

Egzersiz ve Sinir Sistemi Arasındaki Nörobiyolojik İlişkinin İncelenmesi

Ömer Yaşa¹

Özet

Bu bölüm, egzersiz ve sinir sistemi arasındaki ilişkinin, yalnızca kas-iskelet sistemi ve motor performans boyutuyla sınırlı olmayıp; nöron yapısı, sinaptik iletim, nörotransmitter dengesi, nörotrofik faktörler ve nöroplastisiteyi kapsayan çok katmanlı bir nörobiyolojik temel üzerine kurulu olduğunu ortaya koymaktadır. Sinir sisteminin makro düzeydeki organizasyonu (merkezi ve periferik sinir sistemi; somatik ve otonom alt sistemler) ile mikro düzeydeki dinamikleri (dentrit-akson bütünlüğü, aksiyon potansiyeli, sinaptik plastisite) egzersizle birlikte yeniden şekillenmektedir. Egzersiz sırasında artan motor komutlar, somatik sinir sistemi üzerinden iskelet kaslarına iletilirken; otonom sinir sistemi düzeyinde sempatik aktivasyon ve toparlanma döneminde parasempatik/vagal yanıt, kardiyovasküler ve solunumsal adaptasyonları düzenlemektedir. Nörotransmitterler (dopamin, serotonin, noradrenalin, GABA, glutamat) ve nörotrofik faktörler (özellikle BDNF, IGF-1, VEGF), egzersizle birlikte dikkat, yürütücü işlevler, hafıza, duygudurum ve stresle başa çıkma süreçlerini iyileştiren nörobiyolojik bir zemin oluşturur. Çocukluktan yaşlılığa uzanan yaşam döngüsü perspektifinde, düzenli fiziksel aktivite; bilişsel gelişim, akademik uyum, motor beceri, bilişsel esneklik ve nörodejeneratif süreçlere karşı korunma açısından kritik rol oynamaktadır. Sonuç olarak bu bölüm, egzersizi; sinir sisteminin yapısal esnekliğini, fonksiyonel kapasitesini ve beyin sağlığını destekleyen, ölçme-izleme temelli programlarla bütünleştirildiğinde hem performans hem de zihinsel iyi oluşun sürdürülebilirliğini sağlayan güçlü bir nörobiyolojik müdahale olarak konumlandırmaktadır.

1 Atatürk Üniversitesi, Kış Sporları ve Spor Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, omer.yasa16@ogr.atauni.edu.tr, 0000-0003-3837-393X

1. Giriş

Sinir sistemi, organizmanın yaşam boyunca tüm fizyolojik süreçlerini koordine eden, çevresel uyaranlara uyum sağlama kapasitesi yüksek ve sürekli değişen bir yapı olarak insan davranışının temel belirleyicilerinden biridir (Bozdemir, 2024). Bilişsel, duygusal ve motor fonksiyonların bütüncül yönetiminden sorumlu olan bu karmaşık yapı; genetik özellikler, çevresel faktörler ve bireyin yaşam boyu edindiği deneyimler doğrultusunda yeniden şekillenen dinamik bir özellik taşımaktadır (Erdoğan vd., 2025). Bu dinamik mimariyi etkileyen en güçlü uyarıcıların başında ise hareket temelli etkileşimler ve fiziksel aktivite gelmektedir. Güncel bilimsel veriler, egzersizin sinaptik iletişimden nörotrofik faktör salınımına kadar birçok nörobiyolojik mekanizmayı harekete geçirerek sinir sisteminin işlevsel ve yapısal bütünlüğünü güçlendirdiğini ortaya koymaktadır (Özocak vd., 2019; Ünal, 2021; Guo et al., 2020).

Egzersiz, yalnızca kas-iskelet sistemini uyaran bir fizyolojik süreç değil; aynı zamanda sinir sistemi üzerinde çok yönlü adaptasyonlar oluşturan temel bir biyolojik düzenleyicidir (Eken, 2021). Düzenli fiziksel aktivite, nöronal bağlantıların güçlenmesini, sinaptik plastisitenin artmasını, nörotrofik faktörlerin özellikle BDNF'nin üretiminin desteklenmesini ve motor-sensör ağlarda yeniden yapılanmayı teşvik ederek sinir sisteminin fonksiyonel verimliliğini artırmaktadır (Özocak vd., 2019; Bakal, 2021). Bu nörobiyolojik süreçler; dikkat, bellek, yürütücü işlevler, problem çözme ve hareket kontrolü gibi bilişsel-motor yeteneklerin gelişimini destekleyerek bireyin çevresel taleplere daha hızlı ve daha etkili yanıt vermesine katkı sağlamaktadır (Meray & Yenice, 2018; Morgan vd., 2015).

Egzersiz ile sinir sistemi arasındaki ilişkinin temelinde yer alan nöroplastisite mekanizmaları; nöronların hayatta kalması, büyümesi ve yeni bağlantılar oluşturmaları için gerekli olan moleküler süreçleri kapsamaktadır. BDNF, IGF-1 ve VEGF gibi nörotrofik faktörler; dentritik dallanmaların artmasını, yeni sinaptik bağlantıların kurulmasını, sinaptik iletimin güçlenmesini (LTP) ve nöronal iletim hızının gelişmesini sağlayarak sinir sisteminin esneklik ve adaptasyon kapasitesini artırmaktadır (Başaran vd., 2013; Özocak vd., 2019; Müller vd., 2020). Bu nedenle egzersiz, nöroplastisiteyi tetikleyen ve sürdüren en güçlü doğal biyolojik uyarıcılardan biri olarak değerlendirilmektedir (Tekin vd., 2025; Ünal, 2021).

Yaşam döngüsü perspektifinden bakıldığında fiziksel aktivitenin nörobiyolojik etkileri, çocukluk döneminde bilişsel gelişim ve akademik performansı desteklerken; ergenlik ve yetişkinlik dönemlerinde motor beceriler, dikkat süreçleri ve bilişsel esneklik üzerinde belirgin katkılar

sağlamaktadır (Meray & Yenice, 2018; Morgan vd., 2015). Yaşlılık döneminde ise düzenli egzersiz, nörodejeneratif süreçlere karşı koruyucu bir rol üstlenerek sinir sisteminin yapısal ve fonksiyonel bütünlüğünü sürdürmeye yardımcı olmaktadır. Ayrıca, egzersizin etkilerinin bilişsel süreçleri aşarak psikososyal uyumu da anlamlı biçimde güçlendirdiği ifade edilmektedir (Ateş vd., 2025; Ma & Mumtaz, 2025). Tüm bu veriler, egzersizin yalnızca performansı veya fiziksel kapasiteyi artıran bir davranış değil; aynı zamanda sinir sisteminin sağlığını koruyan, geliştiren ve bireyin bütüncül iyi oluşunu destekleyen temel bir nörobiyolojik uyarıcı olduğunu göstermektedir.

