

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK ANABİLİM DALI

**STATİK MANYETİK ALANIN MAKARNALIK BUĞDAY (*Triticum turgidum*
L.) BİTKİSİNİN FİZYOLOJİK VE GEN EKSPRESYONU ÜZERİNE
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Muhsin ÖZBEK
DANIŞMAN : Doç. Dr. Mehmet Emre EREZ

VAN-2021

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK ANABİLİM DALI

**STATİK MANYETİK ALANIN MAKARNALIK BUĞDAY (*Triticum turgidum*
L.) BİTKİSİNİN FİZYOLOJİK VE GEN EKSPRESYONU ÜZERİNE
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Muhsin ÖZBEK

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FYL-2020-8769
No'lu proje olarak desteklenmiştir

VAN-2021

KABUL VE ONAY SAYFASI

Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. M. Emre EREZ danışmanlığında, Muhsin ÖZBEK tarafından sunulan “Statik Manyetik Alanın MAKARNALIK Buğday (*Triticum turgidum* L.) Bitkisinin Fizyolojik ve Gen Ekspresyonu Üzerine Etkilerinin Araştırılması” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince/...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Behcet İNAL

İmza:

Üye: Doç. Dr. M. Emre EREZ.

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Abdulhamit BATTAL

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

Muhsin ÖZBEK

ÖZET

STATİK MANYETİK ALANIN MAKARNALIK BUĞDAY (*Triticum turgidum* L.) BİTKİSİNİN FİZYOLOJİK VE GEN EKSPRESYONU ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZBEK, Muhsin

Yüksek Lisans Tezi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet Emre EREZ

Haziran 2021, 73 sayfa

Bu tez çalışmasında, manyetik alanın tohum çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla tohum olarak *Triticum turgidum* L. subsp. durum (Desf.) türüne ait Kızıltan çeşidi kullanılmıştır. Manyetik alan uygulaması için iki farklı şiddet (12.5 ve 25 mT) ve iki uygulama süresi (15 ve 30 dakika) tercih edilmiştir. Uygulamaya altı gün boyunca devam edilmiştir. Manyetik alanın etkilerin değerlendirilmesi amacı ile fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler parametreler kullanılmıştır. Bu bağlamda çimlenme, uzama, su içeriği, klorofil- karotenoid, fenolik-flavonoid, antioksidan kapasite ve son olarak 4 farklı gen bölgesinin ekspresyon değerleri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre manyetik alan uygulanan tohumların, maruz bırakılan şiddet ve sürelerle göre değişken tepkiler verdiği tespit edilmiştir. Manyetik alanın; çimlenme, boy ve total klorofil değerlerinde azalmalara neden olur iken, bağıl su içeriği, klorofil b ve karotenoid miktarlarında anlamlı artışlar görülmüştür. Fenolik-flavonoid içeriği ve antioksidan değerlerin birbirleri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca 25 mT-30 dakikalık uygulaması tüm fidelerde gen ekspresyonlarının artmasına neden olduğu belirlenmiştir. Gen ekspresyonları ile çalışılan parametreler arasında belirgin bir korelasyon görülmüştür.

Sonuç olarak manyetik alan, bitkileri farklı yönlerde etkileyerek; çimlenme, gelişme ve verimleri üzerine etkili olmaktadır. Bu etkiyi; uygulanan manyetik alanın şiddeti, süresi, uygulama şekli ve kullanılan bitki türü hatta çeşidi belirlemektedir. Manyetik alan uygulamalarının zirai amaçlı kullanılabilmesi için bu tarz metabolik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Buğday (*Triticum turgidum*), Çimlenme, Ekspresyon, Manyetik Alan, Manyetik Uygulama.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF STATIC MAGNETIC FIELD ON THE PHYSIOLOGICAL AND GENE EXPRESSION OF DRIED WHEAT (*Triticum turgidum* L.)

ÖZBEK, Muhsin

MSc. Thesis, Department of Molecular Biology and Genetic

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emre EREZ

June 2021, 73 pages

In this study, it was aimed to investigate the effects of magnetic field on seed germination and seedling growth. For this purpose, *Triticum turgidum* L. subsp. The Kızıltan cultivar of the durum (Desf.) type was used. Two different intensities (12.5 and 25 mT) and two time points (15 and 30 minutes) were preferred for magnetic field application. The application was continued for six days. Physiological, biochemical and molecular parameters were used to evaluate the effects of the magnetic field. In this context, germination, elongation, water content, chlorophyll-carotenoid, phenolic-flavonoid, antioxidant capacity and finally expression values of 4 different gene regions were analyzed. According to the results obtained, it was determined that the seeds applied to the magnetic field gave variable responses according to the intensity and duration of exposure. While magnetic field caused decreases in germination, height and total chlorophyll values, significant increases were observed in relative water content and chlorophyll b and carotenoid amounts. It was observed that phenolic-flavonoid content and antioxidant values were compatible with each other. In addition, 25 mT-30 minutes application caused an increase in gene expressions in all seedlings. There was a significant correlation between gene expressions and studied parameters.

As a result, the magnetic field affects the plants in different directions and has an effect on their germination, development and yield. This effect is determined by the intensity of the applied magnetic field, its duration, the method of application and the type of plant used and even the variety. Such metabolic studies are needed in order to use magnetic field applications for agricultural purposes.

Keywords: Expression, Germination, Magnetic application, Magnetic field, Wheat.



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve yoğun geçen iş yüküne rağmen bana zaman ayıran danışmanım Sayın Doç.Dr. Mehmet Emre EREZ, laboratuvarı kurduğumuz deney düzeneğinin çalıştırılmasında, analizler için yapmış olduğu katkılarından dolayı Dr. Öğr. Üyesi Abdulhamit BATTAL'a, laboratuvar analizlerinde yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Ömer BİNGÖL'e, helmholtz bobinin yapımında vermiş olduğu katkılarında dolayı Prof.Dr. Cabir TEMİRCİ'ye, DNA izolasyonu için yapmış olduğu yardım ve katkılarında dolayı Araş. Gör. Neşe Eray VURAN'a ve Van Yüzüncüyıl Üniversitesi BAP birimin söz konusu tez projesini desteklediği için teşekkür ederim. Ayrıca hem yüksek lisans sürecinde hem de okul iş hayatımda yoğun çalışmamdan dolayı desteği esirgemeyen eşime teşekkürlerimi sunarım.

2021

Muhsin ÖZBEK



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Statik Manyetik Alan	3
1.2.Elektromanyetik Alan	5
1.3.Yapay Elektromanyetik Alanı ve Helmholtz Bobini	7
1.4.Dünyanın Manyetik Alanı	8
2.LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	12
3.MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1. Materyal.....	19
3.2.Uygulama Bitkisi ve Ortamların Hazırlanması.....	20
3.2.1.Buğday tohumlarının sterilizasyonu.....	20
3.2.2.Kültür ortamının hazırlanması.....	20
3.3.Manyetik Alanın Buğday Tohumlarına Uygulanması.....	21
3.3.1.Buğday tohumlarının ekimi.....	21
3.3.2.Buğday tohumlarına manyetik alan uygulanması	21
3.4.Uygulamanın Sonlandırılması	23
3.5.Analizler.. .	23
3.5.1.Buğdayların boyların belirlenmesi	24
3.5.2.Buğdayların yaş-kuru ağırlığı ve bağıl su içeriğinin belirlenmesi	24
3.5.3.Buğdayların turgorlarının belirlenmesi	25
3.5.4.Fotosentetik pigment içeriklerinin belirlenmesi.....	25
3.5.5.Manyetik alan uygulanmış fidelerde madde içeriği ve antioksidan kapasitelerinin belirlenmesi	26

3.6.Gen Ekspresyon Çalışmaları.....	29
3.6.1 Total RNA'nın jel elektroforezi ile yürütmesi	30
3.6.2 RNA konsantrasyonlarının belirlenmesi	31
3.6.3 Polimeraz zincir reaksiyonu (PCR).....	32
3.6.4. cDNA sentezinin test edilmesi	33
3.6.5. Real time PCR	34
3.7.İstatiksel analizi.....	35
4.BULGULAR	36
4.1. Manyetik alan uygulamasının çimlenme üzerine etkileri	36
4.2. Manyetik alan uygulamasının kök ve gövde boyu üzerine etkileri	37
4.3.Manyetik alana maruz bırakılan Bitkilerde Bağlı Su İçeriği üzerine etkileri	39
4.4. Manyetik alan uygulaması klorofil ve karotenoid üzerine etkileri	40
4.5. Manyetik alan uygulamasının fenolik madde içeriğine etkileri	43
4.6. Manyetik alan uygulaması flavonoid madde içeriğine etkileri	44
4.7. DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) inhisyon aktivitesi	45
4.8. FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power Assay) aktivitesi	47
4.9. Gen Ekspresyon Sonuçları.....	48
5.TARTIŞMA VE SONUÇ	53
KAYNAKLAR	63



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Buğday tohumuna uygulanan manyetik alan şiddet ve süreleri.....	22
Çizelge 3.2. RT master mix bileşenleri.....	32
Çizelge 3.3. PCR şartları.....	32
Çizelge 3.4. cDNA sentezi için kullanılan kimyasalların hacim derişimleri.....	33
Çizelge 3.5. PCR’de uygulanan süre sıcaklık değerleri.....	33
Çizelge 3.6. PCR’DE 10’ar µl sybr green mix yapılan koşulların değerleri.....	35
Çizelge 4.1. Tohumların çimlenme oranı (Çimlenen tohum sayısı/12) ve yüzdeleri...	36
Çizelge 4.2. Manyetik alan uygulamasının kök ve gövde boyu uzamasına etkisi....	38
Çizelge 4.3. Manyetik alan uygulanan fidelerdeki bağıl su içeriği.....	39
Çizelge 4.4. Manyetik alan uygulamasının fotosentetik pigmentler üzerine etkisi...	41
Çizelge 4.5. Manyetik alan uygulamasının fenolik madde içeriği üzerine etkisi....	43
Çizelge 4.6. Manyetik alan uygulamasının flavonoid madde içeriği üzerine etkisi...	45
Çizelge 4.7. Manyetik alan uygulamasının DPPH üzerine etkisi tayini.....	46
Çizelge 4.8. Manyetik alan uygulamasının FRAP aktivitesi üzerine etkisi.....	47
Çizelge 4.9. Kullanılan genlere ait primer dizileri.....	49
Çizelge 4.10. Real Time PCR çalışmasında kullanılan dört farklı genin ΔCt ve $\Delta\Delta Ct$ değerleri.....	50
Çizelge 5.1. Analiz sonuçlarının kontrole göre değerlendirilmesi.....	54



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Manyetik alan yönüne ait sağ el kuralı.....	4
Şekil 1.2.Helmholtz bobinin sistematik çizimi.....	8
Şekil 1.3.Çalışma için tasarlanan Helmholtz bobin prototipi.....	8
Şekil 1.4. Dünyanın manyetik alan simülasyonu(NASA).....	10
Şekil 3.1. Deney için kullandığımız helmholtz düzeneği.....	20
Şekil 3.2. Buğday Tohumlarının ekimi.....	21
Şekil 3.3.Buğday tohumlarının manyetik alana maruz bırakılması.....	23
Şekil 3.4.Buğdayların turgorları ölçmek için 48 saat distile suda bekletilmesi.....	25
Şekil. 3.5.Gallik asit kalibrasyonu.....	27
Şekil.3.6. Rutin kalibrasyon eğrisi.....	28
Şekil 3.7. Total RNA izolasyon aşamaları.....	30
Şekil 3.8. Agaroz jel elektroforez sonrası sağlam ve kısmen parçalanmış RNA örneklerinin görünümü.....	31
Şekil 3.9. İki farklı primerle gerçekleştirilen cDNA sentezinin agaroz jelle belirlenmesi.....	34
Şekil 3.10. Farklı primer ile cDNA sentezinin tespiti.....	35
Şekil 4.1. Manyetik alan uygulamasının tohumların çimlenme yüzdesi grafiği.....	37
Şekil 4.2. Manyetik alan uygulanan tohumlardaki kök ve gövde boyu değişimleri...	39
Şekil 4.3. Manyetik alan uygulamasının buğday fidelerinde bağıl su içeriği grafiği...	40
Şekil 4.4. Manyetik alan uygulanmasının buğday fidelerinde klorofil miktar değişimi.....	42
Şekil 4.5. Manyetik alan uygulanan buğday fidelerinde karotenoidin değişim grafiği.....	43

Şekil 4.6. Manyetik alan uygulanan buğday fidelerinde fenolik maddesinin içerik değişim grafiği.....	44
Şekil 4.7. Manyetik alan uygulanan buğday fidelerinde flavonoid madde miktarı değişimi grafiği.....	45
Şekil 4.8. Manyetik alan uygulanan buğday fidelerinde DPPH inhibisyon grafiği...	46
Şekil 4.9. Antioksidan aktivite olan FRAP madde içeriği grafiği.....	47
Şekil 4. 10. Real time PCR ile gerçekleştirilen ön deneme görüntüleri.....	48
Şekil 4. 11. Manyetik alan uygulanan fidelerdeki Real time PCR pikleri.....	48
Şekil 4.12. Δ ct değerlerine göre tüm grupların karşılaştırılması.....	51
Şekil 4.13. $\Delta\Delta$ ct değerlerine göre grupların kontrol ile karşılaştırılması.....	52



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
mT	Militesla
%	Yüzde
μ_0	Boşluğun geçirgenlik sabiti
μL	Mikrolitre
μT	Mikrotesla
$\vec{B}$	Manyetik alan sembolü
C	Akım yönü
$^{\circ}\text{C}$	Santrigrat
c	Işık hızı
$\vec{E}$	Elektrik alan
G	Gauss
Gr	Gram
h	Planck sabiti
h	Uzaklık
Hz	Hertz frekans birimi
I	Akım
J.s	Joule.saniye
kHZ	Kiloherz
Km/s	Kilometre/saniye
M	Molar
MHz	Megahertz
mmol	Milimolar
n	Bobin sayısı
nm	Nanometre

°E	Enlem
pH	Asitlik ve bazlık derecesi
R	Yarıçap
rpm	Bir dönme hızı birimi
T	Tesla
v	Frekans
Z	Elektromanyetik alan
λ	Dalga boyu
$\geq$	Büyük eşit
<	Küçüktür
>	Büyüktür

Kısaltmalar

Açıklama

AC	Alternatif akım
APX	Askorbat peroksidaz
CAT	Katalaz
cDNA	Komplimentar DNA
Dk	Dakika
DC	Doğrudan akım
DNA	Deoksiribo Nükleik asit
DTT	Ditiyotreitol
EMA	Elektromanyetik alan
EDTA	Etilendiamin Tetraasetik Asit
GMA	Jeomanyetik alanın
GR	Glutasyon Redüktaz
MA	Manyetik alan
MS	Multiple skleroz
NASA	Amerika Uzay Programı
SOD	Süperoksit Dismutaz

ROT

Reaktif oksijen türleri

RNA

Ribonükleik asit

qRT-PCR

Kantitatif Polimeraz Zincir Reaksiyonu





1. GİRİŞ

Canlılar, yaşamları boyunca çevreleri ile sürekli etkileşim halinde olmak zorundadırlar. Yaşadıkları habitatlarda meydana gelen değişimlere uyum sağlamaya çalışırlar. Doğada bulunan iletken maddelerde, elektronlarının hareketi sonucunda belirgin bir kuvvet meydana gelir. Bu kuvvete manyetik alan adı verilir. Manyetik alan, göz ile görünemeyen ancak canlılar üzerinde etkileri olduğu bilinen bir olgudur.

Dünyanın oluşumundan beri sahip olduğu manyetik alan değişkenlik göstermektedir. Bu değişken manyetik alan; enzimlerin işlevi, hormon konsantrasyonu, hücre zarında iyon taşınması ve DNA sentezi gibi birçok biyolojik prosesi dolaylı olarak etkilemektedir (Starsak ve ark., 2002). Manyetik alan (MA), anizotropi (maddelerin fiziksel özellikleri yöne bağlı değişmesi) özelliğinden dolayı iyonların geçişi veya iyon kanallarını tetikler. Sitoplazma ve hücre zarı, MA'dan etkilenen iyonlarla doludur. Zar sistemindeki herhangi bir iyon değişimi, zarı elektrik potansiyelini harekete geçirerek zar geçirgenliğini tetikler.

Manyetik alanın, mitotik aktivite üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (Novitsky, 2001). Hücresel mitotik aktivite ile morfogenez, verimin sağlanması, kaliteli tohum oluşumu, hızlı büyüme gibi birçok biyolojik süreç gerçekleşmektedir. MA'nın etkisiyle ayrıca hücre içi parametrelerinde değişiklik meydana getirebileceği bilinen bir gerçektir. Maksimum bir manyetik alanın, biyolojik etkilerinin sağlanması ve canlılar üzerine meydana getirdiği bu etkiler netlik kazanmalıdır.

Bitkileri etkileyen birçok çevresel stres (su, tuz, sıcaklık, ağır metal, manyetik alan gibi) bulunmaktadır. Bilimsel literatür çalışmalarından da biyolojik sistemlerin, çevresel faktörlere kayıtsız olmadığını, buna yönelik tepkiler verebildiği bilinmektedir. Bu çevresel faktörler, canlının fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler yapılarını etkilemektedir. Fizyolojik olayların temel amacı homeostasisi korumaktır. Organizmalardaki olaylar birbiriyle denge ve düzen içinde gerçekleşmektedir. Homeostasi, bu denge ve düzenin sürekliliğini sağlayarak koruma eğilimindedir. Bitkide stres kaynaklı durumda, homeostasi mekanizması çalışmadığında hastalık veya ölüm meydana gelebilir.

Bitkiler, gen ekspresyonlarını düzenleyerek abiyotik çevre koşullarına uyum sağlamaya çalışırlar. Manyetik alan, bitkiler üzerinde fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri etkileyerek, büyüme ve gelişme olaylarında farklılıklar meydana getirebilir. Manyetik alanın; şiddeti, akı yoğunluğu ve uygulama zamanının, bitkide ağır metalleri ve yararlı elementleri ne ölçüde etkilediği hakkında bilgilerimiz oldukça sınırlıdır. Ayrıca inorganik maddelerin canlı metabolizması üzerine etkili olduğu bilinmekle birlikte, ağır metallerin birikmesi ve besin zincirine girmesi, insan sağlığı açısından ciddi riskler oluşturabilmektedir.

Bitkiler üzerinde yapılan ıslah çalışmalarının temel amacı, farklı teknikler kullanarak organizma üzerindeki varyasyonu (çeşitlilik) artırmaktır. Varyete sayısının fazla olması organizmaları, değişen çevre koşullarına karşı güçlü kılar ve verim kapasitelerini artırır. Organizmalar üzerine uygulanan MA, hücreleri moleküler olarak indükleyerek onların daha fazla büyümesine ve gelişmesine olanak sağlar. Manyetik alanın; belli akı yoğunluğu ve zaman aralıklarında uygulanması, canlılar üzerinde olumlu ve olumsuz (Aladjadjiyan ve Ylieva., 2003) sonuçlar doğurmaktadır.

Yapılan geleneksel ıslah çalışmalarında, bazı türlerde başarı düzeyinin düşük olduğu görülmüştür (Purohit ve ark.,1998; Rai ve ark., 2011). İklimlerin değişmesi, bitkilerin bulunduğu çevreye uyumu zorlaştırır. Verimin azalması ve üretimin artan insan nüfusuna oranla yetersiz olması farklı arayışlara neden olmuştur. Günümüz ihtiyaçlarına hitap eden, zararlı bileşiklerin besin zincirinde birikmesini engelleyen ve çevre sorunlarına karşı dirençli bitkilerinin üretilmesini sağlayan ekonomik, modern ve teknolojik üretim teknikleri geliştirilmelidir.

Manyetize olmuş sularda yüzey gerilimin azalması, araştırmacıların inceleme konusu olmuştur. Manyetik alan, su atomlarının yerini değiştirerek polarizasyona neden olduğundan, suyun fizikokimyasal özelliğini değiştirmektedir (Cai ve ark., 2009). Fizikokimyasal değişiklik ile suyun yüzey geriliminin azalması ve viskozitenin artması ifade edilmektedir. Deiyonize suya (saf su) 0.4 ile 0.7 Tesla (T) aralığında Manyetik alan uygulandığında, suyun yüzey gerilim katsayısının en düşük düzeye indiği görülmüştür (Huo ve ark., 2011). Manyetize olmuş su, toprağın pH'sını değiştirip ve bazı minerallerin (Ca, Mg, P, N) alımını etkilemiştir. Meydana gelen değişiklikler, mahsullerin büyüme ve gelişmelerini etkileyerek; tohum verimi ve kalitesinin

değişmesine neden olduğu ileri sürülmüştür (Bellaloui ve ark., 2012; Furlan ve ark., 2012; Mengistu ve ark.,2010).

Manyetik alanın, farklı bitki türleri üzerinde farklı etkileri olduğu bilinmektedir. Manyetik alanın dalga boyu ve frekansın biçimine göre bitki türlerinde duyarlılık oluşur. Manyetik alanın kuzey ve güney kutuplarının canlılar üzerindeki biyolojik etkileri farklı olabilmektedir (Yano, ve ark., 2004). Mıknatısın güney kutbu, bitki ve bakteri büyümesini artırırken, kuzey kutbunun, negatif yönde gecikmeye neden olabilir. Buna göre manyetizma, kuzey kutbunda bakteriyel enfeksiyonlar veya tümör oluşumunu yavaşlatmada kullanılabilir.

1.1. Statik Manyetik Alan

İletken maddelerin atomları milyonlarca serbest elektronlara sahiptir. Bu iletken maddelere elektrik uygulandığında elektronlar, negatif (-) yönden pozitif (+) yöne doğru hareket eder. Bu harekete elektrik akımı denir. Akım geçen iletken madde, çevresinde bir kuvvet oluşturur. Kuvvetin olduğu bölgede enerji birikimi görülür ve bu enerji birikimi manyetik alan olarak adlandırılır. Manyetik alan, elektrik yükleri yer değiştiğinde veya bir elektrik akımı sirküle olduğunda ortaya çıkar.

Manyetik alan; belli bir yönü, doğrultusu, şiddeti ve büyüklüğü olan bir niceliktir. Bir manyetik alan; frekans, spin yönü ve şiddet etkenlerini içerir. Sembolü “B”, birimi ise Gauss (G) veya Tesla’dır ($1T = 10^4 G$). Manyetik alan doğrudan gözle görülemeyen fakat değişik etkileri gözlenebilen bir olgudur. Manyetik alanın enerji nüfuz etme derinliği, frekanstaki yükselmeye bağlı olarak azalır ”Eş. 1:1”.

$$E=hc/\lambda \quad (1;1)$$

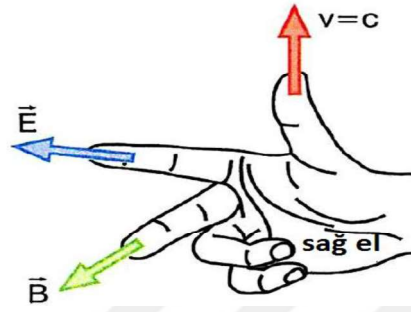
(E= enerji, λ = dalga boyu, c= ışık hızı($=v.\lambda$), v=frekans, h=Planck sabiti ($6.62607015 \times 10^{-34} J.s$)).

Manyetik alanın yapısını belirleyen alan çizgileri, basit bir çubuk mıknatısınkine benzer ve eğimlidir. Manyetik alanın yönü sağ el kuralı ile belirlenir (Şekil.1). Başparmak akım yönünü (C), işaretparmağı elektrik alanı (E) ve orta parmak ise manyetik alanın yönünü gösterir (B). MA’nın, uluslararası ölçü birimi Gauss (G) veya Tesla (T)’dir. Teslametre 20 mT ile 2 mT aralığında değer ölçer. Frekans doğru akım

(DC) ve alternatif akımda (AC), 20 Hertz (Hz) ile 10 kilohertz (KHz) aralığında değer alır. Frekans, bir dalganın saniyedeki salınım sayısıdır. Birimi hertz'tir.

Birimler arasındaki ilişki;

1 mikrottesla(μT)=10 miligauss(mG), $1T=10^3$ militesla(mT)'dir. (Çerezci ve ark., 2012).



Şekil 1.1. Manyetik alan yönüne ait sağ el kuralı

Manyetik alan herhangi bir elektrikli aleti çevreleyen görünmez çizgilerden oluşur. Manyetik alan, ya zamana bağlı bir güç kaynağının etkisiyle yüklerin hareketi sonucunda oluşan elektromanyetik alan ya da zamana bağlı olmayıp mıknatısın etkisiyle oluşan statik manyetik olarak tanımlanır (Health ve Phys, 2009). Manyetik alan, yoğunluk durumlarına göre; zayıf (<1 mT), orta (1 mT-1T), güçlü (1 T-20T) ve güçlü üstü ($>20T$) olarak gruplandırılır. Manyetik alanın enerji nüfuz etme derinliği, frekanstaki yükselmeye bağlı olarak azalır (Özgüner ve ark., 2006) .

Yerküre adeta bir dev Jeomanyetizmadır (Dünyanın manyetik alanı inceleyen bilim dalı). Canlıların içinde yaşadığı bu yerküre, organizmaların fizyolojik ve biyokimyasal olaylarına katkıda bulunmaktadır. Bazı ürünlerin, manyetik alan uygulanması ile üretiminin yapılması, ekolojik iyileştirme yöntemlerinde bir alternatif olarak düşünülebilir (Teixeira ve ark.,2014). Dünyanın çekirdeğinde bulunan bazı elementlerin varlığı ve dünyanın kendi çevresinde dönmesi sonucunda, manyetik alanın oluştuğu varsayılmaktadır. Dünya, statik bir manyetik alana sahip olup farklı enlem ve boylamlarda şiddetleri değişkenlik gösterir. Yerkürede jeofizik alan olarak adlandırılan başka doğal alanlar bulunmaktadır. Bu alanlar; yer çekimi, elektrik, radyoaktif, sismik, jeotermal, jeokimyasal, manyetik alanlardır. Fırtınalar, yıldırımlar gibi bazı elektriksel alanlar da manyetik alan içermektedir.(Şerif, Robert, 1991; Amerikan Jeofizik Birliği (2011).)

Doğada bulunan bazı maddeler, manyetizasyon derecesine göre güçlüden zayıfa doğru; Ferromanyetizma, paramanyetizma ve diyamanyetizma olarak sıralanır. Ferromanyetizma, MA'nın varlığında elektron spinleri kalıcı olarak hizalayabilen ve mıknatıs özelliği kazanabilen metallerdir. Demir, nikel ve kobalt elementleri ferromanyetiktir. Paramanyetizma, MA'nın varlığında elektron spinlerini geçici olarak düzenlemesiyle ortaya çıkan, ferromanyetizma olmayan metallerin (alüminyum, titanyum) oluşturduğu düşük mıknatıslanmadır. Su, oksijen, organik bileşikler, canlı dokular gibi yapılar ise diyamanyetizma olarak kabul edilmektedir. Çünkü MA'nın varlığında elektron spinleri yeniden düzenlemeye girmez, her zaman kendisine mıknatıs özelliği kazandıran maddeler tarafından itilmektedir. Manyetik alan birçok maddeden geçip nüfuz ederken, elektrik alan çok az maddeden geçer veya geçerken zayıflar. Elektrik ve manyetik alan, kaynaklarından uzaklaştıkça zayıflarlar. Manyetik alan yoğunluk olarak elektrik alanda daha hızlı azalmaktadır.

