54, 135-139.
- Feizi, H., Sahabi, H., Moghaddam, P.R., Shahtahmassebi, N., Gallehgir, O. and Amirmoradi, S. 2012. Impact of intensity and exposure duration of magnetic field on seed germination of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 4(1); 116-120.
- Florez, M., Carbonell, M. and Martinez, E. 2007. Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: Effects on germination and early growth. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 68–75.

- Florez, M., Alvarez, J., Martinez, E. and Carbonell, V. 2019. Stationary magnetic field stimulates rice roots growth. *Rom. Rep. Phys.*, 71, 713.
- Galland, P., Pazur, A. 2005. Magnetoreception in plants. *J. Plant Res.*, 118, 371–389.
- Garcia-Cristobal, J., Garcia-Villaraco, A., Ramos, B., Gutierrez-Manero, J. and Lucas, J.A. 2015. Priming of pathogenesis related-proteins and enzymes related to oxidative stress by plant growth promoting rhizobacteria on rice plants upon abiotic and biotic stress challenge. *J. Plant Physiol.*, 188, 72–79.
- Garcia Reina, F. and Arza, L. 2001. Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds. Part I: Theoretical considerations. *Bioelectromagnetics*, 22, 589-595.
- Garcia-Reina, F., Pascual, L.A. and Fundora, I.A. 2001. Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds. Part II: Experimental results. *Bioelectromagnetics*, 22, 596–602.
- Ghanbarpouri, M., Ghahsareh, A.M., Attaabadi, M., and Hodaji, M. 2021. Effect of magnetic treatment on strong cucumber (*Cucumis sativus* L.) transplant production. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 58, 2.
- Giri, G.S. and Schillinger, W.F. 2003. Seed priming winter wheat for germination, emergence, and yield. *Crop Science*, 43(6); 2135-2141.
- Gupta, M., Anand, A., Paul, V., Dahuja, A. and Singh, A. 2015. Reactive oxygen species mediated improvement in vigour of static and pulsed magneto-primed cherry tomato seeds. *Indian Journal of Plant Physiology*, 20(3); 197-204.
- Gürdal, O. 2017. Elektromanyetik alan teorisi. 5. Baskı, pp. 1-9 s., Bursa
- Hozayn, M., Amal, A. and Abdel-Rahman, H.M.H. 2015. Effect of magnetic field on germination, seedling growth and cytogenetic of onion (*Allium cepa* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 10(8); 859-867.
- ISTA. 2020. International Seed Testing Association. International Rules for Testing Seed. *Seed Science and Technology* 21, Supplement.
- Jedlicka, J., Paulen, O. and Ailer, S. 2015. Research of effect of low frequency magnetic field on germination, growth and fruiting of field tomatoes. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, 18(1); 1-4.
- Kataria, S., Baghel, L. and Guruprasad, K. 2017. Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean. *Biocat Agric Biotechnology*, 10, 83–90.

- Kataria, S., Baghel, L., Jain, M. and Guruprasad, K. 2019. Magnetopriming regulates antioxidant defense system in soybean against salt stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 18.
- Konefal-Janocha, M., Banas-Ząbczyk, A., Bester, M., Bocak, D., Budzik, S., Gorny, S., Larsen, S., Majchrowski, K. and Cholewa, M. 2019. The effect of stationary and variable electromagnetic fields on the germination and early growth of radish (*Raphanus sativus*). *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(2); 709-715.
- Krawiec, M., Kornarzyński, K., Palonka, S., Kaplan, M., Baryla, P. and Kiczorowski, P. 2013. Does the magnetic field improve the quality of radish seeds. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 12(6); 93.
- Lee, J.M. 2004. Advances in seed treatments for horticultural crops. *Chronica Horticulturae*, 44(2); 11-20.
- Levin, M. and Ernst, S.G. 1997. Applied dc magnetic fields cause alterations in the time of cell divisions and developmental abnormalities in early sea urchin embryos. *Bioelectromagnetics*, 18, 255–263.
- Lihua, X. and Jixun, G. 2001. Effect of magnetic seed treatment on growth and saline-alkali tolerance of *Leymus chine-nsis*. *Acta Prataculturae Sinica*. 10(1); 58-63.
- Mahajan, T. and Pandey, O. 2014. Effect of electric field (at different temperatures) on germination of chickpea seed. *African Journal of Biotechnology*, 13, 1.
- Malecka, A., Jarmuszkiewicz, W., Tomaszewska, B. 2001. Antioxidative defense to lead stress in subcellular compartments of pea root cells. *Acta Biochemica Polonica*, 48(3); 687-698.
- Martinez, E., Carbonell, M. and Amaya, J. 2000. A static magnetic field of 125 mT stimulates the initial growth stages of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Electro-and magnetobiology*, 19(3); 271-277.
- Martinez, E., Carbonell, M.V., Florez, M., Amaya, J.M. and Maqueda, R. 2009. Germination of tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* L.) under magnetic field. *International Agrophysics*, 23(1); 45-49.
- Mitchell, L. and Cambrosio, A. 1997. The invisible topography of power: Electromagnetic fields, bodies and the environment. *Social Studies of Science*, 27(2); 221-271.
- Mitrov, P., Krumova, Z. and Baidanova, V. 1988. Effect of magnetic treatment on the auxin content of maize and tomato plants. *Fiziologiya na Rasteniyata*, 14(2); 18-23.
- Moon, J.D. and Chung, H.S. 2000. Acceleration of germination of tomato seed by applying ac electric and magnetic fields. *J Electrostat.*, 48, 103–114.