Bu bağlamda, bu bölümün amacı egzersiz ile sinir sistemi arasındaki nörobiyolojik ilişkiyi güncel literatür ışığında kapsamlı biçimde ele almak; egzersizin nöroplastisite üzerindeki etkilerini, bu süreçleri yöneten moleküler mekanizmaları ve ortaya çıkan bilişsel-motor yansımaları bilimsel temelde açıklamaktır. Bu kapsamlı değerlendirme, spor bilimciler, eğitimciler, antrenörler ve sağlık profesyonelleri için egzersizin sinir sistemi üzerindeki çok yönlü biyolojik etkilerini anlamada bütüncül bir perspektif sunmayı hedeflemektedir (Bayram, 2022; Machado vd., 2015).

2. Egzersiz Kavramı ve Fizyolojik Temeller

2.1. Egzersiz

Egzersiz, bireyin fiziksel kapasitelerini geliştirmek amacıyla planlı, yapısal, tekrar edilebilir ve belirli bir yoğunluk-süre-sıklık parametresi çerçevesinde uygulanan fiziksel aktivite formu olarak tanımlanmaktadır (Erdoğan & Aslan, 2021). Spontane hareketlerden farklı olarak egzersiz; organizmanın metabolik, nöromusküler ve kardiyovasküler sistemlerini belirli bir stres düzeyine maruz bırakarak fizyolojik adaptasyon süreçlerini tetikler (Satman, 2018). Bu nedenle egzersiz; dayanıklılık, kuvvet, koordinasyon, esneklik ve sürat gibi performans bileşenlerinin geliştirilmesinin yanı sıra sinir sistemi başta olmak üzere tüm organizma üzerinde çok boyutlu biyolojik etkiler oluşturan temel bir uyarıcıdır (Atabaş, 2024). Nitekim egzersizin düzenli ve kontrollü biçimde uygulanması, yalnızca performans çıktılarında değil; bireylerin egzersizle kurduğu psikolojik ilişki, motivasyon düzeyi ve hatta egzersiz bağımlılığı eğilimleri üzerinde de belirleyici rol oynamaktadır (Çelik & Sevindik Aktaş, 2025).

Egzersizin ortaya çıkardığı biyolojik yüklenme, organizmanın homeostatik dengesini kontrollü biçimde bozarak kas kasılması, enerji üretimi, hormon salınımı ve sinaptik iletişim gibi birçok fizyolojik süreci harekete geçirir (Erdoğan & Aslan, 2021). Bu nedenle egzersiz, yalnızca fiziksel kapasiteyi artıran bir davranış değildir; aynı zamanda sinir sistemi ile kas-iskelet sistemi

arasındaki iletişimi güçlendiren temel bir nörofizyolojik uyaran olarak da değerlendirilmektedir (Bayram, 2022; Meray & Yenice, 2018). Egzersize verilen yanıt; yapılan aktivitenin tipi (aerobik, direnç, HIIT, koordinatif), bireyin antrenman geçmişi, yaş, motivasyon düzeyi ve fizyolojik durumu gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Satman, 2018). Nitekim egzersizin metabolik hızlanma, solunum sayısında artış, kalp atım hızı tepkileri, kas uyarılabilirliği, terleme ve vücut ısısı değişimleri gibi geniş bir fizyolojik parametre seti üzerinde etkili olduğu; bu parametrelerin egzersiz süresi ve şiddetiyle yakından ilişkili biçimde değiştiği literatürde açıkça belirtilmektedir (Ogan et al., 2015).

2.2. Egzersizin Fizyolojik Temelleri

Egzersizin fizyolojik temeli, organizmanın bir yüklenme karşısında gösterdiği akut (kısa süreli) yanıtlar ve düzenli egzersiz ile oluşan kronik adaptasyonlar üzerinden açıklanmaktadır. Akut egzersiz sırasında kardiyovasküler sistem kalp atım hızını, stroke volume ve oksijen taşıma kapasitesini artırırken; solunum sistemi daha yüksek ventilasyon düzeyi ile dokulara oksijen sağlamaktadır (Erdoğan & Aslan, 2021; Çabuk vd., 2020). Bu süreçte enerji gereksinimi ATP-PCr, glikolitik ve oksidatif enerji sistemleri tarafından karşılanmakta; metabolik stres, mekanik gerilim ve hücresel sinyal artışı meydana gelmektedir (Satman, 2018; Bozdemir, 2024).

Bu metabolik süreçlere paralel olarak sinir sistemi de egzersizin temel düzenleyici unsurlarından biri hâline gelir. Motor ünitelerin aktivasyonu, kas liflerinin senkronizasyonu, hareketin hız ve doğruluğu; merkezi sinir sistemi (MSS) ve periferik sinir sistemi (PSS) arasındaki koordineli iletişim sayesinde gerçekleşir (Akbulut, 2024; Akyüz & Ma, 2012). Bu nedenle egzersize verilen fizyolojik yanıt, yalnızca kas ve kardiyovasküler yapılarla sınırlı olmayıp, sinir sisteminin yönetimindeki bütüncül bir biyolojik süreçtir (Morgan vd., 2015; Guo vd., 2020).

Düzenli egzersiz ile zaman içinde organizmada kronik adaptasyonlar gelişir. Bu adaptasyonlar; kardiyovasküler dayanıklılığın artması, kas yapısında hipertrofi ve güçlenme, metabolik verimliliğin gelişmesi, nöromusküler koordinasyonun iyileşmesi ve sinir sistemi-kas sistemi arasındaki iletişimin hızlanması şeklinde özetlenebilir (Satman, 2018; Atabaş, 2024; Civan vd., 2018). Bu fizyolojik temeller, egzersizin yalnızca performansı değil, aynı zamanda sinir sistemi sağlığını ve bilişsel süreçleri de olumlu yönde etkileyen güçlü bir biyolojik düzenleyici olduğunu göstermektedir (Morgan vd., 2015; Bayram, 2022; Machado vd., 2015).

3. Sinir Sistemi

Sinir sistemi, organizmanın iç ve dış çevreden gelen uyarıları algılamasını, bu bilgileri işlemesini ve uygun motor veya otonom yanıtlar üretmesini sağlayan temel bir iletişim ağıdır (Akbulut, 2024; Akyüz & Ma, 2012). Duyu reseptörlerinden gelen bilgilerin alınması, merkezi sinir sisteminde işlenmesi ve kaslara ya da organlara iletilmesi sinir hücrelerinin elektriksel ve kimyasal iletişim mekanizmalarıyla gerçekleşir (Fountas, 2011; Bozdemir, 2024). Bu iletişim; aksiyon potansiyeli, sinaptik iletim ve nörotransmitter salınımı gibi temel süreçlere dayanır (Çuvalcıoğlu, 2024; Ünal, 2021; Morgan vd., 2015). Sinir hücrelerinin elektriği kullanarak hızlı iletim sağlaması, organizmanın çevresel uyaranlara milisaniyeler içinde yanıt verebilmesine olanak tanımaktadır (Gibbons, 2019; Wang, 2023)

Sinir sistemi genel olarak merkezi sinir sistemi (MSS) ve periferik sinir sistemi (PSS) olarak iki ana bölümde incelenir (Akbulut, 2024). PSS'nin temel alt bileşenlerinden biri olan otonom sinir sistemi (OSS) ise istemsiz fonksiyonların düzenlenmesinden sorumlu olup sempatik ve parasempatik sistemden oluşmaktadır (Akyüz & Ma, 2012; Gibbons, 2019). Egzersiz sırasında OSS'nin özellikle sempatik dalı aktifleşerek kalp, solunum ve dolaşım sisteminde performansı destekleyen bir dizi fizyolojik yanıt oluşturur (Fu & Levine, 2013; Budak & Özdek, 2025).