Bilim insanları manyetik alanı kullanarak; daha verimli, kaliteli, sürdürülebilir bir üretim için bitkiler üzerindeki biyolojik mekanizmalarını anlamaya çalışmaktadırlar.

1.2. Elektromanyetik Alan

Elektrik ve manyetik alanın kökenleri yüklere bağlıdır. Yüklü parçacıklar hareket etmiyorsa orada sadece elektrik alan oluşur. Yüklü parçacıklar hareket ediyorsa elektrik alan ile birlikte manyetik alan da oluşur. İki zıt kutuplu yük için elektrik alan çizgileri, artıdan çıkıp ekside son bulur ve birbirlerini kesmezler. Aynı kutuplu yüklerden çıkan çizgiler birbirini kesmezler ve birbirini bükerek sonsuzda son bulur. Elektrik ve manyetik alan vektörleri birbirine diktir. Elektrik ve manyetik alanın birarada olması elektromanyetik alanı oluşturur.

Elektrik alan "E", manyetik alan "B" ve elektromanyetik alan ise "Z" sembolle gösterilir. Elektromanyetik alanda iki değişken vardır. Bunlar frekans (bir dalganın saniyedeki salınım sayısıdır birimi Herz'dir.) ve diğeri dalga boyu(titreşim esnasında alınan yol)'dur. Frekans ve dalga boyu ters orantılıdır (Karaoğlu, 1996). Elektrik alanı sabit yükler tarafından üretilir. Manyetik alan ise tellerdeki makroskobik akımlar veya

atomik cisimdeki elektronlarla ilişkili mikroskobik akım olabilen hareketli yükler tarafından üretilir (Shawanroy, 2012).

Frekansların gradiyentlerine göre;

- 3 Hz ila 3 kHz arasında oldukça düşük frekans aralığı
- 3 kHz ile 30 kHz arasında çok düşük frekans aralığı
- 1012 Hz'ye kadar olan bölgeye radyo dalgaları denir.
- 1012 Hz, kızılötesi radyasyon bölgesidir. Tüm nesneler bu frekanslarda
- Görünür ışık frekansları 1014 Hz'dir.

Bu frekansların üzerinde, bu bölgede mor ışık, x ve gama ışınlarının bulunduğu iyonlaştırıcı radyasyon bölgesi bulunur (Tercianlı, 2000)

Elektromanyetik alanlar, radyo frekanslı ve düşük frekanslı şeklinde bulunmaktadır. Radyo frekanslı elektromanyetik alanlar, yüksek frekanslı olup Megahertz (MHz) düzeyine sahip; radyo, televizyon, baz istasyonları ve telefon gibi kaynaklarda oluşur. Radyo frekanslı elektromanyetik alanın, bitkiler üzerinde mikrodalga düzeyinde uygulamaları vardır. Düşük frekanslı elektromanyetik alanlar ise 10^5 Herzt'ten daha düşük frekanslı enerji üreten kaynaklardır (Şeker ve ark., 2000).

Elektromanyetik alan dalgaları, ilerlediği ortamlarda engelle karşılaştığında hareketlerine devam etme eğilimindedir. Elektromanyetikler bir engelle karşılaştığında durum değiştirirler. Bu durumlar; yansıma, kırılma, kırınım ve saçılma şeklinde olmaktadır (Nasuhoğlu ve Rauf, 1974; Hayt, 1981; Gettys, 1996; Haliday ve ark., 1991; Çolakoğlu, Kemal, Şekerci ve ark., 1997)

Elektromanyetik alanların tamamını bir arada bulunduran, bir ucunda yüksek enerjili ve nanometrik düzeyde dalga boyuna sahip gama ışınları yer alırken, diğer ucunda ise düşük enerjili, uzun dalga boylu ve çok düşük frekanslara sahip radyo dalgaları olan elektromanyetik spektrum bulunmaktadır. Enerjinin organizmada nüfuz etme derinliği frekansın büyüklüğüyle ters orantılıdır. Frekans değeri yükseldikçe enerji daha çok yüzeye nüfuz eder. Düşük frekansta enerji canlının daha derin kısımlarına nüfuz eder (Kalkan ve Aslantürk, 2012).

Elektromanyetik alan için, iki çeşit akım kullanılmaktadır. Bunlar doğrudan akım (DC) ve alternatif akımdır (AC). DC'de, zamana bağlı olarak yön ve şiddet değişmezken, AC'de ise zamana bağlı yön ve şiddet değişmektedir. Amacına göre,

alternatif akımlı elektromanyetik alan veya doğrudan akımlı statik manyetik alan kullanılır (Hacıfazlıoğlu, Hasan, 2013).

Bir iletkendeki elektrik akımının yanında manyetik alan da meydana gelir. Buna elektromanyetik alan adı verilir. Günümüzde elektromanyetik alan oluşturan birçok kaynak mevcuttur. Bu kaynakların her biri, farklı şiddet ve frekansta elektromanyetik alan yaymaktadır. “Elektromanyetik alan (EMA)” yapay ve doğal kaynaklar tarafından üretilmektedir (Eren, 2006). Doğal kaynaklar, atmosfer içi ve atmosfer dışıdır. Yapay kaynaklar ise insan yapımı elektrik ve elektronik bütün cihazlardır.

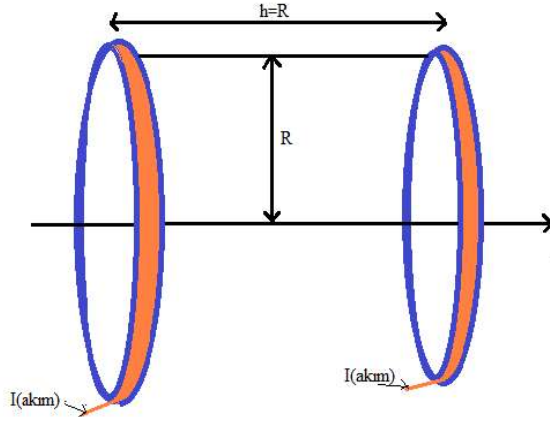
Daha önceleri bilim insanları, daimi (sürekli, sabit) manyetik alanın, biyolojik etkileri olmadığını ileri sürmekteydiler. Ancak sonradan yapılan araştırmalarda EMA'nın, farklı aralıkta canlılarda yüksek hassasiyet oluşturduğunu tespit ettiler. Telefon ve baz istasyonlarda yayılan radyo frekans dalgaları, organizmalara kısmi veya tamamen nüfuz ettiğinde canlılarda hücrel ve moleküler düzeyde birçok zararlı etki (hücrel, organel ve moleküler seviyede) oluşturduğunu tespit edilmiştir (Özgüner, 2006).

Elektromanyetik alan şiddetleri belli bir değere ulaştığında radyasyon etkisi yapmaktadır. Radyasyon, organizmanın yapısına nüfuz ettiğinde atom ve moleküllerinin iyonlaşmasına veya iyonlaşmamasına neden olur. Bu da canlıda çeşitli etkileri (fizyolojik, biyokimyasal, genomik) beraberinde getirir. Radyasyon ile birlikte, canlılarda oksijen varlığında serbest radikaller oksijenle tepkimeye girmektedir. Bunun sonucunda hidrojen ve hidrojen peroksit türevini oluşturmaktadır. Zararlı bileşiklerin organizmada birikmesi doku ve hücrelere zarar vermektedir. İsviçreli bir şirket, suyun elektromanyetik arıtımıyla kristalizasyon ve biyolojik süreçle beraber sudaki inorganik ve organik maddelerin davranışları üzerinde etkileri olduğunu tespit etmiştir.

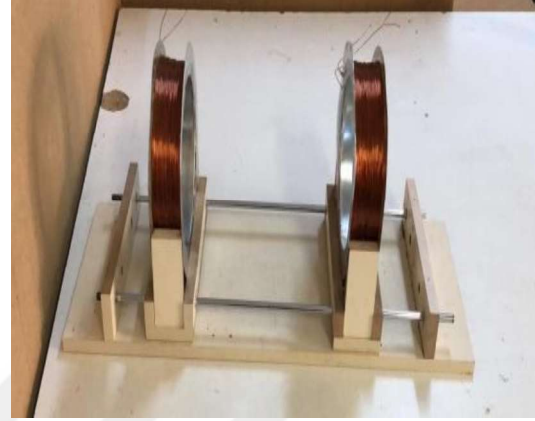
1.3. Yapay Elektromanyetik Alanı ve Helmholtz Bobini

Helmholtz bobini tekdüze manyetik alan üretebilen bir alettir. Adını Alman fizikçi Hermann von Helmholtz'dan almaktadır. Helmholtz bobini aynı eksenindeki iki solenoid elektromıknatısından oluşur. Helmholtz bobini elektromanyetik alan oluşturmalarının yanı sıra, aynı zamanda dış manyetik alanı nötrleştirmek için de kullanılır. Dünyanın manyetik alanı buna örnek verilebilir. Tez çalışmasında

kullandığımız elektromanyetik alan, tasarladığımız düzenek Helmholtz bobininde esinlenerek yapılmıştır.



Şekil 1.2. Helmholtz bobinin sistematik çizimi



Şekil 1.3. Çalışma için tasarlanan Helmholtz bobin prototipi

Merkez noktasındaki manyetik alan değeri aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$B=(4\sqrt{5})^{3/2} \mu_0 n I / R \quad (1:2)$$

(R=yarıçap, I= bobinde geçen akım, B=manyetik akı yoğunluğu, n= bobin sayısı, μ_0 = boşluğun geçirgenlik sabiti ($4\pi \times 10^{-7}$ T.m/A))

1.4. Dünyanın Manyetik Alanı

Dünya çekirdeği, demir ve nikel gibi manyetik özelliği olan elementleri içerir. Dünya çekirdeği iki kısımdan oluşmakta olup iç çekirdek katı, dış çekirdek ise sıvı haldedir. İç çekirdeğin etrafında hareket eden dış çekirdeğin bu hareketi mıknatıslanma etkisi yaparak manyetik alanı oluşturur. Bununla birlikte Dünya'nın, Güneş'in etrafında bir dönüş hızı vardır. Güneş'in etrafındaki yörünge hızı yaklaşık 107 bin km/s'dir. Manyetik alan büyüklüğü ekvator yakınında yaklaşık $30\mu\text{T}$ 'dir. Dünyanın jeodinamosu, güneşten gelen zararlı ışınları süzmesini sağlayan bir manyetik alan katmanı bulundurmaktadır. Dünyanın jeomanyetik alan değeri $25-65\mu\text{T}$ (0,25-0,65 Gauss) arasında

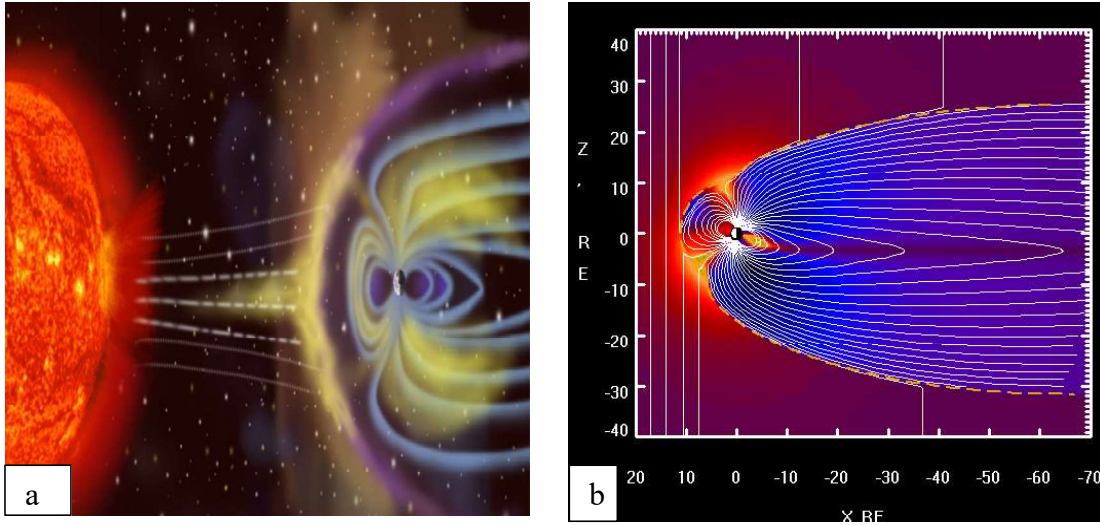
değişmektedir. Son yıllarda dünyanın jeomanyetik alanda %10 azalmanın görüldüğü iddia edilmiştir (Roach, 2004).

Dünya çekirdeğinde oluşan manyetizma, güney kutbu yakınlarında Dünya'dan çıkar ve gezegenin etrafını dolaşarak Kuzey Kutbu yakınlarından tekrar çekirdeğe döner. Manyetik alan çizgileri kendi üzerine kapanan eğriler oluştururlar. Elektrik alan çizgileri gibi birbirlerini kesmezler. Boşlukta, demir ve bizmut gibi ferromanyetik özelliğe sahip maddelerin manyetik alan çizgileri farklı yollar izleyerek hareket eder.

Jeolojik kayıtlarında, jeomanyetik alanın (GMA) en az 4,2 milyar yıl önce var olduğu (Tardunove ark., 2015), ayrıca yaklaşık olarak her 10^6 yılda bir ters döndüğü bilinmektedir (JuarezveTauxe,2000). Manyetik alanda böyle bir değişim olması nedeniyle hayatın temel yönlerini etkileyebilir. Son yıllarda manyetobiyoloji ve manyetotaktik bakteri gibi çeşitli MA yönelim mekanizmalarının aydınlatılmasında büyük ilerleme sağlanmıştır (Bazylinsky ve Frankel, 2004). Zayıf manyetik alanın organizmaları tam olarak etkileyip etkilemediği ise çok az araştırılmıştır.

Manyetik alanın ayrıca; Dünya'yı uzaydaki olumsuz hava koşulları ve radyasyonlara karşı koruma görevi vardır. Dünya, Güneş'in çok sayıda yüklü parçacık püskürtmesiyle oluşan rüzgârlara maruz kalır (Şekil 1.4). Manyetizma sayesinde yüklü parçacıklardan oluşan rüzgârların etkinliği bastırılır. Bu parçacıkların, Dünya'ya zarar vermeden, Dünya'nın çevresinde akması sağlanır.

Manyetik alan; kirliliği görünmeyen, değişen dünya ile hızla etkisi artan, farklı frekans ve akı yoğunluğuna sahip, uzun veya kısa vadede ortaya çıkması ile canlılarda biyolojik etkisinin yeterince dikkate alınmadığı abiyotik bir faktördür.



Şekil 1.4. Dünyanın manyetik alan simülasyonu a.güneşte saçılan ışınlar, b. Dünyanın MA (NASA).

Birçok canlı (göçmen kuşlar, böcek, protistler, manyetotaktik bakteriler, manyetozomlar), paramanyetik, nanopartüküller ve bazı pigmentlerde manyetik algılama mekanizmalarına sahiptirler (Galland ve Pazur, 2005; Lohman ve Johsen, 2000). Çoğu organizma ise biyomanyetik mekanizmalarını geliştirmiştir. Örneğin insanda kalp, sinir, beyin gibi yapılar doğal manyetik alan üretebilmektedir. Göçmen kuşların yönlerini bulması, magneto taktik bakteriler, balıklar gibi biyomanyetizma mekanizmalarına sahip canlıların varlığı bilinmektedir. Manyetik alanın değişmesi veya kirlilik olması bu organizmalarla beraber birçok canlının biyolojik sistemlerini etkiler. Manyetik alan etkisi ile ilişkili olduğu düşünülen ve 60 °E enlemde, MS (Multiple skleroz) hastalığı daha çok bulunurken ekvatora yakın bölgelerde vaka sayısı yok denecek kadar az olmaktadır. Aynı şekilde başka bir çalışmada çocukların büyüme etkisinin, manyetik alanın güneş aktivitesinin değişimine bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir (Tatarin ve ark., 2002).

Cep telefonları, baz istasyonu, yüksek gerilim hatları frekansları düşük, enerjileri yüksek olduğunda, hücre ve dokuların iç kısımlarına kadar nüfuz eder. Bu hücrelere gelen enerji yüklü parçacıklar, hücre ve dokudaki iyonları titreştirip bir gerilim kuvveti oluşmasına neden olurlar. Bu da hücre zar kanallarının kontrol dışı açılıp kapanması, hücrenin biyokimyasal yapısının değişmesini tetikler. Böylece özellikle elektromanyetik alan artışı sonucunda anormallikler ortaya çıkmaya başlayabilir (Çerezci ve ark., 2012)

Bu bağlamda biz de tez çalışmasında, kendi imkânlarımız ile tasarlamış olan iki çift Helmholtz bobini kullanarak farklı şiddet ve büyüklükte statik bir manyetik alan elde edildi. Elde edilen manyetik alanın etkilerini gözlemlemek amacı ile makarnalık buğday bitkisini (*Triticum turgidum* L.) kullandı. Farklı manyetik alan şiddeti ve sürelerle maruz bırakılan buğday bitkisinde, yapılan fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler analizler (çimlenme, sekonder metabolit, fotosentetik pigmentler, ilgili gen ekspresyonları kök ve gövde boylanması gibi) ile manyetik alanın etkinliğini anlamaya çalışıldı.



2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

Manyetik alanın varlığı uzun yıllardır bilinmesine rağmen, organizmalar üzerine etkileri ile ilgili çalışmalara son yıllarda rastlanılmaktadır. Manyetik alanın belirgin ve tahmin edilebilir bir etkisi bulunmamaktadır. Çalışmalardan da anlaşılabileceği gibi manyetik alanın etkisi, uygulama şekli ve süresi hedef organizmaya göre farklılık göstermektedir.

Lai ve arkadaşları rat beyin hücreleri radyofrekans dalgalarına maruz bırakıldığında DNA kırıkları oluştuğunu bildirirken, başka bir çalışmada manyetik alanında olduğu gibi elektrik alanında transkripsiyonu stimüle ettiği sonucuna varmışlardır (Blank, ve ark., 1992; Blank, Goodman, 1997).

Goodman, Lösemili hücrelere 100 Hz'lik elektromanyetikte mRNA miktarını 3-4 kat artırdığını göstermiştir. Bu RNA'lar, protein sentezinde görev almadığının ve gereğinden fazla çoğalabileceğini işaret etmektedir (Goodman ve ark., 2000).

1994'te ve 1998'de ABD ve Finlandiya'da yapılan bir araştırmada elektromanyetik alanın etkisinde kalan bazı meslek gruplarının, çalışan kişilerin Alzheimer hastalığının normal insanlara göre, (erkeklerde 4-9, kadınlarda 3-4 kat) daha fazla olduğu görülmüştür. Manyetik alan ayrıca tedavi amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Yapılan başka çalışmada fiziksel ve zihinsel rahatsızlığı olan kişilere uygulanmış, %90 oranında bir başarı sağlanmıştır. Aynı şekilde Japonya'da bir üniversite, binlerce kişi üzerinde yapılan manyetik alan tedavisinde %92 başarı görülmüştür (Blackman ve Friedman, 2002).

Yapılan bir çalışmada Organizmalar, yaşam süreleri boyunca, 25 ile 65 mT değer aralığındaki MA'ya maruz kalıyor (Finlay ve ark., 2010). Yerkürenin manyetik alanı zamanla değişkenlik göstermesinden dolayı, canlı üzerinde çok yönlü etkiye neden olmuştur. Bu etki en çok manyetik alanla yönlerini bulmaya çalışan; arı, somon, kaplumbağa, balina, magnetotaktik bakteri ve göçmen kuşlar gibi jeomanyetizmayı kullanan canlıları etkilemektedir.

Manyetik alanın, serbest radikalleri içeren biyokimyasalları etkileyerek, protein ve enzim (paramanyetiközelliği olan hemoglobin, sitokrom, feritinin metal iyon içeren)

etkinliğini artırdığını tespit edilmiştir (Azita ve Ahmat, 2009; Hozayn ve ark., 2010; Radhakrishnan ve ark., 2012).

Manyetik alanın kısa veya uzun vadede, organizmalar üzerinde etkileriyle ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Bunlar; manyetobiyoloji, manyetotaktik bakteri (Bazylinsky ve Frankel, 2004), böcek davranışları (Gregar ve ark., 2008; Fedele ve ark., 2014; Giachello ve ark., 2016) ve göçmen kuşlar (Möller ve ark., 2004; Liedvogel ve Mouritsen, 2010; Wiltshko ve Wiltshko, 2012) üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Başka bir çalışmada fasulye ve karalahana bitkilerinde, soğuğa dayanıklılığı geliştirmek amacı ile farklı sürelerde (10 ve 40 dakika) 50 Hz kV/m DC elektriksel manyetik alan uygulanmıştır. 10 dakikalık uygulamada, soğuk ve normal şartlarda, canlılık özelliklerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir (Çakmak, 2006). Yalancı Akasya'ya (*Robiniapseudoacacia*), düşük şiddet ve kısa zaman aralığında (0,5-1,2 saat) uygulanan manyetik alan, klorofil değerini %41 oranında artırmıştır (Racuciu ve ark., 2008).

Yapılan farklı bir araştırmaya göre soya ve ayçiçeği yapraklarından izole edilen kloroplastların, manyetik alanın pigment miktarını, klorofilin fotokimyasal aktivitesini artırdığını gözlemlenmiştir (Lebedev ve ark., 1975; Phirek ve ark., 1996; Atak ve ark., 2000). Patates sürgün uçları, in vitro ortamında düşük şiddette manyetik uygulanmış, klorofil-a ve klorofil-b'nin, karotenoid miktarında iki kat fazla olduğunu tespit etmiştir (Rakoy ve ark., 2005).

MA'nın bitkilerin membran yapılarını değiştirerek, daha fazla su ve besin alınmasını sağlandığı bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda MA, enzim aktivitesinin ve tohumların su alımının artışında etkili olmaktadır (De Souza ve ark., 2006; Vashisth ve Nagarajan, 2010; Radhakrishnan ve Kumari, 2012).

Yine diğer araştırmalarda ekim öncesi tohuma uygulanan MA'nın, çimlenme sonrası performansının artırdığını ortaya konulmuştur (Vashisth ve Nagarajan, 2008). Ayçiçeği, soya, buğday gibi çeşitli zirai bitkileri üzerinde yapılan çalışmalarda manyetik alanın, tohumların kontrol gruplarına göre çimlenme yüzdelelerini artırdığı saptanmıştır (Lebedev ve ark., 1975; Gubbels, 1982; Atak ve ark., 2000).

Bitki türlerinde, farklı şiddet ve sürelerde uygulanan manyetik alan farklı tepkilere neden olduğu gözlemlenmiştir (Majd ve ark., 2009). Günümüzde giderek

artan manyetik alan kirliliği, organizmaların üzerinde çeşitli değişiklikleri meydana getirmektedir. Bitki tohumuna optimum manyetik alan uygulandığında, bitkinin su içeriğini (Wooley, 1971); karetonoid seviyesinin (Nechitailo ve Gordeev, 2001); protein miktarının (Mazza ve ark., 1999) ve klorofil düzeyini (Yinan ve ark., 2005) değiştirildiği bildirilmektedir.

Ökaryotların, statik manyetik alana tepkileri üzerine yapılan araştırmalar, bitki biliminde 2005 yılına kadar biraz ilkel ve yetersiz kalmıştır (Galland ve Pazur, 2005). Son yıllarda zayıf manyetik alan, model organizmaların kullanılmasıyla olumlu dönüşler elde edilmiştir. Yapılan bir çalışmada hipokotil uzaması, tohum çimlenmesinin ilk 120 saat boyunca uygulanan MA'nın, orta derecede yanıt verildiği bulunmuştur (Ahmad ve ark., 2007). Örnek olarak *Arabidopsis* fidelerine sıfıra yakın MA uygulanmış, hipokotil uzamasının azaldığı ve çiçeklenme başlangıcında gecikmeye neden olduğu tespit edilmiştir. (Xu ve ark., 2012), MA ters verilince hipokotil ve kök uzaması büyük ölçüde etkilenmiştir (Bertea ve ark., 2015). 2005 yılında özellikle model organizma olan *Arabidopsis thaliana* bitkisinin mekanizma yollarının aydınlatılmasıyla, çalışmalar hız kazanmıştır (Galland ve Pazur, 2005).

Kriptokromlar (cry) mavi ışığı alabilen fotoreseptörlerdir. Bu reseptörler *Arabidopsis*'te birçok fizyolojik olaylarında (yaprak ve kloroplast gelişimi, fotoperiyodizm, DNA hasarı onarma, fotosentetik pigment biyosentezi gibi) yer aldığını gözlemlemiştir (Chaves ve ark., 2011; Yang ve ark., 2017; Wang ve ark., 2018). Kriptokromlar; cry1, cry2 ve *arabidopsis*te tespit edilen cry3 üç çeşidi bulunmaktadır. Cry3 mitokondri ve kloroplastta bulunan, bitkilerde sinyal rolü bulunmadığı bildirilmektedir (Kleine ve ark., 2003; Chaves ve ark., 2011).

Cry1 ve cry2 durumunda, flavin karanlıkta oksitlenmiş (FADox) redoks durumunda meydana gelir. FADox, ışıktan bağımsız olarak ortaya çıkan moleküler oksijen gerektiren ve reaktif oksijen üreten (ROS) flavin, yeniden oksidasyonu süreci ile geri yüklenir (Muller ve Ahmad, 2011). Kuşların retinasında bulunan kriptokromlar manyetik algılayabilen manyete sensör gibi görev aldığını vurgulamaktadır (Nießner ve ark., 2013; Wiltschko ve ark., 2014). Kriptokromlar manyetik alan varlığında değişmektedir. Örneğin kriptokrom bağımlı bitki büyümesi, çiçeklenme zamanı, gen ekspresyonu zayıf manyetik varlığında değişmiştir (Xu ve ark., 2012; Pooam ve ark.,

2019). Manyetik alan, radikallerin elektron spinlerine etki ederek ürün oluşum oranını etkiler.

Bitki gelişiminde önemli bir yere sahip gibberalin (GA) ve oksin (IAA) hormonları üzerinde yapılan araştırmada, sifıra yakın MA' uygulamasının bazı genlerin ekspresyonunda azalma, bazılarında ise artış meydana gelmiştir (Xu ve ark., 2017). Değişen manyetik alanın yerküredeki akı yoğunluğu (25-75 μ T), bitkilerin gen ifadeleri ve gelişimini etkilediği ileri sürülmüştür.

Manyetik alan uygulamasının (0,06 ile 0,36 T aralığında), gelişmiş bitkilerde büyümeyi iyileştirdiğini ve APX gibi stres enzimini artırdığı gözlenmiştir (Azita ve Ahmad, 2017). Fasulye bitkisinde (*Phaseolus vulgaris* L.), 30-60 dakika süreyle ve 1,8 mT manyetik alan uygulanması sonucunda; klorofil, karotenoid, fenolik ve flavonoid biyosentezinde azalma tespit etmişlerdir (Nilimesh ve ark., 2012).

Bitkilerde, strese duyarlı genler mevcuttur. Abiyotik streslere karşı gen ekspresyonlarına uyum sağlarlar. Soya fasulyesinde, GmFDL19 gen ekspresyonlarını artığında, sodyum iyonu (Na^+) içeriğini azalmasına, absisik asit (ABA) strese duyarlı gen ekspresyonu artışı ile kuraklık ve tuz toleransını artırdığı belirlenmiştir (Li ve ark., 2017). Düşük manyetik alana bağlı, bazı PIN genleri (oksin dışı akım kolaylaştırıcıları) ve IAA genleri (transkripsiyon baskılayıcı) düzenlemeleri artış olmasını sağlamıştır. Bu da her zaman manyetik alanın gen ekspresyonunda azalma anlamına gelmediğini ifade etmektedir (Sunil ve ark., 2018).

