

## Sıklet Sporcularında Hızlı Vücut Ağırlığı Kaybı İle İlişkili Oksidatif Stres ve Kas Hasarı

Mustafa Karahan

Büşra Özdek

### Özet

Sıklet sporlarında yarışan sporcular genellikle yarışma zamanına kadar diyetisyen yardımıyla veya yardımı olmadan vücut ağırlıklarını başarılı bir şekilde kontrol edebilirler. Ancak vücut ağırlıklarını kontrol edemeyen veya daha düşük bir ağırlık kategorisinde yarışmak isteyen sporcular yarışma tarihinden üç ila beş gün önce vücut ağırlıklarını ortalama %5 oranında azaltma yöntemlerine başvururlar. Bu uygulamalar genellikle süreli açlık, sıvı kısıtlaması, öğün atlama, daha fazla terlemek için plastik giysiler giyme veya sauna veya sıcak ortamlarda egzersiz yapma gibi yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Sporcular genellikle çok düşük kalorili beslenme, dehidratasyon ve yüksek yoğunluklu egzersizlere dayalı bu yöntemlerden bir veya birkaçını aynı anda kullanmaktadır.

Hızlı vücut ağırlığı kaybı için kullanılan yöntemlerin çoğunluğu, kas hasarı, metabolik süreçte bozulma ve bağışıklık sistemindeki düzensizlikler dahil olmak üzere bir dizi olumsuz etkiyi tetikleme potansiyeline sahiptir ve sonuçta bireyin rekabetçi ortamlardaki performansını etkileyebilir. Literatürde yaygın olan görüş, kas hasarını açıklayan en olası mekanizmanın oksidatif stres olduğu yönündedir. Bu nedenle her ikisinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada sıklet sporlarında hızlı vücut ağırlığı kaybı ve bu süreçte oluşan oksidatif stres ve kas hasarına ilişkin bilgiler ve araştırma örneklerine yer verilmiştir.

### 1. Giriş

Ağırlıkla ilgili sporlar, vücut ağırlığının atletik performansı önemli ölçüde etkilediği küresel olarak popülerdir (Khodace, 2015; Sundgot-Borgen ve ark. 2013). Bu sporlar, belirli ağırlık kategorilerinde yarışan yarışmacıları içerir. Sporcular, yarışacakları ağırlık kategorilerine uygunluklarını belirlemek

için yarışmadan önce ‘tartım’ adı verilen resmi bir ağırlık ölçümüne tabi tutulurlar. Tartım süreci her spora göre değişir ancak genellikle yarışmadan en az 3 ila 24 saat önce gerçekleştirilir (Franchini, Brito ve Artioli, 2012). Tartımın temel amacı her sporcunun kendi ağırlık kategorileri içinde adil ve eşit bir yarışmaya katılabilmesini garantilemektir. Bu işlem benzer fiziksel özelliklere sahip sporcuların karşılaştırılabilir spor performansı göstereceği varsayımına dayanmaktadır (Matthews vd., 2019). Bu nedenle, Yarışma öncesi vücut ağırlığı yönetimi, sporcuların yarışmalarda optimum fiziksel ve psikolojik performansa ulaşmaları için önemli bir gerekliliktir.

Vücut ağırlık kategorilerinde yarışan sporcular genellikle bir diyetisyenin yardımıyla veya yardımı olmadan vücut ağırlıklarını başarılı bir şekilde kontrol edebilirler. Ancak vücut ağırlıklarını kontrol edemeyen veya daha düşük bir ağırlık sınıfında yarışmanın avantajlı olacağına inanan sporcular, yarışma tarihinden üç ila beş gün önce hızlı vücut ağırlığı azaltmaya başvururlar (Figlioli vd., 2021). Bu süreçte sporcular vücut ağırlıklarını ortalama %5 oranında azaltmaya çalışırlar ve tartıdan hemen sonra yarışma zamanına kadar vücut ağırlıklarını hızla artırma yöntemlerini uygularlar (Matthews vd., 2019). Hızlı vücut ağırlığı kaybı, özellikle belirli ağırlık kategorilerinde yarışan sporcular arasında yaygın bir uygulamadır (Lakicevic, 2020). Bu uygulamalar genellikle süreli açlık, sıvı kısıtlaması, öğün atlama, daha fazla terlemek için plastik giysiler giyme veya sauna gibi sıcak ortamlarda egzersiz yapma gibi yöntemlerle gerçekleştirilmektedir (Drid, Figlioli ve Lakicevic, 2021; Todorovic, Park, Alensar ve Sassone, 2019). Bu uygulamalar tartı zamanı yaklaştıkça giderek yoğunlaşmaktadır (Artioli, 2010). Daha az yaygın olmakla birlikte bazı sporcuların müşil, diüretik, diyet hapi ve kusma gibi daha aşırı yöntemler kullandığı da bildirilmiştir (Drid, Figlioli ve Lakicevic, 2021). Sporcular genellikle bu yöntemlerden bir veya birkaçını aynı anda kullanırlar, bunların çoğu düşük enerji tüketimi ve dehidratasyona dayanır (Brito ve ark., 2012; Franchini ve ark., 2012; Drid ve ark., 2021).

Dehidratasyon vücudun su seviyesi gereksinimlerini karşılamak için gereken miktarın altına düştüğünde ortaya çıkar. Dehidratasyon su ve elektrolit kaybından kaynaklanan ve vücut fonksiyonlarını etkileyen önemli bir sağlık sorunudur. Bu durum özellikle sıcak iklimlerde, yoğun egzersiz sırasında ve hastalık durumlarında yaygındır (Popkin, D’Anci ve Rosenberg, 2010). Dehidratasyonun yarışma performansını ve motor fonksiyonunu olumsuz etkilediği, kalp atış hızını artırdığı ve yüksek derecelerde nöromusküler ve bilişsel sistemler ile böbrek yetmezliği üzerinde zararlı etkilere sahip olduğu bildirilmiştir (Ceylan, vd., 2022). Vücut fonksiyonlarındaki bu düşüş hem aerobik hem de anaerobik egzersiz performansının yanı sıra kas gücü ve dayanıklılığında önemli düşüşlere yol açar. Bunun yanı sıra dehidratasyonla

ilişkili vücut fonksiyonlarındaki bozulma fizyolojik stresin oluşumuna sebep olmaktadır (Savoie vd., 2015; Gamage ve ark., 2016). Beslenmenin egzersiz kaynaklı fizyolojik stresin üstesinden gelmede kritik bir rol oynadığı bilinmesine rağmen, özellikle hızlı kilo verme dönemlerinde alınan kaloriler ile tüketilen kaloriler arasında bir dengesizlik oluşur. Dengesiz enerji homeostazı, kas hasarı, bozulmuş metabolizma ve bağışıklık sistemi işlev bozukluğu gibi çeşitli sorunlara yol açabilir (Desgorces ve ark., 2017).

Kas hasarı, kas gücünde azalma, hareket açıklığında kısıtlılık, lokalize şişlik, gecikmiş başlangıçlı kas ağrısı ve kanda kreatin kinaz, laktat dehidrogenaz ve miyogloblin gibi kas proteinlerinin artmış seviyeleri gibi semptomlarla kendini gösterir (Fatouros ve Jamurtas, 2016). Kas hasarı, kas gücü azalması, hareket açıklığında kısıtlılık, lokalize şişlik, gecikmiş kas ağrısı (GKA) ve kanda kas proteinlerinde kreatin kinaz (CK), laktat dehidrogenaz (LDH) ve miyogloblin (Mb) artışı gibi semptomlarla kendini gösterir (Fatouros ve Jamurtas, 2016). Genellikle kas hasarı belirteçleri egzersizden 8 ila 24 saat sonra ortaya çıkar, 24 ila 48 saatte zirveye ulaşır ve 96 saat içinde azalır (Damas vd., 2018). Kas hasarının semptomlarının büyüklüğü ve zamanlaması değişkendir ve performans üzerindeki etkileri kas hasarının derecesine bağlıdır. Kas hasarının derecesi ise, egzersizin süresi, hedeflenen kas grubu, egzersizin türü, yoğunluğu ve hacmi gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Aynı zamanda bireyin zarar verici uyarılara karşı duyarlılığı da kas hasarı semptomlarını etkileyen bir faktördür. Literatürde kas hasarını açıklayan en muhtemel mekanizmanın oksidatif stres olduğu ve bu nedenle her ikisinin birlikte değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Dokumacı ve Atabek, 2016).

Oksidatif stres, vücutta serbest radikal üretimi ile antioksidan savunma arasında biyolojik sistemlerde hasara yol açabilecek dengesizlik olarak tanımlanır (Forman ve Zhang, 2021). Serbest radikaller vücutta aşırı üretildiğinde, hücre zarlarına, enzimlere ve DNA'ya zarar verebilir. Bu zarar, kanser, kardiyovasküler ve nörodejeneratif hastalıklar gibi çeşitli hastalıkların gelişimine yol açabilir (Hayes, Dinkova-Kostova ve Tew, 2020). Antioksidanlar ise vücutta serbest radikallerin neden olduğu hasarı önlemek veya azaltmak için serbest radikallerle reaksiyona girerek onları stabilize eder ve bu şekilde hücre hasarını engellerler. Normal koşullar altında, vücutta üretilen serbest radikaller ile bunları nötralize eden antioksidan savunma sistemi arasında bir denge mevcuttur. Ancak bazı durumlarda vücutta serbest radikal üretimi artar ve antioksidan savunma sistemi yetersiz kalır (Graille vd., 2020). Sporcuların vücut ağırlıklarını hızlı kaybetmeye çalıştıkları dönemlerde uyguladıkları yoğun antrenman programları ve beslenme kısıtlamaları, sağlık için risk oluşturan ve serbest radikallerin

üretimini artıran faktörler arasındadır (McCarthy ve Berg, 2021). Özellikle antioksidan besinlerin (A, C ve E vitaminleri vb.) alımının azalması, artan serbest radikallerle mücadelede vücudun antioksidan savunma sistemini zayıflatabilir. Bu nedenle, hızlı vücut ağırlığı kaybı sırasında aşırı besin kısıtlaması ve yoğun egzersizlerin bir arada gerçekleştirilmesinin, lipidler, proteinler ve diğer hücre bileşenlerinde oksidatif stres kaynaklı zararlara yol açabileceği düşünülmektedir (Reljic, 2015). Bu nedenle bu bölümde, sıklet sporlarında yarışma performansını olumsuz etkileyen hızlı vücut ağırlığı kaybına bağlı oksidatif stres ve kas hasarı ile ilgili açıklamalara yer verilmiştir.