Egzersiz bağlamında sinir sistemi hem hareketin başlatılmasında hem kas aktivasyonunun düzenlenmesinde hem de öğrenme, dikkat, reaksiyon zamanı ve karar verme gibi bilişsel süreçlerin yönetilmesinde temel bir rol üstlenir (Bozdemir, 2024; Morgan et al., 2015). Bu nedenle sinir sistemi yapılarının anlaşılması, egzersiz-nörobiyoloji etkileşiminin bilimsel temellerini açıklamak açısından kritik önem taşımaktadır (Meray & Yenice, 2018; Tekin et al., 2025).

3.1. Merkezi Sinir Sistemi (MSS)

Merkezi sinir sistemi; beyin ve omurilikten oluşur ve organizmadaki tüm bilişsel, motor ve duygusal süreçlerin üst düzey kontrol merkezidir (Akbulut, 2024; Bozdemir, 2024). Beyin bölgeleri (prefrontal korteks, hipokampus, motor korteks, serebellum) duyu bilgilerin işlenmesi, karar verme, hareket planlama, hafıza oluşumu ve öğrenme gibi işlevlerin yönetildiği temel alanlardır (Morgan vd., 2015; Özkul, 2020). Egzersiz sırasında MSS, hem motor komutların oluşturulması hem de duyu geri bildirimlerin işlenmesi için yoğun aktivite gösterir (Guo vd., 2020). Ayrıca egzersiz kaynaklı artan nörotrofik faktör salınımı (özellikle BDNF) MSS'de

nöroplastisiteyi destekleyerek sinaptik güçlenme ve yapısal adaptasyonlara katkı sağlar (Liu & Nusslock, 2018; Müller vd., 2020; Tekin vd., 2025).

3.2. Periferik Sinir Sistemi (PSS)

Periferik sinir sistemi, MSS ile vücuttaki kaslar, organlar ve duyu reseptörleri arasında çift yönlü iletişimi sağlayan yapıdır (Akbulut, 2024). PSS, istemli hareketlerin kontrolü ve istemsiz organ fonksiyonlarının düzenlenmesinden sorumludur (Akyüz & Ma, 2012; Gibbons, 2019). İki temel alt bileşene ayrılır:

3.2.1. Somatik Sinir Sistemi

Somatik sinir sistemi, iskelet kaslarının istemli kontrolünü sağlayan motor ve duysal sinirlerden oluşur ve egzersiz sırasında motor ünitelerin aktivasyonu, kas liflerinin senkronizasyonu ile hareket doğruluğunun propriyoseptif geri bildirim aracılığıyla düzenlenmesi tamamen bu sistem üzerinden gerçekleşir (Akbulut, 2024; Bozdemir, 2024; Guo vd., 2020). Bu nedenle somatik sinir sisteminin etkin çalışması; hız, koordinasyon, denge ve kuvvet gibi performans bileşenlerinin optimal düzeyde sergilenmesi için kritik öneme sahiptir (Satman, 2018; Akyüz & Ma, 2012).

3.2.2. Otonom Sinir Sistemi

Otonom sinir sistemi, istem dışı çalışan organların düzenlenmesinden sorumlu olup kalp atım hızı, damar tonusu, solunum ritmi, sindirim fonksiyonları, terleme ve metabolik süreçler gibi hayati işlevlerin homeostatik denge içinde sürdürülmesini sağlar (Akyüz & Ma, 2012; Gibbons, 2019). Egzersiz sırasında artan enerji gereksiniminin karşılanması için kardiyovasküler, solunumsal ve metabolik tepkilerin koordinasyonu bu sistem aracılığıyla gerçekleştirilir (Fu & Levine, 2013; Çabuk vd., 2020); böylece kalp debisi yükselir, ventilasyon artar, kan akımı iskelet kaslarına yönlendirilir ve metabolik yanıtlar hızlanır (Karakulak vd., 2016; Daniela vd., 2022). Otonom sinir sistemi bu görevleri, birbirine zıt fakat tamamlayıcı özelliklere sahip olan sempatik ve parasempatik alt bölümleri aracılığıyla yerine getirir (Budak & Özdek, 2025; Gibbons, 2019); sempatik sistem egzersiz gibi stres durumlarında vücudu harekete hazırlarken, parasempatik sistem dinlenme ve toparlanma dönemlerinde organizmanın yeniden dengeye ulaşmasını sağlar (Fu & Levine, 2013; Akyüz & Ma, 2012).

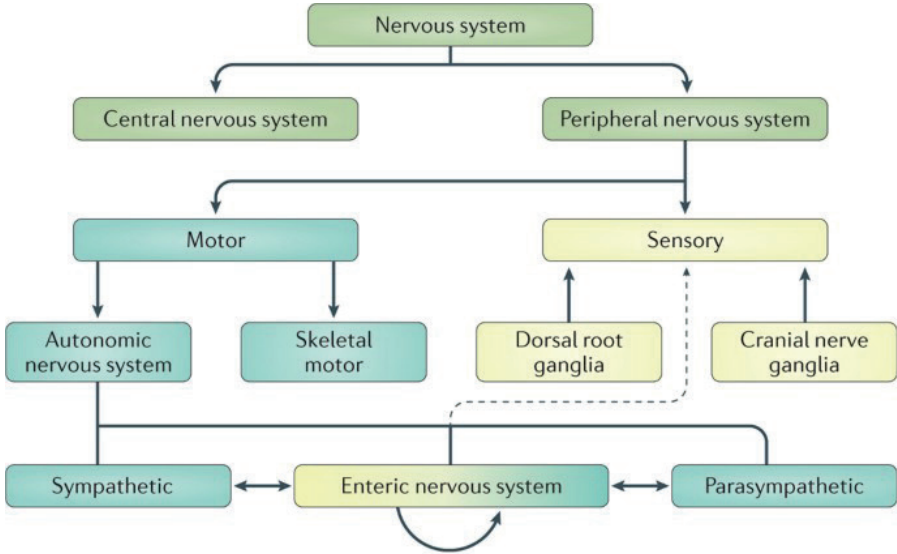
3.2.2.1. Sempatik Sinir Sistemi

Sempatik sinir sistemi, “savaş-kaç” mekanizmasının temel düzenleyicisi olup egzersiz sırasında baskın şekilde aktifleşerek organizmanın fiziksel

yükçe hızlı ve etkili biçimde uyum sağlamasını sağlar (Gibbons, 2019; Fu & Levine, 2013). Bu aktivasyon sonucunda göz bebekleri büyür, kalp atım sayısı ve kan basıncı yükselir, solunum hızı ile ventilasyon artar, iskelet kaslarına yönlendirilen kan akımı belirgin şekilde artar ve terleme yoğunlaşır (Akyüz & Ma, 2012; Karakulak vd., 2016). Bu fizyolojik değişikliklerin tamamı, egzersiz performansını destekleyerek kaslara daha fazla oksijen ve enerji iletilmesini, termoregülasyonun korunmasını ve motor çıktının optimize edilmesini mümkün kılar (Çabuk vd., 2020; Daniela vd., 2022).