Belyavskaya (2005), tarafından yapılan bir çalışmada, MA'nın bezelye (*Pisumsativum* L.) bitkisinde hücre sitoplazması ve organellerinde yüksek miktarda Ca minerallere birikimine neden olduğu bildirilmiştir. *Vicia faba* L. ile yapılan bitki hücre kültürlerinde, 10-100 mT arasında uygulanan MA'nın plazma membran geçirgenliğini ve iyon hareketini değiştirmek için yeterli olduğu görülmüştür (Stange ve ark., 2002). Çilek yapraklarında (Esitken ve ark., 2003) hurma fidelerinde (Dhawive ark., 2009) MA'nın etkisiyle zar geçirgenliği artışıyla N, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Na ve Zn minerallerin sitoplazmada içerik artışına neden olduğu görülmüştür.

Yapılan bir başka çalışmada düşük EMA'nın; DNA, RNA, Protein sentezi, hücre bölünmesi üzerinde etkili olduğunu bildirmiştir (Güler ve ark., 1999; Robison ve ark., 2002). Organizmaların uzun veya kısa vadede farklı frekans ve şiddette EMA'ya maruz

kalmaları fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde etkilenmelerine neden olmaktadır. Bu etkilerin bitkilerde; tohum çimlenmesi, kuru ve yaş ağırlığı, boy değişimine neden olduğu bulunmuştur (Tkalec ve ark., 2009; Akbal ve ark., 2012). Ayrıca kromozomal bozukluk, mikronükleus üretimi gibi çeşitli sorunlar tespit edilmiştir (Tafforeau ve ark., 2004; Pesnya ve Romanovsky, 2013; Gustavino ve ark., 2014; 2015).

Manyetik alan; , soyada (*Glycinemax* L.) (Atak ve ark., 2003, şeker pancarında (*Beta vulgaris* L.) (Rochalska, 2005), patateste (*Solanumtuberasum* L.) (Rakosy ve ark., 2005)) ve hurma fidelerinde (Dhawi ve ark.,2008) toplam klorofil miktarını ve klorofila-b ve karotenoid içeriğini attırdığını saptamıştır. Bazı çalışmalarda, bitki fotosentetik pigmentlerin seviyesini düşürdüğünü bildirilmektedir (Racuciu, 2000a; 2007b). MA'nın bitkiler üzerinde hücrede; iyon, prolin, pigment birikiminde etkili olduğu bilinmek ile birlikte buğdayda MA'nın, tohumun çimlenmesini, kök uzaması ve kök kuru ağırlığının artışına neden olduğu saptanmıştır (Waleed ve ark., 2013).

Başka bir çalışmada manyetik alanın tohum çimlenmesinde, fidelerin taze ağırlıklarını ve gövde uzunluklarında artış olduğunu bildirmektedir (Aladjanjiyan, 2002). Manyetizmanın ayçiçeği ve buğday fidesinde biyokütle üzerinde, pozitif biyolojik etkileri olduğunu görülmüştür (Desouza ve ark., 2008).

Ekim öncesi bazı tohum türlerinde MA uygulanmış, bitkinin çimlenmesinde sonra performansı olumlu yönde tepki verdiği tespit edilmiştir (Vashisth ve Nagarajan, 2008). Manyetik alanın; hücrenin çoğalması, hücrel metabolizma değişikliği (Atak ve ark., 2003), gen ekspresyonu(Paul ve ark., 2006) ve enzim aktivitesinde(Atak ve ark., 2007) etkili olduğu belirlenmiştir. Buğdayın (*Triticumaestivum*) albino türüne uygulanan 200 mT manyetik alan sonucunda, ilerleyen zamanlarda kısmen yeşile dönmesini sağlamıştır (Pingping ve ark., 2007). Bitkilerin çeşitli biyolojik sistemlerinin olması ve türler arasında farklılık göstermesi nedeniyle, manyetik alanın mutajenik dozu, buna göre belirlenmelidir.

Bitkilerde çiçeklenme zamanının gecikme ile morfolojik ve gelişimsel değişimler düşük manyetik alanda tepki verdiğini göstermiştir (Xu ve ark., 2012; Agliassa ve ark., 2018a). Aynı zamanda çimlenme, klorofil içeriği, vejetatif büyüme gibi ışığa bağlı

süreçler (Galland ve Pazur, 2005; Maffei, 2014), Giberalin hormon (Xu ve ark., 2017) ve oksin (Xu ve ark., 2018) seviyelerinde değişimler gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda, tarımda manyetik alan uygulanmasının ürün kalitesini ve miktarının iyileştirmede (Racuciu ve ark., 2006), bitki gelişimini, hızlı protein oluşumu ve enzim aktivesinde etkili olduğunu göstermiştir (Aladjadjiyan, 2010). Bazı verimi düşük tohumların, sabit manyetik alanda çimlenmesini artırdığı ve kalitesini iyileştirdiği tespit edilmiştir (Subber ve ark., 2012). Statik manyetik alanın tohum çimlenmesini artırdığı çeşitli bitki türlerinde gözlemlenmiştir (Carbonell ve ark., 2000; Florez ve ark., 2007; Florez ve ark., 2012).

Dormansi durumunda olan tohumlara uygulanan manyetik alanın; buğday, arpa, mısır, fasulye, domates, meyve ve diğer ağaç türlerinin fide büyüme oranını büyük ölçüde attırdığını bulunmuştur (Pittman, 1977; Angel ve ark., 1999; Moon ve Chung, 2000; Dagoberto ve ark., 2002; Martinez ve ark., 2002; Socorro ve Carbonell, 2002). Manyetize edilmiş su ile çimlendirilen tohumların, bitkilerde çoğunlukla yüksek büyüme artışı gösterdiği tespit edilmiştir (Hachicha ve ark., 2016). 2450 MHz frekans manyetik alan; arpa, buğday, yulaf ve mısır üzerinde uygulanmış, tohumda hasar oluştuğunu ve çimlenmeyi düşürdüğü tespit edilmiştir (Kocaçalışkan, 2004).

Buğdayla ilgili yapılan bazı çalışmalarda manyetik alanın, buğdayda çimlenme yüzdesini artırdığı (Aksenov ve ark., 1996), tohuma uygulanan manyetik alan (10 mT, 40 saat uygulaması) boylanmayı, başaktaki tohum ağırlığını ve verimliliği artırdığı belirlenmiştir (Harichand ve ark., 2002). Buğday (*Triticumaestivum*) tohumlarına 10, 20 ve 30 dakikalık sürelerle 50 mT manyetik alan uygulanmış; kök, kökçük gelişimi, kuru ağırlığının kontrol grubuna göre olumlu yönde etkilendiği rapor edilmiştir (Jabail ve ark., 2013).

Bitkiler üzerinde yapılan bazı çalışmalar değerlendirildiğinde, buğday fidesi boy uzamasında manyetik alanın %100 artış sağlandığı eski bilimsel çalışmalarda bulunmaktadır (Savastin, 1928). Daha sonraki tarihlerde yapılan bazı araştırmalarda manyetik alan etkisinin tohum çimlenmesinde değişikliklere sebep olduğu ve kök gelişiminin üzerine etki ettiği ortaya konulmuştur (Audus, 1960).

Fischer ve arkadaşları (2004) tarafından yapılan çalışmada, ayçiçeği ve buğday tohumlarına 12 gün boyunca 20 mT ve 16^{2/3} Hertz (Hz) elektromanyetik alan

uygulanmış, buğdayda kök kuru ağırlığı ve yaş ağırlığının artırdığını, çimlenme oranının da yükseldiği saptanmıştır. Martinez ve arkadaşları (2002), buğday üzerinde yaptıkları çalışmada, MA şiddetinin artışına paralel olarak buğdayın boyunda ve ağırlığında artış olduğunu tespit etmiştir.

Rochalska ve Grabowska (2007) buğday tohumlarını manyetik alana maruz bırakmış, bu tohumların çimlenmesinde ve çimlenirken besin ihtiyacını karşılamasında önemli bir rol üstlenen alfa amilaz, beta amilaz ve glutatyon S-transferaz enzimlerinde değişimler meydana geldiğini tespit etmiştir. Manyetik alanın DNA kırıklarına ve onarılmasında azalmaya neden olduğu ileri sürülmüştür.

Buğday fidelerinin (*Triticum aestivum* L.) 3-5 gün uygulanan düşük manyetik alanda (20 nT – 0.1 mT) yavaş büyüme gösterdikleri görülmüştür. Düşük manyetik alana bırakılan arpa fidelerinin; taze sürgün ağırlığında %12, köklerde %35, kuru filiz ağırlığında %19 ve kökte %48’lik azalma görülmüştür (Belyavskaya, 2004).Yapılan bir araştırmada buğday fidelerine 30 mT’da 17.saatte verimin %40, 24. Saatte %15 ve 6. günün sonunda %20 azaldığı saptanmıştır (Aksyonov ve ark., 2001).

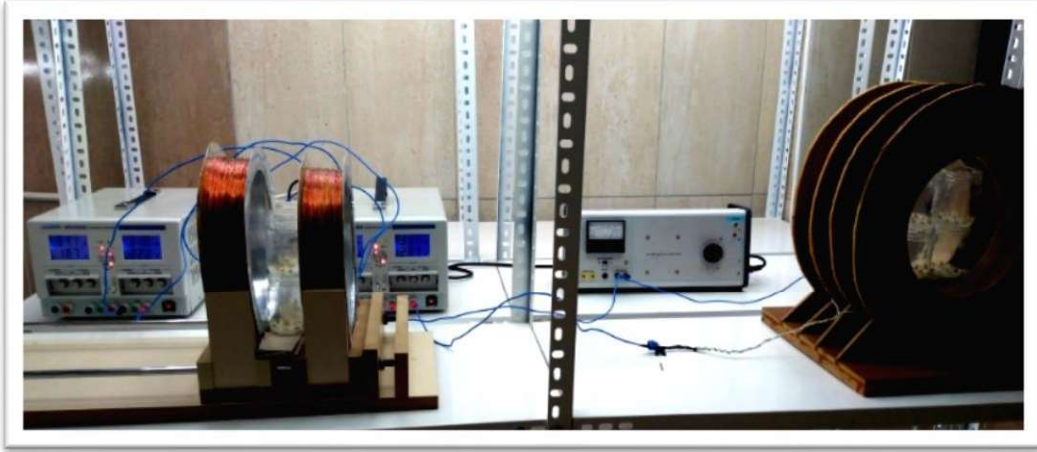
Manyetik alan özellikle bitkiler üzerinde erkencilik etkisini sağlanarak, erken üretim yapılması ve hasat dönemlerinin çoğaltarak yeteri kadar üretimin elde edilmesine neden olduğu ileri sürülmektedir. 21.yüzyılda teknolojinin gelişimiyle beraber modern tarıma talep zorunlu hale gelmiştir. Üretimde; insan popülasyonunun artışı sonucunda artan gıda ihtiyacı, ekolojik tarımsal çalışma, tüm dünyada iklimlerin değişmesiyle su tasarrufuna gitme insanların alternatif çözümlere yöneltmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Tez çalışması için hazırlanan düzenek Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eczacılık Fakültesi, Biyoteknoloji araştırma laboratuvarında bulunan kontrollü iklim odasında kurulmuştur. Çalışmada materyal olarak öncelikle ekmeklik buğdayı(*Triticum aestivum*) Bezostaja çeşidi kullanılması planlamıştı. Ancak yapılan ön çalışmada Bezostaja çeşidi çok hızlı çimlenme gösterdiğinden manyetik alan etkisinin belirlenmesi için uygun bir çeşit olmadığı tespit edildi. Bu nedenle farklı 5 buğday çeşidi ile çimlenme denemeleri gerçekleştirildi. En uygun olan Makarnalık buğday(*Triticum turgidum* L.) subsp. durum (Desf.) türüne ait Kızıltan çeşidinde olduğu belirlendi. Çalışmada buğday tohumu Tarla Bitkileri Araştırma Enstitüsünden (Ankara, Türkiye) temin edilen Kızıltan-91 çeşidi kullanıldı. Statik elektromanyetik alanı buğday tohumuna uygulamak için kendi imkânlarımız ile tasarlanan Helmholtz bobini düzeneği kullanıldı (Şekil 3.1). İklim odasında 24 °C sıcaklık, 16/8 fotoperiyot, ışık şiddeti ise 2500 luks ve %70 nem olarak ayarlandı. Nem oranı ve sıcaklık değerleri iklim odasındaki zaman ayarlayıcılar ile belirli değerlerde tutulmaktadır. Kurulan düzenek için;

- * Doğru akım (DC) sağlayan ikişer güç kaynağı,
- * Farklı manyetik alan şiddetleri için iki Helmholtz bobini düzeneği
- * Elektromanyetik alan şiddetini ölçmek için bir gaussmetre kullanıldı.



Şekil 3.1. Deney için kullanılan helmholtz düzeneği.

3.2. Uygulama Bitkisi ve Ortamların Hazırlanması

3.2.1. Buğday tohumlarının sterilizasyonu

Kızılitan buğday tohumları yüzeysel sterilizasyon yapılması için çeşitli işlemlerden geçildi. Uygulama tohumları için, yaklaşık 400 tane, deforme olmamış ve sağlam embriyoya sahip tohumlar seçildi. Ayırt edilen tohumları kontamine olmaması için yüzey sterilizasyonu yapıldı. Tohumlar falkon tüplerine eşit olarak aktarıldı. Tohumların sterilizasyonunda % 2.5'luk sodyum hipoklorit kullanıldı. Falkon tüpler çalkalayıcıya 10 dakika bırakılıp bekletildi. Çalkalayıcıdan çıkartılan tohumlar steril distile su ile tohumların üzerindeki sodyum hipoklorik temizleninceye kadar beş defa yıkanma işlemi yapıldı. Kullanılacak materyaller sterilize edildi.

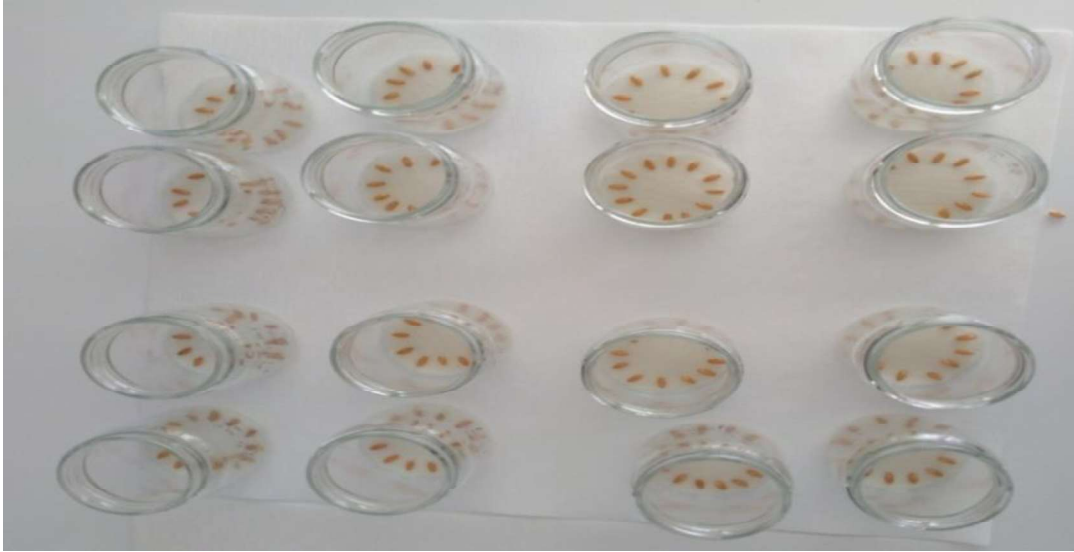
3.2.2. Kültür ortamının hazırlanması

Kültür ortamı, Hoagland Arnon(1938) tarafında yapılmış besin kitine göre hazırlandı. Hazırlanan Hoagland solüsyonuna, Demir (III) klorit ve EDTA'dan oluşan 50 ml'lik bir çözelti hazırlandı. 50 ml'lik çözelti için 0.0242 g demirklorit ve 0.075 g EDTA tartılıp konsantrasyonları hazırlandı. Hazırlanan solüsyonlar Hoagland çözeltisine ilave edildi.

3.3. Manyetik Alanın Buğday Tohumlarına Uygulanması

3.3.1. Buğday tohumlarının ekimi

Deney kavanozlarının (hacim 210 ml, yükseklik 8 cm, taban çapı 5.5 cm, ağız çapı 5.3 cm) diplerine steril iki katlı uygun ebatta kesilmiş filtre kağıtları yerleştirildi. Hazırlanan Hoagland solüsyondan mikro pipetle 5 ml'lik sıvı besiyeri, filtre kağıdının üzerine bırakıldı. Kavanoz dibinde kontamine olmaması için işlemler seri ve kabarcık kalmayacak şekilde yapıldı. Falkon tüplerinde bulunan steril tohumlardan rastgele seçilip sıvı besiyerine belli bir sıraya göre dizildi. Her deney kavanozuna 12 adet tohum ekildi. Tohumlar çimlenirken, hipokotil ve epikotil gelişimi iyi gözlemlemek için tohum embriyo kısmının üstte gelecek şekilde yerleştirildi. Tohum ekiminden sonra kavanozların ağzı çift katlı streçle kapatıldı. (Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Buğday Tohumlarının ekimi.

3.3.2. Buğday tohumlarına manyetik alan uygulanması

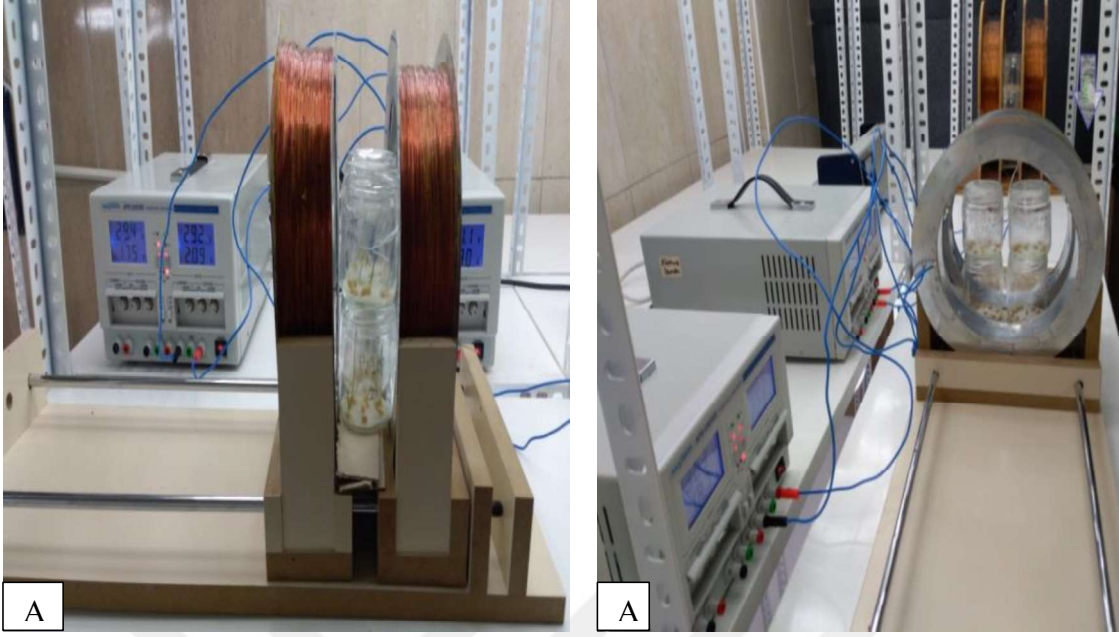
Yapılan çalışmada uygulanan manyetik alanının şiddeti, bobinlerin alt kısımlarında bulunan kayan sistem ile bobinlerin birbirine yakınlaştırıp uzaklaştırması ile ayarlandı. Güç kaynakları her bobin düzeneğinden 12,5 mT ve 25 mT manyetik alan

şiddette olacak şekilde ayarlandı. Edilen manyetik alan şiddeti Gaussmetre ile belirli aralıklar ile kontrol edildi. Çalışma için iki farklı manyetik alan şiddetinin (15 ve 25 mT) iki farklı zaman (15 ve 30 dak.) şeklinde uygulanmasına karar verildi. Uygulama şekline ait gruplamalar tablo 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Buğday tohumuna uygulanan manyetik alan şiddet ve süreleri

Gruplar	Uygulanan manyetik alan şiddeti(mT)	Günlük uygulanan süre(dakika)	Toplam uygulama süresi
A	12.5	15	6 gün
B	25	15	6 gün
C	12.5	30	6 gün
D	25	30	6 gün
K	0	0	6 gün

Manyetik alan uygulanacak tohumlar için, kavanozların iki tanesi altta iki tanesi de üstte olacak şekilde bırakıldı. Deney kavanozları iki bobin arasında ve her biri aynı manyetik alana maruz kalacak şekilde yerleştirildi. Bu durum gaussmetre ile sürekli kontrol edildi. Tohumların öncelikle çimlenmeleri daha sonra gelişim dönemlerinde örneklemeler yapıldı. Bitkilerin gelişimi bir hafta içerisinde tamamlanarak analizlere geçildi.



Şekil 3.3. Buğday tohumlarının manyetik alana maruz bırakılması.

3.4. Uygulamanın Sonlandırılması

Tohumlar altıncı günün sonunda manyetik alan uygulandıktan sonra çalışma tamamlandı. Her gün tohumların çimlenme ve gelişimleri günlük gözlemlenerek çizelge şeklinde kaydedildi.

Uygulama yapılan numuneler etiketlenerek kök ve gövde kısımları ayrıldı. Kök ve gövde kısımları sıvı azotta ezilerek toz haline getirildi. Her grup için farklı havan kullanıldı. Numuneler eşit şekilde önceden etiketlenmiş olan ependorf tüplere aktarılıp sıvı azotun içine bırakıldı. Ependorf tüplerin kaba ağırlığı alındıktan sonra numunelerin ağırlıkları tartıldı. Toz haline getirilen buğdaylar üç tekerrürlü olacak beşerli grup haline getirildi (K_1, A_1, B_1, C_1, D_1), (K_2, A_2, B_2, C_2, D_2), ($K_{13}, A_3, B_3, C_3, D_3$)]. Elde edilen numuneler analizi yapmak üzere moleküler biyoloji ve genetik laboratuvarında bulunan soğutucuda $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de saklandı.

3.5. Analizler

Yapılan çalışmamızda; buğday bitkisine uygulanan statik manyetik alanın etkisinin belirlenmesi için aşağıda belirtilen parametreler analiz edildi

- Kuru ve Yaş ağırlığı
- Kök ve gövde boyu,
- Su İçeriği (RWC)
- Klorofil ve karetenoid miktarı,
- Total Fenolik ve Flanovid miktarları
- Antioksidan enzim (DPPH ve FRAP) aktiviteleri
- Gen ekspresyon fark ve değişimleri

3.5.1. Buğdayların boyların belirlenmesi

Boy ölçümü için her uygulamadan rastgele bitkiler seçilerek cetvel yardımıyla boyları ölçüldü. Kalan numuneler diğer analizler için soğutucuya bırakıldı. Numunelerin kök ve gövde boyları cetvelle ölçümü yapıldı. Uzunlukları çizelgeye kaydedildi.

3.5.2. Buğdayların yaş-kuru ağırlığı ve bağıl su içeriğinin belirlenmesi

Uzunlukları ölçülen buğdaylar, yüzeyleri kurutma kâğıdı ile kurutulduktan sonra yaş ağırlıkları ölçülmesi için hassas terazide tartılıp çizelgeye kaydedildi. Buğdayların kuru ağırlığı ölçümü yapılması için, numuneler ayrı ayrı kurutma kâğıdı üzerine bırakılıp etüvde 72 °C'ta 24 saat kurutmaya bırakıldı. Aynı işlemleri diğer tüm gruplar için uygulandı. 48 saat sonunda etüvde numuneler alınıp hassas terazide tartılıp kuru ağırlıkları ölçüldü.

Bitkilerin bağıl su içerikleri, ölçümü yapılan üç değerden (kuru, yaş ve turgor) yola çıkılarak aşağıdaki formüle göre hesaplanadı (Hu ve ark. 2010).

$$\text{Bağıl Su İçeriği (\%)} = [(Taze Ağırlık - Kuru Ağırlık) / (Turgorlu Ağırlık - Kuru Ağırlık)] \times 100$$

3.5.3. Buğdayların turgorlarının belirlenmesi

Buğdayların yaş ağırlıkları tartıldıktan sonra, turgorlarını tartılması için 15 ml'lik falkon tüplere aktarılıp üzerine distile su eklendi. Bu tüpler dolapta tüplük içinde fidelerin turgor ağırlığını ölçmek için, fideler 24 saat distile su içinde karanlıkta bekletildi (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Buğdayların turgorları ölçmek için 48 saat distile suda bekletildi.

Bir günlük süre sonunda falkon tüplerde bulunan numuneler sırası ile kurutma kâğıdıyla bitkinin üzerini yüzeysel kurutuldu. Numuneler hassas terazide tartılıp turgor değerlerini çizelgeye kaydedildi.

3.5.4. Fotosentetik pigment içeriklerinin belirlenmesi

Fotosentetik pigment ölçümünde kullanılacak ekstraktları hazırlamak için 100 mg sıvı azot içerisinde ezilmiş bitki örneği 1 ml ve % 80'lik aseton ile muamele edildi. 1 dakika homojenizatör ile parçalandı. Numuneler 5000 rpm de 1 dakika santrüfuj edildi. Üst fazlar alınarak temiz ependorflara aktarıldı ve %80'lik aseton ile 2 ml'ye tamamlanarak ölçümlere geçildi. Absorbans değerleri UV-Visspektrofotometrede okundu. Pigment içeriği ölçümleri Arnon (1949)'a göre yapıldı. Fotosentetik pigmentlerin miktarları aşağıdaki formüllere göre hesaplanarak mg g-1cinsinden ifade edildi.

- Klorofil-a = $[\Delta A_{663} \times 12.70 - \Delta A_{645} \times 2.69] [(V/1000) \times W]$
- Klorofil-b = $[\Delta A_{645} \times 22.90 - \Delta A_{663} \times 4.68] [(V/1000) \times W]$
- Total klorofil = $[\Delta A_{645} \times 20.2 + \Delta A_{663} \times 8.02] [(V/1000) \times W]$
- Karotenoid = $[\Delta A_{480} + \Delta A_{663} \times 0.114 - \Delta A_{645} \times 0.638/112.50] [(V/1000) \times W]$

{ ΔA : Belirtilen dalga boylarındaki absorbans değerini, V: ml cinsinden sonekstraksiyon hacmini, W: g cinsinden analiz için alınan bitki miktarını ifade etmektedir}.