## 2. Sıklet Sporları

Sıklet sporları, sporcuların belirli ağırlık sınıflarına göre kategorize edildiği yarışmalardır. Bu sporlar, sporcuların boyut, ağırlık ve güç gibi fiziksel özelliklerini dikkate alarak müsabakaları daha adil bir rekabetle gerçekleştirmeyi amaçlar. Sıklet sporları arasında, güreş, judo, boks, halter ve taekwondo gibi çeşitli mücadele sporları bulunur (Khodace, 2015). Sıklet sporlarının her birinde birçok farklı ağırlık kategorisi bulunmaktadır. Bu kategoriler yaşa ve cinsiyete bağlı olarak spordan spora farklılık gösterir (Bešlija vd., 2021). Örneğin; judoda olimpik kadın sporcular 48 kg - 52 kg - 57 kg - 63 kg - 70 kg - 78kg ve +78 kg da mücadele ederken, olimpik erkek sporcular 60 kg - 66 kg- 73 kg - 81 kg - 90 kg - 100 kg ve +100 kg'da mücadele etmektedir (International Judo Federation, 2023).

Sporcular çoğunlukla yarışmalardan bir gün ya da birkaç saat önce, tartı ismi verilen vücut ağırlığı ölçümüne tabi tutulur. Bu işlem, sporcuların belirlenen sıklet sınırları içinde olduğundan emin olmak için gerçekleştirilir ve sıklet sporlarında adil bir rekabet ortamı sağlamak için kritik bir unsurdur (Burke, 2015).

Sıklet sporcuları, spor dallarının gerektirdiği özgün antropometrik ve fizyolojik özelliklere uyum sağlamak için, kuvvet, sürat, dayanıklılık ve teknik beceriler gibi kritik fiziksel yeteneklerin geliştirilmesine yönelik yoğun ve disiplinli antrenman programları uygularlar (Rydzik ve Ambrozy, 2021). Bu süreçte fiziksel hazırlık, sporcuların rekabetçi başarıları için temel bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Ancak bu sporlarda başarı sadece fiziksel yeteneklere değil, aynı zamanda etkili ağırlık yönetimi stratejilerine de bağlıdır (Burke, 2015). Sıklet sporlarında yarışan sporcular, ideal ağırlık sınıflarında yarışabilmek için genellikle sıkı bir beslenme ve vücut ağırlığı yönetimi programı uygularlar. Bununla birlikte, hızlı vücut ağırlığı kaybı ve hızlı vücut ağırlığı alma süreçleri, özellikle bazı sıklet sporlarında yaygın

bir pratik olup, bu yöntemler sporcuların sağlığı ve performansı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir (Martínez-Aranda vd., 2023).

### 3. Sıklet Sporcularında Hızlı Vücut Ağırlığı Kaybı

Sıklet sporlarında sporcular genellikle daha hafif ve daha az güçlü rakiplerle mücadele ederek rekabet avantajı elde etmek düşüncesindedirler. Bu amaçla, sporcuların çoğu, müsabakadan önce vücut ağırlıklarını hızlı bir şekilde düşürmeye yönelik çeşitli yöntemler kullanır. Bu yöntemler, spor disiplinine, ağırlık kategorisine, sporcunun yaşına, cinsiyetine ve fazla vücut ağırlığı miktarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Khodae vd., 2015).

Hızlı vücut ağırlığı kaybı süreçleri, genellikle müsabakadan bir hafta önce başlar ve sporcuların vücut ağırlıklarının %5 ila %10'u arasında bir kayıpla sonuçlanır (Franchini, Brito ve Artioli, 2012). Öğün atlama, egzersizi artırma, sıvı alımını kısıtlama, ter buharlaşmasını önleyen kıyafetlerle egzersiz yapma ve sauna kullanımı gibi yaygın vücut ağırlığı kaybetme teknikleri, rekabet öncesi vücut kütlelerini azaltmak için uygulanan yöntemlerden bazılarıdır (Berkovich vd., 2016). Bazı sporcular ise yarışma dönemlerinde kullanımı yasak olmasına rağmen, diüretik ilaçları kullanılmaktadır (Franchini, Brito ve Artioli, 2012).

Bununla birlikte, uygunsuz vücut ağırlığı kaybı yöntemlerinin sürekli kullanılması, kas gücünde azalma, aerobik aktivitelerde performans düşüklüğü, zihinsel ve bilişsel işlevlerde bozulma, ruh hali değişiklikleri, depresyon, bağışıklık sistemindeki tepkilerin bozulması gibi olumsuz sonuçlara yol açabilir. Ayrıca, bu uygulamalar kardiyovasküler, endokrin, gastrointestinal, renal ve termoregülasyon sistemlerinde de ciddi sorunlara neden olabilir (Carl vd., 2017).

Literatür, dövüş sporlarında hızlı vücut ağırlığı kaybı prevalansının % 53 ile % 100 arasında değiştiğini göstermektedir (Brito vd., 2012). Bunun yanı sıra, Artioli vd., (2010) hem erkek hem de kadın judo sporcularının yaklaşık % 90'ının (n = 822) resmi tartı seanslarından önce hızlı vücut ağırlığı kaybı tekniklerini kullandıkları belirtmişlerdir. Aynı çalışmada, en yaygın ağırlık kaybı derecesinin, vücut ağırlığının % 5'i olduğu ve yarışmadan beş gün önce gerçekleştirildiği rapor edilmiştir.

Güreş, judo ve boks sporlarında sporcular ortalama 12 yaşında vücut ağırlıklarını azaltmaya başlamaktadır. Bu sporcular, genellikle 5 gün gibi kısa süreler içinde vücut ağırlıklarını azaltma çabasına girerler ve yıl içinde ortalama 7 defa vücut ağırlığı kaybı deneyimi yaşarlar. Ayrıca, sporcuların kaybettikleri en fazla vücut ağırlığı miktarı genellikle 4 kg'ı geçmemekte ve bu, vücut ağırlıklarının yaklaşık %5'ine karşılık gelmektedir (Baranauskas,

Kupçiuñaitė, Stukas, 2022). Bununla birlikte sporcular müsabaka öncesi hızlı vücut ağırlığı kaybı döneminden sonraki tartı sürecini takiben hızlı vücut ağırlığı alma dönemine girerler. Bu süreç, spor dalına ve tartı ile müsabaka arasındaki süreye bağlı olarak farklılık gösterir. Hızlı vücut ağırlığı alımı müsabaka tartısından yaklaşık 1 ile 18 saat sonrasında gerçekleşebilir (Matthews vd., 2019). Dikkat çekici bir şekilde, kaybedilen vücut ağırlığının %104'ü, genellikle bir hafta içinde yeniden kazanılmaktadır (Baranauskas, Kupçiuñaitė, Stukas, 2022).

Sporcular vücut ağırlıklarını müsabaka sıkletlerinin sınırı içinde tutamadıklarından, genellikle tartıdan hemen sonra vücut ağırlığı alırlar (Franchini, Brito ve Artioli, 2012). Bu da yaklaşan müsabakalar için tekrar azaltılması gerektiği anlamına gelir (Artioli vd., 2016).

#### **4. Hızlı Vücut Ağırlığı Kaybının Fizyolojik Etkileri**

Hızlı vücut ağırlığı kaybı sporcularda hem aerobik hem de anaerobik performansı etkilemektedir (Franchini, Brito ve Artioli, 2012). Aerobik performansın azalmasının nedenleri arasında dehidrasyon, plazma hacminde düşüş, kalp atış hızında artış, hidroelektrolitik dengenin bozulması, termoregülasyonun etkinliğinin azalması ve kaslardaki glikojen seviyelerinin tükenmesinin etkili olabileceği bildirilmiştir. Anaerobik performanstaki azalmanın ise özellikle laktat tamponlama kapasitesindeki azalma, glikojen depolarının tükenmesi ve hidroelektrolitik dengenin bozulması ile ilişkilendirilmiştir (Fogelholm, 1994).

Sporcuların hızlı vücut ağırlığı kaybı dönemlerinde uyguladıkları düşük kalorili diyetler ya da uzun süreli açlık kaynaklı glikojen depolarının tükenmesi, performanslarını olumsuz etkilemektedir. Özellikle, azalmış kas glikojen düzeylerinin, kas dokusunda uyarma-kasılma süreçlerini bozarak, kas yorgunluğuna yol açtığı rapor edilmiştir (Ortenblad, Westerblad ve Nielsen, 2013). Bu durum, yüksek yoğunluklu sıklet sporlarında, anaerobik glikoliz sürecinde etkili olan enzimleri olumsuz yönde etkileyerek performans kayıplarına sebep olmaktadır (Westman vd., 2007; Burke, 2015). Örneğin; Judo müsabakalarının yoğunluğu, maksimum oksijen tüketiminin yaklaşık %92'sine denk gelir ve birden fazla maç içeren bu sporun aralıklı yapısı, düşük karbonhidrat alımı, dehidrasyon ve yoğun antrenman dönemlerinde kas glikojen depolarının etkin kullanımını zorunlu kılar. (Degoutte, Jouanel ve Filaire, 2003; Franchini vd., 2003). Ayrıca hızlı vücut ağırlığı kaybı döneminde düşük karbonhidrat alımı, kas içindeki hidrojen iyonu akışını bozabilir ve bu da yoğun kas kasılmaları sırasında yorgunluğun daha hızlı hissedilmesine sebep olabilir (Filaire vd., 2001).

Hızlı vücut ağırlığı kaybının en büyük zararlı etkilerinden biri olan dehidrasyon, kan plazmasında ve bunun neticesinde toplam kan hacminde azalmaya neden olur. Bu durum, kardiyovasküler sistemi ve vücudun ısı düzenleme yeteneğini olumsuz yönde etkiler (Jetton vd., 2013). Plazma hacmindeki azalma, hızlı vücut ağırlığı kaybı sonrası gözlemlenen hemoglobin miktarındaki düşüşle birleşerek aerobik kapasiteyi dolumsuz etkileyebilir (Reljic vd., 2016; Reljic vd., 2013). Diğer bir ifadeyle, plazma hacminin azalması kardiyak outputun azalmasına ve kan viskozitesinin artmasına neden olur, bu da çalışan kaslara normal kan akışını engeller (Franchini vd., 2016). Bunların yanı sıra dehidrasyon, hücrel sıvı homeostatik kontrolünü, metabolik süreçlerini etkileyebilecek ve sonuç olarak nöromusküler etkinliğe zarar verebilecek elektrolit konsantrasyonunu da önemli ölçüde değiştirebilir. Bazı çalışmalar, dehidrasyonun egzersiz esnasında efor algısını yükselttiğini, ruh halini olumsuz etkileyerek bilişsel yorgunluğa neden olduğunu belirtmektedir (Lakicevic vd., 2020).