3.2.2.2. Parasempatik Sinir Sistemi

Parasempatik sinir sistemi, “dinlen ve sindir” yanıtının temel düzenleyicisi olup egzersiz sonrası toparlanma döneminde baskın hâle gelerek organizmanın yeniden homeostatik dengeye ulaşmasını sağlar (Akyüz & Ma, 2012; Gibbons, 2019). Bu süreçte göz bebekleri küçülür, kalp atım sayısı ve kan basıncı azalır, solunum hızı düşer, terleme azalır ve sindirim sistemi aktivitesi artar (Fu & Levine, 2013). Parasempatik etkinliğin belirginleşmesi, özellikle vagal tonusun yükselmesiyle ilişkilidir ve toparlanma kalitesinin en önemli fizyolojik göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Budak & Özdek, 2025; Karakulak vd., 2016).

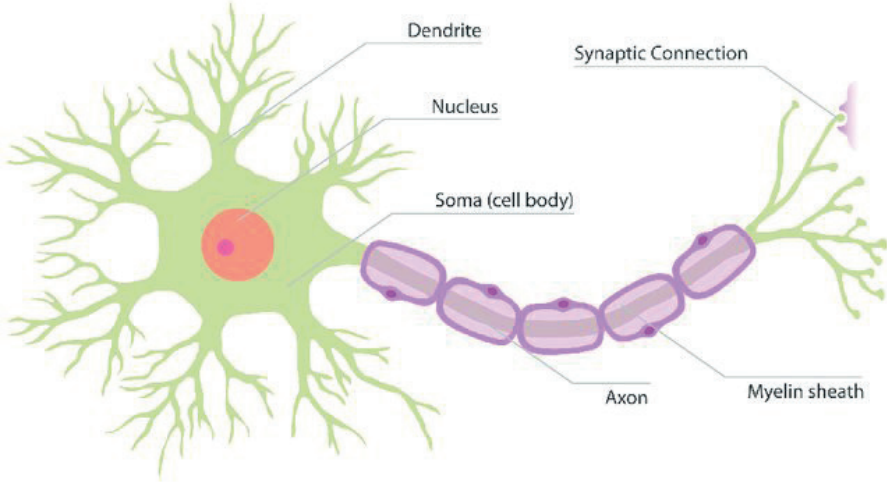


4. Sinir Sisteminin Nörobiyolojik Temelleri

Sinir sisteminin işleyişi, yalnızca anatomik organizasyonla değil, aynı zamanda hücresel düzeyde gerçekleşen nörobiyolojik süreçlerle şekillenen karmaşık bir mekanizmaya dayanır (Akbulut, 2024; Meray & Yenice, 2018). Nöronların yapısal özellikleri, sinyallerin iletim biçimi, nörotransmitterlerin salınım dengesi ve sinaptik bağlantıların plastisitesi hem bilişsel işlevlerin hem motor performansın hem de egzersize verilen adaptif yanıtların temelini oluşturur (Başaran vd., 2013; Machado vd., 2015; Özocak vd., 2019). Bu bölümde sinir sisteminin hücresel ve moleküler düzeydeki çalışma prensipleri ele alınmakta; egzersizle ilişkili nörobiyolojik mekanizmalar, mevcut literatür çerçevesinde ayrıntılı biçimde açıklanmaktadır (Morgan vd., 2015; Bayram, 2022; Ünal, 2021).

4.1. Nöronların Yapısı ve İşlevi

Nöronlar, sinir sisteminin iletişim işlevini yürüten özelleşmiş hücrelerdir ve dentrit, soma ve akson olmak üzere üç temel bölümden oluşur (Gevrek, 2025). Dentritler, diğer nöronlardan veya duyu reseptörlerinden gelen sinyalleri alan yapılar iken; hücre gövdesi (soma), bu bilgileri bütünleştirerek aksona ileten bölgedir (Meray & Yenice, 2018). Akson ise sinyalin uzun mesafeye taşınmasını sağlayan iletim hattıdır ve miyelin kılıfla çevrili olması durumunda sinyal iletim hızı belirgin şekilde artar (Atak, 2021). Miyelin segmentleri arasındaki Ranvier düğümleri sayesinde aksiyon potansiyeli “saltatory iletim” ile çok daha hızlı bir şekilde ilerler (Akbulut, 2024). Nöronların yapısal bütünlüğü ve dentritik alanın genişliği, sinaptik bağlantı sayısı ve bilgi işleme kapasitesi ile doğrudan ilişkilidir (Başaran vd., 2013). Egzersiz, özellikle dentritik dallanma, akson bütünlüğü ve sinaptik yoğunluk üzerinde olumlu etkiler oluşturarak nöronların yapısal dayanıklılığını ve iletim kapasitesini artırmaktadır (Tekin vd., 2025; Özocak vd., 2019; Pranoto vd., 2020). Bu nedenle nöron morfolojisinin anlaşılması, egzersizin nörobiyolojik etkilerini açıklamak için temel önem taşır (Morgan vd., 2015; Müller vd., 2020).

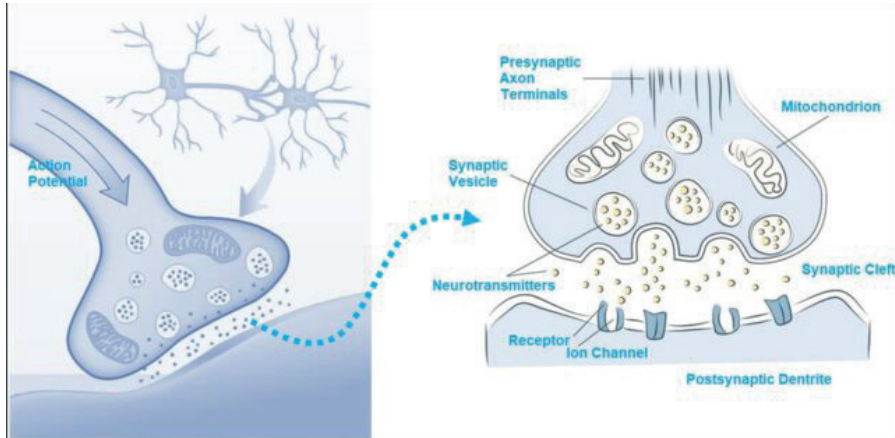


Şekil 2. Bir Nöronun Yapısal Bileşenleri (Fountas, 2011)

