

**ELEKTROMANYETİK ALANLARIN İNSAN LENFOSİT KÜLTÜRÜ
VE BAZI BİTKİLER ÜZERİNE GENETİK ETKİLERİ**

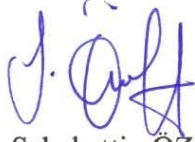
Hüseyin AKSOY

**DOKTORA TEZİ
BİYOLOJİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2006
ANKARA**

Hüseyin AKSOY tarafından hazırlanan ELEKTROMANYETİK ALANLARIN İNSAN LENFOSİT KÜLTÜRÜ VE BAZI BİTKİLER ÜZERİNE GENETİK ETKİLERİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Prof. Dr. Sebahattin ÖZCAN

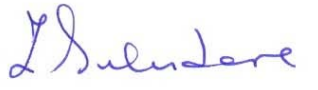
Tez Yöneticisi



Prof. Dr. Fatma ÜNAL

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Biyoloji Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Zekiye Suludere 

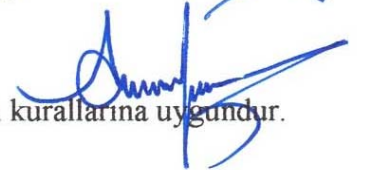
Üye : Prof. Dr. Fatma Ünal (danışman) 

Üye : Prof. Dr. Zeki Kaya 

Üye : Prof. Dr. Esref Yüksel 

Üye : Doç. Dr. Cafer Sevimoglu 

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



**ELEKTROMANYETİK ALANLARIN İNSAN LENFOSİT KÜLTÜRÜ VE
BAZI BİTKİLER ÜZERİNE GENETİK ETKİLERİ**

(Doktora Tezi)

Hüseyin AKSOY

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2006

ÖZET

Bu çalışmada, elektromanyetik alanların canlılardaki genetik etkileri araştırılmıştır. Bunun için yüksek gerilim hatlarına 0, 10, 25, 50 ve kontrol olarak 100 m'den sonraki uzaklıklarda saksılara dikilen *Allium cepa* L. ve ekili alanda aynı mesafelerden alınan *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* tohumlarından laboratuvarında çimlendirilen kök ucu meristematik hücreleri kullanılmıştır. Ayrıca laboratuvarında oluşturulan 1000, 1500 ve 2000 V/m dozlarındaki elektrik alanları ile 0.25, 0.50 ve 1 mT dozlarındaki manyetik alanlar hem *Allium cepa* L., hem de insan periferik lenfositlerine uygulanarak elektromanyetik alanların genetik etkileri araştırılmıştır. Diğer yandan elektromanyetik alanların DNA seviyesindeki olası etkilerini gözleyebilmek için, yüksek gerilim hatları çevresinde yetişen ve yukarıda bahsedilen alanlardan toplanan farklı bitki materyallerinde RAPD-PCR yöntemi kullanılmıştır. Bütün uygulama gruplarında elektromanyetik alanların mitotik indeks üzerine etkili olduğu ve kromozomal anormallikleri arttırdığı gözlenmiştir. Bitkilerle yapılan çalışmalarda en fazla gözlenen anormallikler sırası ile köprü, kalgın kromozom, kromozom parçaları, çok kutupluluk, c-mitoz, yapışıklık ve düzensiz metafazdır. Mikronukleus, köprü ile birlikte ilk sırada yer almaktadır. İnsan periferik lenfositlerinde ise kromatid ve kromozom kırığı, disentrik kromozom, kardeş kromatidlerde birleşme ve fragment şeklinde anormallikler gözlenmiştir. Replikasyon indeksinde kontrol gruplarına göre herhangi bir fark

gözlenmezken, kardeş kromatid değişimi frekansları, bütün uygulama gruplarında kontrole göre istatistiksel olarak önemli derecede artış göstermiştir. DNA düzeyindeki incelemelerde, uygulama gruplarında kontrol gruplarına göre farklı bant oluşumları gözlenmiştir. Bu gözlemler kromozomal çalışmalardan elde edilen sonuçları destekler nitelikte olmakla beraber, kesin sonuçların elde edilebilmesi için daha fazla sayıda primer kullanılması gerekmektedir.

Bilim Kodu : 203.1.048

Anahtar Kelimeler : Elektromanyetik alanlar, yüksek gerilim hatları, mitotik indeks, kromozomal anormallikler, kardeş kromatidlerde değişim, RAPD-PCR

Sayfa Adedi : 99

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Fatma ÜNAL, Prof. Dr. Sebahattin ÖZCAN

THE GENETIC EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC FIELDS ON HUMAN LYMPHOCYTES CULTURE AND SOME PLANTS

(Ph. D. Thesis)

Hüseyin AKSOY

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2006

ABSTRACT

In this study, genetic effects of electromagnetic fields on living organism were investigated. For this purpose, the bulbs of *Allium cepa* L. were planted in the pots at the distance of 0, 10, 25, 50 and 100+ m (control) from high voltage power lines. The seeds of *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* planted in this area were also collected from the same distances and germinated in petri dishes in the laboratory. In addition, 1000, 1500 and 2000 V/m doses of electric fields and 0.25, 0.50, and 1 mT doses of magnetic fields were constituted in the laboratory for *Allium cepa* L. and human peripheral lymphocytes to investigate the effects of electromagnetic fields. On the other hand, to observe genetic effects of electromagnetic fields on DNA levels, RAPD-PCR methods were applied to different plant materials were collected at same distance from the high voltage power lines. It was observed that electromagnetic fields effected the mitotic indices and increased the chromosomal aberrations in all the treatment groups. Most common abnormalities observed in plants were bridges, lagging chromosomes, fragments, multipolarity, c-mitosis, stickness and irregular metaphases. Most prominent abnormalities were micronucleus and bridges. Chromatid and chromosome breaks, dicentric chromosomes, sister chromatid unions and fragments were observed in human peripheral lymphocytes. While the replication indices were not different from their controls, the frequencies of sister chromatid exchanges were significantly different from their controls in all

the treatment groups. Different bands were observed in the treatment groups compared with the control groups in DNA investigations. Although the outcomes of the DNA investigations support the results of chromosomal studies, more primer should be used to be able to get more precise results.

Science Code : 203.1.048

Key Words : Electromagnetic fields, high voltage power lines, mitotic index, chromosomal aberrations, sister chromatid exchanges, RAPD-PCR

Page Number : 99

Adviser : Prof. Dr. Fatma ÜNAL, Prof. Dr. Sebahattin ÖZCAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında büyük ilgi ve desteğini gördüğüm danışman hocalarım, sayın Prof. Dr. Fatma ÜNAL ve Prof. Dr. Sebahattin ÖZCAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez izleme komitesinde yer alan sayın hocalarım Prof. Dr. Zekiye SULUDERE ve Doç. Dr. Cafer S. SEVİMAY'a tezime yaptıkları katkılardan dolayı ayrıca teşekkür ediyorum. Deney metotlarının hazırlanmasında bilgi ve yorumlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım, Yrd. Doç. Dr. Deniz YÜZBAŞIOĞLU'na, Araştırma Görevlisi Dr. Mustafa Çelik'e, Araştırma Görevlisi Serkan YILMAZ'a, Araştırma Görevlisi Dr. İskender PARMAKSIZ'a ve Öğretim Görevlisi Dr. Ertuğrul YÜZBAŞIOĞLU'na da teşekkürlerimi sunuyorum. Çalışmalar sırasında kullanılan bazı dokümanların sağlanmasında yardımcı olan Çınar Mühendislik elemanlarına ve başta değerli eşim Zeynep AKSOY olmak üzere TEDAŞ yetkililerine teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Araştırma Fonu 05/2003-71 No'lu projesiyle desteklenmiştir. Maddi katkılarından dolayı Gazi Üniversitesi Rektörlüğü'ne de teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE METOT	12
2.1. Materyal	12
2.2. Metot	13
2.2.1. Mitoz bölünme ve kromozomlara yönelik çalışmalar	13
2.2.2. DNA çalışmaları	18
3. BULGULAR	24
3.1. Mitoz Bölünme ve Kromozomlara Ait Bulgular	24
3.1.1. Bitki materyallerinden elde edilen bulgular	24
3.1.2. İnsan lenfosit kültürlerinden elde edilen bulgular	45
3.2. DNA Çalışmalarından Elde Edilen Bulgular	53
4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	62
4.1. Tartışma	62
4.2. Öneriler	86
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	99

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. RAPD-PCR yönteminde kullanılan primerler	23
Çizelge 3.1. 380 KV'luk yüksek gerilim hattına belirli mesafelerde yetiştirilen <i>Allium cepa</i> L. kök ucu hücrelerinde mitotik faz frekansları ve mitotik indeks	26
Çizelge 3.2. 380 KV'luk yüksek gerilim hattına belirli mesafelerde yetiştirilen <i>Allium cepa</i> L. kök ucu hücrelerindeki anormallik tipleri ve frekansları	26
Çizelge 3.3. 380 KV'luk yüksek gerilim hattına belirli mesafelerde yetiştirilen <i>Allium cepa</i> L. kök ucu hücrelerinde anafaz-erken telofaz safhalarındaki anormallik tipleri ve anormal hücre frekansları	27
Çizelge 3.4. 380 kV'luk yüksek gerilim hattına belirli mesafelerden alınan <i>Triticum baeoticum</i> Boiss. subsp. <i>baeoticum</i> tohumlarından çimlendirilen kök ucu hücrelerinde mitotik faz frekansları ve mitotik indeks	32
Çizelge 3.5. 380 kV'luk yüksek gerilim hattına belirli mesafelerden alınan <i>Triticum baeoticum</i> Boiss. subsp. <i>baeoticum</i> tohumlarından çimlendirilen kök ucu hücrelerindeki anormallik tipleri ve frekansları	33
Çizelge 3.6. 380 kV'luk yüksek gerilim hattına belirli mesafelerden alınan <i>Triticum baeoticum</i> Boiss. subsp. <i>baeoticum</i> tohumlarından çimlendirilen kök ucu hücrelerinde anafaz-erken telofaz safhalarındaki anormallik tipleri ve anormal hücre frekansları	33
Çizelge 3.7. Elektrik alanında yetiştirilen <i>Allium cepa</i> L. kök ucu hücrelerinde mitotik faz frekansları ve mitotik indeks	38
Çizelge 3.8. Elektrik alanında yetiştirilen <i>Allium cepa</i> L. kök ucu hücrelerindeki anormallik tipleri ve frekansları	38
Çizelge 3.9. Elektrik alanında yetiştirilen <i>Allium cepa</i> L. kök ucu hücrelerinde anafaz-erken telofaz safhalarındaki anormallik tipleri ve anormal hücre frekansları	39
Çizelge 3.10. Manyetik alanda yetiştirilen <i>Allium cepa</i> L. kök ucu hücrelerinde mitotik faz frekansları ve mitotik indeks	42

Çizelge 3.11.	Manyetik alanda yetiştirilen <i>Allium cepa</i> L. kök ucu hücrelerindeki anormallik tipleri ve frekansları	43
Çizelge 3.12.	Manyetik alanda yetiştirilen <i>Allium cepa</i> L. kök ucu hücrelerinde anafaz-erken telofaz safhalarındaki anormallik tipleri ve anormal hücre frekansları	43
Çizelge 3.13.	Elektrik alanlarının insan lenfosit kültürlerinde kardeş kromatid değişimi, replikasyon indeksi ve mitotik indeks üzerine etkileri	46
Çizelge 3.14.	Elektrik alanlarının insan lenfosit kültürlerinde oluşturduğu kromozomal anormallikler	46
Çizelge 3.15.	Manyetik alanların insan lenfosit kültürlerinde kardeş kromatid değişimi, replikasyon indeksi ve mitotik indeks üzerine etkileri	50
Çizelge 3.16.	Manyetik alanların insan lenfosit kültürlerinde oluşturduğu kromozomal anormallikler	50

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Şekil 2.1.	Birli, ikili, üçlü ve dörtlü kardeş kromatid değişimleri	17

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. <i>Allium cepa</i> kök ucu hücreleri kontrol gruplarında gözlenen mitoz bölünme safhaları	28
Resim 3.2. Yüksek gerilim hatlarından meydana gelen elektromanyetik alanların, <i>Allium cepa</i> L. kök ucu hücrelerinde oluşturduğu anormallikler	29
Resim 3.3. <i>Triticum baeoticum</i> Boiss. subsp. <i>baeoticum</i> kök ucu hücreleri kontrol gruplarında gözlenen mitoz bölünme safhaları	34
Resim 3.4. Yüksek gerilim hatlarından meydana gelen elektromanyetik alanların, <i>Triticum baeoticum</i> Boiss. subsp. <i>baeoticum</i> kök ucu hücrelerinde oluşturduğu anormallikler	35
Resim 3.5. Elektrik alanlarının <i>Allium cepa</i> L. kök ucu hücrelerinde oluşturduğu anormallikler	40
Resim 3.6. Manyetik alanların <i>Allium cepa</i> L. kök ucu hücrelerinde oluşturduğu anormallikler	44
Resim 3.7. Elektrik alanlarına maruz kalan insan lenfosit kültürlerinde kardeş kromatid değişimleri	47
Resim 3.8. Elektrik alanlarının insan lenfosit kültürlerinde oluşturduğu anormallikler	48
Resim 3.9. Manyetik alanlara maruz kalan insan lenfosit kültürlerinde kardeş kromatid değişimleri	51
Resim 3.10. Manyetik alanların insan lenfosit kültürlerinde oluşturduğu anormallikler	52
Resim 3.11. Çeşitli primerlerle çoğaltılmış RAPD-PCR ürünleri	58

1. GİRİŞ

Modern hayatın bir gerçeği olarak canlılar daima elektrik ve manyetik alanlara (EMA) maruz kalmaktadır. Bu elektrik ve manyetik alanlar, elektriğin üretimi, iletimi ve kullanımı ile meydana gelmektedir. Elektrik ve manyetik alanlar herhangi bir elektrikli aleti çevreleyen görünmez kuvvet çizgileridir. Elektrik alanları voltaj tarafından üretilir ve voltaj arttıkça daha güçlü hale gelirler. Manyetik alanlar, teller ya da kablolardan akım geçmesi sonucu oluşup, gücü akım arttıkça artmaktadır.

Dünyadaki fırtınalar ve diğer atmosferik olaylar elektrik alanı oluştururlar. Dünya esasen statik (durağan) alanlar oluşturur ve çok derinde bulunan çekirdek kısmında akan elektrik akımlarının manyetik alanlar ürettikleri düşünülmektedir (1). Günlük yaşantımızda kullandığımız çeşitli taşıtlar ve elektrikli ev aletleri de manyetik alan oluşturan ortamlardır. Elektromanyetik alan yaratan önemli unsurlardan birisi de yüksek gerilim hatlarıdır. Türkiye'deki yüksek gerilim hatları 380 kV (kilovolt), 154 kV ve çok az sayıda 66 kV'luk hatlardan oluşmaktadır (2). Ancak 66 kV'luk iletim hatları 154 kV'luk hatlara dönüştürülmektedir.

Elektromanyetik alanların genel özellikleri

Elektrik ve manyetik alanlar, kendilerinin dalga uzunlukları, frekans ve şiddeti ile karakterize edilirler. Dalga uzunluğu, dalganın bir zirve noktası ile bir sonraki zirve arasındaki uzaklığıdır. Frekans hertz (hz) cinsinden ölçülmekte olup 1 saniyelik zaman içinde kaç adet dalga zirvesinin geçtiğini tanımlamaktadır. Elektrik şarjının (yani elektronların) hareketine akım denir ve amper (A) cinsinden ölçülür.

Elektrik alanının gücü V/m (volt/metre) olarak ölçülmektedir. Gerçekte bir elektrik devresinin iki noktası arasında ölçülen voltaj (gerilim), basitçe bu noktalar arasındaki elektriksel potansiyel farkıdır. Manyetik alanlar, gauss (G) veya tesla (T) birimi olarak ölçülürler ($1\text{ T} = 10^4\text{ G}$). Bir iletkenin akan akım, akımın çevresinde devamlı halkalar şeklinde olan manyetik alanlar yaratır. Bu sebepten, bir manyetik alanın oluşması için, elektrikli aletlerin çalıştırılmış olması, yani akım geçmesi

gerekmektedir. Diğer taraftan, elektrik alanları elektrikli araçlar kapatıldıkları zaman bile, güç kaynağına bağlı oldukları sürece, mevcut olurlar (1). Elektrik akımı veya basitçe akım, uzayın herhangi bir bölgesine doğru yüklerin akış hızını belirlemek için kullanılmaktadır. (3).

Manyetizmanın yaklaşık olarak M.Ö. (milattan önce) 2000 yıllarında bilindiği, Çin kaynaklarından anlaşılmaktadır. Eski Yunanlılar muhtemelen M.Ö. 700 yıllarında elektrik ve manyetizma olaylarını gözlemlemişlerdir. Bir kehribar parçasının, sürtünmeyle elektriklenip saman parçalarını veya tüyleri çektiğini fark etmişlerdir. Doğal manyetit (Fe_3O_4) parçalarının demir parçaları tarafından çekilmesi gözlemlerinden de manyetik kuvvetlerin varlığı biliniyordu. Elektrik adı, kehribarın Yunanca *electron* adından, manyetik adı da manyetitin bulunduğu *magnesia* “Manisa” bölgesinin adından gelmektedir (3).

Elektrik ve manyetizma arasındaki ilişki, 1819 yılında Danimarka’lı bilim adamı Hans Oersted’in bir gösteri deneyi sırasında üzerinden elektrik akımı geçen bir telin, yakınında duran bir pusula iğnesini saptırdığını fark etmesiyle keşfedilmiştir. Aynı buluşun 1802 yılında bir İtalyan hukukçu, Gian Dominico Romagnosi tarafından yayınlandığını, fakat makale saygın bir dergi yerine gazetede yayınlandığı için önem verilmediği de bilinmektedir (3).

Paramanyetik ve ferromanyetik maddeler (demir, kobalt, nikel, gadolinyum ve disprosyum), sürekli manyetik dipol momentli atomlara sahip olan maddelerdir. Bu tür maddeler, zayıf bir dış manyetik alan içinde bile birbirlerine paralel olarak yönelmeye çalışan atomik manyetik dipol momentlere sahiptir. Ferromanyetik bir maddenin sıcaklığı kritik bir sıcaklığa (her madde için farklı) ulaştığı ya da geçtiği zaman madde kendiliğinden mıknatıslanmasını kaybeder ve paramanyetik duruma geçer. Dimanyetik maddeler (bizmut, gümüş) ise, atomları sürekli manyetik dipol momente sahip olmayan maddelerdir. Atomları sürekli manyetik dipol momente sahip olan maddelerde paramanyetik ya da ferromanyetik etkiler, dimanyetik katkıyı genellikle etkisiz hale getirir. Oksijen, paramanyetik bir madde olup manyetik alandan etkilenir (3).

Tüm manyetik alanların temel kaynakları, atomların manyetik dipol momentleridir. Atomik dipol momentler hem elektronların yörüngesel hareketlerinden hem de elektronların “spin” denen iç özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Elektromanyetik dalgalar, boş uzayda ve ışık hızıyla yayılabilen dalgalardır. Bu dalgalar, ivmelendirilmiş elektrik yükleri tarafından oluşturulurlar. Yayınlanan bu tür dalgalar, birbirine ve dalgaının yayılma doğrultusuna dik olan ve titreşen elektrik ve manyetik alanlardan ibarettir. Bu nedenle elektromanyetik dalgalar enine dalgalardır. Dalga kaynağından uzak mesafelerde, titreşen alanların genlikleri, uzaklıkla $1/r$ (r = yarıçap) oranında azalır. Yayılan dalgalar, titreşen yüklerden çok uzaklarda algılanabilirler (3).

Zamanla değişen manyetik alanın bir elektrik alanı oluşturması (Faraday kanunu) gibi Amper-Maxwell kanunu olarak adlandırılan Maxwell denklemlerinden biri, zamanla değişen elektrik alanının da bir manyetik alan oluşturacağını öngörmektedir. Maxwell ışık hızı ile yayılan elektromanyetik dalgaların varlığını da öngörmüş ve bu öngörü, elektromanyetik dalgaları ilk defa üreten ve onları algılayan Hertz tarafından deneysel olarak doğrulanmıştır (3) .

Elektromanyetik dalgalar enerji taşırlar ve uzayda yayılırken yollarının üzerinde bulunan cisimlere enerji aktarırlar. Elektromanyetik dalgalar, enerji gibi çizgisel momentum da taşırlar. Bu nedenle, bir yüzey üzerine bir elektromanyetik dalga çarptığı zaman yüzey üzerine basınç (radyasyon basıncı) uygulanır (3).

Elektrik alanları, çeşitli ortamlar (ağaçlar, binalar ve insan derisi dahil) tarafından perdelenmekte veya azaltılmaktadır. Manyetik alanlar ise pek çok malzemeden kolayca geçebildikleri için perdelenmeleri zordur (1).

Mutajenite Testleri

Günümüzde, başta insan olmak üzere bütün canlılar, çeşitli kimyasal ve radyoaktif maddeler ile elektromanyetik alanlara farklı doz ve sürelerde maruz kalmaktadırlar. Her geçen gün de bu maruziyet artarak devam etmektedir. İşte bu tür çeşitli çevresel

faktörlerin canlılar üzerinde herhangi bir anormalliğe yol açıp açmadığının anlaşılabilmesi için çeşitli test metotları geliştirilmiştir. Kısa süreli mutajenite ve kanserojenite testleri olarak bilinen bu metotlar bir kimyasal ya da etken maddenin potansiyel olarak mutajen ya da kanserojen olup olmadığının belirlenmesinde kullanılmaktadırlar.

Bu test metotlarının başında bakteriyel mutajenite testleri gelmektedir. Çabuk bölünebilen ve kısa sürede büyük sayılara ulaşabilen tek hücreli bakteriler, özellikle gen mutasyonlarının tespiti için yaygın olarak kullanılmaktadırlar. En iyi bilinen bakteriyel mutajenite testi Ames testidir. *Salmonella typhimurium* kullanılarak yapılan bu yöntem, genotoksik ve kanserojenik etkinin araştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Deneme organizması olarak histidine bağımlı *Salmonella* suşları kullanılmaktadır (4).

Yüksek yapılı organizmaların hücre yapılarına benzerlik gösteren ve ökaryotların en çok çalışılanları arasında yer alan mayalardan *Saccharomyces cerevisiae* ve *Schizosaccharomyces pombe* genotoksisite çalışmalarında oldukça sık kullanılan organizmalardır. Genotoksisite çalışmalarında *S. cerevisiae* suşlarının hem haploid hem de diploid formları kullanılırken, *S. pombe* suşlarının sadece haploidleri kullanılmaktadır (5, 6).

İn vivo genotoksisite testleri çoğunlukla, *Drosophila* cinsi böceklerde ve fare, sıçan ve kobay gibi memelilerde uygulanmaktadır. Bunların yanında daha üst grup memelilerde de denemeler yapılmaktadır. *Drosophila*'da eşeye bağlı letalite testi en fazla uygulanan testtir. Bu sayede eşey hücrelerinde görülen mutasyonlar ve kromozomal anormallikler incelenabilmektedir. Diğer birçok test sistemlerinde de *Drosophila* yaygın şekilde kullanılmaktadır (7). Memelilerin kullanıldığı en bilinen *in vivo* mutajenite testi dominant lethalite testidir. Diğer yandan kromozomlarda meydana gelebilecek yapısal değişimlerin incelenebilmesi için kemik iliği hücrelerinde mikronukleus (MN) analizi, kromozom anormallikleri (KA) ve kardeş kromatidlerde değişimlerin (KKD) incelenmesi yapılmaktadır.

Çeşitli etkenlerin kromozom seviyesinde her hangi bir anormalliğe neden olup olmadığının anlaşılması için yapılan test metotlarından birisi de *in vitro* test sistemleridir. Bu sistemde araştırmanın amacına bağlı olarak değişmekle birlikte, fare, sıçan veya tavşan gibi çeşitli memeli hayvanlardan elde edilen sperm, fibroblast, kemik iliği ya da periferik kan hücrelerinin yanı sıra insan periferik lenfositleri de sıklıkla kullanılmaktadır. Bu test sisteminin deney materyalini genellikle insan kaynaklı hücreler oluşturmaktadır. Çünkü herhangi bir çevresel faktörün insan hücrelerinde ne tür zararlara yol açabileceği yönünde fikir edinilmesi için insana da herhangi bir zararı olmayan bu test sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu test sisteminde de, besi ortamlarında üretilen periferik kan gibi çeşitli hücrelerde, etken maddenin MN, KA ve KKD gibi çeşitli anormallikleri oluşturup oluşturmadığı kontrol edilmektedir.

Kısa süreli mutajenite ve kanserojenite testleri olarak bilinen KA ve KKD analizleri ilk defa Perry ve Evans'ın (8) 1975'deki uygulamaları ile başlamıştır. Bu iki yönteminin oldukça duyarlı bir test olduğunun anlaşılmasından sonra birçok araştırmacı bu yöntemleri kullanarak çeşitli ajanların genetik etkilerini incelemeye başlamıştır. Kromozomal anormalliklerin belirlenmesi için direkt boyama yöntemi kullanılırken, kardeş kromatid değişimi testinde, kardeş kromatidlerin arasında gerçekleşen parça değişimini saptayabilmek için bunların farklı boyanmasını sağlamak gerekir. İşte bunun için kültür ortamına BrdU ilave edilir. BrdU, deoksitimin (dT) ve deoksiuridin (dU) birbirlerinin analoğu olan maddelerdir. BrdU, dT ve dU arasındaki tek fark, taşıdıkları benzen halkasındaki 5. karbon atomuna dT'de CH₃ (metil), dU'de H (hidrojen) atomu ve BrdU'de Br (brom) atomunun bağlı olmasıdır. DNA replikasyonu sırasında eğer ortamda BrdU varsa, sentezlenen yeni polinükleotid zincirinde timinin yerini BrdU alacaktır. DNA içine yerleşmiş olan BrdU, uv lambası ile ışınlanmaya maruz bırakıldığında, boyama sonucunda bu bölgelerin daha açık renkli gözlenmesini sağlar (9). Bu boyanma farkı, DNA'da kardeş kromatidler arasında oluşan değişimleri göstermektedir. KKD yönteminin DNA hasarlarının belirlenmesinde hassas testlerden bir tanesi olduğu belirtilmektedir (10).

Bitkiler de araştırmalarda oldukça fazla kullanılan materyallerden birisidir. Özellikle kolay kök ucu elde edilebilen ve kolay gözlenebilen kromozomlara sahip olan *Allium* gibi bazı bitkiler deney materyali olarak tercih edilmektedir. İlk kez Levan'ın (11) 1938 yılında *Allium cepa*'da kolkisinin toksik etkisini keşfetmesiyle ortaya çıkardığı Allium testinden sonra *Vicia faba* (12), *Tradescantia paludose* (13) ve *Hordeum vulgare* (14) gibi daha birçok bitki, deney materyali olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu test sisteminde kök ucu hücrelerinde kromozomal anormalliklerin olup olmadığı araştırılmaktadır. Hem *in vivo* test sistemlerinde, hem de *in vitro* test sistemlerinde mitotik indekste herhangi bir farklılığın olup olmadığı da inceleme konuları arasında yer almaktadır.

Kromozomları konu alan araştırmaların yanında, DNA seviyesinde çalışmalarda oldukça yaygındır. Özellikle morfolojik ve karyolojik çalışmaları desteklemek amacıyla yapılan çalışmaların yanı sıra, çeşitli etken maddelerin DNA seviyesinde mutasyonlara neden olup olmadığının araştırılmasında da RAPD-PCR (Rastgele oğaltılmış polimorfik DNA-Polimeraz zincir reaksiyonu) tekniğı kullanılmaktadır (15, 16). Köberle ve arkadaşları (17), Çin hamsteri V79 hücre hatlarında MMS (Metil methanslfonate) ile indüklenmiş HPRT (hipoxantin-guanin fosforiboziltransferaz) locusunda meydana gelen mutasyonların moleküler karakterini belirlemeye çalıştıkları araştırmalarında, 7 primer çifti kullanılmış ve MMS'nin oldukça toksik olduğunu ve mutasyon frekansında yüksek derecede artışların olduğunu belirlemişlerdir. Bu teknikte rastgele seçilen primerlerin kullanılmasıyla DNA'da uygun bölgeler çoğaltılmakta ve farklılık olup olmadığı ortaya çıkartılmaktadır.

Elektromanyetik alanların etkileri üzerine yapılan bazı alışmalar

Elektromanyetik alanların başta insanlar olmak üzere canlılar üzerine herhangi bir etkisinin olup olmadığının anlaşılması için, çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bunlardan bir kısmı canlıların olumsuz yönde etkilendiğini belirtirken, bazıları elektrik ve manyetik alanların canlılar üzerinde her hangi bir etki yapmadığını, ancak çalışmaların sürdürülmesi gerektiğini vurgulamaktadırlar. Çalışmaların büyük bir

çoğunluğunu kanser çalışmaları kapsamaktadır. Bunun yanında bazı çalışmalarda kromozom anormallikleri ve hücre aktivitesindeki değişiklikler incelenmiştir.

1982 yılından itibaren yapılan kanser araştırmalarında, belli elektrik işlerinde çalışan işçiler ile başka işlerde çalışan işçiler arasında kıyaslama yapıldığında, elektrik işlerinde çalışanlarda beklenenden daha fazla lösemi vakası görüldüğü bildirilmektedir. Bu çalışmalardan ilki, 1982 yılında Dr. Milham tarafından tamamlanmıştır (1). Diğer yandan EMA'nın, Pineal bez tarafından salgılanan ve bazı bilim adamları tarafından bazı kanser hücrelerinin büyümesini engellediği ifade edilen, bir hormon olan melatoninini azalttığı ve bu nedenle kanser gelişimini arttırdığı da bildirilmektedir (1).

Feychting ve arkadaşları (18), İsveç'te iletim hatlarına 300 m içinde yaşayan ve bu alan içinde çalışan kişilerde yaptıkları kanser araştırmalarında, iletim hatlarından kaynaklanan elektromanyetik alanlar ile lösemi arasında bir ilişkinin olduğunu açıklamışlardır. Draper ve arkadaşları (19), İngiltere ve Galler'de yüksek gerilim hatlarına belirli mesafelerde doğan ve bu alanlarda yaşayan 0-14 yaşlarındaki çocuklarda yaptıkları araştırmada da, 200 m içinde bulunanlarda lösemi riskinin oldukça fazla olduğunu, 200 m ile 600 m arasında bulunanlarda daha az bir risk bulunduğunu belirtmişlerdir. Savitz ve arkadaşlarının (20), 0-14 yaş grubundaki çocuklar üzerinde yaptıkları araştırmada, hamilelik döneminde elektrikli battaniye kullanan annelerle ilişkili olarak çocukların özellikle beyin tümörüne yakalanma riskinde anlamlı artışlar tespit etmişlerdir. Minder ve Pfluger (21), ortalama manyetik alanın 25,9 μ T olduğu, İsveç demiryollarında 1972-1993 yılları arasında çalışmış olan kişiler üzerinde yaptıkları araştırmada, maruz kalınan elektromanyetik alanlar ile lösemiye bağlı ölüm oranları arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu tespit etmişlerdir.

Erdal ve arkadaşlarının (22), yüksek gerilim hatlarında çalışan insanların periferik kanlarında yaptıkları araştırmada anlamlı derecede artışlar gösteren kromozomal anormallikler tespit etmişlerdir. Khalil ve Qassem (23) yaptıkları çalışmada insan lenfositlerini 50 hz, 1,05 mT (militesla) EMA'ya 24, 48 ve 72 saat maruz bırakmışlar

ve kromozom anormalliklerini incelemişlerdir. Bu araştırma sonucunda, bütün gruplarda çeşitli kromozomal anormallikler tespit edilmiş, aneuploidiye rastlanmış ve mitotik indekste önemli azalmalar gözlemişlerdir. Ayrıca 72 saatlik muamelede fazla sayıda kırıklar, kromozom parça değişimleri, halka veya disentrik kromozomlara rastlandığını belirtmişlerdir. Hintenlang (24) çalışmasında, iyonize radyasyon ile birlikte manyetik alana maruz kalan insan lenfositlerinde, tetraploid sıklığında artış olduğunu açıklamaktadır. Yapılan diğer bir çalışmada 0,5 kV/m ve 1 kV/m elektrik alanına 24 saat süreyle tabi tutulan insan kanında, düzensiz metafaz kromozomlarına, haploidi, hiperploidi ve kromatid gaplara rastlanılmış ve bunların istatistiksel olarak da anlamlı olduğu belirtilmiştir (25). Cho ve Chung (26), insan lenfositlerini benzo(a)pyrene ile muamele ederek kültüre almışlar ve son 24 saatinde 0,8 mT'lık manyetik alana maruz bıraktıkları kültürde kardeş kromatid değişimlerinde ve mikronukleus frekanslarında anlamlı artışlar tespit etmişlerdir.

Winker ve arkadaşları (27) insan fibroblast hücrelerini 1 mT manyetik alana 2-24 saat süreyle maruz bırakmışlar ve çalışma sonucunda hem kromozomal anormallikler bakımından hem de mikronukleus oluşumu bakımından önemli düzeyde artışlar tespit etmişlerdir. İnsan SCL II (Squamous cell carcinoma) hücre hatları 24, 48 ve 72 saat süreyle 0,1-1 mT dozlarında manyetik alanlara maruz bırakılmış ve bütün dozlarda mikronukleus frekanslarında anlamlı artışlar tespit edilmiştir (28).

Haider ve arkadaşlarının (29) radyo televizyon vericileri civarında *Tradescantia*'larda yaptıkları araştırmada mikronukleus oluşumunda anlamlı artışlar gözlemişlerdir. Pavel ve arkadaşları (30) *Triticum aestivum*'a düşük yoğunlukta mikrodalgalar uygulandığında kromozomlarda kayıplar, mikronukleus, köprü ve fragment oluşumları gözlemişlerdir.