Hızlı vücut ağırlığı kaybı ile ilişkili diğer potansiyel riskler arasında endokrin bozuklukları, insülin duyarlılığı değişiklikleri, kemik bozulması ve bozulmuş bağışıklık fonksiyonu yer almaktadır (Barley, Chapman ve Abbiss, 2019; Westman vd., 2007). Özellikle, tekrarlayan hızlı vücut ağırlığı kayıplarının neden olduğu hormonal bozuklukların, ergenlik döneminde normal büyümeyi ve gelişmeyi olumsuz etkilediği gösterilmiştir. Daha da önemlisi, hızlı vücut ağırlığı kaybına erken yaşlarda katılan sporcuların uzun vadede vücut ağırlığı kaybına bağlı sorunlar için daha yüksek risk altında olduklarını gösteren önemli veriler bulunmaktadır (Lakicevic vd., 2020). Bunlara ilave olarak, bazı çalışmalarda vücut kütleindeki % 5'lik azalmanın metabolizmayı ve kas kasılma düzenlerini etkilediği ve böylece yaralanma riskini artırdığı belirtilmiştir (Agel vd., 2006).

## 5. Hızlı Vücut Ağırlığı Kaybının Psikolojik Etkileri

Çeşitli çalışmalar, hızlı vücut ağırlığı kaybetme stratejilerini benimseyen sporcuların psikolojik ve fizyolojik yan etkilere maruz kaldıklarını göstermiştir. Bu etkiler arasında kısa süreli hafızanın bozulması, canlılığın azalması, konsantre olma güçlüğü ve özgüven kaybının yanı sıra kafa karışıklığının, öfkenin, yorgunluğun, depresyonun ve sosyal izolasyonun artması yer alır (Degoutte vd., 2005; Filaire vd., 2001). Örneğin kısa süreli hafızanın zayıflaması, sporcuların müsabaka öncesi antrenörlerinin talimatlarını hatırlama ve uygulama kapasitelerini azaltabilir. Konsantrasyon ve odaklanma eksikliği, özellikle yüksek seviyeli yarışmalar sırasında dikkat dağıtıcı unsurları yönetme yeteneğini azaltabilir ve bu da performansın düşmesine neden olabilir. Düşük benlik saygısı, sporcuların üst düzey

rakiplerle yarışırken kendilerini değerlendirme becerilerini zayıflatabilir, karar vermeyi zorlaştırabilir ve öfke yönetimi zorluklarına neden olabilir. Aşırı öfke, sporcuların yasa dışı davranışlarda bulunma olasılığını artırabilir; bu da dövüş sporlarında saldırganlığın bir ölçüde önemli olmasına rağmen zararlıdır. Depresyon ve izolasyon, yoğun antrenman programlarıyla baş etme yeteneğini azaltabilir (Franchini, Brito, Artioli, 2012).

Sıklet sporcularının büyük bir kısmı, vücut kitlesi ve beslenme konusunda kaygı duymaktadır. Bu kaygı, sık sık diyet yapma veya kalori alımını koruma özelliğinden kaynaklanmaktadır. Yeme bozukluklarının klasik belirtilerinden biri olan ve yemek sırasında kontrol kaybı hissi, sporcular arasında %10-20 oranında görülmekte, yarışma sonrasında ise oran %30-40'a yükselmektedir (Steen ve Brownell, 1990). Sürekli vücut ağırlığı kontrolü sağlamaya çalışmak, özellikle kadın sporcular arasında anoreksi, bulimia ve aşırı yeme gibi yeme bozukluğuna ilişkin hastalık riskini artmaktadır (Flaire vd., 2007).

## 6. Serbest radikaller

Vücudumuzdaki hücreler, metabolik süreçlerin bir parçası olarak sürekli olarak reaktif oksijen türleri ve reaktif nitrojen türleri başta olmak üzere serbest radikal üretir. Reaktif oksijen türleri terimi hem serbest radikallere hem de bunların radikal olmayan ara ürünlerinde kullanılır (Burton ve Jauniaux, 2011). Serbest radikaller, dış elektronik kabuğunda bir veya daha fazla eşleşmemiş elektrona sahip moleküller veya moleküllerin bir parçasıdır. Bu moleküllerin temel özellikleri çok kısa ömürlü ve son derece yüksek reaktif olmalarıdır. Serbest radikallerin zararlı etkileri elektronik stabilitenin sağlanması zorunluluğundan kaynaklanır. Bu nedenle başka bir stabil moleküle reaksiyona girerek elektronunu alıp bir zincir oluştururlar. Bu şekilde bu moleküller de kararsız hale gelir ve çevresindeki diğer moleküllere müdahale ederek hücresel bileşenlerin bozulmasına yol açmaktadır (Hadžović-Džuvo vd., 2014).

Oksijenli solunum sürecinde, yani hücrelerin oksijeni kullanarak enerji üretiminde, serbest radikallerin oluşumu kaçınılmazdır. Bu süreç, yaşamın bir parçası olarak kabul edilen oksijen metabolizması sonucunda her hücrede meydana gelir. Ayrıca, serbest radikaller dışarıdan alınan metaller, oksidasyon-reduksiyon reaksiyonlarındaki bileşikler, radyasyon, kemoterapi ilaçları, kansere neden olan maddeler (örneğin, östrojen benzeri moleküller) ve çeşitli diyet veya çevresel faktörler aracılığıyla da oluşabilir. Bu oluşum mekanizmaları olmak üzere iki ana kategoride incelenebilir.

- *Dış Kaynaklar:* Hava kirliliği, zararlı doğal gazlar (örneğin, ozon ve oksijen), hem iyonize hem de iyonize olmayan radyasyon türleri,



çeşitli ilaçlar, alkol, hastalık yapıcı bakteri ve virüsler serbest radikal üretimine katkıda bulunabilir.

- *İç Kaynaklar:* Hücre içi mitokondri, endoplazmik retikulum ve çekirdek dahil olmak üzere elektron taşıma sistemlerinde, peroksizomlarda ve monosit ile nötrofiller tarafından gerçekleştirilen fagositoz işlemi gibi normal metabolik aktiviteler sırasında yüksek miktarda serbest radikal üretimi gerçekleşir.

## 7. Oksidatif Stres

Oksijen, biyolojik sistemler için hem olumlu faydaları hem de potansiyel olarak zararlı yan etkileri olduğu bilinir. Reaktivite, oksijenin yüksek enerjili elektron transferlerine katılmasına izin verir ve dolayısıyla oksidatif fosforilasyon yoluyla büyük miktarlarda adenosin-5-trifosfat (ATP) oluşumunu destekler. Bu, karmaşık çok hücreli organizmaların evrimine izin vermek için gereklidir, ancak aynı zamanda onu protein, lipid veya DNA gibi herhangi bir biyolojik moleküle saldırmaya yatkın hale getirir. Sonuç olarak vücudumuz reaktif oksijen türlerinin sürekli oksidatif saldırısı altındadır (Halliwell ve Gutteridge, 2015). Bu saldırıyı genellikle dengede tutan karmaşık bir antioksidan savunma sistemi gelişmiştir. Ancak bazı durumlarda bu denge bozulabilir ve oksidatif strese yol açabilir. Oksijenin bir hücreye zarar verme potansiyelinin çeşitliliği ve genişliği göz önüne alındığında, oksidatif stres, pro-oksidanlar ile antioksidanlar arasındaki dengenin, potansiyel zarar verebilecek şekilde, pro-oksidanların lehine bozulduğu durum olarak tanımlanabilir (Burton ve Jauniaux, 2011).

Oksidatif stresin incelenmesinde, pro-oksidan ve antioksidan arasındaki denge kritik bir rol oynar. Bu denge, oksidatif stresin anlaşılmasında iki temel sebepten ötürü önemlidir. Birincisi, bu dengesizliğin, aşırı reaktif oksijen türleri üretimi ya da antioksidan savunma sistemlerindeki yetersizlikler gibi, dengeyi etkileyebilecek çeşitli faktörlerden kaynaklanabileceği gerçeğini ön plana çıkarır. İkincisi, reaktif oksijen türlerinin sadece zararlı yan ürünler olmadığını, aynı zamanda hücre içi iletişimde önemli roller üstlenen ikincil haberciler olduğunu belirtir. Bunlar, hücrelerin çevresel değişikliklere nasıl tepki verdiğini düzenler.

Denge kavramı ayrıca, oksidatif stresin bir spektrumunda değerlendirilmesi gerektiğini vurgular. Küçük dengesizlikler, hücrelerin çevresel değişikliklere adaptasyonunu sağlayan homeostatik ayarlamalara yol açabilir. Ancak, daha büyük dengesizlikler, onarılamaz hasara ve sonunda hücre ölümüne sebep olabilir (Burton ve Jauniaux, 2011). Çeşitli çalışmalar oksidatif stresin birçok hastalığın patogenetik temelini temsil ettiğini göstermiştir (Greabu vd., 2007).

Antioksidanlar, vücutta reaktif oksijen türevlerinin (ROT) oluşturduğu zararı önlemek için çalışan savunma sistemidir. Genellikle düşük konsantrasyonlarda bulunurlar, ancak çok etkilidirler. Çünkü ROT'un hücrelere zarar vermesini geciktirebilir veya tamamen engelleyebilirler. Antioksidanlar, kendi elektronlarından serbest radikallere vererek onları kararlı hale getirir. Bu işlem, serbest radikallerin diğer hücre bileşenleriyle reaksiyona girmesini ve zarar vermesini önler. Böylece, antioksidanlar ROS'un olumsuz etkilerini nötralize ederek hücrelerin sağlığını korumaya yardımcı olurlar (Kohen ve Nyska, 2002). Ancak hücresel metabolizma süreçleri, çevresel toksinler, yetersiz veya dengesiz beslenme, aşırı egzersiz veya zihinsel stres gibi nedenler antioksidan savunma sistemlerinin bu radikalleri etkisiz hale getirme kapasitesini aşabilir ve bunun sonucunda oksidatif stres oluşur (Kunwar ve Priyadarsini, 2011).