4.2. Sinaptik İletim ve Aksiyon Potansiyeli

Sinaptik iletim, nöronal bilginin bir hücreden diğerine aktarılmasını sağlayan kimyasal ve elektriksel süreçlerin bütünüdür (Gevrek, 2025; Meray & Yenice, 2018). Bir nöronun aksonunda oluşan aksiyon potansiyeli akson ucuna ulaştığında, presinaptik terminalde bulunan veziküllerden nörotransmitterlerin sinaptik boşluğa salınımı gerçekleşir (Gibbons, 2019; Machado et al., 2015). Bu nörotransmitterler postsinaptik nöronun reseptörlerine bağlanarak uyarıcı (eksitator) veya baskılayıcı (inhibitör) yanıt oluşturur (Erdoğan vd., 2025; Morgan et al., 2015; Özocak et al., 2019).

Aksiyon potansiyeli, hücre zarındaki iyon dağılımının değişmesiyle oluşan hızlı bir elektriksel dalgadır (Gevrek, 2025; Fountas, 2011). Depolarizasyon, repolarizasyon ve hiperpolarizasyon evrelerinden oluşan bu süreç, nöronal iletişimin temel dinamiğini oluşturur (Meray & Yenice, 2018; Machado et al., 2015). Egzersiz sırasında motor komutların artan hız ve doğrulukla kaslara iletilmesi, bu aksiyon potansiyeli mekanizmasının etkinliğine bağlıdır (Atak, 2021; Morgan et al., 2015). Aynı zamanda egzersizin sinaptik bağlantıların etkinliğini artırması, uzun dönemli güçlenme (LTP) süreçlerini destekleyerek öğrenme, hafıza ve motor beceri gelişimini kolaylaştırmaktadır (Özocak et al., 2019; Liu & Nusslock, 2018; Pranoto et al., 2020).



Şekil 3. Nöronda Aksiyon Potansiyeli ile Sinaptik İletimin Yapısal ve İşlevsel Bileşenleri (Wang, 2023).

4.3. Nörotransmitterler ve Egzersize Bağlı Değişimler

Nörotransmitterler, nöronlar arasındaki iletişimi düzenleyen kimyasal araçlardır ve sinir sisteminin nörokimyasal dengesi için kritik öneme sahiptir (Meray & Yenice, 2018; Machado et al., 2015). Dopamin, motivasyon, ödül ve motor kontrol süreçlerinde; serotonin, duygudurum düzenlenmesinde ve bilişsel esneklikte; noradrenalin, dikkat, uyanıklık ve stres yanıtında; GABA ve glutamat ise inhibitör ve eksitator sinaptik iletimin temel düzenleyicileri olarak görev yapmaktadır (Erdoğan et al., 2025; İnan, 2021). Egzersiz, nörotransmitter sistemleri üzerinde güçlü etkiler oluşturur (Civan vd., 2018; Morgan et al., 2015). Aerobik egzersiz serotonin ve noradrenalin düzeylerini artırarak ruh hâlinin iyileşmesine ve stres düzeyinin azalmasına katkı sağlar (Esmacilzadeh & Moradikör, 2025; Ma & Mumtaz, 2025). Yüksek yoğunluklu egzersiz dopaminerjik yolları uyararak motivasyon, dikkat ve motor performansı destekler (Machado et al., 2015; Guo et al., 2020). Egzersiz ayrıca glutamat aracılı sinaptik güçlenmeyi artırırken, GABA aktivitesinin düzenlenmesi yoluyla sinirsel dengeyi optimize eder (Özocak et al., 2019; Müller et al., 2020). Bu nörokimyasal değişimler, egzersizin hem bilişsel hem duygusal hem de motor süreçler üzerindeki olumlu etkilerinin temel biyolojik açıklamalarını oluşturmaktadır (Bayram, 2022; Satman, 2018).

4.4. Nöroplastisite Mekanizmaları

Nöroplastisite, sinir sisteminin deneyimlere, çevresel taleplere ve fiziksel aktiviteye bağlı olarak yapısal ve fonksiyonel değişim gösterebilme kapasitesidir

(Başaran et al., 2013; Özocak et al., 2019). Yapısal nöroplastisite; dentritik dallanmanın artması, sinaptik bağlantı sayısının çoğalması, akson büyümesi ve yeni nöron oluşumu (nörojeniz) gibi süreçleri içerirken; fonksiyonel nöroplastisite, sinaptik iletim gücünün uzun dönemli artışı (LTP) veya azalması (LTD) gibi sinaptik etkinlik değişimlerine dayanır (Morgan et al., 2015; Müller et al., 2020). Egzersiz, nöroplastisiteyi destekleyen en güçlü doğal uyaranlardan biridir (Satman, 2018; Bayram, 2022). Aerobik egzersiz başta hipokampus olmak üzere beyin öğrenme ve hafıza ile ilişkili bölgelerinde yeni nöron oluşumunu artırırken; BDNF, IGF-1 ve VEGF gibi nörotrofik faktörlerin salınımını yükselterek sinaptik plastisiteyi güçlendirir (Pranoto et al., 2020; Liu & Nusslock, 2018; Ghanbarzadeh et al., 2016). Bu mekanizmalar, egzersizin bilişsel işlevleri ve motor öğrenmeyi geliştirmedeki etkisinin temelini oluşturur (Meray & Yenice, 2018; Ma & Mumtaz, 2025).

4.5. Egzersizin Nörobiyolojik Uyarıcı Olarak Rolü

Egzersiz, sinir sistemi üzerinde hem akut hem de kronik etkiler oluşturan güçlü bir nörobiyolojik uyarıcıdır (Machado et al., 2015; Satman, 2018). Akut egzersiz sırasında artan kalp debisi, oksijen taşınımı ve nörotransmitter salınımı; merkezi sinir sisteminin uyarılabilirliğini artırarak bilişsel süreçleri ve reaksiyon hızını iyileştirir (Erdoğan et al., 2025; Fu & Levine, 2013). Düzenli egzersiz ise nörotrofik yanıtın artması, sinaptik plastisitenin güçlenmesi, nörojeniz ve dentritik dallanmanın çoğalması gibi süreçler aracılığıyla sinir sisteminin yapısal bütünlüğünü geliştirmektedir (Liu & Nusslock, 2018; Pranoto et al., 2020; Sheikhzadeh et al., 2015). Egzersiz ayrıca hipokampus, prefrontal korteks ve serebellum gibi bölgelerde metabolik aktiviteyi artırarak öğrenme, dikkat, yürütücü işlevler ve motor kontrol süreçlerini desteklemektedir (Morgan et al., 2015; Meray & Yenice, 2018; Bayram, 2022). Bu yönüyle egzersiz hem performans gelişimi hem de beyin sağlığının korunması açısından kritik bir biyolojik düzenleyici olarak değerlendirilmektedir (Esmacilzadeh & Moradikar, 2025; Müller et al., 2020).

