

*Araştırma Makalesi*

**FUTBOLCULARDA RAST TESTİNDE ENERJİ SİSTEM KATKISI VE FİZYOLOJİK YANITLAR: KESİTSEL BİR ÇALIŞMA**

**ENERGY SYSTEM CONTRIBUTION AND PHYSIOLOGICAL RESPONSES IN RAST TEST IN FOOTBALL PLAYERS: A CROSSECTIONAL STUDY**

Gönderilen Tarih: 09/10/2023  
Kabul Edilen Tarih: 30/11/2023

*Erkan TORTU*

Trabzon Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Trabzon, Türkiye  
Orcid: 0000-0003-2816-9994

## Futbolcularda Rast Testinde Enerji Sistem Katkısı ve Fizyolojik Yanıtlar: Kesitsel bir Çalışma

### ÖZ

Bu çalışmanın amacı futbolcuların koşu tabanlı anaerobik sprint testindeki (RAST) fizyolojik yanıtlarının ve enerji sistem katkılarının sprint performansları üzerindeki ilişkisini incelemek üzerine oluşturulmuştur. Çalışmaya farklı liglerde futbol oynayan 20 erkek futbolcu (yaş:  $21.2 \pm 3.4$  yıl) katılmıştır. Futbolcular 6x35m sprint protokolünü 10sn toparlanma aralıkları ile gerçekleştirmişlerdir. Testler sırasında RAST performans (Toplam Süre, En iyi Süre, Ortalama Süre, Yorgunluk İndeksi) ve güç değerleri (Zirve Güç, Ortalama Güç, Minimum Güç, Kuvvet İmpulsu) ölçülmüştür. Oksidatif, glikolitik ve ATP-PCr sistemlerin katkıları oksijen tüketimi ( $VO_2$ ) ve laktat (LA) değerlerinden hesaplanmış ve toparlanma  $VO_2$ 'si mono-eksponansiyel model kullanılarak hesaplanmıştır. RAST performans çıktıları, toparlanma oksijen tüketimi, kalp atım hızı ve laktat yanıtlarını karşılaştırılması için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. ANOVA'da anlamlı bir etki bulunduğu olasılıkları belirlemek için Bonferroni çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. RAST sonuçları ve enerji sistemlerinin katkıları arasındaki ilişkileri belirlemek için Pearson korelasyon testi kullanılmıştır. Enerji sistemlerinin katkıları ile RAST sonuçları arasında da istatistiksel olarak anlamlı ilişki düzeyleri bulunmuştur. RAST sırasında ATP-PCr ve glikolitik sistem katkısının daha baskın olduğu (genel: %69, Sadece sprintler: %88) RAST zaman performansı ve kuvvet impulsu verilerinin anaerobik tabanlı değişkenlerle orta düzey pozitif ilişkiliydi. Glikolitik sistem katkısı toplam süre ve ortalama süre ile, ATP-PCr enerji sistem katkısı ise; zirve güç, ortalama güç, minimum güç ve kuvvet impulsu ile önemli ölçüde ilişkiliydi. RAST testine ait zamansal ve güç performans değerleri üzerine anaerobik tabanlı enerji sistem katkısı optimal performans verilerine ulaşılmasında önemli derecede ilişkilidir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında metabolik tepkilerin anlaşılması, yüksek yoğunluklu egzersiz içeren antrenman programlarında hedeflenen enerji sistemlerinin geliştirilmesi için önemli olabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji sistem katkısı, futbol, tekrarlı sprint