## **8. Oksidatif Stres ve Egzersiz**

Araştırmalar, sporcuların istirahat halindeki oksidatif stres seviyelerinin genellikle sedanter bireylere kıyasla daha düşük olduğunu, ancak bazı durumlarda bu seviyelerin arttığını veya sabit kaldığını göstermiştir (Bloomer ve Fisher-Wellman, 2008; Falone vd., 2010). Bu çeşitlilik, aralarında egzersiz yoğunluğu gibi deneysel tasarımların farklılıkları ve oksidatif stres ölçümlerinde kullanılan metodolojik yaklaşımların çeşitliliği olmak üzere, pek çok faktöre bağlanabilir.

Egzersiz ile oksidatif stres arasındaki ilişki, egzersizin şekline, yoğunluğuna ve süresine bağlı olarak değişmektedir. Mitokondriyal solunum zinciri, egzersiz sırasında oluşan ROS'un ana kaynağıdır ve aşırı üretimi lipitlerde, proteinlerde, nükleik asitlerde ve diğer maddelerde oksidatif hasara neden olabilir. Düzenli ve orta düzeyde antrenmanın oksidatif stres ve sağlık açısından faydalı olsa da akut ve yorucu egzersizler oksidatif stresin artmasına yol açar. Bununla birlikte, hormesis teorisine göre, endojen antioksidan savunmalarda bir yukarı regülasyon sağlanması için egzersiz uyarısı gerekli görülmektedir (Pingitore vd., 2015).

Hücre sinyalleşmesi, immün yanıt ve apoptoz gibi önemli fizyolojik işlevler için düşük ROS seviyelerinin gerekli olduğu bilinmektedir (Vollaard, Shearman ve Cooper, 2005). Birçok çalışma, egzersizin oksidatif stresi tetiklediğini ve antioksidan savunmalarda adaptasyonlara neden olduğunu göstermiştir (Tauler vd., 2006; Palazzetti vd., 2006).

Ancak akut egzersiz seansı oksidatif stresi tetikler ve serbest radikal üretimini artırır. Egzersiz, iskelet kasındaki artan oksijen ihtiyacı nedeniyle kan akışında önemli değişikliklere ve kas hasarı durumunda fagositlerin hasar alanına göç etmesine yol açar. Bu durumlar, serbest radikallerin artmasına ve sonuç olarak oksidatif hasara neden olur. Biyokimyasal ve moleküler tekniklerdeki ilerlemeler, serbest radikallerin egzersiz sonrası adaptasyonlarda önemli roller oynadığını göstermiştir. Böylece, egzersizin neden olduğu serbest radikallerin hem olumlu hem de olumsuz etkileri olduğu kabul edilir (Malaguti vd., 2013; Mankowski vd., 2015).

Literatürde malondialdehit (MDA), protein karboniller ve 8-hidroksideoksiguanozin gibi oksidatif stres biyobelirteçlerinin antrenmanlı sporcularda antrenmansız kişilere göre daha düşük seviyelerde olduğu bildirilmektedir. Bu durum sporcuların istirahat ve egzersiz sonrası dönemdeki oksidatif stres tepkilerinin sedanter bireylere göre daha düşük olduğunu göstermektedir (Vassalle vd., 2002; Ortenblad, Madsen ve Djurhuus, 1997). Aynı şekilde sporcularda süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinin de daha yüksek olması, sporcuların oksidatif stresle daha etkili bir şekilde baş edebildiklerini göstermektedir. Öte yandan katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GPx) gibi antioksidan enzimlerin düzeyleri sporcularda sedanter bireylere göre daha yüksektir ancak bu değişiklikler spesifik spor dallarına bağlı olup sporcuların fiziksel kondisyon ve antrenman düzeyleriyle ilişkilidir (Dékány vd., 2006).

Sonuç olarak egzersizin şekline, yoğunluğuna ve süresine ve genetik ve yaşam tarzı faktörlerine bağlı olarak egzersizin oksidatif stres üzerinde olumlu veya olumsuz etkileri olabilir (Pingitore vd., 2015). Veriler, düzenli uzun süreli egzersizlerin oksidatif strese karşı antioksidan tepkiyi tetikleyebileceğini göstermektedir. Oksidatif stres ile egzersiz arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmanın sonuçları, fiziksel egzersizin oksidatif stres üzerindeki yararlı etkisinin artan antioksidan savunmalarla ilişkili olabileceği olasılığını desteklemektedir (Hadžović-Džuvo vd., 2014).

## 9. Antioksidan Savunma Sistemi

Antioksidanlar, hücresel organları serbest radikallerin neden olduğu oksidatif hasardan korumaya yardımcı olan bileşiklerdir (Nikolaidis vd.,

2012). Endojen (vücutta üretilen) veya eksojen/diyetle (dış kaynaklardan alınan) olarak sınıflandırılabilir birçok farklı antioksidan vardır. Antioksidanlar ayrıca enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlar olarak da sınıflandırılabilir (Powers ve vd., 2014). Antioksidanlar serbest radikalleri radikal olmayan bileşiklere dönüştürerek reaktivitelerini azaltır veya aktif olmayan radikallerin daha zararlı türlere dönüşmesini önleyerek oksidatif strese karşı koruma sağlar (Powers ve vd., 2014).

Vücut, oksidan zarara karşı hem enzimatik hem de enzimatik olmayan yollarla savunma sağlar (Powers vd., 2014; Neubauer ve Yfanti, 2015). Enzimatik savunma sistemi, detoksifikasyon işlemi sırasında elektron taşıyarak çeşitli değerlere sahip olabilen geçiş metalleri etrafında organize olur. Bu sistemin temel aktörlerinden biri, süperoksit dismutaz (SOD) enzimidir. SOD, oksijen moleküllerini hidrojen peroksit dönüştürerek zararlı süperoksit radikallerini nötralize eder. Bu işlemde, SOD'un mitokondride bulunan manganez bağlı formu ve sitozolde yer alan bakır ve çinko bağlı formu gibi iki farklı izoformu vardır (Bafana vd., 2011).

Hidrojen peroksit, katalaz veya glutatyon peroksidaz gibi enzimlerin etkisiyle suya dönüştürülür. Glutatyon peroksidaz, indirgenmiş glutatyon (GSH) varlığında aktif hale gelir. GSH, hücrelerdeki ana redoks tamponudur ve çeşitli detoksifikasyon reaksiyonlarına katılır, bu reaksiyonlar sonucu oluşan glutatyon disülfidi, glutatyon redüktaz aracılığıyla NADPH kullanılarak yeniden GSH'ye dönüştürülür. Glutatyonun yeniden üretimi, pentoz fosfat yoluyla sağlanır ve bu yolun ilk adımını glikoz-6-fosfat dehidrojenaz gerçekleştirir (Nicol vd., 2002).

Enzimatik olmayan savunma mekanizmaları arasında, C vitamini (askorbat) ve E vitamini ( $\alpha$ -tokoferol) gibi antioksidanlar yer alır. Bu antioksidanlar, serbest radikallerle mücadele ederek ve birbirlerinin etkinliğini destekleyerek hücreleri korurlar; örneğin, askorbat,  $\alpha$ -tokoferolün yeniden indirgenmiş formunun üretilmesinde kilit bir rol oynar. Ayrıca, tiyol bileşikleri olan tioredoksinler de hidrojen peroksidi detoksifiye edebilir, ancak bunun için tioredoksin redüktaz tarafından yeniden indirgenmeleri gerekir. Seruloplazmin ve transferrin gibi proteinler de serbest demir iyonlarını bağlayarak Fenton reaksiyonunu ve dolayısıyla hidroksil radikallerinin oluşumunu engelleyerek önemli bir savunma sağlar (Burton ve Jauniaux, 2011).

Çoğu meyve ve sebze çeşitli eksojen antioksidanlar içerir. Bununla birlikte insanlar, kabuklu yemişler ve tohumlar gibi diğer gıda kaynaklarından da eksojen antioksidanlar elde edebilirler Serbest radikallerden korunmada rol oynayan önemli eksojen antioksidanlar arasında E vitamini, C vitamini, A

vitamini, polifenoller ve bazı mineraller (Çinko, Manganez, Bakır, Selenyum) bulunur. Ekzojen antioksidanlar, meyve ve sebzeler gibi gıdalar veya diyet takviyeleri yoluyla diyetle elde edilir (Powers vd., 2014).

Antioksidanların oksidatif kapasitesi serbest radikallerin türüne göre değişir. E vitamini ve C gibi ekzojen antioksidanlar, hedeflenmeyen serbest radikal temizleyici antioksidanlardır, oysa endojen antioksidanlarımız daha karmaşıktır ve daha kontrollü, lokalize bir etkiye izin verir. Endojen antioksidanlar serbest radikallere karşı ilk savunma hattımızdır; E ve C vitamini gibi ekzojen antioksidanlar ise daha fazla koruma sağlayan ikinci savunma hattı olarak görev yaparlar (Merry ve Ristow, 2016).

## 10. Egzersiz ve Antioksidan Aktivite

Fiziksel egzersizin oksidatif stresi tetikleyebileceği hipotezini destekleyen en önemli kanıtlardan biri egzersiz sırasında antioksidanların doku seviyelerinin düşmesi kabul edilir. Egzersiz sonrası doku oksidatif stres indekslerinde yukarıda belirtilen artışlar göz önüne alındığında, fiziksel egzersize yanıt olarak doku antioksidan seviyelerinin bu şekilde azalmasının, oksidatif strese maruz kalan dokularda artan antioksidan tüketiminin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Laboratuvar çalışmaları, maksimum altı yoğunluklarda bile fiziksel egzersizin kan glutatyon oksidasyonunu hızlı bir şekilde tetiklediğini göstermiştir. Bu reaksiyon, kısa süreli egzersizden sonra bile görülebilir. Glutatyonun antioksidan savunma sistemlerindeki ve diğer birçok fizyolojik işlevdeki önemi düşünüldüğünde, egzersizin kan glutatyonu üzerindeki bu etkisinin hem redoks dengesini etkileyen hem de oksidatif hasara karşı koruma sağlayan sinyal iletim süreçlerinde önemli sonuçları olabilir (Sen, 2001). Bununla birlikte araştırmalar, düzenli yapılan aerobik veya anaerobik egzersizlerin, örneğin dirençli egzersizlerin, antioksidan enzim aktivitesini önemli ölçüde artırarak oksidatif stresi azalttığını ve lipid peroksidasyon seviyelerini düşürdüğünü ortaya koymuştur (Fatouros vd., 2004; Vincent vd., 2002).