3.5.5. Manyetik alan uygulanmış fidelerde madde içeriği ve antioksidan kapasitelerinin belirlenmesi

3.5.5.1. Bitki ekstratlarının hazırlanması

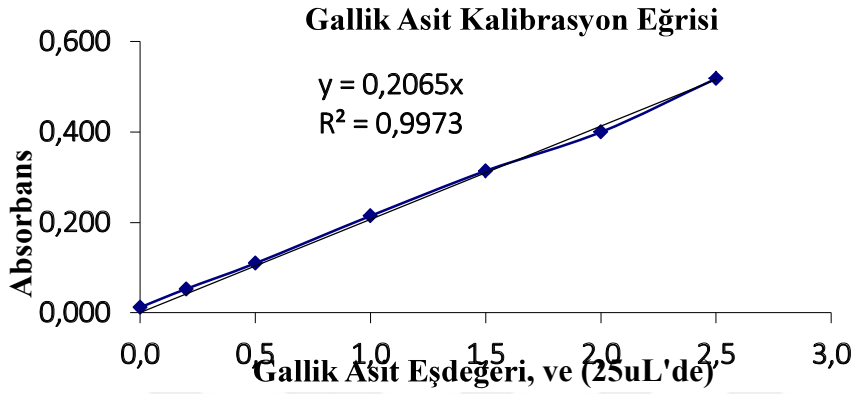
Manyetik alan uygulanmış bitki ekstratlarının hazırlanması, Dalar ve ark. (2012)'ye göre hazırlandı. Ekstratların hazırlama aşamaları sırasıyla;

1. Sıvı azot içerisinde ezilmiş 100 mg bitki materyali 10 ml etanol (% 80) ile iyice karıştırıldı.
2. Sonra oda sıcaklığında 5 dakika manyetik karıştırıcıda çalkalandı.
3. Daha sonra solüsyonlar 40 dakika 37 °C'de sonikasyona tabii tutuldu ve 24 saat 4 °C'de inkübe edildi.
4. Süre sonunda ekstratlar 10.000 rpm'de santrifüj edildi (Beckman RC-5B santrifüj, Wilmington, DE, ABD). Süpernatantları alınarak, analiz edilene kadar -20 °C saklandı.

3.5.5.2. Toplam fenolik madde içeriği (TPC)

Total fenolik madde içerikleri Folin-Ciocalteu ayırıcı kullanılarak ölçüldü (Dalar ve ark., 2012). Kısaca, hazırlanan bitki ekstratlarından 25 µL bitki özütü, seyreltilmiş 125 µL Folin-Ciocalteu (1:10, v / v) reaktifi ile karıştırıldı ve 3 dakika çalkalandı. Folin-Ciocalteu reaktifi ile kolayca reaksiyona girebilen askorbik asidin ilave etkilerinden kaçınmak amacı ile askorbik asit düzeltilmesi için absorbans 600 nm'de ölçüldü. Daha

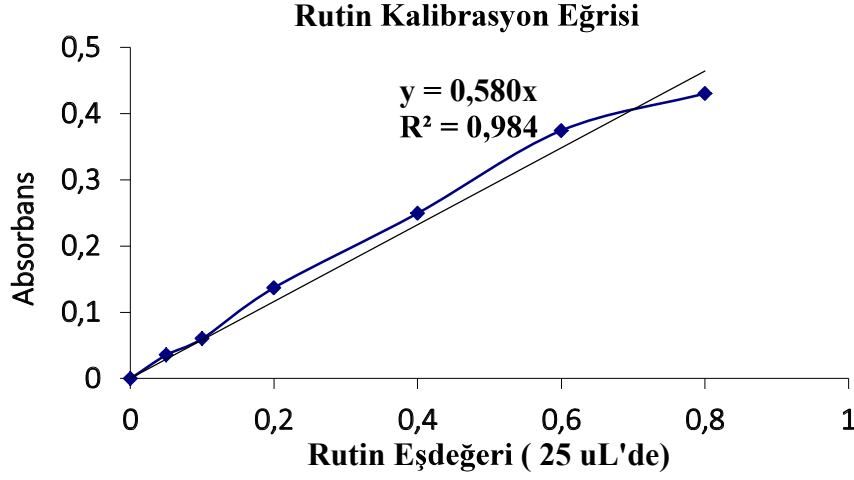
sonra 125 µL , % 6 Na₂CO₃ ilave edildi ve mikrolpaka 12 dakika çalkalandı. Daha sonra absorbans 600 nm'de tekrar ölçüldü. Sonuçlar, Gallik Asit standart eğrisine göre mg gallik asit (GA) eşdeğeri / g dw olarak ifade edildi. Analizler  tekerrür şeklinde yapıldı.



Şekil 3.5. Galik asit kalibrasyonu.

3.5.5.3. Toplam flavonoid madde içeriği (TFC)

Hazırlanan bitki ekstratlarından 25 µL bitki ekstresi, 96 oyuklu mikrolpklara yerleştirildi. Daha sonra 125 µl distile su ve 7.5 µL seyretilmiş % 5'lik NaNO₂ (1:20 w / v) eklendi. 5 dakika inkübasyondan sonra, 15 µL % 10 AlCl₃ (1:10 w / v su içinde) eklendi. Numuneler 6 dakika oda sıcaklığında inkübe edildi, ardından 50 µL 1 mol NaOH ilave edildi, numuneler pembemsi bir renk alana kadar kuvvetlice karıştırıldı. 510 nm'deabsorbans değerleri ölçüldü. Ekstreler, üç kez test edildi ve sonuçlar, R (rutin) standart eğrisine göre mg rutin (R) E / g dw olarak ifade edildi.



Şekil 3.6. Rutin kalibrasyon eğrisi.

3.5.5.4. FRAP aktivitesinin Belirlenmesi

Hazırlanan bitki ekstraktlarından, 10 μ L, 96 oyuklu mikropalakaya yerleştirildi ve üzerlerine 200 μ L FRAP reaktifi (10 ml 300 mmol asetat tamponu, 10 ml 20 mmol FeCl_3 ve 1 ml 10 mmol 2,4,6-tri-s-triazin (TPTZ) solüsyonundan (40 mmol hidroklorik asit içinde)) eklendi. 8 dakika inkübasyondan sonra, absorbans, mikropalaka okuyucu (POLARstarOmega, BMG Labtech, Offenburg, Almanya) kullanılarak 595 nm'de ölçüldü. Analizler üç tekerrür halinde gerçekleştirildi. Ekstrelerin toplam indirgeme kapasiteleri demir sülfat standardı (Fe_2SO_4) eğrisine göre mmol demir (Fe^{2+}) / g dw olarak ifade edildi.

3.5.5.5 -Difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) radikal süpürme kapasitesi

DPPH aktivitesi, Konczak ve ark., (2003) göre yapıldı. Ekstraksiyon için kullanılan numune çözeltisinden 75 μ L ve 0.4 mmol DPPH çözeltisinden 75 μ L alınarak karıştırıldı ve 2 dakika süreyle oda sıcaklığında bekletildi. Hazırlanan karışımın 520 nm'de absorbansındaki azalma, mikropalaka okuyucu kullanılarak ölçüldü. Ölçümler üç kez yapıldı. DPPH inhibisyonları aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplandı:

DPPH aktivitesi (%) = $\frac{[(\text{absorbans kontrolü} - \text{numunelerin absorbansı}) / \text{kontrolün absorbansı}] \times 100}{}$.

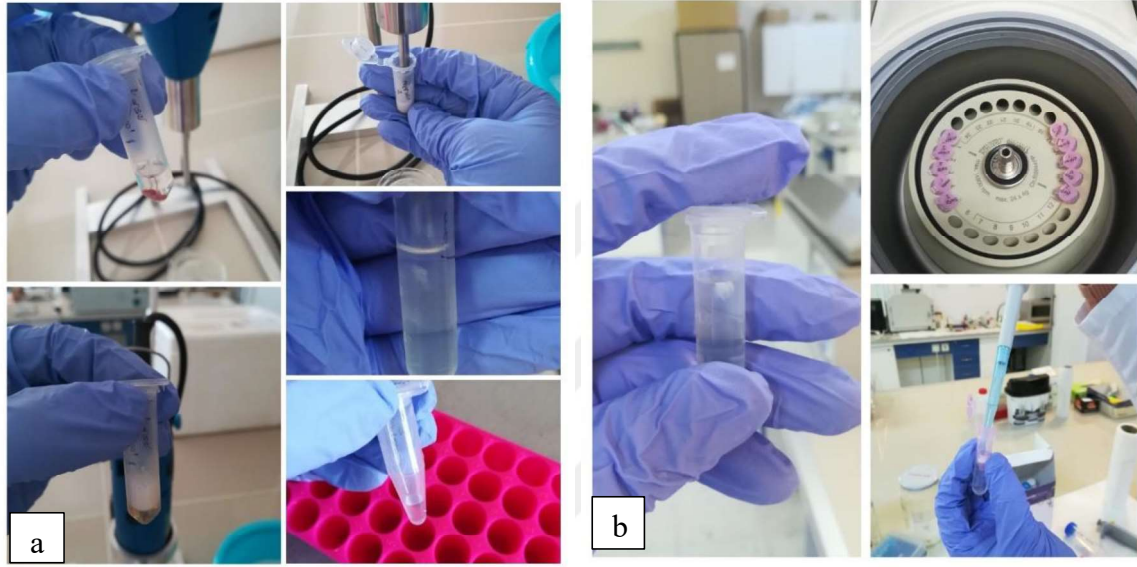
3.6. Gen Ekspresyon Çalışmaları

RNA İzolasyonu; RNA izolasyonu, üretici firmanın tarif ettiği gibi Thermo Scientific GeneJET RNA Saflaştırma kitine göre aşağıdaki basamaklar takip edilerek gerçekleştirildi.

- 1- 0.3 mg bitki dokusu hassas terazide tartıldı. Üzerine her 1 ml'inde 20 ul β -merkaptoetanol bulunan 300 ul liziz tamponu eklendi. Örnek homojenizatör yardımıyla buz üzerinde 20-40 sn homojenize edildi.
- 2- Üzerine 600 ul seyreltilmiş Proteinaz K eklendi. Vorteks yapıldıktan sonra oda sıcaklığında 10 dk inkübasyon sağlandı. (Proteinaz K, TE tamponu (10 mM Tris-HCl, 1 mM EDTA, pH: 8.0) ile seyreltildi. Seyreltmede 10 ul Proteinaz K, 590 ul TE tamponu kullanıldı.
- 3- Lizat 12.000 g +4°C'de 10 dk santrifüj edildi. Santrifüj sonrası süpernatant steril ependorf tüpüne aktarılarak üzerine 450 ul etanol (%96-100) eklendi ve pipetajlama yapıldı.
- 4- 700 ul lizat RNA saflaştırma kolonuna yüklendi. Kolon 12.000 g +4°C'de 1 dk santrifüj edildi. Toplama tüpünde biriken atık uzaklaştırıldı ve aynı işleme tüm lizat kolona yüklenene kadar devam edildi.
- 5- Saflaştırma kolonu yeni steril toplama tüplerine yerleştirildi. Üzerine 700 ul yıkama tamponu 1 eklendi. Kolon 12.000 g +4°C'de 1 dk santrifüj edildi ve santrifüj sonrası toplama tüpü boşaltılarak kolon tekrar toplama tüpüne yerleştirildi.
- 6- Kolon üzerine 600 ul yıkama tamponu 2 eklendi ve kolon 12.000 g +4°C'de 1 dk santrifüj edildi ve santrifüj sonrası toplama tüpü boşaltılarak kolon tekrar toplama tüpüne yerleştirildi.
- 7- Kolon üzerine 250 ul yıkama tamponu 2 eklendi ve kolon 12.000 g +4°C'de 2 dk santrifüj edildi. Santrifüj sonrası toplama tüpü boşaltıldı ve kolon boş bir

şekilde 12.000 g +4°C’de 1 dk santrifüj edildi. İşlem sonrası kolon steril ependorf tüpüne yerleştirildi.

- 8- Üzerine 100 ul nükleaz free su (DEPC) eklendikten sonra 12.000 g +4°C’de 1 dk santrifüj edildi. Kolon atıldı, saflaştırılmış RNA içeren ependorf tüpü etiketlenerek, analiz zamanı gelinceye kadar -80 C2de muhafaza edildi (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Total RNA izolasyon aşamaları a.RNA izolasyon aşamaları, b. Saflaştırma aşamaları.

3.6.1 Total RNA’nın jel elektroforezi ile yürütmesi

RNA izolasyonunun gerçekleştiğini ve saf olduğunu kanıtlamak için RNA jel elektroforezi yapıldı. Bir elektrik akımı varlığında RNA, negatif yüklerinden dolayı jel elektroforezi sırasında anoda doğru hareket eder. %1,5’luk 50 ml agaroz çözeltisi TAE tamponu içinde hazırlandı. Agaroz üzerine TAE tamponu ilave edildi ve yavaşça karıştırıldı. Ağzı alüminyum folyo ile kapatılan erlen içindeki agaroz mikrodalga içerisinde bırakılıp kaynayana kadar bekletildi. İlk kaynamadan sonra çıkartılıp yavaşça karıştırıldı. Agaroz tamamen çözünene kadar bu işlem tekrarlandı. Agaroz TAE içerisinde çözüldükten sonra soğumaya bırakıldı. Yaklaşık olarak 40-50°C’ye indiğinde jel içerisine boya (Gel Red) 2 ul eklendi. Jel matriksi donması için tarakları takılan jel

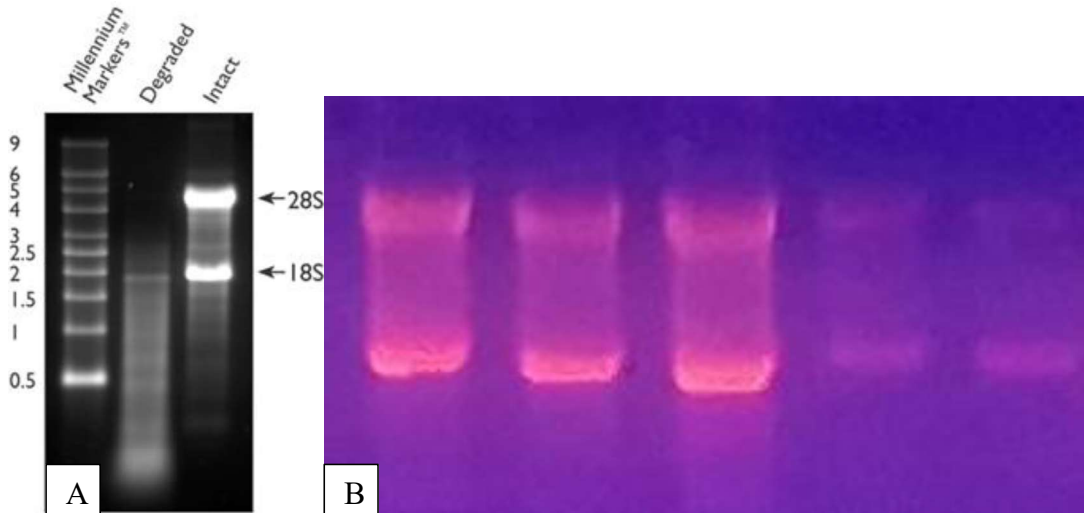
kasetine dökülerek donmaya bırakıldı. Jel donduktan sonra taraklar çıkarılarak jel kaseti aynı tamponu içeren jel tankına bırakıldı. Yürütülecek RNA örneklerinden 4 ul alınarak 4 ul yükleme boyası ile karıştırıldı. Kuyucuklara yüklendi. Fikir vermesi açısından baz çifti büyüklüğü bilinen marker 2 ul olarak ilk kuyucuğa eklendi. 60 dakika ve 80 volt elektrik alanı uygulandı. UV görüntüleme sistemi ile jel fotoğrafı elde edildi.

3.6.2 RNA konsantrasyonlarının belirlenmesi

İzole edilmiş RNA'ların konsantrasyonları ve saflığı, NanoDrop TM 2000 spektrofotometre (Thermo Scientific) kullanılarak belirlendi. Kör olarak nükleaz içermeyen su (DEPC) kullanıldı ve RNA örnekleri 260 ve 280 nm'de ölçüldü. RNA konsantrasyonu, aşağıda gösterilen denklemden hesaplandı:

$$\text{RNA konsantrasyonu (ng/}\mu\text{L)} = 40 \times A_{260} \times \text{seyreltme faktörü}$$

Proteinler 280 nm'de absorbans verdiği için, RNA örneklerindeki protein kontaminasyonu A_{260} / A_{280} oranı hesaplanarak ölçüldü. A_{260} / A_{280} oranı 1.8 ile 2.2 arasında olmalıdır. 1.8'in altında protein kontaminasyonu, 2.2'nin üstü ise DNA kontaminasyonunu ifade eder. Jel elektroforezi sonucunda 28S RNA'nın bant yoğunluğu 18S RNA'nın bant yoğunluğunun yaklaşık iki katı olmalıdır. Kısmen parçalanmış RNA smear bir yapı ortaya çıkarır (Şekil 3.8)



Şekil 3.8. Agaroz jel elektroforez sonrası sağlam ve kısmen parçalanmış RNA örneklerinin görünümü.

3.6.3 Polimeraz zincir reaksiyonu (PCR)

cDNA sentezi

Total RNA'dan komplementer DNA'yı (cDNA) sentezlemek için, High Capacity cDNA Reverse Transcription Kit (Thermo Scientific, ABD) kullanılarak ters transkriptaz polimeraz zincir reaksiyonu gerçekleştirildi. Başlamadan önce tüm RNA konsantrasyonları 200 ng/ul olacak şekilde optimize edildi. Deneyde 10 ul cDNA kullanılarak başlangıç konsantrasyonu 2000 ng/ul belirlenmiş oldu. Tüm kit bileşenlerinin buz üzerinde çözölmeleri sağlandı. Aşağıdaki tabloya göre RT master mix buz üzerinde hazırlandı.

Çizelge 3.2. RT master mix bileşenleri

Bileşen	Hacim (µl)
10x RT Buffer	2.0
25x dNTP Mix (100 mM)	0.8
10x RT Random Primer	2.0
Multiscribe Revers Transkriptaz	1.0
Nükleaz içermeyen su (DEPC)	4.2
Toplam/her reaksiyon	10.0

10 ul RT master mix pcr tüpüne koyuldu. Üzerine 10 ul 200 ng/ul RNA koyuldu. Pipetle 2 kez karıştırma yapıldı. Pcr tüpü mini spin ile kısa süreli çevrildi, hava baloncukları elimine edildi. Tüpler pcr cihazına yerleştirildi, amplifikasyon şartları aşağıdaki tabloya göre cihaza tanıtıldı. Süre sonunda cDNA içeren tüpler -20 °C'de muhafaza edildi.

Çizelge 3.3. PCR şartları

	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4
Sıcaklık	25	37	85	4
Zaman	10 dk.	120 dk.	5 dk.	∞

3.6.4. cDNA sentezinin test edilmesi

cDNA sonrası elde edilen örneklerde deneyin doğru yapılıp yapılmadığını test etmek üzere deneyde kullanılacak primerle polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) gerçekleştirilmiştir. Firmanın (Sentebiolab, Ankara) sentezlediği primerler -20 C'den çıkarıldı, vorteksten sonra 2 dk 5000 rpm'de santrifüj edildi.

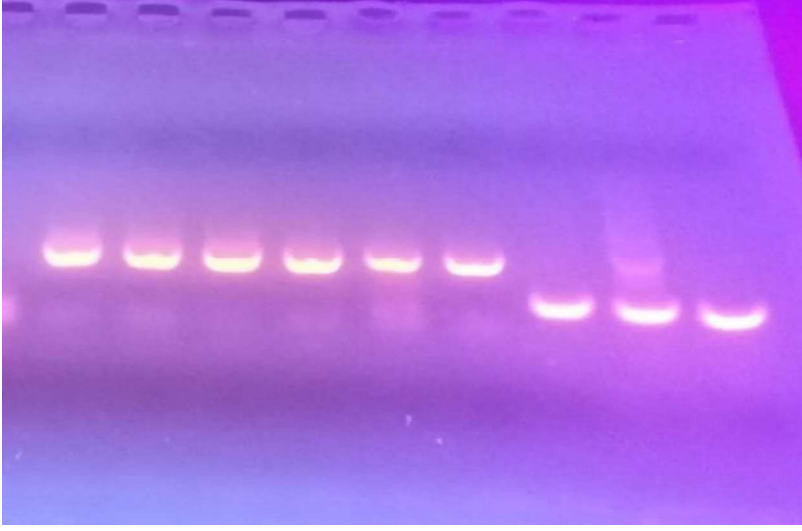
Çizelge 3.4. cDNA testi için PCR da kullanılan kimyasalların derişimleri

Bileşen	Hacim (ul)
10x RT Buffer (MgCl ₂ içeren)	3.0
25x dNTP Mix (100 mM)	0.8
İleri primer (10 mM)	1.0
Geri primer (10 mM)	1.0
Taq polimeraz	0.25
Kalıp DNA (1/10 seyreltik)	3.0
Nükleaz içermeyen su (DEPC)	15.95

100 mM stok primer hazırlamak için klavuzda yazan DEPC miktarı eklendi. Vorteks ve mini spinden sonra primerlerden 10 mM olacak şekilde stoklar yapıldı ve deneyde bu primerler kullanıldı. PCR tüplerin aşağıda tabloda verilen bileşenler eklendi ve pcr koşulları Çizelge 3.5'te gibi belirlendi.

Çizelge 3.5. PCR'de uygulanan süre ve sıcaklık değerleri

	Sıcaklık°C	Zaman	
1. Step1	95	4 dakikda	
	95	45 saniye	
2. Step2	54	45 saniye	35 döngü
	72	45 saniye	
3. Step3	72	5 dakika	
4. Step4	+4	∞	



Şekil 3.9. İki farklı primer ile gerçekleştirilen cDNA sentezinin agaroz jel ile belirlenmesi.

3.6.5. Real time PCR

Real Time PCR çalışmaları Pikoreal (Thermo) cihazında Pikoreal software 2.2 kullanılarak gerçekleştirildi. 96 kuyucuklu plakalarda üç tekrarlı olacak şekilde çalışıldı. Üç adet de NTC (No Template Control) kullanıldı. Öncelikle sybr green master mix hazırlandı bu amaçla tüplere 1x için;

5 µl Sybr green

0,1 µl ileri primer (100 µM)

0,1 µl geri primer (100 µM)

4,8 µl nükleaz içermeyen su (DEPC) konuldu.

Mix hazırlandıktan sonra 96 kuyucuklu plakalara 10'ar µl sybr green mix eklendi. Daha sonra NTC'ler için 2 µl DEPC, örnekler için ise 2 µl cDNA kuyucuklara eklendi. Pipetaj yapılarak, homojen dağılım sağlandı. Plakanın üzeri kapatıldı. Plaka aşağıdaki koşullarda Real Time PCR cihazına koyuldu. Deney sonucunda genlere ait CT değerleri ve amplifikasyon eğrileri elde edildi.

	Sıcaklık ^{°C}	Zaman
Step1	95	15 akikda
Step2	95	15 saniye
	50	1 dakika
	72	10 saniye
Step3	30	10 dakika



35

4. BULGULAR

4.1. Manyetik alan uygulamasının çimlenme üzerine etkileri

Tohumlara uygulanan farklı değer ve sürelerdeki manyetik alanın, genel olarak çimlenen tohum sayısında azalmalara neden olduğu tespit edildi. Çimlenme oranındaki azalmanın en fazla 25 mT-30 dakika uygulamasında, en düşük azalma etkisinin ise 25 mT-15 dakika uygulamasında olduğu görüldü. Çimlenen tohum sayıları altı gün boyunca, gün gün takip edilerek değişimleri gözlemlendi.

Altıncı gün sonunda çimlenen tohumların sayısı kontrole göre değerlendirildi. Kontrole en yakın çimlenme sayısı 25 mT-15 dakika ve 12.5 mT-15 dakika uygulamalarında olurken, en düşük çimlenme sayılarının ise, 12.5 mT-30 dakika ve 25 mT-30 dakika uygulamalarda olduğu görüldü.

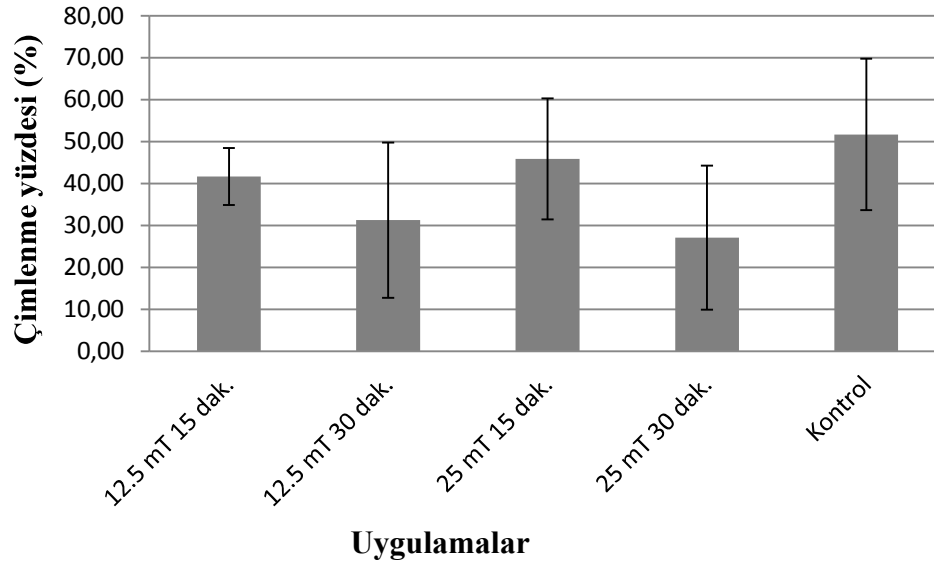
30 dakikalık uygulamaların 15 dakikalık uygulamalara kıyasla, çimlenen tohum sayısında azalmalara neden olduğu tespit edildi. Uygulamalarda 5. Günü sonunda çimlenme sayılarının sabitlendiği, beşinci ve altıncı günler arasında anlamlı bir farkın meydana gelmediği belirlendi. (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Tohumların çimlenme oranı (Çimlenen tohum sayısı/12) ve yüzdeleri

Uygulama	2. gün	3. gün	4. gün	5. gün	6. gün	Çim. (%)
12.5 mT 15 dk.	3.8±1 ^b	4.7±1 ^b	4.7±0.9 ^b	4.7±1 ^b	5±0.8 ^b	41.7±6.8 ^b
12.5 mT 30 dk.	3±1.6 ^b	3.2±1.7 ^b	3.7±2.2 ^a	3.7±2.2 ^a	3.7±2.2 ^a	31.2±18.4 ^a
25 mT 15 dk.	3.3±1.5 ^b	4±1.4 ^b	4.7±1.7 ^b	5.2±2.1 ^c	5.5±1.7 ^b	45.8±14.4 ^b
25 mT 30 dk.	2±1.8 ^a	2.5±1.9 ^a	3±1.8 ^a	3±1.8 ^a	3.25±1.7 ^a	27.1±17.1 ^a
Kontrol	4±2.4 ^c	5.4±2.3 ^c	6±2 ^c	6±2 ^{cd}	6.2±2.1 ^c	51.7±18.1 ^c

Manyetik alan uygulamaları ve kontrol grubunun çimlenme yüzdeleri incelendiğinde, en düşük çimlenme yüzdesinin, % 27.08 değer ile 25 mT-30 dakika uygulamasında olduğu görüldü. En yüksek çimlenme yüzdesi ise % 45.86 değer ile 25mT-15 dakikalık olan uygulamada tespit edildi.

Uygulamaların tamamında çimlenme yüzdelerinde düşüş görüldü. 15 dakikalık uygulamalardaki çimlenme yüzdesinin, 30 dakikalık uygulamalara kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlendi. Aynı süre ve farklı yoğunluktaki manyetik alan uygulamasında, çimlenme yüzdelerinin birbirine yakın değer gösterdikleri fark edildi.