5. Egzersiz ve Sinir Sistemi Arasındaki Etkileşim

Egzersiz ve sinir sistemi arasındaki etkileşim hem hücresel hem de sistem düzeyinde gerçekleşen çok yönlü biyolojik süreçlerle şekillenmektedir (Machado et al., 2015; Özocak et al., 2019). Fiziksel aktivite sırasında ortaya çıkan fizyolojik uyarılar; sinaptik iletimi, nörotransmitter dengesini, nörotrofik faktör üretimini ve nöral ağların işlevsel bağlantılılığını doğrudan etkileyerek sinir sisteminin adaptasyon kapasitesini artırmaktadır (Erdoğan et al., 2025; Ghanbarzadeh et al., 2016; Müller et al., 2020). Bu süreçler,

bilişsel işlevlerden motor performansa, duygudurum düzenlemeden hafıza süreçlerine kadar geniş bir yelpazede kendini göstermektedir (Morgan et al., 2015; Meray & Yenice, 2018; Bayram, 2022). Egzersiz, özellikle MSS'nin plastik kapasitesini harekete geçirerek beynin yapısal ve fonksiyonel bütünlüğünü destekleyen güçlü bir nörobiyolojik uyarıcı olarak işlev görmektedir (Liu & Nusslock, 2018; Pranoto et al., 2020; Sheikhzadeh et al., 2015).

Egzersiz sırasında artan motor komutlar, somatik sinir sistemi aracılığıyla iskelet kaslarına iletilirken, bu süreç aynı zamanda MSS'de motor korteks, serebellum ve bazal ganglion gibi bölgelerin aktivasyonunu artırır (Morgan et al., 2015; Meray & Yenice, 2018). Motor kortekste bu artmış aktivite, hareket doğruluğu ve koordinasyonu geliştirirken; serebellum, denge ve ince motor kontrol süreçlerini optimize eder (Bayram, 2022). Düzenli egzersiz, bu bölgelerdeki sinaptik bağlantıların güçlenmesini sağlayarak motor öğrenmeyi ve hareket becerilerinin kalıcılığını desteklemektedir (Özocak et al., 2019; Müller et al., 2020). Egzersize bağlı motor sistem adaptasyonları, reaksiyon zamanı, çeviklik ve hareket hızı gibi performans göstergelerini de olumlu yönde etkiler (Satman, 2018; Ogan et al., 2015).

Bilişsel süreçler açısından bakıldığında egzersiz, prefrontal korteks ve hipokampus gibi kritik beyin bölgelerinde metabolik aktiviteyi artırarak dikkat, yürütücü işlevler, karar verme ve problem çözme gibi bilişsel fonksiyonları geliştirebilmektedir (Morgan et al., 2015; Meray & Yenice, 2018). Bu iyileşme, özellikle aerobik egzersizle artan serebral kan akımı, oksijenlenme ve BDNF üretimi ile ilişkilendirilmektedir (Liu & Nusslock, 2018; Pranoto et al., 2020; Ghanbarzadeh et al., 2016). Hipokampusta gerçekleşen nörogenez ve sinaptik yoğunluk artışının hafıza süreçlerini güçlendirdiği; prefrontal kortekste nöroplastisite mekanizmalarının ise bilişsel esneklik ve dikkat kontrolünü desteklediği bilinmektedir (Ünal, 2021; Özocak et al., 2019). Bu nedenle düzenli fiziksel aktivite hem çocuklarda hem yetişkinlerde hem de yaşlı bireylerde bilişsel kapasitenin korunması ve geliştirilmesinde etkili bir araçtır (Ma & Mumtaz, 2025; Esmacilzadeh & Moradikor, 2025).

Düzenli egzersiz yapan bireylerde otonom sinir sistemi dengesinin daha etkin olduğu, stresle başa çıkma kapasitesinin geliştiği ve duygu durum düzenlemesinin daha dengeli gerçekleştiği görülmektedir (Budak & Özdek, 2025; Fu & Levine, 2013; Ma & Mumtaz, 2025). Benzer şekilde, kaygının bilişsel süreçler ve performans üzerindeki olumsuz etkileri de doğrulanmıştır (Demir et al., 2025).

Nörokimyasal açıdan egzersiz, dopamin, serotonin, noradrenalin ve

endorfin gibi nörotransmitterlerin salınımını artırarak duygudurumun iyileşmesine, kaygı düzeyinin azalmasına ve motivasyonun yükselmesine katkıda bulunur (Eker, 2024; Machado et al., 2015; Ma & Mumtaz, 2025). Bu nörokimyasal değişiklikler, egzersizin depresyon ve anksiyete gibi psikolojik sorunlar üzerindeki olumlu etkilerinin biyolojik temelini oluşturmaktadır (Esmacilzadeh & Moradikor, 2025). Ayrıca egzersiz sırasında artan dopamin ve noradrenalin düzeylerinin dikkat, reaksiyon zamanı ve bilişsel uyanıklığı artırdığı gösterilmiştir (Erdoğan et al., 2025; Morgan et al., 2015).

Sonuç olarak egzersiz ve sinir sistemi arasındaki etkileşim, tek bir biyolojik mekanizma üzerinden değil; sinaptik plastisite, nörotransmitter salınımı, nörotrofik faktör üretimi, motor-sensör entegrasyonu ve otonom yanıtların bütüncül etkileşimi üzerinden açıklanmaktadır (Özocak et al., 2019; Ghanbarzadeh et al., 2016; Morgan et al., 2015; Fu & Levine, 2013). Bu geniş etkileşim yelpazesi, egzersizin hem performans gelişimi hem de beyin sağlığının korunması açısından vazgeçilmez bir uyaran olduğunu göstermektedir (Tekin et al., 2025; Meray & Yenice, 2018; Bayram, 2022). Düzenli egzersiz uygulamalarının, sinir sisteminin yapısal esnekliğini ve fonksiyonel kapasitesini güçlendirerek bireyin bilişsel-motor becerilerini ve psikolojik iyi oluşunu desteklediği bilimsel olarak ortaya konmuştur (Müller et al., 2020; Liu & Nusslock, 2018; Ma & Mumtaz, 2025; Esmacilzadeh & Moradikor, 2025).

6. Sonuç

Bu bölüm, egzersizin sinir sistemi üzerindeki etkilerinin yalnızca motor performans artışıyla sınırlı olmadığını; nöronal yapı, sinaptik iletişim, nörotransmitter dengesi ve nöroplastisite süreçlerinin bütüncül etkileşimiyle şekillenen çok yönlü bir nörobiyolojik temele dayandığını ortaya koymuştur (Özocak et al., 2019; Ghanbarzadeh et al., 2016; Machado et al., 2015; Morgan et al., 2015; Tekin et al., 2025).