Mailhes ve arkadaşlarının (31) farelerle yaptıkları çalışmalarda aneuploidilere rastlanmış ve bunun nedeni olarak da, nöroendokrin sistem, ovulasyon vs. gibi sistemlerin nörohormonal kontrol altında olduğu ve bu yüzden çeşitli mekanizmaların etkilenebileceği açıklanmaktadır. Gray ve arkadaşlarının (32) yaptıkları çalışmada, farelerde tümörlü dokulara kemoterapik ilaçlarla birlikte

elektromanyetik alanlar uygulamışlar ve sadece ilaç verilen kontrol grubuna göre tümörlü hücrelerde istatistiksel olarak önemli derecede azalma gözlemişlerdir. Araştırmacılar elektrik ve manyetik alanların tümörlü hücrelerin azalmasında etkili olduğunu belirtmektedirler. Goodman ve arkadaşları (33) *D. melanogaster* ile yaptıkları çalışmada, çok düşük seviyede EMA kullanmış ve 20 dakika maruz bıraktıkları canlılarda translasyon seviyesinde değişikliklerin olduğunu tespit etmişlerdir.

Veiga ve arkadaşları (34) yaptıkları çalışmada, P815 hücrelerini 1 V/cm, 2 mA'lık (miliamper) elektrik alanına çeşitli sürelerde maruz bırakmışlar ve sonuçta katolitik stimülasyonda hücre lizisinin önemli derecede arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca elektron mikroskopisi incelemelerinde sitoplazmik membranda hasarlar, mitokondride şişmeler ve membranda kırılmalara rastlamışlardır.

Valjus ve arkadaşları (38), güç hatlarında uzun süreli çalışan ve 50 hz EMA'ya maruz kalan insanlar ile telefon hatlarında çalışan insanların oluşturduğu kontrol grubu arasında, kromozomal anormallik, kardeş kromatidlerde değişim ve mikronukleus oluşumları bakımından herhangi bir farklılığın olmadığını belirlemişlerdir. Ancak daha önceleri sigara içen kişilerde kromatid tipi anormalliklerde anlamlı artışlar tespit etmişlerdir. Robert ve arkadaşları (39) yaptıkları çalışmada, yüksek gerilim hatları civarında yaşayan insanlarda kanser ve düşük yapma oranlarını araştırmışlar ve önemli bir artışa rastlamamışlardır. Scarfi ve arkadaşları (40) 24, 48 ve 72 saat süreyle insan lenfositlerini 1-2 mT'ya maruz bıraktıklarında, kromozom anormalliklerinde herhangi bir farklılık yok iken, 72 saatlik uygulamada mitotik indekste önemli artışlar kaydetmişlerdir. *Vicia faba* ile yapılan bir çalışmada 5 mT 0 hz ve 1,5 mT 50, 60, 75 hz'lik alanda 3 gün çimlenmeye bırakılan tohumlardan elde edilen kök uçlarından yapılan incelemelerde, meydana gelen kromozom kırıklarının önemli düzeyde olmadığı, ancak mitotik indekste artışlar olduğu belirtilmiştir (41). Tornqvist (42) araştırmasında, güç hatlarında en az 1 yıldır çalışan kişilerin yeni doğan çocuklarını incelemiş ve bünyelerinde ortaya çıkan sakatlıkların, yeni işe girenlerin çocukları ile istatistiksel olarak fark olmadığını belirtmiştir. Tateno ve arkadaşlarının (43) yaptıkları çalışmada, 20 mT 50 hz EMA'da 2 saat beklettikleri

sperm kromozomlarını incelemişler ve her hangi bir fark gözlemediklerini belirtmişlerdir.

Elektrik akımı, patateslerde filizlenme ve verimlilikte önemli artışlara neden olmuştur. Patates yumrularının 50 V ve 100 V'luk alternatif ve doğru akıma maruz bırakılmasının dormansinin kırılmasında etkili olduğu gözlenmiştir (35, 36, 37). Elektrik akımının, hücre membranının geçirgenliğinde meydana getirdiği değişikliklerin, dormansinin kırılmasında etkili olabileceği açıklanmıştır.

Amaç

Yukarıdaki araştırmaların sonuçları doğrultusunda elektrik ve manyetik alanlar ile yüksek gerilim hatlarının neden olduğu elektromanyetik alanlarının, canlılar üzerine çeşitli etkilerinin olabileceği görülmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda, araştırmacıların bir kısmı bu alanların oldukça zararlı olduğunu vurgularken, bir kısmı herhangi bir zararı olmadığını ve hatta bazen yararlı olabileceğini vurgulamaktadırlar. Bu tür araştırma sonuçları bize, bu konuda yapılan araştırmaların henüz yetersiz olduğunu, doğal yaşam alanlarında oluşan veya laboratuvar şartlarında oluşturulan elektrik ve manyetik alanların, özellikle genetik etkilerinin değişik organizmalarda, değişik test metotları ile araştırılmasının, bu alanların etkileri hakkında daha da aydınlatıcı sonuçlar verebileceğini düşündürmüştür. Bu çalışma, yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan elektromanyetik alanlar ile laboratuvarda oluşturulan elektrik ve manyetik alanların, çeşitli bitkiler ve insan periferik lenfosit kültürleri üzerine genetik etkilerini belirlemek, toplumun bu konuda bilinçlendirilmesini sağlamak ve varsa bunların zararlarından korunmak veya en aza indirebilmesi için önerilerde bulunmak amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, yüksek gerilim hatları çevresinde yetiştirilen *Allium cepa* L. ile aynı bölgede üretimi yapılan *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* bitkisinden alınan tohumların çimlendirilmesi ile elde edilen kök ucu hücrelerinde mitotik indeks ve kromozom anormallikleri incelenmiştir. Yine aynı bölgelerde doğal olarak yetişen *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris*, *Anchusa leptophylla* ve *Sanguisorba minor* bitkilerinin yaprakları ile *Triticum baeoticum* Boiss. subsp.

baeoticum bitkisinin tohumlarının çimlendirilmesiyle elde edilen yapraklarından izole edilen DNA'larda çeşitli primerler kullanılarak yüksek gerilim hatlarının DNA düzeyinde bir farklılığa neden olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Diğer yandan laboratuvar şartlarında oluşturulan elektrik ve manyetik alanların, bu ortamlarda çimlendirilen *Allium cepa* L. ve kültürü yapılan insan periferel lenfositlerinde mitoz bölünme ve kromozomlar üzerine etkileri de çeşitli test metotları ile incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Yüksek gerilim hatlarının oluşturduğu elektromanyetik alanların genetik etkisinin araştırılması için kullanılan *Allium cepa* L., *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum*, *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris*, *Anchusa leptofilla* ve *Sanguisorba minor* türlerine ait materyaller, Ankara-Gölbaşı civarından geçen 380 kV'luk yüksek gerilim hattı çevresinden temin edilmiştir. *Allium cepa* L., 380 kV'luk yüksek gerilim hatlarına 0, 10, 25, 50 ve kontrol grubu olarak 100+ m (metre) mesafelerde saksılara dikilerek çimlendirilmiş ve bunlardan elde edilen kök uçları kullanılmıştır. Soğanlar dikim sırasında ve ikinci gününde sulanarak toprağın nemli kalması sağlanmıştır. Aynı alanda, yöre halkı tarafından ekimi yapılmış olan *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* bitkisinden, yukarıda belirtildiği gibi, yüksek gerilim hattına belli mesafelerden alınan tohumlar laboratuvarda petri kapları içinde çimlendirilerek kök uçları elde edilmiş ve bunlar da materyal olarak kullanılmıştır. Her uygulama grubu için 10 ayrı bitki kullanılmıştır.

Laboratuvar şartlarında oluşturulan elektrik ve manyetik alanların genetik etkisinin araştırılması için, bu ortamlarda çimlendirilen *Allium cepa* L. kök uçları ve kültürü yapılan insan periferel lenfositleri kullanılmıştır. Her uygulama grubu için 10 ayrı soğan ve kültür için iki kişiden alınan periferel kanlar kullanılmıştır.

DNA çalışmaları için, 380 kV'luk yüksek gerilim hatlarına 0, 10, 25, 50 ve kontrol grubu olarak 100+ m mesafelerden, doğal ortamlarından toplanan *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris*, *Anchusa leptofilla* ve *Sanguisorba minor* bitkilerinin yaprakları ile bu alanda üretimi yapılan *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* bitkisinin tohumlarının laboratuvarda çimlendirilmesiyle elde edilen yaprakları kullanılmıştır. Her uygulama grubunda her tür için birden fazla bitkiden alınan yapraklar kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Mitoz bölünme ve kromozomlara yönelik çalışmalar

Bitki materyallerindeki çalışmalar

380 kV'luk yüksek gerilim hatlarına 0, 10, 25, 50 ve kontrol grubu olarak 100+ m mesafelerde saksılara dikilerek üç gün süreyle çimlenmeye bırakılan *Allium cepa* L. ve ekili alanlardaki aynı mesafelerden toplanan *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* tohumlarının petri kaplarında çimlendirilmesiyle kök uçları elde edilmiştir. Elde edilen kök uçları absölu alkol:asetik asit (3:1) çözeltisinde 1 gece buzdolabında tespit işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra % 70'lik alkolde depo edilen kök uçları, kullanılacakları zaman 1 N HCl'de 60°C'da hidroliz edilmiştir. Hidroliz süresi *Allium cepa*'da 11 dakika, *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum*'da 17 dakika olarak uygulanmıştır. Feulgende boyanan kök uçlarından % 45'lik asetik asit ile ezme preparatlar hazırlanmıştır. Sıvı azot ile lamelleri ayrılan preparatlar kurutulduktan sonra DePeX ile devamlı hale getirilmiştir.

Laboratuvar koşullarında oluşturulan elektrik alanlarının etkisinin incelenmesi için, *Allium cepa* L. soğanları 30 x 30 cm (santimetre) ebatlarında iki iletken kapasitör arasına yerleştirilerek, 1000, 1500 ve 2000 V/m doğru akımlı elektrik alanında üç gün süreyle çimlenmeye bırakılmıştır. Her bir uygulama için ayrı ayrı kontrol grupları hazırlanmıştır. Her uygulama sonucunda kök uçları uygun şekilde elde edilmiştir. Preparat hazırlanmasında yukarıda yöntem kullanılmıştır.

Laboratuvar koşullarında oluşturulan manyetik alanların etkisinin incelenmesi için *Allium cepa* L. soğanları, iç çapı 125 mm (milimetre) olan silindirik plastik boru üzerine 1,5 mm'lik bakır tel sarılarak elde edilen 0,25, 0,50, 1,00 mT'lık alternatif akımlı manyetik alanlar içine yerleştirilerek üç gün süreyle çimlenmeye bırakılmıştır. Bu süre sonunda soğanlardan alınan kök uçlarından yukarıda bahsedilen yöntemler kullanılarak preparatlar hazırlanmıştır. Bu uygulamalar için de kontrol grupları bulundurulmuştur.

Mitotik indeks ve kromozom anormalliklerinin saptanması

Ayrı ayrı 10 bitkiden alınan, 10 farklı kök ucundan hazırlanan her preparatta rastgele 1000 hücre taranmış ve böylece her uygulama grubu için toplam $1000 \times 10 = 10000$ hücre incelenmiştir. Bu incelemelerde, bölünen hücrelerin toplam hücrelere oranı olarak tanımlanan mitotik indeks (MI) hesaplanmış, mitozun her bir safhasındaki hücrelerin frekansları belirlenmiş ve kromozomal anormallikler tespit edilerek fotoğrafları çekilmiştir.

Anafaz-Erken Telofaz Testi

Hazırlanan preparatlarda sadece anafaz-erken telofaz safhasında bulunan hücrelerin incelenmesi de yapılmıştır. Her uygulama dozu için anafaz-erken telofazda bulunan toplam 500 hücre taranmış, bu safhalardaki hücrelerde gözlenen kromozomal anormallikler tespit edilmiştir.

Uygulama gruplarındaki mitotik indeks ve kromozomal anormalliklerin kontrol grupları ile karşılaştırılmasında z-testi kullanılmıştır. Uygulamalardaki mesafe-etki ve doz-etki ilişkisini ortaya koymak amacıyla SPSS 11.0 bilgisayar programıyla regresyon analizi uygulanmıştır.

İnsan lenfosit kültürlerindeki çalışmalar

Lenfosit kültürlerinin hazırlanması için sağlıklı, sigara içmeyen 21-22 yaşlarında bir bayan ve bir erkek bireyden alınan ve 1/10 oranında heparinize edilmiş 0,2 mL periferik kan, steril şartlarda 2,5 mL'lik besi ortamına (Chromosome Medium B) ekilmiştir. Bu ortama, daha önceden sartorius membran filtre ile steril edilerek hazırlanan BrdU (5-Bromo-2-deoksiüridin=Bromodeoksiüridin) solüsyonundan her tüpe 10 µg/mL (mikrogram/mililitre) olacak şekilde ilave edilmiştir. Daha sonra kültür tüpleri, 37°C'daki inkübatörde 24 saat bekletilmiştir. Bu ilk 24 saatlik inkübasyondan sonra kültür tüpleri, bitki materyallerinde kullanılan elektrik ve manyetik alan üreten aygıtların içine yerleştirilerek 37°C'da 48 saat bekletilmiştir.

Elektrik alanı için, 1000, 1500 ve 2000 V/m, manyetik alan için, 0,25, 0,50 ve 1,00 mT'lık dozlar kullanılmıştır. İnkübasyon süresinin bitiminden 2 saat önce (kültürün 70, saatinde) her tüpe, 0,06 µg/mL olacak şekilde kolkisin solüsyonu ilave edilmiştir. Kültür tüpleri toplam olarak 72 saat inkübasyona tabi tutulmuştur.

İnkübasyon süresinin bitiminde tüpler 1200 rpm'de (dakikadaki devir sayısı) 10 dakika santrifüj edilmiş ve üstte kalan sıvı (süpernatant) atılmıştır. Tüpün dibinde kalan ve hücreleri ihtiva eden 0,5-0,7 mL'lik kısmı vorteks yardımıyla iyice karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Sonra bu tüplere, 37°C'ta bekletilen 0,075 M KCl hipotonik solüsyonundan, vorteks üzerinde damla damla (5 mL) ilave edilmiştir. Tüpler 37°C'taki etüvde 30 dakika bekletilmiştir. Süre sonunda tüpler 1200 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiş ve süpernatant atıldıktan sonra, tüplere önceden buzdolabında soğutulan 3:1 metanol:asetik asitten oluşan soğuk fiksatif, vorteks üzerinde damla damla (5 mL) ilave edilmiş ve buzdolabında 45 dakika muamele edilmiştir. Bu tüpler 1200 rpm'de 10 dakika santrifüj edildikten sonra süpernatant atılmıştır. Fiksatifle yıkama işlemi üç kez tekrarlanmıştır. Böylece tüpte kalan sıvının tamamen berraklaşması sağlanmıştır.

Son fiksatif işleminin sonunda tüpün dibinde kalan 0,5-0,7 mL'lik çökelti pipetaj yapılarak homojen hale getirilmiştir. Pastör pipetine çekilen bu süspansiyon, daha önceden 1 N HNO₃ (Nitrik asit)'te temizlenmiş ve % 70'lik etil alkolde buzdolabında bekletilen nemli lamalar üzerine 15-20 cm yükseklikten farklı alanlara damlatılarak hücrelerin patlatılması ve kromozomların yayılmaları sağlanmıştır. Hazırlanan bu preparatlar 24 saat oda sıcaklığında ışık almayan ortamda kurumaya bırakılmışlardır.

Preparatların boyanması

Her bir uygulama için yapılan preparatların bir kısmı, mitotik indeks ve kromozomal anormalliklerin tespiti için, homojen boyamada kullanılmıştır. Bunun için preparatlar kuruduktan sonra direkt olarak Sorensen tamponu ile hazırlanan % 5'lik Giemsa boyama tekniği ile (pH=6,8) 15-20 dakika boyanmıştır. Preparatların bir kısmı ise,

bir kromozoma ait kardeş kromatidlerin farklı boyanmasını sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Bu yöntemde göre bir gün boyunca kurutulan preparatlar düz bir tepsiye konarak üzeri ince bir tabaka halinde ışınlama solüsyonu (Sorensen tamponu, pH=6,8) ile kapatılmıştır. Bu preparatlar, 15 cm yükseklikten, 254 nm (nanometre) dalga boyunda ışık yayabilen UV lambası ile karanlıkta 13 dakika ışınlanmıştır. Preparatlar 60°C sıcaklıktaki 2xSSC (Sodyum klorür + Tri-Sodyum sitrat) solüsyonunda 35 dakika inkübe edildikten sonra, Sorensen tamponu ile hazırlanan % 5'lik Giemsa ile (pH= 6,8) 15-20 dakika boyanmıştır.

Her iki yöntemde de Giemسادan çıkarılan preparatlar üç ayrı kaptaki saf sudan geçirilerek, boyanın fazlasının akması sağlanmıştır. Oda sıcaklığında kurutulan preparatlar, DPX ile daimi hale getirilmiş ve mikroskopik incelemeye alınmıştır.

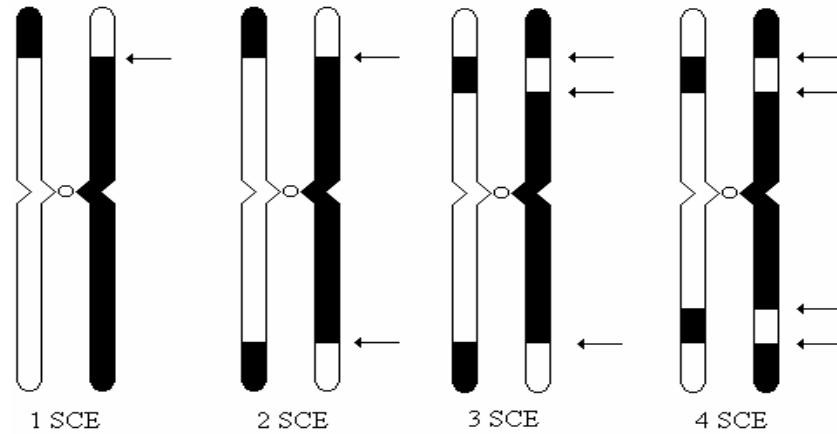
Mitotik indeks ve kromozom anormalliklerinin saptanması

Mitotik indeksin (MI) saptanmasında, bütün uygulamalar için kadın ve erkek bireye ait preparatların her birinden 1000'er hücre olmak üzere toplam 2000 hücre incelenmiştir. Bölünen hücre sayısının toplam hücreye oranı yüzde cinsinden hesaplanarak mitotik indeks belirlenmiştir. Kromozomal anormalliklerin saptanmasında, her bir uygulama için kadın ve erkek bireye ait preparatlarda 46 kromozomlu ve kromozomları iyi dağılmış olan 100'er hücre (toplam 200 hücre) değerlendirilerek kromozom anormallikleri tespit edilmiştir. İncelenen toplam hücre içindeki anormal hücrelerin yüzdesi ve hücre başına düşen kromozom anormalliği (KA/Hücre) sayısı belirlenmiştir.

Kardeş kromatid değişiminin saptanması

Kardeş kromatid değişimi (KKD) sayısının belirlenmesinde, kadın ve erkek bireye ait preparatların her birisinde, kromozomları iyi dağılmış ve ikinci mitoz bölünme geçiren 25'er hücre olmak üzere, her bir uygulama dozu için toplam 50 hücre incelenmiştir. Kardeş kromatid değişimi sayısı, bir kromozomun açık boyanmış

kromatidindeki koyu boyanmış parçaların veya koyu boyanmış kromatidindeki açık boyanmış parçaların sayılmasıyla, oluşan kırılma sayısına göre birli, ikili, üçlü ve dörtlü değişimler olarak değerlendirilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Birli, ikili, üçlü ve dörtlü kardeş kromatid değişimleri

Replikasyon indeksinin saptanması

Replikasyon indeksini hesaplamak için kadın ve erkek bireyden hazırlanan preparatların her birinden 100 hücre olmak üzere her uygulama için toplam 200 hücre incelenmiştir. İncelenen hücreler arasında birinci (M1), ikinci (M2) ve üçüncü (M3) metafaz evresindeki hücreler sayılmış ve replikasyon indeksi $(RI) = \frac{1 \times (M1) + 2 \times (M2) + 3 \times (M3)}{N}$ (N= incelenen toplam hücre sayısı) formülüyle hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmada, mitotik indeks, replikasyon indeksi, hücre başına düşen kardeş kromatid değişimi sayısı, anormal hücre frekansı ve hücre başına düşen kromozom anormalliği için doz-etki ilişkisini ortaya koymak amacıyla SPSS 11.0 bilgisayar programıyla regresyon analizi uygulanmıştır. Deney gruplarındaki mitotik indeks, replikasyon indeksi ve kromozomal anormalliklerin kontrol grupları ile farklılık gösterip göstermediğinin belirlenmesinde z-testi kullanılırken, kardeş kromatid değişimlerinin değerlendirilmesinde t-testi kullanılmıştır.

2.2.2. DNA çalışmaları

DNA çalışmalarında, *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris*, *Anchusa leptophylla* ve *Sanguisorba minor* bitkilerinin yaprakları ile bu alanda üretimi yapılan *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* bitkisinin tohumlarının laboratuvarında çimlendirilmesiyle elde edilen yaprakları kullanılmıştır. Bu yapraklardan DNA izolasyonu için, Atak (44) ve Parmaksız'ın (45) metodunda bazı modifikasyonlar yapılarak, aşağıdaki yöntem uygulanmıştır.

- Yapraklar porselen havan içinde sıvı azot ile öğütülür.
- Apendorf tüpüne 0,2 gr (gram) örnek alınıp 800 µL (mikrolitre) ekstraksiyon tamponu ve 80 µL % 2'lik SDS ilave edilir. 65°C'da 30 dakika bekletilir.
- 15000 rpm'de 15 dakika santrifüj edilir. Süpernatant yeni tüpe alınır.
- 500 µL 0,3 M NaAc eklenip 20 dakika buzda bekletilir.
- Örnekler 0°C'da 15000 rpm'de 15 dakika santrifüj edilir.
- Süpernatant yeni tüpe aktarılır.
- 500 µL kloroform:isoamilalkol (24:1) solüsyonu eklenerek karıştırılır. 15000 rpm'de oda sıcaklığında 10 dakika santrifüj edilir.
- Süpernatant yeni tüpe alınır.
- 500 µL soğuk etanol (% 96), 250 µL 0,3 M NaAc solüsyonu eklenir. En az 40 dakika (1 saat) -20°C'da bekletilir.
- 15000 rpm'de 15 dakika santrifüj edilir. Süpernatant atılır.
- Çökelti buzda soğutulmuş 400 µL % 70'lik etanol ile yıkanır. 15000 rpm'de 2 dakika santrifüj edilir.
- Çökelti kurutulur ve 400 µL TE içinde çözülür. 1-2 µL RNAaz eklenir. 37°C'da (su banyosunda) 30-40 dakika inkübe edilir.
- Üzerine 400 µL kloroform:isoamilalkol (24:1), 1/10 hacim 3 M NaAc ilave edilir. 15000 rpm'de 5 dakika santrifüj edilir. Süpernatant yeni tüpe alınır.
- 500 µL soğuk etanol (% 96), 250 µL 0,3 M NaAc solüsyonu eklenir. En az 40 dakika (1 saat) -20°C'da bekletilir.
- 15000 rpm'de 15 dakika santrifüj edilir. Süpernatant atılır.

- Çökelti buzda soğutulmuş 400 µL % 70'lik etanol ile yıkanır. 15000 rpm'de 2 dakika santrifüj edilir.
- Çökelti kurutulur ve 50 µL TE içinde çözülür.
- Spektrofotometre ile DNA ölçümü yapıp -20°C 'da bekletilir.

Bu yöntemde kullanılan ekstraksiyon tamponunun (pH=8) hazırlanışı şu şekildedir;

10 mL 1M Tris
 10 mL 0,5 M EDTA
 10 mL 5 M NaCl
 70 µL 1 M β -merkaptotanol
 69 mL sdH₂O

Bu yöntemde kullanılan TE (pH=8) çözeltisinin hazırlanışı;

10 mM Tris (0,12 gr)
 1 mM EDTA (0,037 gr)
 100 mL su içinde çözülür.

Elde edilen DNA'ların spektrofotometrik ölçümlerinin yanında, kırık DNA'ların olup olmadığının anlaşılması için, DNA'lar % 1'lik agaroz jel kullanılarak yürütülmüşlerdir. Bu jelin hazırlanışı şu şekildedir.

- Temiz ve kuru cam plakanın (jel kutusu) kenarları otoklav bandı ile sarılarak, bir kalıp oluşturulur. Bu plaka yatay durumda, düzgün bir yere yerleştirilir.
- Erlenmayer içine 1 gr agaroz konulur ve üzerine 100 mL 1X TBE tamponu ilave edilir.
- Tampon içindeki agaroz eriyinceye kadar mikrodalgada bekletilir.
- Çözelti 60°C 'a kadar soğutulur.
- Bir pastör pipeti yardımıyla, kabın kenarlarına az miktarda agaroz çözeltisi gezdirilir.

- Ilık agaroz çözeltisi kalıbın içine dökülür. Jelin kalınlığı 3-5 mm arasında olmalıdır.
- Cam plakanın yüzeyinden yaklaşık olarak 0,5-1,0 mm yukarıda olacak şekilde tarak yerleştirilir. Tarağın dişleri arasında ya da altında hava kabarcıklarının kalmamış olmasına dikkat edilmelidir.
- Jel oda sıcaklığında yaklaşık 30-45 dakika donmaya bırakılır. Jel donduktan sonra, taraklar ve otoklav bandı çıkarılarak, elektroforez tankına yerleştirilir.
- Jelin üzerine, hazırlanmasında kullanılan tampondan dökülür.

Bu aşamadan sonra jel, DNA yürütülmesine hazır hale gelmiştir. Ancak bu çalışmada jelin hazırlanmasında, DNA'nın boyanarak UV ışığı altında gözlenmesini sağlayan Etidiyum bromür de önceden ilave edilmiştir. Bunun için, 10 mg/mL (miligram/mililitre) konsantrasyonda bulunan stok çözeltiden, jel ve elektroforez tamponları içine 0,5 µg/mL olacak şekilde eklenmiştir.

Jelin hazırlanmasında ve yürütme işlemi sırasında kullanılan tamponun hazırlanışı

Tris 108 gr
 Borik asit 55 gr
 0,5 M EDTA 40 mL
 Su ile 1000 mL'ye tamamlanır.

Bu şekilde stok 10X TBE çözeltisi elde edilir. Kullanılacağı zaman stok çözeltiden 1X halinde hazırlanır.

Hazır durumdaki jele örneklerin yüklenmesinden önce, DNA örnekleri jel yükleme tamponu ile, kuyucukların hacimlerine göre, 5-20 µL olacak şekilde karıştırılır. Bu çalışmada 2 µL DNA örneği, 3 µL jel yükleme tamponu karışımı kullanılmıştır. Bu karışım bir mikropipet ile jelin kuyucukları içine yavaşça yüklenmiştir. Bu çalışmada jel yükleme tamponu olarak bromfenol mavisini ve sukroz içeren yükleme tamponu kullanılmıştır.

Jel yükleme tamponunun hazırlanışı;

% 0,25 bromfenol mavisi

% 40 (ağırlık/hacim) sukroz (su içinde) şeklindedir.

Jele yüklenen DNA örnekleri 95 V'ta 1 saat yürütülmüştür. DNA materyali anoda doğru hareket eder.

DNA örneklerinin jelde yürütülmesinden sonra, UV ışık kaynağı kullanılarak kontrolleri yapılmıştır.

Yukarıda bahsedildiği şekilde, yüksek gerilim hattına farklı mesafelerde bulunan bitkilerden toplanan yapraklardan izole edilen DNA'lar arasında farklılıkların olup olmadığı, RAPD-PCR yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

RAPD yönteminin uygulanmasında, öncelikle PCR çalışması için DNA örneklerinin uygun miktarlarda hazırlanması gerekir. Bunun için, kullanılan DNA miktarı 50 ng/ μ L (nanogram/mikrolitre) olarak hazırlanmıştır (Ancak 1 μ L çok az olacağından 50 ng/2 μ L olarak hazırlanmıştır). Primer sayısına bağlı olarak her zaman kullanabilmek için toplam hacim 150 μ L hazırlanmıştır. Bu işlemler sırasında sulandırma solüsyonu olarak steril enjeksiyon suyu kullanılmıştır. Bu aşamadan sonra PCR çalışması için örneklerin hazırlanması gerekmektedir. Bunun için aşağıdaki yöntem uygulanır.

- PCR tüplerine 2'şer μ L DNA örneği konulur.
 - Diğer yandan karışım solüsyonu hazırlanır. Bunun için;
- | | | | |
|-------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| 10X buffer | 2,5 μ L | x24 | 60 μ L |
| MgCl ₂ | 2,5 μ L | " | 60 μ L |
| dNTP _s | 2,5 μ L | " | 60 μ L |
| Primer | 4 μ L | " | 96 μ L |
| Taq Pol. | 0,3 μ L | " | 7,2 μ L |
| Su | 11,2 μ L | " | 268,8 μ L |
| Toplam = | 23 μ L | " | 552 μ L |

Her bir tüpün hacmi toplam 25 µL olacaktır. Örneğin, 20 örnek varsa birkaç birim fazla yapılması sağlıklıdır. Bu nedenle 23-24 örnek üzerinden yapılması uygundur. Apendorf tüpüne öncelikle su konur ve sonra üzerine yukarıdaki kimyasallar eklenerek karışım solüsyonu elde edilir. Önce tampon en son ise *Taq* DNA polimeraz konur.

- Kısa bir vortex yapılır ve 2 µL DNA örneklerinin üzerine seri bir şekilde 23 µL karışım solüsyonu ilave edilir. Toplam hacim 25 µL olur.
- Ağızları iyice kapatılıp PCR aletine yerleştirilir. Program çalıştırılır.
- PCR'dan çıkarılan örnekler +4°C'da saklanır.

Bu işlemler sırasında bütün çalışmalar buz üzerinde yapılmalıdır. PCR'nun prensibi tekrarlanan 3 basamağa dayanır. Program aşağıdaki şekilde çalıştırılmıştır.

DNA üzerindeki proteinleri denatüre etmek için öncelikle 94°C'da 60 saniye ön ısıtma işlemi yapılır. Daha sonra;

Denatürasyon	94°C	20	saniye
Bağlanma	30°C	30	“ (primere göre değişik sıcaklıklar kullanılır)
Uzama	72°C	60	“

Bu işlemler 60 döngüden sonra;

Yarım kalan işlemlerin tamamlaması için 72°C'ta 8 dakika bekletildikten sonra, 4°C'da bekleme pozisyonuna getirilir.

Bu çalışmada kullanılan RAPD primerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. RAPD-PCR yönteminde kullanılan primerler

Primerin Adı	Baz Dizilişi
OPA ₁	CAG GCC CCT C
OPA ₁₂	TCG GCG ATA G
OPA ₁₉	CAA ACG TCG G
OPA ₂₀	GTT GCG ATC C
OPF ₈	GGG ATA TCG G
OPF ₁₅	CCA GTA CTC C
OPC ₁₀	TGT CTG GGT G
MA ₁	CCA GCA TCA G
MA ₂	TGA TGC TGT C
MA ₃	GGA AGT CCA C
MA ₄	GTC CAC ACG G
MA ₅	CCG GCA TAG A
MA ₆	GCG GTG ACT A
MA ₁₀	ACA TTT CTC CCC CAT CGT
BC ₃₄₀	GAG AGG CAC C
BC ₃₇₄	GGT CAA CCC T
UBC ₂₃₈	CTC TCC AGC A
UBC ₂₅₁	CTT GAC GGG G
P ₂₃₂	CCG CTT GTT G

PCR işleminden sonra DNA örnekleri agaroz jelde yürütülerek farklılıklarının olup olmadığı kontrol edilir. Bunun için DNA örnekleri % 1,3'lük Agaroz jelde, 95 voltta 1 saat yürütülmüştür (Örnekler üzerine 2 µL 6X gel yükleme tamponu –bromfenol blue- ilave edilip, 15 µL olarak kuyucuklara yüklenir). Deneyin kontrolü için, karışım solüsyonundan ayrıca jele yükleme yapılır. Elde edilen görüntülerin fotoğraf çekimleri bilgisayarlı görüntüleme sisteminde (UVP Laboratory Products) gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Mitoz Bölünme ve Kromozomlara Ait Bulgular

3.1.1. Bitki materyallerinden elde edilen bulgular

Yüksek gerilim hatlarının *Allium cepa* L. üzerine etkisi

Elektromanyetik alan oluşturan 380 kV'luk yüksek gerilim hattına belirli mesafelerde yetiştirilen *Allium cepa* L. soğanlarından elde edilen kök ucu hücrelerinde, gerilim hatlarına yaklaştıkça mitotik indekste artış meydana gelmiştir ($r=0,98$). Kontrol grubu ile 50 m mesafede yetiştirilen bitkilerin mitotik indeksinde istatistiksel olarak önemli bir fark gözlenmezken, 25, 10 ve 0 metrelik gruplarda mitotik indekste anlamlı artışlar gözlenmiştir (Çizelge 3.1). Diğer yandan, 50 m ile 25 m arasında ve 10 m ile 0 m arasında önemli bir fark yoktur. Fakat 50 ve 25 metrelik gruplar ile 10 ve 0 metrelik gruplar arasında anlamlı bir fark tespit edilmiştir.