- Mousavizadeh, S.J., Sedaghatpour, S., Rahimi, A. and Mohammadi, H. 2013. Germination parameters and peroxidase activity of lettuce seed under stationary magnetic field. *International Journal of Biosciences*, 3(4); 199-207.
- Mroczek-Zdyrska, M., Tryniecki L., Kornarzynski K., Pi-etruszewski S. and Gagos M. 2016. Influence of magnetic field stimulation on the growth and biochemical parameters in *phaseolus vulgaris* L. *Journal Microbiology, Biotechnology and Food Science*, 5(6); 548-551.
- Muraji, M., Nishimura, M., Tatebe, W. and Fujii, T. 1992. Effect of alternating magnetic field on the growth of the primary root of corn. *IEEE Trans. Magn.*, 28, 1996-2000.
- Nyakane, N., Markus, E. and Sedibe, M. 2018. The effects of magnetic fields on plants growth: a comprehensive review. *International Journal of food engineering*, 5 (1); 79-87.
- Orzeszko-Rywka A. and Rochalska M. 1999. Respiration level of sugar beet seeds as a one of methods of vigour estimation: CZU Praga, 111–115.
- Ozgur, R., Uzilday, B., Sekmen, A. and Turkan, I. 2013. Reactive oxygen species regulation and antioxidant defence in halophytes. *Funct. Plant Biol.*, 40(9); 832–847.
- Penuelas, J., Liusia, J., Martinez, B. and Fontcuberta, J. 2004. Diamagnetic susceptibility and root growth responses to magnetic fields in *lens culinaris*, *Glycine soja* and *Triticum aestivum*. *Elcotomagnetic Biology and Medicine*, 23(2); 97-112.
- Phirke, P.S., Kubde, A.B. and Umbarkar, S.P. 1996. The influence of magnetic field on plant growth. *Seed Sci. Technol.*, 24, 375-392.
- Podlesna, A., Bojarszczuk, J. and Podlesny, J. 2019. Effect of pre-sowing magnetic field treatment on some biochemical and physiological processes in faba bean (*Vicia faba* L. *spp. Minor*). *Journal of plant growth regulation*, 38(3); 1153-1160.
- Podlesny, J., Pietruszewski, S. and Podlesna, A. 2004. Efficiency of the magnetic treatment of broad bean seeds cultivated under experimental plot conditions. *International Agrophysics*, 18, 1.
- Polk C. and Postow E. 1996. *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields*. CRC. Press, New York, 103-104.
- Rochalska, M. 2002. Magnetic field as a means to improve the vigor of seeds. *Acta Agrophys*, 62, 103–111.

