

# Değişik Şiddetteki Manyetik Alanların Hasarlanmış Sıçan Periferik Sinir Rejenerasyonu Üzerine Etkileri

## The Effect of Different Magnetic Field Intensities on Regeneration at Injured Peripheral Rat Nerves

Sevgi GÜNEŞ,<sup>a</sup>  
Dr. Belgin BÜYÜKAKILLI,<sup>a</sup>  
Dr. Handan ANKARALI<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Biyofizik AD,  
Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi,  
Mersin

<sup>b</sup>Biyostatistik AD,  
Zonguldak Karaelmas Üniversitesi  
Tıp Fakültesi, Zonguldak

Geliş Tarihi/Received: 28.03.2008  
Kabul Tarihi/Accepted: 04.09.2008

*-Bu çalışmanın bir kısmı, uluslararası katılımı "4th International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, Crete-Greece, 16-20 October, 2006" isimli workshopta sözlü sunum olarak sunulmuştur.*

*-Bu çalışma, Mersin Üniversitesi Bütçe Araştırma Proje Birimi (BAP) tarafından desteklenmiştir.*

Yazışma Adresi/Correspondence:  
Dr. Belgin BÜYÜKAKILLI  
Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi,  
Biyofizik AD, Mersin,  
TÜRKİYE/TURKEY  
bbuyukakilli@mersin.edu.tr

**ÖZET Amaç:** Çalışmamızda, günlük yaşamda maruz kalınan değişik şiddetteki sinüzoidal manyetik alanların periferik sinir rejenerasyonu üzerine etkileri araştırıldı. Manyetik alan uygulamasının etkisi araştırılırken, sinir hasarı yapılmış sıçan siyatik sinir modeli kullanılarak değişik şiddetteki (50 Hz frekanslı 1, 2 ve 3 mT şiddetinde) manyetik alanın periferik sinir rejenerasyonunu nasıl etkilediği incelendi. **Gereç ve Yöntemler:** Bütün sıçanlarda bileşik kas aksiyon potansiyelleri kaydedildikten sonra siyatik sinir ortaya çıkarılıp 5.0'luk forseps ile 15 saniye sıkıştırılarak sinirde hasar (crush injury) oluşturuldu. Bütün sıçanlara sinir hasarı yapıldıktan sonra sıçanlar, biri kontrol diğerleri ise 1, 2 ve 3 mT manyetik alan maruziyet grupları olmak üzere 4 gruba ayrıldı. Maruziyet gruplarına Helmholtz Bobin sistemlerinden elde edilen 1, 2 ve 3 mT şiddetindeki ve 50 Hz frekanslı manyetik alan 7 gün boyunca günde 4 saat olmak üzere uygulandı. Kontrol grubu ise aynı sistem içerisinde, sistem çalıştırılmadan bekletildi. **Bulgular:** Elektrofizyolojik değerlendirmeler, sinir rejenerasyonu açısından çalışmada uygulanan farklı şiddetlerde manyetik alanın, hem 3 günlük maruziyet döneminde hem de 7 günlük uygulama sonunda bileşik kas aksiyon potansiyeli genliği ve iletim hızında istatistiksel olarak hiçbir anlamlı değişiklik oluşturmadığını göstermiştir. **Sonuç:** Bu çalışmada kullanılan şiddet ve frekanstaki manyetik alanların periferik sinir iletimi ve uyarılabilirliği üzerine etkisi olmadığı, dolayısıyla periferik sinir rejenerasyonunu etkilemediği bulunmuştur. Dolayısıyla çalışmamızda, siniri hasarlanmış sıçan modelinde elektrofizyolojik yöntem kullanılarak manyetik alanın siniri koruyucu bir etkisi olduğu gösterilememiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sinir rejenerasyonu; elektromanyetik alanlar; aksiyon potansiyelleri; sinir iletimi

**ABSTRACT Objective:** We investigated the effects of different intensities of sinusoidal magnetic fields of daily life exposures on the peripheral nerve regeneration daily life exposure. The effects of magnetic field (50 Hz frequency and 1, 2, 3 mT intensities) treatment on sciatic nerve regeneration were studied in a model of crush injury of the sciatic nerve of rats. **Material and Methods:** Prior to crush injury, compound muscle action potentials were recorded for all rats. Then, the sciatic nerve was compressed for 15 sec with a jewelers forceps (no: 5). One rat group was kept as control and the remaining were assigned as 1, 2 and 3 mT magnetic field treatment groups. The magnetic fields 1, 2 and 3 mT were applied to 30 rats for 4 hours per day for a week using Helmholtz coil systems. The control group was included in the system for 4 hours per day for a week while the system was turned off. **Results:** In terms of nerve regeneration, 3- and 7-days treatments of different magnetic field intensities had no statistically significant effect on amplitude and conduction velocity of compound muscle action potential. **Conclusions:** The intensities and frequency of magnetic fields used in this study had no effect on conduction and excitability of nerves and consequently did not influence the nerve regeneration. We could not prove a neuroprotective effect of magnetic field in rat crush injury model using electrophysiological method.

**Key Words:** Nerve regeneration; electromagnetic fields; action potentials; neural conduction

Bütün canlı organizmalar, proteinlerin yapısından hücrelerarası iletişime ve sinir sistemi fonksiyonlarına kadar düşük frekanslı elektromanyetik alanları (EM) kullanan elektrokimyasal sistemlerdir.<sup>1</sup> Canlılığın başlangıcından günümüze kadar EM alanların kullanımı günden güne artmaktadır. EM enerjiler, yaşam kalitesini yükseltmekte yoğun olarak kullanılmaktadır. Sağlık alanında, güvenlik sistemlerinde ve günlük yaşamın her alanında EM sistemlere rastlamak olası hale gelmiştir.

Yerkürenin ve vücudumuzun her bölgesinde EM özellikleri saptanmış olup, vücut manyetik alanının  $10^{-11}$ - $10^{-13}$  Tesla (T) arasında değiştiği bildirilmiştir. Geomagnetik alan büyüklüğü ( $5 \times 10^{-5}$  T) ile karşılaştırıldığında vücut manyetik alanlarının bu alanla uyumlu olduğu görülmektedir.<sup>2</sup> Teknolojinin sunduğu, yaşamımızı kolaylaştıran aletlerin EM alanları ise yaklaşık 0.1-500 T arasında değişmekte olup, vücut ve doğal çevrenin EM alanından daha fazladır.<sup>3</sup>

Evde veya işyerlerinde maruz kalınan, elektrik kabloları, yüksek gerilim hatları ve elektrikli ev aletlerinden kaynaklanan elektrik ve manyetik alanlar 50 Hz titreşimlidir. Yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan manyetik alanın toprakta yaratacağı maksimum şiddet, hattın yüksekliğine bağlı olarak  $1 \times 10^{-5}$ - $5 \times 10^{-5}$  T arasında değişmektedir.