Faz frekanslarına bakıldığında profazda, 0 metredeki frekans kontrole göre anlamlı şekilde azalırken, 25 m mesafede anlamlı bir artış gözlenmektedir. 50 ve 10 metrelik diğer iki uygulamada ise, kontrole göre bir artış olmakla birlikte, bu artış istatistiksel olarak önemli değildir. Metafaz ve anafaz frekansında, profazın aksine 50 ve 25 metrenin her ikisinde de bir azalma olmuş, fakat bu azalma sadece 25 metrelik mesafede istatistiksel olarak önemli çıkmıştır. Diğer yandan, metafazda, 10 ve 0 metrelerde artış olmakla birlikte, bu artış sadece 0 metrede istatistiksel olarak anlamlıdır. Anafazda da benzer bir durum söz konusu olup, 10 ve 0 metrelerde bir artış olduğu, fakat bunlardan sadece 0 metredeki artışın istatistiksel olarak önemli olduğu gözlenmiştir. Telofazda, kontrol grubu ile uygulama grupları arasında önemli bir farklılık tespit edilmemiştir (Çizelge 3.1).

Hattın geçtiği alan olan 0 m mesafede, hem bölünen hücreler içindeki anormallik frekanslarında hem de incelenen toplam hücreler içindeki anormallik frekanslarında kontrol ve diğer mesafelere göre önemli bir artış gözlenmektedir. 50, 25 ve 10

metrelik mesafelerdeki uygulama grupları ile kontrol grubu arasında ne bölünen hücreler içindeki anormal hücre frekanslarında ne de incelenen toplam hücreler içindeki anormal hücre frekanslarında önemli bir fark gözlenmemiştir. Bu kriterler bakımından 50, 25 ve 10 metrelik mesafelerde, kendi aralarında da önemli bir fark yoktur (Çizelge 3.2). Elektromanyetik alanların *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerinde oluşturdukları anormalliklerde, hem bölünen hücre içindeki frekansında hem de incelenen toplam hücre içindeki frekansında yüksek gerilim hatlarına yaklaştıkça bir artış olduğu gözlenmektedir (sırasıyla $r=0,76$ ve $r=0,79$).

Yüksek gerilim hatlarından oluşan elektromanyetik alanların, soğan kök ucu hücrelerinde oluşturdukları anormallikler, köprü, multipolarlık (çok kutupluluk), kalgın kromozom, fragment (kromozom parçaları), C-mitoz, yapışıklık, düzensiz metafaz ve interfazda mikronukleus (ilave küçük çekirdek) oluşumu şeklindedir (Çizelge 3.2). *Allium cepa* kök ucu hücrelerinde kontrol gruplarında gözlenen mitoz bölünme safhaları Resim 3.1'de, yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan elektromanyetik alanların soğan kök ucu hücrelerinde oluşturdukları anormallikler Resim 3.2'de gösterilmiştir. Kalgın kromozom ve mikronukleus oluşumu bütün uygulama gruplarında gözlenirken, yapışıklık ve düzensiz metafaz sadece 0 m mesafedeki uygulama grubunda gözlenmiştir. C-mitoz 10 m ve köprü oluşumu 25 m mesafeler dışındaki bütün uygulama gruplarında gözlenirken, fragment ve multipolarlık 0 ve 10 m mesafelerdeki uygulama gruplarında gözlenmiştir.

Anafaz-erken telofaz safhalarında yapılan inceleme sonucunda, bütün uygulama gruplarında köprü, fragment, kalgın kromozom ve multipolar anafaz ya da telofaza rastlanmıştır (Çizelge 3.3). Bu safhalarda gözlenen anormallik frekanslarında da yüksek gerilim hatlarına yaklaştıkça artış meydana gelmektedir ($r=0,96$). Anafaz-erken telofaz safhalarındaki inceleme sonucunda, kontrol grubu ile 50 ve 25 m mesafelerde gözlenen anormallik frekansları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark gözlenmez iken, 10 ve 0 m mesafelerde anlamlı farklılık tespit edilmiştir. Ayrıca 0 m ile 25 ve 50 m mesafeler arasında da anlamlı farklılık belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. 380 kV'luk yüksek gerilim hattına belirli mesafelerde yetiştirilen *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerinde mitotik faz frekansları ve mitotik indeks**

Mesafe (m)	Safhalar (%)*				Mitotik İndeks ± SH (%)*
	Profaz	Metafaz	Anafaz	Telofaz	
Kontrol	58,60 ^a	9,88 ^a	7,33 ^{ab}	24,19 ^{ab}	5,87±0,24 ^a
50	63,22 ^{ab}	8,39 ^{ab}	4,68 ^a	23,71 ^{ab}	6,20±0,24 ^{ab}
25	67,27 ^b	6,46 ^b	2,10 ^c	24,17 ^{ab}	6,66±0,25 ^b
10	61,11 ^a	10,43 ^a	7,59 ^b	20,87 ^b	7,38±0,26 ^c
0	41,38 ^c	18,87 ^c	13,61 ^d	26,15 ^a	7,42±0,26 ^c

* Değişik harflerle gösterilen değerler arasında anlamlı fark vardır (P<0,05)

** Her grup için 10000 hücre incelenmiştir

Çizelge 3.2. 380 kV'luk yüksek gerilim hattına belirli mesafelerde yetiştirilen *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerindeki anormallik tipleri ve frekansları**

Mesafe (m)	Bölünen Hücre Sayısı	Anormallik Tipleri (%)								Anormal Hücre / Bölünen Hücre ± SH (%)*	Anormal Hücre / Toplam Hücre ± SH (%)*
		Mn	Y	F	C	Dm	Mp	K	Kk		
Kontrol	587	-	-	-	-	-	0,17	0,34	0,17	0,68±0,34 ^a	0,04±0,02 ^a
50	620	0,01	-	-	0,16	-	-	0,32	0,16	0,64±0,32 ^a	0,05±0,02 ^a
25	666	0,02	-	-	0,30	-	-	-	0,30	0,60±0,30 ^a	0,06±0,02 ^a
10	738	0,02	-	0,41	-	-	0,14	0,41	0,27	1,23±0,41 ^a	0,11±0,03 ^a
0	742	0,08	0,94	0,54	0,67	0,27	0,94	1,08	1,08	5,52±0,84 ^b	0,48±0,07 ^b

*Değişik harflerle gösterilen değerler arasında anlamlı fark vardır (P<0,05)

** Her grup için 10000 hücre incelenmiştir

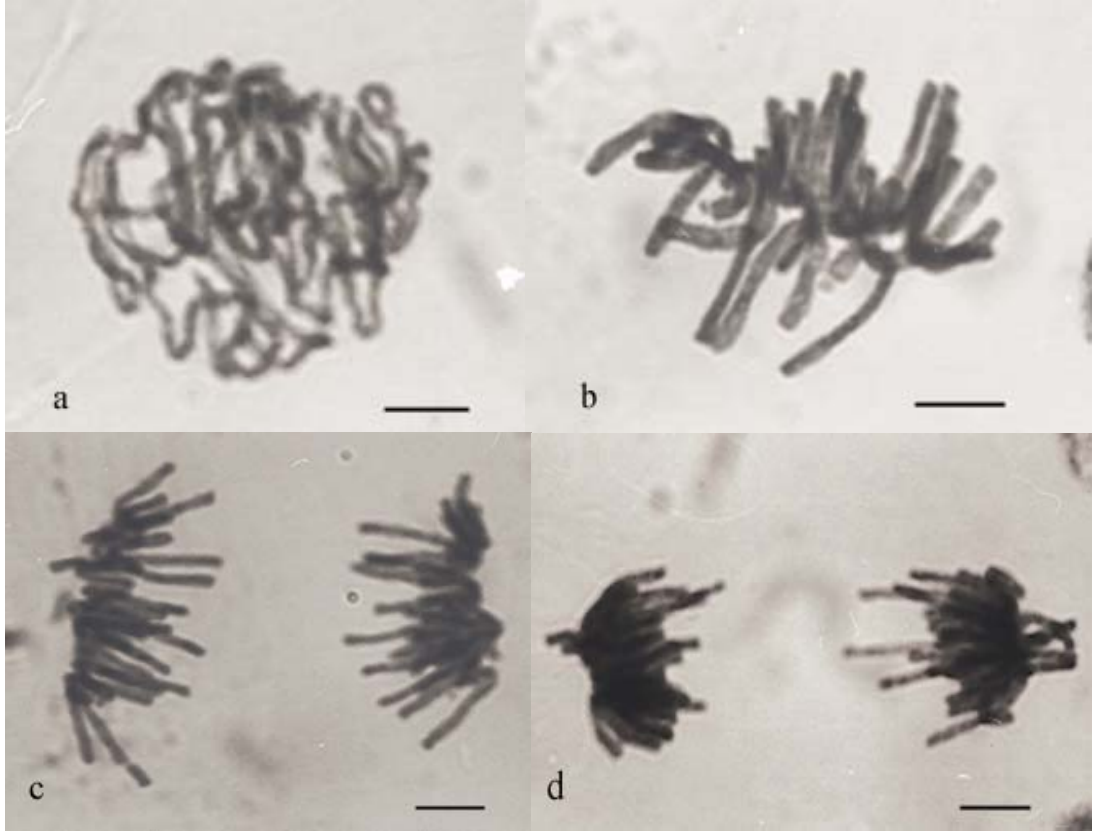
Mn: Mikronukleus, Y: Yapışıklık, F: Fragment, C: C-mitoz, Dm: Düzensiz metafaz, Mp: Multipolarlık, K: Köprü, Kk: Kalgın kromozom

Çizelge 3.3. 380 kV'luk yüksek gerilim hattına belirli mesafelerde yetiştirilen *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerinde anafaz-erken telofaz safhalarındaki anormallik tipleri ve anormal hücre frekansları

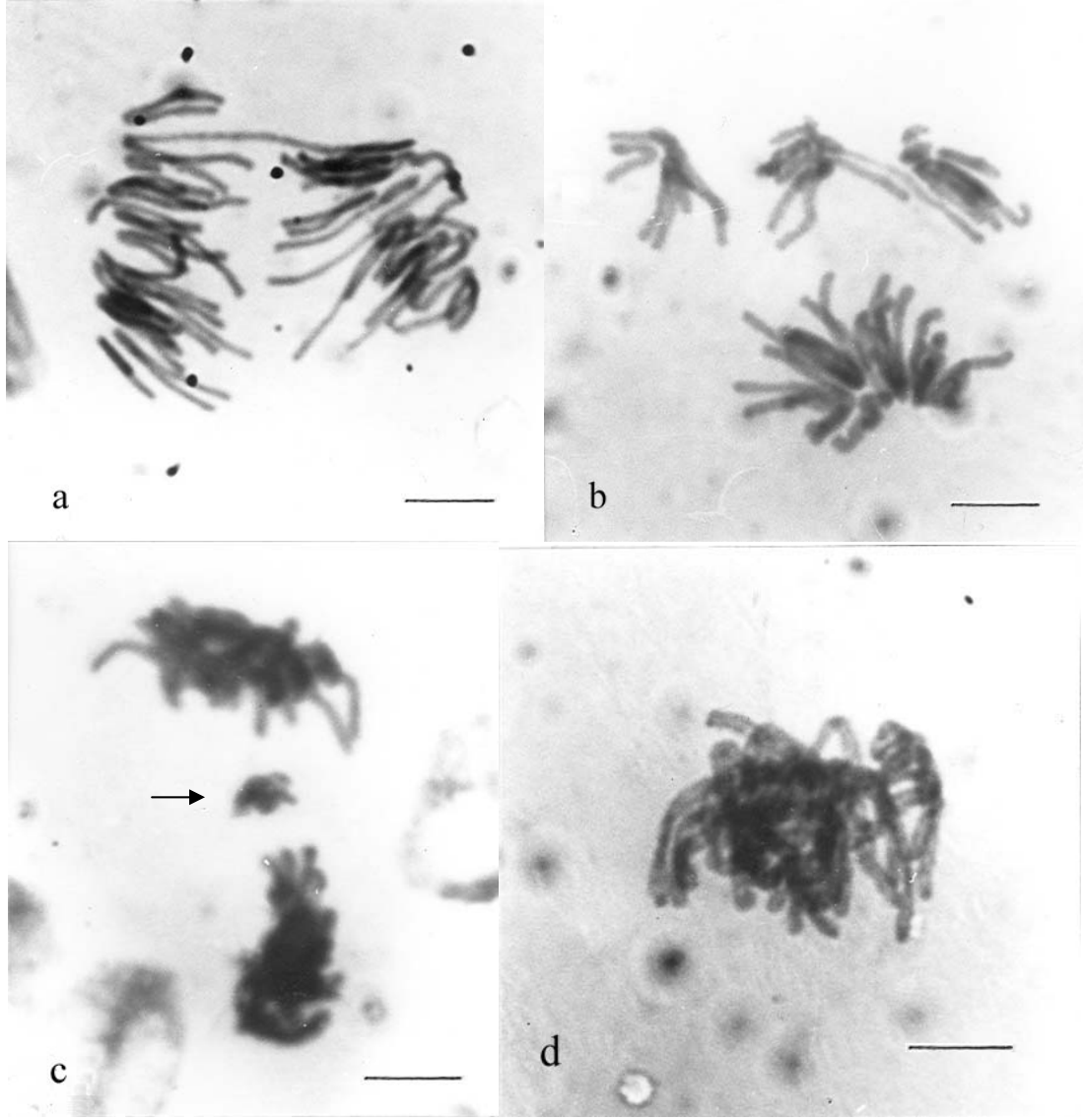
Mesafe (m)	İncelenen Hücre Sayısı	Anormallik Tipleri (%)				Anormal Hücre $\pm$ SH (%)*
		K	F	Kk	Mp	
Kontrol	500	0,40	0,40	-	0,80	1,60 $\pm$ 0,01 ^a
50	500	1,20	0,20	0,40	0,60	2,40 $\pm$ 0,01 ^{ab}
25	500	1,40	0,40	0,60	0,80	3,20 $\pm$ 0,01 ^{ab}
10	500	1,60	0,80	1,20	0,80	4,40 $\pm$ 0,01 ^{bc}
0	500	3,40	0,80	1,20	1,60	7,00 $\pm$ 0,01 ^c

*Değişik harflerle gösterilen değerler arasında anlamlı fark vardır (P<0,05)

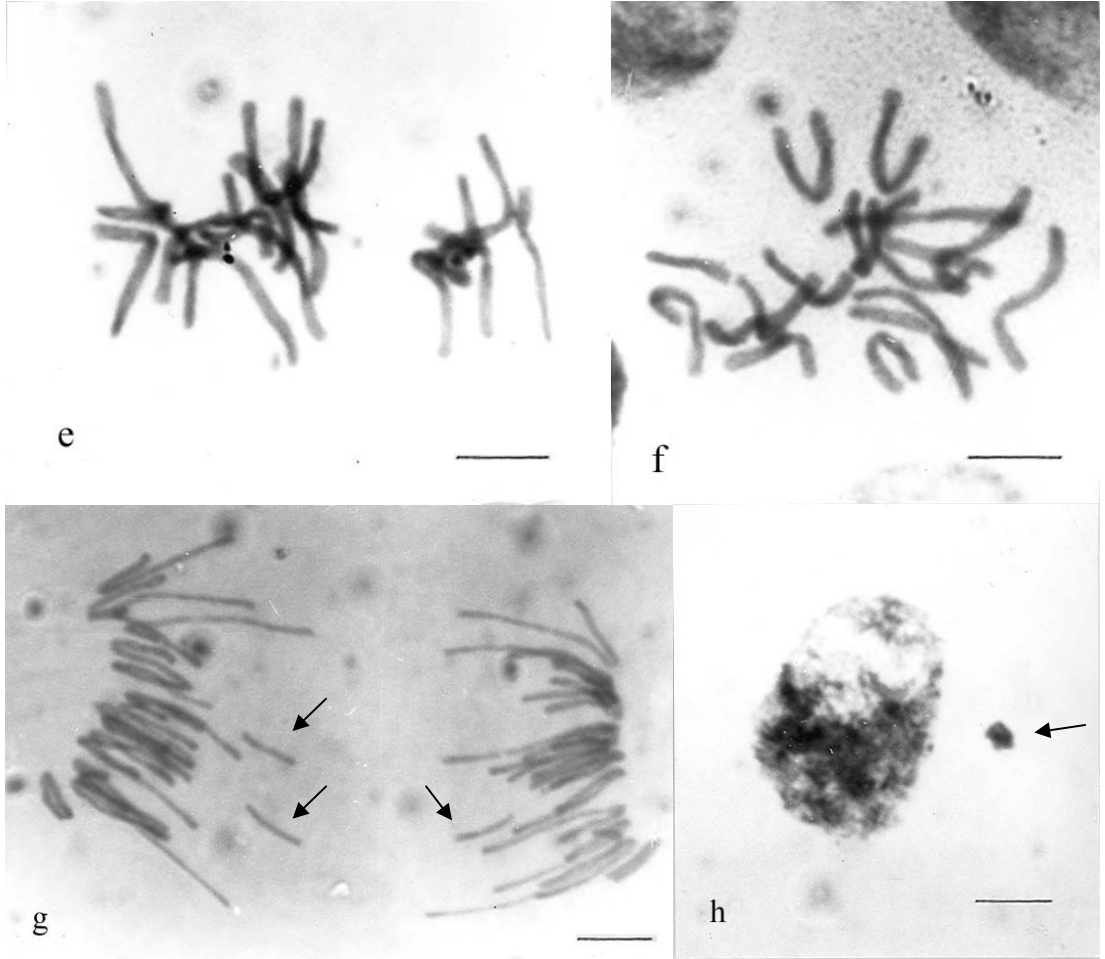
K: Köprü, F: Fragment, Kk: Kalgın kromozom, Mp: Multipolarlık



Resim 3.1. *Allium cepa* kök ucu hücreleri kontrol gruplarında gözlenen mitoz bölünme safhaları. Profaz (a), metafaz (b), anafaz (c), telofaz (d) (bar= 5 μ m)



Resim 3.2. Yüksek gerilim hatlarından meydana gelen elektromanyetik alanların, *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerinde oluşturduğu anormallikler. Köprü (a), multipolarlık (b), kalgın kromozom (c), yapışıklık (d) (bar= 5 μ m)



Resim 3.2. (devam) Yüksek gerilim hatlarından meydana gelen elektromanyetik alanların, *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerinde oluşturduğu anormallikler. Düzensiz metafaz (e), c-mitoz (f), fragment (g), interfazda mikronukleus (h) (bar= 5 μ m)

Yüksek gerilim hatlarının *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* üzerine etkisi

380 kV'luk yüksek gerilim hattının meydana getirdiği elektromanyetik alanlar, *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum*'da yüksek gerilim hattına yaklaştıkça, mitotik indekste bir artış meydana getirmiştir ($r=0,88$) (Çizelge 3.4). Elektromanyetik alanlar, 25, 10 ve 0 m mesafelerde mitotik indeksi kontrole nazaran önemli düzeyde arttırmıştır. Kontrol grubu ile 50 m mesafedeki uygulama grubu arasında ise istatistiksel olarak önemli bir farklılık yoktur. Yine, 25, 10 ve 0 metrelik uygulamalar arasında önemli bir farklılık gözlenmezken, bu uygulama grupları ile 50 m arasında da önemli farklılıklar gözlenmiştir. Faz frekanslarına bakıldığında profazda, bütün uygulama gruplarında, kontrol grubuna göre anlamlı bir artış gözlenirken, metafazda anlamlı bir azalma gözlenmiştir. Anafazda, kontrol grubu ile uygulama grupları arasında önemli bir fark belirlenmemiştir. Telofazda ise, 0 ve 50 m mesafelerde kontrol grubuna göre anlamlı bir azalma tespit edilirken, 25 ve 10 m mesafelerdeki frekans, kontrole göre önemli değildir.

Yüksek gerilim hatlarına belirli mesafelerden alınan tohumlardan elde edilen kök uçlarında, gerek bölünen hücre içindeki ve gerekse incelenen toplam hücre içindeki anormal hücre frekanslarında, kontrol grubuna göre bir artış meydana gelmiştir (Çizelge 3.5). Ancak bu artış sadece 10 ve 0 m mesafelerde anlamlıdır. Bölünen hücre içindeki anormal hücre frekanslarında, 0 m mesafedeki grup ile diğer bütün gruplar arasında anlamlı fark gözlenirken, incelenen toplam hücreler içindeki anormal hücre frekanslarında 0 m ile 10 m arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Hem bölünen hücre içindeki, hem de incelenen toplam hücreler içindeki anormal hücre frekanslarında yüksek gerilim hatlarına yaklaştıkça bir artış belirlenmiştir (sırasıyla, $r=0,92$ ve $r=0,95$).

Elektromanyetik alanların, *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* kök ucu hücrelerinde oluşturdukları anormallikler sırasıyla, fragment, kalgın kromozom, köprü, multipolarlık, yapışıklık, C-mitoz, düzensiz metafaz ve interfazda mikronukleus oluşumu şeklindedir. *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* kök ucu hücrelerinde kontrol gruplarında gözlenen mitoz bölünme safhaları Resim 3.3'te,

yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan elektromanyetik alanların kök ucu hücrelerinde oluşturdukları anormallikler Resim 3.4'te gösterilmiştir. Fragment ve mikronukleus oluşumu bütün uygulama gruplarında gözlenirken, yapışıklık ve düzensiz metafaz sadece 0 m mesafedeki uygulama grubunda gözlenmiştir. Diğer yandan, köprü ve kalgın kromozom oluşumları 0, 10 ve 25 m mesafelerdeki uygulama gruplarında, multipolarlık 0 ve 10 m mesafelerde, c-mitoz ise 0 ve 25 m mesafelerdeki uygulama gruplarında gözlenmiştir.

Anafaz-erken telofaz safhalarındaki inceleme sonucunda, yüksek gerilim hatlarına yaklaştıkça anormallik taşıyan hücre frekanslarında da kontrole göre bir artış meydana geldiği gözlenmiştir. Ancak bu artış sadece 10 ve 0 m mesafelerde anlamlıdır. Diğer yandan 0 m ile 10 m ve 10 m ile 25 m mesafelerdeki grupların kendi aralarında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. Anafaz-erken telofaz safhalarında, bütün uygulama gruplarında köprü, fragment, kalgın kromozom ve multipolar anafaz-telofaza rastlanmıştır (Çizelge 3.6). Bu safhalarda gözlenen anormal hücre frekanslarında artış mesafeye bağlıdır ($r=0,96$).

Çizelge 3.4. 380 kV'luk yüksek gerilim hattına belirli mesafelerden alınan *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* tohumlarından çimlendirilen kök ucu hücrelerinde mitotik faz frekansları ve mitotik indeks**

Mesafe (m)	Safhalar (%)*				Mitotik İndeks ± SH (%)*
	Profaz	Metafaz	Anafaz	Telofaz	
Kontrol	51,57 ^a	23,48 ^a	7,39 ^{ab}	17,56 ^a	11,50±0,32 ^a
50	60,70 ^{bc}	17,18 ^b	8,43 ^a	13,69 ^b	12,34±0,33 ^a
25	60,01 ^b	15,26 ^b	8,82 ^a	15,91 ^{ab}	13,83±0,35 ^b
10	62,59 ^{bc}	16,55 ^b	5,47 ^b	15,39 ^{ab}	14,62±0,35 ^b
0	63,96 ^c	16,40 ^b	6,04 ^b	13,60 ^b	13,90±0,35 ^b

*Değişik harflerle gösterilen değerler arasında anlamlı fark vardır ($P<0,05$)

** Her grup için 10000 hücre incelenmiştir

Çizelge 3.5. 380 kV'luk yüksek gerilim hattına belirli mesafelerden alınan *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* tohumlarından çimlendirilen kök ucu hücrelerindeki anormallik tipleri ve frekansları**

Mesafe (m)	Bölünen Hücre Sayısı	Anormallik Tipleri (%)								Anormal Hücre / Bölünen Hücre $\pm$ SH (%)*	Anormal Hücre / Toplam Hücre $\pm$ SH (%)*
		Mn	Y	F	C	Dm	Mp	K	Kk		
Kontrol	1150	-	0,09	-	-	-	-	-	-	0,09 $\pm$ 0,09 ^a	0,01 $\pm$ 0,01 ^a
50	1234	0,01	-	0,16	-	-	-	-	-	0,16 $\pm$ 0,11 ^a	0,03 $\pm$ 0,02 ^a
25	1383	0,01	-	0,07	0,07	-	-	0,07	0,15	0,36 $\pm$ 0,16 ^{ab}	0,06 $\pm$ 0,02 ^a
10	1462	0,07	-	0,21	-	-	0,21	0,27	0,21	0,90 $\pm$ 0,25 ^b	0,19 $\pm$ 0,04 ^b
0	1390	0,01	0,29	0,86	0,22	0,07	0,14	0,14	0,22	1,94 $\pm$ 0,37 ^c	0,28 $\pm$ 0,05 ^b

*Değişik harflerle gösterilen değerler arasında anlamlı fark vardır (P<0,05)

** Her grup için 10000 hücre incelenmiştir

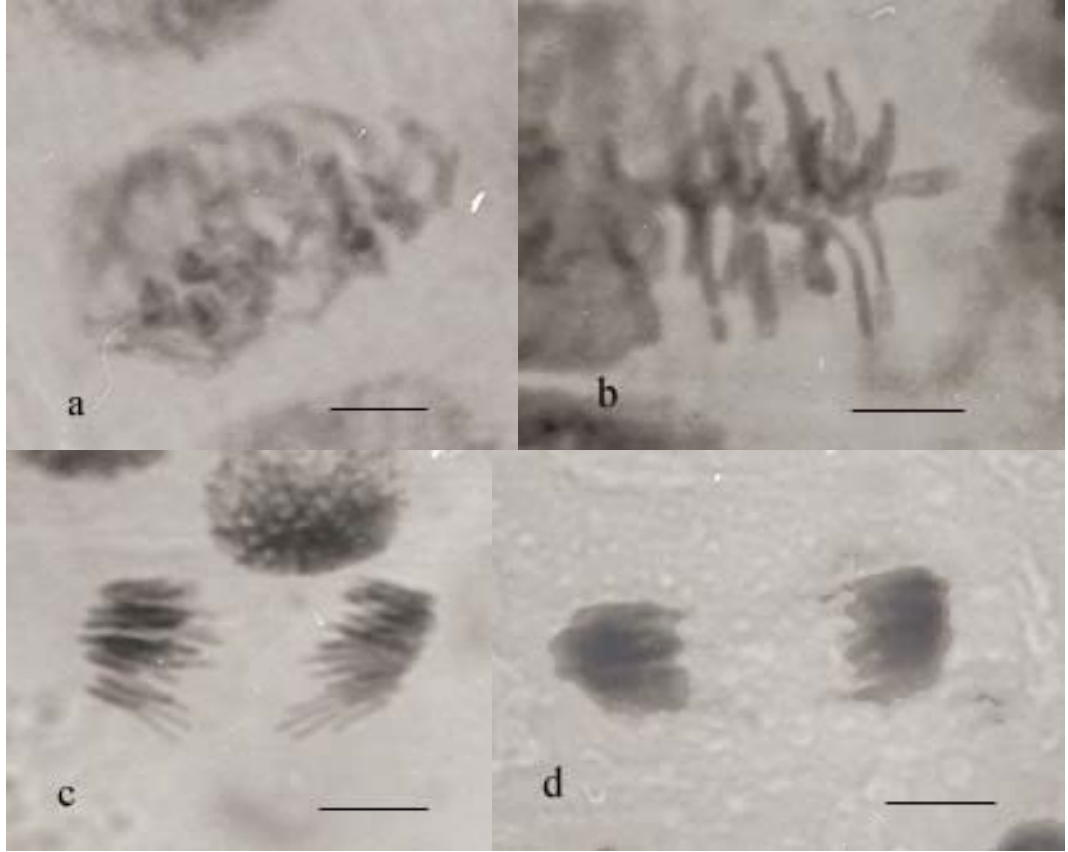
Mn: Mikronukleus, Y: Yapışıklık, F: Fragment, C: C-mitoz, Dm: Düzensiz metafaz, Mp: Multipolarlık, K: Köprü, Kk: Kalgın kromozom

Çizelge 3.6. 380 kV'luk yüksek gerilim hattına belirli mesafelerden alınan *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* tohumlarından çimlendirilen kök ucu hücrelerinde anafaz-erken telofaz safhalarındaki anormallik tipleri ve anormal hücre frekansları

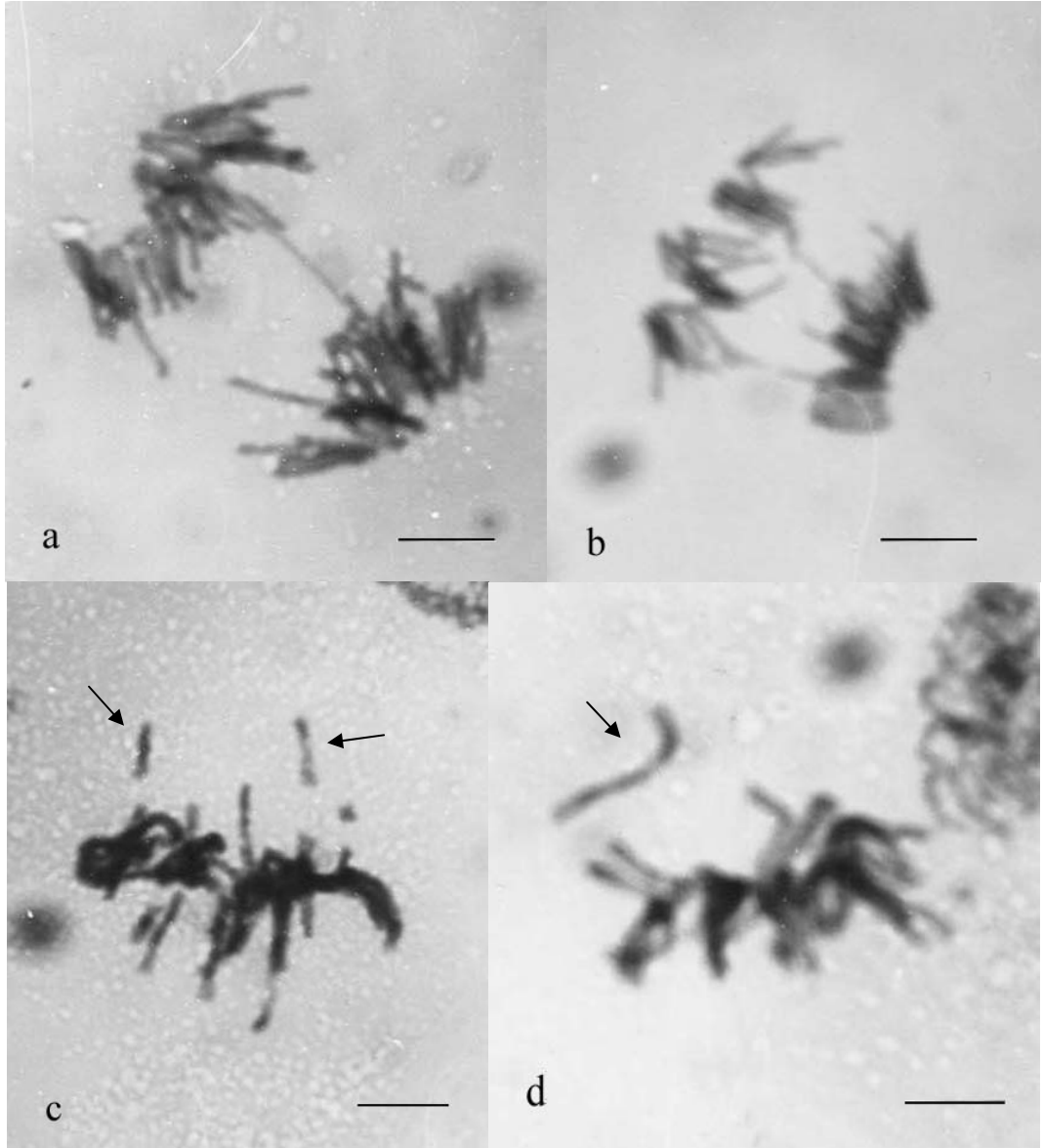
Mesafe (m)	İncelenen Hücre Sayısı	Anormallik Tipleri (%)				Anormal Hücre $\pm$ SH (%)*
		K	F	Kk	Mp	
Kontrol	500	0,60	0,80	-	-	1,40 $\pm$ 0,01 ^a
50	500	1,00	0,40	0,20	0,20	1,80 $\pm$ 0,01 ^a
25	500	1,00	0,60	0,40	0,20	2,20 $\pm$ 0,01 ^{ab}
10	500	2,00	0,60	0,40	1,20	4,20 $\pm$ 0,01 ^{bc}
0	500	1,40	1,60	0,60	1,60	5,20 $\pm$ 0,01 ^c

*Değişik harflerle gösterilen değerler arasında anlamlı fark vardır (P<0,05)

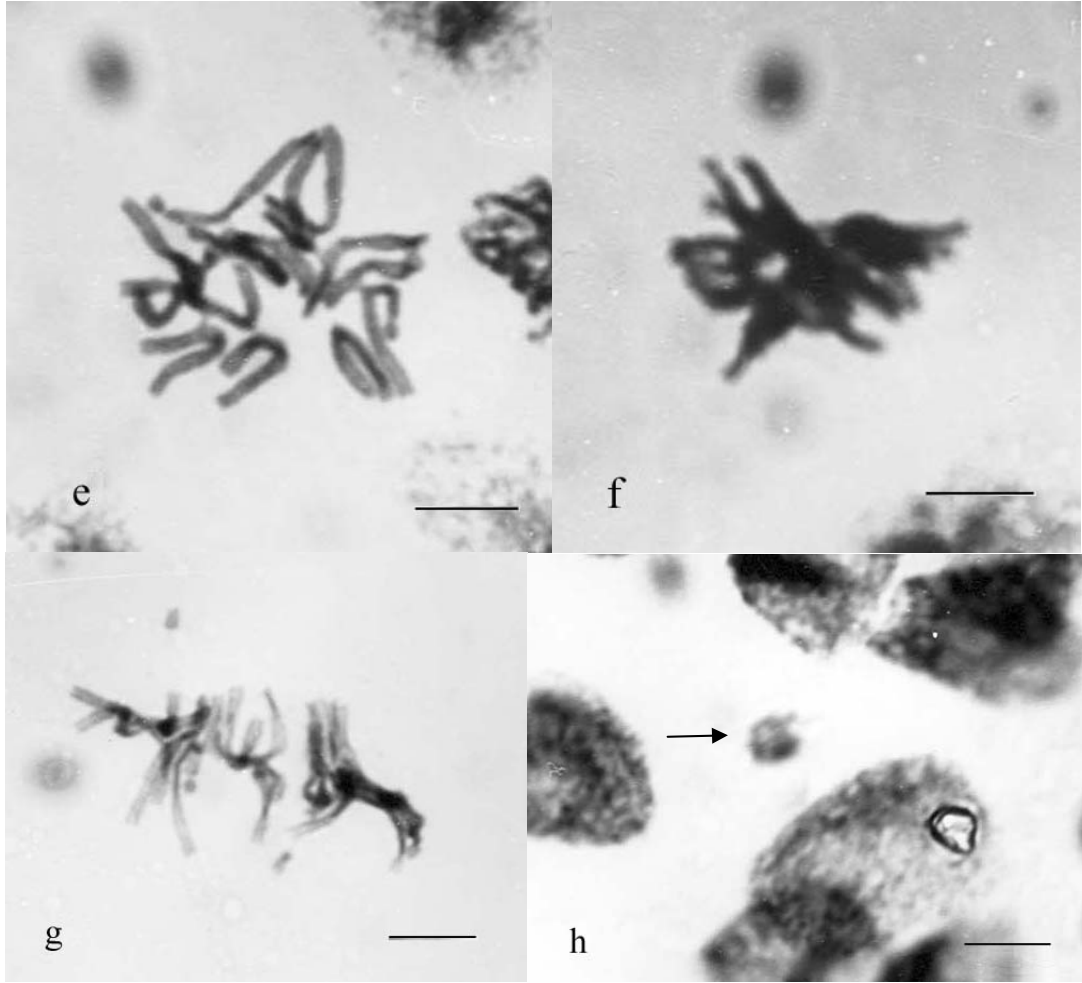
K: Köprü, F: Fragment, Kk: Kalgın kromozom, Mp: Multipolarlık



Resim 3.3. *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* kök ucu hücreleri kontrol gruplarında gözlenen mitoz bölünme safhaları. Profaz (a), metafaz (b), anafaz (c), telofaz (d) (bar= 5 μ m)



Resim 3.4. Yüksek gerilim hatlarından meydana gelen elektromanyetik alanların, *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* kök ucu hücrelerinde oluşturduğu anormallikler. Köprü (a), multipolarlık (b), fragment (c), kalgın kromozom (d) (bar= 5 µm)



Resim 3.4. (devam) Yüksek gerilim hatlarından meydana gelen elektromanyetik alanların, *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* kök ucu hücrelerinde oluşturduğu anormallikler. C-mitoz (e), yapışıklık (f), düzensiz metafaz (g), interfazda mikronukleus (h) (bar= 5 µm)

Elektrik alanlarının *Allium cepa* L. üzerine etkisi

Allium cepa kök ucu hücrelerinde 1000, 1500 ve 2000 V/m’lik elektrik alanı uygulaması sonucunda, her üç uygulamada da kontrole göre mitotik indekste anlamlı bir artış meydana gelmiştir (Çizelge 3.7). Elektrik alanının faz frekansları üzerine etkisi incelendiğinde, profazda sadece 1500 V/m’lik dozda kontrole göre anlamlı bir azalma gözlenirken, anafazda anlamlı bir artış gözlenmiştir. Bu dozdaki diğer mitotik safhalar ile, diğer iki dozdaki mitotik fazlarda, kontrol grubuna göre anlamlı bir fark tespit edilmemiştir.