Şekil 4.1. Manyetik alan uygulamasın tohumların çimlenme yüzdesi grafiği.

Çimlenme yüzdeleri için yapılan grafikte, tohumların çimlenme yüzdelerinin uygulama süresi ile ilişkili olduğu görülmektedir. Tohumlara farklı şiddette uygulanan manyetik alanın (12.5-25 mT), uygulama süresi yüksek olan (30 dak.) grupta çimlenme yüzdesini azalttığı görülmüştür. 25 mT'lık manyetik uygulamada 15 dakikalık sürede çimlenme yüzdesi en yüksek değer gösterir iken, 30 dakikalık uygulamada en düşük çimlenme yüzdesine sahip olduğu belirlendi. (Şekil 4.1).

4.2. Manyetik alan uygulamasının kök ve gövde boyu üzerine etkileri

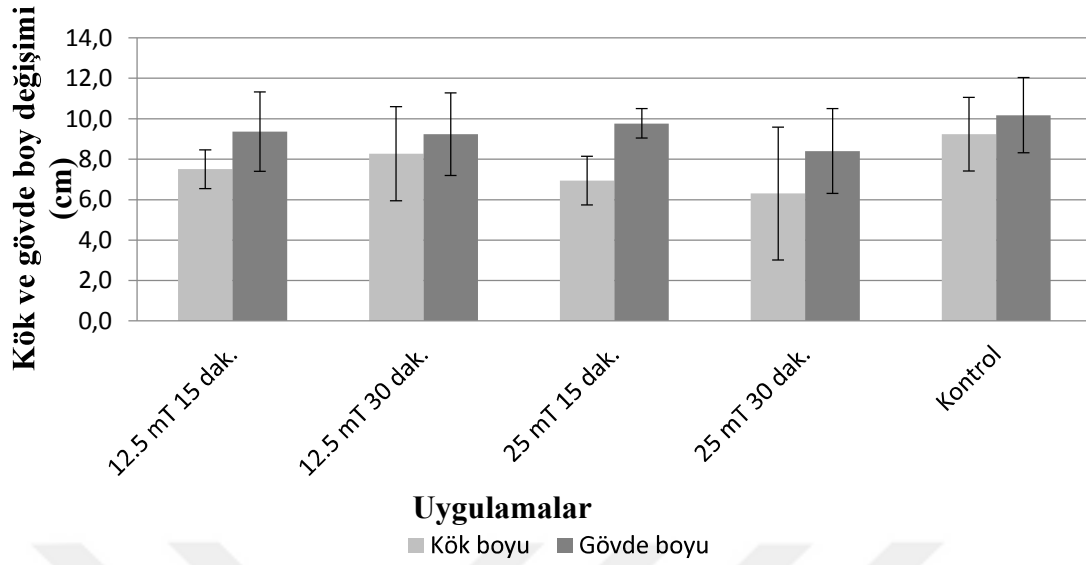
Manyetik alan uygulamasının, kök ve gövde boyunda azalmalara neden olduğu görüldü. Ayrıca etkinin, kök uzamasına göre gövde boyu üzerinde daha etkili olduğu tespit edildi. Kök boyunun en yüksek değeri, 8.3 cm ile 12.5 mT-30 dakikalık

uygulamasında görülür iken, en düşük boy değeri ise 6.3 cm ile 25 mT-30 dakikalık uygulamasında görülmüştür. 25 mT uygulamasının kök uzaması üzerine anlamlı şekilde etki ettiği hesaplandı. Gövde boyunda en yüksek değer, 9.8 cm ile 25 mT-15 dakikalık uygulamada görülürken, en düşük uzama 8.4 cm ile 25 mT-30 dakika uygulamasında tespit edildi. Manyetik alanın bütün uygulamalarda gövde boyundaki artışın birbirine yakın olduğu, aralarındaki belirgin bir farkın olmadığı gözlemlendi. (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.2. Manyetik alan uygulamasının kök ve gövde boyuboylanması üzerine etkisi

Uygulama	Kök boyu (cm)	Gövde boyu (cm)
12.5 mT 15 dak.	7.5±1.0 ^b	9.4±2 ^a
12.5 mT 30 dak.	8.3±2.3 ^{bc}	9.2±2.0 ^a
25 mT 15 dak.	6.9±1.2 ^a	9.8±0.7 ^a
25 mT 30 dak.	6.3±3.3 ^a	8.4±2.1 ^a
Kontrol	9.2±1.8 ^{bc}	10.2±1.9 ^{ab}

Manyetik alana maruz bırakılan tohumlarda, kök ve gövde gelişiminde genel olarak kontrole göre azalmaların meydana geldiği görülmüştür. 25 mT-30 dakika uygulamasında hem kök hemde gövdede en düşük uzama değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. 12.5 mT manyetik alan ve farklı sürelerin uygulamasında, kök ve gövde uzamasında önemli bir değişiklik görünmezken, 25 mT’lıkta 30 dakikalık sürede kök ve gövde boylanması düşüş görülmüştür (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Manyetik alan uygulanan tohumlardaki kök ve gövde boyu değişimleri.

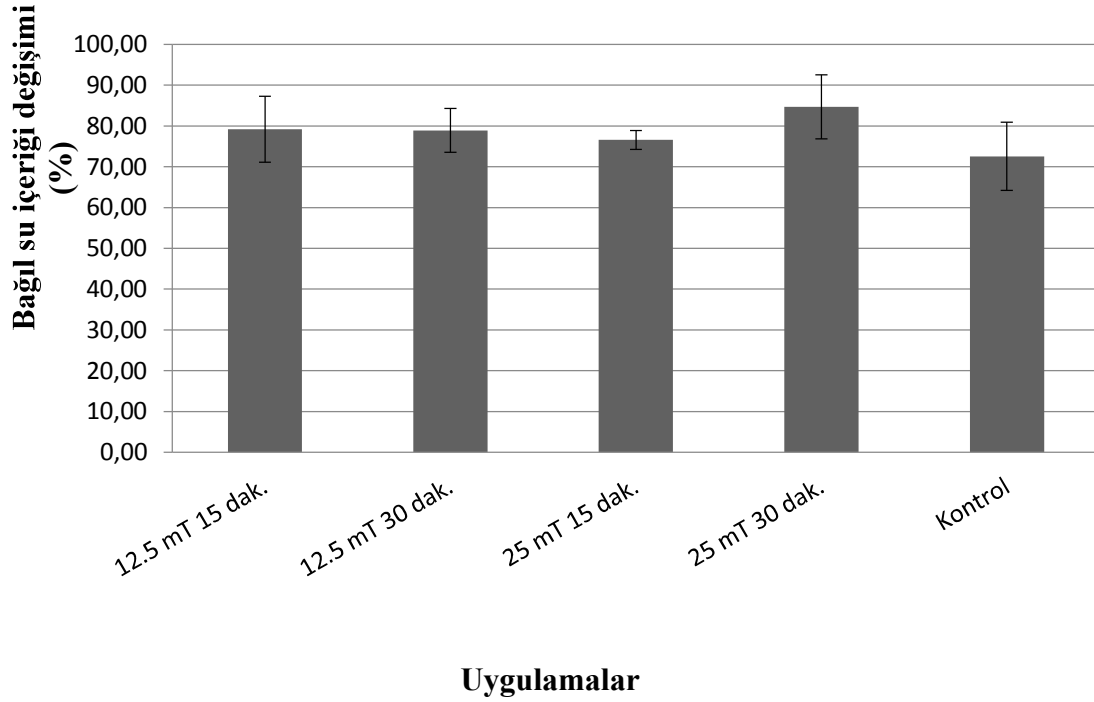
4.3. Manyetik alana maruz bırakılan Bitkilerde Bağlı Su İçeriği üzerine etkileri

Manyetik alanın uygulandığı buğday fidelerinde bağlı su içeriğinin arttığı tespit edildi. Fidelerdeki bağlı su içeriği artışı en çok 25 mT-30 dakikalık uygulamada, en az artış ise 25 mT-15 dakikalık uygulamada gözlemlendi. 12.5 mT'da uygulanan süre arttıkça, buna paralel bağlı su içeriğinin azaldığı görüldü. 25 mT-30 dakikalık uygulamada istatistiksel olarak anlamlı bir artışın olduğu görüldü. (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Manyetik alan uygulanan fidelerdeki bağlı su içeriği

Uygulama	Bağlı su içeriği(%)
12.5 mT 15 dak.	79.2±8.1 ^a
12.5 mT 30 dak.	78.9±5.4 ^a
25 mT 15 dak.	76.6±2.3 ^a
25 mT 30 dak.	84.7±7.8 ^b
Kontrol	72.5±8.4 ^a

Farklı şiddet ve sürelerde uygulanan manyetik alanın kontrol grubu ile kıyaslandığında, buğdayda bağıl su içeriğini önemli ölçüde yükselttiği görüldü. Manyetik alan, 12.5 mT ile 25 mT’da buğday bitkisinde bağıl su içeriğini bariz oranda artırmıştır. 12.5 mT uygulamada 30-15 dakikalık sürelerde birbirine yakın gelişme görülürken, 25 mT şiddette en yüksek artış 30 dakikalık sürede, en az artış ise 15 dakikalık sürede belirlendi. Uygulanan süreler aynı olmasına rağmen(30 dakika) 25 mT manyetik alanın bağıl su içeriğinin artışında etkili olduğu görülürken, 12.5 mT manyetik alan şiddetinin (15 dak.) bağıl su içeriğinin artışında etkisinin daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.3. Manyetik alan uygulamasının buğday fidelerinde bağıl su içeriği grafiği.

4.4. Manyetik alan uygulaması klorofil ve karotenoid üzerine etkileri

Buğday fidelerinin, farklı süre ve şiddette manyetik alana maruz kalması sonucunda; fotosentetik pigmentler olan; klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid miktarında farklı değişiklikler gözlemlenmiştir. Bu değişimlerin klorofil-a miktarında azalmalara neden olduğunu gözlenmiştir. En belirgin azalma 25 mT ve 15 dakika uygulamasında

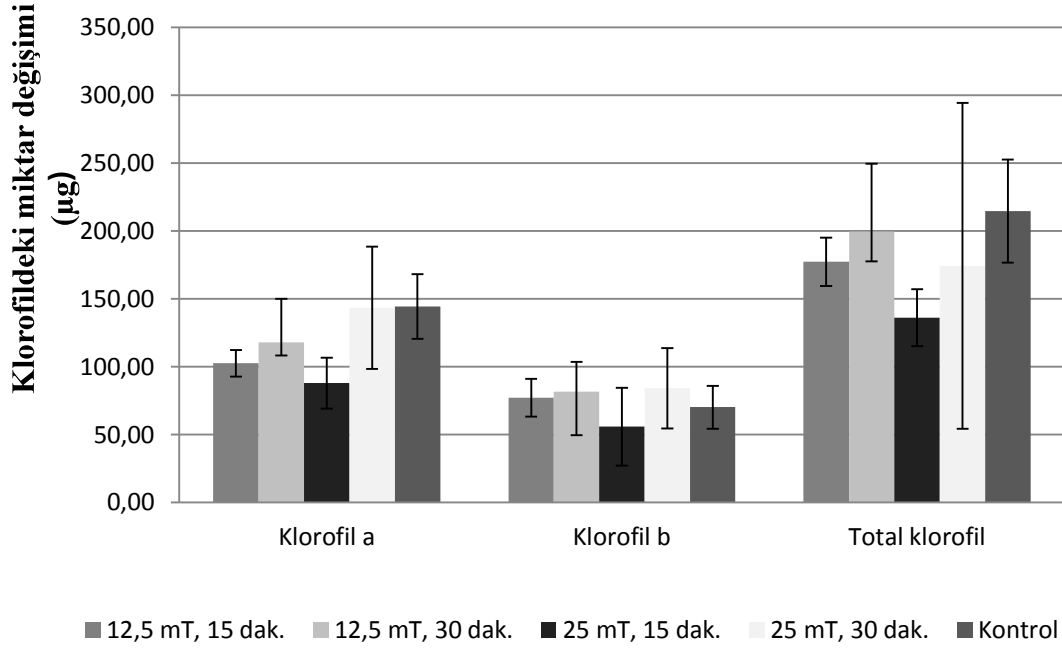
tespit edildi. Ancak 25 mT ve 30 dakika uygulmasının kontrol grubu ile yakın değere sahip olduğu ve istatistiksel olarak anlamlı olmadığı fark edildi. Klorofil b oranlarında ise yine 25 mT ve 15 dakika uygulamasında azalma olduğu görüldü. Ama diğer tüm uygulamalarda kontrol grubuna göre artış belirlendi. Benzer durum total klorofil değerlerinde de görüldü.

Karotenoid miktarına baktığımızda en düşük değer yine 25 mT ve 15 dakika uygulamasında olduğu ve 25 mT-30 dakika uygulamasında artışın meydana geldiği hesaplandı. Diğer tüm uygulamaların kontrol grubuna göre farklı olmadığı görüldü. (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Manyetik alan uygulamasının, klorofil ve karotenoid miktarındaki değişim

Uygulama	Klorofil a	Klorofil b	Total klorofil	Karotenoid
12,5 mT, 15 dak.	102.7±13.9 ^b	77.3±17.8 ^b	177.5±28.1 ^b	9.9±1.3 ^b
12,5 mT, 30 dak.	117.9±32.1 ^b	81.7±21.8 ^{bc}	199.6±49.9 ^{bc}	9.6±2.4 ^b
25 mT, 15 dak.	88.1±18.8 ^a	55.9±28.5 ^a	136.3±21.1 ^a	5.9±1.1 ^a
25 mT, 30 dak.	143.6±44.9 ^c	84.2±29.6 ^{bc}	174.5±119.9 ^b	10.2±2.1 ^{bc}
Kontrol	144.4±23.8 ^c	70.3±15.8 ^b	214.6±37.9 ^c	9.7±1.4 ^b

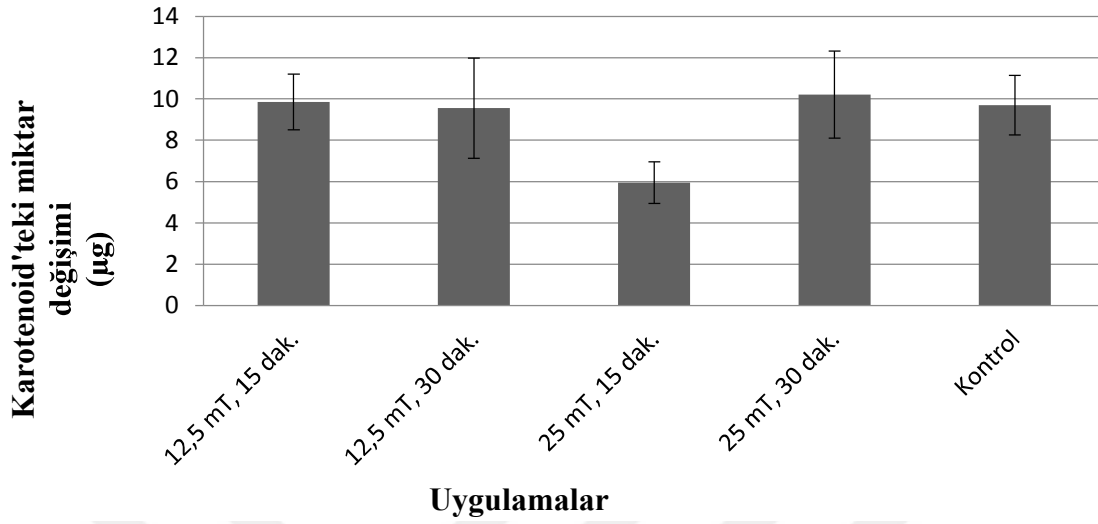
Buğday bitkisine uygulanan manyetik alanın pigmentler üzerine etkinlik derecesine bakıldığında, klorofil değerlerinde klorofil a'nın klorofil b değerinden daha fazla etkilendiği görüldü. Tüm değerlerde 25 mT -15 dak. uygulamasının istatistiksel olarak anlamlı şekilde farklı olduğu tespit edildi. Manyetik alan uygulamasının klorofil-a ve klorofil-b üzerine artışı bakımından en etkili olduğu aralık 25 mT-30 dakika olurken, klorofil-b ise 25 mT-15 dakika aralığında düşmeye neden olmuştur (Şekil 4.4)



Şekil 4.4. Manyetik alan uygulanmasının buğday fidelerinde klorofil miktar değişimi.

Manyetik alan şiddeti aynı, uygulama süresi farklı olan uygulamalarda, uygulanan süre arttıkça klorofil-a ve klorofil-b miktarında artış meydana gelmiştir. Uygulama süreleri aynı, uygulanan manyetik alan şiddetleri farklı olan uygulamalarda ise manyetik alan şiddeti yükseldikçe, klorofil-a ve klorofil-b miktarında ya azalma ya da artma gibi farklı etkilerinin olduğu görülmüştür. Genel anlamda, 15 dakikalık sürelerde manyetik alan uygulamasında klorofil miktarının azaldığı, 30 dakikalık uygulamalarında ise arttığı bariz şekilde tespit edildi. Klorofil-a ve klorofil-b pigmentlerindeki değişim aynı şekilde total klorofilde gözlemlendi (Şekil 4.5).

Uygulanan manyetik alanının buğday fideleri üzerinde, karotenoid miktardaki değişimi incelendiğinde, 25 mT-15 dak. uygulamasının dışında tüm grupların kontrol grubuna göre yakın değer gösterdiği tespit edildi. Aynı durum 25 mT-30 dak. uygulamasında az da olsa karotenoid miktarında artışa neden olduğu belirlendi. Şekil 4.6.'daki grafik incelendiğinde 25 mT-15 dakikalık uygulamasında karotenoid miktarında azalmaya neden olurken, 30 dakikalık uygulamada artışa neden olmuştur. Aynı uygulama süresinde (15 dak.) manyetik alan şiddeti arttıkça karotenoid miktarında azalmanın olduğu, diğer uygulamada ise (30 dak.) manyetik alan şiddeti arttıkça karotenoid miktarında da artışın olduğu tespit edildi (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Manyetik alan uygulanan buğday fidelerinde karotenoidin miktar değişim grafiği.

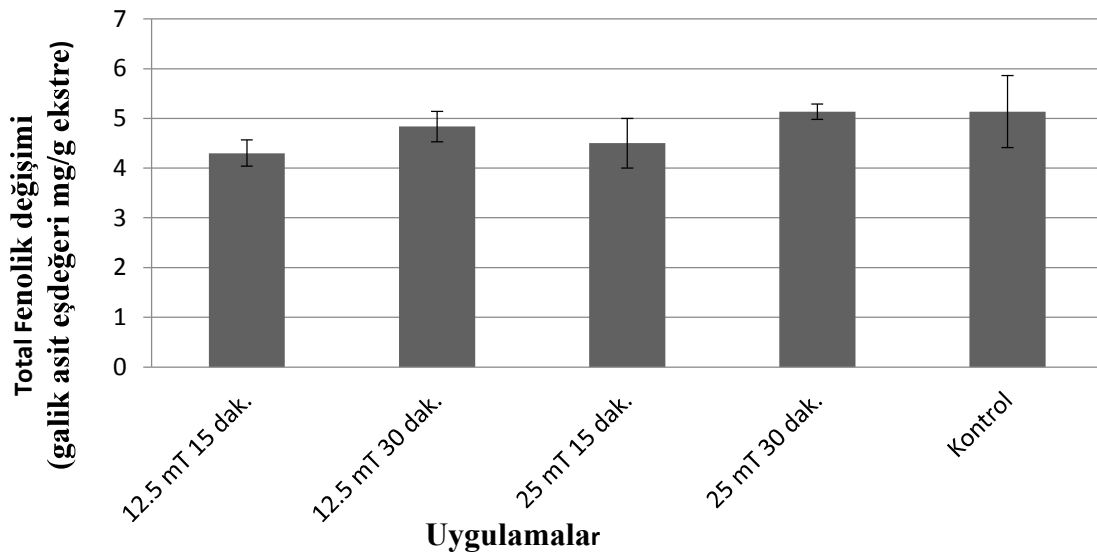
4.5. Manyetik alan uygulamasının fenolik madde içeriğine etkileri

Manyetik alan uygulamasının fenolik madde miktarında, kontrol grubuna göre artma ve azalmalara neden olduğu tespit edilmiştir. 25 mT-30 dakika manyetik alan uygulamasında, kontrol ile aynı değerde fenolik madde içeriği tespit edildi. Genellikle farklı manyetik akı yoğunluklarında fenolik madde içeriğinin azaldığı gözlenmiştir. Fenolik madde, manyetik alan uygulamasında en dikkat çeken durum, 25 mT-30 dakikalık uygulamadaki farklılıktır. 12.5 mT uygulamasındaki süre değişiminin, fenolik madde içeriğinde etkili olmadığı görülmüş ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir.

Çizelge 4.5. Manyetik alan uygulamasının fenolik madde içeriği üzerine etkisi

Uygulama	Fenolik madde(mg/g)
12.5 mT 15 dak.	4.3±0.3 ^a
12.5 mT 30 dak.	4.8±0.3 ^a
25 mT 15 dak.	4.5±0.5 ^a
25 mT 30 dak.	5.1±0.1 ^a
Kontrol	5.1±0.7 ^a

Manyetik alan uygulanan fidelerde, yalnızca 25 mT-30 dakika uygulamasında artış görülürken, diğer manyetik alan uygulamalarında ise kontrole göre azalmaların olduğu görüldü. 30 dakika uygulamalarının 15 dakika uygulamalarına göre fenolik madde miktarını daha fazla etkilediği ve fenolik madde miktarında artışa neden olduğu görüldü. Bu bağlamda, fenolik madde içeriğinin, uygulama süresi ile doğru orantılı olarak arttığı veya azaldığı belirlendi (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Manyetik alan uygulanan buğday fidelerinde fenolik maddesinin içerik değişim grafiği.

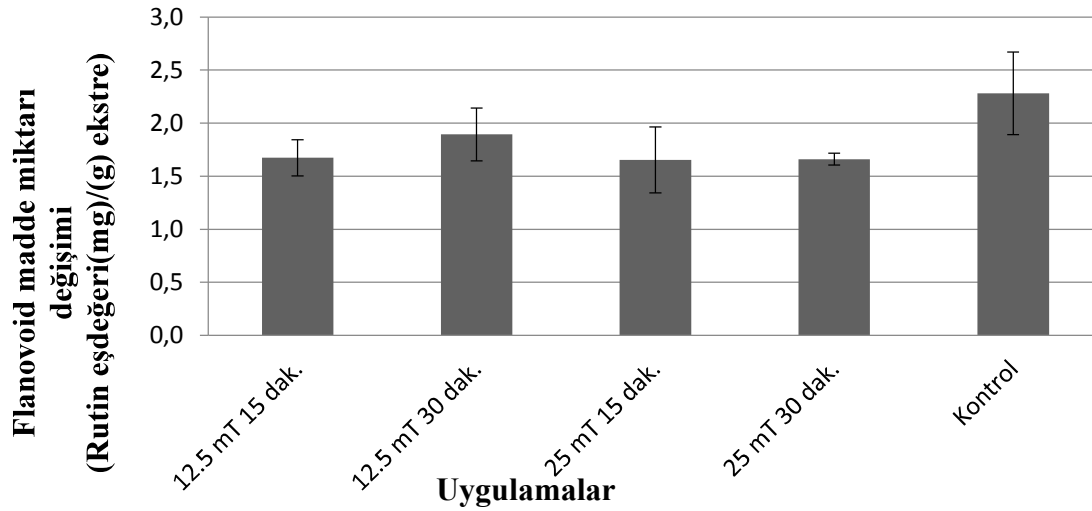
4.6. Manyetik alan uygulaması flavonoid madde içeriğine etkileri

Flavonoid madde içeriği, manyetik alan uygulamasında kontrol grubu ile karşılaştırıldığında tüm uygulamalarda azalmaların olduğu tespit edildi. Flavonoid madde içeriği, 12.5-30 dakika uygulaması dışında diğer tüm uygulamalarda aynı değere sahip olacak şekilde hesaplandı. Kontrol grubuna göre en fazla artış gösteren uygulamanın 12.5 mT-30 dakikalık uygulama olduğu görüldü. (Çizelge 4.6)

Çizelge 4.6. Manyetik alan uygulamasının flavonoid madde içeriği üzerine etkisi

Uygulama	Flavonoid madde(mg/g)
12.5 mT 15 dak.	1.7±0.2 ^a
12.5 mT 30 dak.	1.9±0.2 ^{ab}
25 mT 15 dak.	1.7±0.3 ^a
25 mT 30 dak.	1.7±0.7 ^a
Kontrol	2.3±0.4 ^{ab}

Aynı şiddette manyetik alan uygulamasının (12.5 mT), uygulanan süre artıkcı flavonoid madde içeriğinin arttığı, diğır uygulamalarda (25 mT) ise uygulama süresinin değışmesi flavonoid madde miktarı üzerinde bir değışime neden olmadığı gözlemlendi. 15 dakika uygulanan manyetik alanın şiddeti artması flavonoid madde miktarında bir değışime neden olmaz iken, 30 dakika manyetik alan şiddeti uygulamasının flavonoid madde içeriğini azalttığı görüldü (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Manyetik alan uygulanan buğday fidelerinde flavonoid madde miktarı değışimi grafiği.

4.7. DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) inhisyon aktivitesi

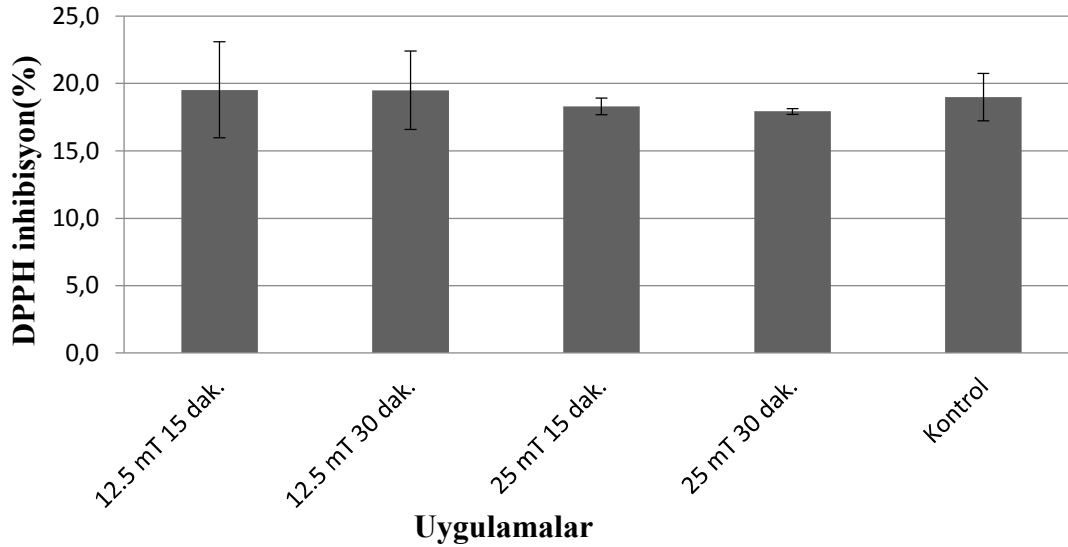
Manyetik alan uygulanan fidelerde genel antioksidan aktivite olan DPPH inhibisyonu incelendiğinde, 12.5 mT manyetik alan uygulamasında kontrol grubuna göre artış gözlemlenirken, 25 mT manyetik alan uygulamasında azalma tespit edildi. En

düşük DPPH değerinin 25 mT-30 dakikalık uygulamasında olduğu belirlendi. (Çizelge 4.7). 12.5 mT'lık uygulamalarında kontrol grubuna göre düşük de olsa bir artış görülürken, 25 mT-15 ve 30 dak. uygulamada belirgin bir azalmanın olduğu saptandı.