Günlük yaşamımıza bu kadar çok girmiş olan EM alanların birçok etkisi bilinmekle beraber henüz netlik kazanmamış noktalar da vardır. EM'lerin canlılar üzerindeki etkileri konusunda yapılan çalışmalarda birbirine zıt sonuçlar ileri sürülmektedir.<sup>4,6</sup> Özellikle sinir zedelenmesi oluşturulan sıçanlara EM alan uygulanarak yapılan elektrofizyolojik ölçümlerin verildiği araştırmalar, birbirinin tam tersi sonuçlar bildirmektedir.<sup>4,5,7,8</sup> Sıçanlarda yapılan çalışmalarda, EM alan uygulanmasının yara iyileşmesini hızlandırdığı ve erken iyileşmeye neden olduğu bildirilmiştir.<sup>4,9-11</sup> Ancak Cordeiro ve ark. ayrıca Leisner ve ark.'nın bu konuda yaptığı çalışmalarda ise EM alanların istatistik açıdan önemli bir iyileştirme etkisi gözlenmemiştir.<sup>7,8</sup>

Birçok kişi alternatif akım (AC) iletim ve dağıtım kablolarından, elektrikli aletlerden, evlerdeki elektrik kablolarından kaynaklanan oldukça düşük frekanslı (ELF) alanlara maruz kalmaktadır.<sup>12</sup>

Hasar öncesi pulslu elektromanyetik alana (PEMF) maruziyetin aksonal yeniden büyümede artışa neden olduğu bildirilmiştir.<sup>4,13</sup> Kedi ve sıçanlarda yapılan araştırmalarda, PEMF'nin periferik sinir rejenerasyon hızında artışa neden olabileceği ileri sürülmektedir.<sup>14,15</sup> Non invaziv bir yöntem olarak PEMF, sinir rejenerasyonunu arttırmada etkili bir uygulamadır.<sup>4,15-17</sup> Sıçan siyatik sinirlerinin duyuusal liflerinde 50 Hz frekanslı değişken manyetik alan ile stimülasyonun rejenerasyonu arttırdığı bildirilmektedir.<sup>18</sup>

Bir başka çalışmada, yüksek şiddetli (1 T) statik manyetik alanın sıçan siyatik sinirinde periferik sinir rejenerasyonu üzerine etkileri, elektrofizyolojik olarak ve miyelinli akson miktarı hesaplanarak araştırılmıştır. Bu çalışmada 4 hafta boyunca günde 12 saat sıçanlara manyetik alan uygulanması sinir büyüme hızını etkilememiş, sinir rejenerasyonu üzerine etkisi olmamış fakat kilo alımını azaltmıştır.<sup>8</sup>

Kolosova ve ark.'nın 1996 yılında yaptıkları bir çalışmada milimetre dalga boyunda manyetik radyasyonun (MWR) sıçan siyatik sinir rejenerasyonu üzerine stimülasyon etkisi olduğu gösterilmiştir. Femoral derinin sütür bölgesine MWR uygulanması sinir liflerinde rejenerasyon oranını ve fonksiyonel matürasyonunu hızlandırmıştır.<sup>19</sup>

Manyetik alanların biyolojik mekanizmaları tam olarak anlaşılammıştır. Elektrolit iyon değişimleri ile ilişkili olan fizyolojik etki, hücre membran permabilitesindeki değişimleri rapor etmektedir.<sup>20</sup> Kim ve ark., aksonal hasar oluşturduktan sonra PEMF'nin uygulanmasında PLC- $\gamma$ 1 ekspresyonunun, nöronal rejenerasyonu arttırdığı ve nöronal rejenerasyonda PLC- $\gamma$ 1'nin olası bir rolünün olabileceğini ifade etmişlerdir.<sup>21</sup>

Bu çalışmada, günlük yaşamda maruz kalınan manyetik alanların etkilerini saptamak için şehir şebeke frekansında (50 Hz titreşimli, sinüzoidal) ve çevreden maruz kalınan manyetik alanlar mertebesindeki değişik şiddetlerdeki alanların sinir reje-

nerasyonunu nasıl etkilediğini saptamak için in vivo bir araştırma planlandı. Bu amaçla dizaynı biyofizik laboratuvarında gerçekleştirilen Helmholtz Bobin Sistemleri'nden elde edilen, 50 Hz titreşimli, 1, 2 ve 3 mT şiddetindeki manyetik alanlar sinir hasarı sonrasında 7 gün boyunca günde 4 saat olmak üzere sıçanlara uygulandı.

## GEREÇ VE YÖNTEMLER

### HAYVANLAR

Çalışmamızda 150-200 g ağırlığında, yaklaşık 12 haftalık 40 tane dişi Wistar Albino sıçan kullanıldı. Sıçanlar çalışma süresince standart mevsimsel ısı, ışık ve oda koşullarında (22°C) tutuldu. İçme suyu yukarıdan sarkıtılan, ucunda pipet olan cam şişelerde ad libitum olarak verilmiş ve hazır palet yem kullanılmıştır. Deney başlamadan önce bütün sıçanların bu koşullara uyum sağlaması amacıyla 1 hafta boyunca laboratuvar ortamında yaşatıldılar. Bütün sıçanlara sinir hasarı yapıldıktan sonra her bir grupta 10 tane sıçan olacak şekilde rastgele 4 gruba ayrılmıştır. Sıçanlar maruz kalınan manyetik alan şiddetlerine göre 1, 2 ve 3 mT grupları ile kontrol grubu şeklinde gruplandırılmışlardır.

Maruziyet gruplarına Helmholtz Bobin sistemlerinden elde edilen, 50 Hz titreşimli 1, 2 ve 3 mT şiddetindeki EM alan, 7 gün boyunca günde 4 saat olmak üzere uygulandı. Kontrol grubu ise aynı sistem içerisinde, sistem çalıştırılmadan yalnızca ortamdaki EM ( $4 \times 10^{-5}$ - $5 \times 10^{-5}$  T) alan içinde bekletildi.