Elektrik alanında yetiştirilen *A. cepa* kök ucu hücrelerinde çeşitli tipte kromozomal anormallikler de meydana gelmiştir. En çok görülen anormallikler, kalgın kromozomlar ve köprü oluşumudur. C-mitoz, fragment, yapışıklık ve düzensiz metafaz da gözlenen anormalliklerdendir. İnterfazda ayrıca mikronukleus oluşumları da gözlenmiştir (Resim 3.5). Mikronukleus ve kalgın kromozom oluşumları bütün uygulama gruplarında gözlenirken, düzensiz metafaz sadece 2000 V/m’lik uygulama grubunda gözlenmiştir. Yapışıklık ve köprü oluşumu 1000 ve 1500 V/m’lik uygulama gruplarında gözlenirken, fragment 1000 ve 2000 V/m’lik dozlarda, c-mitoz 1500 ve 2000 V/m’lik dozlardaki uygulama gruplarında gözlenmiştir. Bölünen hücrelerdeki anormal hücre frekansları, bütün uygulama dozlarında, kontrole göre önemli düzeyde yüksektir. İncelenen toplam hücre içindeki anormal hücre frekansları, 1000 V/m’lik dozda kontrole göre önemli bir farklılık göstermez iken, 1500 ve 2000 V/m’lik uygulamalarda bu frekans kontrole göre önemli düzeyde yüksektir (Çizelge 3.8).

Elektrik alanında yetiştirilen *A. cepa* kök ucu hücrelerinde anafaz-erken telofaz safhalarındaki anormallikler değerlendirildiğinde, doz arttıkça anormal hücrelerin frekansında da bir artış olduğu gözlenmiştir ($r=0,99$) (Çizelge 3.9). Bu artış, 1000 V/m’lik dozda kontrole göre önemli değilken, 1500 ve 2000 V/m’lik uygulamalarda kontrole göre önemli düzeydedir. Dozlar arasında önemli bir farklılık belirlenmemiştir. Anafaz-erken telofaz safhalarında yapılan inceleme sonucunda, bütün uygulama gruplarında köprü ve kalgın kromozomlara rastlanırken, multipolar

anafaz-telofaza 1500 ve 2000 V/m'lik dozlarda rastlanılmıştır. Fragment ve c-anafaz ise sadece 2000 V/m'lik dozda gözlenmiştir.

Çizelge 3.7. Elektrik alanında yetiştirilen *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerinde mitotik faz frekansları ve mitotik indeks**

Doz (v/m)	Safhalar (%)*				Mitotik İndeks ± SH (%)*
	Profaz	Metafaz	Anafaz	Telofaz	
Kontrol	63,18 ^a	14,14 ^a	5,58 ^a	17,10 ^a	8,42±0,28 ^a
1000	65,36 ^a	12,65 ^a	5,84 ^a	16,15 ^a	9,41±0,29 ^b
Kontrol	72,65 ^a	11,60 ^a	3,84 ^a	11,91 ^a	9,91±0,30 ^a
1500	66,79 ^b	10,98 ^a	7,68 ^b	14,55 ^a	10,93±0,31 ^b
Kontrol	52,60 ^a	17,76 ^a	9,04 ^a	20,60 ^a	5,97±0,24 ^a
2000	54,15 ^a	19,13 ^a	7,73 ^a	18,99 ^a	7,11±0,26 ^b

*Değişik harflerle gösterilen değerler arasında anlamlı fark vardır (P<0,05)

** Her grup için 10000 hücre incelenmiştir

Çizelge 3.8. Elektrik alanında yetiştirilen *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerindeki anormallik tipleri ve frekansları**

Doz (v/m)	Bölünen Hücre Sayısı	Anormallik Tipleri (%)							Anormal Hücre / Bölünen Hücre ± SH (%)*	Anormal Hücre / Toplam Hücre ± SH (%)*
		Mn	Y	C	Dm	F	K	Kk		
Kontrol	842	0,02	-	-	-	-	-	-	0,00±0,00 ^a	0,02±0,01 ^a
1000	941	0,01	0,11	-	-	0,21	0,11	0,32	0,75±0,28 ^b	0,08±0,03 ^a
Kontrol	991	-	-	-	-	-	-	0,10	0,10±0,10 ^a	0,01±0,01 ^a
1500	1093	0,01	0,18	0,09	-	-	0,46	0,37	1,10±0,32 ^b	0,13±0,04 ^b
Kontrol	597	-	-	-	-	-	0,17	-	0,17±0,17 ^a	0,01±0,01 ^a
2000	711	0,04	-	0,28	0,14	0,14	-	0,70	1,26±0,42 ^b	0,13±0,04 ^b

*Değişik harflerle gösterilen değerler arasında anlamlı fark vardır (P<0,05)

** Her grup için 10000 hücre incelenmiştir

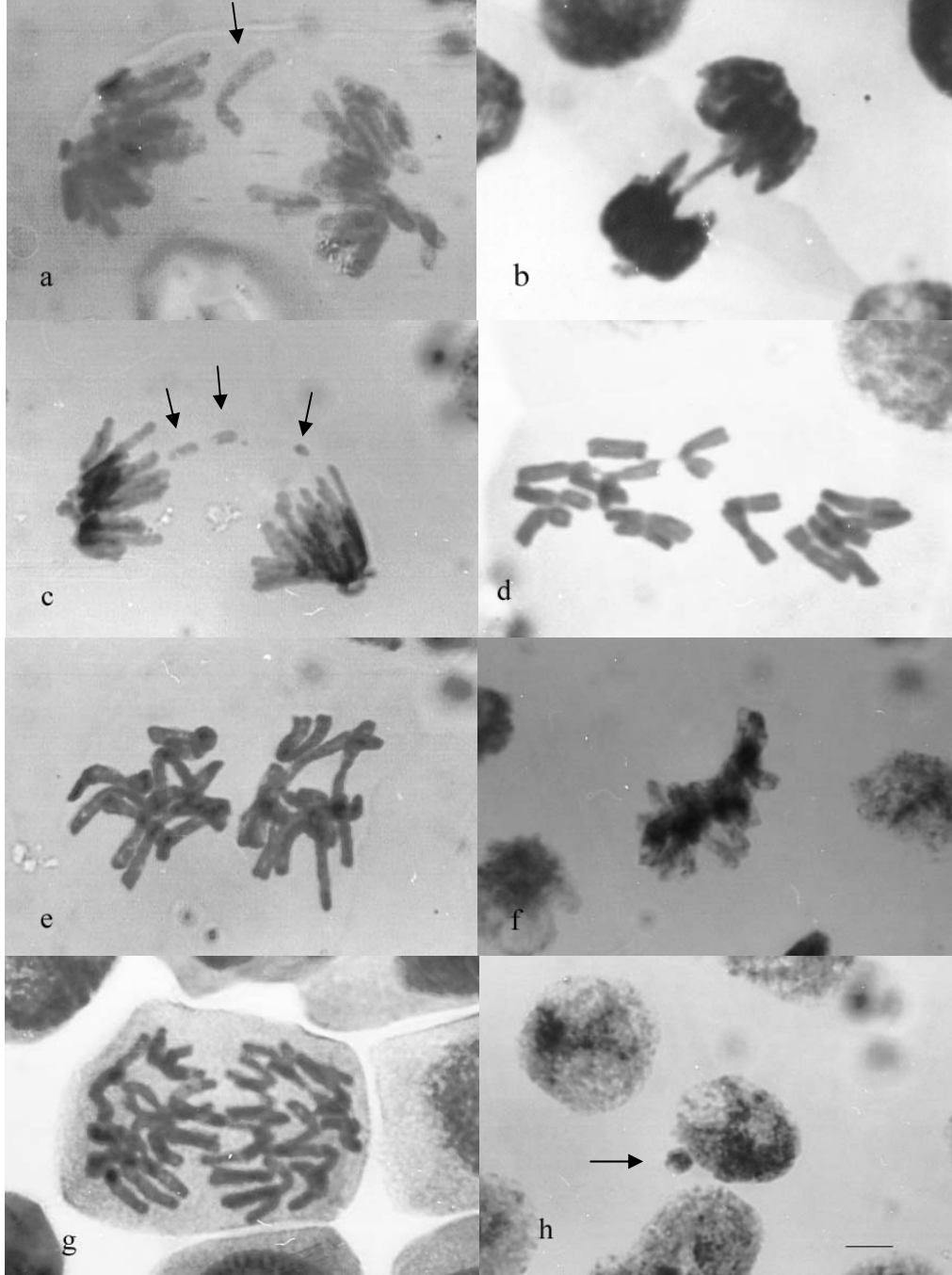
Mn: Mikronukleus, Y: Yapışıklık, C: C-mitoz, Dm: Düzensiz metafaz, F: Fragment, K: Köprü, Kk: Kalgın kromozom

Çizelge 3.9. Elektrik alanında yetiştirilen *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerinde anafaz-erken telofaz safhalarındaki anormallik tipleri ve anormal hücre frekansları

Doz (v/m)	İncelenen Hücre Sayısı	Anormallik Tipleri (%)					Anormal Hücre $\pm$ SH (%)*
		K	Kk	F	Mp	Ca	
Kontrol	500	0,20	0,20	-	-	-	0,40 $\pm$ 0,01 ^a
1000	500	0,80	0,80	-	-	-	1,60 $\pm$ 0,01 ^{ab}
1500	500	1,20	1,00	-	0,20	-	2,40 $\pm$ 0,01 ^b
2000	500	1,40	0,80	0,20	0,20	0,20	2,80 $\pm$ 0,01 ^b

*Değişik harflerle gösterilen değerler arasında anlamlı fark vardır (P<0,05)

K: Köprü, Kk: Kalgın kromozom, F: Fragment, Mp: Multipolarlık, Ca: C- anafaz



Resim 3.5. Elektrik alanlarının *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerinde oluşturduğu anormallikler. Kalgın kromozom (a), köprü (b), fragment (c), c-mitoz (d), düzensiz metafaz (e), yapışıklık (f), c-anafaz (g), interfazda mikronukleus (h) (bar= 5 μ m)

Manyetik alanların *Allium cepa* L. üzerine etkisi

Laboratuvar şartlarında oluşturulan manyetik alanlardan, 0,25 mT'lık doz *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerinde mitotik indeksi, kontrole göre önemli düzeyde arttırmıştır. 0,50 mT'lık dozda bir artış olmakla beraber, bu artış kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı değildir. 1 mT'lık dozda ise anlamlı bir azalma söz konusudur. 0,25, 0,5 ve 1 mT'lık dozlar arasında istatistiksel olarak da anlamlı farklılıklar bulunmaktadır (Çizelge 3.10). Manyetik alanlar *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerinde, doz artışına bağlı olarak mitotik indekste azalma meydana getirmiştir ($r=-0,71$).

Manyetik alan uygulanmış *A. cepa* L. kök ucu hücrelerinde profaz frekansı, uygulama gruplarında, kontrole göre önemli bir artış göstermiştir. Metafazda, sadece 0,25 mT'lık dozda anlamlı bir azalma gözlenirken, diğer iki dozdaki azalma istatistiksel olarak anlam taşımamaktadır. Anafazda uygulama dozları ile kontrol arasında önemli bir fark bulunmazken, telofaz frekansında bütün dozlarda kontrole göre anlamlı bir azalma belirlenmiştir (Çizelge 3.10).

Manyetik alanlar *A. cepa* L. kök ucu hücrelerinde, hem bölünen hücre içindeki ve hem de toplam incelenen hücre içindeki anormal hücre frekansında doza bağlı bir artış oluşturmuştur (sırasıyla $r=0,99$ ve $r=0,96$) (Çizelge 3.11). Anormal hücre frekansındaki bu artış 0,25 ve 0,50 mT'lık dozlarda kontrole göre istatistiksel olarak bir anlam ifade etmezken, 1 mT'lık dozdaki artış anlamlı bulunmuştur. Köprü oluşumu en çok gözlenen, mikronukleus ise ikinci sırada yer alan anormalliklerdir. Bu iki anormallik türü bütün uygulama gruplarında gözlenmiştir. Diğer yandan multipolarlık, fragment, kalgın kromozom ve düzensiz metafaz da gözlenen anormalliklerdendir (Resim 3.6). Kalgın kromozom sadece 0,50 mT'lık uygulama grubunda, düzensiz metafaz ise sadece 1 mT'lık uygulama grubunda gözlenmiştir. Fragment 0,25 ve 0,50 mT dozlarındaki uygulama gruplarında, multipolarlık ise 0,50 ve 1 mT dozlarındaki uygulama gruplarında gözlenmiştir.

Manyetik alanlarda yetiştirilen *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerinde, anafaz-erken telofaz safhalarındaki anormal hücre frekansı değerlendirildiğinde, 0,25 ve 0,50 mT'lık dozlarda meydana gelen artışın, kontrole göre istatistiksel olarak önemli olmadığı, fakat 1 mT'lık dozda anlamlı bir artışın olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3.12). Manyetik alanlara maruz kalan bitkilerin kök ucu hücrelerinde tespit edilen kromozomal anormalliklerde doza bağlı bir artış belirlenmiştir ($r=0,96$). Bütün dozlarda köprü oluşumu tespit edilmiştir. Kalgın kromozom 0,25 ve 1 mT'lık dozlarda, fragment 0,25 ve 0,50 mT'lık dozlarda, multipolarlık ise 0,50 ve 1 mT'lık dozlardaki uygulama gruplarında gözlenmiştir.

Çizelge 3.10. Manyetik alanda yetiştirilen *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerinde mitotik faz frekansları ve mitotik indeks**

Doz (mT)	Safhalar (%)*				Mitotik İndeks ± SH (%)*
	Profaz	Metafaz	Anafaz	Telofaz	
Kontrol	39,95 ^a	22,13 ^a	12,41 ^a	25,51 ^a	7,41±0,26 ^a
0,25	48,98 ^b	16,97 ^b	13,50 ^a	20,55 ^b	8,37±0,28 ^b
0,50	47,44 ^b	20,63 ^{ab}	13,40 ^a	18,53 ^b	7,61±0,27 ^a
1,00	50,70 ^b	19,97 ^{ab}	14,98 ^a	14,35 ^c	6,41±0,25 ^c

*Değişik harflerle gösterilen değerler arasında anlamlı fark vardır ($P<0,05$)

** Her grup için 10000 hücre incelenmiştir

Çizelge 3.11. Manyetik alanda yetiştirilen *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerindeki anormallik tipleri ve frekansları**

Doz (mT)	Bölünen Hücre Sayısı	Anormallik Tipleri (%)						Anormal Hücre / Bölünen Hücre $\pm$ SH (%)*	Anormal Hücre / Toplam Hücre $\pm$ SH (%)*
		Mn	Dm	F	Mp	K	Kk		
Kontrol	741	-	-	0,14	-	0,14	-	0,28 $\pm$ 0,19 ^a	0,02 $\pm$ 0,01 ^a
0,25	837	0,03	-	0,24	-	0,36	-	0,60 $\pm$ 0,27 ^{ab}	0,08 $\pm$ 0,03 ^{ab}
0,50	761	0,02	-	0,13	0,26	0,26	0,13	0,78 $\pm$ 0,32 ^{ab}	0,08 $\pm$ 0,03 ^{ab}
1,00	641	0,04	0,16	-	0,62	0,78	-	1,56 $\pm$ 0,49 ^b	0,14 $\pm$ 0,04 ^b

*Değişik harflerle gösterilen değerler arasında anlamlı fark vardır (P<0,05)

** Her grup için 10000 hücre incelenmiştir

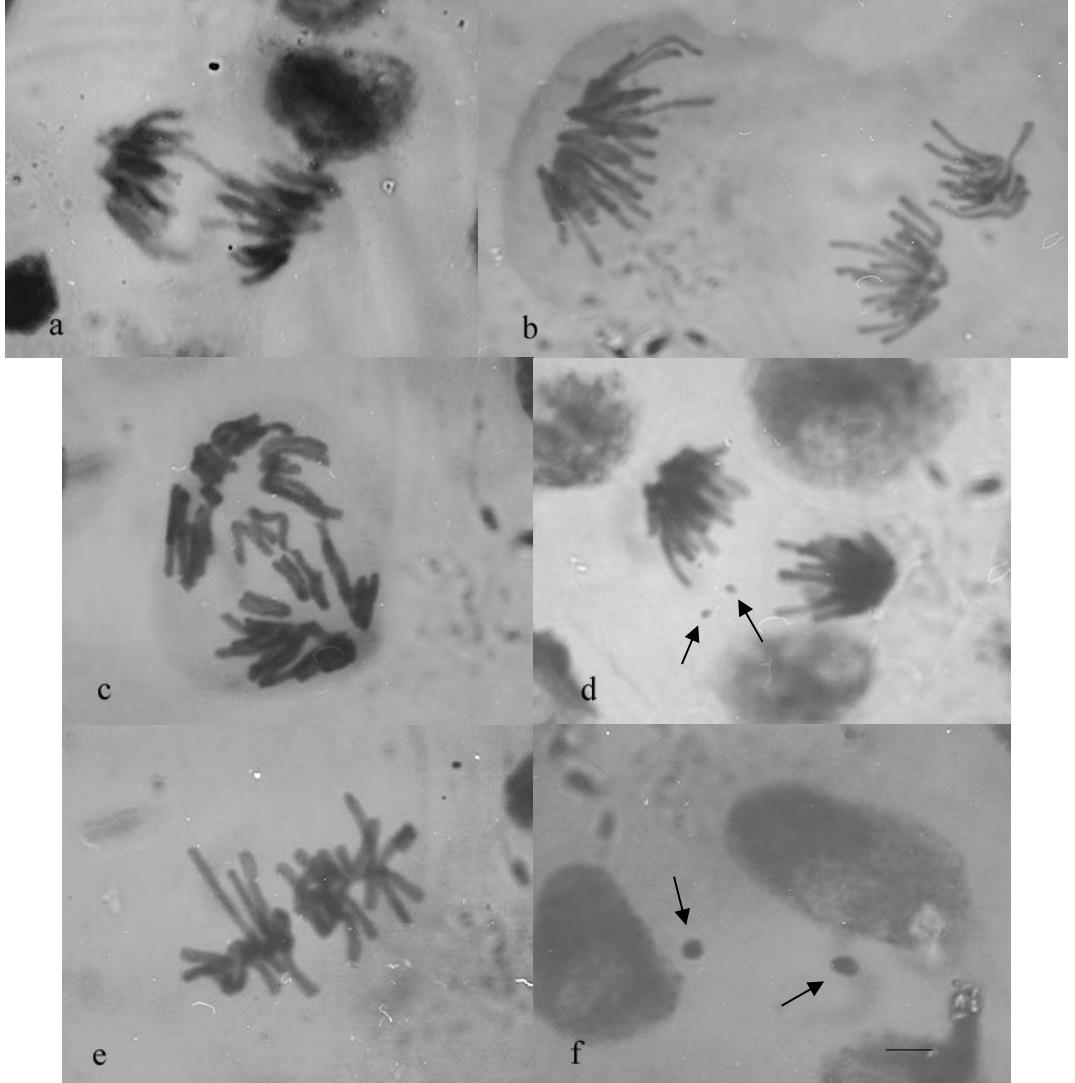
Mn: Mikronukleus, Dm: Düzensiz metafaz, F: Fragment, Mp: Multipolarlık, K: Köprü, Kk: Kalgın kromozom

Çizelge 3.12. Manyetik alanda yetiştirilen *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerinde anafaz-erken telofaz safhalarındaki anormallik tipleri ve anormal hücre frekansları

Doz (mT)	İncelenen Hücre Sayısı	Anormallik Tipleri (%)				Anormal Hücre $\pm$ SH (%)*
		K	Kk	F	Mp	
Kontrol	500	0,60	0,20	-	-	0,80 $\pm$ 0,01 ^a
0,25	500	1,20	0,20	0,40	-	1,80 $\pm$ 0,01 ^{ab}
0,50	500	0,80	-	0,40	0,60	1,80 $\pm$ 0,01 ^{ab}
1,00	500	1,60	0,20	-	1,00	2,80 $\pm$ 0,01 ^b

*Değişik harflerle gösterilen değerler arasında anlamlı fark vardır (P<0,05)

K : Köprü, Kk : Kalgın kromozom, F : Fragment, Mp : Multipolarlık



Resim 3.6. Manyetik alanların *Allium cepa* L. kök ucu hücrelerinde oluşturduğu anormallikler. Köprü (a), multipolarlık (b), kalgın kromozom (c), fragment (d), düzensiz metafaz (e), interfazda mikronukleus (f) (bar= 5 μ m)

3.1.2. İnsan lenfosit kültürlerinden elde edilen bulgular

Elektrik alanlarının kültürdeki insan lenfositleri üzerine etkisi

Laboratuvar koşullarında oluşturulan 1000, 1500 ve 2000 V/m’lik elektrik alanları, insan lenfosit kültürlerinde replikasyon indeksinde (RI) doza bağlı olarak bir artış meydana getirmişse de ($r=0,61$), bu artış istatistiksel olarak anlamlı değildir (Çizelge 3.13). Bunun aksine, kullanılan elektrik alanları, mitotik indekste (MI) artışlara neden olmuştur. 1000 V/m’lik uygulama ile kontrol arasında önemli bir fark gözlenmezken, 1500 V/m ve 2000 V/m’lik uygulamalarda, kontrol grubuna göre önemli bir artış gözlenmektedir. Ancak uygulama dozları arasında önemli bir fark gözlenmemiştir.

Uygulanan elektrik alanları, kardeş kromatid değişimleri (KKD) sayısında artışlara neden olmuştur (Çizelge 3.13) (Resim 3.7). Bu uygulamalarda, hücre başına düşen kardeş kromatid değişimlerinde doza bağlı bir artış ($r=0,87$) gözlenmiş olup, bu artış bütün uygulama gruplarında kontrole göre istatistiksel olarak da anlamlıdır. 2000 V/m’lik doz ile diğer dozlar arasında herhangi bir fark olmadığı tespit edilmiştir. 1000 V/m ile 1500 V/m arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır. Kontrol grubunda 2-9 arasında KKD gözlenirken, elektrik alan uygulamalarında bu sayı 5-17’ye kadar çıkabilmektedir.

Lenfosit kültürlerinde üç farklı elektrik alanı uygulandığında, doz arttıkça, anormal hücre frekansı ve hücre başına düşen kromozomal anormallik frekansında bir artış gözlenmiştir (sırasıyla, $r=0,96$, $r=0,97$) (Çizelge 3.14). Uygulama gruplarındaki bu artış, kontrole göre önemli düzeydedir. Anormal hücre frekansında 1000 V/m ile 2000 V/m arasında da anlamlı bir fark görülmektedir. Hücre başına düşen kromozomal anormallik frekansları bakımından uygulama dozları arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak bir önem ifade etmemektedir. Uygulanan elektrik alanları, kültürdeki insan lenfositlerinde kromatid ve kromozom kırığı, kardeş kromatidlerde birleşme ve disentrik kromozom şeklinde anormallikler meydana

getirmiştir (Resim 3.8). Kromozom kırığı yalnızca 1500 V/m'lik uygulama dozunda gözlenirken, diğer anormallikler bütün dozlarda gözlenmiştir.

Çizelge 3.13. Elektrik alanlarının insan lenfosit kültürlerinde kardeş kromatid değişimi, replikasyon indeksi ve mitotik indeks üzerine etkileri**

Doz (v/m)	Min-Mak KKD	KKD/Hücre ± SH*	M ₁	M ₂	M ₃	RI ± SH*	MI ± SH (%)*
Kontrol	2 – 9	4,68±0,23 ^a	40	57	103	2,32±0,05 ^a	5,50±0,51 ^a
1000	2 – 17	6,88±0,47 ^b	35	85	80	2,23±0,05 ^a	6,50±0,55 ^{ab}
1500	5 – 16	8,84±0,38 ^c	33	64	103	2,35±0,05 ^a	7,05±0,57 ^b
2000	4 – 17	7,70±0,43 ^{bc}	26	52	122	2,48±0,05 ^a	8,10±0,61 ^b

*Değişik harflerle gösterilen değerler arasında anlamlı fark vardır (P<0,05)

** Her grupta KKD için 50, RI için 200, MI için 2000 hücre incelenmiştir

KKD : Kardeş kromatid değişimi, RI : Replikasyon indeksi, MI : Mitotik indeks

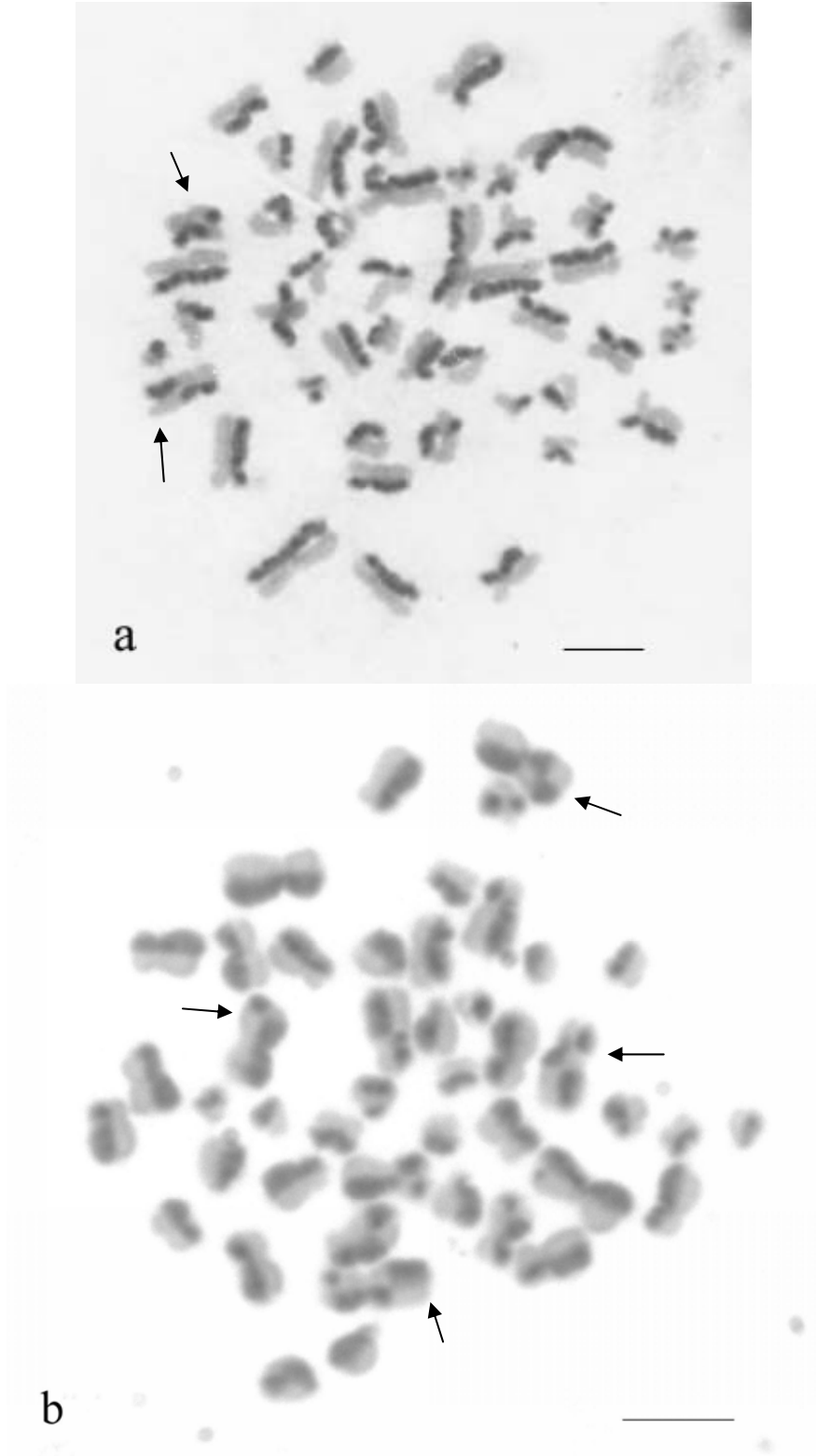
Çizelge 3.14. Elektrik alanlarının insan lenfosit kültürlerinde oluşturduğu kromozomal anormallikler**

Doz (v/m)	Anormallikler				Anormal Hücre ± SH (%)*	KA/Hücre ± SH*
	Ktk	Kzk	Kkb	Dk		
Kontrol	-	-	3	-	1,50±0,86 ^a	0,015±0,01 ^a
1000	7	-	3	4	5,50±1,61 ^b	0,070±0,02 ^b
1500	5	3	3	4	6,50±1,74 ^{bc}	0,075±0,02 ^b
2000	9	-	7	9	11,50±2,26 ^c	0,125±0,02 ^b

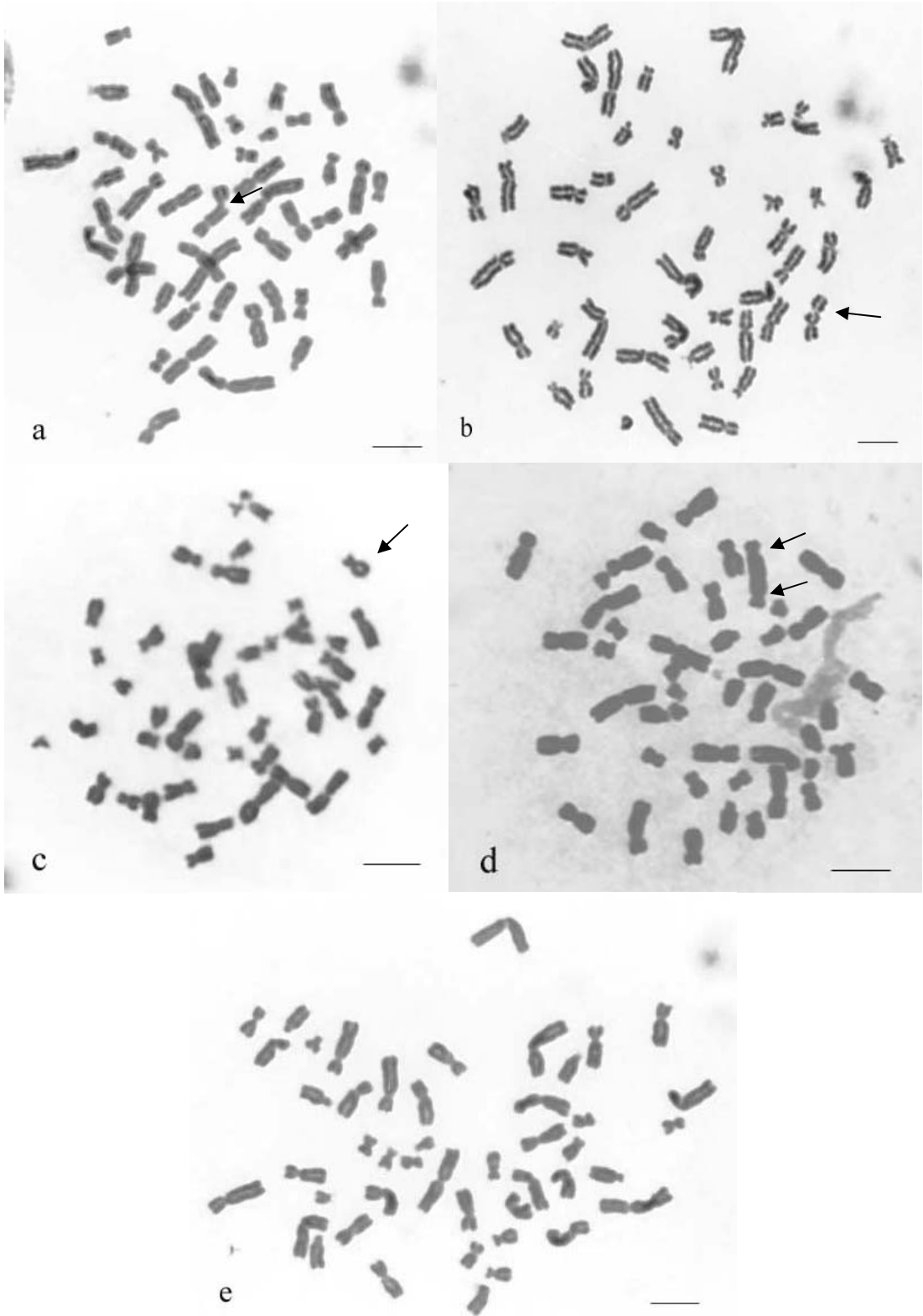
*Değişik harflerle gösterilen değerler arasında anlamlı fark vardır (P<0,05)

** Her grup için 200 hücre incelenmiştir

Ktk : Kromatid kırığı, Kzk : Kromozom kırığı, Kkb : Kardeş kromatidlerde birleşme, Dk : Disentrik kromozom, KA : Kromozomal anormallik



Resim 3.7. Elektrik alanlarına maruz kalan insan lenfosit kültürlerinde kardeş kromatid değişimleri. Kontrol (a), uygulama grubu (b) (bar= 5 µm)



Resim 3.8. Elektrik alanlarının insan lenfosit kültürlerinde oluşturduğu anormallikler. Kromatid kırığı (a), kromozom kırığı (b), kardeş kromatidlerde birleşme (c), disentrik kromozom (d), kontrol (e) (bar= 5 µm)

Manyetik alanların kültürdeki insan lenfositleri üzerine etkisi

Laboratuvarıda oluşturulan manyetik alanlar, insan lenfosit kültürlerinde replikasyon indeksinde doza bağlı olarak bir miktar azalmaya neden olmuşsa da ($r=-0,32$), bu azalma istatistiksel olarak önemli değildir. Diğer yandan manyetik alanlar, mitotik indekste kontrole nazaran bir artış meydana getirmiştir. Bu artış 0,25 mT'lık dozda istatistiksel olarak anlamlı iken, 0,50 ve 1 mT'lık dozlardaki artış istatistiksel olarak anlamlı değildir (Çizelge 3.15). Doz artışı ile mitotik indeks arasında bir ilişki görülmemektedir ($r=0,08$).