Çizelge 4.7. Manyetik alan uygulamasının DPPH üzerine etkisi tayini

Uygulamalar	DPPH İnhibisyon (%)
12.5 mT 15 dak.	19.5±3.6 ^{ab}
12.5 mT 30 dak.	19.5±2.9 ^{ab}
25 mT 15 dak.	18.3±0.6 ^{ab}
25 mT 30 dak.	17.9±0.2 ^a
Kontrol	19,0±1.76 ^{ab}

12.5 mT uygulamasının, DPPH miktarı açısından bir değişiklik gözlemlenmezken, 25 mT uygulanan fidelerde, süre artışına bağlı olarak DPPH miktarında azalmalar olduğu gözlemlendi. (Şekil 4.8). 12.5 mT'lık uygulamanın kontrol grubu ile kıyaslandığında artışın olduğu görülürken, 25 mT'lık uygulamada azalma gözlemlendi.



Şekil 4.8. Manyetik alan uygulanan buğday fidelerinde DPPH inhibisyon grafiği.

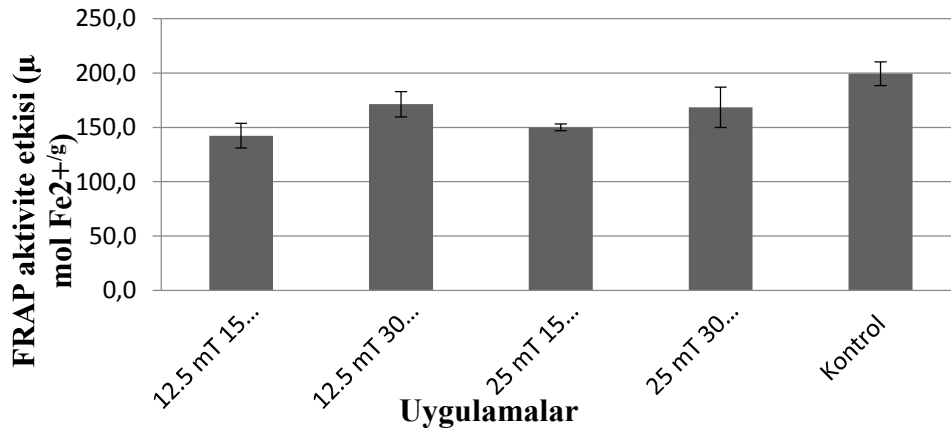
4.8. FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power Assay) aktivitesi

Yapılan manyetik alan uygulamasında FRAP miktarında düşüşün sağlandığı gözlemlenmiştir. En belirgin azalmanın 142.3 değerle 12.5 mT-15 dakika uygulamasında olduğu görüldü. Bütün uygulamalarda kontrol grubuna göre farklı derecelerde azalmalar tespit edildi (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Manyetik alan uygulamasının FRAP aktivitesi üzerine etkisi

Uygulamalar	FRAP madde (μ mol Fe^{2+} /g)
12.5 mT 15 dak.	142.3 $\pm$ 11.4 ^a
12.5 mT 30 dak.	171.3 $\pm$ 11.5 ^{ab}
25 mT 15 dak.	149.9 $\pm$ 3.2 ^a
25 mT 30 dak.	168.6 $\pm$ 18.5 ^{ab}
Kontrol	199.4 $\pm$ 10.8 ^{bc}

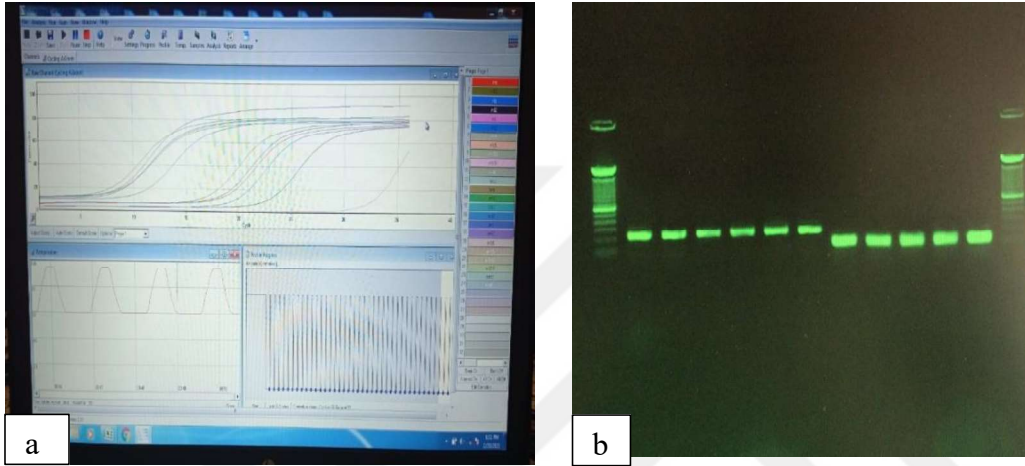
Uygulamaların tamamında, uygulanan manyetik alanın FRAP madde miktarında azalmaya neden olmuştur. Aynı süreli manyetik uygulamalarında (12.5 mT ve 25 mT) 30 dakikalık uygulama süresinin, FRAP aktivitesinde belirgin bir artışa neden olduğu görüldü. Uygulama süresi 15 dak olan uygulamalarda ise manyetik alan şiddetinin artması ile FRAP aktivitesinde azalmalar tespit edildi (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Antioksidan aktivite olan FRAP madde içeriği grafiği.

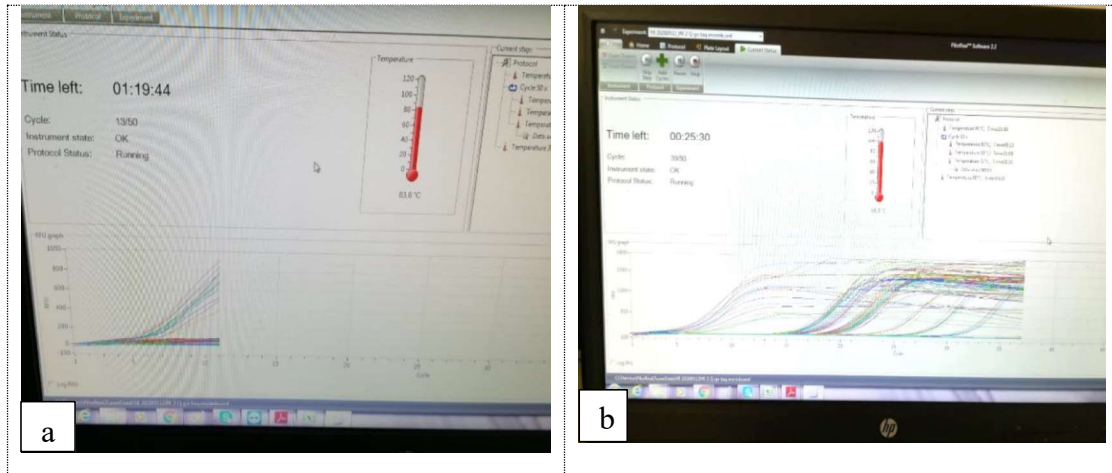
4.9. Gen Ekspresyon Sonuçları

Manyetik alan uygulanan fidelerdeki gen ekspresyonlarının karşılaştırılması amacı ile Real Time PCR çalışmaları için ön denemeler yapıldı. Ön denemelerde Rubisco ve actin primerleri denendi. Yapılan ön denemede hem pikler elde edilebildi, hem de jel görüntüsünde bantlar teyit edildi. (Şekil 4.10).



Şekil 4. 10. Real time PCR ile gerçekleştirilen ön deneme görüntüleri a. Gen pikleri, b. Elektroforez.

Real Time PCR çalışmaları Pikoreal (Thermo) cihazında Pikoreal software 2.2 kullanılarak gerçekleştirildi. 96 kuyucuklu plakalarda üç tekrarlı olacak şekilde çalışıldı (Şekil 4.11).



Şekil 4. 11. Manyetik alan uygulanan fidelerdeki Real time PCR pikleri.

Manyetik alan uygulanan buğday fidelerindeki gen ekspresyon farklarının karşılaştırılması için 4 farklı gen bölgesi ile çalışıldı. Bunlar;

1. Triticum elongation factor-1 (TEF1)
2. phenylalanine ammonia lyase (PAL)
3. ribulose 1,5 biphosphate carboxy-lase/oxygenase (Rubisco)
4. chlorophyll a,b binding protein (CBP4)

refereans olarak ise 18 s RNA bölgesi kullanıldı. Genlere ait sekans dizileri çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. kullanılan genlere ait primer dizileri

	Primer Adı	Dizi 5>3	Size	Tm °C
1	TEF1_F	CAGATTGGCAACGGCTACG	164	60.6
	TEF1_R	CGGACAGCAAAACGACCAAG		59.3
2	PAL_F	ATCTCATCCAGGAAGACGCC	220	59.24
	PAL_R	CGGTCAGCAAATCCTTCTCG		59.00
3	Rubisco_F	TGGTTTCAAAGCCCTACGTG	215	58.4
	Rubisco_R	GTCCACCACGTAGACACTCA		59.04
4	CBP4_F	AAGGAGATCAAGAACGGGCG	140	60.11
	CBP4_R	GATGTCGCCGATGTGTTGTG		59.90
5	18 s RNA_F	ACCAGACTCGAAGAGCCCGGTAT	180	66.4
	18 s RNA_R	AGCCTGAGAAACGGCTACCACATC		67.00

Real time PCR çalışmasında elde edilen CT (Cycle Threshold) değerleri kullanılarak uygulamalar arasında relatif farklar ve kontrol ile karşılaştırmaları amacı ile de ddcT değerleri ile kullanılmıştır. dcT ve ddcT değerlerinin hesaplanması için;

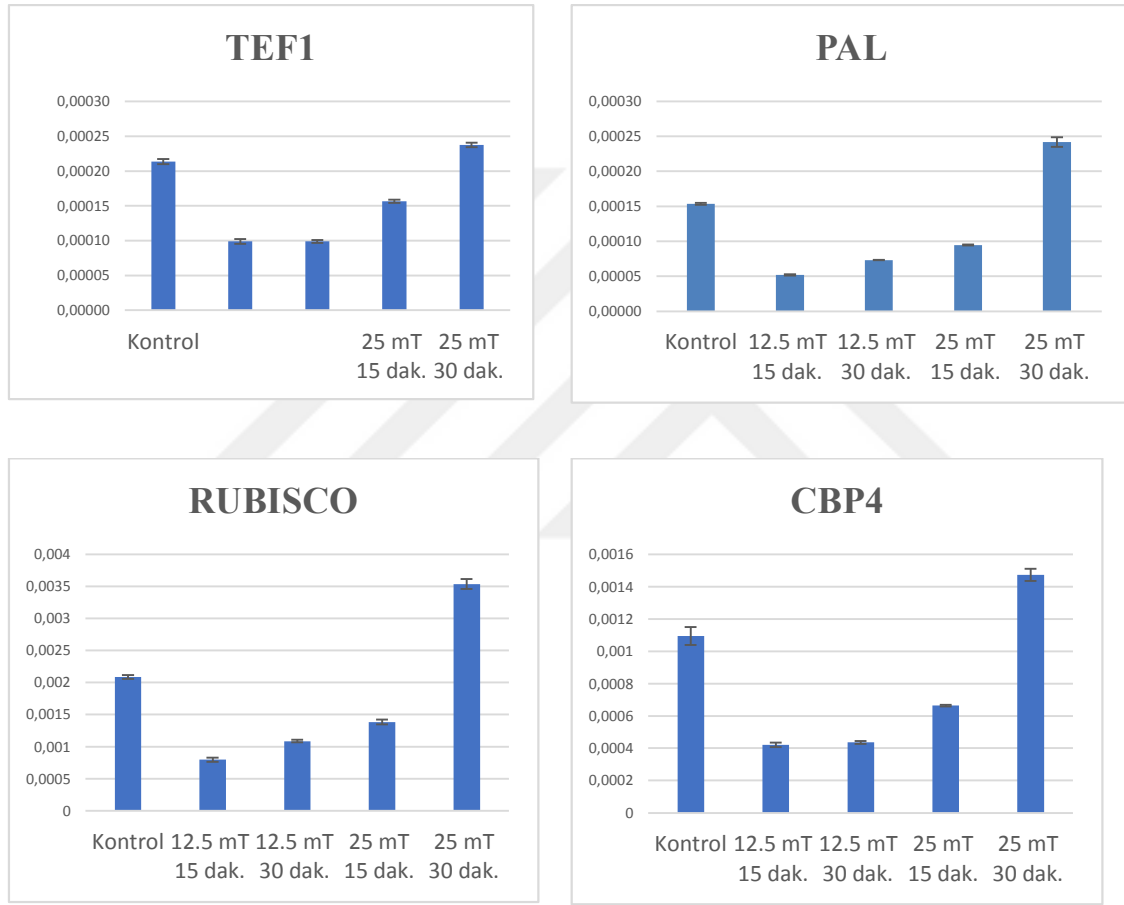
1. $\Delta ct = \text{Hedef gen ct-housekeeping (referans) gen ct}$
2. $\Delta\Delta ct = \Delta ct_{(\text{hedef gen})} - \Delta ct_{(\text{kalibratör; kontrol})}$
3. $\text{relatif ekspresyon} = 2^{-\Delta\Delta ct}$

förmüllerine göre hesaplandı. Dört farklı gen bölgesi için elde edilen Δct ve $\Delta\Delta ct$ değerleri çizelge 4. 10'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Real Time PCR çalışmasında kullanılan dört farklı genin değerleri

Gene of interest 1	18 S RNA								
	TEF								
	Mean value of triplicates		dct	ddct = (Expdct - Con_dct)	Average of Control dct	2(ddct)			
Groups	Target 1 (ct)	Ref (ct)	Target-ref.	Exp-Control (avg.)		Fold change			
Kontrol	20,69666667	8,51	12,18666667	0		1	Log2 fold Change		
A	20,83	7,53	13,3	1,113333334	12,18666667	0,46222483	-1,11333		
B	20,87666667	7,57	13,30666667	1,12	12,18666667	0,460093825	-1,12		
C	20,66	8,02	12,64	0,453333334	12,18666667	0,730353422	-0,45333		
D	21,03333333	8,99	12,04333333	-0,143333333	12,18666667	1,104454	0,143333		
Gene of interest 1	18 S RNA								
	PAL								
	Mean value of triplicates		dct	ddct = (Expdct - Con_dct)	Average of Control dct	2(ddct)			
Groups	Target 1 (ct)	Ref (ct)	Target-ref.	Exp-Control (avg.)		Fold change			
Kontrol	21,17	8,51	12,66				Log2 fold Change		
A	21,76	7,53	14,23	1,57	12,66	0,336808394	-1,57		
B	21,32	7,57	13,75	1,09	12,66	0,469761375	-1,09		
C	21,39	8,02	13,37	0,71	12,66	0,611320139	-0,71		
D	21	8,99	12,01	-0,65	12,66	1,569168196	0,65		
Gene of interest 1	18 S RNA								
	Rubisco								
	Mean value of triplicates		dct	ddct = (Expdct - Con_dct)	Average of Control dct	2(ddct)			
Groups	Target 1 (ct)	Ref (ct)	Target-ref.	Exp-Control (avg.)		Fold change			
Kontrol	17,41	8,51	8,9				Log2 fold Change		
A	17,82	7,53	10,29	1,39	8,9	0,381564802	-1,39		
B	17,42	7,57	9,85	0,95	8,9	0,517632462	-0,95		
C	17,52	8,02	9,5	0,6	8,9	0,659753955	-0,6		
D	17,14	8,99	8,15	-0,75	8,9	1,681792831	0,75		
Gene of interest 1	18 S RNA								
	CBP4								
	Mean value of triplicates		dct	ddct = (Expdct - Con_dct)	Average of Control dct	2(ddct)			
Groups	Target 1 (ct)	Ref (ct)	Target-ref.	Exp-Control (avg.)		Fold change			
Kontrol	18,34	8,51	9,83				Log2 fold Change		
A	18,74	7,53	11,21	1,38	9,83	0,384218795	-1,38		
B	18,74	7,57	11,17	1,34	9,83	0,395020656	-1,34		
C	18,58	8,02	10,56	0,73	9,83	0,602903914	-0,73		
D	18,4	8,99	9,41	-0,42	9,83	1,337927555	0,42		

Real time sonuçları değerlendirilirken tüm uygulama ve kontrolün Δct değerleri kullanılarak tüm uygulamalar birbirleri ile karşılaştırıldı (Şekil 4.13). Çalışılan tüm gen bölgelerinde, 25 mT-30 dak.'lık uygulamanın, gen seviyesinde belirgin bir artışın nedeni olduğu görüldü. Aynı şekilde kontrol uygulamasının 25 mT-30 dakikalık uygulama dışında diğer tüm uygulamalardan daha fazla ekspresyon katsayısına sahip olduğu tespit edildi (şekil 4.12).

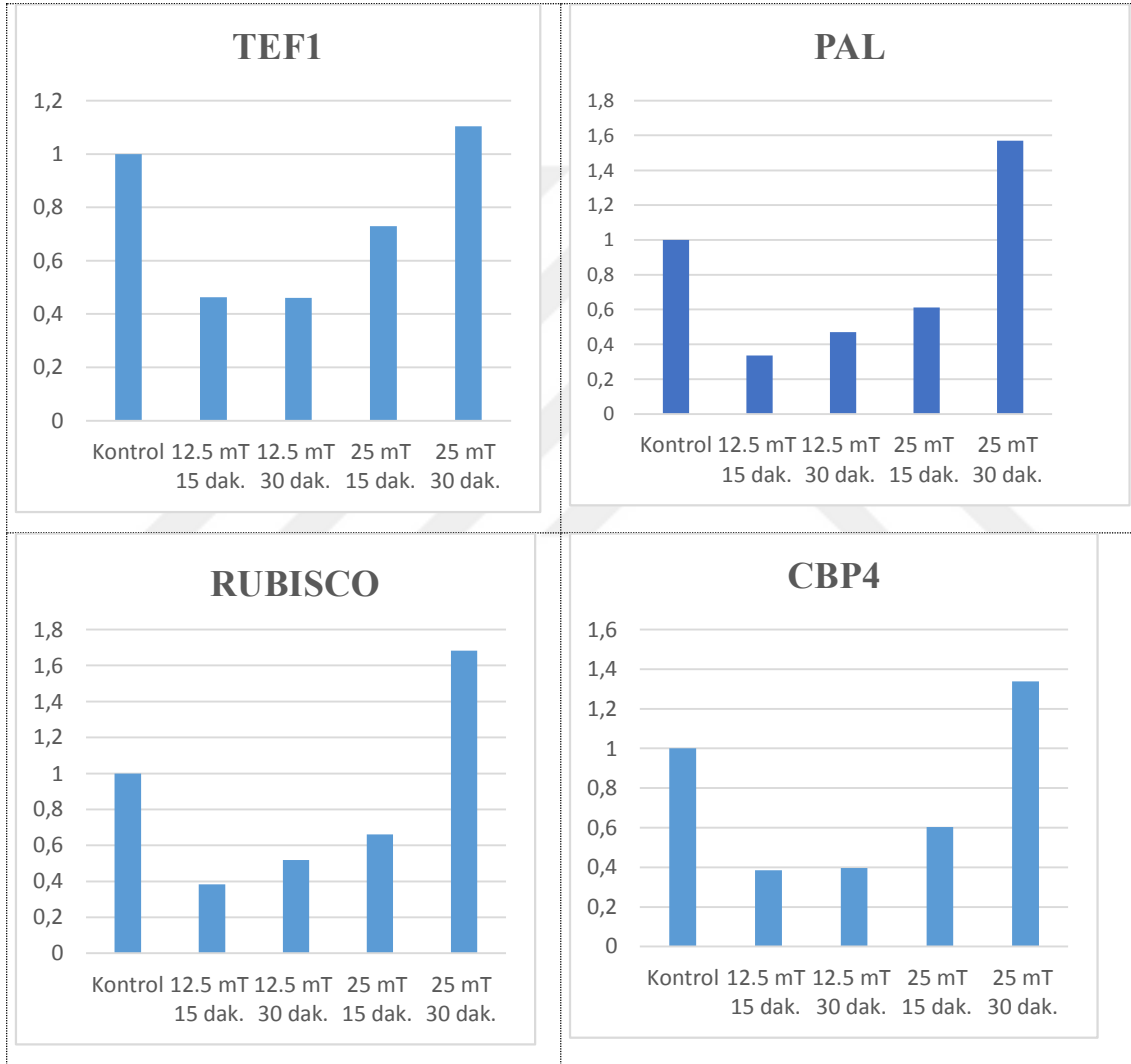


Şekil 4.12. Δct değerlerine göre tüm grupların karşılaştırılması.

Elongation faktör (TEF1) geninde 12.5 mT uygulaması, süre değişmesine rağmen aynı ekspresyonu gösterdi. Ancak 25 mT da uygulama şiddeti ve süre ile paralel olarak ekspresyon katsayısının arttığı tespit edildi. PAL ve RUBISCO gen seviyelerinde uygulama süresi ve şiddeti artışı ile birlikte gen ekspresyonunun arttığı, 25 mT-30 dakikalık uygulamasının en yüksek değere sahip olduğu görüldü. Genel olarak tüm gen

gruplarında 25 mT uygulaması 12.5 mT uygulamasından daha fazla ekspresyon katsayısına sahip olduğu fark edildi (Şekil 4.13).

$\Delta\Delta ct$ değerleri, Δct değerleri ile benzer sonuç ve yorumlara neden oldu. Yine tüm genlerde en yüksek değerlerin 25mT-30 dakikalık uygulamalarda olduğu görüldü. 25 mT uygulamalarının 12.5 mT uygulamalarına göre tüm gruplarda ekspresyon katsayısını arttığı tespit edildi (Şekil 4.13.).



Şekil 4.13. $\Delta\Delta ct$ değerlerine göre grupların kontrol ile karşılaştırılması.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bitkiler çevrelerinde bulunan tüm değişkenlere duyarlı olmak zorundadırlar. Yaşamak zorunda oldukları çevrede biyotik (patojenler, parazitler) ve abiyotik (sıcaklık, kuraklık, ışık, UV vb) faktörlere maruz kaldıklarında, metabolit mekanizmalarını (fizyolojik, biyokimyasal, moleküler) harekete geçirip değişen çevre koşullarına uyum gösterirler. Çevresel faktörler tek bir hücre ve doku bazında tepkiye neden olabileceği gibi tüm bitkiyi etkileyen tepkilere de neden olabilir. Bitkilerde oluşturulan tüm stres çalışmalarında, bitkiler tarafından oluşturulan cevapların, öncelikle stres çeşidi ve şiddetine daha sonra bitki türünün genetik toleransına bağlı olduğu bilinmektedir. Aslında bitkilerin hayatta kalabilme, habitat seçimi, sekonder metabolit çeşidi, anatomik ve fizyolojik değişimleri tamamen sahip oldukları genetik ve fizyolojik potansiyele bağlıdır.

Bilinen tüm çevresel faktörlerin yanı sıra, değişken manyetik alanın da canlıların metabolizması üzerine etkilerinin olduğu artık bilinen bir gerçektir. Bugüne kadar manyetik alan uygulamasının nasıl bir etki mekanizması ile çalıştığını anlamak için çeşitli çalışmalar yapılmasına karşın, bu etkilerin tek bir hipotez ile açıklanamayacağı görüşü hâkimdir. Hatta günümüzde, araştırmacıların bir kısmı MA uygulamalarının zararlı olabileceğini savunurken, bir kısmı uygulamaların faydalarının olduğunu ileri sürmektedir. Bu konudaki fikir ayrılıklarının nedeni MA uygulamalarının canlı organizmalarla olan etkileşim mekanizmasının henüz yeterince belirlenememiş olmasından kaynaklanır.

Statik veya elektromanyetik alanın organizmalarda hormon ve enzim aktivitesinin işlevlerinin değişmesine, membran geçirgenliğini etkileyerek besin giriş çıkışını, DNA sentezini ve gen ekspresyonlarını etkileyerek organizmaların biyolojik işlevlerini etkilediği ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır (Strasak ve ark., 2002). Aslında manyetik alanın en büyük etkisinin polar yapıya sahip suyun üzerine olduğu ve metabolizmadaki prosesleri su aracılığı ile direkt veya indirekt olarak etkilediği de ileri sürülmektedir. Son yıllarda “magnetopriming” adı altında tohum veya fidelere farklı şiddet ve sürelerde manyetik alan uygulamaları yapılmaktadır. Ayrıca manyetik alanın;

kuraklık, tuzluluk, ağır metal, sıcaklık vb. streslere karşı etkisinin çeşitli araştırmalar ile ortaya konulmaya çalışılmaktadır.

Çalışmamızda, manyetik alanın değişen şiddet ve süresinin bitki metabolizmasına nasıl bir etki yapacağını belirli açılardan değerlendirmeye çalıştık ve bu amaçla, çimlendirilen buğday tohumlarına farklı şiddet (12.5 ve 25 mT) ve sürelerde (15 ve 30 dakika) manyetik alan uyguladı. Çalışmanın farklı yönlerle değerlendirilmesi için; morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler parametreler kullanılmaya çalışıldı. Yapılan çalışmada kullanılan parametrelerden elde edilen verilerin kontrol grubuna oranla azalış ve artışları tek bir tabloda bir araya getirilerek daha belirgin bir değerlendirmenin yapılması sağlandı (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. Analiz sonuçlarının kontrole göre değerlendirilmesi

	12. 5 mT 15 dak.	12. 5 mT 30 dak.	25 mT 15 dak.	25 mT 30 dak.
Çimlenme	-	--	-	---
Kök boyu	-	-	--	--
Gövde boyu	-	-	-	--
Bağıl su içeriği	+	+	+	+++
Klorofil a	----	---	-----	-
Klorofil b	+	++	+	+++
Total klorofil	--	-	-----	--
Karotenoid	+	-	----	++
Fenolik	-	-	-	+
Flavonoid	-	-	-	-
DPPH	-	-	-	--
FRAP	----	-	---	--
TEF1	--	--	-	+
PAL	---	--	-	++
RUBİSCO	--	-	-	+++
CBP4	--	--	-	++

- (+) kontrole göre artışın sağlandığını, (-) kontrole göre azalmanın olduğunu göstermektedir. +/- değerlerin sayısı derecelendirme amacı ile kullanılmıştır.

İlk belirgin etkinin, çimlenen tohum sayısında ve çimlenme yüzdelğinde olduğu fark edildi. Çimlenen tohum sayısı ve yüzdesi, kontrol grubu ile kıyaslandığında belirgin şekilde azalmaların olduğunu tespit edildi. Çimlenme sayısı ve çimlenme

yüzdesinin, uygulama şiddeti ve süresi ile doğrudan ilişkili olduğu tespit edildi. Yüksek şiddet uzun süre uygulaması, çimlenmeyi daha fazla olumsuz yönde etkiler iken, düşük şiddet ve kısa süre uygulaması, çimlenmeyi daha az etkilemiştir. Çizelge 5.1 incelendiğinde 15 dakikalık uygulamaların 30 dakikalık uygulamalara oranla daha az etki ettiği belirgin şekilde görülmektedir. Aynı durum 30 dakikalık uygulamalar için değerlendirildiğinde ise şiddeti fazla olanın (25 mT) çimlenmeyi daha fazla inhibe ettiği görülmektedir. Genellikle düşük dozdaki manyetik alanın tohum çimlenmesi ve ardından gelen bitki gelişimini olumlu ve uyarıcı etki yaparken, yüksek dozda ise olumsuz etkiye neden olabildiği şeklinde rapor edilmiştir (Rybiński 1993).