Grupların hepsinde, EM alana maruziyet öncesinde (0. gün = 1. ölçüm), EM alana maruz bırakıldıktan 3 gün (2. ölçüm) ve 7 gün (3. ölçüm) sonra olmak üzere 3 kez bileşik kas aksiyon potansiyeli (BKAP) ölçümleri yapıldı. Tüm bu aşamaların sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirmeleri yapılarak manyetik alanların, araştırılan değişkenler üzerine etkileri saptandı. Sıçanlar bu işlemlerden sonra yüksek dozda ketamin kullanılarak öldürüldü.

### Cerrahi Prosedür

Deneyler, Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurulu'nun onayından sonra başlatıldı. Tüm çalışma, "Guide for the Care and Use of the Laboratory

Animals" prensipleri doğrultusunda yapılarak hayvan hakları korundu. Bütün sıçanlar intramusküler olarak (i.m.) 50 mg/kg Ketamine Hydrochloride (Ketalar, Eczacıbaşı İlaç Sanayi ve Ticaret AŞ, İstanbul) ile anestezi edilerek uyutuldu. Bütün sıçanların BKAP'ları kaydedildikten sonra tek tarafta biceps femoris kası açılarak siyatik sinir ortaya çıkarılıp 5,0'lık forseps ile 15 saniye sıkıştırılarak hasar oluşturuldu. Sinir hasarı oluşturulan bölgeyi belirlemek için 10/0 prolene kullanılarak gevşek bir halka oluşturulduktan sonra açılan kısım üzerinde kas ve deriye sütür atılarak kapatıldı.

### Manyetik Alan Değişkenleri

Homojen manyetik alan oluşturan sistemlerinden birisi "Helmholtz Bobin Sistemi"dir. Bu sistem, aynı özelliğe sahip iletken malzemeden, aynı sarım sayısında ve eşit yarıçaplı hazırlanmış seri bağlı iki bobinden oluşur. Bobinler birbirinden koaksiyal olarak yarıçap kadar uzakta muhafaza edilip, aynı yönde ve aynı şiddette akım taşınması sağlandığında, her iki bobinin merkezinden geçen eksen boyunca homojen manyetik alan elde edilir.<sup>22</sup> Gerçekten de, çalışmamızda kullanılan her iki bobinin merkezleri ile sıçanların yerleştirildiği polikarbonat kafesin (26 cm x 17 cm x 13 cm) en dış noktaları arasındaki manyetik alan şiddeti ölçüldüğünde, yaklaşık  $4 \times 10^{-5}$  T'lık farklılıklar olduğu saptanmıştır.

Deney hayvanlarının, mevsim şartları ve sirkadyen ritim değişikliklerinden etkilenme düzeyinin en aza indirilmesi; araştırmanın standart şartlarda gerçekleştirilebilmesi ve bu nedenle kısa sürede fazla sayıda hayvan çalışılabilmesi için, homojen manyetik alan oluşturan sistem sayısının 2 adet olmasına karar verildi. Sistem I ve Sistem II laboratuvarında Faraday kafesleri (70 cm x 65 cm x 65 cm) içerisine yerleştirildi.

Maksimum 10 A'lık akım üreten 0- 250 V arasında istenilen değerlerde çıkış voltajı elde edilebilen bir kaynak kullanılarak Helmholtz bobin sistemlerinde manyetik alan oluşturuldu. Bobinler akım transformatöründen sağlanan akımla beslenerek, elektriksel özellikleri ölçüldü. Tasarım değerlerinin ölçümlerle uyumluluğu test edilerek sistemler hayvan deneyinde kullanılacak şekilde kuruldu. Sistem I, her birisi 0.5'lik emaye bakır tel-

den 1550 sarım ve sistem II ise 2.2'lik emaye bakır telden 160 sarım şeklinde tasarlandı. Sistem I'de 1 mT'lık manyetik alan şiddeti oluşturularak ilk grup çalışıldı. Sistem II'de ise sırasıyla 2 ve 3 mT manyetik alan şiddetleri oluşturularak, diğer maruziyet grupları çalışıldı. Tablo 1'de sistem I ve II'nin tasarım özellikleri görülmektedir.

Laboratuvarımızda oluşturulan Helmholtz bobin sistemlerinin ve elde edilen manyetik alan şiddetleri için ölçülen ve teorik olarak hesaplanan değerleri aşağıda Tablo 2'de verilmiştir.

### Manyetik Alanların Uygulanması

Helmholtz bobin sisteminden 50 Hz titreşimli, 1, 2 ve 3 mT şiddetindeki horizontal doğrultuda sinüzoidal manyetik alan oluşturularak sıçanlara uygulandı. Bütün uygulamalar sırasında kafesler, her seferde her bir polikarbonat kafes içinde 2 sıçan olacak şekilde, sabah 8-12 saatleri arasında Helm-

holtz bobin sistemlerinin merkezine yerleştirildiler.

Manyetik alan şiddeti ölçümleri Gaussmetre ve özel probu ile yapıldı (Sypris Test Measurement F.W. Bell 6010 Model Gauss/Teslameter). Sistemler çalıştırılmadan önce ve çalıştırdıktan sonra olmak üzere deneyin birçok aşamasında (homojenlik testi, sıcaklık testi, sıçanlara manyetik alan uygulaması gibi aşamalarda) laboratuvarın geomanyetik alanı ölçüldü. Laboratuvarda kaydedilen "Geomanyetik Alan" değerinin  $B_{ge-o} = 4 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$  T olduğu saptandı. Sistemler çalıştırıldığında VARIAC'ların sistemlere sağladığı akım ve voltaj, sisteme sürekli bağlı olan multimetre ile izlendi. Tüm deney sırasında ortamda yaklaşık 0.1 °C'lik sıcaklık değişimleri olduğu saptandı. Değişik şiddetlerde manyetik alana maruz kalan sıçanlarda indüklenen elektrik alan ve akım yoğunluğu hesaplanmış ve değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

	Sistem I	Sistem II
Telin öz direnci $\rho$ ( $\Omega$ .m)	$1.72 \times 10^{-8}$	$1.72 \times 10^{-8}$
İletken telin çapı (mm)	0.5	2.2
Sarım sayısı	1550	160
H (mm)	47	41
A (mm)	220	205
B (mm)	230	225
r (cm)	21	22.5
R ( $\Omega$ )/ bobin	187	2
RT ( $\Omega$ )/ bobin çifti	374	4

H: Bobin sarım kalınlığı, A: Bobinlerin iç yarıçapları, B: Bobinlerin dış yarıçapları, r: Bobinlerin ortalama yarıçapları, R: Bobinlerin hesaplanan direnci, RT: Bobin çiftlerinin hesaplanan direnci.