Uygulanan manyetik alanlarda, hücre başına düşen kardeş kromatid değişimlerinin sayısında doza bağlı bir artış ($r=0,95$) gözlenmiştir (Çizelge 3.15) (Resim 3.9). Bu artışlar, kontrol grubu ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. 0,25 mT'lık doz ile 0,50 ve 1 mT'lık dozlar arasında da anlamlı bir artış bulunmuştur. Ancak, 0,50 ve 1 mT'lık dozlar arasında anlamlı bir fark yoktur.

Manyetik alan uygulanan lenfosit kültürlerinde, uygulanan doz arttıkça anormal hücre frekansında da bir artış meydana gelmiştir ($r=0,99$). Benzer şekilde hücre başına düşen kromozomal anormallik frekansı da artmıştır ($r=0,99$). Bu artışlar, 0,25 mT'lık uygulama grubunda kontrole göre anlamlı değilken, 0,50 ve 1 mT'lık diğer iki dozda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 3.16). Hücre başına düşen kromozomal anormallik frekansı bakımından, 1 mT'lık doz ile 0,25 mT'lık doz arasında da anlamlı bir fark söz konusudur.

Uygulanan manyetik alanlar, insan lenfositlerinde kromatid ve kromozom kırığı, fragment, disentrik kromozomlar ve kardeş kromatidlerde birleşme şeklinde anormallikler meydana getirmiştir (Resim 3.10). Kromatid ve kromozom kırığı ile fragmentler bütün uygulama gruplarında gözlenirken, disentrik kromozomlar ve kardeş kromatidlerde birleşme 0,50 ve 1 mT'lık uygulama gruplarında gözlenmiştir (Çizelge 3.16).

Çizelge 3.15. Manyetik alanların insan lenfosit kültürlerinde kardeş kromatid değişimi, replikasyon indeksi ve mitotik indeks üzerine etkileri**

Doz (mT)	Min-Mak KKD	KKD/Hücre ± SH*	M ₁	M ₂	M ₃	RI ± SH*	MI ± SH (%)*
Kontrol	1-8	3,20±0,24 ^a	42	76	82	2,20±0,76 ^a	4,85±0,48 ^a
0,25	2-16	5,28±0,41 ^b	42	74	84	2,21±0,77 ^a	7,65±0,59 ^b
0,50	2-17	6,68±0,45 ^c	61	75	64	2,02±0,79 ^a	6,20±0,54 ^{ab}
1,00	4-13	7,76±0,35 ^c	47	75	78	2,16±0,78 ^a	5,85±0,52 ^a

*Değişik harflerle gösterilen değerler arasında anlamlı fark vardır (P<0,05)

** Her grupta KKD için 50, RI için 200, MI için 2000 hücre incelenmiştir

KKD : Kardeş kromatid değişimi, RI : Replikasyon indeksi, MI : Mitotik indeks

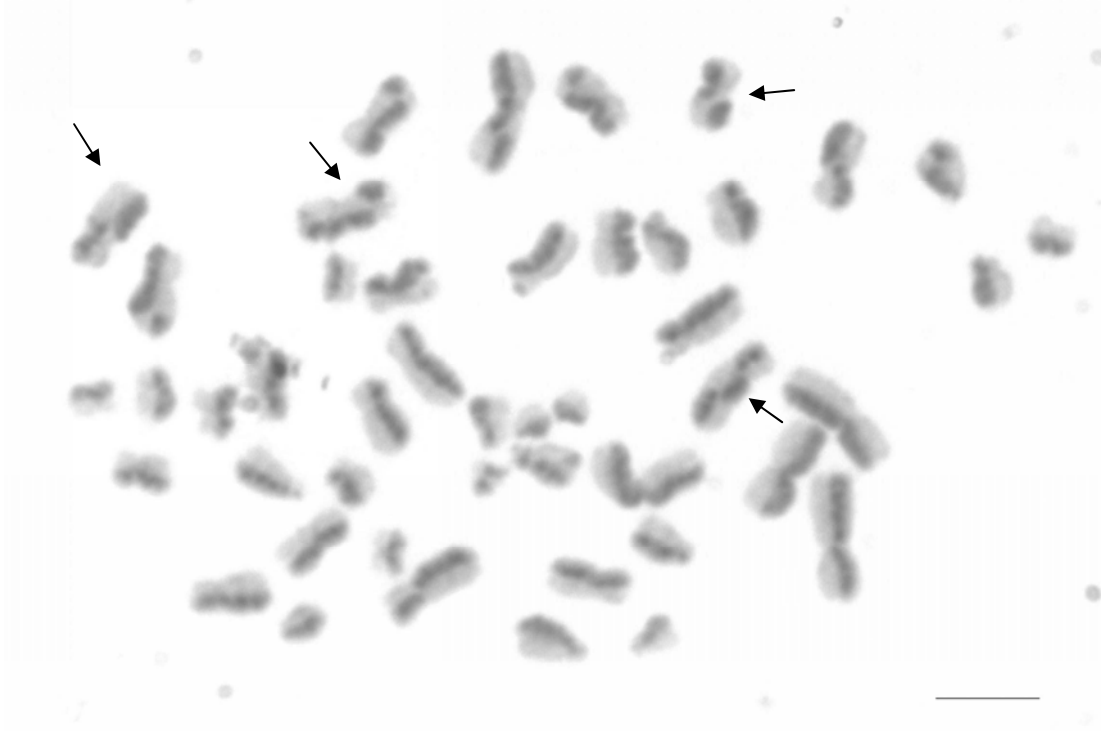
Çizelge 3.16. Manyetik alanların insan lenfosit kültürlerinde oluşturduğu kromozomal anormallikler**

Doz (mT)	Anormallikler					Anormal Hücre ± SH (%)*	KA/Hücre ± SH*
	Ktk	Kzk	F	Kkb	Dk		
Kontrol	1	-	2	-	1	2,00±0,99 ^a	0,020±0,010 ^a
0,25	5	3	3	-	-	5,00±1,54 ^{ab}	0,055±0,016 ^{ab}
0,50	7	1	3	1	1	6,50±1,74 ^b	0,065±0,017 ^{bc}
1,00	15	1	5	1	2	10,00±2,12 ^b	0,120±0,023 ^c

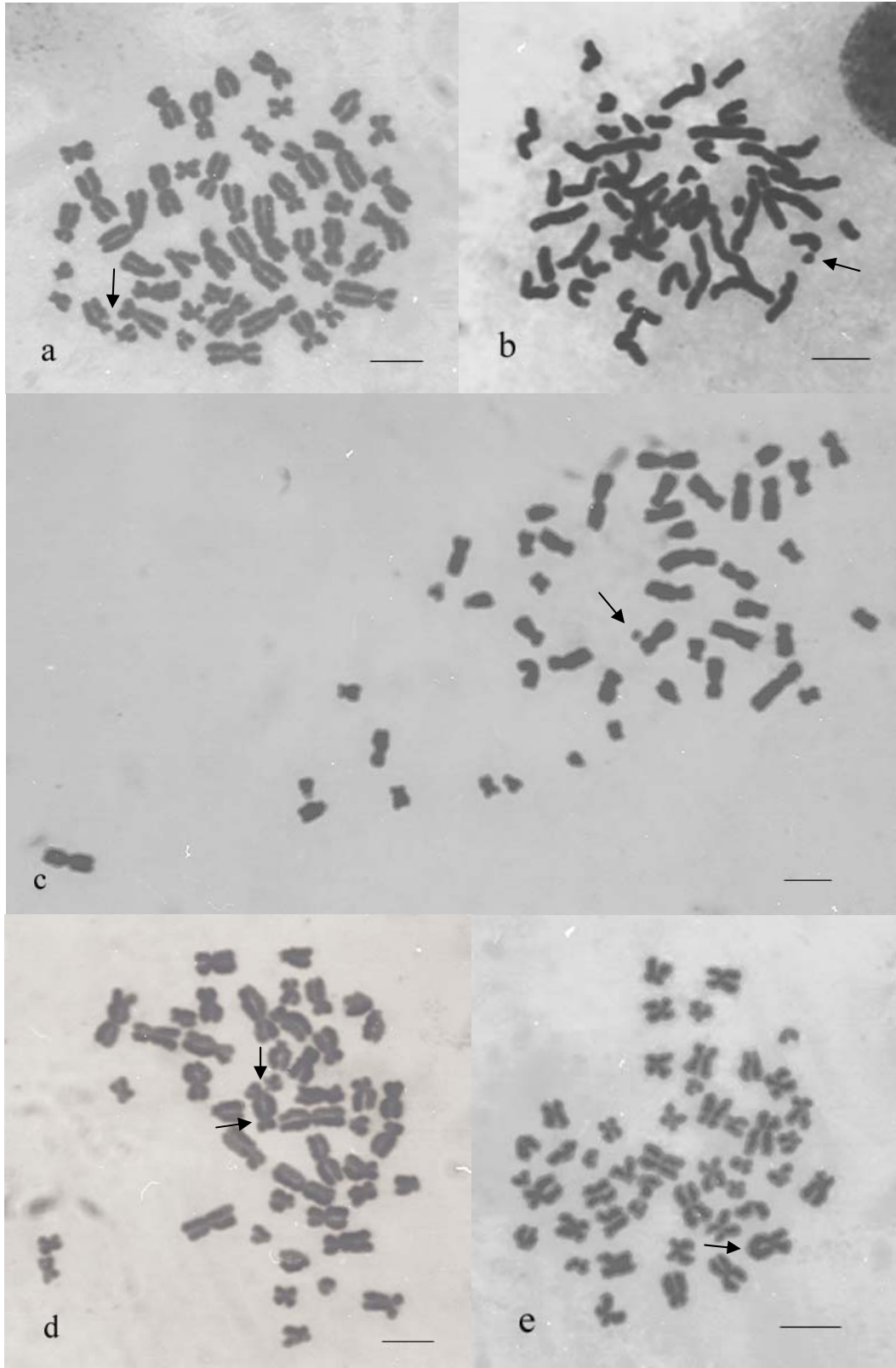
*Değişik harflerle gösterilen değerler arasında anlamlı fark vardır (P<0,05)

** Her grup için 200 hücre incelenmiştir

Ktk : Kromatid kırığı, Kzk : Kromozom kırığı, F : Fragment, Kkb : Kardeş kromatidlerde birleşme, Dk : Disentrik kromozom, KA : Kromozomal anormallik



Resim 3.9. Manyetik alanlara maruz kalan insan lenfosit kültürlerinde kardeş kromatid değişimleri (bar= 5 μm)



Resim 3.10. Manyetik alanların insan lenfosit kültürlerinde oluşturduğu anormallikler. Kromatid kırığı (a), kromozom kırığı (b), fragment (c), disentrik kromozom (d) ve kardeş kromatidlerde birleşme (e) (bar= 5 μ m)

3.2. DNA Çalışmalarında Elde Edilen Bulgular

Ankara Gölbaşı'ndan geçen yüksek gerilim hatlarına belirli mesafelerden farklı bitki türlerinden toplanan yapraklardan elde edilen örneklerle verilen numaralardan, 1-5 arası *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris*, 6-10 arası *Anchusa leptofilla*, 11-15 arası *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* ve 16-20 arası *Sanguisorba minor* bitkilerine ait örnekleri temsil etmektedir. Görüntülenen DNA örneklerinden 1, 6, 11, 16 numaralı örnekler 0 m, 2, 7, 12, 17 numaralılar 10 m, 3, 8, 13, 18 numaralı örnekler 25 m, 4, 9, 14, 19 numaralılar 50 m ve 5, 10, 15, 20 numaralı örnekler kontrol grubunu temsil etmektedir. Ayrıca M sembolü, marker DNA'yı (büyüklükleri belirli DNA), K sembolü, deney kontrol grubunu göstermektedir.

DNA çalışmalarının sonucunda, toplam 19 primer kullanılmıştır. Kullanılan primerlerden hiçbirisi *Anchusa leptofilla* türünde çalışmamıştır. *Sanguisorba minor* türünde 7 primer (MA₁, MA₃, MA₄, MA₅, MA₆, UBC₂₅₁, BC₃₇₄) çalışmıştır. Dört primer (OPA₁₂, OPA₁₉, OPA₂₀, OPF₁₅) hiçbir türde çalışmamıştır. *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris* ile *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* bitkilerinde yukarıdaki dört primer dışında kalan diğer bütün primerler çalışmış ve oluşan farklı bantlar tespit edilmiştir.

MA₁ primeri kullanılarak yapılan çalışmada, *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris* türünde kontrol grubu ile diğer gruplar arasında farklı sayı ve şiddette bantlar oluştuğu görülmektedir. Kontrol grubunda çok zayıf 2 bant gözlenirken, 50 m'de kontrolden farklı olarak 1 kuvvetli, 25 m'de kontroldeki bantlarla aynı büyüklükte ancak daha kuvvetli 2 bant ve ayrıca 1 tane de zayıf bant gözlenmiştir. 10 m'de kontrolle aynı büyüklükte ama orta yoğunlukta 2 bant ile 2 tane de zayıf bant belirlenmiştir. 0 m'de 10 m'ye ilaveten 1 tane zayıf bant daha vardır. *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* türünde oluşan benzer bantlardan dolayı herhangi bir farklılık gözlenmezken, *Sanguisorba minor* örneklerinde sadece 0 m'de kuvvetli 1 bant gözlenmiştir. *Anchusa leptofilla* örneklerinde primer çalışmamıştır (Resim 3.11a).

MA₂ primerinde, *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris* türünde kontrol grubunda 2 tane orta yoğunlukta ve 2 tane zayıf bant gözlenirken, 50 m’de kontrolle aynı büyüklükte olan 2 tane orta yoğunlukta bant gözlenmiştir. 25 m’de kontrolle aynı büyüklükteki 2 tane orta yoğunlukta banda ilaveten, kontroldeki zayıf bantlardan bir tanesi ile aynı büyüklükte ancak kuvvetli bir bant daha bulunmaktadır. 0 ve 10 m’de kontrolle orta yoğunlukta bant büyüklüğünde 1 tane orta yoğunlukta bant ve 1 tanesi daha zayıf olmak üzere 2 tane daha zayıf bant gözlenmiştir. *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* türünde aynı sayıda bant oluşurken, orta yoğunlukta bantlardan 0, 10 ve 25 m’dekiler kontrol ve 50 m’ye göre daha kuvvetlidir. *Anchusa leptofilla* ve *Sanguisorba minor* örneklerinde primer çalışmamıştır (Resim 3.11b).

MA₃ primerinde, *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris* türünde bütün gruplarda aynı miktarda zayıf bantlar belirlenmiştir. *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* türlerinde, kontrolde 2 adet orta yoğunlukta bant varken, uygulama gruplarında aynı büyüklükte fakat bir tanesi daha zayıf olan ikişer adet bant vardır. *Sanguisorba minor* örneklerinde sadece 0 m’de kuvvetli 1 bant gözlenmiştir. *Anchusa leptofilla* örneklerinde primer çalışmamıştır (Resim 3.11c).

MA₄ ve MA₆ primerinde, *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris* ve *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* türlerinde oluşan bantlarda herhangi bir farklılık tespit edilmemiştir. *Sanguisorba minor* örneklerinde 0 m’de 1 bant gözlenirken, *Anchusa leptofilla* örneklerinde primer çalışmamıştır.

MA₅ primerinde, *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris* türünde bütün uygulama gruplarında kontroldeki kuvvetli banda ilaveten birer tane de zayıf bant mevcuttur. *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* türlerinde 25 m’de daha kuvvetli olmak üzere kontrol de dahil bütün gruplarda aynı büyüklükteki banda ilaveten, kontrol, 50 ve 0 m’lerde büyüklükleri daha küçük olan ikinci bir bant daha vardır. Ayrıca 0 ve 10 m’lerde orta büyüklükte bir bant daha bulunmaktadır. *Anchusa leptofilla* örneklerinde primer çalışmazken, *Sanguisorba minor* örneklerinde 0 m’de biri zayıf 2 bant gözlenmiştir (Resim 3.11d).

MA₁₀ primerinde, *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris* türünde kontrolde bant gözlenmezken, 50 m’de 2 adet zayıf bant gözlenmiştir. 0, 10 ve 25 m’lerde 50 m’de gözlenen bantlarla aynı büyüklükte ancak daha kuvvetli 2 banda ilaveten birer tane de zayıf bant bulunmaktadır. *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* türlerinde aynı tipte bantlar oluşmuştur. *Sanguisorba minor* ve *Anchusa leptofilla* örneklerinde primer çalışmamıştır.

UBC₂₃₈ primerinde, *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris* türünde, 0 ve 10 m mesafelerden alınan örneklerde diğer gruplara göre eksik olan birer tane bant gözlenmiştir. *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* türünde ise oluşan bantlar arasında herhangi bir fark yoktur. *Sanguisorba minor* ve *Anchusa leptofilla* örneklerinde primer çalışmamıştır.

UBC₂₅₁ primerinde, *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris* türünde kontrol grubunda 1 kuvvetli, 3 orta yoğunlukta ve 1 tane de oldukça zayıf bantlar varken, 50 m’de kontrolden farklı olarak kuvvetli bantla aynı büyüklükte ancak daha zayıf bir bant vardır. 25 m’de kontrolden farklı olarak yine kuvvetli bantla aynı büyüklükte ancak orta şiddette 1 bant ve orta yoğunlukta 1 bant ile oldukça zayıf olan bantla aynı büyüklükte ama onlardan daha kuvvetli olan bantlar vardır. 10 m’de de kontrolden farklı olarak kuvvetli bantla aynı büyüklükte daha zayıf 1 bant ve ilave olarak zayıf 1 bant daha bulunmaktadır. 0 m, 25 m ile benzerlik göstermektedir ancak, 1 bant daha zayıftır. *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* türlerinde gruplar arasında herhangi bir farklılık gözlenmemiştir. *Sanguisorba minor* örneklerinde kontrol ve 0 m’de herhangi bir bant oluşumu gözlenmezken, 25 m ve 50 m mesafelerden alınan örneklerde farklı büyüklükte 2 adet orta şiddette bantlara ilaveten, birer tane de zayıf bant vardır. 10 m’de de farklı yoğunlukta bantlar bulunmaktadır. *Anchusa leptofilla*’da primer çalışmamıştır (Resim 3.11e).

BC₃₄₀ primerinde, *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris* ve *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* türlerinde aynı büyüklükteki bantlar

gözlenmiştir. *Sanguisorba minor* ve *Anchusa leptophylla* örneklerinde primer çalışmamıştır.

BC₃₇₄ primerinde, *Sanguisorba minor* örneklerinde 0 m’de bant oluşumları gözlenirken, diğer gruplarında herhangi bir bant oluşumu gözlenmemiştir. *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris* ve *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* türlerinde gruplar arasında herhangi bir farklılık gözlenmemiştir. *Anchusa leptophylla*’da ise primer çalışmamıştır (Resim 3.11f).

OPC₁₀ primerinde, *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris* türünde aynı tipte bantlar oluşurken, *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* türünde 25 m’de tek, kontrol dahil diğer gruplarda 2 bant oluşmuştur. *Sanguisorba minor* ve *Anchusa leptophylla* örneklerinde primer çalışmamıştır (Resim 3.11g).

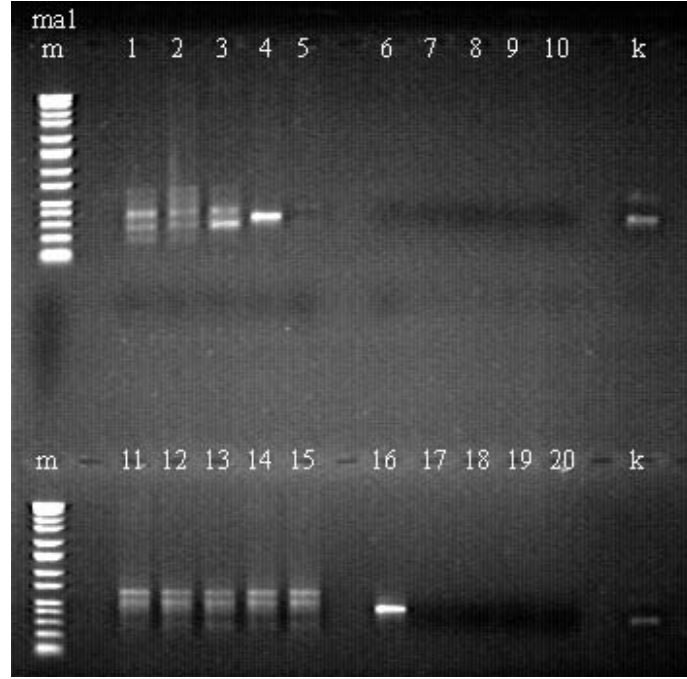
P₂₃₂ primerinde, *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris* türünde, 50 m ve kontrol gruplarında diğer üç gruptan farklı olarak birer tane ilave bant gözlenmiştir. *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* türünde aynı tipte bantlar gözlenmiştir. Ancak, 25 ve 50 m’deki gruplara göre, kontrol grubunda aynı büyüklükteki bantlardan 1 tanesi daha kuvvetli iken, 0 ve 10 m’lerdeki bantlar biraz daha zayıf durumdadır. Bu primer de *Sanguisorba minor* ve *Anchusa leptophylla* örneklerinde çalışmamıştır (Resim 3.11h).

OPA₁ primerinde, *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris* türünde kontrol ve 50 m mesafelerden alınan örneklerde herhangi bir bant gözlenmezken, 0, 10 ve 25 m mesafelerden alınan örneklerde bantlar gözlenmiştir. *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* türünde oluşan bantlar arasında herhangi bir fark yoktur. *Sanguisorba minor* ve *Anchusa leptophylla* örneklerinde primer çalışmamıştır.

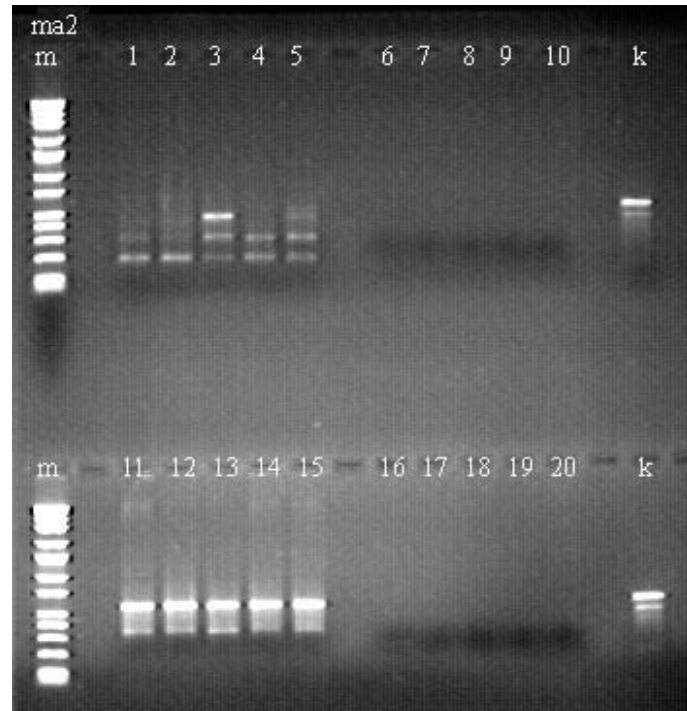
OPF₈ primerinde, *Tragopogon longirostris* Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris* ve *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* türlerinde bütün gruplarda birer adet

aynı büyüklükte bantlar gözlenmiştir. *Sanguisorba minor* ve *Anchusa leptophylla* örneklerinde primer çalışmamıştır.

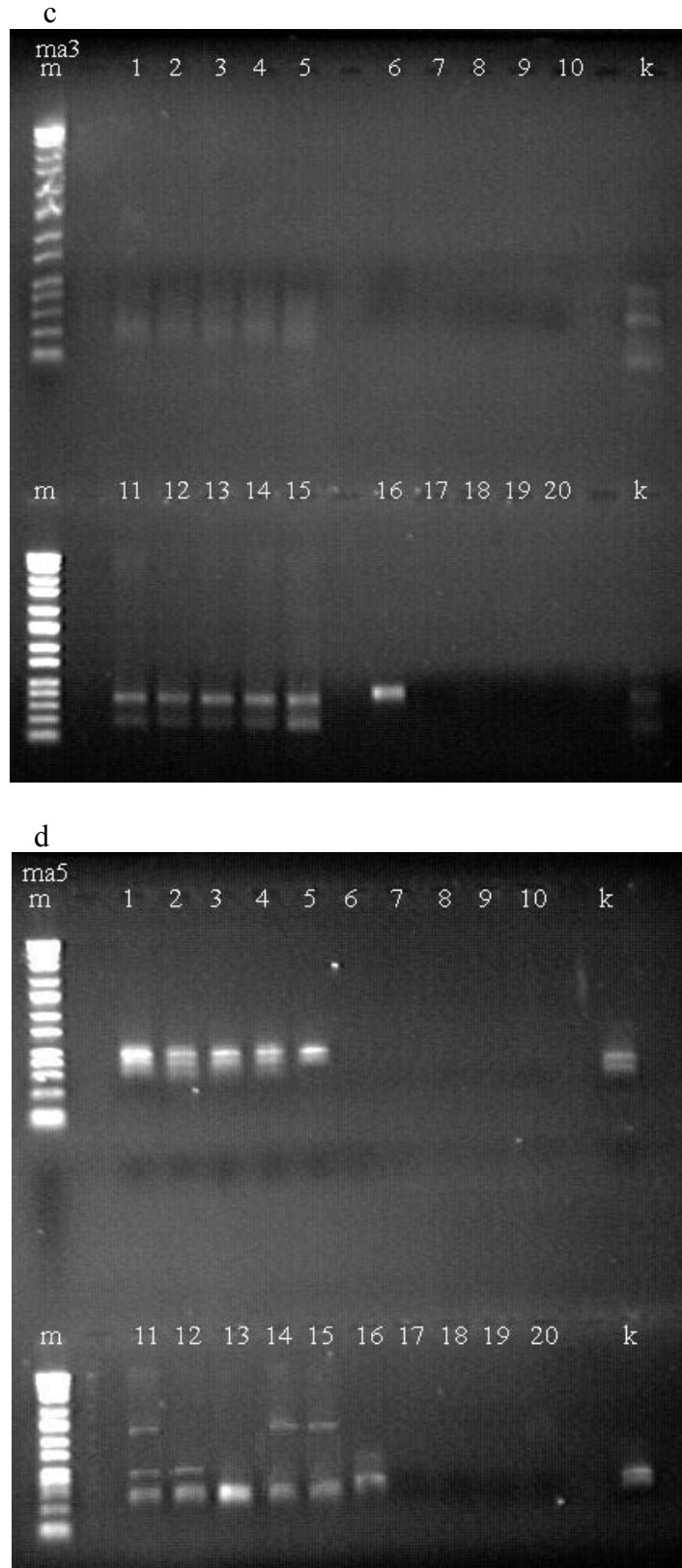
a



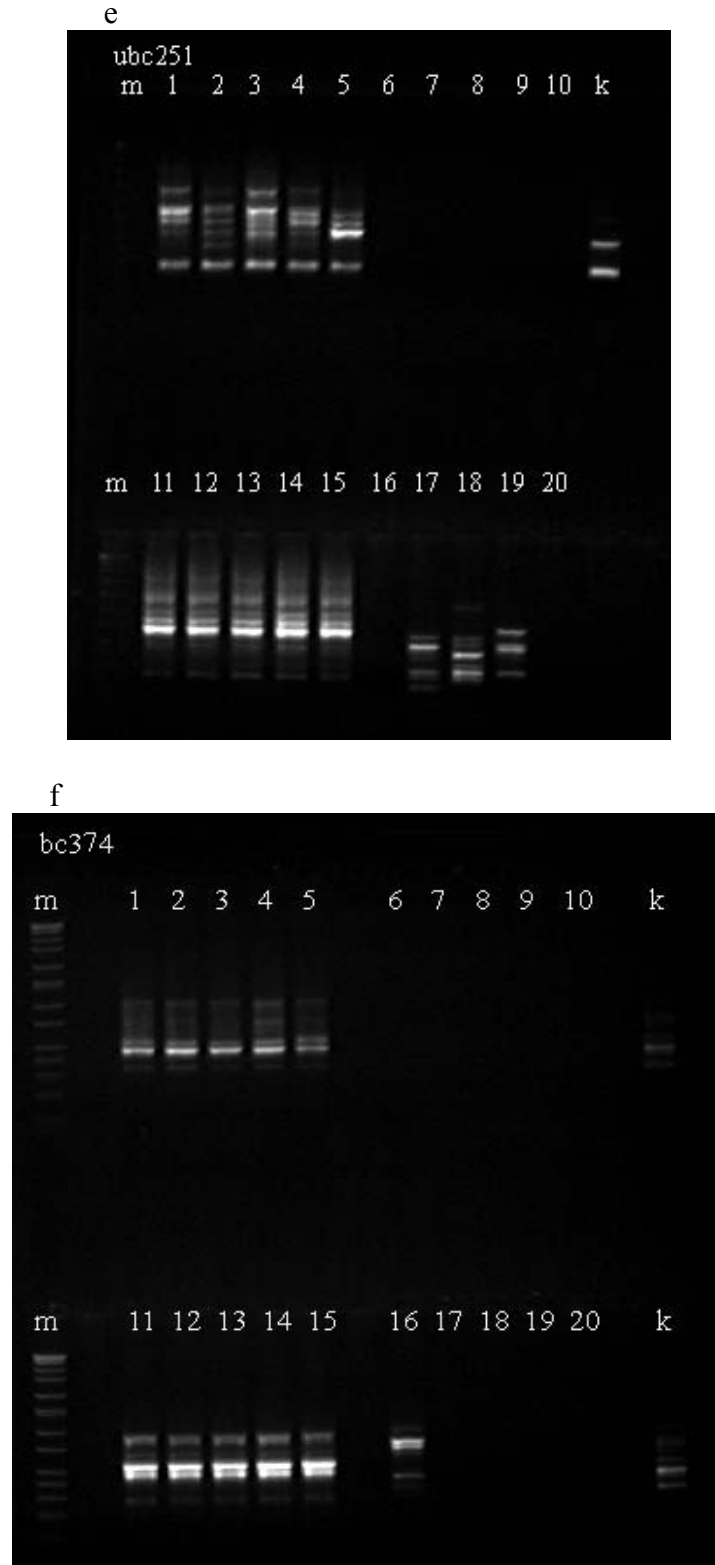
b



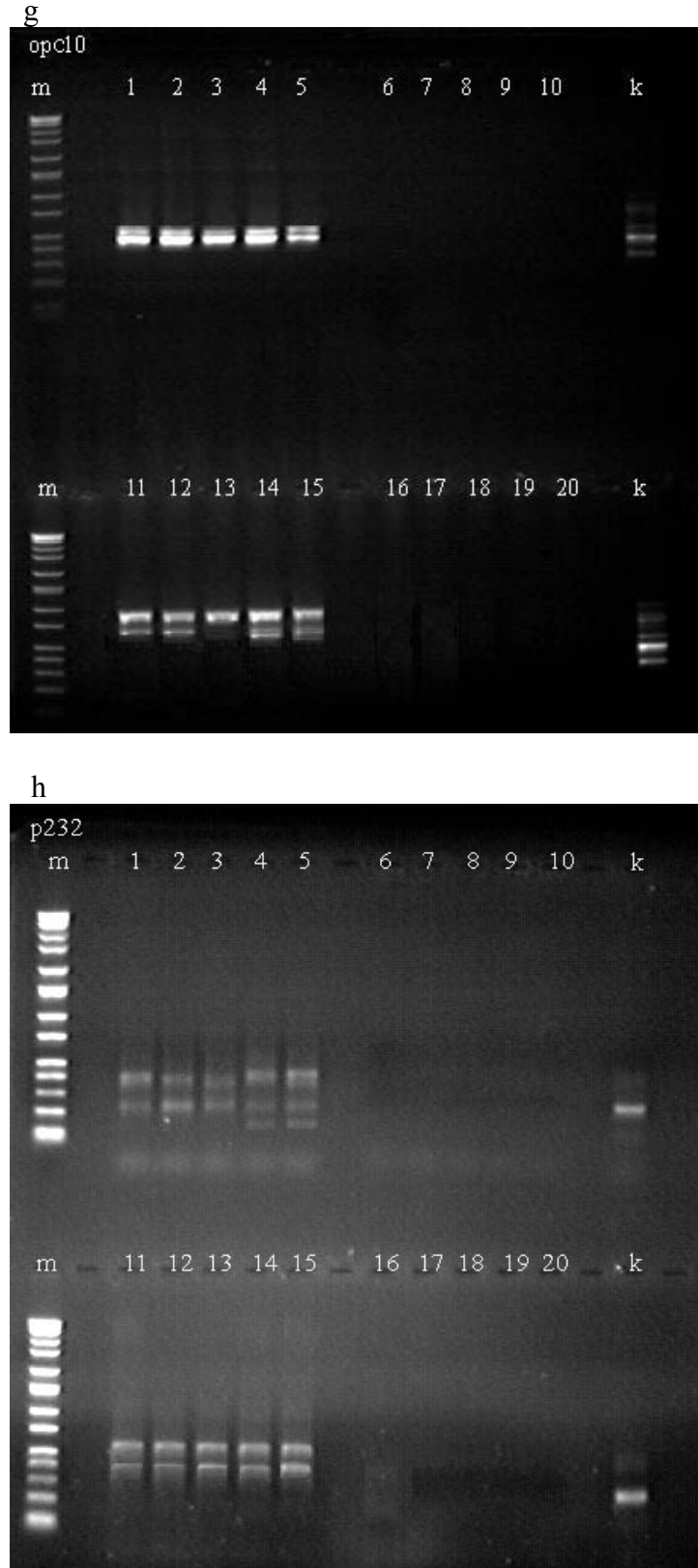
Resim 3.11. Çeşitli primerlerle çoğaltılmış RAPD-PCR ürünleri. MA₁ (a), MA₂ (b)



Resim 3.11. (devam) Çeşitli primerlerle çoğaltılmış RAPD-PCR ürünleri. MA₃ (c), MA₅ (d)



Resim 3.11. (devam) Çeşitli primerlerle çoğaltılmış RAPD-PCR ürünleri. UBC₂₅₁ (e), BC₃₇₄ (f)



Resim 3.11. (devam) Çeşitli primerlerle çoğaltılmış RAPD-PCR ürünleri. OPA₁₀ (g), P₂₃₂ (h)

4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

4.1. Tartışma

Günlük yaşantımızda kullandığımız çeşitli taşıtlar ve elektrikli ev aletleri elektromanyetik alan oluşturan ortamlardır. Elektromanyetik alan yaratan önemli unsurlardan birisi de yüksek gerilim hatlarıdır. Türkiye'deki yüksek gerilim hatları genellikle 380 kV ve 154 kV'luk hatlardan oluşmaktadır.