Nöronların dentritik dallanması, aksonal iletim kapasitesi ve sinaptik bağlantıların plastisite düzeyi; egzersizin şiddeti, süresi ve düzenliliğiyle doğrudan ilişkili olup, özellikle aerobik ve yüksek yoğunluklu egzersizlerin sinaptik güçlenme, nörogenез ve uzun dönemli potansiyasyon (LTP) üzerinde belirgin etkiler oluşturduğu görülmektedir (Liu & Nusslock, 2018; Ghanbarzadeh et al., 2016; Pranoto et al., 2020; Tekin et al., 2025). Bu nörobiyolojik adaptasyonlar, bilişsel işlevlerin, öğrenme süreçlerinin ve motor kontrol mekanizmalarının geliştirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Özocak et al., 2019; Morgan et al., 2015).

Nörotransmitter sistemleri üzerinden değerlendirildiğinde, egzersizin dopamin, serotonin ve noradrenalin gibi nörokimyasal düzenleyiciler üzerinde sağladığı etki; dikkat, motivasyon, duygudurum dengesi ve bilişsel esneklik açısından önemli bir biyolojik avantaj oluşturmaktadır (Erdoğan et al., 2025; Morgan et al., 2015). Bu süreçlere paralel olarak artan BDNF, IGF-1 ve VEGF düzeyleri, nöronal dayanıklılığı artırarak hem merkezi sinir sistemi hem periferik sinir sistemi düzeyinde bütüncül bir adaptasyon sağlamaktadır (Tekin et al., 2025; Ghanbarzadeh et al., 2016; Sheikhzadeh et al., 2015; Pranoto et al., 2020). Bu nörotrofik yanıtların sürekliliği, düzenli fiziksel aktivite alışkanlıklarının yaşam boyu beyin sağlığını destekleyen temel bir mekanizma olduğunu göstermektedir (Esmacilzadeh & Moradikor, 2025; Özocak et al., 2019).

Uygulama açısından bakıldığında egzersizin nörobiyolojik etkileri yaşamsal döngünün tüm dönemlerinde farklı gereksinimlere cevap verebilecek kapasitededir; çocukluk döneminde bilişsel gelişimi ve akademik uyumu desteklediği, ergenlik ve yetişkinlikte motor beceri, dikkat ve yürütücü işlevleri güçlendirdiği, yaşlılık döneminde ise nörodejeneratif süreçlere karşı koruyucu bir etki oluşturduğu ortaya konmuştur (Morgan et al., 2015; Meray & Yenice, 2018; Esmacilzadeh & Moradikor, 2025). Bu bağlamda, egzersiz temelli nörobiyolojik adaptasyonların yalnızca akut performans artışını değil; uzun vadeli bilişsel dayanıklılık, sinirsel esneklik ve mental sağlık sürdürülebilirliğini güvence altına alan bilimsel bir temel sunduğu söylenebilir (Tekin et al., 2025; Özocak et al., 2019; Guo et al., 2020).

Sonuç olarak, egzersiz ve sinir sistemi arasındaki ilişki, moleküler düzeydeki nörotrofik değişimlerden sistem düzeyindeki motor-sensör entegrasyonuna kadar uzanan geniş bir biyolojik çerçevede değerlendirilmelidir (Tekin vd., 2025; Özocak vd., 2019; Morgan vd., 2015). Bu bütüncül yaklaşım, modern spor bilimlerinde performans, sağlık ve bilişsel işlevlerin yönetiminde yeni bir paradigma olarak önem kazanmakta; antrenman biliminden eğitim ortamlarına, klinik uygulamalardan sağlıklı yaşam programlarına kadar geniş bir yelpazede stratejik bir yol gösterici niteliği taşımaktadır (Meray & Yenice, 2018; Esmacilzadeh & Moradikor, 2025). Bu nedenle fiziksel aktivitenin nörobiyolojik temelleri hem bilimsel araştırmalar hem de uygulamalı spor bilimleri açısından giderek daha fazla önem kazanan disiplinler arası bir çalışma alanı olarak değerlendirilebilir (Guo vd., 2020; Müller vd., 2020).

7. Kaynaklar

- Akbulut, N. H. (2024). Sinir Sistemi Histolojisi. *Sağlık & Bilim 2024: Histoloji ve Embriyoloji-I*, 51.
- Akyüz, G., & Ma, L. (2012). Otonom sinir sistemi anatomisi ve değerlendirilmesi. *Türkiye Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Dergisi*, 58(1), 1-5.
- Atabaş, E. G. (2024). Fonksiyonel Antrenman. *Beden Eğitimi ve Spor Araştırmaları 2024-I*, 231.
- Atak, C. (2021). *Periferik Sinir İletim Hız Dağılımının Modern Programlama Dilleri ve Veri Analiz Yöntemleri Kullanılarak Modellenmesi* (Master's thesis, Necmettin Erbakan University (Turkey)).
- Ateş, F., Sağın, A. E., & Uğraş, S. (2025). The mediating role of interest in physical education class between satisfaction with life and attachment to school. *Milli Eğitim Dergisi*, 54(246), 1075–1108. <https://doi.org/10.37669/milliegitim.1502049>
- Bakal, A. Y. (2021). Nöromusküler elektrik stimülasyonu ve farklı yoğunluktaki kuvvet egzersizlerinin bilişsel fonksiyon ve idrar BDNF düzeyleri üzerine etkisi.
- Başaran, D. C., Yıldırım, F., Ekenci, B. Y., Kılıç, S., & Ülgen, P. (2013). Nöroplastisite ve Güncel Yaklaşımlar. *Başkent üniversitesi*, 15.
- Bayram, Ü. A. (2022). Egzersizin beyin üzerindeki etkilerinin biyopsikoloji açısından değerlendirilmesi. *Türk Eğitim Değerlendirmeleri Dergisi*, 1(1), 59-68.
- Bozdemir, B. S. (2024). *Fizyolojik psikoloji*. MedyaPress Türkiye Bilgi Ofisi Yayınları
- Budak, H., & Özdek, B. (2025). Otonom sinir sistemi aktivasyonlarında kalp atım hızı değişkenliğinin rolü. *Spor & Bilim*, 97.
- Civan, A., Özdemir, İ., Gencer, Y. G., & Durmaz, M. (2018). Egzersiz ve stres hormonları. *Türkiye Spor Bilimleri Dergisi*, 2(1), 1-14.
- Çabuk, R., Çayır, H., Yıldız, M., Onat, T., Cincioğlu, G., Adanur, O., & Kayaçan, Y. (2020). Egzersizin fizyolojik sistemler üzerine etkileri: Sistematik derleme. *Helal Yaşam Tıbbi Dergisi*, 2(1), 21–38.
- Çelik, B., & Sevindik Aktaş, B. (2025). Elit Sporcuların Egzersiz Bağımlılık Düzeylerinin İncelenmesi (Erzurum İli Örneği): Tanımlayıcı Araştırma. *Türkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences*, 17(1).
- Çuvalcıoğlu, İ. C. (2024). Nöromusküler yorgunluğun sinaptik iletide rol alan asetilkolin üzerine etkisi.
- Daniela, M., Catalina, L., Ilie, O., Paula, M., Daniel-Andrei, I., & Ioana, B. (2022). Effects of exercise training on the autonomic nervous system with a focus on anti-inflammatory and antioxidants effects. *Antioxidants*, 11(2), 350.