	Sistem I (1 mT için)	Sistem II (2 mT için)	Sistem II (3 mT için)
Bobin voltajı-(V)	18	55	80
Bobin akımı-(A)	0,15	3	4.8
O noktasının yüksekliği (cm)	21	22,5	22,5
O noktasındaki Bölçüm (mT)	1.02	2.05	3.02
O noktasındaki Bteorik (mT)	0.99	2.05	3.28

O noktası: Helmholtz Bobin Sistemleri'nin merkez noktası, O noktasındaki  $B_{ölçüm}$ : her iki sistemin merkezlerinde gaussmetre ile ölçülen manyetik alan değerleri, O noktasındaki  $B_{teorik}$ : her iki sistemin merkezlerinde teorik olarak hesaplanan manyetik alan değerleri.

### BKAP Kayıt Yöntemi

Bipolar uyarıcı elektrotlar (küçük bipolar elektrotlar Medelec 6894 T Oxford, UK) sinir üzerine yerleştirildikten sonra, supramaksimal şiddette tek kare puls (10 V genlik ve 0.5 ms süre) uygulandı. Disk şeklindeki yüzeysel kaydedici elektrotlar (017K006 nolu Medelec 6894 T Oxford, UK) ise, gastrokinemus kası üzerine yerleştirilerek bacağıın 1/3 distalinden BKAP'ları kaydedildi. Toprak elektrodu ise uyarının etkilemediği diğer bacağıın distalinde bir bölgeye yerleştirildi. Her kayıt sırasında, uyarıcı ve kayıtlayıcı elektrotlar arası mesafe 0.5 cm olacak şekilde ayarlandı ve proksimal ve distal kayıtlar alındı.

Standart sinir iletim çalışması teknikleri kullanılarak sıçanlardan BKAP'lar kaydedildi.<sup>23</sup> Grupların hepsinde (kontrol, 1, 2 ve 3 mT) sinir hasarı ve manyetik alana maruziyet öncesi kaydedilen BKAP değişkenleri "grup kontrol verileri" olarak kabul edildi. Bütün sıçanlarda sinir hasarından hemen önce, EM alan maruziyetinden 3 gün ve 7 gün sonra BKAP'ları kaydedildi. Veriler BIOPAC MP100 Veri Toplama Sistemi (Santa Barbara, USA) ile alındı (Şekil 1).

**TABLO 3:** Üç ayrı manyetik alan şiddetleri ve sıçanda indüklenen elektrik alan ve akım yoğunluğu değerleri.

Manyetik alan şiddeti (mT)	Hayvanda indüklenen elektrik alanı (mV/m)	Hayvanda indüklenen akım yoğunluğu (mA/m <sup>2</sup> )
1	4.7	0.5
2	9.4	0.9
3	14.1	1.4

**ŞEKİL 1:** MP 100 sistemi ve EMG kaydı.

BKAP değişkenlerinden genlik, proksimal ve distal latans ölçmek için BIOPAC Acqknowledge Analiz programı (ACK 100 W5.7 versiyon) kullanıldı (Şekil 2). Proksimal ve distal uyarı bölgeleri arasındaki motor iletim hızı; bu bölgeler arasındaki mesafenin ( $\Delta x$ ), yanıtların latansları ( $\Delta t$ ) arasındaki farka bölünmesi ile hesaplandı.

$$\text{İletim Hızı} = \Delta x / \Delta t$$

$$\text{İletim Hızı} = (x_2 - x_1) / (L_2 - L_1)$$

$L_1$ : 1. durumda (ilk belirlenen noktadan alınan) aksiyon potansiyelindeki latans değeri.

$L_2$ : 2. durumda (ilk belirlenen noktadan 0.5 cm uzaklıkta alınan) aksiyon potansiyelindeki latans değeri.

### İstatistiksel Analiz

Kontrol ve deney gruplarının istatistiksel analizi için; deney öncesinde, manyetik alana maruz bırakıldıktan 3 gün ve 7 gün sonra elde edilen BKAP kayıtlarından elde edilen genlik ve iletim hızı değişkenleri kullanıldı.

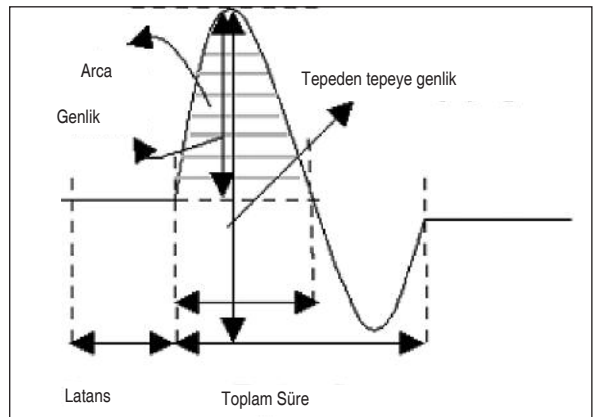
Çalışmadaki bütün veriler için periyodik olarak alınan 3 ölçüm arasındaki ve gruplar arasındaki farklar tekrarlı ölçümlerde varyans analizi ile değerlendirilmiş ve farklı periyot ve grupların belirlenmesinde Bonferroni post-hoc testi kullanılmıştır.

İstatistiksel analizlerde p değerleri 0.05'ten küçük olduğunda sonuç istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

## BULGULAR

Deney süresince bütün gruplardaki sıçanlar sağlıklı bir biçimde yaşatılmışlardır. Sinir rejenerasyonu, BKAP genlik ve latans değişkenleri kullanılarak değerlendirilmiş ve iletim hızı hesaplanmış; hesaplanan iletim hızları ile ölçülen genlik değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Şekil 2), (Tablo 4).

Genlikteki değişim incelendiğinde bütün gruplarda 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık ( $p = 0.001$ ) olduğu görülmüştür. 1. ölçüm döneminde genlik değerleri 2. ölçüm dönemine göre daha yüksektir. 1. ölçüm ile 3. ölçümler arasında da genlik bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu ( $p = 0.016$ ) ve yine 1. ölçüm döneminde genlik değerlerinin 3. ölçüm döneminden büyük olduğu saptanmıştır. 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark ( $p = 0.58$ ) olmadığı belirlenmiştir. Tablo 4 incelendiğinde 2 ve 3 mT gruplarında 7. günde 3. güne göre genlikte küçük bir artış olmasına rağmen bu artışın istatistiksel olarak önemli olmadığı bulunmuştur.

