

Fiziksel Aktivitenin Oksidatif Stres Dinamikleri ve Antioksidan Savunma Sistemleri Üzerindeki Etkisi

Sinan AĞLAR¹

¹Van Zübeyde Hanım Özel Eğitim Ortaokulu Türkiye
*(sinanaglarr@gmail.com) Başlıca yazarın mail adresi

(Geliş Tarihi: 14 Mayıs 2025, Kabul Tarihi: 26 Mayıs 2025)

ATIF/REFERENCE: Ağlar, S. (2025). Fiziksel Aktivitenin Oksidatif Stres Dinamikleri ve Antioksidan Savunma Sistemleri Üzerindeki Etkisi. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 9(5), 358-362.

Özet – Fiziksel aktivite, sağlığın korunması ve geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, yoğun ve uzun süreli egzersizler vücutta oksidatif stresin artmasına neden olabilir. Oksidatif stres, reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı üretimi sonucu hücresel yapılar üzerinde oluşan hasar mekanizmasıdır. Bu durum, proteinler, lipidler ve DNA gibi biyomoleküllerde fonksiyonel bozukluklara yol açabilir. Vücut, oksidatif stresi dengelemek için endojen antioksidan savunma sistemlerini aktive eder. Bu sistemler, enzimatik (superoksit dismutaz, katalaz, glutatyon peroksidaz) ve non-enzimatik (glutatyon, vitamin C, vitamin E) bileşenlerden oluşur.

Bu derleme çalışmada, farklı fiziksel aktivite türlerinin oksidatif stres dinamikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Hafif ve orta yoğunluklu egzersizlerin antioksidan savunma mekanizmalarını güçlendirdiği ve oksidatif stres seviyelerini düzenlediği; buna karşın, aşırı yüksek yoğunlukta ve süreklilik gösteren aktivitelerin ROS üretimini artırarak hücresel hasara yol açabileceği vurgulanmıştır. Ayrıca, düzenli egzersizin adaptif yanıtları aracılığıyla antioksidan enzim aktivitelerinin arttığı ve böylece oksidatif stresin dengelendiği gösterilmiştir.

Sonuç olarak, fiziksel aktivitenin oksidatif stres ve antioksidan sistemler üzerindeki etkilerinin yoğunluk, süre ve bireysel özelliklere bağlı olarak değiştiği anlaşılmıştır. Bu bağlamda, egzersiz programlarının oksidatif hasarı minimize edecek şekilde planlanması ve gerektiğinde antioksidan desteklerle kombinasyonu önem taşımaktadır. Bu çalışma, fiziksel aktivitenin biyokimyasal etkilerinin daha iyi anlaşılması ve sporcu sağlığının korunması açısından önemli veriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Fiziksel Aktivite, Oksidatif Stres, Antioksidan Savunma

1. GİRİŞ

Modern yaşamın getirdiği sedanter yaşam tarzı, oksidatif stres düzeylerinde artışa neden olmakta ve bu durum pek çok kronik hastalığın temelini oluşturmaktadır [1]. Oksidatif stres, hücrelerde enerji üretimi sırasında ortaya çıkan reaktif oksijen türlerinin (ROS) antioksidan savunma kapasitesini aşmasıyla meydana gelir [2]. Fiziksel egzersiz, özellikle aerobik ve direnç egzersizleri, oksijen tüketimini artırarak ROS üretimini tetikler. Bu durum başlangıçta hücresel hasara yol açabilecek potansiyele sahip olsa da, düzenli fiziksel aktivite sonucunda organizma, antioksidan savunma sistemlerini güçlendirme yönünde adaptasyon geliştirir [3].