Endojen antioksidan üretimi egzersiz sonrasında artar ve hücrelerin oksidatif hasardan korunmasında rol oynar. İyi antrenmanlı sporcuların, antrenman adaptasyonları sonucunda daha az antrenman yapan sporculara göre kaslarında daha yüksek düzeyde endojen antioksidanlar bulunur (Powers vd., 2014). Sonuç olarak, rekreasyonel sporcular gibi düzensiz veya daha düşük yoğunlukta antrenman yapanlar muhtemelen oksidatif strese karşı daha az korumaya sahip olacaklardır.

Son dönemlerde, ekzojen antioksidan takviyelerinin oral yolla alınması, vücuttaki doğal antioksidan mekanizmaları desteklemek, oksidatif stresi

azaltmak ve özellikle akut egzersiz sırasında ortaya çıkan kas hasarını hafifletmek amacıyla potansiyel bir strateji olarak ön plana çıkmaktadır (Nikolaidis vd., 2012). Bu nedenle, oksidatif stresin ve kas hasarının negatif etkilerini azaltabilecek antioksidan takviyeleri, sporcular arasında giderek daha fazla ilgi çekmektedir. Bu ilgi, performansı artırmak ve iyileşme süreçlerini optimize etmek amacıyla antioksidanların potansiyel faydalarını anlamaya yönelik artan bir araştırma ve uygulama ihtiyacını da beraberinde getirmektedir.

## 11. Oksidatif stres belirteçleri

Oksidatif stres serbest radikaller, antioksidanlar, serbest radikal oluşumunun etkisiyle oluşan lipid, protein ve DNA moleküllerinin hasarının ölçümüyle değerlendirilebilir.

Tablo 2.10.1. Oksidatif Stres Belirleme Yöntemleri (Önal, 2016).	
<i>Lipit peroksidasyonu</i>	Serbest radikallerin neden olduğu hasara karşı en savunmasız yapılar lipitlerdir. Bu nedenle oksidatif stresi değerlendirmenin temel tekniklerinden biri hücre zarındaki lipid peroksidasyon derecesinin ölçülmesidir. Lipitlerin melondialdehit (MDA), lipit hidroperoksidazdaki konjuge çift bağlar, eksale edilen pentan, heksan ve etan gibi çeşitli temel oksidatif ürünlere parçalanması, lipit peroksidasyonu olarak bilinir. Oksidatif stresi ölçmenin en popüler yollarından biri, aynı zamanda konjuge dien olarak da bilinen konjuge çift bağların ve lipid peroksidasyonunun temel yan ürünleri olan MDA'nın ölçülmesidir. Lipid peroksidasyon göstergeleri ayrıca tiyobarbitürik asit ve tiyobarbitürik reaktif bileşikler (TBARS) içerir.
<i>Protein Değişiklikleri</i>	Karbonil grupları, proteinlerin serbest radikallerin neden olduğu değişikliklere uğradığında üretilir. Farklı bir ifadeyle, yüksek karbonillerin varlığı oksidatif stresin göstergesidir; bu nedenle karbonillerin ölçülmesi, proteinler üzerindeki oksidatif hasarın düzeyini değerlendirmek için en çok kullanılan tekniktir.
<i>DNA Moleküllerindeki Değişiklikler</i>	ROS, DNA moleküllerine zincir kırılması, protein bağlantılarının bozulması ve yapısal değişiklikler dahil olmak üzere çeşitli şekillerde zarar verir (16). Nükleotid 8-hidroksi-2-deoksiguanozin (8-OHdG) belirteci, DNA hasarını değerlendirmenin çeşitli yolları arasında en yaygın kullanılan tekniklerden biridir.
<i>Antioksidanların Ölçümü</i>	Enzimatik antioksidan aktivite (SOD, CAT, GSH-Px) -Antioksidan vitaminlerin miktarının belirlenmesi (A,C,E) -Oksidatif stresin ölçümü için kullanılacak diğer antioksidanlar: tiol proteinler (GSH, GSSH), ürik asit, allantoin - Total antioksidan kapasitenin ölçümü (TAS).

Yukarıdaki tablo oksidatif stresi belirlemek için kullanılacak birçok belirtecin olduğunu göstermektedir. Oksidatif stres, malondialdehit (MDA), hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ), süperoksit dizmutaz (SOD), katalaz (CAT), Glutasyon Peroksidaz (GPx) gibi birçok oksidan ve antioksidan parametrenin incelenmesiyle belirlenebilir (Demirci-Cekic vd., 2022). Ancak bu belirteçlerin her birinin ayrı ayrı değerlendirilmesi maliyetli ve zahmetli olduğundan son yıllarda yapılan çalışmalarda oksidatif stresi bir bütün olarak ve daha kapsamlı değerlendirebilecek toplam oksidan ve toplam antioksidan kapasite ölçümleri tercih edilmektedir (Kaya, 2021).

## 12. Total Oksidan Seviye (TOS)

Oksidatif hasarın sonuç ürünlerinin ölçümü, oksidatif stres hakkında bilgi sağlanmasında önemli rol oynamaktadır (Tarpey, Wink ve Grisham, 2004). Aynı zamanda, farklı oksidan moleküllerin tek tek ölçümünün klinik açıdan pratik olmayışı ve oksidan moleküllerin birbirleriyle etkileşimlerini tam olarak yansıtamıyor olması nedeniyle, Total Oksidatif Seviyenin (TOS) ölçülmesinin diğer yöntemlere göre daha üstün bir yöntem olduğu düşünülmektedir. TOS ölçümü, oksidatif stresin tespit edilmesinde kullanılan güncel bir yöntemdir (Erel, 2005).

## 13. Total Antioksidan Seviye (TAS)

Antioksidanlar serum ve tükürük konsantrasyonları ayrı ayrı ölçülebilmektedir. Total Antioksidan Seviye (TAS); incelenen biyolojik örneklerdeki antioksidanların tümünün seviyelerinin toplamı sonucunda elde edilen biyokimyasal bir parametredir (Kusano ve Ferrari, 2008).

İnsan vücudundaki antioksidan savunma mekanizması oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Antioksidan türlerin serum ve tükürükte bulunma oranları ayrı ayrı ölçülebilmesine rağmen antioksidan türlerin aktiviteleri birbiriyle bağlantılıdır. Bu durum antioksidan türlerin bireysel ölçümlerinde hatalı bulgulara yol açabilmektedir. Ayrıca antioksidanların ayrı ayrı incelendiği ölçümler pahalı, zaman alıcı ve yoğun çalışma gerektiren karmaşık uygulamalardır (Chapple vd., 2007).

Toplam antioksidan durumu (TAS), antioksidanların oksidatif stres mevcut olduğunda serbest radikalleri ne kadar iyi nötralize edebildiğini gösteren biyolojik bir ölçümdür. İncelenen örneklerin toplam antioksidan seviyesi (TAS) tüm antioksidan türlerini içermektedir. Antioksidanların birbirine bağımlı doğası nedeniyle, tüm antioksidanları ayrı ayrı değil aynı anda ölçen TAS ölçümü, önceki yaklaşımlara göre daha anlamlı, güvenilir ve pratik bir yaklaşımdır. Henüz tanımlanmamış veya miktarı belirlenmemiş

antioksidan türlerin aktivitesine ilişkin bilgiler de TAS testiyle sağlanmaktadır (Kusano ve Ferrari, 2008; Erel, 2005).

#### 14. Kas Hasarı

İskelet kası, kuvvet üretme ve esneklik yeteneği sayesinde, günlük yaşamda gerekli olan tüm fiziksel aktivitelerin gerçekleştirilmesini sağlayan bir doku türüdür. Ancak, travma veya alışılmadık egzersizler sonucunda oluşan kas hasarı, kasların önemli günlük görevleri yerine getirmede zorluklara sebep olmaktadır. Kas hasarı, rekabetçi sporların yanı sıra rekreasyonel egzersizlerin bir sonucu olarak da ortaya çıkabilir ve genellikle kontüzyon, zorlanma veya aşırı yüklenmeden kaynaklanan yaralanmaların bir sonucudur (Hyldahl ve Hubal, 2014; Paulsen vd., 2012). Egzersiz kaynaklı kas hasarı, 1902'de Hough tarafından yapılan ilk çalışmadan bu yana bilim dünyasının ilgisini çeken bir konudur. Özellikle son yıllarda, bu alandaki araştırmalar hız kazanmış ve egzersiz kaynaklı kas hasarının incelenmesi, spor bilimleri ve fizyoloji alanında önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir (Clarkson, 2002).

Yoğun egzersizler kaslarda yerel mikro travmalar oluşturur ve bu, hipertrofik bir cevaba yol açar. Mikro travmalar, sarkomerde, bazal lamina veya destekleyici bağ dokuda yırtılmalar şeklinde oluşabilir. Alışılmadık kasılmalar sonrası, en güçsüz sarkomerlerin bulunduğu kısımlardan myofibrillerin yırtılmasına yol açar ve bu da T-tübüllerinin deformasyonuna, hücre içi kalsiyum dengesinin bozulmasına ve sonuç olarak hücre zarlarının yırtılmasına veya gerilimle aktive olan kanalların açılmasına sebep olur. Bu durum, farklı büyüme faktörlerinin salınımını artırarak uydu hücrelerin çoğalmasını ve farklılaşmasını düzenler. Egzersiz sonrası hissedilen ağrı ve yorgunluk, bu süreçlerin sonucunda meydana gelen sendrom olarak tanımlanmıştır ve şiddetli ve alışılmadık yüklenmeler sonucu, kas lifi içerisindeki zayıf myofibrillerde oluşan mikro yırtıklarla ilişkilidir. Gecikmiş kas ağrılarının (GKA) ortaya çıkışı, egzersizin tipine, süresine ve şiddetine göre değişiklik gösterir ve farklı türdeki egzersizlerin, kas hasarına etkisi de farklı olabilir (Dokumacı ve Atabek, 2016).

Kas hasarı genellikle ağrı, şişme, hareket kısıtlılığı, kas kuvvetinde ve güç çıkışında azalma gibi semptomlarla kendini gösterir (Deyhle, 2016). Gecikmiş kas ağrıları, yoğun egzersizlerden 8 ila 24 saat sonra ortaya çıkar, 24 ila 48 saat sonra doruğa ulaşır ve bir hafta kadar sürebilir. Ağrının süresi, hasarın ciddiyetine bağlı olarak daha da uzayabilir (Eston, 2003). Egzersizden birkaç dakika sonra akut olarak yaşanan kas ağrıları, egzersizden yoğunluğuna bağlı olarak azalırken, birkaç gün sonra ortaya çıkan GKA,



kasların hasar gördüğünün bir göstergesi olarak değerlendirilir. Özellikle tekrarlanan sıçramalar gibi eksantrik kas etkinliklerinden kaynaklanan bu tür ağrılar, kas hücresi zarında yırtıklara ve kas proteinlerinin yapısında bozulmalara yol açabilir, sonuçta kaslarda ödem ve iltihaplanma meydana gelebilir (Murray vd, 2017).