Manyetik alan uygulaması ile ilgili birçok çimlenme denemeleri yapılmıştır. Genel olarak çimlenme arttırıcı etkilerinden söz edilmiştir. Ancak yapılan tez çalışması ve literatürdeki bazı araştırmalar manyetik alanın, çimlenme yüzdesinde azalmalara neden olduğunu göstermektedir. Değişken ve stabil manyetik alan uygulaması, buğday tanelerinin çimlenme sürecini etkileyen önemli bir faktördür. Ancak bu etkinin değişken olduğu, manyetik alanın gücüne ve süresine bağlı olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca manyetik alanın çimlenme üzerine etkinliğinin; tohum türü ve çeşidi, tohumların daha önceden ıslatılması, kullanılan besin ortamı veya suyun özelliklerine bağlı olarak da değişmektedir. Sonuç olarak yapılan çalışmada uygulanan yüksek manyetik alan ve sürenin çimlenme yüzdesini olumsuz şekilde etkilediği görülmüştür. Bu durum yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı olabileceği gibi, manyetik alanın amilaz enzimi veya hormonların ekspresyonlarını etkilemesinden de kaynaklanmış olabilir.

Çimlenme sayısındaki azalmanın nedenleri arasında farklı türdeki tohumların manyetik alana yanıtlarının değişken olması ile de açıklanabilir. Ayrıca manyetik alanın uygulanma sırası (imbibisyondan önce veya sonra), tohumların dormansi durumu, manyetik alanın etki süresi gibi durumlar, çimlenmeyi direkt olarak etkilemektedir. Yapılan çalışmada manyetik alan, tohumların ıslatılmasından sonra uygulanmıştır. Manyetik alan uygulanmasının şiddet ve süresi ile etkisi arasında doğrusal bir oran bulunmamaktadır. Örneğin Vashisth ve Nagarajan, (2008) tarafından yapılan çimlenme öncesinde tohuma uygulanan 120 saatlik manyetik alanın, çimlenme sayısında artışa; uygulanan diğer sürelerin azalmaya neden olduğu rapor edilmiştir. Yine aynı araştırmacıların ayçiçeği tohumlarına uygulanan beş farklı manyetik alan yoğunluğu (50,

100, 150, 200 ve 250 mT) ve farklı süre (1, 2, 3 ve 4 saat) kombinasyonlarından, çimlenme ve 30 günlük fide gelişim parametereleri (fide kuru ağırlığı, kök uzunluğu) bakımından en iyi sonuçların 50 ve 200 mT yoğunluk ve 2 saat süre uygulamalarında tespit edilmiştir. (Vashisth ve Nagarajan 2010). Bu durum manyetik alanın şiddet ve süresinin meydana getirebileceği etkiden bağımsız olduğunu göstermektedir.

Ayrıca bitki tohumlarına uygulanan manyetik alan, tohum dormansisinin uzamasına da neden olmuş olabilir. Dormant bir tohumun çimlenmesi için uygun koşulların (su, sıcaklık, O₂, enzim etkinliği, hormonal aktivite vb.) sağlanması gerekmektedir. Manyetik alan bu koşullarının biri veya birden fazlasını olumsuz etkileyerek çimlenmenin azalmasına neden olmuş olabilir. Ayrıca buğdayda çimlenmenin azalmasının sebebi, manyetik alanın Ca⁺ iyonlarını etkileyerek mitotik döngüdeki sinyal iletimini etkilemesinden de kaynaklandığı düşünülebilir. Benzer sonuçlar, Vashisth ve ark., 2013 yılında yaptığı çalışmada rapor edilmiştir.

Uygulanan manyetik alan, kök ve gövde boyunda, bütün uygulamalarda azalmalara neden olduğu tespit edildi. Ancak manyetik alan uygulaması, kök ve gövde boyunda şiddet ve süre bakımından farklı etkilere neden oldu. Kök boyunda kontrolden sonra en yüksek değer (8.3 cm) ile 12.5 mT-30 dk uygulamasında görülürken, gövde en yüksek değer ise (9.8 cm) 25 mT-15 dk uygulamada görüldü. 12.5 mT uygulamasının her iki sürede ki (15 ve 30 dak.) uygulamaları arasında belirgin bir fark belirlenmedi. 25 mT- 30 dak uygulamasının kontrol ile kıyaslandığında anlamlı azalmalara neden olduğu tespit edildi. Özetle manyetik alanın hem şiddet hem de süresinin artışı kök ve gövde uzamasını olumsuz yönde etkilemiştir.

Yapılan birçok çalışmada manyetik alanın bitki hücresinde, metabolizma işleyişini baskılayarak; sınırlı büyüme, çimlenme, klorofil içeriği, kök uzamasını, membran geçirgenliği ve hücre bölünmesini değiştirdiği rapor edilmektedir (Florez, M., ve ark., 2007, Namba ve ark., 1995, Shine M.B., 2011). Yapılan bazı ultrasüruktürel çalışmalarda, düşük manyetik alana maruz kalan bazı türlerde, organellerin ve hücresel bölümlerin yapısal organizasyonunda, kromatinlerin dağılımında, vakuollerinin görünümü ile nükleolus hacminde değişimlerin olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu durumların esterez aktivitesinde ve rRNA sentezinde azalmalara neden olduğu bildirilmektedir. Dolayısıyla bu durum direkt olarak gelişme ve uzama işlemlerini

etkilemekte ve kök-gövde uzamasında olumsuz etkiye neden olmaktadır. Aslında manyetik alanın kök ve gövde uzaması üzerine yapmış olduğu etki ile TEF1 (Triticum elongation factor-1) geninin ekspresyonu da benzerlik ve uyum göstermektedir. Uzama faktörünün etkilenmesi direkt olarak radikula ve plumula uzunluğuna etki etmiştir denilebilir.

Manyetik alanın genel olarak mitotik aktiviteyi artırdığını bilinmektedir. Çalışmada elde edilen kök ve gövde uzamasındaki azalışın nedenleri arasında, hipokotil ve epikotil uzaması için optimal süre ve şiddette manyetik alan uygulamasının gerekli olması da olabilir. Örneğin yapılan bir çalışmada, düşük manyetik alanda kök boyu ve hipokotil uzamasında azalmaya neden olurken, yüksek manyetik alanda ise kök ve hipokotil boyunda önemli artış meydana getirmiştir. Yapılan çalışmada kök ve gövde boyunda azalma olmasının, uyguladığımız manyetik alan şiddeti ve sürenin mitotik aktiviteyi olumsuz etkilemiş olabileceğinden de kaynaklanmış olabilir.

Yapılan birçok çalışma; manyetik alanın, suyun fizikokimyasal özelliklerini değiştirebileceğini bildirmektedir. Yapılan manyetik alan uygulaması, buğday fidelerinde bağıl su içeriğini önemli ölçüde arttırdığı tespit edildi. En yüksek bağıl su içeriğinin 25 mT- 30 dakika uygulamasında olduğu görüldü. Yapılan birçok araştırmada manyetik alan uygulanan buğday fidelerin daha fazla suyu absorbe ederek bitkide bağıl su içeriğinde artışa sebep olduğu rapor edilmiştir. (Pitman ve Ormrod, 1970). Ayrıca yapılan bir çalışmada, tohumların sulama suyu üzerine uygulanan statik manyetik alanın bitkide su içeriğini arttırdığı ifade edilmiştir (Reina., 2001). Son yıllarda manyetik alan uygulamaları ile yapılan çalışmalar genellikle suyu manyetize ederek deney düzenekleri kurmaktadırlar. Manyetize suyun mineral madde geçişi ve suyun alabilirliğini etkilediğini ileri sürmektedirler. Bu durum, manyetize edilmiş suyun çözünabilir tuzları toprak profilinden ayırmada, manyetize edilmemiş suya göre daha yüksek verim sağladığından ileri gelmektedir. Manyetik alan, su molekülleri arasındaki hidrojen bağlarını değiştirebilir ve onları altıgen yapıda yeniden oluşturabilir, sonuç olarak çözünür tuzların membrandan geçirgenliğini artırabilir/değiştirebilir. Yapılan invitro ve arazi çalışmalarında, buğday fidelerinde bağıl su içeriğinin yüksek olmasının nedenlerinden biri, manyetik alanın bitki sitozolünde besin elementlerinin miktarındaki

artış olabilir (C. E. Duarte-Diaz, 1997). Bu da osmotik basıncının artışıyla beraber bitkide su absorpsiyonunun hızlanmasına neden olmuş olabilir.

Manyetik alanın; bitkide biyokütle ağırlığını arttırdığı, kalsiyum minerali başta olmak üzere birçok elementin hücrede birikimine neden olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmektedir. Belirli elementlerin hücrede birikmesi, biyokütle artışı, osmotik basıncın yükselmesi sonucunda bitkide daha fazla su emilimi sağlar. Buğday bitkisindeki bağıl su içeriğinin yüksek olmasının nedenleri arasından biri osmotik basıncın etkisiyle su içeriğinin artmasına neden olmuş olabilir. Aynı zamanda MA zar geçirgenliğini artırdığından dolayı bitkide daha fazla su ve diğer besinlerin birikmesini sağlamış olabilmektedir. Manyetik alanın bitkilerde mineral madde ve su alımını etkilemesine rağmen, etkisi direkt olarak fark edilememektedir. Çünkü manyetik alan; hormon-enzim aktiviteleri, büyüme ve uzama gibi diğer birçok farklı faktörlere de etki etmektedir.

Manyetik alan ve ışık akseptörleri arasındaki ilişki için literatürlerde farklı yorumlar yapılmaktadır. Yorum 1: manyetik alan ışık proteinlerinin fosforilasyonu veya modifikasyonu ile direkt olarak etki edebilir, yorum 2; manyetik alan fotoreseptörler ile ilişkili biyokimyasal olayları etkileyebilir, yorum 3: Manyetik alan, ilgili fotoreseptör genlerinin ekspresyonunu veya fotoreseptörün stabilitesini/bozunmasını etkileyebilir. Her üç durumda da manyetik alan fotosentez olayını ve dolaylı olarak verimi etkileyebilme durumu bulunmaktadır. Yapılan diğer yorumlarda manyetik alanın atomlar arasında dağıtılan bir iç enerjiyi artırarak metabolizmanın hızlanmasına ve/veya değişmesine neden olabilir. İyonların hareket etmesini sağlayan su ile uygulanan manyetik alan enerjisi etkileşim halindedir.

Yapılan çalışmada, farklı manyetik alanın buğday tohumlarına uygulanmasında, en ilginç sonuçlar fotosentetik pigment değerlerinde elde edildi. Elde edilen verilerin, kontrol grubuna göre artış veya azalışı ile manyetik alan uygulama şiddeti ve süresi arasında belirgin ve anlamlı bir orantının olmadığı görüldü. En dikkat çeken sonuçlar 25 mT uygulamasında görüldü. Klorofil-a, klorofil-b, total klorofil ve karotenoid miktarında en fazla azalmayı 25 mT-15 dakika uygulamasın da gösterirken, 25 mT- 30 dakika uygulamasında ise kontrol grubuan göre artışlar dahi tespit edildi. Diğer bir enteresan sonuç ise klorofil a ve klorofil b arasındaki farktan kaynaklandı. Manyetik

alan uygulamaları genel olarak klorofil a miktarında azalmalara neden olur iken klorofil b miktarında ise artışa neden olduğu belirlendi. Bilindiği gibi Klorofil a ve b molekülleri arasındaki fark, 2. pirol halkasının 3. karbon atomuna bağlanmış olan gruplardan kaynaklanır. Klorofil a'nın 3. karbonuna metil (CH₃) grubu bağlanmışken, klorofil b'nin 3. karbonuna aldehit grubu (CHO) bağlanmıştır. Bu durum absorpsiyon ve çözünürlüklerini etkilemektedir. Yapılan çalışmada manyetik alan uygulamasının metil ve aldehit gruplarına farklı etki ettiği düşünülmektedir. Sonuç olarak yapılan çalışmada 25 mT 30 dakika uygulamasının klorofil ve karetonoid miktarlarında kontrole oranla anlamlı bir artışa neden olduğu tespit edildi. Benzer ve uyumlu sonuçlar **CBP4 (Chlorophyll Binding Protein)** geni ekspresyonunda tespit edildi. CBP geni ekspresyonu 25 mT 30 dakika uygulamasında artış gösterir iken diğer tüm uygulamalarda kontrol grubuna göre ekspresyonu azaldı.

Fotosentetik pigmentlerin azalmasının nedenleri arasında, manyetik alan uygulamasının hücredeki plastitlerin azalmasındaki etkiye bağlı olmasıdır (Taia, ve ark., 2007). Karetonoidlerin radikal süpürme reaksiyonlarında tüketilebilmesi ile birlikte, serbest radikallerin fotosentez pigmentlerinin sentezini baskılar (Strzalka, ve ark., 2003). Klorofil a, klorofil b ve karetonoidlerin farklı kimyasal yapılarına bağlı olarak uygulanan manyetik alan her birine farklı etki göstermesi sayılabilir.

Fidelerdeki pigment içerik miktarı, aynı manyetik alan şiddetinde uygulama süresi arttıkça klorofil a, klorofil b, karotenoid ve total klorofilin artışını sağladığı görülmüştür. Ancak uygulanan manyetik alan yoğunluğu bazı bitkilerde uzun süre uygulamalarında foto pigmentlerinin inhibe edildiğini, kısa süre uygulamalarında ise artışın olduğu tespit edilmiştir (Atak ve ark., 2000). Benzer başka bir çalışmada uzun süre manyetik alan maruziyeti, fotosentez pigmentlerin seviyesini düşmüştür (Racuciu ve ark., 2007, Racuciu ve ark., 2008). Uygulanan manyetik alanın (25 mT ve 12.5 mT) 30 dakika sürede pigment içeriğini artırdığı, 15 dakika sürelerin azalttığı tespit edilmiştir. Fotosentez pigmentlerinin miktarındaki azalmanın, ilgili enzimlerin sentezini veya gen bölgelerinin inhibisyon veya aktivasyonu ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Fenolik bileşikler bitki savunmasında ve stres karşısında önemli rollere sahip, çevresel ve fizyolojik uyaranlarla karşılaştığında sentezlenmektedir (Balasundram ve ark., 2006; Napal ve ark., 2010). Kimyasal olarak, en az bir hidroksil grubu taşıyan bir

veya daha fazla aromatik halkaya sahiptirler ve antioksidan aktiviteleri çoğunlukla hidroksil grupları tarafından sergilenen ve şelat metallerine olan yüksek afinitelerinden kaynaklanmaktadır.

Bazı bitkilerde manyetik alanın fenolik bileşikler ve antioksidan aktiviteyi artırdığı bazı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir. Ancak yapılan çalışmada manyetik alan uygulamasının 25 mT 30 dakika uygulaması dışında, fenolik ve flavonoid madde miktarında artışa neden olmadığı tespit edildi. Fenolik madde miktarındaki değişimde, uygulanan süre arttıkça fenolik içeriğinin de arttığı gözlenmiştir. Fenolik madde içeriği artışında uygulanan 30 dakika sürenin 15 dakika sürelerden daha etkili olduğu söylenebilir. Çıkan sonuçlardan anlaşılabileceği gibi manyetik alanının toplam fenolik miktarı ve antioksidanı uyardığını düşünülebilir (Azimian ve Roshandel, 2015).

Uygulanan farklı şiddetteki manyetik alanın (12.5 mT ve 25 mT) antioksidan aktivitesinde (FRAP) belirgin bir azalmaya neden olduğu görülmüştür. Serbest oksijen radikallerin yok edilmesinde en etkili olan süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD) ve katalaz (CAT) gibi antioksidan enzimlerin manyetik alan muamelesinde azalma görülmüştür (Jain ve ark. 2004). Uygulan manyetik alanı, flavanoid madde miktarı içeriğinde azalmaya neden olmuştur. Buğday fidesinde antioksidan aktivitesini test etmek için DPPH-radikali kullanılmıştır. Bu yöntem bitkide antioksidan tayinin tespit etmek için en etkili kullanılan teknikler arasındadır (Kumaran ve Joel, 2007; Tawaha ve ark., 2007).

Benzer şekilde, bazı çalışmalar MF'nin bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerini bildirmiştir. domates bitkilerini kısa bir süre (10 dakika) için manyetik alana maruz bıraktılar ve elektromanyetik stimülasyondan birkaç dakika sonra stresle ilişkili mRNA (kalmodulin, kalsiyuma bağımlı protein kinaz ve proteinaz inhibitörü) hızla birikmiş ve elektromanyetik uyarıdan 30 dakika sonra, ATP konsantrasyonu ve adenilat enerji yükünün geçici olarak azaldığını gözlemlemişlerdir (Roux ve ark., 2012). Bu durumun, manyetik alan uygulamasının doğrudan bir sonucu olduğu ve bitkiler tarafından zararlı bir uyarıcı olarak kabul edildiğini kuvvetle önerir. Bu çalışmalardan elde edilen bu çelişkili sonuçlar, bitkilerde oluşturulacak olan tüm manyetik alan cevaplarının;

yoğunluk, süre ve stres durumu gibi anlık değişim özelliklerine bağlı olduğu ileri sürülebilir.

Yapılan çalışmalarda antioksidan aktiviteler ile fenolik, flavanoid oranları karşılıklı olarak değerlendirilmektedir. Çünkü birçok bitkide fenolik bileşikler ile antioksidanlar arasında pozitif bir korelasyon bulunmaktadır (Rainha ve ark., 2011). Yapılan tez çalışmasında ise fenolik, flavanoid, DPPH, FRAP ve son olarak PAL (Phenylalanine Ammonia Lyase) enzim geni birlikte değerlendirilmelidir. Her gruptan elde edilen verilere toplu olarak bakıldığında, anlaşılan 25mT 30 dakika dışındaki diğer uygulamalar buğday fidelerinde strese neden olmayıp sekonder metabolit ve antioksidan seviyelerinde artışa neden olmamıştır. Bu durum PAL enziminin gen ekspresyonunda da görülmüştür. Nitekim yapılan ekspresyon çalışmasında PAL enziminin ekspresyonu 25 mT 30 dakika uygulaması dışında azalma göstermiştir.

Yapılan çalışmalarda bitki fidelerinde manyetik alanın, gen ekspresyonu ve uzama üzerinde önemli etkileri olmuştur (Bertea ve ark., 2015). Bitki fidelerinde manyetik alanın, gen ekspresyonlarının bazıları ekspresyon artışı yönünde uyarılırken bazılarının da ise aşağı yönde uyarılma meydana gelmiştir (Agliassa ve ark., 2018b; Xu ve ark., 2017a, 2018b)

Buğday fidelerine uygulanan manyetik alan, gen ekspresyonu üzerine farklı sonuçlar elde edildi. Aslında yapılan uygulamalardan elde edilen veriler ile ekspresyonlar arasında tamamen bir korelasyon sağlandığı söylenebilir. Yapılan manyetik alan uygulamalarında 25 mT-30 dakika dışında bütün uygulamalarda gen ekspresyonlarında, kontrol grubuna kıyasla azalmaların olduğu gözlemlendi. 25 mT-30 dakika uygulaması TEF1, PAL, RUBISCO ve CBP4 gen ekspresyonlarında anlamlı bir artış sağlandı.

Yaptığımız çalışmada, elde edilen sonuçlara göre manyetik alan uygulanan tohumların, maruz bırakılan şiddet ve sürelerle göre değişken tepkiler verdiği tespit edilmiştir. Manyetik alanın, çimlenme, boy ve total klorofil değerlerinde azalmalara neden olur iken, bağıl su içeriği ve klorofil b ve karetonoid miktarlarında anlamlı artışlar göstermiştir. Fenolik-flavonoid içeriği ile antioksidan değerlerin birbirleri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca 25 mT-30 dakikalık uygulaması tüm fidelede gen ekspresyonlarının artmasına neden olmuştur. Gen ekspresyonları ile çalışılan

parametreler arasında belirgin bir korelasyon görüldü. Yapılan çalışmada manyetik alanın etkisinin çalışılan bitki türü ve varyetesine, uygulama şiddet ve süresine bağlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca manyetik alanda oluşturulacak cevabın etki edeceği gen bölgesi ve yolağına bağlı olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında amaç; tüm organizmaların çevresini saran ve onlarda morfolojik, fizyolojik ve moleküler değişimlere neden olabilme potansiyeline sahip manyetik alanın etkilerini belirleyebilmektir. Ayrıca nihai hedef; manyetik alanın neden olduğu değişim ve etkilerin mekanizmasını anlamak ve daha geniş toleranslı, verimli ve dayanıklı ırkların elde edilmesidir.



KAYNAKLAR

- Agliassa, C., “Effects of earth’s magnetic field on plant growth, development and evolution,” (PHD thesis). Department of Life Science and Systems Biology,
- Agliassa, C., Narayana, R., Berteau, C.M., Rodgers, C.T., Maffei, M.E., 2018a. Reduction of the geomagnetic field delays *Arabidopsis thaliana* flowering time through downregulation of flowering-related genes. *Bioelectromagnetics*, **39**: 361–374.
- Ahmad, A. M., 2011. The cryptochromes: blue light photoreceptors in plants and animals. *Annu. Rev. Plant Biol.*, **62**:335– 364. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042110-103759.
- Ahmad, M., Galland, P., Ritz, T., Wiltschko, R., Wiltschko, W., 2007. Magnetic intensity affects cryptochrome-dependent responses in *Arabidopsis thaliana*. <https://doi.org/10.1007/s00425-006-0383-0>. *Planta*, **225**: 615–624. Erişim tarihi:
- Aksenov, S.I., Bulychev, A., Yu, A., Grunina, T., Turovetskii, V.B., 1996. Mechanisms of the action of a low frequency magnetic field on the initial stages of germination of wheat seeds. of the Lomonosov State University, Biology Faculty, Moscow, P2: S0006-3509(96)00167-6.
- Aksyonov, S.I., Bulychev, A.A., Grunina, T., Yu., ve ark., 2001. Effects of ELF–EMF treatment on wheat seeds at different stages of germination and possible mechanisms of their origin. *Electromagnetic Biol. Med.*, **20**: 231–253.
- Aladjadjıyan 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.
- Aladjadjıyan A., Ylieva T., 2003. Influence of stationary magnetic field on early stages of the development of tobacco seeds [*Nicotina tabacum*], *J.C.E.A.*, **4**:132-138.
- Aladjadjıyan, A., 2010. Influence of stationary magnetic field on lentil seeds. *Int. Agrophys*, **24**(3): 321-324.
- Amerikan Jeofizik Birliği, 2011, bağlantı noktası: [AĞÜ 2011](#)
- Angel, D.S.T., PorrasLeon, E., CasateFernandez, R., 1999. Effect of magnetic treatment of tomato seeds (*Lycopersicon esculentum*) on germination and seedling growth. *Invest. Agraria Prod. Prot. Veg.*, **3**: 437–444.
- Atak C, Danilov V, Yurttalı B, Yalçın S, Mutlu D, Rzakoulieva A. Effect of magnetic field on Paulownia seeds. *Com JINR Dubna* 2000; 1-14.
- Atak, C., Celik, O., Olgun, A., Alikamanolu, S., Rzakoulieva, A., 2007. Effect of magnetic field on peroxidase activities of soybean tissue culture. *Biotechnology*, **21**:166-171.
- Atak, C., Emiroglu, O., Alikamanoglu, S., Rzakoulieva, A., 2003. Stimulation of regeneration by magnetic field in soybean (*Glycine max* L. *Merrill*) tissue cultures. *J Cell Mol. Biol.*, **2**:113-119.
- Atak, C., Emiroglu, O., Alikamanoglu, S., Rzakoulieva, A., 2003. Stimulation of regeneration by magnetic field in soybean (*Glycine max* L. *Merrill*) tissue cultures. *J Cell Mol. Biol.*, **2**:113-119.
- Atak, Ç., Alikamanoğlu, S., Danilov, S., Rzakoulieva, A., Yurttas, B., Topçul, F., 2000. Effect of Magnetic Field on Paulownia Seeds. *Com..J.I.N.R.Dubna*, (8):1-14.

- Audus, L.J., 1960. Magnetotropism: a new plant-growth response. *Nature*, **185**: 132-134.
- Azimian, F. and Roshandel P. (2015) Magnetic field effects on total phenolic content and antioxidant activity in *Artemisia sieberi* under salinity. *Indian Journal of Plant Physiology* 20: 264–270.
- Azita, S., Ahmad, M., 2009. “Effect of magnetic fields on growth and antioxidant systems in agricultural plants.” *PIERS Proceedings*. Beijing, China. 1142-1147.
- Balasundram, N., Sundram, K., Samman, S., 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chem.* 99 (1), 191–203.
- Bazylinsky, D.A., Frankel, R.B., 2004. Magnetosome formation in prokaryotes. <https://doi.org/10.1038/nrmicro842>. *Nature Rev. Microbiol*, **2**: 217–230.
- Bazylinsky, D.A., Frankel, R.B., 2004. Magnetosome formation in prokaryotes. <https://doi.org/10.1038/nrmicro842>. *Nature Rev. Microbiol*, **2**: 217–230.
- Bellaloui, N., Mengistu, A., Zobiole, L.H.S., Shier, W.T., 2012. Resistance to toxin-mediated fungal infection: role of lignins, isoflavones, other seed phenolics, sugars, and boron in the mechanism of resistance to charcoal rot disease in soybean. *Toxin Rev.***31**: 16–26.
- Belyavskaya, N.A., 2004. Biological effects due to weak magnetic field on plants. www.elsevier.com/locate/asr. *Advances in Space Research*, **34** : 1566–1574.
- Belyavskaya, N.A., 2004. Biologiceffectsduetoweakmagneticfieldonplants. *Adv.SpaceRes.* **34**: 1566–1574.doi:10.1016/j.asr.2004.01.021
- Belyavskaya, N.A., 2005. Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Adv. Space Bioelectromagnetics*, **26**: 548-557.
- Bertea, C.M., Narayana, R., Agliassa, C., Rodgers, C.T., Maffei, M.E., 2015. Geomagnetic field (Gmf) and plant evolution: investigating the effects of Gmf reversal on *Arabidopsis thaliana* development and gene expression. <https://doi.org/10.3791/53286>. *J. Vis. Exp.* **105**: <https://doi.org/10.3791/53286>
- Bilalis D. J., Katsenios, N., Efthimiadou , A., Karkanis, A., 2012. Pulsed electromagnetic field: an organic compatible method to promote plant growth and yield in two corn types. *Electromagn. Biol. Med*, **3**: 333-343.
- Blackman, C., Friedman, H., 2002. <http://www.xtrememattresspads.com/articles.html>
- Blank, M., Goodman, R., 1997. Do electromagnetic fields interact directly with DNA. **18**(2):111-5
- Blank, M., Soo, L., Lin, H., Henderson, A.S., Goodman, R., 1992. Changes in transcription in HL-60 cells following exposure to alternating currents from electric fields. *Bioelectrochem Bioenerg*, **28**:301-9.
- Bogatina, N.I., Verkin, B.I., Kordyum, V.A., 1978. Effect of permanent magnetic fields with different intensities on the wheat growth rate. *Dokl. Akad. Nauk Ukr.SSR Ser. B.*, **4**: 352–356.
- C.E. Duarte-Diaz, J.A. Riquenes, B. Sotolongo, M.A. Portuondo, E.Q. Quintana, R. Perez, Effects of magnetic treatment of irrigation water on the tomato crop, *Hortic. Abst.* 69 (1997) 494.
- Cai, R., Yang, H., He J., Zhu W., The effects of magnetic fields on water molecular.