- Demir, G. T., Namlı, S., Çakır, E., Batu, B., Ateş, F., Yılmaz, E., Güvendi, B., Kocamaz Adaş, S., & Çağın, M. (2025). The role of mental toughness, sport imagery and anxiety in athletic performance: Structural equation modelling analysis. *BMC Psychology*, 13, 869. <https://doi.org/10.1186/s40359-025-03250-6>
- Eken, Ö. (2021). *Farklı Egzersiz Modalitelerinin Beyin Fonksiyonları Üzerine Etkisinin İncelenmesi* (Doctoral dissertation, İnönü University (Turkey)).
- Erdoğan, D. G., & Aslan, İ. (2021). Egzersiz ve egzersizin homeostatik fizyolojik etkileri. *Academic Developments on Health Sciences*, 67.
- Erdoğan, R., Yıldırak, A. ve Yılmaz, E. (2025). Egzersizin Nörotransmitterler Üzerindeki Etkisi: Sistematik Bir İnceleme. *Beden Eğitimi Spor Sağlık ve Eför Dergisi*, 4 (3), 29-38.
- Esmacilzadeh, M., & Moradikor, N. (2025). Nutrition & exercise for brain health: Enhancing cognitive function and neuroplasticity. *Advances in clinical and experimental medicine : official organ Wroclaw Medical University*, 34(9), 1419–1423. <https://doi.org/10.17219/acem/208533>
- Fountas, Z. (2011). Spiking neural networks for human-like avatar control in a simulated environment. *Computing Science of Imperial College London*, 1-60.
- Fu, Q. I., & Levine, B. D. (2013). Exercise and the autonomic nervous system. *Handbook of clinical neurology*, 117, 147-160.
- Gevrek, F. (2025). Sinir Bilim ve Embriyoloji. *Sağlık & Bilim 2025: Histoloji ve Embriyoloji-I*, 41.
- Ghanbarzadeh, M., Taheri, A., & Heyat, F. (2016). Molecular structure and response of the brain-derived neurotrophic factor (BDNF) to exercise. *Annals of Military and Health Sciences Research*, 14(4).
- Gibbons C. H. (2019). Basics of autonomic nervous system function. *Handbook of clinical neurology*, 160, 407–418. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64032-1.00027-8>
- Guo, L. Y., Lozinski, B., & Yong, V. W. (2020). Exercise in multiple sclerosis and its models: Focus on the central nervous system outcomes. *Journal of neuroscience research*, 98(3), 509–523. <https://doi.org/10.1002/jnr.24524>
- İnan, C. M. (2021). Bazı besin öğelerinin sinir sistemi üzerine etkileri. *Institute of Health Sciences Journal*, 6(1), 49–58.
- Karakulak, U. N., Yılmaz, Ö. H., Tutkun, E., Gündüzöz, M., Evranos, B., Onay, E. E., ... & Öztürk, M. T. (2016). Exercise heart rate recovery assessment of the cardiac autonomic nervous system in workers occupationally exposed to lead. *Archives of the Turkish Society of Cardiology/Türk Kardioloji Derneği Arşivi*, 44(5).
- Liu, P. Z., & Nusslock, R. (2018). Exercise-mediated neurogenesis in the hippocampus via BDNF. *Frontiers in Neuroscience*, 12, 52.

- Ma, Y., & Mumtaz, S. (2025). The long-term mental health benefits of exercise training for physical education students: a comprehensive review of neurobiological, psychological, and social effects. *Frontiers in psychiatry*, 16, 1678367. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2025.1678367>
- Machado, S., Paes, F., Ferreira Rocha, N. B., Yuan, T. F., Mura, G., Arias-Carrión, O., & Nardi, A. E. (2015). Neuroscience of Exercise: Association Among Neurobiological Mechanisms and Mental Health. *CNS & neurological disorders drug targets*, 14(10), 1315–1316. <https://doi.org/10.2174/1871527315999151119122238>
- Meray, J., & Yenice, I. S. (2018). Beyin ve Egzersiz. *Journal of Physical Medicine & Rehabilitation Sciences*, 21(2).
- Morgan, J. A., Corrigan, F., & Baune, B. T. (2015). Effects of physical exercise on central nervous system functions: a review of brain region specific adaptations. *Journal of molecular psychiatry*, 3(1), 3.
- Müller, P., Duderstadt, Y., Lessmann, V., & Müller, N. G. (2020). Lactate and BDNF: Key Mediators of Exercise Induced Neuroplasticity?. *Journal of clinical medicine*, 9(4), 1136. <https://doi.org/10.3390/jcm9041136>
- Ogan, M., Ozturk, D., Ozturk, M., Buzdağlı, Y., & Sajedi, H. (2015). Physical And Physiological Parameters Evaluation Of Sport Science Students. *The Swedish Journal of Scientific Research*, 2(8), 73.
- Özkul, Ç. (2020). Egzersiz ve beyin. Sağlık Bilimlerinde Multidisipliner Araştırmalar, 543.
- Özocak, O., Başçıl, S. G., & Gölgeci, A. (2019). Egzersiz ve nöroplastisite. *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 31-38.
- Pranoto, A., Wahyudi, E., Prasetya, R. E., Fauziyah, S., Kinanti, R. G., Sugiharto, S., & Rejeki, P. S. (2020). High intensity exercise increases brain derived neurotrophic factor expression and number of hippocampal neurons in rats. *Comparative Exercise Physiology*, 16(4), 325–332.
- Rao, M., Gershon, M. The bowel and beyond: the enteric nervous system in neurological disorders. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* 13, 517–528 (2016). <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2016.107>
- Satman, M. C. (2018). Fiziksel aktivite: bilinenin çok ötesi. *Spor metre Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 16(4), 158-178.
- Sheikhzadeh, F., Etemad, A., Khoshghadam, S., Asl, N. A., & Zare, P. (2015). Hippocampal BDNF content in response to short- and long-term exercise. *Neurological Sciences*, 36(7), 1163–1166.
- Tekin, M., Küçükerdem, T., & Küçükoraş, M. (2025). Egzersizin Beyin Üzerindeki Nörobiyolojik Etkileri: BDNF ve Nöroplastisite. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Uluslararası Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 2(1), 13-28.

- Ünal, M. (2021). Egzersiz ve Nörogenез. Journal of Istanbul Faculty of Medicine, 84(2), 264-268. <https://doi.org/10.26650/IUITFD.2020.0066>
- Wang, F. (2023). Neuro-WiFi: A novel neuronal connection underlies the potential interventional target. *Science Insights*, 43(6), 1179-1196.