Elektrik ve manyetik alanlar herhangi bir elektrikli aleti çevreleyen görünmez kuvvet çizgileridir. Elektromanyetik dalgalar mekanik dalgaların aksine boş uzayda ve ışık hızıyla yayılabilen dalgalardır. Elektrik alanları voltaj tarafından üretilir ve voltaj arttıkça daha güçlü hale gelirler. Manyetik alanlar, teller ya da kablolardan akım geçmesi sonucu oluşur ve gücü, akım arttıkça artmaktadır (1).

Yüksek gerilim hatlarının canlılar, özellikle de insanlar üzerine ne tür etkiler yaptığının araştırılması için yapılan çalışmalarda, öncelikle enerji iletim hatlarının çevresinde oluşan elektrik ve manyetik alanların şiddetini belirlemek amacıyla çeşitli ölçümler yapılmıştır. Soja ve arkadaşları (46) 380 kV'luk güç hatlarına 2 m mesafede ortalama elektrik alanını 3,6 kV/m, manyetik alanı 2,5 μ T (mikrotesla) olarak ölçmüşlerdir. Yüksek gerilim hatlarından uzaklaştıkça elektrik ve manyetik alanların kademeli olarak azaldığını da belirlemişlerdir. 8 m mesafede elektrik alanı 2 kV/m iken, manyetik alan 2 μ T olarak belirlenmiştir. Elektrik alanı 14 m'de 1 kV/m, 40 m'de ise 0,2 kV/m'ye düşmektedir. Bu iki noktada ölçülen manyetik alanlar, sırasıyla 1,5 μ T ve 0,4 μ T olarak bulunmuştur. Güler ve Atalay'a (47) göre yüksek gerilim hatları en fazla 750 kV'luk gerilime sahiptir ve oluşturduğu alan şiddeti yerden yüksekliğine bağlı olarak 1-12 kV/m şiddetinde olabilmektedir. Yerleşim bölgelerine yakın olan merkezlerde insanlar için maruz kalınabilecek elektrik alan şiddeti 1-5 kV/m kadardır. Hem yapılan modeller hem de deneysel araştırmalar, 1 kV/m'lik elektrik alanının insanlar için zararlı etkinin görülmeye başlandığı eşik değeri olarak kabul edilmektedir. 380 kV'luk Atatürk-Elbistan-Ankara2 ve Ankara2-Temelli-Tepeören iletim hatlarında yapılan ölçümlerde elektrik alanı ortalama 4,5

kV/m olarak ölçülmüştür. Gerek elektrik alanı gerekse manyetik alan değerleri 100 m'den sonra sıfıra yaklaşmaktadır (48). Gaziantep ve Erzin bölgesinde 380 kV'luk yüksek gerilim hatlarının şant sahası içinde manyetik alan 34 μ T, şant sahası içinde yüksek gerilim hatlarına 1-2 m uzaklıkta bulunan ve insanların çalıştığı binalarda manyetik alan 10,6 μ T ve yüksek gerilim hatlarına 100-200 m mesafeler içinde bulunan lojman çevresinde manyetik alan 0,32 μ T olarak ölçülmüştür (49). Şeker'e (50) göre büyüklüklerine bağlı olarak iletim hatları çevresindeki manyetik alan değeri 10-40 μ T arasında değişmektedir. Hattan 100 m uzaklıkta ise 1 μ T gibi oldukça düşük bir değere ulaşmaktadır. Endüstriyel çevrelerde oluşan manyetik alan, iletim hatlarına göre 10-100 kat daha büyüktür. Bu çalışmada da elektromanyetik alanların etkisini araştırmak için, 380 kV'luk yüksek gerilim hatlarına 0, 10, 25, 50 ve kontrol olarak 100+ m mesafeler uygulama alanları olarak seçilmiştir.

Elektromanyetik alanların biyolojik etkileri üzerine yapılan *in vitro* çalışmalarda elektrik alan şiddeti için insanların muhtemel etkilenme değerleri olarak kabul edilen 0,5 ile 2,5 kV/m'lik doz aralıkları farklı sürelerde kullanılmıştır (25, 47, 51). Bu çalışmanın laboratuvar şartlarında yapılan bölümünde de hem insan periferall lenfositleri hem de *Allium cepa* L. soğanları 1, 1,5 ve 2 kV/m'lik elektrik alanına maruz bırakılmışlardır.

Manyetik alanların canlılar üzerine ne tür etkilerinin olduğunun araştırılması için yapılan çalışmalarda, özellikle kromozom ve DNA incelemelerinde 0,1 ile 7,5 mT arasındaki dozlar yaygın olarak kullanılmaktadır (27, 52-55). Ancak bazı çalışmalarda bu değerlerin çok üzerinde (20-400 mT) dozlar da farklı sürelerde uygulanmıştır (10, 43). Elektromanyetik alanların fizyolojik olarak etkilerinin araştırılmasında ise 0,2 μ T ile 1200 mT gibi geniş bir aralıktaki dozlar farklı sürelerde uygulanarak manyetik alanların muhtemel etkileri ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır (56-61). Bu çalışmada hem insan periferall lenfositleri hem de *Allium cepa* L. ile yapılan laboratuvar çalışmalarında 0,25, 0,50 ve 1 mT dozlarında manyetik alanlar uygulanmıştır.

Yukarıdaki gibi laboratuvar şartlarında yapılan çalışmaların yanı sıra, özellikle yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan elektromanyetik alanların kanser riskini arttırıp arttırmadığı üzerine çok sayıda epidemiyolojik çalışmalar da yapılmıştır (19, 62-64). Diğer yandan yüksek gerilim hatları dışında, meslekleri gereği ya da çeşitli nedenlerle elektromanyetik alanlara maruz kalan kişiler üzerinde de oldukça fazla sayıda epidemiyolojik çalışmalar mevcuttur (65-67).

Çeşitli çevresel ajanların genotoksik veya sitotoksik etkilerinin belirlenmesinde bitkiler oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bitkilerden elde edilen sonuçlar bu ajanların diğer canlılar için de muhtemel etkilere neden olup olmadığının anlaşılması bakımından oldukça önemlidir. Bu tür çalışmalarda en fazla kullanılan deney materyali *Allium cepa*'dır. Levan'ın (11), 1938 yılında kolkisinin toksik etkisini belirlemek için ilk kez *Allium*'u deney materyali olarak kullanmasıyla *Allium* test metodu geliştirilmiştir. Bundan başka diğer birçok bitki türü de deney materyali olarak kullanılmaya başlanmıştır. *Allium* testi memeli test sistemleri için alternatif bir metot olarak halen yaygın bir şekilde kullanılmaya devam etmektedir. Bakteri, maya ya da böcek türlerinin yanı sıra *Allium* testinin memeli test sistemleri ile iyi bir korelasyon göstermesi de *Allium* testinin yaygın şekilde kullanılmasında önemli bir faktördür (68). Yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan elektromanyetik alanlar ile laboratuvarlarda oluşturulan elektrik ve manyetik alanların bitkiler üzerine kromozomal etkilerinin belirlenebilmesi için yapılan bu çalışmada da *Allium* test metodu kullanılmıştır. Bu incelemelerde hem kromozomal anormallikler ve hem de mitotik faz frekansları ve mitotik indeksteki farklılıklar tespit edilmiştir.

Canlıların zaman zaman ya da sürekli maruz kaldıkları çeşitli ajanların etkilerinin ortaya çıkarılması için *Allium* test sistemlerinin yanı sıra, memeliler de *in vivo* ya da *in vitro* koşullarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Memeliler içinde, *in vivo* test sistemlerinde en fazla tercih edilenler fare ya da sıçanlardır. *In vitro* test sistemlerinde ise insan da dahil olmak üzere, çeşitli canlılardan elde edilen, başta periferik kan olmak üzere farklı doku ve hücrelerden yararlanılmaktadır. Bu çalışmada da *in vitro* testinde insan periferik lenfositleri seçilmiş ve hücre başına

düşen kromozomal anormalliklerin yanı sıra, anormal hücre frekansları, kardeş kromatidlerde değişim sayısı, replikasyon indeksi ve mitotik indeks hesaplanmıştır.

Yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan elektromanyetik alanların genetik etkilerinin araştırılması için yapılan bu çalışmada, hem *Allium cepa* L. hem de *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum*'da 50 m mesafedeki uygulama grubunda mitotik indekste kontrole göre herhangi bir farklılık gözlenmezken, 0, 10 ve 25 m mesafelerdeki uygulama gruplarında anlamlı artışlar tespit edilmiştir. Her iki materyalde de iletim hatlarına yaklaştıkça mitotik indekste bir artış söz konusudur.

Laboratuvar şartlarında oluşturulan elektrik ve manyetik alanlara maruz bırakılan *Allium cepa* L. bitkisi ile yapılan çalışmalarda, elektrik alanlarının uygulandığı bütün dozlarda mitotik indekste kontrole göre anlamlı bir artış tespit edilmiştir. Ancak manyetik alan uygulamalarında, 0,25 mT'lık dozda anlamlı bir artış varken, 1 mT'lık dozda anlamlı bir azalma söz konusudur. 0,50 mT'lık dozda ise herhangi bir fark gözlenmemiştir. Manyetik alan uygulamalarında mitotik indekste doza bağlı bir azalma belirlenmiştir.

Yüksek gerilim hatlarında *Allium cepa* L. ile yapılan çalışmada profaz frekansında 25 m mesafede, kontrole göre anlamlı bir artış varken, hattın geçtiği nokta olan 0 m mesafede anlamlı bir azalma belirlenmiştir. Metafaz ve anafazda ise profazın aksine 25 m mesafede anlamlı azalışlar var iken, 0 m mesafede anlamlı artışlar söz konusudur. 10 ve 50 m mesafelerdeki profaz, metafaz ve anafaz frekanslarında kontrole göre bir farklılık ortaya çıkmamıştır. Benzer şekilde, telofaz frekansında, hiçbir uygulama grubunda kontrole göre önemli bir farklılık gözlenmemiştir. *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* ile yapılan çalışmada, profaz frekansında bütün gruplarda bir artış, metafaz frekansında ise bir azalma olmuştur. Bu artış ve azalma, kontrol ile anlamlı bir fark oluşturmaktadır. Anafazda herhangi bir fark gözlenmezken, telofazda 0 ve 50 m mesafelerde anlamlı azalmalar gözlenmiştir.

Laboratuvarlarda oluşturulan 1000, 1500 ve 2000 V/m’lik elektrik alanlarından sadece 1500 V/m’lik dozda kontrol grubuna göre profaz frekansında anlamlı bir azalış, anafaz frekansında ise anlamlı bir artış gözlenmiştir. Diğer dozlarda kontrole göre herhangi bir fark belirlenmemiştir. Laboratuvarlarda oluşturulan 0,25, 0,50 ve 1 mT’lık manyetik alanlarda ise, profaz frekansında bütün dozlarda anlamlı bir artış söz konusu iken metafaz frekansında sadece 0,25 mT’lık dozda anlamlı azalma vardır. Diğer iki dozdaki fark önemsizdir. Anafaz frekansında hiçbir dozda kontrol ile aralarında önemli bir fark gözlenmezken telofaz frekansında bütün dozlarda anlamlı bir azalma gözlenmiştir.

Bu çalışmada, yüksek gerilim hatlarına yaklaştıkça ve laboratuvarlarda oluşturulan elektrik alanlarının bütün dozlarında mitotik indekste artışlar olması, elektromanyetik alanların, hücre bölünmesindeki kontrol noktalarını düzenleyen genleri veya gen ürünlerini etkilemesinden kaynaklanabilir. Hücre bölünmesi, kontrol noktaları (checkpoint) olarak adlandırılan genetik programların kontrolü altındadır. DNA hasarlarına karşı oldukça duyarlı olan bu kontrol noktalarından birisi mitozdan önce yer alırken (G_2/M) diğeri DNA replikasyonundan önce yer alır (G_1/S). Üçüncü bir kontrol noktası da mitoz içersindedir ve M kontrol noktası olarak adlandırılır. Bu kontrol noktaları, DNA ve diğer fizyolojik koşulların hücre bölünmesi için uygun olup olmadığını kontrol eder ve herhangi bir anormallik varsa, düzeltilene kadar hücre döngüsünün durdurulmasını sağlar. Kontrol noktalarındaki mutasyonlar genetik düzensizliklerin ortaya çıkmasına neden olurlar ki bu tür düzensizlikler birçok kanserin de karakteristik özelliğidir. Kontrol noktalarını düzenleyen genlerde ya da gen ürünlerinde herhangi bir mutasyona rağmen, hasarlı hücreler hücre döngüsünü tamamlarsa, kanserleşmiş bir hücreyi karakterize eden kontrolsüz hücre bölünmeleri dizisi başlayabilir. Memeli hücrelerinde p53 geni de bu kontrolde önemli bir role sahiptir. DNA’sı büyük oranda zarar gören ve bu şekilde bölünmesine devam eden bir hücre, p53 geninin etkisi ile programlanmış hücre ölümüne yönlendirilir ve bu şekilde hücre popülasyonundan uzaklaştırılır. Fakat bu gen mutasyona uğrar ve anormal gen ürünleri oluşursa, hasarlı hücre kontrolsüz bir şekilde bölünüp çoğalmasına devam eder. Normal ve kanserli hücrelerde kontrol noktaları ile yapılan çalışmalarda, hücre döngüsünün kontrol mekanizması ile

p34CDC2 geni arasında ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Bu genlerde meydana gelebilecek bir mutasyonun G₁/S bölgesindeki kontrol noktasının fonksiyonunu etkileyebileceği belirtilmiştir (69).

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar daha önce yapılan benzer çalışmalarla uyum göstermektedir. Rapley ve arkadaşları (41), *Vicia faba* ile yaptıkları çalışmada elektromanyetik alanların mitotik indekste anlamlı artışlara neden olduğunu, faz frekanslarında farklılıkların gözlendiğini açıklamışlardır. Özellikle profaz ve metafazda gözlenen artışların nedeni, bölünme sırasında kardeş kromatidlerin ayrılma sürecinin yavaşlaması ve kromozom yoğunlaşmasının etkilenmesinden kaynaklandığı açıklanmıştır. Metafazdaki artışların, kardeş kromatidler arasındaki bağlantının kaybolması ile oluşan ve anafazın başlamasına neden olan sinyal sürecindeki gecikmeden kaynaklanmış olabileceğini açıklamışlardır. Scarfi ve arkadaşları (40), manyetik alanlara maruz bıraktıkları insan lenfositlerinde mitotik indekste kontrole göre anlamlı artışlar olduğunu tespit etmişlerdir. Kalkan ve arkadaşlarının (70) Wistar albino tipi sıçanlarının manyetik alana maruz bırakılan yumurtalarından alınan embriyoları üzerinde yaptıkları çalışmada da mitotik indeksin arttığı belirlenmiştir. Araştırmacıların yaptıkları mikroskopik incelemeler sonucunda psödopodlu hücre sayısında önemli artışlar da gözlenmiş ve uygulanan manyetik alanların hücre migrasyonlarının çoğalmasını sağladığı ve embriyolojik aktivitenin hızlanmasına neden olduğu açıklanmıştır.

Bazı çalışmalarda, elektromanyetik alanların mitotik indekste herhangi bir değişikliğe neden olmadığı gözlenmiştir. Zwingelberg ve arkadaşlarının (71) sıçanlar ile yaptıkları çalışmada, 30 mT'lık manyetik alanların mitotik indekste herhangi bir değişikliğe neden olmadığı açıklanmıştır. Khalil ve Qassem (23) ise, yaptıkları çalışmada mitotik indeksin düştüğünü, ancak bu sonucun meydana gelen hücre ölümlerinden kaynaklanmış olabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmalarda bu tür farklılıkların ortaya çıkması, kullanılan materyallerin ve uygulama dozlarının farklı olmasından da kaynaklanabilir. Yukarıdaki çalışmaların yanında özellikle yüksek dozlarda manyetik alan uygulandığında mitotik indeksin azaldığı belirtilmektedir. Roman ve arkadaşları (61) sıçan dalak hücrelerini 0,3 ve 0,6 T manyetik alana, 3 ve

5,5 dakika, 1,2 T manyetik alana, 1, 3 ve 5,5 dakika maruz bırakmışlar ve böyle yüksek dozlarda uygulanan manyetik alanların mitozu uyaran mekanizmaları etkilediğini ve bölünmeyi inhibe ettiğini açıklamışlardır. Yamaguchi ve arkadaşlarının (72) fareler üzerinde yaptıkları çalışmada, tümörlü bölgelere uygulanan 250 mT'lık manyetik alanın mitoz bölünmeyi engellediği ve anti-tümör etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada yüksek gerilim hatlarının hem *Allium cepa* L. ve hem de *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum*'da mitotik indekste anlamlı bir artış oluşturduğu görülmektedir. Laboratuvar ortamında oluşturulan elektrik alanlarında da yine bütün dozlarda mitotik indekste anlamlı artışlar söz konusu iken, manyetik alanın 1 mT'lık dozunda mitotik indekste anlamlı bir azalmanın tespit edilmesi, yüksek gerilim hatlarının oluşturduğu elektrik alanının manyetik alana göre çok daha büyük olduğunu göstermektedir. Ayrıca, elektrik ve manyetik alanların doza bağlı olarak farklı etkilere neden olduğu da anlaşılmaktadır.

Laboratuvar koşullarında yapılan çalışmalardan görüldüğü gibi, elektrik alanları ve düşük dozlarda maruz kalınan manyetik alanlar, hücre bölünmesine uyarıcı etki ederken, yüksek dozlardaki manyetik alanlar inhibe etmektedir. Üç gün süreyle uygulanan 1000, 1500 ve 2000 V/m'lik elektrik alanları ile 0,25 mT'lık manyetik alan, *Allium cepa* kök ucu hücrelerinde mitoz bölünmeye uyarıcı etki ederken, uygulanan 1 mT değerindeki manyetik alan bölünmeyi inhibe etmiştir. Mitotik indeksin artması DNA tamir mekanizmalarındaki hatalardan kaynaklanabilir. Eğer DNA tamir mekanizmasında düzensizlikler olursa, anormal yapılar tamir edilemez ve tamir için kullanılacak olan süre kullanılmadan mitozla geçilebilir. Bu da doğal olarak, anormalliklerle birlikte, mitoz bölünmenin frekansını arttıracaktır. Tamir mekanizmasının etkilenmesiyle birlikte özellikle G₂ safhasının beklenenden daha kısa sürecek olması mitotik indeksin artmasına neden olabilir. Elektromanyetik alanların DNA tamir mekanizmasını etkilediği ve bu nedenle meydana gelen anormalliklerin tamir edilmesini yavaşlattığı açıklanmaktadır (73).

Faz frekanslarında farklı sonuçların gözlenmesi, elektromanyetik alanların sadece interfaz sürecinde değil bütün bir hücre döngüsü boyunca etkili olduğunun bir delili olarak gösterilebilir. Hücrelerin metabolizmasına bağlı olarak farklı bireylerdeki hücrelerin farklı bölünme evrelerinde etkilenmeler olabilmektedir. Herhangi bir hücredeki bir protein ya da enzimin etkilenmesi, o hücredeki faaliyetleri de olumsuz yönde etkileyeceğinden farklı sonuçlarla karşılaşılabilir. Herhangi bir enzim inhibisyonu sonucunda, bölünme herhangi bir safhada durdurulabileceği gibi, enzim aktivasyonu sonucunda bölünmesi için uyarılabilir ve daha hızlı bölünmeye başlayabilir. Rapley ve arkadaşları (41), elektromanyetik alanların, bütün bir döngü boyunca hücreler üzerine etki ettiğini ve özellikle profaz ve metafazdaki artışların, bölünme sırasında kromozom yoğunlaşmasının etkilenmesi ve kardeş kromatidlerin ayrılma sürecinin yavaşlamasından dolayı olabileceğini açıklamışlardır. Diğer yandan, metafazda gözlenen artışların, anafazın başlamasına neden olan sinyal sürecindeki gecikmeden dolayı da gözlenmiş olabileceğini açıklamışlardır. Mutajenite ile ilgili yapılan birçok araştırmada, bu çalışmada elde edilen sonuçlara benzer veriler elde edilmiştir (74-76).

Gerek yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan elektromanyetik alanların gerekse laboratuvarda oluşturulan elektrik ve manyetik alanların mitotik indeks ve mitotik fazlara etkilerinin yanı sıra çeşitli kromozomal anormalliklere de neden olduğu gözlenmiştir. Yüksek gerilim hatları ile yapılan çalışmada *Allium cepa* L.'da en fazla görülen kromozomal anormallik tipi köprü ve kalgın kromozomlardır. Multipolar anafaz-telofaz, c-mitoz, fragment, yapışıklık ve düzensiz metafaz da gözlenen anormalliklerdendir. Ayrıca interfazda mikronukleus oluşumu da toplam anormallik içinde üçüncü sırada yer almaktadır. *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum*'da en fazla gözlenen anormallik fragment iken kalgın kromozom ve köprü oluşumu da sık gözlenen anormalliklerdendir. Multipolar anafaz-telofaz, yapışıklık, c-mitoz ve düzensiz metafaz gibi anormallikler de gözlenmiştir. İnterfazda mikronukleus oluşumu toplam anormallik içinde ikinci sırada yer almaktadır.

Laboratuvarda oluşturulan elektrik alanı uygulamalarında, kalgın kromozomlar en fazla gözlenen anormallik olurken, köprü, fragment, yapışıklık, c-mitoz ve düzensiz

metafaz da gözlenmiştir. İnterfazda mikronukleus oluşumu köprü ile birlikte ikinci sırada yer almaktadır. Manyetik alan uygulamasında en fazla köprü oluşumu gözlenirken, multipolarlık, fragment, kalgın kromozom ve düzensiz metafaz şeklinde anormallikler de gözlenmiştir. İnterfazda mikronukleus oluşumu toplam anormallik içinde ikinci sırada yer almaktadır.

Bütün uygulama grupları göz önüne alındığında en fazla gözlenen anormallikler sırası ile köprü, kalgın kromozom, fragment, multipolarlık, c-mitoz, yapışıklık ve düzensiz metafazdır. Mikronukleus, köprü ile birlikte ilk sırada yer almaktadır.

Yüksek gerilim hatları ile yapılan çalışmada *Allium cepa* L.'da hem bölünen hücre içindeki anormal hücre frekanslarında, hem de mikronukleusun da dahil edildiği, toplam incelenen hücre içindeki anormal hücre frekanslarında sadece 0 m mesafede kontrole göre anlamlı fark gözlenmiştir. Ancak her ikisinde de yüksek gerilim hattına yaklaştıkça bir artış söz konusudur. *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum*'da hem bölünen hücre içindeki hem de incelenen toplam hücre içindeki anormal hücre frekanslarında 0 ve 10 m mesafelerdeki uygulama gruplarında kontrole göre anlamlı fark tespit edilmiştir. Ayrıca bölünen hücre içindeki anormal hücre frekansında 0 m ile diğer gruplar arasında da anlamlı fark gözlenmiştir. Burada da yüksek gerilim hattına yaklaştıkça anormal hücre frekansında artışlar söz konusudur. Elektrik alanı uygulanan gruplarda, incelenen toplam hücre içindeki anormal hücre frekanslarında 1000 V/m'lik doz dışında ve bölünen hücre içindeki anormal hücre frekanslarında bütün dozlarda kontrole göre anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Manyetik alanla ilgili çalışmada her iki frekansta da sadece 1 mT'lık dozda kontrole göre anlamlı artış belirlenmiştir. Bu çalışmada da anormallik frekanslarındaki artış doza bağlıdır.

Anafaz-erken telofaz safhalarında yapılan incelemede bütün çalışma gruplarında en fazla gözlenen anormallik tipi köprü iken, multipolar anafaz-telofaz ikinci sırada, kalgın kromozom üçüncü, fragment ise son sırada yer almıştır. Ayrıca elektrik alanlarının uygulandığı grupta 2000 V/m'lik dozda c-anafaz tipinde anormallikte tespit edilmiştir. Yüksek gerilim hatlarındaki her iki bitkide de, anormallik frekansında mesafeye bağlı bir artış meydana gelmiştir. Bu artış, 0 ve 10 m

mesafelerde kontrole göre anlamlı düzeydedir. Elektrik alanlarında 1000 V/m dışındaki dozlar ile manyetik alandaki 1 mT'lık dozda da kontrole göre anlamlı artışlar gözlenmiştir.

Mikronukleus oluşumu ya da kromozom kaybı ile sonuçlanan multipolarlık ve kalgın kromozomlar ile c-mitoz şeklinde ortaya çıkan anormallikler, elektromanyetik alanlara bağlı olarak ortaya çıkan serbest radikallerin, mitotik iğ ipliklerinde meydana getirdiği hasarlar sonucunda ortaya çıkabilir. İğ iplikleri hücre bölünmesi sırasında kromozomların kutuplara doğru hareketinde önemli bir role sahiptir. Multipolarlık, kalgın kromozom ve c-mitoz gibi anormalliklerin gözlenmesi elektromanyetik alanların dolaylı yollardan da olsa, iğ oluşumunu veya fonksiyonlarını engelleyerek, iğ iplikleri üzerine etkili olduğunu gösterir. İğ ipliklerindeki bozulmalar sonucunda kromozomlar, metafaz plağında c-mitoz olarak adlandırılan pozisyonda kalırlar (77). Kalgın kromozomlar iğ ipliklerinin etkilenme durumuna bağlı olarak kromozomlarda geri kalma, terminalizasyonda gecikme ya da kromozomal hareketlerin yetersizliği sonucu ortaya çıkmaktadır (78). Ayrıca sinyal sürecinde meydana gelen düzensizlikler de kalgın kromozomların oluşmasında etkili olabilir. Multipolarlık iğ ipliklerinin kısmi etkilenmesi sonucu oluşmaktadır (79). Anafaz-telofazdaki düzensiz kutuplaşma aynı zamanda çok çekirdekli hücre oluşumu ve sonuçta anöploidi ile sonuçlanabilmektedir (80).

Kromatin proteinlerinin fiziksel adezyonu, kromozomlarda yapışıklığa neden olabilir (81). Yapışıklık, kromozomal proteinlerin etkilenmesiyle oluşan fizyolojik bir olaydır (82). Ayrıca yapışıklık kromatid tipi bir anormallik olarak da düşünülmektedir. Proteinlerin etkilenmesiyle, kromatin ipliklerinin düzgün bir şekilde katlanamaması ve sonuçta kromatidlerin subkromatid köprülerle bağlı kalmasından da kaynaklanabilir (83-84). İki kromozomda, kromozom tipi kırıkların meydana gelmesi ve sentrik fragmentlerin kırık uçlarından birbirleri ile birleşmesi sonucu disentrik kromozomlar meydana gelir. Kromozomal kırılma sonucunda kardeş kromatidlerin kırık olan uçlarının birleşmesi ile de kardeş kromatidlerde birleşme oluşur. Kardeş kromatidlerde birleşme, kromozomal yapışıklıklar ve disentrik kromozom oluşumu, kromozomların kutuplara doğru hareketi sırasında

köprü oluşumu ile sonuçlanabilir. Kopmuş olduğu kromozomdan ayrı yerlerde bulunan kromozom parçalarına fragment denir ve fragmentler genellikle mikronukleus oluşumu ve sonuçta genetik materyal kaybı ile sonuçlanır (9). Mikronukleus oluşumu, DNA'daki çift zincir kırılması sonucu oluşan asentrik fragmentlerden kaynaklanabileceği gibi kinetokor proteinlerindeki hasarlanmalara bağlı olarak kromozomların kutuplara gidememesi sonucu da oluşabilir (27). DNA tamir mekanizmasının etkilenmesi ve bu nedenle meydana gelen anormalliklerin tamir edilmesinin yavaşlaması, oluşan anormalliklerin artmasında bir etken olabilir (73).

Haider ve arkadaşlarının (29) radyo televizyon vericileri civarında yaptıkları çalışmada elektrik alan şiddetini 15 m'de 90 V/m, 30 m'de 70 V/m ve 200 m mesafede 1-3 V/m olarak belirlemiş ve *Tradescantia*'da yaptıkları araştırmada mikronukleus oluşumunda anlamlı artışlar gözlemişlerdir. Antenlerden kaynaklanan kısa dalgalı elektromanyetik alanların klastojenik etkiye sahip olduğunun açıkça görüldüğünü açıklamışlardır. Pavel ve arkadaşları (30) *Triticum aestivum*'a düşük yoğunlukta mikrodalgalar uygulandığında kromozomlarda kayıplar, mikronukleus, köprüler ve fragment oluşumları gözlemişlerdir. *Vicia faba* ile yapılan çalışmada kromozom ve kromatid kırıklarında meydana gelen artışların istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmiştir. Araştırmacılar bu çalışmada, kromozomal anormallikleri bütün mitoz safhaları yerine, kolkisin ile muamele ederek, sadece metafaz evresinde incelemişlerdir (41).