Düzenli egzersiz; süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GPx) gibi endojen antioksidan enzimlerin aktivitesini artırarak oksidatif dengeyi korumaya yardımcı olur [4]. Bu adaptif

yanıtlar, hücrel yaşlanmayı yavaşlatır, metabolik sağlığı destekler ve egzersize bağlı yorgunluk ve kas hasarını azaltır [5]. Ancak, aşırı yoğunlukta ve süreklilikte yapılan egzersizler, antioksidan savunmayı aşarak lipid peroksidasyonu, protein oksidasyonu ve DNA hasarı gibi zararlı etkiler oluşturabilir [6]. Bu nedenle egzersizin tipi, süresi ve yoğunluğu kadar, bireyin antrenman düzeyi ve fizyolojik durumu da oksidatif yanıtın boyutunu belirleyen önemli faktörlerdendir [7].

Son yıllarda, oksidatif stresin sadece zararlı etkileri değil; aynı zamanda sinyal yollarını aktive ederek mitokondriyal biyogenezi ve kas hücrelerinin adaptasyonunu teşvik eden faydalı etkileri de olduğu gösterilmiştir [8]. Bu durum, "egzersiz hormesi" olarak adlandırılan, düşük düzeyde stresin faydalı biyolojik adaptasyonları tetiklediği kavram ile açıklanmaktadır [9]. Dolayısıyla egzersizin oluşturduğu oksidatif stresin tamamen ortadan kaldırılması değil, optimal düzeyde tutulması hedeflenmelidir [10].

Oksidatif stres, organizmada reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimi ile antioksidan savunma kapasitesi arasındaki dengenin bozulması sonucu gelişen biyokimyasal bir durumdur. Normal fizyolojik koşullarda düşük düzeyde bulunan ROS, hücrel sinyal iletimi ve metabolik fonksiyonların düzenlenmesinde rol oynar. Ancak bu türlerin aşırı miktarda üretilmesi halinde, hücre zarları, protein yapıları ve DNA gibi biyomoleküllerde hasar meydana gelebilir; bu da spor performansında azalmaya ve iyileşme süreçlerinde gecikmelere yol açabilir. [11].

Bu bağlamda, egzersizin oluşturduğu oksidatif stres ile antioksidan yanıtlar arasındaki dengenin, sporcularda performans ve toparlanma süreçleri açısından kritik bir öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır. Özellikle mücadele sporlarında, hem aerobik hem de anaerobik enerji sistemlerinin birlikte kullanılması nedeniyle oksidatif yüklenmenin daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle söz konusu spor dallarında, biyokimyasal düzeydeki bu etkileşimlerin daha ayrıntılı olarak incelenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, fiziksel aktivitenin oksidatif stres üzerindeki etkileri ile antioksidan savunma sistemlerinin bu etkiler karşısında nasıl bir yanıt verdiği değerlendirilmeyi amaçlamaktadır.

II. SONUÇLAR

Fiziksel aktivitenin oksidatif stres dinamikleri üzerindeki etkisi, çift yönlü ve karmaşık bir biyolojik etkileşim göstermektedir. Egzersiz, kısa vadede reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini artırarak oksidatif stres seviyelerinde yükselmeye neden olmakta; buna karşılık, uzun vadede antioksidan savunma sistemlerini aktive ederek organizmanın bu strese karşı direnç kazanmasını sağlamaktadır [1]. Bu durum, egzersizin organizmada "fizyolojik stres faktörü" olarak rol oynadığını ve hücrel düzeyde adaptif yanıtları tetiklediğini ortaya koymaktadır [2].

Bu süreçte egzersizin süresi, sıklığı ve yoğunluğu gibi değişkenler belirleyici olmaktadır. Orta düzeyde ve düzenli fiziksel aktivite, endojen antioksidan enzimlerin (SOD, CAT, GPx) aktivitesini artırarak oksidatif dengeyi korumakta ve organizmanın oksidatif yüklerle baş etmesini kolaylaştırmaktadır. Ancak yüksek yoğunluklu veya yetersiz toparlanma içeren antrenmanlar, serbest radikal üretimini artırarak hücrel hasarı tetikleyebilir [3]. Bu nedenle antrenman programlarının planlanmasında, bireyin fizyolojik kapasitesi ve toparlanma süresi dikkate alınarak kişiye özgü yüklenme programları oluşturulmalıdır [4].