## 15. Kas Hasarı Göstergeleri

Egzersizle ilişkili kas hasarının tanımlanmasında çeşitli metodolojiler uygulanmaktadır. Kas hasarının, doğrudan hücresel düzeydeki değişikliklerin yanı sıra, kas fonksiyonunun çeşitli belirteçlerinde ortaya çıkan dolaylı değişikliklerden de tespit edilebilir. Görüntüleme teknikleri olan manyetik rezonans ve ultrasonografi gibi yöntemlerin yanı sıra, egzersiz sonrası kan ve kas dokusunda artış gösteren belirli proteinler de kas hasarının belirlenmesinde önemli bilgiler sunmaktadır (Macgregor vd, 2018).

Egzersiz sonrası meydana gelen kas hasarının ve gecikmiş kas ağrılarının belirlenmesinde, kandaki bazı proteinlerin seviyelerinin incelenmesi yaygın bir yöntemdir. Özellikle, laktat dehidrogenaz (LDH), kreatin kinaz (CK) ve myoglobin (MB) gibi proteinler, bu amaçla standart olarak kullanılmaktadır (Rebalka ve Hawke, 2014). Sağlıklı erkeklerde myoglobin seviyesinin 0-154.9  $\mu\text{g/L}$  aralığındadır. MB, iskelet ve kalp kaslarında bulunur ve kas içinde oksijen depolanmasında rol oynar. Kalp krizi gibi durumlar ve yoğun egzersiz sonrası oluşan kas hasarında, MB'nin kan dolaşımındaki seviyesi artabilir. MB, oksijenin kas hücrelerinde depolanmasını ve mitokondriye taşınmasını sağlayarak hemoglobine benzer bir işlev görür. Normal şartlarda erkeklerde MB seviyesi 16-74 ng/ml, kadınlarda ise 7-64 ng/ml arasında değişir. Egzersiz sonrası kaslarda oluşan mikro yaralanmalar, MB seviyesindeki artışa neden olabilir. LDH ise, hemen hemen her hücrede bulunan ve şekerin enerjiye dönüştürülmesinde kullanılan bir enzimdir. Sağlıklı erkeklerde LDH seviyesi 125-243 U/L arasındadır. Hücre hasarı veya yıkımı durumunda LDH, hücrelerden sızarak kan dolaşımına karışır ve bu nedenle hücre hasarının bir göstergesi olarak kabul edilir (Rebalka ve Hawke, 2014;). Yoğun egzersizler sonrasında LDH, dokularda enerji dengesinin korunması için laktat üretir ve kas hücrelerindeki pirüvatın laktata dönüşümünü sağlar, böylece laktatın kas hücresinden kana geçişini kolaylaştırır (Tiidus, 2008). Bu biyomoleküllerin seviyeleri, egzersiz sonrası kas hasarının tespitinde ve egzersizin şiddetinin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir.

Egzersiz yoğunluğuna bağlı oluşan kas hasarının bir diğer göstergesi ise kreatin kinazdır (CK). Sağlıklı erkek bireylerde normal serum CK seviyesi

(18 yaş üstü) 48-227 ünite/litre (U/L) dir. Standart olarak egzersizden sonraki günlerde, egzersize bağlı oluşan kas hasarı ve yıkımı sonucunda kandaki CK yoğunluğunun arttığı birçok çalışma tarafından rapor edilmiştir (Rebalka ve Hawke, 2014). Bu artış egzersizden sonraki 24. ve 48. saatlerde belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır (Fouré ve Bendahan, 2017).

## **16. Hızlı vücut ağırlığı kaybına dayalı Oksidatif Stres ve Kas Hasarı ile İlgili Literatür Bilgileri**

Sıklet sporcuları tarafından sıklıkla uygulanan hızlı vücut ağırlığı kaybının kas hasarı ve oksidatif stres parametreleri üzerindeki etkileri ile ilgili önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bununla ilgili olarak Nishimaki vd., (2018) 7 gün içinde vücut ağırlığının %5'ini kaybederek gerçekleştirilen hızlı vücut ağırlığı kaybının dehidrasyon ve yüksek aldosteron seviyeleriyle ilişkili olarak oksidatif stresi artırabileceğini rapor etmişlerdir. Yanagawa vd. (2010) erkek üniversite güreşçilerini kapsayan araştırmalarında, müsabakadan 12 gün önce gerçekleştirilen vücut ağırlığı kaybının oksidatif stres üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma hızlı vücut ağırlığı kaybının kandaki oksidatif stres belirteçlerinin seviyelerini önemli ölçüde arttırdığı belirtmektedir. Buna karşın Reljic vd., (2015) tarafından elit boksörler üzerinde yapılan bir araştırma, müsabakalardan önce hızlı vücut ağırlığı kaybı uygulayanların, müsabaka öncesi hafta boyunca önemli ölçüde daha az kalori, karbonhidrat, protein, yağ ve su tükettiklerini belirtmesine rağmen oksidatif stresin belirteçleri olan kandaki vitamin ve plazma glutatyon seviyelerinde önemli değişikliklere yol açmadığını rapor etmiştir. Benzer şekilde Finaud vd. (2006) %5 ağırlık azalmasının lipid peroksidasyonunu tetiklemediğini, bunun antioksidan sistemin etkinliğindeki bir artışla ilişkili olduğunu varsaymışlardır. Bununla birlikte Kowatari vd., (2001), özellikle egzersiz aracılığıyla gerçekleştirilen vücut ağırlığı kaybının, antioksidan kapasite üzerinde etkili olabileceğini belirtmişlerdir. Buna karşılık, Gomez-Cabrera, Domenech ve Viña (2008) da düzenli fiziksel aktivitenin antioksidatif kapasitede artışa yol açan bir fizyolojik adaptasyon olduğu bilgisini sunmuştur.

Merry ve Ristow (2016), antioksidanların kas hasarını azaltmada ve yorgunlukla baş etmede, atletik performansı artırmada ve serbest radikallerle mücadelede kritik bir role sahip olduğunu vurgulamaktadır. Ancak, Powers, Sollanek ve Wiggs (2014) tarafından bildirilen sonuçlar, birçok dayanıklılık sporcusunun yüksek antrenman taleplerini destekleyecek yeterli antioksidanları içeren diyetlere sahip olmadığını göstermektedir. Literatürdeki çeşitli çalışmalar, eksantrik kasılmaların reaktif oksijen türlerinin üretiminde bir artışa yol açtığını ve bunun sonucunda kandaki oksidatif stres seviyelerinin yükseldiğini göstermiştir. Bu çalışmalarda,

oksidatif stresin genellikle egzersizden sonraki 2-3 gün içinde zirveye ulaştığı ve daha sonra başlangıç seviyelerine geri döndüğü belirlenmiştir (Close vd., 2004; Nikolaidis vd., 2007; Theodorou vd., 2010; Theodorou vd., 2011).

Nikolaidis vd., (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, kaslara zarar vermeyen düşük şiddetli egzersizlerin ardından protein oksidasyonunun egzersizden 30 dakika sonra %35 oranında arttığı, 4 saat sonra ise %96'ya ulaşarak en yüksek seviyeye çıktığı ve ardından 24 saat içinde dinlenme seviyelerine geri döndüğü gözlemlenmiştir. Kaslara zarar verici yüksek şiddetli egzersizlerin ardından ise, protein oksidasyonunun birinci günde %28 artış gösterdiği, egzersizden 3 gün sonra %84 ile zirveye ulaştığı ve daha sonra azalarak yedinci günde dinlenme seviyelerine indiği tespit edilmiştir.

Araştırmacılar hızlı vücut ağırlığı kaybı için yorucu egzersizler yapan sporcuların, kas dokusunda hasar oluşturabileceğini ve bu hasarın sporcuların yarışma performansı kapasiteleri üzerinde olumsuz etkilere sahip olabileceğini belirtmektedir. Rocklicer vd., (2020) tarafından yapılan araştırma, müsabaka öncesinde judocuların vücut ağırlıklarının en az %5'ini hızla kaybetmelerinin fizyolojik olarak yıpranmalara yol açtığını ve iskelet kaslarında önemli ölçüde hasarın meydana getirdiğini göstermektedir. Bir başka çalışmada Trivic vd., (2023) yarışma öncesi dönemde 7 günlük hızlı vücut ağırlığı kaybının, yedi elit judocuda kas hasarı belirteçleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırma bulguları, hızlı vücut ağırlığı kaybının kas hasarının göstergelerinden olan hem miyogloblin hem de kreatin kinaz seviyelerinde önemli artışlara neden olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde Coswig vd., (2015) araştırmalarında, hızlı vücut ağırlığı kaybı yöntemleri uygulayan sporcuların, müsabaka öncesindeki son bir haftalık dönemde vücut ağırlıklarının ortalama olarak %10'unu kaybettiklerini belirtmiştir. Araştırma sonuçları, hızlı vücut ağırlığı kaybı gerçekleştiren sporcuların, hızlı vücut ağırlığı kaybı uygulamayan sporcularla karşılaştırıldığında, daha düşük glikoz seviyelerine ve kas hasarını gösteren belirteçlerde belirgin bir artışa sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, hızlı vücut ağırlığı kaybı uygulamalarının sporcuların enerji bulunabilirliği ve kas bütünlüğü üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Özkan ve İbrahim (2016) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışma da ilgili literatüre katkıda bulunmuştur. Bu çalışmada, hızlı vücut ağırlığı kaybı yöntemlerini uygulayarak dehidrasyona maruz bırakılan ve vücut ağırlıklarının %5'inden fazlasını kaybeden on güreşçinin CK seviyelerindeki değişimler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu sporcuların referans değerlerin çok üzerinde CK değerlerine ulaştığını göstermiştir. Bu durum, hızlı vücut ağırlığı kaybının kas hasarını artırabileceğine dair güçlü kanıtlar sunmaktadır. Bununla birlikte Işık vd., (2018) araştırmalarında genç erkek

serbest stil güreşçiler arasında, hızlı vücut ağırlığı kaybı yöntemi olarak dehidrasyonun tercih edilmesinin iskelet kasları üzerindeki etkilerini kreatin kinaz seviyeleri üzerinden değerlendirmiştir. Çalışmada, dehidrasyon sonucu hızlı vücut ağırlığı kaybı yaşayan sporcuların kreatin kinaz düzeylerinde önemli artışlar saptamıştır. Hızlı vücut ağırlığı kaybı hem erkeklerde hem de kadınlarda, performans düşüklüğüne neden olabilir. Aynı zamanda, kemik mineral yoğunluğunda azalma ve kas kütlelerinde kayıplar gibi olumsuz etkiler de gözlemlenebilir. Araştırmalar, hızlı vücut ağırlığı kaybı sürecinde özellikle gıda ve sıvı tüketiminin azaltılması ile birlikte yoğun antrenman seanslarının uygulanmasının, kas hasarının şiddetini artırdığını ortaya koymaktadır (Drid vd., 2019; Roklicer vd., 2020; Trivic vd., 2020).