- Rochalska, M. and Orzeszko-Rywka, A. 2005. Magnetic field treatment improves seed performance. *Seed Science and Technology*, 33(3); 669-674.
- Sakthivel, S., Natarajan, K. and Magheswaran, S. 2013. Magnetic seed treatment. In: *Seed quality enhancement. Principles and practices*.
- Saranya, N., Renugadevi, J., Raja, K., Rajashree, V. and Hemalatha, G. 2017. Seed priming studies for vigour enhancement in onion CO onion (5). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(3); 77-82.
- Sarı, M.E. 2019. Ultraviyole (UV), manyetik alan (MA) ve hidropriming (HP) uygulamalarının biber, lahana, marul ve soğan tohumlarında kalitenin iyileştirilmesinde kullanımı. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, 123, Ankara.
- Savastin, P.V. 1928. Issledovanie poviedienija potiprojuscej rostitelnej plazmy v postojannom magnitnom pole. *Izv., Tomskogo Gosudarstvennogo University*, 79, 207.
- Scaiano, J.C., Cozens, F.L. and Mohtat, N. 1995. Influence of combined ac-dc magnetic fields on free radicals in organized and biological systems. Development of a model and application of the radical pair mechanism to radical in micelles. *Photochemistry and Photobiology*, 62(5); 818-829.
- Sharma, R., Pandey, S.T. and Verma, O. 2021. Response to pre- sowing seed treatment on germination indices, seedling growth and enzymatic activities of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 3(1); 405-410.
- Shine, M.B. 2011. Biophysical and physiological changes in maize (*Zea mays* L. var. *HQPM1*) after pre-treatment of seeds by magnetic field (Ph.D. thesis).
- Shine, M., Guruprasad, K. and Anand, A. 2011. Enhancement of germination, growth, and photosynthesis in soybean by pre-treatment of seeds with magnetic field. *Bioelectromagnetics*, 32(6); 474-484.
- Silva, J. and Dobranszki, J. 2016. Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? *Protoplasma*, 253, 231-248.
- Singh, D. and Verma, S.B. 2020. Pre-sowing treatments of maize (*Zea mays* L.) effect on seed treatments in growth and seed quality on different parameters. *Journal of Xidian University*, 14, 2878-2890.
- Sivritepe, H.Ö. 1999. Sebze tohumlarında kalite ve performansın artırılması üzerine osmotik koşullandırma uygulamalarının etkisi. Türkiye III. Bahçe Bitkileri Kongresi, S: 525-529, 14-17 Eylül 1999, Ankara.

- Soltani, F., Kashi, A. and Arghavani, M. 2006. Effect of magnetic field on asparagus officinalis L. seed germination and seedling growth. *Seed Sci. and Technol.*, 34, 349-353.
- Stange, B.C., Rowland, R.E., Rapley, B.I. and Podd, J.V. 2002. ELF magnetic fields increase amino acid uptake into vicia faba L. roots and alter ion movement across the plasma membrane. *Bioelectromagnetics*, 23, 347–354.
- Strasak, L., Veterl, V. and Smarda, J. 2002. Effects of low frequency magnetic fields on bacteria *Escherichia coli*. *Bioelectrochemistry*, 55, 161-164.
- Sung, Y., Cantliffe, D.J. and Nagata, R.T. 1998. Seed developmental temperature regulation of thermotolerance in lettuce. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 123,700-705.
- Sun, L., Liu, Q., Xia, R., Ding, R., Yi, W. and Chen, J. 2010. Magnetic treatment on growth and development of rape seed. *Academic Periodical of Farm Products Processing* 12(229); 37-38.
- Tenforde, T.S. 1991. Biological interaction of extremely-low-frequency electric and magnetic fields. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 25, 1–17.
- Vashisth, A. and Nagarajan, S. 2008a. Exposure of seeds to static magnetic field enhances germination and early growth characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Bioelectromagnetics*, 29, 571–578.
- Vashisth, A., and Nagarajan, S., 2008b. Effect of magnetic field on seed performance of diverse crop species. *Indian Journal of Agricultural Science*, 78, 708-711.
- Vashisth, A., and Joshi, D.K. 2017. Growth characteristics of maize seeds exposed to magnetic field. *Bioelectromagnetics*, 38, 151.
- Williams, B., Ventola, A. and Wilson, M. 2007. Magnetic fields and haunting phenomena: A Basic Primer for Paranormal Enthusiasts.
- Xianzong, X., Gregorio, P., Leszek, K. and Roman H. 2020. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(3); 1458-1464.
- Xu, J. and Zheng, S. 2009. Effects of magnetic treatment on rice seeds vitality and photosynthetic indexes. *Seed*, 28, 86-88.
- Yao, W. and Shen, Y. 2015. Advances in the biological effects of magnetic treatment on seed germination. *Chinese Bulletin of Botany*. 50(4); 527-533.
- Yao, Y., Li, Y., Yang, Y. and Li, C. 2005. Effect of seed pretreatment by magnetic field on the sensitivity of cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings to ultraviolet-B radiation. *Environmental and Experimental Botany*, 54(3); 286-294.

- Zalama, M., and Fathalla, F. 2020. Enhancement onion seed germination and seedling vigor traits through magneto-priming techniques. *Journal of Plant Production*, 11(12); 1529-1537.
- Zamanian, A. and Hardiman, C. 2005. Elektromagnetic radiation and human health: A review of sources and effects. *High Frequency Electronics*, 4(3); 16-26.
- Zhadin, M. 2001. Review of Russian literature on biological action of dc and low-frequency ac magnetic fields. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association*, 22(1); 27-45.