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, yüksek dozda antioksidan takviyelerinin bilinçsizce kullanımı halinde, egzersizin mitokondriyal adaptasyonları üzerinde baskılayıcı etkiler oluşturabileceği görülmüştür. Özellikle C ve E vitamini gibi dış kaynaklı antioksidanların fazla tüketilmesi, ROS'un hücrel sinyal iletimi üzerindeki faydalı etkilerini inhibe edebilmektedir [5, 6]. Bu durum, "fazla antioksidan iyi değildir" prensibini desteklemekte ve sporcularda bireyselleştirilmiş beslenme stratejilerinin ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Öte yandan, farklı spor branşlarında ve gruplarda yapılan çok sayıda araştırma, egzersizin oksidatif stres parametreleri üzerindeki etkilerini ayrıntılı biçimde ortaya koymuştur. Örneğin, genç güreşçiler üzerinde

yapılan bir çalışmada, sekiz haftalık çinko sülfat takviyesi sonrası serum MDA düzeylerinde düşüş, GSH, GPx, SOD ve çinko seviyelerinde anlamlı artış gözlenmiştir. Bu bulgu, çinko takviyesinin antioksidan sistemi destekleyerek serbest radikal hasarını azaltabileceğini göstermektedir [12].

Elit karate sporcuları üzerinde yapılan üç aylık antrenman sürecini kapsayan bir başka çalışmada ise katalaz (CAT) enzim aktivitesinde düşüş saptanmış; ancak organizmanın akut egzersizlere karşı antioksidan tepkisinin devam ettiği görülmüştür. Bu, uzun süreli yüklenmelerin bazı enzimlerin aktivitesini değiştirebileceğini ancak genel adaptasyon kapasitesinin korunabildiğini göstermektedir [13].

Benzer şekilde, 14 gün boyunca üzüm suyu tüketen judo sporcularında lipid ve DNA hasarlarında anlamlı azalma görülmüş, ancak SOD aktivitesinde düşüş kaydedilmiştir. Bu bulgular, polifenol açısından zengin olan üzüm suyunun oksidatif zararı azaltıcı etkileri olduğunu, ancak bazı enzim sistemlerinde farklı tepkiler oluşabileceğini göstermektedir [14].

Taekwondo yapan çocuklarla yapılan bir çalışmada, uzun süreli antrenmanların oksidatif stres düzeylerini artırdığı; buna karşın antioksidan enzim aktivitelerinin (özellikle SOD, GPx) yükseldiği görülmüştür. Bu durum, egzersizin çocuklarda bile antioksidan savunma sistemini uyardığını, ancak destekleyici beslenme stratejilerine ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymuştur [15].

Yüksek irtifada gerçekleştirilen bir çalışmada, hipobarik hipoksiye maruz kalan bireylerde oksidatif stres belirteçleri olan MDA ve H₂O₂ düzeylerinde artış tespit edilirken, HbO₂ konsantrasyonu ile bu parametreler arasında negatif bir ilişki bulunmuştur. Aynı çalışmada, 2200 metrede yapılan kamp süresince SOD düzeylerinde anlamlı değişiklik gözlenmezken, MDA düzeylerinde belirgin bir artış ortaya çıkmıştır. Bu bulgular, çevresel stres faktörlerinin oksidatif yanıt üzerinde etkili olduğunu göstermektedir [16].

Hayvan modelleriyle yapılan deneysel bir araştırmada, 8 hafta süren koşu bandı antrenmanına maruz kalan ratlara uygulanan akut tükenme egzersizinin, kalp dokusundaki MDA seviyeleri üzerinde anlamlı bir değişiklik oluşturmadığı bildirilmiştir. Bu sonuç, antrenman adaptasyonlarının dokular üzerinde koruyucu etki yarattığını göstermektedir [17].