Sonuç olarak, araştırmalarda hızlı vücut ağırlığı kaybı sürecindeki sıvı kaybı, besin yetersizliği ve yüksek yoğunluklu egzersizlerin oksidatif stres ve kas hasarı artışlarını tetiklediğini ve bu durumun yarışma performansını olumsuz etkilediği belirtilmiştir.

## Kaynakça

- Agel, J., Ransone, J., Dick, R., Oppliger, R., & Marshall, S. W. (2007). Descriptive epidemiology of collegiate men's wrestling injuries: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 1988–1989 through 2003–2004. *Journal of athletic training*, 42(2), 303.
- Artioli, G. G., Iglesias, R. T., Franchini, E., Gualano, B., Kashiwagura, D. B., Solis, M. Y., ... & Lancha Junior, A. H. (2010). Rapid weight loss followed by recovery time does not affect judo-related performance. *Journal of sports sciences*, 28(1), 21-32.
- Artioli, G. G., Saunders, B., Iglesias, R. T., & Franchini, E. (2016). It is time to ban rapid weight loss from combat sports. *Sports Medicine*, 46, 1579-1584.
- Baranauskas, M., Kupčiūnaitė, I., & Stukas, R. (2022, April). The Association between Rapid Weight Loss and Body Composition in Elite Combat Sports Athletes. *In Healthcare* (Vol. 10, No. 4, p. 665).
- Barley, O. R., Chapman, D. W., & Abbiss, C. R. (2019). The current state of weight-cutting in combat sports. *Sports*, 7(5), 123.
- Berkovich, B. E., Eliakim, A., Nemet, D., Stark, A. H., & Sinai, T. (2016). Rapid weight loss among adolescents participating in competitive judo. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 26(3), 276-284.
- Bešlija, T., Čular, D., Kezić, A., Tomljanović, M., Ardigò, L. P., Dhabhi, W., & Padulo, J. (2021). Height-based model for the categorization of athletes in combat sports. *European Journal of Sport Science*, 21(4), 471-480.
- Bloomer, R. J., & Fisher-Wellman, K. H. (2008). Blood oxidative stress biomarkers: influence of sex, exercise training status, and dietary intake. *Gender medicine*, 5(3), 218-228.
- Brito, C. J., Roas, A. F. C. M., Brito, I. S. S., Marins, J. C. B., Córdova, C., & Franchini, E. (2012). Methods of body-mass reduction by combat sport athletes. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 22(2), 89-97.
- Burke, L. M. (2015). Re-examining high-fat diets for sports performance: did we call the 'nail in the coffin' too soon? *Sports medicine*, 45, 33-49.
- Burton, G. J., & Jauniaux, E. (2011). Oxidative stress. *Best practice & research Clinical obstetrics & gynaecology*, 25(3), 287-299.
- Carl, R. L., Johnson, M. D., Martin, T.J., LaBella, C. R., Brooks, M. A., Diamond, A., ... & Peterson, A. (2017). Promotion of healthy weight-control practices in young athletes. *Pediatrics*, 140(3).
- Ceylan, B., Kons, R. L., Detanico, D., & Šimenko, J. (2022). Acute dehydration impairs performance and physiological responses in highly trained judo athletes. *Biology*, 11(6), 872.

- Chapple ILC, Brock GR, Milward MR, Ling N, Matthews JB (2007). Compromised GCF total antioxidant capacity in periodontitis: cause or effect? *Journal of Clinical Periodontology* 34: 103–110.
- Clarkson, P. M., and Hubal, M. J. (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 81(11), S52- S69.
- Coswig, V. S., Fukuda, D. H., & Del Vecchio, F. B. (2015). Rapid weight loss elicits harmful biochemical and hormonal responses in mixed martial arts athletes. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 25(5), 480-486.
- Damas, F., Libardi, C. A., & Ugrinowitsch, C. (2018). The development of skeletal muscle hypertrophy through resistance training: the role of muscle damage and muscle protein synthesis. *European journal of applied physiology*, 118(3), 485-500.
- Degoutte, F., Jouanel, P., & Filaire, E. (2003). Energy demands during a judo match and recovery. *British journal of sports medicine*, 37(3), 245.
- Demirci-Cekic, S., Özkan, G., Avan, A. N., Uzunboy, S., Çapanoğlu, E., & Apak, R. (2022). Biomarkers of oxidative stress and antioxidant defense. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 209, 114477.
- Desgorces, F. D., Moinard, C., Chennaoui, M., Toussaint, J. F., Petibois, C., & Noirez, P. (2017). Development of a specific index to detect malnutrition in athletes: Validity in weight class or intermittent fasted athletes. *Biochimie open*, 4, 1-7.
- Deyhle, M. R., Sorensen, J. R., & Hyldahl, R. D. (2016). Induction and assessment of exertional skeletal muscle damage in humans. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, (118), e54859.
- Dokumacı, B., & Atabek, H. Ç. (2016). Geçmiş Kas Ağrısı ve Oluşum Mekanizmaları: Oksidatif Stres ile İlişkisi. *Türkiye Klinikleri J Sports Sci*, 8(1), 22-34.
- Drid, P., Figlioli, F., Lakicevic, N., Gentile, A., Stajer, V., Raskovic, B., ... & Bianco, A. (2021). Patterns of rapid weight loss in elite sambo athletes. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 13, 1-7.
- Drid, P.; Krstulovic, S.; Erceg, M.; Trivic, T.; Stojanovic, M.; Ostojic, S. The effect of rapid weight loss on body composition and circulating markers of creatine metabolism in judokas. *Kinesiology* 2019, 51, 10–13.
- Erel, O. (2004). A novel automated method to measure total antioxidant response against potent free radical reactions. *Clinical biochemistry*, 37(2), 112-119.
- Falone, S., Mirabilio, A., Pennelli, A., Cacchio, M. A., Dı Baldassarre, A., Gallina, S., ... & Amicarelli, F. (2010). Differential impact of acute bout of

- exercise on redox-and oxidative damage-related profiles between untrained subjects and amateur runners. *Physiological research*, 59(6), 953-961.
- Fatouros, I. G., & Jamurtas, A. Z. (2016). Insights into the molecular etiology of exercise-induced inflammation: opportunities for optimizing performance. *Journal of inflammation research*, 175-186.
- Fatouros, I.G., Jamurtas, A.Z., Villiotou, V., Pouliopoulou, S., Fotinakis, P., Taxildaris, K. ve diğerleri. (2004) Oxidative stress responses in older men during endurance training and detraining. *Medicine and science in sports and exercise*, 36, 2065-2072.
- Figlioli, F., Bianco, A., Thomas, E., Stajer, V., Korovljev, D., Trivic, T., & Drid, P. (2021). Rapid weight loss habits before a competition in sambo athletes. *Nutrients*, 13(4), 1063.
- Filaire, E., Maso, F., Degoutte, F., Jouanel, P., & Lac, G. (2001). Food restriction, performance, psychological state and lipid values in judo athletes. *International journal of sports medicine*, 22(06), 454-459.
- Filaire, E., Rouveix, M., Pannafieux, C., & Ferrand, C. (2007). Eating attitudes, perfectionism and body-esteem of elite male judoists and cyclists. *Journal of sports science & medicine*, 6(1), 50.
- Finlaud, J., Degoutte, F., Scislowski, V., Rouveix, M., Durand, D., & Filaire, E. (2006). Competition and food restriction effects on oxidative stress in judo. *International journal of sports medicine*, 27(10), 834-841.
- Fogelholm, M. (1994). Effects of bodyweight reduction on sports performance. *Sports Medicine*, 18, 249-267.
- Forman, H. J., & Zhang, H. (2021). Targeting oxidative stress in disease: Promise and limitations of antioxidant therapy. *Nature Reviews Drug Discovery*, 20(9), 689-709.
- Fouré, A., & Bendahan, D. (2017). Is branched-chain amino acids supplementation an efficient nutritional strategy to alleviate skeletal muscle damage? A systematic review. *Nutrients*, 9(10), 1047.
- Franchini, E., Brito, C. J., & Artioli, G. G. (2012). Weight loss in combat sports: physiological, psychological and performance effects. *Journal of the international society of sports nutrition*, 9(1), 52.
- Franchini, E., Yuri Takito, M., Yuzo Nakamura, F., Ayumi Matsushigue, K., & Peduti Dal Molin Kiss, M. A. (2003). Effects of recovery type after a judo combat on blood lactate removal and on performance in an intermittent anaerobic task. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 43(4), 424-431.
- Gamage, J. P., De Silva, A. P., Nalliah, A. K., & Galloway, S. D. (2016). Effects of dehydration on cricket specific skill performance in hot and humid conditions. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 26(6), 531-541.