## Energy System Contribution and Physiological Responses in Rast Test in Football Players: A Cross Sectional Study

### ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the relationship between physiological responses and energy system contributions on sprint performance of football players in the run-based anaerobic sprint test (RAST). Twenty male footballers (age:  $21.2 \pm 3.4$  yrs) playing football in different leagues participated in the study. The football players performed a 6x35m sprint protocol with 10sec recovery intervals. RAST performance (Total Time, Best Time, Average Time, Fatigue Index) and power values (Peak Power, Average Power, Minimum Power, Force Impulse) were measured during the tests. Contributions of oxidative, glycolytic and ATP-PCr systems were calculated from oxygen consumption ( $VO_2$ ) and lactate (LA) values and recovery  $VO_2$  was calculated using a mono-exponential model. One-way analysis of variance (ANOVA) was used to compare RAST performance outcomes, recovery oxygen consumption, heart rate and lactate responses. Bonferroni multiple comparison test was used to identify possible differences when a significant effect was found in ANOVA. Pearson correlation test was used to determine the relationships between RAST results and contributions of energy systems. Statistically significant correlations were found between the contributions of energy systems and RAST results. During RAST, ATP-PCr and glycolytic system contribution was more dominant (overall: 69%, Sprint only: 88%). RAST time performance and force impulse data were moderately positively correlated with anaerobic-based variables. Glycolytic system contribution was significantly associated with total time and mean time, and ATP-PCr energy system contribution was significantly associated with peak power, mean power, minimum power and force impulse. Anaerobic-based energy system contribution to the time and power performance values of the RAST test is significantly related to the achievement of optimal performance data. Understanding metabolic responses in the light of the data obtained as a result of the study may be important for developing targeted energy systems in training programmes involving high-intensity exercise.

**Keywords:** Energy system contribution, football, repeated sprint

### GİRİŞ

Tekrarlı sprint yeteneği (TYT), kısa süreli toparlanmalar ile maksimum sprint performansını ardışık olarak sürdürebilmeyi ifade eder<sup>1</sup>. Sprint denemeleri bir futbol maçında kat edilen toplam mesafenin yalnızca %10-12'sini oluştursa da<sup>2</sup>, bu aktivitelerin maç sonucu üzerinde büyük bir etkisi olabilir<sup>3</sup>. Sprint performansının, göreceli katkıları sprint tekrarlarının sayısı ve süresi ile sprintler arasındaki toparlanmanın süresine bağlı olan bir dizi fizyolojik ve nöromüsküler faktörden<sup>1</sup> etkilendiği bildirilmiştir<sup>4</sup>. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada<sup>5</sup>, maksimal oksijen tüketiminden ziyade kan laktat birikiminin başlangıcındaki hızın TYT ile daha güçlü bir korelasyona sahip olduğunu bulmuş ve aerobik antrenmandan kaynaklanan adaptasyonlarının futbolcularda TYT performansını etkileyebileceğini öne sürmüştür. Maksimal oksijen tüketimi ile ilişkili yoğunluğun ~%120'sinin üzerinde gerçekleştirilen kısa sprintler (~6 sn)<sup>6</sup> ve kısa süreli toparlanmanın ardından tekrar efor sarf etme kapasitesi (<20 sn), takım sporların uygulanması için temel koşullardır; Takım sporlarında tekrarlanan sprintler arasındaki ortalama toparlanma süresi ~70 sn<sup>7</sup> olmasına rağmen, rakiplerin hareketleri, teknik ve taktik varyasyonlar, savunma eylemleri ve karşı ataklar gibi birçok faktörün etkileşimiyle belirlenir ve 30 sn'den daha kısa olabilir<sup>8</sup>.

Tekrarlanan sprintlerde enerji sistemlerinin katkısını araştıran ilk çalışmalar, 20-30 yıl önceki kas biyopsisi yöntemine dayanmaktadır. Bu tekniğin bir tıp alanı olması ve çalışma koşullarının çok karmaşık olması nedeniyle tekrarlı sprint protokollerinde enerji sistemlerinin katkısına yönelik araştırmalar oldukça sınırlıdır<sup>9,10</sup>. Kas biyopsisi yönteminin yalnızca kasın belirli bir bölgesi hakkında bilgi vermesinden dolayı ve uygulamasının zor olması nedeniyle bilim insanları alternatif yöntemlere yönelmişlerdir. Araştırmamızda son zamanlarda yaygınlaşan ve indirekt yöntemlerinden biri olan ve enerji sistemlerinin katkılarına ayrı ayrı hesaplanmasına olanak sağlayan PCr-La-O<sub>2</sub> yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde katılımcının dinlenik durumda, testler esnasında ve test sonunda ölçülen oksijen tüketim (VO<sub>2</sub>) değerleri ve test sonunda ulaştığı zirve kan laktat değerleri üzerinden enerji sistemlerinin katkısını hesaplamak mümkündür<sup>11,12</sup>. Enerji sistemlerinin katkısını incelemek için kullanılan yöntemlerin uygulama bölümleri farklılık gösterse de, analizlerden elde edilen sonuçlar birbirleri ile güçlü bir şekilde ilişkilidir.