Başka bir çalışmada, Thera-Band® ile yapılan farklı kuvvet egzersizlerinin oksidatif stres ve DNA hasarına etkisi değerlendirilmiş; özellikle dayanıklılık temelli yüklenmelerin ROS üretimini azaltarak DNA hasarını sınırladığı ve antioksidan savunmayı desteklediği görülmüştür [18].

Yüzücüler üzerinde yapılan bir başka çalışmada, 100 m ve 800 m yüzme etkinliklerinden sonra her iki grupta da CAT ve GPx enzim aktivitelerinde artış kaydedilmiş; ancak bu artışın kısa mesafe yüzücülerinde daha belirgin olduğu belirtilmiştir. Bu durum, yoğun ve kısa süreli egzersizin reaktif oksijen türlerini daha hızlı artırdığına işaret etmektedir [19].

Yüksek irtifada yaşayan ve en az dört yıldır Muay Thai yapan elit sporcularla yapılan bir çalışmada ise, SOD ve GST enzim aktivitelerinin kontrol grubuna kıyasla anlamlı şekilde yüksek, XO aktivitesinin ise anlamlı şekilde düşük olduğu bildirilmiştir. Bu bulgular, Muay Thai'nin oksidatif stres üzerinde koruyucu ve dengeleyici etkileri olabileceğini göstermektedir [20].

Genel olarak, antioksidanlar serbest radikallerin neden olduğu zararlara karşı hücresel düzeyde savunma sağlayarak organizmanın homeostatik dengesini korumaktadır. Egzersiz sonrası toparlanma sürecinde antioksidan sistemlerin devreye girmesi, sporcuların performanslarının sürekliliği ve iyileşme hızlarının artırılması açısından büyük önem taşımaktadır [21].

Bu bağlamda, fiziksel yüklenmelere maruz kalınan branşlarda, oksidatif stres ve antioksidan savunma sistemleri arasındaki ilişkinin detaylı bir şekilde araştırılması gerekmektedir. Bu tarz branşlarda hem

aerobik hem anaerobik enerji sistemlerinin yoğun kullanımı, reaktif oksijen türlerinin üretimini artırmakta; bu da sporcuları hem performans düşüklüğü hem de iyileşme sürecinde gecikme riskleriyle karşı karşıya bırakmaktadır. Dolayısıyla, bu tür sporlarda antrenman yüklenmeleri, toparlanma süreleri ve beslenme stratejileri oksidatif stres yükü dikkate alınarak planlanmalıdır.