- Gomez-Cabrera, M. C., Domenech, E., & Viña, J. (2008). Moderate exercise is an antioxidant: upregulation of antioxidant genes by training. *Free radical biology and medicine*, 44(2), 126-131.
- Graille, M., Wild, P., Sauvain, J. J., Hemmendinger, M., Guseva Canu, I., & Hopf, N. B. (2020). Urinary 8-OHdG as a biomarker for oxidative stress: a systematic literature review and meta-analysis. *International journal of molecular sciences*, 21(11), 3743.
- Greabu, M., Battino, M., Mohora, M., Totan, A., Spinu, T., Totan, C., & Duța, C. (2007). Could constitute saliva the first line of defence against oxidative stress? *Romanian journal of internal medicine = Revue roumaine de medecine interne*, 45(2), 209-213.
- Hadžović-Džuvo, A., Valjevac, A., Leparo, O., Pjanić, S., Hadžimuratović, A., & Mekić, A. (2014). Oxidative stress status in elite athletes engaged in different sport disciplines. *Bosnian journal of basic medical sciences*, 14(2), 56.
- Hayes, J. D., Dinkova-Kostova, A. T., & Tew, K. D. (2020). Oxidative stress in cancer. *Cancer cell*, 38(2), 167-197.
- Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. (2015). *Free radicals in biology and medicine*. Oxford university press, USA.
- Hyldahl, R. D., & Hubal, M. J. (2014). Lengthening our perspective: morphological, cellular, and molecular responses to eccentric exercise. *Muscle & nerve*, 49(2), 155-170.
- Isik, O., Yildirim, I., Ersoz, Y., Koca, H. B., Dogan, I., & Ulutas, E. (2018). Monitoring of pre-competition dehydration-induced skeletal muscle damage and inflammation levels among elite wrestlers. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*, 31(3), 533-540.
- International Judo Federation (2023). Erişim adresi: [https://78884ca60822a34fb0e6-082b8fd5551e97bc65e327988b444396.ssl.cf3.rackcdn.com/up/2023/04/IJF\\_Sport\\_and\\_Organisation\\_Rul-1682351972.pdf](https://78884ca60822a34fb0e6-082b8fd5551e97bc65e327988b444396.ssl.cf3.rackcdn.com/up/2023/04/IJF_Sport_and_Organisation_Rul-1682351972.pdf) Erişim Tarihi: 15. 07.2023.
- Jetton, A. M., Lawrence, M. M., Meucci, M., Haines, T. L., Collier, S. R., Morris, D. M., & Utter, A. C. (2013). Dehydration and acute weight gain in mixed martial arts fighters before competition. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(5), 1322-1326.
- Kaya, Ö. (2021). Peri-implant hastalıklı bireylerde tükürük oksidatif stres biyomarkerlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi.
- Khodace, M., Olewinski, L., Shadgan, B., & Kiningham, R. R. (2015). Rapid weight loss in sports with weight classes. *Current sports medicine reports*, 14(6), 435-441.



- Kohen, R., & Nyska, A. (2002). Invited review: oxidation of biological systems: oxidative stress phenomena, antioxidants, redox reactions, and methods for their quantification. *Toxicologic pathology*, 30(6), 620-650.
- Kowatari, K., Umeda, T., Shimoyama, T., Nakaji, S., Yamamoto, Y., & Sugawara, K. (2001). Exercise training and energy restriction decrease neutrophil phagocytic activity in judoists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(4), 519-524.
- Kunwar, A., & Priyadarsini, K. I. (2011). Free radicals, oxidative stress and importance of antioxidants in human health. *Journal of Medical & Allied Sciences*, 1(2).
- Kusano C, Ferrari C (2008). Total antioxidant capacity: A biomarker in biomedical and nutritional studies. *Journal of Cell and Molecular Biology* 7: 5402–5407.
- Lakicevic, N., Roklicer, R., Bianco, A., Mani, D., Paoli, A., Trivic, T., ... & Drid, P. (2020). Effects of rapid weight loss on judo athletes: A systematic review. *Nutrients*, 12(5), 1220.
- Macgregor, L. J., Hunter, A. M., Orizio, C., Fairweather, M. M., & Ditroilo, M. (2018). Assessment of skeletal muscle contractile properties by radial displacement: the case for tensiomyography. *Sports Medicine*, 48, 1607-1620.
- Martínez-Aranda, L. M., Sanz-Matesanz, M., Orozco-Durán, G., González-Fernández, F. T., Rodríguez-García, L., & Guadalupe-Grau, A. (2023). Effects of different rapid weight loss strategies and percentages on performance-related parameters in combat sports: an updated systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 5158.
- Matthews, J. J., Stanhope, E. N., Godwin, M. S., Holmes, M. E., & Artiooli, G. G. (2019). The magnitude of rapid weight loss and rapid weight gain in combat sport athletes preparing for competition: A systematic review. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 29(4), 441-452.
- McCarthy, D., & Berg, A. (2021). Weight loss strategies and the risk of skeletal muscle mass loss. *Nutrients*, 13(7), 2473.
- Merry, T. L., & Ristow, M. (2016). Do antioxidant supplements interfere with skeletal muscle adaptation to exercise training? *The Journal of physiology*, 594(18), 5135-5147.
- Murray, M., Lange, B., Nørnberg, B. R., Søgaard, K., & Sjøgaard, G. (2017). Self-administered physical exercise training as treatment of neck and shoulder pain among military helicopter pilots and crew: a randomized controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 18, 1-11.

- Nikolaidis, M. G., Kyparos, A., Spanou, C., Paschalis, V., Theodorou, A. A., & Vrabas, I. S. (2012). Redox biology of exercise: an integrative and comparative consideration of some overlooked issues. *Journal of Experimental Biology*, 215(10), 1615-1625.
- Nishimaki, M., Tabata, H., Konishi, M., Pettersson, S., & Sakamoto, S. (2018). Effects of different periods of rapid weight loss on dehydration and oxidative stress. *Archives of budo*, 14, 319-327.
- Ortenblad, N., Madsen, K., & Djurhuus, M. S. (1997). Antioxidant status and lipid peroxidation after short-term maximal exercise in trained and untrained humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 272(4), R1258-R1263.
- Ozkan, I., & Ibrahim, C. H. (2016). Dehydration, skeletal muscle damage and inflammation before the competitions among the elite wrestlers. *Journal of physical therapy science*, 28(1), 162-168.
- Paulsen, G., Ramer Mikkelsen, U., Raastad, T., & Peake, J. M. (2012). Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise? *Exercise immunology review*, 18.
- Pingitore, A., Lima, G. P. P., Mastorci, F., Quinones, A., Iervasi, G., & Vassalle, C. (2015). Exercise and oxidative stress: Potential effects of antioxidant dietary strategies in sports. *Nutrition*, 31(7-8), 916-922.
- Popkin, B. M., D'Anci, K. E., & Rosenberg, I. H. (2010). Water, hydration, and health. *Nutrition reviews*, 68(8), 439-458.
- Powers, S. K., Sollanek, K. J., Wiggs, M. P., Demirel, H. A., & Smuder, A. J. (2014). Exercise-induced improvements in myocardial antioxidant capacity: the antioxidant players and cardioprotection. *Free radical research*, 48(1), 43-51.
- Rebalka, I. A., & Hawke, T. J. (2014). Potential biomarkers of skeletal muscle damage. *Biomarkers in medicine*, 8(3), 375-378.
- Reljic, D., Feist, J., Jost, J., Kieser, M., & Friedmann-Bette, B. (2016). Rapid body mass loss affects erythropoiesis and hemolysis but does not impair aerobic performance in combat athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 26(5), 507-517.
- Reljic, D., Hässler, E., Jost, J., & Friedmann-Bette, B. (2013). Rapid weight loss and the body fluid balance and hemoglobin mass of elite amateur boxers. *Journal of athletic training*, 48(1), 109-117.
- Reljic, D., Jost, J., Dickau, K., Kinscherf, R., Bonaterra, G., & Friedmann-Bette, B. (2015). Effects of pre-competitive rapid weight loss on nutrition, vitamin status and oxidative stress in elite boxers. *Journal of Sports Sciences*, 33(5), 437-448.

- Rocklicer, R., Lakicevic, N., Stajer, V., Trivic, T., Bianco, A., Mani, D., & Drid, P. (2020). The effects of rapid weight loss on skeletal muscle in judo athletes. *Journal of translational medicine*, 18(1), 1-7.
- Rydzik, Ł., & Ambroży, T. (2021). Physical fitness and the level of technical and tactical training of kickboxers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6), 3088.
- Savoie, F. A., Kenefick, R. W., Ely, B. R., Chevront, S. N., & Goulet, E. D. (2015). Effect of hypohydration on muscle endurance, strength, anaerobic power and capacity and vertical jumping ability: a meta-analysis. *Sports medicine*, 45, 1207-1227.
- Sen, C. K. (2001). Antioxidants in exercise nutrition. *Sports Medicine*, 31, 891-908.
- Steen, S. N., & Brownell, K. D. (1990). Patterns of weight loss and regain in wrestlers: has the tradition changed? *Medicine and science in sports and exercise*, 22(6), 762-768.
- Sundgot-Borgen, J., Meyer, N. L., Lohman, T. G., Ackland, T. R., Maughan, R. J., Stewart, A. D., & Müller, W. (2013). How to minimise the health risks to athletes who compete in weight-sensitive sports review and position statement on behalf of the Ad Hoc Research Working Group on Body Composition, Health and Performance, under the auspices of the IOC Medical Commission. *British journal of sports medicine*, 47(16), 1012-1022.
- Tarpey MM, Wink DA, Grisham MB (2004). Methods for detection of reactive metabolites of oxygen and nitrogen: in vitro and in vivo considerations. *American journal of physiology Regulatory, integrative and comparative physiology* 286: R431- 44.
- Theodorou, A. A., Nikolaidis, M. G., Paschalis, V., Koutsias, S., Panayiotou, G., Fatouros, I. G., ... & Jamurtas, A. Z. (2011). No effect of antioxidant supplementation on muscle performance and blood redox status adaptations to eccentric training. *The American journal of clinical nutrition*, 93(6), 1373-1383.
- Theodorou, A. A., Nikolaidis, M. G., Paschalis, V., Sakellariou, G. K., Fatouros, I. G., Koutedakis, Y., & Jamurtas, A. Z. (2010). Comparison between glucose-6-phosphate dehydrogenase-deficient and normal individuals after eccentric exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(6), 1113-1121.
- Tiidus, P. M. (2010). Skeletal muscle damage and repair: classic paradigms and recent developments. *Journal of Musculoskeletal Pain*, 18(4), 396-402.
- Todorovic, N., Ranisavljev, M., Tapavički, B., Zubnar, A., Kuzmanović, J., Štajer, V., ... & Drid, P. (2021). Principles of rapid weight loss in female

sambo athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11356.

Trivic, T., Roklicer, R., Zenic, N., Modric, T., Milovancev, A., Lukic-Sarkanovic, M., ... & Drid, P. (2023). Rapid weight loss can increase the risk of acute kidney injury in wrestlers. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 9(2), e001617.

Westman, E. C., Feinman, R. D., Mavropoulos, J. C., Vernon, M. C., Volek, J. S., Wortman, J. A., & Phinney, S.D. (2007). Low-carbohydrate nutrition and metabolism. *The American journal of clinical nutrition*, 86(2), 276-284.