Bu çalışmada elektrik ve manyetik alanların sitogenetik etkileri bitki materyallerinin yanı sıra, *in vitro* insan periferik lenfositlerinde de araştırılmıştır. Bir ajanın potansiyel mutajen ya da kanserojen olup olmadığının belirlenebilmesi için, insan periferik lenfositlerinde kromozomal anormallikler ve kardeş kromatidlerde değişimlerin incelenmesi de geçerli ve güvenilir yöntemlerden birisidir. Kromozom anormalliklerinin, genotoksik ajanlar için bir gösterge olduğu ve insan periferik lenfositlerinde gözlenen kromozomal anormalliklerle kanser arasında pozitif bir korelasyon olduğu belirtilmektedir (85). Perry ve Evans'ın (8) 1975'te bilinen mutajen ve kanserojenlerin kardeş kromatidlerdeki değişimleri arttırdığını ortaya

koymasından sonra kardeş kromatidlerde değişim testi de yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

72 saatlik kültürün son 48 saatinde elektrik alanlarına maruz bırakılan insan periferall lenfositlerinde mitotik indekste doza bağılı bir artış gözlenmiştir. 1500 ve 2000 V/m'lik dozlardaki artışlar kontrole göre istatistiksel olarak anlamlıdır. Aynı sürelerde manyetik alana maruz bırakıldıklarında ise sadece 0,25 mT'lık dozda kontrole göre anlamlı bir artış vardır. 0,50 ve 1 mT'lık dozlarda mitotik indeks kontrole göre yüksek olsa da, istatistiksel olarak anlamlı değildir. Burada doz artışına bağılı olarak, bir azalma eğilimi olduğu görölmektedir. Scarfi ve arkadaşlarının (40) yaptıkları çalışmada, manyetik alana maruz bırakılan insan lenfositlerinde, kontrole göre mitotik indekste önemli düzeyde artış olduğunu tespit etmişlerdir. Cossarizza ve arkadaşlarının (86) yaptıkları araştırmada da, düşük frekanslı elektromanyetik alana maruz bırakılan insan lenfositlerinde mitotik indekste anlamlı artışlar tespit edilmiştir. Roman ve arkadaşları (61) kısa süreli de olsa yüksek dozda manyetik alanların mitozu uyaran mekanizmaları etkilediğini ve bölünmeyi inhibe ettiğini açıklamışlardır. Gerek bu çalışmadan gerekse yukarıda bahsedilen literatürlerden görüldüğü gibi, manyetik alanlarda düşük doz bölünmeyi uyarırken, yüksek doz inhibe etmektedir.

Kardeş kromatidlerde değişme, kromatidler arasında özdeş segmentlerin yer değiştirmesidir. DNA'da meydana gelen çapraz bağlanmalar, DNA tamir mekanizmaları tarafından düzeltilemediği için, kardeş kromatidlerin yer değiştirmesi ile sonuçlanmaktadır. Bu araştırma sonucunda, hücre başına düşen kardeş kromatidlerdeki değişim miktarı hem elektrik alanların hem de manyetik alanların bütün dozlarında kontrole göre anlamlı derecede artış göstermiştir. Bu artışlar aynı zamanda doza bağılı olarak gerçekleşmiştir. Replikasyon indeksinde ise herhangi bir farklılık gözlenmemiştir.

Bu çalışmada, hem elektrik hem de manyetik alanlara maruz bırakılan insan periferall lenfositlerinde, kromatid ve kromozom kırıkları, kardeş kromatidlerde birleşme ve disentrik kromozom şeklinde anormallikler tespit edilmiştir. Ayrıca manyetik alan

uygulanan gruplarda fragment oluşumları da gözlenmiştir. Hem anormal hücre yüzdesi hem de hücre başına düşen kromozomal anormalliklerde, her iki alan uygulamasında da doza bağlı bir artış belirlenmiştir. Elektrik alanlarında gözlenen anormallikler bütün dozlarda kontrole göre istatistiksel olarak önemli iken, manyetik alanlarda 0,50 ve 1 mT'lık dozlardaki artışların önemli olduğu tespit edilmiştir.

Kromatid kırıkları, bir kromozoma ait iki kromatidten bir tanesinin kırık olması durumudur. Kromozom kırıkları ise her iki kromatidte birden kırıkların olmasıdır. İki kromozomun uçlarındaki kırılma ve sonra bu iki kromozomun kırılan uçlarının birleşmesiyle de disentrik kromozomlar oluşmaktadır. Bir kromozomun her iki kromatidinin uçlardaki kırılma sonrasında, bu kromatidlerin birleşmesi ile de kardeş kromatidlerde birleşme denilen kromozomal anormallikler oluşmaktadır. Fragmentler ise kromozomlardan kopan parçaların kromozomdan ayrı bir yerde bulunması durumudur (9).

Yapılan çalışmalarda, elektromanyetik alanların belirli dozlarda, kromozomal anormalliklerde önemli artışlara neden olduğu belirlenmiştir (54, 87). Khalil ve Qassem (23), insan lenfosit kültürlerini 24, 48 ve 72 saat süreyle 1,05 mT'lık manyetik alana maruz bırakmışlar ve anormal hücre oranlarında bütün dozlarda artış olduğunu tespit etmişlerdir. Kardeş kromatidlerdeki değişimlerde, bütün dozlarda artış olmasına karşın, sadece 72 saatlik uygulamada istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Aynı şekilde bütün dozlarda azalış gösteren replikasyon indeksinde de sadece 72 saatlik uygulama anlamlı bulunmuştur. Erdal ve arkadaşları (25), *in vitro* insan lenfosit kültürlerine uyguladığı elektrik alanlarının hipoploidi, hiperploidi ve gap oluşumunu arttırdığını, kromatid kırıklarındaki artışın ise anlamlı olmadığını belirtmişlerdir. Erdal ve arkadaşları (22), yüksek gerilim hatlarında çalışan insanlar üzerinde yaptıkları araştırmada, endoreduplikasyon, kromatid kırığı ve gaplarda anlamlı artışların olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle endoreduplikasyonda gözledikleri aşırı artışı, oluşan serbest radikallere bağlı olarak mitotik iğlerde oluşan hasarlara bağlamışlardır. Endoreduplikasyonun özellikle DNA topoizomera II enziminin aktivitesini kaybetmesi sonucu oluştuğunu bildiren araştırmacılar da vardır (88). Winker ve arkadaşları (27) insan fibroblast hücrelerini 1 mT manyetik alana 2-

24 saat süreyle maruz bırakmışlar ve kromozomal anormalliklerle mikronukleus oluşumlarını incelemişlerdir. Çalışmalar sonucunda 10 saat uygulamadan sonra anlamlı artışlar gözlenmeye başlandığını belirtmişlerdir. Özellikle 15 saat uygulamadan sonra kromozomal anormalliklerde yaklaşık 10 kat, mikronukleusta ise 3 kat artış tespit etmişlerdir. Elektromanyetik alanların, ya DNA tamir mekanizmasını etkilemiş olmasından ya da DNA'daki hareketli elektronlarla etkileşime girerek, transkripsiyonu başlattığı ve spesifik DNA sekansında zincir ayrılmasına neden olabileceği, buna bağlı olarak da kromozomal hasarların ortaya çıkacağı açıklanmaktadır. İnsan SCL II (Squamous cell carcinoma) hücre hatları 24, 48 ve 72 saat süreyle 0,1-1 mT dozlarında manyetik alanlara maruz bırakılmış ve bütün dozlarda mikronukleus frekanslarında anlamlı artışlar tespit edilmiştir (28). Araştırmacılar mikronukleuslu hücrelerin, programlanmış hücre ölümleri sayesinde hücre popülasyonundan elimine edileceğini açıklamaktadırlar. SCL II hücrelerinin kanserli hücreler olduğu ve bu nedenle de manyetik alanların, DNA hasarını veya kromozomal ayrılmalarındaki başarısızlığı arttırması gibi indirekt etkilerine karşı daha duyarlı olabileceği de açıklanmaktadır. Elektromanyetik alanların, DNA molekülündeki kimyasal bağları direkt olarak kırılabilmesi için yeterli enerjiye sahip olmadığı ve DNA tamirinden sorumlu enzimatik süreç üzerine etki ederek, DNA zincirlerinde meydana gelen kırılmaların birikmesine neden olduğu belirtilmektedir (53). Cho ve Chung (26), insan lenfositlerini benzo(a)pyrene ile muamele ederek kültüre almışlar ve son 24 saatinde 0,8 mT'lık manyetik alana maruz bıraktıkları kültürde kardeş kromatid değişimlerinde ve mikronukleus frekanslarında anlamlı artışlar tespit etmişlerdir.

Yukarıdakilerin aksine elektromanyetik alanların, kromozom düzeyinde önemli artışlara neden olmadığını yayınlayan araştırmacılar da mevcuttur (40, 52). Valjus ve arkadaşları (38), posta ve telekomünikasyon işlerinde çalışanların kontrol grubu olarak seçildiği ve güç hatları ile uzun dönem elektromanyetik alana maruz kalan çeşitli işlerde çalışan kişiler üzerinde yaptıkları çalışmada, kromozomal anormallik, kardeş kromatidlerde değişme ve mikronukleus oluşumlarında herhangi bir farklılık gözlememişlerdir. Ancak daha önceleri sigara içen kişilerde kromatid tipi anormalliklerde artış tespit etmişlerdir. Skyberg ve arkadaşları (89), 5-10 μ T

manyetik alan bulunan yüksek voltaj kabloları test laboratuvarlarında çalışan kişilerde yaptıkları araştırmada kromozomal anormallik ve kardeş kromatidlerde değişme oranlarında anlamlı artışların olmadığını bildirmişlerdir.

Bu çalışmada, yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan elektromanyetik alanların oluşturduğu kromozomal anormalliklerin yanı sıra, RAPD-PCR yöntemi kullanılarak çeşitli bitkilerde DNA seviyesinde herhangi bir farklılığa neden olup olmadığı da incelenmiştir. Bu yöntem, rastgele primerler seçilerek DNA'nın primerlerle uygunluk gösteren bölgelerinin çoğaltılması ve DNA'da meydana gelebilecek muhtemel mutasyonların ortaya çıkartılması esasına dayanmaktadır. DNA üzerinde primerin bağlanmasına uygun baz dizilişlerinde elektromanyetik alanların etkisi sonucu oluşabilecek muhtemel değişiklikler nedeniyle, primerin bağlanması engellenecek ve kontrol gruplarında gözlenen bantlar deney gruplarında gözlenemeyecektir. Diğer yandan, meydana gelen mutasyonlar sonucunda normalde primerin bağlanmaması gereken bir bölgeye bağlanması da söz konusu olabilir ve farklı bantlanmalar gözlenebilir.

PCR tekniği 1985 yılında Karry Mullis tarafından geliştirilmiştir. İlk defa, aynı yıl Mullis ve arkadaşları tarafından orak hücre anemisinin tanısının konulmasında uygulamaya sokulmuştur. PCR, herhangi bir organizmaya ait genomik DNA'daki dizisi bilinen herhangi bir bölgesinin çoğaltılmasını sağlayan bir tekniktir. PCR tekniğinin prensibi, tekrarlanan üç basamağa dayanır. Öncelikle çoğaltılacak DNA'nın yüksek sıcaklıkta denatürasyonu, daha sonra özgül hibridizasyona olanak verecek sıcaklıkta primerlerin hedef bölgelerle birleşmesi ve *Taq* DNA polimeraz enziminin en yüksek aktiviteyi gösterdiği sıcaklık olan 72°C'da primerlerden itibaren zincirin uzaması. *Taq* DNA polimeraz enzimi *Thermus aquaticus* bakterisinden izole edilen ve 94°C'da inkübe edildikten sonra bile aktivitesini kaybetmeyen bir enzimdir (90). Bu işlemlerde primerlerin hedef bölgelerle birleşme sıcaklığı, primerin yapısına göre değişmektedir. $4(G+C)+2(A+T)$ işleminin sonucundan elde edilen değer erime sıcaklığı (T_m) olarak alınır. Primerin bağlanma sıcaklığı, bu değer 3°C (91) ya da 5°C (90) aşağısı alınabilir. Primerin bağlanma sıcaklığı olarak, T_m değerinden 2 ve

4°C’lık üstünde bir değeri kullanan araştırmacılar da vardır (92). Birden fazla primer kullanılmışsa iki primerin bağlanma sıcaklığının ortalaması alınır.

PCR tekniğinin yaygın olarak kullanılmasına karşın, reaksiyon sırasında oluşan bazı hatalar olumlu ya da olumsuz yanlış değerlendirmelere neden olabilmektedir. Deterjanlar ve proteinazlar gibi kullanılan bazı bileşikler, polimeraz zincir reaksiyonunda DNA’ya bağlanabilir veya bazlar arasına girerek ürün oluşumunu olumsuz yönde etkileyebilir. Diğer yandan *Taq* DNA polimeraz enziminin 5’→ 3’ ya da 3’→ 5’ yönünde ekzonükleaz aktivitesi olmadığı için, sentez sonrasında yanlış nükleotid eklentilerinin kontrolünü yapamamaktadır. Döngü başına senteze giren yanlış dNTP (deoksinükleotid trifosfat) oranı 2×10^{-4} ’tür. Bu tip hatalı PCR ürünleri tanıya dayalı analizlerde (hibritleme ve dizi analizi için kalıp oluşturma) fazla problem yaratmamasına rağmen, bu ürünlerin klonlama için kullanılması önerilmez (91). Mitomycin-C (MMC)’nin balık hücrelerinde oluşturduğu DNA hasarlarını belirlemek için yapılan RAPD-PCR analizlerinde, kullanılan DNA miktarının sonuçlar üzerinde etkili olduğu bildirilmektedir. 20 ng DNA kullanılan analizlerde, 5 ng DNA kullanılan analizlerde gözlenmeyen 3 ayrı bant oluşumunun daha gözlenmesi, DNA miktarının artmasıyla birlikte mutasyona uğramış DNA’ların belirlenebilme şansının daha fazla olduğu bildirilmektedir (15). Bu çalışmada 50 ng DNA kullanılmıştır.

Bu araştırmada, kromozomal çalışmalara destek oluşturması amacıyla kullanılan RAPD-PCR tekniği, yüksek gerilim hatlarına 0, 10, 25, 50 ve kontrol grubu olarak 100 m’den uzak mesafelerden alınan farklı bitki materyallerine uygulanmıştır. Az da olsa uygulama gruplarında kontrole göre farklılıklar tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda bazı primerlerin çalışmadığı gözlenmiştir. Her canlı grubunun kendine has bir genetik materyal içeriğine sahip olması aynı zamanda farklı gen dizilişlerine sahip olmasını da beraberinde getirmektedir. Bu özellikler, canlılarda farklı primer bağlanma bölgelerine sahip olmasını sağlar. *Anchusa leptofilla* türünde hiçbir primer çalışmamıştır. Primerlerin kendini eşleyebileceği uygun bölgelerin bulunmayışı nedeniyle birleşme gerçekleşmemiş, buna bağlı olarak polimerizasyon ve sonuçta herhangi bir bant oluşumu gözlenmemiştir. En fazla farklılık *Tragopogon*

longirostris Bisch ex Schultz Bip. var. *longirostris* bitkisinde gözlenmiştir. 9 ayrı primerde farklı sayı ve şiddette olmak üzere gruplar arasında farklı bantlanmalar vardır. *Triticum baeoticum* Boiss. subsp. *baeoticum* türünde 5 primerde farklı sayı ya da şiddette bantların olduğu görüntüler alınmıştır. *Sanguisorba minor* türünde ise çalışan 7 primerde de farklı bant oluşumu gözlenmiştir. Ancak bu türde çalışan 6 primerde sadece 0 m mesafede bant oluşumu gözlenirken, bir tanesinde 10, 25 ve 50 m mesafelerden alınan bitki örneklerinde farklı sayı ve şiddette bant oluşumu gözlenmiştir.

RAPD-PCR tekniğinde, yukarıda bahsedilen hata kaynakları nedeniyle, kesin sonuçlar vermese de, kromozomal çalışmalarda elde edilen sonuçları destekler niteliktedir. Ancak bu çalışmada elde edilen farklılıklar, yüksek gerilim hatlarının neden olduğu elektromanyetik alanlardan kaynaklanabileceği gibi, bireylerin sahip olduğu genetik farklılıklardan da kaynaklanabilir. RAPD-PCR tekniği ile kesin sonuçların elde edilebilmesi için çok daha fazla sayıda primerin kullanımı uygun olacaktır. Bunun yanında SSR (Simple sequence repeats) veya AFLP (Amplified fragment length polymorphisms) tekniklerinin kullanılmasıyla daha güvenilir sonuçlar elde edilebilecektir.

RAPD-PCR tekniği çeşitli etken maddelerin DNA seviyesinde mutasyonlara neden olup olmadığının araştırılmasında da kullanılmaktadır. Köberle ve arkadaşları (17), Çin hamsteri V79 hücre hatlarında MMS (Metil methansülfonate) ile indüklenmiş HPRT (hipoxantin-guanin fosforiboziltransferaz) locusunda meydana gelen mutasyonların moleküler karakterini belirlemeye çalıştıkları araştırmalarında, MMS'nin oldukça toksik olduğunu ve mutasyon frekansında yüksek derecede artışların olduğunu belirlemişlerdir. MMC'nin (Mitomycin-C) balık hücrelerinde oluşturduğu DNA hasarlarının belirlenebilmesi amacıyla yapılan çalışmada da aynı teknik kullanılmış ve MMC'nin mutasyonlara neden olduğu belirlenmiştir (15). Papadopoulos ve arkadaşları (93), meme kanseri olan hastalarda RAPD-PCR tekniğini uygulamış ve kanserli hücrelerde % 44'lük bir farklılık tespit etmişlerdir.

Yapılan literatür araştırmasında elektromanyetik alanlarla RAPD-PCR tekniği kullanılarak yapılmış bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Ancak, başka teknikler kullanılarak, elektromanyetik alanların DNA üzerinde etkili olup olmadığının belirlenebilmesi amacı ile araştırmalar yapılmıştır. Lai ve Singh (53), 2 saat süreyle 0,1, 0,25 ve 0,50 mT dozlarındaki manyetik alana maruz bıraktıkları sıçanlarda, sürenin bitmesi ile birlikte beyin hücreleri çıkarılmış ve comet yöntemi ile DNA kırıklarına bakmışlardır. Yapılan test sonucunda, bütün dozlarda tek zincir kırıklarına, 0,25 ve 0,50 mT dozlarında ise çift zincir kırıklarına rastlamışlardır. İşler ve Erdem (60), askorbik asit oksidasyonu ile oksidatif stres oluşturulmuş insan periferik lenfositlerinde elektromanyetik alanın oksidatif DNA hasarı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 30 dakikalık sürede 0,3 mT'lık manyetik alan uygulanan hücre DNA'ları agaroz jelde yürütülmüş ve araştırma sonucunda, elektromanyetik alanların oksidatif stresin DNA hasarı üzerindeki etkisini arttırdığını tespit etmişlerdir. Bu sonucun elektromanyetik alanların serbest radikal konsantrasyonunu arttırmaktan kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Elektromanyetik alanların canlı organizmalar üzerine etkilerini araştırmak için kromozomal ya da DNA çalışmaların yanı sıra, özellikle kanser araştırmaları olmak üzerine çok sayıda epidemiyolojik ve fizyolojik çalışmalar da yapılmıştır. Çalışmaların büyük bir kısmı insanlar üzerine yoğunlaşırken, diğer kısmı hayvanlar ile ilgilidir. Epidemiyolojik çalışmalar sonucunda bazı araştırmacılar, çeşitli kanser tipleri ile elektromanyetik alanlar arasında bir ilişkinin olduğunu belirtirken (64, 94, 95), diğer bazı araştırmacılar elektromanyetik alanlar ile kanser arasında herhangi bir ilişkinin olmadığını savunmaktadırlar (67, 96, 97). Feychting ve arkadaşları (18), İsveç'te iletim hatlarına 300 m içinde yaşayan ve bu alan içinde çalışan kişilerde yaptıkları kanser araştırmalarında mesleki olarak maruz kalınan manyetik alan şiddetinin 0,2 μ T'ya eşit ya da daha büyük olduğunu belirlemişler ve araştırmanın sonucunda, iletim hatlarından kaynaklanan elektromanyetik alanlar ile lösemi arasında bir ilişkinin olduğu tezini desteklediklerini açıklamışlardır. Sinir sistemi tümörlerinde de bir riskin bulunduğunu belirtmişlerdir. Draper ve arkadaşları (19), İngiltere ve Galler'de yüksek gerilim hatlarına belirli mesafelerde doğan ve bu alanlarda yaşayan 0-14 yaşlarındaki çocuklarda yaptıkları araştırmada, 200 m içinde

bulunanlarda lösemi riskinin oldukça fazla olduğunu, 200 m ile 600 m arasında bulunanlarda daha az bir risk bulunduğunu belirtmişlerdir. 0,4 μT 'dan daha yüksek alanlarda lösemi riskinin iki kat arttığını bildirmişlerdir. Diğer kanser türleri için ise fazla bir risk belirlenmemiştir. Tynes ve Haldorsen (63), Norveç'te yüksek gerilim hatlarına yakın yerlerde yaşayan 0-14 yaşları arasında çocuklar üzerinde yaptıkları araştırmada ise elektromanyetik alanlar ile kanser arasındaki ilişkiyi çok az destekler sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir.

İsveç'te yüksek gerilim hatlarına 300 m mesafe içinde ve bu alanda ortalama yaşama süresi 4,1 yıl olan 0-15 yaşları arasındaki çocuklarda kanser araştırmaları yapılmış ve çocuklarda görülen kanser vakaları ile yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan elektromanyetik alanlar arasında bir ilişkinin olmadığı tespit edilmiştir. Ancak bu çalışmada deneklerin % 75'ten büyük bir kısmının yaşam alanındaki manyetik alan 0,09 μT 'dan daha küçüktür. Diğer geri kalan deneklerin yarıya yakınının yaşam alanındaki manyetik alan 0,1-0,19 μT arasında ve diğer yarısındaki manyetik alan 0,2 μT 'ya eşit ya da büyük olarak ölçülmüştür (62). Bu veriler ile yüksek gerilim hatlarında yapılan çeşitli ölçümler (46, 49, 50) karşılaştırıldığında, yerleşim alanlarının büyük bir kısmı yüksek gerilim hatlarına oldukça uzakta bulunmaktadır. Robert ve arkadaşları (39) yaptıkları çalışmada, yüksek gerilim hatları civarında yaşayan insanlarda kanser ve düşük yapma oranlarını araştırmışlar ve önemli bir artışa rastlamamışlardır. Tornqvist (42) araştırmasında, güç hatlarında en az 1 yıldır çalışan kişilerin yeni doğan çocuklarını incelemiş ve bünyelerinde ortaya çıkan sakatlıkların, yeni işe girenlerin çocukları ile istatistiksel olarak fark olmadığını belirtmiştir.

Enerji iletim hatlarından farklı olarak, meslekleri gereği ya da çeşitli nedenlerle elektromanyetik alanlara maruz kalan kişiler üzerine yapılmış epidemiyolojik çalışmalar da bulunmaktadır. Manyetik alanlara maruz kalma ile çocukluk dönemi ortaya çıkan kanser türleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için yapılan çalışmada beyin tümörleri ile elektromanyetik alanlar arasında kuvvetli kanıtlar elde edilirken, lösemi ile elde edilen kanıtlar daha zayıf bulunmuştur (98). Savitz ve arkadaşlarının (20), 0-14 yaş grubundaki çocuklar üzerinde yaptıkları araştırmada, hamilelik

döneminde elektrikli battaniye kullanan annelerle ilişkili olarak çocukların özellikle beyin tümörüne yakalanma riskinde anlamlı artışlar tespit etmişlerdir. Kanada ve Fransa'da elektrik işleriyle uğraşan kişiler üzerine yapılan bir araştırmada, 0,2 μT 'dan daha yüksek manyetik alana maruz kalan kişilerde lösemi riskinde artış olduğunu ancak, erkeklerde meme kanseri ya da prostat kanseri gibi vakalarla elektromanyetik alanlar arasında bir ilişkinin gözlenmediği belirtilmiştir (99). Minder ve Pfluger (21), ortalama manyetik alanın 25,9 μT olduğu, İsveç demiryollarında 1972-1993 yılları arasında çalışmış olan kişiler üzerinde yaptıkları araştırmada, maruz kalınan elektromanyetik alanlar ile lösemiye bağlı ölüm oranları arasında anlamlı bir ilişkinin olduğunu, ancak beyin tümörüne bağlı ölümlerde elektromanyetik alanlar ile anlamlı bir ilişkinin olmadığını tespit etmişlerdir. İngiltere'de farklı iş dallarında çalışan kişiler üzerine yapılan bir araştırmada da lösemi riski ile elektromanyetik alanlar arasında azda olsa bir ilişkinin var olduğu belirtilmektedir (66).

Farklı nedenlerle elektromanyetik alanlara maruz kalan kişilerle çeşitli kanser türleri arasında bir ilişkinin olduğunu savunan araştırmacıların yanı sıra, elektromanyetik alanların kanser riskini artırmadığını açıklayan araştırmalar da mevcuttur. Tynes ve arkadaşları (65), Norveç demiryollarında çalışan kişiler üzerinde yaptıkları çalışmada, demiryollarından kaynaklanan elektrik veya manyetik alanların lösemi ve beyin tümörü riski oluşturmadığını açıklamışlardır. Preston-Martin ve arkadaşları (100), Amerika Birleşik Devletleri Batı Sahili bölgelerinde yaptıkları araştırmada, hamileliğin herhangi bir üç ayında elektrikli battaniye kullanan annelerin çocuklarında beyin tümörü riskine rastlanmadığını açıklamışlardır. 1992-1994 yılları arasında meme kanseri teşhisi konulan kadınlar üzerinde yapılan bir araştırmada, elektrikli battaniye kullanan kadınlar ile kullanmayan kadınlar arasında herhangi bir farklılığın gözlenmediği açıklanmıştır (97). Laden ve arkadaşlarının (101) yaptıkları bir araştırmada, hastalığa yakalanmadan önce en az 16 yıl elektrikli battaniye kullanan kişilerde meme kanseri ile elektrikli battaniye arasında zayıf bir ilişki tespit etmişlerdir. Ancak, çalışma sonucunda elektrikli battaniyeden kaynaklanan elektromanyetik alanlar ile meme kanseri arasında kesin bir ilişkinin desteklenmediğini açıklamışlardır.

Kanserli vakalar üzerine yapılan epidemiyolojik çalışmalar sonucunda hem elektromanyetik alanların kanser riskini arttırdığını, hem de herhangi bir etkisinin olmadığını yayınlayan araştırmacılar bulunmaktadır. Burada dikkate alınması gereken temel unsurun maruz kalınan elektromanyetik alanın şiddeti ve maruz kalma süreleri olduğu görülmektedir.

Elektromanyetik alanların canlılar üzerindeki muhtemel etkilerini ortaya koymaya çalışan araştırmacılar, hücre metabolizması ve enzim aktiviteleri üzerine de çalışmalar yapmışlardır. Paksu ve arkadaşları (49), 380 kV'luk yüksek gerilim hatlarına yatay olarak 1-2 m mesafede bulunan binalarda 8 saat çalışan ve yine aynı bölgede yüksek gerilim hatlarına 100-200 m uzaklıkta bulunan lojmanlarda yaşayan erkek bireylerle, yine aynı lojmanlarda yaşayan kadınların eritrosit membran proteinleri üzerine bir araştırma yapmışlar ve kontrol gruplarına göre önemli farklılıklar belirlemişlerdir. Araştırmacılar bu farklılıkların nedeni olarak, elektromanyetik alanların neden olduğu radikallerin, eritrositlerde lipid peroksidasyonuna neden olması sonucunda meydana gelen ürünlerin membran proteinlerini etkilemesinden kaynaklanmış olabileceğini açıklamışlardır. Elektromanyetik alanların eritrosit membranlarında iki taraflı madde taşınmasında rol alan protein bant 3'te değişikliğe neden olması, hücre transportunun etkilendiğini açıkça göstermektedir. Protein bant 4.1 yüzdesinin azalmış olması, membran iskeletinin zayıfladığını göstermektedir. Araştırmacılar, hemoglobin yüzdesindeki azalışı eritrositlerin hemoliz olması sonucuna bağlamaktadırlar.

Güler ve Atalay'ın (47) kobaylarla yaptıkları bir çalışmada, dokuya düşük gerilimli akım uygulandığında katotta oksijen tüketiminin olacağı, lokal doku oksijen basıncının azalacağını ve hidroksil radikallerinin oluşacağını açıklamaktadırlar. Araştırmacılara göre, serbest oksijen türevleri hücrede lipidler, proteinler ve DNA üzerinde toksik etkiye sahiptirler. Bu yolla hücrede yapısal ve fonksiyonel bozukluklara neden olabilir. Serbest radikallerin proteinleri etkileme dereceleri aminoasit kompozisyonlarına bağlıdır. Doymamış ve sülfür içeren moleküllerin serbest radikallere duyarlılığı çok fazladır. Serbest radikaller aminoasitlerin oksidasyonu yanında, peptid bağlarının hidrolizi, disülfid bağlarının oluşumu ve

çapraz bağlanmalara yol açabilir. Bunun sonucunda, enzimler fonksiyon kaybına uğrayabilir, hücre içi ve dışı iyon dağılımı bozulur. Elektrik alanlarına maruz kalan kobayların dokularında malondialdehit (MDA) seviyesinde artışların gözlenmesi serbest radikallerde artış olduğunun bir göstergesidir. Hücreye enerji transferi sonucunda organizmadaki moleküler oksijen, tek oksijen ve süperoksit olarak bilinen serbest radikallere dönüşebilmektedir. Newcomb ve arkadaşları (13), hücrelerde oluşan oksijen radikallerinin DNA'da CC → TT şeklinde mutasyonlara neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Elektrik ve manyetik alanların Na,K-ATPase enziminin fonksiyonunu etkilediğini gösteren çalışmalar da mevcuttur (58, 102). Ayrıca mitokondriyal oksidasyon zincirindeki elektron taşıma enzimi diye bilinen sitokrom oksidaz enziminin aktivitesi üzerine etkileri de incelenmiş ve manyetik alanların daha hızlı elektron taşınmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, özellikle kemik kırılmalarında manyetik alanların iyileştirici etkilerinden faydalanılması gerektiğinden bahsedilmiştir (103). 0,2-0,5 mT manyetik alan uygulanan tavşan kanlarında, glikolitik yolun ilk basamağı olan heksokinaz aktivitesinde herhangi bir değişikliğin olmadığı, ancak Fe(II)/askorbat ile inkübe edilmiş eritrositlerde 0,5 mT dozundaki manyetik alanda enzim aktivitesinin anlamlı derecede azaldığı bildirilmiştir (57). Veiga ve arkadaşları (34), fare mastositoma P815 hücrelerinin 2-10 dakika 1 V/cm elektrik alanına maruz bırakılmasıyla pH değerinin arttığını, hücre lizisinde artış olduğunu, sitoplazmik membranda hasar oluştuğunu ve kromatinin belirli bölgelerde yoğunlaştığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, mitokondrilerde şişmeler tespit edilmiş ve kristaların açılarak yırtılmaların olduğunu belirlemişlerdir. Süre artışıyla birlikte hücrelerde etkilenmelerin de arttığını bildirmişlerdir. Elektromanyetik alanların, fizyolojik olarak, farklı canlı grupları üzerine etkilerinin araştırıldığı başka çalışmalarda mevcuttur (34-36, 51, 59, 70, 104-107)

Hücre membranının kararlı elektrik yapısından dolayı, düşük frekanslı elektrik alanları çok etkili bir şekilde hücreye giremezken, manyetik alanlar rahatlıkla girebilirler. Ancak, elektromanyetik alanların hücre komponentleri üzerine direkt bir etkisinin olmadığı, membran yüzeyindeki sinyal mekanizmasının etkilenmesi

sonucunda ya da membrandan geçen elektromanyetik alanların enzim aktivitesinde oluşturdıkları düzensizlikler ve ikinci mesajcılar aracılığıyla çekirdeğe kadar ulaşarak DNA’da değişikliklere neden olduğu bildirilmektedir (102). Diğer yandan elektromanyetik alanların etkisiyle meydana gelen serbest radikallerden dolayı kimyasal reaksiyonlar ve DNA üzerine etki ettiği de açıklanmaktadır (108, 109). Elektromanyetik alanlar tarafından meydana getirilen serbest radikaller DNA ile reaksiyona girebilir ve DNA da neden olduğu kırılmalar ile translokasyonlar, çeşitli kromozomal anormallikler ve doğal olmayan şekilde düzenlenmiş DNA yapılarının ortaya çıkmasına neden olurlar (110). Serbest radikallerin bulunduğu birçok sistemde, iz elementleri bile önemli rol oynar. Demir gibi metal iyonlarının varlığında bu radikaller çok daha zararlı etkilere neden olabilirler (111). Elektromanyetik alanların diğer bir etki mekanizması da, hücre membranından iyon geçişi üzerinedir. Membran boyunca iyon geçişi kanal proteinlerinin voltaja bağlı değişimi ile düzenlenir. Organizma elektromanyetik alanlara maruz kaldığında, iyonların membran boyunca geçişinde düzensizlikler ortaya çıkar. İyon akışında meydana gelen bu düzensizlikler metabolizmada değişikliklere neden olur (112, 113). Elektromanyetik alanların kontrol noktaları üzerine de etki ederek, hücre metabolizmasını etkilediği belirtilmektedir (69).

Yapılan literatür incelemeleri sonucunda, elektromanyetik alanların, hücre bölünmesi sırasında bütün bir döngü sürecinde etkili olduğu ve bu nedenle de faz frekanslarında farklılıklar ortaya çıkardığı belirlenmiştir. Elektromanyetik alanlar, hücre döngüsü sırasında görevli enzim ve proteinler üzerine etki ederek, sinyal sürecini etkilemekte ve faz frekanslarında farklılıklar meydana getirmektedir. Elektromanyetik alanların neden olduğu serbest radikaller, hücre metabolizmasında görevli enzim ve proteinlerin yanı sıra DNA ile de etkileşime girerek çeşitli kromozomal anormalliklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan, elektromanyetik alanların, DNA’da zincir kırıklarının oluşması için yeterli enerjiye sahip olmadığı, bu nedenle diğer çevresel maddelerle ko-mutajen veya ko-kanserojen etki gösterdiği, tamir mekanizması üzerine etki ederek meydana gelen kırıkların birikmesine ve anormalliklerin artmasına neden olduğu da açıklanmaktadır. Elektromanyetik alanların hücrede meydana getirdiği voltaj değişimine bağlı olarak, hücre zarından

iyon geçişinde de düzensizlikler ortaya çıkmakta ve hücre metabolizmasını etkilemektedir. Diğeryandan ikinci mesajcılar aracılığıyla DNA'ya kadar etki etmekte ve anormalliklerin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca iyonların sahip olduğu yüklerden dolayı, elektromanyetik alanlara maruz kalan hücrelerde, + ya da – yüklere sahip olma durumlarına göre moleküllerin farklı yönlere doğru hareket etmeleri de söz konusudur. Elektromanyetik alanlar, hücre döngüsünde önemli bir role sahip olan kontrol noktaları üzerine de etki etmektedir. Hücreyi programlanmış hücre ölümlerine sevk eden gen ya da gen ürünlerinde herhangi bir düzensizliğinin meydana gelmesi, anormal yapıya sahip olan kontrolsüz hücre bölünmelerinin ortaya çıkmasına neden olabilir.