- Carbonell, M., Martinez, V., Amaya E., J. M., 2000. Stimulation of germination in rice (*Oryza sativa* L.) by a static magnetic field. ***Electro-and magnetobiology***, **19**(1):121-128.
- Chaves, I., Pokorny, R., Byrdin, M., Hoang, N., Ritz, T., Brettel, K., Essen, L.O., van der Horst, G.T., Batschauer, 2009. International commission on Non-Ionizing Radiation Protection. **Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields Health Phys**, **96**(4):504-14 R.
- Çerezci, O., Kartal, Z., Pala, K., Türkkân, A., 2012. Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri. Nilüfer Belediyesi, Bursa.
- Çolakoğlu, Kemal, R.A.Fen ve Mühendislik için Fizik, (Çev: Çolakoğlu, Kemal y.d.), Palme
- Dagoberto, G.F., Angel, D.S.T., Lilita, S.P., 2002. Effect of magnetic treatment of onion (*Allium cepa*) seeds on the germination and growth of seedlings. ***Alimentaria*****39** (337): 181–186.
- De Souza, A., Sueiro, L., González, L.M., Licea, L., Porras, E.P., Gilart, F., 2008. Improvement of the growth and yield of lettuce plants by nonuniform magnetic fields. ***Electromagn Biol Med***,**27**:173-84.
- Dhawi, F., Al-Khayri, J.M., 2008. Magnetic Fields Induce Changes In Photosynthetic Pigments content in Date Palm (*Phoenix dactylifera*L.) seedlings. ***The Open Agriculture Journal***, **2**:121-125.
- Dhawi, F., Al-Khayri, J.M., 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.
- Eren, Ş.P., (2006). Elektromanyetik alanın *Lens culinaris* Medik. (Mercimek) üzerinde sitotoksik etkileri(Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Esitken, A., 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.
- Fedele, G., Green, E.W., Rosato, E., Kyriacou, C.P., 2014. An electromagnetic field disrupts negative geotaxis in *Drosophila* via a CRY-dependent pathway. <https://doi.org/10.1038/ncomms5391>. ***Nature Comm***,**5**: 4391–4397. Erişim tarihi: 14.07.2014.
- Finlay, C.C., Maus, S., Beggan, C.D., Bondar, T.N., Chambodut, A., Chernova, T.A., Chulliat, A., Golovkov, V.P., Hamilton, B., Hamoudi, M., Holme, R., Hulot, G., Kuang, W., Langlais, B., Lesur, V., Lowes, F.J., Lühr, H., Macmillan, S., Manda, M., McLean, S., Manoj, C., Menvielle, M., Michaelis, I., Olsen, N., Rauberg, J., Rother, M., Sabaka, T.J., Tangborn, A., Tóffner-Clausen, L., Thébault, E., Thomson, A.W.P., Wardinski, I., Wei, Z., Zvereva, T.I., 2010. International geomagnetic reference field: the eleventh generation. ***Geophys. J. Int***, **183**: 1216–1230.
- Florez, M., Carbonell, M. V., Martínez, E., 2007. Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: Effects on germination and early growth. ***Environmental and experimental botany***, **59**(1): 68-75.
- Flórez, M., Martínez, E., Carbonell, M. V., 2012. Effect of magnetic field treatment on germination of medicinal plants *Salvia officinalis* L. and *Calendula officinalis* L. ***Polish Journal of Environmental Studies***, **21**(1):

- Furlan, A., Llanes, A., Luna, V., Castro, S., 2012. Physiological and biochemical responses to drought stress and subsequent rehydration in the symbiotic association peanut-*Bradyrhizobium* sp. ISRN Agronomy Article ID 318083, 8 pages, 318083.
- Galland, P., Pazur, A., 2005. Magnetic-field reception in plants. <https://doi.org/10.1007/s10265-005-0246-y>. *J. Plant Res.*, **118**: 71–389.
- Galland, P., Pazur, A., 2005. Magnetoreception in plants. *Journal of Plant Research*, **118** (6): 371-389.
- Gang X., Zhi-Dong F., Ling J. (1994) Acta Botanica Sinica, 36,113-118.
- Gegeer, R.J., Casselman, A., Waddell, S., Reppert, S.M., 2008. Cryptochrome mediates lightdependentmagnetosensitivityinDrosophila.<https://doi.org/10.1038/nature07183>. *Nature*,**454**: 1014–1018.
- Gettys, W.E.Skoye, M.J., Fizik (Çev: Akyüz, Ömür y.d.) Literatür Yayıncılık, İstanbul, 1996.
- Giachello, C.N.G., Scrutton, N.S., Jones, A.R., Baines, R.A., 2016. Magnetic fields modulate blue-light-dependent regulation of neuronal firing by cryptochrome. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2140-16.2016>. *J. Neurosci*, **36**: 10742–10749.
- Goodman, K.J., Wu, J.S., Frerich R.R., 2000. Compliance with childhood immunizations in Kern County. *Journal of Immigrant Health*, **2**(4): 213222.
- Gubbels, G.H., 1982. Seedling Growth and Yield Response of Flax, Buckwheat, Sunflower and Field Pea After Preseeding Magnetic Treatmant. *Can. J. Plant Sci.*,**62**(8): 61- 64.
- Gustavino, B., Carboni, G., Petrillo, R., Paoluzzi, G., Santovetti, E., Rizzoni, M., 2015. Exposure to 915 MHz radiation induces micronuclei in *Vicia faba* root tips. *Mutagenesis*, 1–6.
- Gustavino, B., Carboni, G., Petrillo, R., Rizzoni, M., Santovetti, E., 2014. Micronucleus induction by 915 MHz Radiofrequency radiation in *Vicia Faba* root tips. *arXiv preprint arXiv*,
- Güler, G., Atalay, Seyhan, N., 1999. Extremely Low Frequency (ELF) Electric Field with Different Application Times Inhibits Protein Synthesis. *Med. Biol. Eng.*,**37**: 1338–1339.
- Hachicha, M., a*, Kahlaoui, B., a*, Khamassi, N., b, Misle, E., c, Jouzdan, O., d., 2016. Effect of electromagnetic treatment of saline water on soil and crops. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, **17**: 154–162.
- Harichand, K.S., Narula, V., Raj, D., Singh, G., 2002. Effect of magnetic fields on germination, vigour and seed yield of wheat. <https://doi.org/10.1126/science.aaa9114>. *Seed Research*, **30**,**28**: 92-93.,
- Hacıfazlıoğlu, Hasan . "Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme" (Türkçe). İstanbul: İstanbul Üniversitesi, 2013.
- Halliday, D. Resnick, R.Fiziğin Temelleri (Çev: Yalçın, Cengiz) Arkadaş 23 Ankara, 1991.
- Am J Public Health. 2009;99:1576–1583. doi:10.2105/ AJPH.2008.156224)
- Hayt, H.Engineering Electromagnetics, Mc–Graw Hill, Newyork, 1981.
- Hozayn, M., Qados, A. M. S. A., 2010. “Magnetic water application for improving wheat (*Triticum aestivum* L.) Crop production.” *Agric. Biol. J. N. Am.*, **1**(4): 677-682.

- Huo, Z.F., Zhao, Q. & Zhang, Y.H. (2011). Experimental study on effects of magnetization on surface tension of water. *Procedia Engineering* 26, 501-505.
- Iannelli, M.A., Pietrini, F., Fiore, L., Petrilli, L., Massacci, A., 2002. Antioxidant response to cadmium in *Phragmites australis* plants. *Plant Physiol. Bioch.*, **40**: 977–982.
- Jabail, W.A., Abul Hail, R.C., Hussein, H.F., 2013. Effect of magnetic field on seed germination of *Triticum aestivum*. *World Science Research Journal*, **1**(5): 168-171.
- Jain K, Kataria S, Guruprasad KN (2004) Oxyradicals under UV-B stress and their quenching by antioxidants. *Indian J Exp Biol* 42:884–892
- Juarez, M.T., Tauxe, L., 2000. The intensity of the time-averaged geomagnetic field: the last 5 Myr. *Earth Planet. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(99\)00306-4](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(99)00306-4)*. *Sci. Lett.*, **175**: 169–180.
- Karaoglu, B., 1996. *Griftiths Elektromagnetic* Theory, Arte Advertisement and Promotion, 404.
- Kalkan, H., Aslantürk A., 2012. “Elektromanyetik Spektrum- The Elektromanyetic Spectrum”, NASA <http://science.hq.nasa.gov/kids/imagers/ems/index.html>’den çeviri, Erişim Tarihi: 14.04.2016 Ondokuz Mayıs Üniversitesi GözlemEvi http://gozlemevi.omu.edu.tr/depo/elektromanyetik_spektrum.
- Kleine, T., Lockhart, P., Batschauer, A., 2003. Arabidopsis protein closely related to Synechocystis cryptochrome is targeted to organelles. *Plant J.*, **35**: 93–103.
- Kocaçalışkan, İ., 2004. “*Bitki Fizyolojisi*”, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 328-340.
- Kumaran, A., Joel Karunakaran, R. 2007 Antioxidant and free radical scavenging activity of an aqueous extract of *Coleus aromaticus*. *Food Chemistry*. 97: 109-114.
- Lebedev, S.I., Baranskii, P.I., Litvinenko, L.G., Shiyan, L.T., 1975. Physiobiochemical Characteristics of Plants After Presowing Treatment with a Permanent Magnetic Field. *Fiziologiya Rastenii*, **22** (1): 103- 109.
- Liedvogel, M., Mouritsen, H., 2010. Cryptochromes – a potential magnetoreceptor: what do we know and what do we want to know? <https://doi.org/10.1098/rsif.2009.0411>. *J. R. Soc. Interface*, **7** (2): S147–S162.
- Lohman, K.J., Johnsen, S., 2000. The neurobiology of magnetoreception in vertebrate animals. *Trends in Neurosciences*, **23**: 153-159.
- Maffei, M., 2014. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00445>. *Plant Sci.*, **5**: 445–460.
- Majd, A., Shabrangi, A., Bahar, M., Abdi, S., 2009. Effect of AC and DC magnetic fields on seed germination and early vegetative growth in *Brassica napus* L. Progress. *In Electromagnetics Research Symposium Proceedings*. Moscow-Russia.
- Martinez, E., Carbonell, M.V., Florez, M., 2002. Magnetic biostimulation of initial growth stages of wheat (*Triticum aestivum*, L.). *Electromagn. Biol. Med.*, **21** (1): 43–53.
- Martinez, E., Carbonell, V.M., Florez, M., 2002. Magnetic biostimulation of initial growth stages of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Electromagnetic Biology and Medicine*, **21**(1):43- 53.

- Mazza, C.A., Battista, D., Zima, A.M., Szwarcberg-Bracchitta, M., Giordano, C.V., Acevedo, A., Scopel, A.L., 1999. The effects of solar ultraviolet-B radiation on the growth and yield of barley are accompanied by increased DNA damage and antioxidant responses. *Plant Cell and Environment*, **22**, 61–70.
- Mengistu, A., Smith, J.R., Bellaloui, N., Paris, R.L., Wrather, J.A., 2010. Irrigation and time of harvest effects on evaluation of selected soybean accessions against *Phomopsis longicola*. *Crop Sci.*, **50**: 2055–2064.
- Moon, J.D., Chung, H.S., 2000. Acceleration of germination of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields. *J. Electrostat*, **48**: 103–114
- Möller, A., Sagasser, S., Wiltschko, W., Schierwater, B., 2004. Retinal cryptochrome in a migratory passerine bird: a possible transducer for the avian magnetic compass. <https://doi.org/10.1007/s00114-004-0578-9>. *Naturwissenschaften*, **91**: 585–588.
- Muller, P., Ahmad, M., 2011. Light activated cryptochrome reacts with molecular oxygen to form a flavin-superoxide radical pair consistent with magnetoreception. *J. Biol. Chem.*, **286**: 21033–21040.
- Namba, K., A. Sasao and S. Shibusawa (1995) Effect of magnetic field on germination and plant growth. *Acta Hort. (ISHS)* 399, 143–147.
- Nasuhoğlu, Rauf, Elektrik ve Magnetizma (Çev: Nasuhoğlu, Rauf) Karadeniz Teknik Üniversitesi, Ankara, 1974.
- Napal, G.N.D., Defagó, M.T., Valladares, G.R., Palacios, S.M., 2010. Response of *Epilachna paenulata* to two flavonoids, pinocembrin and quercetin, in a comparative study. *J. Chem. Ecol.* 36 (8), 898–904.
- Nechitailo, G., Gordeev, A., 2001. Effect of artificial electric fields on plants grown under microgravity conditions. *Advances in Space Research*, **28**(4): 629–631.
- Nießner, C., Denzau, S., Stapput, K., Ahmad, M., Peichl, L., Wiltschko, W., Wiltschko, R., 2013. Magnetoreception: activated cryptochrome 1a concurs with magnetic orientation in birds, *J. R. Soc., Interface*, **10**(88): DOI: 10.1098.
- Novitsky, Y. I., Gennady Novitsky, Kocheshkova, T. K., 2001. etc. The growth of the pen bow in a weak magnetic field. *Plant Physiol*, **48** (6): 821- 828.
- Özgüner, F., Kerman, M., Delibaş, N., Gültekin, F., 2000. The relationship of age related decrease in melatonin with oxidative damage and mental status. *Biomed Res*, **11**(1):61-5.
- Özgüner, M.F., Hahan Mollaoğlu, 2006. Manyetik alanın organizma üzerindeki biyolojik etkileri, Süleyman Demirel Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, **13**(1): 38-41.
- Paul, A., Robert, F., Meisel, M., 2006. High magnetic field induced changes of gene expression in *Arabidopsis*. *Biomagnetic Research and Technology*, **4**:7.
- Pesnya, D. S., Romanovsky, A. V., 2013. Comparison of cytotoxic and genotoxic effects of plutonium-239 alpha particles and mobile phone GSM 900 radiation in the *Allium cepa* test. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, **750**(1): 27-33.
- Phirke, P.S., Kubde, A.B., Umbarkar, S.P., 1996. The Influence of Magnetic Field on Plant Growth. *Seed Sci. Technol.*, **24**: 375- 392.
- Pingping, Z., Ruochun, Y.I.N., Zhiyou, C., ve ark., 2007. Genotoxic effects of superconducting static magnetic fields (SMFs) on wheat (*Triticum aestivum*) pollen mother cells (PMCs). *Plasma Science and Technology*, **9**:241-247.

- Pittman, U. J., & Ormrod, D. P. (1970). Physiological and chemical features of magnetically treated winter wheat seeds and resultant seedlings. *Canadian journal of plant science*, 50(3), 211-217.
- Pittman, U.J., 1977. Effect of magnetic seed treatment on yields of barley, wheat, and oats in southern Alberta. *Can. J. Plant Sci.*, **57**: 37–45.
- Purohit, M., Srivastava, S., Srivastava, P.S., 1998. Stress tolerant plants through tissue culture. In: Srivastava, P.S. (Ed.), *Plant Tissue Culture and Molecular Biology: Application and Prospects*. Narosa Publishing House, New Delhi, pp. 554–578.
- Racuciu M, Creanga DE, Amoraritei C. Biochemical changes induced by low frequency magnetic field exposure of vegetal organisms. *Rom J Phys* 2007; 52: 601-6.
- Racuciu, M., Creanga, D., Calugaru, G.H. 2008. The Influence of extremely low frequency magnetic field on tree seedlings. *Romanian Journal of Physics*, **53**: 361– 367.
- Racuciu, M., Creanga, D.E., Galugaru, C.H., 2008. The influence of extremely low frequency magnetic field on tree seedlings. *Rom J Phys*, **35**:337-342.
- Racuciu, M., Galugaru, G., Creanga, D. E. 2006. Static magnetic field influence on some plant growth. *Romanian Journal of Physics*, **51**(1/2): 245.
- Radhakrishnan, Kumari, B. D. R. 2012. “Pulsed magnetic field: A contemporary approach offers to enhance plant growth and yield of soybean.” *Plant Physiology and Biochemistry*, **51**: 139- 144.
- Rai, M.K., Kalia, R.K., Singh, R., Gangola, M.P., Dhawan, A.K., 2011. Developing stress tolerant plants through in vitro selection— an overview of the recent progress. *Environ. Exp. Bot.* 71, 89–98.
- Rainha, N., Lima, E., Baptista, J. and Rodrigues, C. (2011) Antioxidant properties, total phenolic, total carotenoid and chlorophyll content of anatomical parts of *Hypericum foliosum*. *Journal of Medicinal Plants Research* 5: 1930-1940.
- Rakosy-Tican, L., Aurori, C.M., Morariu, V.V., 2005. Influence of near null magnetic field on in vitro growth of potato and wild *Solanum* species. *Bioelectromagnetics*, **7**:548-557.
- Rakosy-Tican, L.; Aurori, C.M.; Morariu, V.V., 2004. “Influence of Near Null Res. **34**:1566-1574.
- Reina, F. G., Pascual, L. A., & Fundora, I. A. (2001). Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds. Part II: experimental results. *Bioelectromagnetics*, 22(8), 596-602.
- Roach, J., 2004. Earth's Magnetic Field Is Fading. *National Geographic News*. Available:http://news.nationalgeographic.com/news/2004/09/0909_040909_earthmagfield_2.html.
- Robison, J. G., Pendleton, A. R., Monson, K. O., Murray, B. K., O’neill, K. L. 2002. Decreased DNA repair rates and protection from heat induced apoptosis mediated by electromagnetic field exposure. *Bioelectromagnetics*, **23**: 106– 112.
- Rochalska, M., 2005. Influence of frequent magnetic field on chlorophyll content in leaves of sugar beet plants. *Nukleonika*, **50**:25-28.
- Rochalska, M., Grabowska, K., 2007. Influence of Magnetic Fields on the Activity of Enzymes: α and β -Amylase and Glutathione S-Transferase (GST) in Wheat Plants. *Int. Agrophysics*, **21**: 185-188.

- Rybiński W, Patyna H, Przewoźny T (1993) Mutagenic effect of laser and chemical mutagens in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Genet Polon* 34(4):337–343
- Savastin, P.V., 1928. Issledovaniye poviedienija potiprojuscej rostitielnej plazmy v postojannom magnitnom pole. *Izv. Tomsk. Gos. Univ.* 79, 207, za Presman A.J. Pola elektromagnetyczne azywa przyroda, PWN, Warszawa.
- Shawanroy, 2012. Electromagnetic Field. [Online]. Available: www.slideshare.net/shawanroy/electromagnetic-field-emf.
- Shine, M. B., K. N. Guruprasad and A. Anand (2011) Enhancement of germination, growth, and photosynthesis in soybean by pre-treatment of seeds with magnetic field. *Bioelectromagnetics* 32,474–484.
- Socorro, A., Carbonell, M.V., 2002. Magnetic treatment of wheat seeds (*Triticum aestivum*) as a growth stimulating technique. *Alimentaria*, **39** (337): 167–170.
- Stange, B.C., Rowland, R.E., Rapley, B.I., Podd, J.V., ELF, 2002. Magnetic field increase amino acid uptake into *Vicia faba* L. roots and alter ion movement across the plasma membrane. *Bioelectromag*, **33**:347-354.
- Strasak, L., Veterl, V., Smarda, J., 2002. Effects of low frequency magnetic fields on bacteria *Escherichia coli*. *Bioelectrochemistry*, **55**: 161–164.
- Strzalka K, Kostecka-Guga A, Latowski D. Carotenoids and environmental stress in plants: significance of carotenoid-mediated modulation of membrane physical properties. *Russ J Plant Physiol* 2003; 50: 168-73.
- Subber, A. R., Hail, R. C. A., Jabail, W. A., Hussein, H. F., 2012. Effects of magnetic field on the growth development of *Zea mays* seeds. *J. Nat. Prod. Plant Resour*, **2**(3) : 456-459.
- Sunil, K., Dhimana, Paul Galland, 2018. Effects of weak static magnetic fields on the gene expression of seedlings of *Arabidopsis thaliana*. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.08.016>. Philipps-University Marburg, Faculty of Biology, Karl-von-Frisch-Str. 8, D-35032 Marburg, Germany, Kirori Mal College, Delhi University (North Campus), Delhi-110007, India,
- Sunita, K., Lokesh, B.K.N., Guruprasad, 2017. “Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean.” *Journal of Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, **10**: 83-90.
- Şeker S, Çerezci O. Radyasyon Kuşatması: Elektriğin ve nükleer enerjinin sağlığını etkileri. Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi. İstanbul, 2000
- Sekerci S, Çerezci O. Çevremizdeki radyasyon ve korunma. Boğaziçi yayınları İstanbul 1997.
- Şerif, Robert E. (1991). "Jeofizik". *Keşif Jeofizik Ansiklopedik Sözlüğü* (3. baskı). Keşif Derneği. ISBN'si 978-1-56080-018-7
- Tafforeau, M., Verdus, M. C., Norris, V., White, G. J., Cole, M., Demarty, M., Ripoll, C., 2004. Plant sensitivity to low intensity 105 GHz electromagnetic radiation. *Bioelectromagnetics: The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association, Journal of the Bioelectromagnetics Society*, **25**(6): 403-407.
- Taia W, Al-Zahrani H, Kotbi A. The effect of static magnetic forces on water contents and photosynthetic pigments in sweet basil *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae). *Saudi J Bio Sci* 2007; 14:103-7.

- Tarduno, J.A., Cottrell, R.D., Davis, D.J., Nimmo, F., Bono, R.K., 2015. A hadean to palaeoarchean geodynamo recorded by single zircon crystals. **Science**, **349**: 521524.
- Tatarin and Friedman H., 2002. <http://www.xtrememattresspads.com/articles.html>
- Borodiouk O.O., Smerdov A.A., and Tatarin V.Ya., 2002. Correlation Analysis between Earth manyetic field and Blackman Multiple Sclerosis prevalence, <http://www.link.lviv.ua/~vasya/MSfactor.html>
- Tawaha, K., Alali, F.Q., Gharaibeh, M., Mohammad, M., El-Elimat, T. (2007). Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species. *Food Chemistry*. 104: 1372-1378
- Terciyanlı, A., 2000. Electromagnetic Pollution and GSM, Biltek, Decebmer 2000, TÜZÜNER S.2002. ÇED, www.teas.gov.tr.
- D. S. Teixeira, A. Jaime, and D. Judit. "Impact of magnetic water on plant growth," *Environmental and Experimental Biology*, vol.12, pp. 137-142, 2014.
- Vashisth, A., Nagarajan, S., 2008. Exposure of seeds to static magnetic field enhances germination and early growth characteristics in chickpea (*Cicer arietinum*L.). **Bioelectromagnetics**, **29** : 571-578.
- Vashisth, A., Nagarajan, S., 2008. Exposure of seeds to static magnetic field enhances germination and early growth characteristics in chickpea (*Cicer arietinum*L.). **Bioelectromagnetics**, **29**: 571-578.
- Vashisth, A., Singh, R., & Joshi, D. K. (2013). Effect of Static Magnetic Field on Germination and Seedling Attributes in Tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of Agricultural Physics*, 13(2), 182-185.
- Vashisth, A. and Nagarajan, S. 2010. Effect on germination and early growth characteristic in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*, 167, 149-156.
- Waleed, A.J., Riyadh C.A.H., Hussein, F.H., 2013. Effect of magnetic field on seed germination of *Triticumaestivum*. **World Journal of Agricultural Sciences**, **5**:168-171.
- Wang, Q.Z., Zuo, X., Wang, Q., Liu, L., Gu, Y., Oka, Lin, C., 2018. Beyond the photocycle-how cryptochromes regulate photoresponses in plants?, **Curr. Opin. Plant Biol.**, **45**(Pt A) : 120–126. DOI: 10.1016/j.pbi.2018.05.014, Epub 2018 Jun 15.
- Wiltschko, R., Wiltschko, W., 2012. Magnetic-field reception. In: *Sensing in Nature* (ed.Carlos López-Larrea) https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1704-0_8 .**Adv. Exp. Med. Biol.**, **739**: 126-141.
- Wiltschko, R., Wiltschko, W., 2014. Sensing magnetic directions in birds: radical pair processes involving cryptochrome. **Biosensors**, **4** (3): 221–242. DOI: 10.3390/bios4030221.
- Wooley, J.T., 1971. Reflectance and transmittance of light by leaves. **Plant Physiology**, **47**: 656-662.
- Xu, C., Yin, X., Lu, Y., Wu, C., Zhang, Y., Song, T., 2012. A near-null magnetic field affects cryptochrome-related hypocotyls growth and flowering in Arabidopsis. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2011.12.004>). **Adv. Space Res.**, **49**: 834–840.
- Xu, C., Yu, Y., Zhang, Y., Li, Y., Wei, S., 2017. Gibberellins are involved in effect of nearnull magnetic field on Arabidopsis flowering. <https://>

- doi.org/10.1002/bem.22004. *Bioelectromagnetics*, **38**: 1–10.
<https://doi.org/10.1002/bem.22004>
- Xu, C., Yu, Y., Zhang, Y., Li, Y., Wei, S., 2017. Gibberellins are involved in effect of near-null magnetic field on Arabidopsis flowering. *Bioelectromagnetics*, **38**: 1–10.
- Xu, C., Zhang, Y., Li, Y., Wei, S., 2018. Suppression of Arabidopsis flowering by near-null magnetic field is mediated by auxin. *Bioelectromagnetics* **39**, 15–24.
<https://doi.org/10.1002/bem.22086>.
- Xu, C.X., Yin, X., Lv, Y., Wu, C.Z., Zhang, Y.X., Song, T., 2012. A near-null magnetic field affects cryptochrome-related hypocotyl growth and flowering in Arabidopsis. *Adv. Space Res.*, **49**: 834–840.
- Xu, C.X., Zhang, Y.X., Yu, Y., Li, Y., Wei, S.F., 2018. Suppression of Arabidopsis flowering by near-null magnetic field is mediated by auxin. *Bioelectromagnetics*, **39**: 15–24.
- Yang, Z., Liu, B., Su, J., Liao, J., Lin, C., Oka, Y., 2017. Cryptochromes Orchestrate Transcription Regulation of Diverse Blue Light Responses in Plants, *Photochem. Photobiol.*, **93**(1), 112–127, DOI: 10.1111/php.12663.
- Yano, A., Ohashi, Y., Hirasaki, T., Fujiwara, K., 2004. Effects of a 60 Hz magnetic field on photosynthetic CO₂ uptake and early growth of radish seedlings. *Bioelectromagnetics*, **25**: 572–81.
- Yinan, Y., Yuan, L., Yongqing, Y., Chunyang, L., 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**: 286–294.

ÖZGEÇMİŞ

2008 yılında Hacettepe Üniversitesi Orta Öğretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi Biyoloji Bölümünü kazandım ve 2014 yılında mezun oldu. 2016 Van İli Tuşba İlçesi Fatih Sultan Mehmet Anadolu Lisesinde Biyoloji Öğretmeni olarak göreve başladı. 2009 yılında Van YYÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalında yüksek lisan eğitimine başladı ve 2021 yılında mezun oldu.