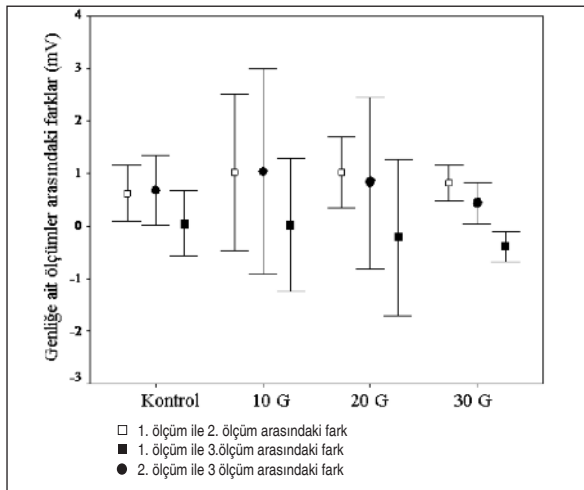
**ŞEKİL 2:** BKAP latans, toplam süre, genlik ve tepeden tepeye genlik değişkenleri.

**TABLO 4:** Bütün gruplardan kaydedilen bileşik aksiyon potansiyeli genlik ve iletim hızları ortalama ve standart sapma değerleri.

		0. gün	3. gün	7. gün
		Ortalama ± Standart sapma		
Genlik (mV)	Kontrol	7.6 ± 0.6	7.0 ± 0.3	7 ± 0.7
	1 mT	8.8 ± 2.1	7.4 ± 1.5	6.6 ± 2.6
	2 mT	6.4 ± 1.9	5.3 ± 1.9	5.5 ± 1.8
	3 mT	7.0 ± 0.6	6.2 ± 0.5	6.6 ± 0.5
		Ortalama ± Standart sapma		
İletim Hızı (m/s)	Kontrol	103.5 ± 28.6	111.4 ± 30.8	94.4 ± 26.8
	1 mT	35.2 ± 18.7	71.2 ± 49.6	87.4 ± 37.0
	2 mT	59.7 ± 46.5	101.1 ± 26.8	90.6 ± 41.6
	3 mT	101.9 ± 31.4	114.5 ± 23.6	108.3 ± 12.5

Gruplar arasında farklılık olup olmaması açısından genlikteki değişim incelendiğinde, 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki farklar bakımından değişim miktarlarının bütün gruplarda benzer olduğu ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark ( $p=0.609$ ) olmadığı görülmüştür. 1. ölçüm ile 3. ölçüm arasında genlik bakımından oluşan değişimler karşılaştırıldığında yine bütün gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark ( $p=0.901$ ) olmadığı ve gruplardaki değişim miktarlarının benzer olduğu saptanmıştır. 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımında da gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark ( $p=0.888$ ) olmadığı belirlenmiştir.

Farklı şiddetlerde uygulanan manyetik alanların kontrole göre genlikte hiç bir değişiklik oluşturmadığı bulunmuştur (Tablo 4 ve Şekil 3).



**ŞEKİL 3:** Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından genlik değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları.

Genlik bakımından, gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmadığından dolayı, Şekil 4'te aksiyon potansiyeli kayıtlarından sadece bir örnek verilmiştir.

Grup düzeyinde iletim hızındaki değişim incelendiğinde, 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki farklar bakımından, değişim miktarlarının bütün gruplarda benzer olduğu ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür ( $p=0.208$ ). 1. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımında da gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ( $p=0.322$ ) ve gruplardaki değişim miktarlarının iletim hızı için benzer olduğu bulunmuştur. 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımında ise gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır ( $p=0.690$ ).

BKAP analizine göre iletim hızı değişkenine bakıldığında genel olarak farklı şiddetlerde uygulanan manyetik alanların kontrole göre iletim hızında hiçbir önemli farklılık oluşturmadığı bulunmuştur ( $p>0.05$ ) (Tablo 4 ve Şekil 5).

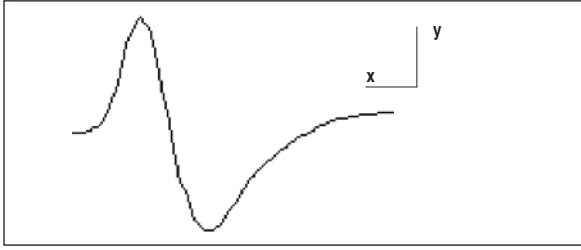
Sonuç olarak iletim hızı için gruplar arasında ve tekrarlanan ölçümler arasında farklılık anlamlı bulunmamıştır ( $p>0.05$ ).

## TARTIŞMA

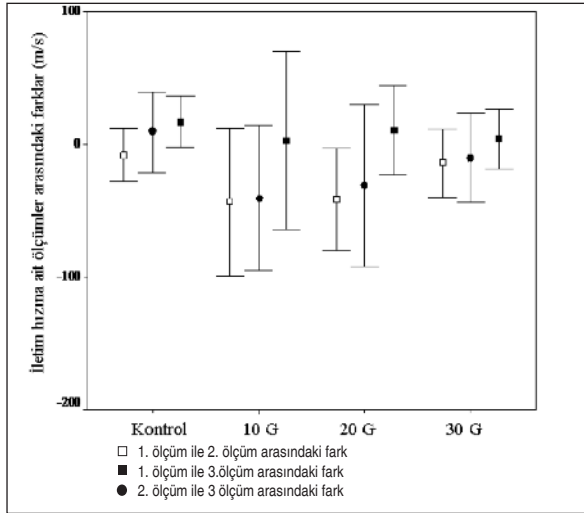
Hasar görmüş sinir dokusunun rejenerasyonu üzerine DC veya AC manyetik alanların etkileri konusunda yapılan çalışmalarda, EM'e maruziyetin sinir rejenerasyonunu stimüle ettiği belirtilmiştir.<sup>4,6,12,18,19</sup> Bununla birlikte periferik sinirlerde çok fazla çalışma yapılmamıştır.

Çalışmamızda, günlük yaşamda maruz kalınan şehir şebeke frekansında, sinüzoidal, değişik şiddetlerdeki EM alanların sinir rejenerasyonu üzerine etkilerini araştırdık.

Hücre membran potansiyelindeki değişiklikler aksiyon potansiyeli olarak isimlendirilmekte olup; BKAP, senkronize olarak aktive olmuş kas liflerinin toplam aktivitesini yansıtmaktadır. Aksiyon potansiyeli değişkenlerinden genlik, area, süre ve iletim hızı membran  $Na^+$  ve  $K^+$  transportu hakkında bilgi sağlamaktadır (Şekil 2). Ayrıca genlik ve area aktive edilmiş sinir liflerinin sayısını saptamak için kullanılabilir.<sup>24</sup> Böylece BKAP, stimulus tara-



**ŞEKİL 4:** Kayıtlanan bileşik kas aksiyon potansiyeli örneği. Dikey ekseninde (y ekseninde) 1 cm= 2.14 mV'u ve yatay ekseninde (x ekseninde) 1 cm= 10 ms'yi göstermektedir.