Elektromanyetik alanların, özetle;

- Serbest radikal oluşumunu arttırdığı
- Enzim ve proteinleri etkilediğı
- Kontrol noktaları üzerine etki ettiğı
- İyon geişı üzerine etkili olduğu
- Biyolojik moleküllerin farklı yönelimlerine neden olduğu
- DNA tamir mekanizması üzerine etkili olduğu grlmektedir.

Elektromanyetik alanların bu tür etki mekanizmaları nedeni ile hem çeşitli bitki türleri, hem de insan periferel lenfositleri ile yapılan araştırmalarda, elektromanyetik alanların mitotik indekste artışlara ve faz frekanslarında farklılıklara neden olduğu grlmektedir. Diğeryandan, kromozomal anormallikler ve kardeş kromatid değışimlerdeki artışlar ile DNA analizlerinden elde edilen sonuçlar da dikkate alındığında, elektromanyetik alanların canlılar üzerine hem hücre seviyesinde, hem kromozom organizasyonunda ve hem de DNA seviyesinde etkili olduğu söylenebilir.

Bitki materyalleri ile yapılan çalışmalarda, bütün uygulama grupları göz önüne alındığında en fazla gözlenen anormallikler sırası ile köprü, kalgın kromozom, fragment, multipolarlık, c-mitoz, yapışıklık ve düzensiz metafazdır. Mikronukleus, köprü ile birlikte ilk sırada yer alan anormalliktendir. İnsan periferel lenfositlerinde

ise, hem elektrik hem de manyetik alan uygulanan gruplarda kromatid ve kromozom kırıkları, kardeş kromatidlerde birleşme ve disentrik kromozom şeklinde anormallikler tespit edilmiştir. Ayrıca manyetik alan uygulanan gruplarda fragment oluşumları da gözlenmiştir. Her iki deney grubunda kardeş kromatidlerde değişimde de artışlar gözlenmiştir.

4.2. Öneriler

Yapılan bu çalışma sonuçlarına göre, elektromanyetik alanların hem sitotoksik hem de genotoksik etkili bir ajan olduğu açıkça görülmektedir. Bu nedenle de günlük yaşantımızda kullandığımız elektrikli aletler mümkün olduğunca dikkatli kullanılmalı ve gereksiz temaslardan uzak durulmalıdır.

22 Kasım 1978 tarih ve 16466 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren ve 30 Kasım 2000 tarih ve 24246 sayılı Resmi Gazete'de revize edilen "Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği", enerji iletim hatlarının yerleşim yerlerine, yollara ve tesislere olan mesafelerine bazı sınırlamalar getirmiştir. 380 kV'luk enerji iletim hatları için en düşük düşey uzaklık tarlaların bulunduğu yerlerde 9,5 m, köy ve şehir içi yollarda 12 m, ağaçlar üzerinde 5 m ve haberleşme hatları üzerine 4,5 m, yapılara 8,7 m olmalıdır. En küçük yatay uzaklık yapılara 5 m, petrol boru hatlarına 25 m ve ağaçlara 4,5 m olmalıdır (114).

Literatür çalışmalarından elde edilen veriler ve burada yapılan çalışmalar sonucunda, 1978 yılında hazırlanan ve 2000 yılında revize edilen yönetmelikte bazı değişikliklerin yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Yüksek gerilim hatları güzergahı belirlenirken, insanların yoğun olarak kullandıkları alanlardan uzak bölgelerin tercih edilmesi gerekmektedir. Özellikle yüksek kapasiteli iletim hatlarının özel bir sistem dahilinde korunaklı bir şekilde yer altından geçirilmesi en uygunu olacaktır. Yeni yerleşim bölgeleri oluşturulurken, insanların devamlı ikamet ettikleri ev ve işyerleri gibi mekanların, iletim hatlarına mümkün olduğunca uzak bölgelerde kurulması sağlanmalıdır. 25 m'den daha yakın bir mesafede hiç kimsenin uzun süreli bulunmasına kesinlikle izin verilmemelidir. Meslekleri gereği uzun süre

elektromanyetik alanlara maruz kalan kişilerin özel elbiseler kullanmaları sağlanmalı ve çalışma saatlerine özel düzenlemeler getirilmelidir.

Elektromanyetik alanların tehlikesinin yanında, tümör tedavisinde kullanılması, tohumlarda dormansinin kırılması ve verimin arttırılması gibi yararlı yönleri de bulunmaktadır. Yapılacak olan daha yoğun ve daha detaylı çalışmalar ile, elektromanyetik alanların, hem hangi dozlarda ve hangi mesafelerde zararlı olduğu ve hem de bu alanların, insanlığın yararına kullanılabilecek dozlarının belirlenmesi konusunda daha kesin sonuçlara ulaşılabilecektir.

KAYNAKLAR

1. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences), USDE (U.S. Department of Energy), “Elektrik gücünün kullanımı ile ilgili elektrik ve manyetik alanlar”, İşyerinde elektrik ve manyetik alanlar-soru ve cevaplar, TEDAŞ, **TEDAŞ**, Ankara, 1-8, 25-46 (1996).
2. “Türkiye Üretim-İletim Sistemi Haritası”, **Türkiye Elektrik Üretim-İletim A.Ş.**, (1997).
3. Serway, R. A., “Fen ve Mühendisler için Fizik 2”, Çolakoğlu, K., **Palme Yayıncılık**, Ankara, 626-657, 679-686, 804-849, 874-876, 955-988 (1996).
4. Ames, B. N., Mccann, J. and Yamasaki, E., “Methods for detecting carcinogens and mutagens with the salmonella / mammalian microsome mutagenicity test genotoxicity”, **Mutat. Res.**, 31: 347-364 (1975).
5. Loprieno, N., Barale, R., Von Halle, E. S. and Von Borstel, R. C., “Testing of chemical for mutagenic activity with *Scizosaccharomyces pombe*”, **US EPA**, Gene-Tox Program, **Mutat. Res.**, 115: 215-233 (1983).
6. Zimmermann, F. K., Van Borstel, R. C., Parry, J. M., Stiebert, D., Zetterberg, G., Von Halle, E. S., Barak, R. and Loprieno, N., “Testing of chemicals for genetic activity with *Saccharomyces cerevisiae*”, **US EPA** Gene-Tox Program, **Mutat. Res.**, 133: 199-244 (1984).
7. Kilbey, B. J., Legotor, M., Nichols, W. and Ramel, C., “Handbook of mutagenicity test procedures”, **Els. Sci. Publ.**, Amsterdam, 269-290 (1984).
8. Perry, P. and Evans, H. J., “Cytological detection of mutagen carcinogen exposure by SCE”, **Nature**, 258: 121-125 (1975).
9. Topaktaş, M. ve Rencüzoğulları, E., “Sitogenetik”, **Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü**, Adana, 68-113 (1995).
10. Yaguchi, H., Yoshida, M., Ejima, Y. and Miyakoshi, J., “Effect of high-density extremely low frequency magnetic field on sister chromatid exchanges in mouse m5S cells”, **Mutat. Res.**, 440: 189-194 (1999).
11. Levan, A., “The effect of colchicine on root mitosis in *Allium*”, **Hereditas**, 24: 471-486 (1938).
12. Kihlman, B. A., “Root tips of *Vicia faba* for the study of induction of chromosomal aberrations”, **Mutat. Res.**, 31: 401-412 (1975).

13. Ma, T. H. and Grant, W. F., "The *Tradescantias*-adventurous plant", *Herbarist*, 48: 36-44 (1982).
14. Constantin, M. J. and Nilan, R. A., "Chromosome aberrations in barley (*Hordeum vulgare*)", *US EPA* Gene-Tox Program, *Mutat. Res.*, 99: 13-36 (1982).
15. Becerril, C., Ferrero, M., Sanz, F. and Castano, A., "Detection of mitomycin C-induced genetic damage in fish cells by use of RAPD", *Mutagenesis*, 14(5): 449-456 (1999).
16. Newcomb, T. G., Allen, K. J., Tkeshelashvili, L. and Loeb, L. A., "Detection of tandem CC→TT mutations induced by oxygen radicals using mutation-specific PCR", *Mutat. Res.*, 427: 21-30 (1999).
17. Köberle, B., Röscheisen, C., Helbig, R. and Speit, G., "Molecular characterization of methyl methanesulphonate (MMS)-induced HPRT mutations in V79 cells", *Mutat. Res.*, 301: 65-71 (1993).
18. Feychting, M., Forssen, U. and Floderus, B., "Occupational and residential magnetic field exposure and leukemia and central nervous system tumors", *Epidemiology*, 8(4): 384-389 (1997).
19. Draper, G., Vincent, T., Kroll, M. E. and Swanson, J., "Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study", *BMJ*, 330: 1290-1295 (2005).
20. Savitz, D. A., John, E. M. and Kleckner, R. C., "Magnetic field exposure from electric appliances and childhood cancer", *Am. J. of Epidemiol.*, 131(5): 763-773 (1990).
21. Minder, C. E. and Pfluger, D. H., "Leukemia, brain tumor, and exposure to extremely low frequency electromagnetic fields in Swiss railway employees", *Am. J. of Epidemiol.*, 153(9): 825-835 (2001).
22. Erdal, M. E., Erdal, N. and Oğuzkan, S., "Chromosomal aberrations in peripheral lymphocytes of a high-voltage power lineman exposed to electromagnetic fields", *Tr. J. of Med. Sci.*, 29: 335-336 (1999).
23. Khalil, A. M. and Qassem, W., "Cytogenetic effects of pulsing electromagnetic field on human lymphocytes in vitro: Chromosome aberrations, sister-chromatid exchanges and cell kinetics", *Mutat. Res.*, 247: 141-146 (1991).
24. Hintenlang, D. E., "Synergistic effects of ionizing radiation and 60 Hz magnetic fields", *Bioelectromagnetics*, 14(6): 545-551 (1993).

25. Erdal, M. E., Erdal, N., Oguzkan, S. ve Paksu, C., “Elektrik alanının insan kromozomlarına in vitro etkisi”, **Ç. Ü. Tıp Fak. Dergisi**, 23(13): 141-144 (1998).
26. Cho, Y. H. and Chung, H. W., “The effects of extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EMF) on the frequency of micronuclei and sister chromatid exchange in human lymphocytes induced by benzo(a)pyrene”, **Toxicol. Lett.**, 143: 37-44 (2003).
27. Winker, R., Ivancsits, S., Pilger, A., Adlkofer, F. and Rüdiger, H. W., “Chromosomal damage in human diploid fibroblasts by intermittent exposure to extremely low-frequency electromagnetic fields”, **Mutat. Res.**, 585: 43-49 (2005).
28. Simko, M., Kriehuber, R., Weiss, D. G. and Luben, R. A., “Effects of 50 Hz EMF exposure on micronucleus formation and apoptosis in transformed and nontransformed human cell lines”, **Bioelectromagnetics**, 19: 85-91 (1998).
29. Haider, T., Knasmueller, S., Kundi, M. and Haider, M., “Clastogenic effects of radiofrequency radiations on chromosomes of *Tradescantia*”, **Mutat. Res. Lett.**, 324(1-2): 65-68 (1994).
30. Pavel, A., Ungureanu, C. E., Bara, H., Gassner, P. and Creanga, D. E., “Cytogenetic changes induced by low-intensity microwaves in the species *Triticum aestivum*”, **Rev. Med. Chir. Soc. Med. Nat. Iasi.**, 102(3-4): 89-92 (1998).
31. Mailhes, J. B., Young, D., marino, A. A. and London, S. N., “Electromagnetic fields enhance chemically-induced hyperploidy in mammalian oocytes”, **Mutagenesis**, 12(5): 347-351 (1997).
32. Gray, J.R., Frith, C.H. and Parker, J.D., “In vivo enhancement of chemotherapy with static electric or magnetic fields”, **Bioelectromagnetics**, 21: 575-583 (2000).
33. Goodman, R., Weisbrot, D., Uluc, A. and Henderson, A., “Transcription in *Drosophila melanogaster* salivary gland cells is altered following exposure to low-frequency electromagnetic fields: analysis of chromosome 3R”, **Bioelectromagnetics**, 13(2): 111-118 (1992).
34. Veiga, V. F., Holandino, C., Rodrigues, M. L., Capella, M. A. M., Menezes, S. and Alviano, C. S., “Cellular damage and altered carbohydrate expression in P815 tumor cells induced by direct electric current: An in vitro analysis”, **Bioelectromagnetics**, 21: 597-607 (2000).
35. Kocaçalışkan, İ., Küfrevioğlu, İ, Keha, E. E. and Çalışkan, S., “Breaking of dormancy in potato tubers by electrical current”, **J. Plant Physiol.**, 135: 373-374 (1989).

36. Kocaçalışkan, İ., “Effectiveness of electrical currents in breaking potato tuber dormancy compared with other methods”, **J. Hortic. Sci.**, 65(6): 683-687 (1990).
37. Kocaçalışkan, İ., “Elektrik akımı ve bazı kimyasal uygulamalarla dormansisi kırılmış patates yumrularının filizlenme ve verim durumları üzerine bir araştırma”, **X. Ulusal Biyoloji Kongresi**, Erzurum, 223-229 (1990).
38. Valjus, J., Norppa, H., Jarventaus, H., Sorsa, M., Nykyri, E., Salomaa, S., Jarvinen, P. and Kajander, J., “Analysis of chromosomal aberrations, sister chromatid exchanges and micronuclei among power linesmen with long-term exposure to 50-Hz electromagnetic fields”, **Radiat. Environ. Biophys.**, 32: 325-336 (1993).
39. Robert, E., Harris, J. A., Robert, O. and Selvin, S., “Case-control study on maternal residential proximity to high voltage power lines and congenital anomalies in France”, **Paediatr. Perinat. Epidemiol.**, 10(1): 32-38 (1996).
40. Scarfi, M. R., Lioi, M. R., Zeni, O., Franceschetti, G., Franceschi, C. and Bersani, F., “Lack of chromosomal aberration and micronucleus induction in human lymphocytes exposed pulsed magnetic fields”, **Mutat. Res.**, 306(2): 129-133 (1994).
41. Rapley, B. I., Rowland, R. E., Page, W. H. and Podd, J. V., “Influence of extremely low frequency magnetic fields on chromosomes and the mitotic cycle in *Vicia faba* L., the broad bean”, **Bioelectromagnetics**, 19(3): 152-161 (1998).
42. Tornqvist, S., “Paternal work in the power industry: effects on children at delivery”, **J. Occup. Environ. Med.**, 40(2): 111-117 (1998).
43. Tateno, H., Lijima, S., Nakanishi, Y., Kamiguchi, Y. and Asaka, A., “No induction of chromosome aberrations in human spermatozoa exposed to extremely low frequency electromagnetic field”, **Mutat. Res.**, 414(1-3): 31-35 (1998).
44. Atak, M., “Farklı Triticale hatlarının morfolojik ve DNA markörleriyle genetik karakterizasyonu”, Doktora Tezi, **Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 28-29 (2004).
45. Parmaksız, İ., “Papaver cinsi Oxytona seksiyonunun Türkiye’de yetişen türlerinde genetik çeşitliliğin RAPD markörleri ile analizi”, Doktora Tezi, **Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 69-72 (2004).
46. Soja, G., Kunsch, B., Gerzabek, M., Reichenauer, T., Soja, A. M., Rippar, G. and Bolhar-Nordenkampf, H. R., “Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and corn (*Zea mays* L.) near a high voltage transmission line”, **Bioelectromagnetics**, 24: 91-102 (2003).

47. Güler, G. ve Atalay, S., “Elektrik alanının biyolojik etkileri“, *EMO Dergisi*, 40(406): 25-31 (2000).
48. Kınış, A., “Yüksek gerilimli enerji iletim hatları ve trafo istasyonları“, *Bilişim Toplumuna Giderken Elektromanyetik Kirlilik Etkileri Sempozyumu*, Ankara, 145-149 (1999).
49. Paksu, C., Erdal, N., Erdal, M. E. ve Oğuzkan, S., “Yüksek gerilim hattında çalışan ve yakınında yaşayan bireylerin eritrosit membran proteinlerinin sodyum dodesil sülfat poliakrilamid jel disk elektroforez yöntemi ile araştırılması“, *Tr. J. of Biol.*, 23: 23-30 (1999).
50. Şeker, S., “Elektromanyetik kirlenme, etkileri ve güvenlik önlemleri“, *EMO Dergisi*, 40(406): 10-16 (2000).
51. Ebeoğlu, M. A., Opak, Y. ve Başaran, D., “Patates (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*) yumrularına elektrik alanının etkisi“, *Bilişim Toplumuna Giderken Elektromanyetik Kirlilik Etkileri Sempozyumu*, Ankara, 159-163 (1999).
52. Rosenthal, M. and Obe, G., “Effects of 50-Hertz electromagnetic fields on proliferation and on chromosomal alterations in human peripheral lymphocytes untreated or pretreated with chemical mutagens“, *Mutat. Res.*, 210: 329-335 (1989).
53. Lai, H. and Singh, N. P., “Acute exposure to a 60 Hz magnetic field increases DNA strand breaks in rat brain cells“, *Bioelectromagnetics*, 18: 156-165 (1997).
54. Maes, A., Collier, M., Vandoninck, S., Scarpa, P. and Verschaeve, L., “Cytogenetic effects of 50 Hz magnetic fields of different magnetic flux densities“, *Bioelectromagnetics*, 21: 589-596 (2000).
55. Testa, A., Cordelli, E., Stronati, L., Marino C., Lovisolo, G. A., Fresegna, A. M., Conti, D. and Villani, P., “Evaluation of genotoxic effect of low level 50 Hz magnetic fields on human blood cells using different cytogenetic assays“, *Bioelectromagnetics*, 25: 613-619 (2004).
56. Graham, C., Cook, M. R., Riffle, D. W., Gerkovich, M. M. and Cohen, H. D., “Nocturnal melatonin levels in human volunteers exposed to intermittent 60 Hz magnetic fields“, *Bioelectromagnetics*, 17(4): 263-273 (1996).
57. Fiorani, M., Biagiarelli, B., Vetrano, F., Guidi, G., Dacha, M. and Stocchi, V., “In vitro effects of 50 Hz magnetic fields on oxidatively damaged rabbit red blood cells“, *Bioelectromagnetics*, 18: 125-131 (1997).
58. Blank, M. and Soo, L., “Frequency dependence of Na,K-ATPase function in magnetic fields“, *Bioelectroch. Bioener.*, 42: 231-234 (1997).

59. Nakaoka, Y., Shimizu, K., Hasegawa, K. and Yamamoto, T., "Effect of a 60 Hz magnetic field on the behaviour of *Paramecium*", ***Bioelectromagnetics***, 21: 584-588 (2000).
60. İşler, S. and Erdem, G., "The effect of electromagnetic fields on oxidative DNA damage", ***J. of Cell and Mol. Biol.***, 2: 35-38 (2003).
61. Roman, A., Zyss, T. and Nalepa, I., "Magnetic field inhibits isolated Lymphocytes' proliferative response to mitogen stimulation", ***Bioelectromagnetics***, 26: 201-206 (2005).
62. Feychting, M. and Ahlbom, A., "Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines", ***Am. J. of Epidemiol.***, 138(7): 467-481 (1993).
63. Tynes, T. and Haldorsen, T., "Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines", ***Am. J. of Epidemiol.***, 145(3): 219-226 (1997).
64. Dockerty, J. D., Elwood, J.M., Skegg, D. C. G. and Herbison, G. P., "Electromagnetic field exposures and childhood cancers in New Zealand", ***Cancer Cause Control***, 9: 299-309 (1998).
65. Tynes, T., Jynge, H. and Vistnes, A.I., "Leukemia and brain tumors in Norwegian railway workers, a nested case-control study", ***Am. J. of Epidemiol.***, 139(7): 645-653 (1994).
66. Willett, E. V., McKinney, P. A., Fear, N. T., Cartwright, R. A. and Roman, E., "Occupational exposure to electromagnetic fields and acute leukaemia: analysis of case-control study", ***Occup. Environ. Med.***, 60: 577-583 (2003).
67. Forssen, U. M., Rutqvist, L. E., Ahlbom, A. and Feychting, M., "Occupational magnetic fields and female breast cancer: A case control study using Swedish registers and new exposure data", ***Am. J. of Epidemiol.***, 161(3): 250-259 (2005).
68. Chauhan, L. K. S., Saxena, P. N. and Gupta, S. K., "Cytogenetic effects of cypermethrin and fenvaleray on the root meristem cells of *Allium cepa*", ***Environ. Exp. Bot.***, 42: 181-189 (1999).
69. Weinert, T. and Lydall, D., "Cell cycle checkpoints, genetic instability and cancer", ***Semin. Cancer Biol.***, 4(2): 129-140 (1993).
70. Kalkan, M. T., Körpınar, M. A., Pişiriciler, R., Toprak, N., Birman, H. ve Hacıbekiroğlu, M., "50 Hz frekanslı manyetik alanın, sıçanların vücut ağırlıkları, kan parametreleri ve tavuk embriyosu üzerine etkileri", ***Bilişim Toplumuna Giderken Elektromanyetik Kirlilik Etkileri Sempozyumu***, Ankara, 73-79 (1999).

71. Zwingelberg, R., Obe, G., Rosenthal, M., Mevissen, M., Buntenkötter, S. and Löschner, W., "Exposure of rats to a 50-Hz, 30-mT magnetic field influences neither the frequencies of sister-chromatid exchanges nor proliferation characteristics of cultured peripheral lymphocytes", *Mutat. Res.*, 302: 39-44 (1993).
72. Yamaguchi, S., Ogiue-Ikeda, M., Sekino, M. and Ueno, S., "Effects of pulsed magnetic stimulation on tumor development and immune functions in mice", *Bioelectromagnetics*, 27(1): 64-72 (2006).
73. Robison, J. G., Pendleton, A. R., Monson, K. O., Murray, B. K. and O'Neill, L., "Decreased DNA repair rates and protection from heat induced apoptosis mediated by electromagnetic field exposure", *Bioelectromagnetics*, 23: 106-112 (2002).
74. Haliem, A. S., "Cytological effects of the herbicide sencor on mitosis of *Allium cepa*", *Egypt. J. Bot.*, 93-104 (1990).
75. Kara, M., Şanda, M. A., and Ateş, A., "Cytogenetic effects of the insecticide cypermethrin on the root meristems of *Allium cepa* L.", *Tr. J. Of Biol.*, 18: 323-331 (1994).
76. El-Ghamery, A. A., El-Nahas, A. I. and Mansour, M. M., "The action of atrazine herbicide as an inhibitor of cell division on chromosomes and nucleic acids content in root meristems of *Allium cepa* and *Vicia faba*", *Cytologia*, 65: 277-287 (2000).
77. Yoshida, Y., Nakamura, K. and Hiura, A., "Contraction of chromosomes and depression of RNA synthesis by isopropyl N-(3-chlorophenyl) carbamate (CIPC) in *Vicia faba*", *Cytologia*, 46: 169-172 (1983).
78. Ahmad, S. and Yasmin, R., "Effects of methyl parathion and tri-miltox on the mitosis of *Allium cepa*", *Cytologia*, 57: 155-160 (1992).
79. El-Shazly, H. H. and El-Sheikh, I. A., "Arrest of mitotic cycle and induction of chromosomal aberrations by aflatoxin B₂ in root cells of *Vicia faba* L.", *Cytologia*, 65: 113-122 (2000).
80. Hidalgo, A., Gonzales-Reyes, J. A., Navas, P., Garcia-Herdugo, G., "Abnormal mitosis and growth inhibition in *Allium cepa* roots induced by and chlorproppam", *Cytobios*, 57(228): 7-14 (1989).
81. Patil, B. C., and Bhat, G. L., "A comparative study of MH and EMS in the induction of chromosomal aberrations on lateral root meristem in *Clitoria ternata* L.", *Cytologia*, 57: 259-264 (1992).

82. Sudhakar, R., Ninge Gowda, K. N., and Venu, G., "Mitotic abnormalities induced by silk dyeing industry effluents in the cells of *Allium cepa*", *Cytologia*, 66: 235-239 (2001).
83. Klasterska, I., Natarajan, A. T. and Ramel, C., "An interpretation of the origin of subchromatid aberrations and chromosome stickiness as a category of chromatid aberration", *Hereditas*, 83: 153-152 (1976).
84. Badr, A. and İbrahim A. G., "Effect of herbicide glean on mitosis, chromosomes and nucleic acids in *Allium cepa* and *Vicia faba* root meristems", *Cytologia*, 52: 293-302 (1987).
85. Natarajan, A. T., "Chromosome aberrations: past, present and future", *Mutat. Res.*, 504: 3-16 (2002).
86. Cossarizza, A., Monti, D., Bersani, F., Cantini, M., Cadossi, R., Sacchi, A. and Franceschi, C., "Extremely low frequency pulsed electromagnetic fields increase cell proliferation in lymphocytes from young and aged subjects", *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 160(2): 692-698 (1989).
87. Garcia-Sagredo, J. M. and Monteagudo, J. L., "Effect of low-level pulsed electromagnetic fields on human chromosomes in vitro: analysis of chromosomal aberrations", *Hereditas*, 115: 9-11 (1991).
88. Cortes, F. and Pastor, N., "Induction of endoreduplication by topoisomerase II catalytic inhibitors", *Mutagenesis*, 18: 105-112 (2003).
89. Skyberg, K., Hansteen, I. L. and Vistnes, A. I., "Chromosome aberrations in lymphocytes of high-voltage laboratory cable splicers exposed to electromagnetic fields", *Scand. J Work Environ. Health*, 19: 29-34 (1993).
90. Kalaycıoğlu, A., Öner, C., Birben, E. ve Bozkurt, A., "PCR tekniği ve DNA parmakızı analizi", Uygulamalı Moleküler Biyoloji Teknikleri, *Hacettepe Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Moleküler Biyoloji Anabilim Dalı*, Ankara, 27-34 (1997).
91. Talaş-Oğraş, T., "Polimeraz zincir reaksiyonu (PZR)", Bitki Biyogüvenlik Araştırmaları Uygulamalı Eğitim Programı, *TÜBİTAK Gen Mühendisliği ve Biyoteknoloji Araştırma Enstitüsü*, Kocaeli, 52-57 (2002).
92. Jazdzewska, E., Sadoch, Z., Niklas, A. and Majewska-Sawka, A., "Plant regeneration from sugar beet leaf protoplasts: analysis of shoots by DNA fingerprinting and restriction fragment length polymorphism", *Can. J. Bot.*, 78: 10-18 (2000).
93. Papadopoulos, S., Benter, T., Anastassiou, G., Pape, M., Gerhard, S., Bornfeld, N., Ludwig, W.D. and Dörken, B., "Assessment of genomic instability in breast

- cancer and uveal melanoma by random amplified polymorphic DNA analysis”, *Int. J. Cancer*, 99: 193-200 (2002).
94. Floderus, B., Persson, T., Stenlund, C., Linder, G., Johansson, C., Kiriranta, J., Parsman, H., Lindblöm, M., Wennberg, A., Öst, A. and Knave, B., “Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain tumor: a case-control study in Sweden”, *Cancer Cause Control*, 4: 465-476 (1993).
 95. Zhu, K., Hunter, S., Payne-Wilks, K., Roland, C. L. and Forbes, D. S., “Use of electric bedding devices and risk of breast cancer in African-American women”, *Am. J. of Epidemiol.*, 158(8): 798-806 (2003).
 96. Zheng, T., Holford, T. R., Mayne, S. T., Owens, P. H., Zhang, B., Boyle, P., Carter, D., Ward, B., Zhang, Y. and Zahm, S. H., “Exposure to electromagnetic fields from use of electric blankets and other in-home electrical appliances and breast cancer risk”, *Am. J. of Epidemiol.*, 151(11): 1103-1111 (2000).
 97. McElroy, J., Newcomb, P. A., Remington, P. L., Egan, K. M., Titus-Ernstoff, L., Trentham-Dietz, A., Hampton, J. M., Baron, J. A., Stampfer, M. J. and Willett, W. C., “Electric blanket or mattress cover use and breast cancer incidence in women 50-79 years of age”, *Epidemiology*, 12: 613-617 (2001).
 98. Savitz, D. A., Wachtel, H., Barnes, F. A., John, E. M. and Tvrdik, J. G., “Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields”, *Am. J. of Epidemiol.*, 128(1): 21-38 (1988).
 99. Theriault, G., Goldberg, M., Miller, A. B., Armstrong, B., Guenel, P., Deadman, J., Imbernon, E., To, T., Chevalier, A., Cyr, D. and Wall, C., “Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada, and France: 1970-1989”, *Am. J. of Epidemiol.*, 139(6): 550-572 (1994).
 100. Preston-Martin, S., Gurney, J. G., Pogoda, J. M., Holly, E. A. and Mueller, B. A., “Brain tumor risk in children in relation to use of electric blankets and water bed heaters. Results from the United States West Coast Childhood Brain Tumor Study”, *Am. J. of Epidemiol.*, 143(11): 1116- 1122 (1996).
 101. Laden, F., Neas, L. M., Tolbert, P. E., Holmes, M. D., Hankinson, S. E., Spiegelman, D., Speizer, F. E. and Hunter, D. J., “Electric blanket use and breast cancer in nurses’ health study”, *Am. J. of Epidemiol.*, 152(1): 41-49 (2000).
 102. Blank, M. and Goodman, R., “Do electromagnetic fields interact directly with DNA?”, *Bioelectromagnetics*, 18: 111-115 (1997).
 103. Blank, M. and Soo, L., “Enhancement of cytochrome oxidase activity in 60 Hz magnetic fields”, *Bioelectroch. Bioener.*, 45: 253-259 (1998).

104. Opak, Y., Kılıçoğlu, T., Ebeoğlu, M. A., Namlı, O., Yücel, S., Çolak, G. ve Başaran, D., “Elektrik alanının *Solanum tuberosum* L. (Patates) nişastası üzerine etkisi”, **XII. Ulusal Biyoloji kongresi**, Edirne, 13-17 (1994).
105. İşler, S., “Elektromanyetik alanın oksidatif DNA üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Çanakkale, (2001).
106. Sosa, M., Bernal-Alvarado, J., Jimenez-Moreno, M., Hernandez, J. C., Gutierrez-Juarez, G., Vargas-Luna, M., Huerta, R., Villagomez-Castro, J. C. and Palomares, P., “Magnetic field influence on electrical properties of human blood measured by impedance spectroscopy”, **Bioelectromagnetics**, 26: 564-570 (2005).
107. Harakawa, S., Inoue, N., Hori, T., Tochio, K., Kariya, T., Takahashi, K., Doge, F., Suzuki, H. and Nagasawa, H., “Effects of a 50 Hz electric field on plasma lipid peroxide level and antioxidant activity in rats”, **Bioelectromagnetics**, 26: 589-594 (2005).
108. Adey, W. R., “Biological effects of electromagnetic field”, **J. of Cell. Biochem.**, 51: 410-416 (1993).
109. Tuncel, H., Kalkan, T., Göksel, S., Özaydın, A., Onaran, İ., Kömürcü, Ö., Tuncel, N., Türker, A. ve Önen, S., “50 Hz frekanslı manyetik alan etkisinin kolon tümörü modelinde SOD aktivitesi ve histopatolojik açıdan incelenmesi”, **Bilişim Toplumuna Giderken Elektromanyetik Kirlilik Etkileri Sempozyumu**, 97-105 (1999).
110. Lacy-Hulbert, A., Metcalfe, J. C and Hesketh, R., “Biological responses to electromagnetic fields”, **The FASEB Journal**, 12: 395-420 (1998).
111. Basaga, H. S., “Biochemical aspects of free radicals”, **Biochem. Cell Biol.**, 68: 989-998 (1990).
112. Balcavage, W. X., Alvager, T., Swez, J., Goff, C. W., Fox, M. T., Abdullyava, S. and King, M.W., “A mechanism for action of extremely low frequency electromagnetic fields on biological systems”, **Biochem. and Biophys. Res. Commun.**, 222: 374-378 (1996).
113. Stange, B. C., Rowland, R. E., Rapley, B. I. and Podd, J. V., “ELF magnetic fields increase amino acid uptake into *Vicia faba* L. roots and alter ion movement across the plasma membrane”, **Bioelectromagnetics**, 23: 347-354 (2002).
114. Tüzüner, S., Bilgi, H., Demirkol, S., Erdoğan, F. Y., Güler, Y., Keskin, D., Mızrak, N. ve Yıldız, T., “Türkiye’de enerji iletim hatlarının durumu”, Elektrik Alanları ve Manyetik Alanlar, cilt 2, Elektrik İletimine Bağlı Elektrik Alanları

ve Manyetik Alanlar, Çakıroğlu, C., *TEAŞ Genel Müdürlüğü Çevre Daire Başkanlığı*, Ankara, 5-6 (2001).

ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Antalya ili Gazipaşa ilçesinde doğdu. İlk, Orta ve Lise eğitimini Gazipaşa'da tamamladı. 1988 yılında Akdeniz Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu'nu kazandı. 1990 yılında Sağlık Teknikeri ünvanı alarak mezun oldu. Aynı yıl, yine aynı üniversitenin Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü'nü kazandı ve 1994 yılında mezun oldu. 1996 yılında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Aynı yıl, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans programına başladı. 1999 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamladı ve aynı üniversitede doktora programını kazandı. Yüksek Öğretim Kanunu'nun 35. maddesi gereğince Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak görevlendirildi. Halen aynı göreve devam etmektedir. Yabancı dili İngilizcedir.