Bu çalışmayla birlikte, sporcuların performans düzeylerinin artırılması ve sağlıklarının korunması yönünde daha bilinçli, bilim temelli antrenman ve beslenme stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlanması hedeflenmektedir. Antioksidan sistemin egzersize verdiği yanıtların anlaşılması, antrenman sonrası toparlanma süreçlerinin yönetilmesinde ve spora bağlı hücresel yıpranmanın azaltılmasında kritik rol oynamaktadır. Özellikle profesyonel düzeyde faaliyet gösteren mücadele sporu sporcuları için, biyokimyasal temelli egzersiz planlaması yapılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Elde edilen bilgiler doğrultusunda, spor bilimleri literatürüne oksidatif stres ve antioksidan yanıt etkileşimi konusunda güncel ve uygulamaya dönük bir katkı sunulmakta; aynı zamanda antrenörlük uygulamalarında bireyselleştirilmiş yüklenme–recovery dengesi kurma yönünde bilimsel veri desteği sağlanmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı yaş grupları, cinsiyetler, antrenman düzeyleri ve branşlar arasında oksidatif stres yanıtlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi önerilmektedir. Bu tür çok boyutlu araştırmalar, antrenman bilimi ve sporcu sağlığına yönelik kanıta dayalı uygulamaların geliştirilmesine zemin hazırlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Powers, S. K., et al. (2011). Exercise-induced oxidative stress: Cellular mechanisms and impact on muscle force production. *Physiological Reviews*, 91(2), 650–702.
- [2] Gomez-Cabrera, M. C., et al. (2008). Exercise as an antioxidant: It up-regulates important enzymes for oxidative stress defense. *Free Radic Biol Med*, 44(2), 126–131.
- [3] Ji, L. L. (2008). Modulation of skeletal muscle antioxidant defense by exercise: Role of redox signaling. *Free Radic Biol Med*, 44(2), 142–152.
- [4] Finaud, J., Lac, G., & Filaire, E. (2006). Oxidative stress: Relationship with exercise and training. *Sports Medicine*, 36(4), 327–358.
- [5] Ristow, M., et al. (2009). Antioxidants prevent health-promoting effects of physical exercise in humans. *PNAS*, 106(21), 8665–8670.
- [6] Merry, T. L., & Ristow, M. (2016). Do antioxidant supplements interfere with skeletal muscle adaptation to exercise training? *Journal of Physiology*, 594(18), 5135–5147.
- [7] Nieman, D. C., & Wentz, L. M. (2019). The compelling link between physical activity and the body's defense system. *Journal of Sport and Health Science*, 8(3), 201–217.
- [8] Radak, Z., et al. (2013). Exercise, oxidative stress and hormesis. *Ageing Research Reviews*, 12(1), 58–63.
- [9] Holloszy, J. O. (2008). Regulation by exercise of skeletal muscle content of mitochondria and GLUT4. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 59(Suppl 7), 5–18.
- [10] Sies, H. (2017). Hydrogen peroxide as a central redox signaling molecule in physiological oxidative stress: Oxidative eustress. *Redox Biology*, 11, 613–619.
- [11] Ağlar, S., & Demir, H. (2025). Antioksidanlar güreş performansını nasıl etkiler. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 9(1), 33–36.
- [12] Kara, E. (2007). Genç güreşçilerde egzersizin ve egzersizde çinko uygulamasının antioksidan aktivite üzerine etkisi.
- [13] Pesic, S., Jakovljevic, V., Djordjevic, D., et al. (2009). Exercise-induced changes in redox status of elite karate athletes. *Chinese Journal of Physiology*, 55, 8–15.
- [14] Goulart, M. J. V., Pisamiglio, D. S., Moeller, G. B., Dani, C., Alves, F. D., Bock, P. M., & Schneider, C. D. (2020). Effects of grape juice consumption on muscle fatigue and oxidative stress in judo athletes: a randomized clinical trial. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92, e20191551.
- [15] Kürkçü, R., Çakmak, A., & Zeyrek, D. (2012). Taekwondo antrenmanlarının çocuklarda oksidatif stres üzerine etkisi. *Erciyes Medical Journal*, 34(1).
- [16] Pialoux V, Mounier R, Ponsot E, et al: Effects of exercise and training in hypoxia on antioxidant/pro-oxidant balance. *Eur J Clin Nutr* **60**: 1345–54, 2006.
- [17] Gul, M., Demircan, B., Taysi, S., Oztasan, N., Gumustekin, K., Siktari, E., ... & Dane, S. (2006). Effects of endurance training and acute exhaustive exercise on antioxidant defense mechanisms in rat heart. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 143(2), 239–245.

- [18] Agirbas, O. (2019). Effects of Different Types Strength Exercises with Thera-Band® on Oxidative Stress and DNA Damage
- [19] Inal M, Akyüz F, Turgut A, Getsfrid WM. Effect of aerobic and anaerobic metabolism on free radical generation swimmers. Med Sci Sports Exerc 2001; 33 (4): 564–7.
- [20] Ağlar, S. (2019). *Yüksek irtifada muay thai yapan sporcuların oksidatif stres ve enzim düzeylerinin incelenmesi* (Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- [21] Ayaz, A., Zaman, W., Radák, Z., & Gu, Y. (2024). Harmony in Motion: Unraveling the Nexus of Sports, Plant-Based Nutrition, and Antioxidants for Peak Performance. *Antioxidants*, 13(4), 437.