**ŞEKİL 5:** Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından iletim hızı değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları.

findan aktive edilen kas liflerinin fizyolojik bir göstergesi olarak kabul edilebilir.

Çalışmamızda değişik şiddetlerdeki EM alan uygulanmasının BKAP değişkenlerinden genlik ve iletim hızı üzerinde herhangi bir etki oluşturmadığı bulunmuştur.

Statik EM alanın periferik sinir rejenerasyonu üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, siyatik sinirlere 1 T şiddetinde EM alan 4 hafta boyunca günde 12 saat uygulanmıştır. Bu uygulama döneminin sonunda periferik sinir rejenerasyonu üzerine 1 T şiddetinin hiçbir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Miyelinli akson miktarının analizi yapıldığında da istatistiksel olarak anlamlı farklılık olmadığı görülmüştür.<sup>11</sup> Daha uzun süreli ve daha yüksek şiddette EM kullanılmasına rağmen, sinir

rejenerasyonu üzerine hiçbir etkisi olmaması açısından bu çalışma bizim çalışmamız ile benzerlik taşımaktadır.

PEMF'lerin alanların sıçan siyatik sinir rejenerasyonu üzerine etkilerinin araştırıldığı bir başka çalışmada 0.3 mT ve 2 Hz frekansında PEMF kullanılmıştır. 3-6 gün boyunca günde 4 saatlik bir uygulamanın, rejenerasyonu %22 oranında arttırdığı ve günde 1-10 saat süresince maruziyetlerin sinir rejenerasyonunun uyarılmasında eşit oranda etkili olduğu saptanmıştır. Aynı çalışmada bir başka grup sıçan, sinir hasarından önce 7 gün boyunca günde 4 saat PEMF'e maruz bırakılmış, hasardan 3 gün sonra ise PEMF'e maruz bırakılmadan izlenmiştir. Bu grupta rejenerasyonun önemli bir şekilde arttığı gözlenmiş ve bu ön maruziyetin koşullanma etkisi ileri sürülerek PEMF'in rejenerasyonu dolaylı olarak etkilediği bildirilmiştir.<sup>4</sup> Diğer bir çalışmada ise PEMF'in intakt sinirler üzerine morfolojik etkileri olmadığı bulunmuştur.<sup>14</sup>

Kanje ve ark. tarafından bu konuda yapılan bir başka çalışmada 0.3 mT şiddetinde PEMF'a maruz kalan sıçanlarda rejenerasyon mesafesinin arttığı gözlenmiştir. Bu artış yaklaşık %20 civarındadır.<sup>13</sup>

Başka bir çalışmaya göre sıçanlar 0.3-1.2 T arasında değişen EM'e 15, 30 ve 60 s maruz bırakılıp, maruziyetten önce ve sonra kuyruk sinirinde BKAP'ları kaydedilmiştir. Maruziyetler öncesinde ve sonrasında elde edilen BKAP'lar karşılaştırıldığında, 0-1.2 T arasındaki değerlerde 30 ve 60 s için önemli farklılıklar olduğu fakat 15 s maruziyette ise fark olmadığı gözlenmiştir. Böylece yapılan çalışma sonucunda 0.5 T'dan daha büyük ve 30 s'den daha uzun süreli EM'a maruziyette önemli değişiklikler olabileceği ve sinir uyarılabilirliğinde ve iletiminde artışın önemli olduğu bulunmuştur. Bu bulgular EM etkilerinin doza bağlı olabileceğini ve 0.6, 0.8, 0.9, 1 ve 1.2 T, şiddetlerine 30 s'den daha fazla maruziyetin güçlü etkiler oluşturduğunu göstermiştir. Bu sonuç, statik EM alanın membran üzerinde bulunan anizotropik moleküllerde rotasyona sebep olabileceği ve böylece membran uyarılabilirliğini değiştirebileceği şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca EM alanların etkilerinin dozla ilişkili olduğu, dozun ise hem manyetik maruziyet süresini hem de yoğunluğunu içerdiği bildirilmiştir.<sup>10</sup>

Kolosova ve ark.nın düşük şiddetli elektromanyetik radyasyon etkisini araştırdıkları çalışmalarında, sıçanların siyatik sinirleri zedelendikten sonra 54 GHz ve 4 mW/cm<sup>2</sup> şiddetindeki bir EM alana maruz bırakılmıştır. Yapılan aksiyon potansiyeli ölçümü ile değişkenler belirlenmiş, uygulamadan 7 gün sonra rejenerasyon mesafesi ölçülmüş ve kontrol grubuna karşılık EM alana maruz kalanlarda düzelmeye eğilim olduğu görülmüştür. Ancak 7 günlük uygulamada deney ve kontrol grubu arasındaki ölçüm farklılıkları istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu uygulamaya 20 gün devam ettikten sonra EM alana maruz kalanlarda rejenerasyon mesafesinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış saptanmıştır. Sütür bölgesindeki femoral derinin MWR'ye maruz bırakılması sinir liflerinin rejenerasyonunu hızlandırdığı bulunmuştur. 20. gündeki son uygulamada kontrol ve deney hayvanlarındaki rejenerasyon mesafeleri karşılaştırıldığında maruz kalanlardaki rejenerasyonda %32'lik artış gözlenmiştir. Ayrıca maruz kalan hayvanlarda iletim hızı %26 artmıştır. Bu çalışmada MWR'nin dokular üzerine etkilerinin frekans veya şiddete bağlı olduğu belirtilmektedir.<sup>19</sup>

Manyetik alanın iletim hızına ilişkin etkilerinin çok farklı sonuçlar içerdiği yukarıda verilen çalışmalarda bildirilmiştir. Bu konunun netlik kazanması ek çalışmalar gerektirmektedir.

Çalışmamızda Tablo 4'te görüldüğü gibi farklı şiddetlerde uygulanan manyetik alanların hem 3 günlük maruziyet döneminde hem de 7 günlük uygulama sonunda BKAP genliğinde kontrole göre istatistiksel olarak hiçbir değişiklik oluşturmadığı bulunmuştur. Ancak Tablo 4 incelendiğinde 2 ve 3 mT şiddetinde manyetik alan uygulanan gruplarda 2. ölçüme göre 3. ölçümde genlikte ortalamalar açısından bir artış görülmekte olup bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bulunmuştur.

54 GHz ve 4 mW/cm<sup>2</sup> şiddetindeki bir EM alana maruz bırakılan sıçanlarda yapılan bir çalışmada, genlik açısından deney grubunda kontrol grubuna göre anlamlı bir fark bulunmamıştır.<sup>19</sup> Cordeiro ve ark.nın yaptığı çalışmada da 1 T şiddetinde uygulanan EM alanın BKAP genliğinde ista-

tistiksel olarak anlamlı farklılık oluşturmadığı bulunmuştur.<sup>8</sup> BKAP genliğinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşmaması bakımından her iki çalışma da bizim çalışmamızı desteklemektedir.

Statik EM alanın, sıçan kuyruğu sinir fonksiyonu üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada kuyruk sinirininin 30 s'den daha uzun süre ve 0.5 T'dan büyük yoğunluklu bir EM alana maruz bırakılması sonucu submaksimal olarak uyarılmış BKAP genliğindeki değişimlerin önemli bir şekilde arttığı ifade edilmiştir. Çalışmada EM alan uygulanan sinir liflerinde gözlenen rejenerasyonun Ca<sup>+2</sup> iyon değişimleri sonucu olabileceği rapor edilmiştir.<sup>10</sup> Bu çalışmada, bizim çalışmamıza göre çok daha yüksek şiddette bir EM alan kullanıldığından dolayı genlikte artma bulunmuş olabilir.

Mert ve ark.nın 2006 yılında yaptıkları çalışmada, PMF'nin 15 veya 38 gün uygulanması intak sinirlerde iletim hızını etkilememiştir. Hasarlı sinirlerden kaydedilen bileşik aksiyon potansiyelleri genliğinde intakt sinirlere göre bir azalma olduğu gösterilmiştir. Ancak, sinir hasarı yapıldıktan sonra 38 gün PMF'nin uygulanması genlikte önemli bir artışa neden olmuştur.<sup>25</sup> Çalışmamızdaki iletim hızı değişkeninde anlamlı farklılık gözlenmemesi açısından bu çalışma ile uyumlu bir sonuç olmasına rağmen, genlik değeri için aynı sonuç sözü konusu değildir.

Walker ve ark. yaptıkları bir çalışmada, sıçan siyatik sinir hasarından sonra sıçanları 3 farklı dozda (0.03 mT, 0.3 mT ve 3 mT) manyetik alana günde 4 saat ve 5 gün süreyle maruz bırakmışlardır.<sup>26</sup> Bu çalışmada uygulanan işlem, süre ve doz, bizim çalışmamızdakine benzer olmasına rağmen, sıçanların yürüme fonksiyonunun değerlendirilmesi noktasında çalışmamızdan farklı bir yol izlenmiş olup, bizim çalışmamızla benzer şekilde sham grubu ve manyetik alan uygulanan grup arasında farklılık bulunmamıştır. Yine çalışmamıza benzer şekilde 50 Hz frekanslı 0.2 ve 0.4 mT şiddetlerinde manyetik alan siyatik sinir hasarı yapılan sıçanlara günde 4 saat olarak uygulanmıştır. Kesikli olarak 0.2 mT uygulanması rejenerasyonu etkilemediği, fakat sürekli olarak bu alanın uygulanmasınının 1., 2. ve 3. günde rejene-



rasyon mesafesini arttırdığı, kesikli olarak 0.4 mT uygulanmasının rejenerasyonu 3 günde arttırdığı ve yine 0.4 mT'nın sürekli uygulanmasının ise diğer bütün gruplara göre en etkin olduğu bildirilmektedir. Uygulama süresi aynı olmasına karşın, uygulanan dozun kullandığımız EM alandan düşük olmasına rağmen etkili olması çalışmamızdan farklı bir sonuçtur.<sup>18</sup>

2007 yılında yapılan bir çalışmada yüksek gerilim hattına 1 yıl süresince bırakılmış sıçanlarda, elektromanyetik radyasyonun bioelektrik parametreler üzerine yaptığı etkiler araştırılmıştır. Çalışmada EM radyasyona maruz bırakılan grupla kontrol grubu arasında BKAP latent peryotlarında anlamlı bir fark olmadığı, ancak BKAP amplitüdünde anlamlı bir fark olduğu ve EM'e uzun süreli maruziyetin bioelektrik değişkenler üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir.<sup>27</sup>

Elektromanyetik radyasyonların biyolojik özellikleri çok farklı olduğu gibi fizik özellikleri de farklıdır.<sup>28</sup> EM alanların biyolojik etkilerinin araştırıldığı deney sonuçlarına göre: esas olarak etkinin yalnızca zamana göre değişen B alanlardan mı, yoksa onların indüklediği E alanlardan mı kaynaklandığı net olarak belirlenebilmiş değildir. Zamana göre değişen B alanların canlı ile etkileşiminin temel olarak Faraday kanunlarına göre indüklenen alan veya akımlar yoluyla gerçekleştiği belirtilmektedir. Dokuda doğal akım yoğunlukları 0.1-10 mA/m<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Dokuda bu değerden daha fazla akım indüklendiğinde uyarılabilen dokuların uyarılabilirliğinde, sinir hücrelerinin ge-

leşim ve iletim hızlarında gözle görülür değişim olabileceği rapor edilmiştir.<sup>29</sup> Çalışmamızda bulunan akım yoğunlukları bu doğal akım yoğunluğu aralığına uygun olarak bulunduğundan dolayı sinir hücrelerinin iletim hızında değişim gözlenmemiş olabilir (Tablo 3). McDevitt ve ark. tarafından sıçanlarda yapılan bir çalışmada, hasarlı sinire uygulanan 100 mV/cm şiddetindeki elektrik alanının (indüklediği akım yoğunluğu 10 µA/cm<sup>2</sup>) sinirde rejenerasyona neden olmadığı bildirilmiştir.<sup>30</sup> Bizim, çalışmamızda kullandığımız 1, 2 ve 3 mT şiddetindeki manyetik alanların sıçanlarda sırasıyla, 4.71 mV/m, 9.42 mV/m ve 14.13 mV/m değerlerinde elektrik alanı indükledikleri ancak bu alanın sıçanların siyatik sinirlerinde oluşturulan hasarı iyileştirmedikleri saptanmıştır (Tablo 3).

## SONUÇ

Sonuç olarak bu çalışmada kullanılan şiddet ve frekanstaki manyetik alanların periferik sinir iletimi ve uyarılabilirliği üzerine etkisi olmadığı, dolayısıyla periferik sinir rejenerasyonunu etkilemediği bulunmuştur.

Bu çalışmanın 2 ve 3 mT'lık şiddetleri kullanılarak daha uzun maruziyet süreleri için tekrarlanması düşünülmektedir. Manyetik alanların biyolojik sistemler üzerine etkileriyle ilgili çelişkili sonuçlar için daha ileri araştırmalara gereksinim vardır.

## KAYNAKLAR

- Pehlivan F. Biyoelektrik uygulama araçları. Biyofizik. 2. Baskı. Ankara: Hacettepe Taş Kitapçılık; 1997. p. 221.
- Cameron JR, Skofronick JG, Grant RM. Electrical signals from the body. Physics of the Body. 2nd ed. Wisconsin: Medical Physics Publishing; 1999. p.251.
- Binhi VN. An overview of magnetobiological issues. Magnetobiology: Underlying Physical Problems. London: Academic Press; 2002. p.5.
- Sisken BF, Kanje M, Lundborg G, Herbst E, Kurtz W. Stimulation of rat sciatic nerve regeneration with pulsed electromagnetic fields. Brain Res 1989;485:309-16.
- Mansouri B, Pakdaman H, Yassami S, Karimzadeh A. The changes in the transmission functioning of the ulnar nerve in a high power magnetic field. Electromyogr Clin Neurophysiol 2001;41:269-71.
- Hong CZ. Static magnetic field influence on human nerve function. Arch Phys Med Rehabil 1987;68:162-4.
- Leisner S, Shahar R, Aizenberg I, Lichovsky D, Levin-Harrus T. The effect of short-duration, high-intensity electromagnetic pulses on fresh ulnar fractures in rats. J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med 2002;49:33-7.
- Cordeiro PG, Seckel BR, Miller CD, Gross PT, Wise RE. Effect of a high-intensity static magnetic field on sciatic nerve regeneration in the rat. Plast Reconstr Surg 1989;83:301-8.
- Byers JM, Clark KF, Thompson GC. Effect of pulsed electromagnetic stimulation on facial nerve regeneration. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 1998;124:383-9.

10. Hong CZ, Harmon D, Yu J. Static magnetic field influence on rat tail nerve function. *Arch Phys Med Rehabil* 1986;67:746-9.
11. Sandrey MA, Vesper DN, Johnson MT, Nindl G, Swez JA, Chamberlain J, et al. Effect of short duration electromagnetic field exposures on rat mass. *Bioelectromagnetics* 2002;23:2-6.
12. Repacholi MH, Greenebaum B. Interaction of static and extremely low frequency electric and magnetic fields with living systems: health effects and research needs. *Bioelectromagnetics* 1999;20:133-60.
13. Kanje M, Rusovan A, Sisken B, Lundborg G. Pretreatment of rats with pulsed electromagnetic fields enhances regeneration of the sciatic nerve. *Bioelectromagnetics* 1993;14:353-9.
14. Raji AM. An experimental study of the effects of pulsed electromagnetic field (Diapulse) on nerve repair. *J Hand Surg [Br]* 1984;9:105-12.
15. Orgel MG, O'Brien WJ, Murray HM. Pulsing electromagnetic field therapy in nerve regeneration: an experimental study in the cat. *Plast Reconstr Surg* 1984;73:173-83.
16. Ito H, Bassett CA. Effect of weak, pulsing electromagnetic fields on neural regeneration in the rat. *Clin Orthop Relat Res* 1983;181:283-90.
17. Walker JL, Evans JM, Resig P, Guarnieri S, Meade P, Sisken BS. Enhancement of functional recovery following a crush lesion to the rat sciatic nerve by exposure to pulsed electromagnetic fields. *Exp Neurol* 1994;125:302-5.
18. Rusovan A, Kanje M. Stimulation of regeneration of the rat sciatic nerve by 50 Hz sinusoidal magnetic fields. *Exp Neurol* 1991;112:312-6.
19. Kolosova LI, Akoev GN, Avelev VD, Riabchikova OV, Babu KS. Effect of low-intensity millimeter wave electromagnetic radiation on regeneration of the sciatic nerve in rats. *Bioelectromagnetics* 1996;17:44-7.
20. Gmitrova A, Ivanco I, Gmitrov J, Murin M. Biological effect of magnetic field on laboratory animals. *J Bioelectricity* 1988;7:123-4.
21. Kim SS, Shin HJ, Eom DW, Huh JR, Woo Y, Kim H, et al. Enhanced expression of neuronal nitric oxide synthase and phospholipase C-gamma1 in regenerating murine neuronal cells by pulsed electromagnetic field. *Exp Mol Med* 2002;34:53-9.
22. Serway RA, Beichner RJ. Manyetik alanın kaynakları. Çolakoğlu K, editör. *Fen ve Mühendislik için Fizik 2. 5. Baskıdan çeviri*. Ankara: Palme Yayıncılık; 2002. p.974.
23. Aminoff MJ. Nerve Conduction Studies: Basic Principles and Pathologic Correlations. In: Aminoff MJ, ed. *Electromyography in Clinical Practice*. 3rd ed. United States of America: Churchill Livingstone; 1998. p.113-45.
24. Daube JR. Alteration of wave forms and artifacts. In: Daube JR, 1st ed. *Clinical neurophysiology*. Philadelphia: FA Davis; 1996. p.65-8.
25. Mert T, Gunay I, Gocmen C, Kaya M, Polat S. Regenerative effects of pulsed magnetic field on injured peripheral nerves. *Altern Ther Health Med* 2006;12:42-9.
26. Walker JL, Kryscio R, Smith J, Pilla A, Sisken BF. Electromagnetic field treatment of nerve crush injury in a rat model: effect of signal configuration on functional recovery. *Bioelectromagnetics* 2007;28:256-63.
27. Zhang A, Pang X, Yuan P. [Study on effects of bioelectric parameters of rats in electromagnetic radiation of HV transmission line] *Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi* 2007;24:157-61.
28. Güden M, Ulutin C, Pak Y. [Biological effects of non-ionizing electromagnetic fields] *Turkiye Klinikleri J Med Sci* 2001;21:441-4.
29. Tenforde TS. Biological responses to static and time-varying magnetic fields. In: Lin JC. 1st ed. *Electromagnetic interaction with biological systems*. New York, Plenum Press; 1989. p.83-108.
30. McDevitt L, Fortner P, Pomeranz B. Application of weak electric field to the hindpaw enhances sciatic motor nerve regeneration in the adult rat. *Brain Res* 1987;416:308-14.