Bu araştırmada kullanılan koşu tabanlı anaerobik sprint testi (RAST), anaerobik güç ve kapasiteyi değerlendirmek üzere orijinal wingate testinden uyarlanarak geliştirilmiş olup, zirve güç, ortalama güç ve yorgunluk indeksi değişkenlerini ölçmektedir<sup>13</sup>. RAST, 10 saniyelik bir toparlanma ile 6 adet 35 m maksimal sprintten oluşmaktadır. Vücut kütlelerini ve koşu sürelerini ölçerek, her bir sprintteki efor gücünü belirlemek mümkündür (Güç = (vücut kütle x mesafe<sup>2</sup>)/ zaman<sup>3</sup>). Son çalışmalarda RAST, anaerobik çalışma kapasitesi ve wingate testi ile önemli ölçüde ilişkili bulunmuştur, bu da RAST'ın koşuda anaerobik güç ve kapasiteyi değerlendirmek için kullanılabileceğini göstermektedir<sup>13</sup>. RAST aralıklı egzersizi simüle eder ve bir oyuncunun birden fazla ardışık yüksek hızlı koşu sırasında maksimal eforu sürdürme ve toparlanma kapasitesini belirler<sup>14</sup>. Bu nedenle RAST, teknik ve taktik beceriler, kuvvet, patlayıcı güç, hız ve dayanıklılık gibi diğer özelliklerin yanı sıra futbolda başarıyı belirlemek için önemli bir faktördür<sup>15</sup>. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı futbolcular üzerinde çok yaygın olarak kullanılan RAST testine verilen fizyolojik yanıtların ve enerji sistem katkılarının sprint performansı üzerindeki ilişkisini incelemek üzerine oluşturulmuştur.

## **MATERYAL VE METOT**

### **Katılımcılar**



Araştırma grubuna Türkiye futbol federasyonu bölgesel amatör liginde futbol oynayan ve en az 5 yıldır müsabakalara katılan, maksimum efor sarf etmesine engel teşkil edecek hastalık ya da geçici yaralanması bulunmayan 20 erkek futbolcu (yaş:  $21.2 \pm 3.4$  yıl, vücut ağırlığı:  $70.6 \pm 7.4$  kg, boy:  $175.3 \pm 5.9$  cm,  $VO_{2maks}$ :  $49.7 \pm 6.2$  mL·kg<sup>-1</sup>·dk<sup>-1</sup>) katılmıştır. Ölçümler sırasında meydana gelen tekniksel nedenler (cihaz hatası) ve sporcuların test sonu ölçümleri sonlandıramamalarından dolayı 4 futbolcu araştırma dışında bırakılmış, çalışma 16 katılımcı ile tamamlanmıştır. Araştırmaya katılmadan önce katılımcılara çalışma hakkında bilgi verilerek ve kendilerinden imzalı onam alınmıştır. Katılımcılardan testten önceki günlerde en az 8 saat uyumaları, testten 24 saat önce ve test günü boyunca egzersiz yapmamaları, alkol ve kafein tüketmemeleri ve testlerden en az 3 saat önce kahvaltı yapmaları istenmiştir. Çalışmanın tüm prosedürleri Helsinki Deklarasyonu Prensipleri'ne uygun olup, Trabzon Üniversitesi Etik Kurulundan E-81614018-000-2300055240 numaralı kararı ile etik kurul onayı alınmıştır.

### Verilerin Toplanması

#### **RAST (Koşu Tabanlı Anaerobik Sprint Testi):**

RAST protokolü, Birleşik Krallık'taki Wolverhampton Üniversitesi'nde geliştirilen yönergelerle göre ve daha önce bildirildiği şekilde uygulanmıştır<sup>13</sup>. RAST; 10 saniyelik toparlanma (yavaşlama fazı dahil) ile ayrılan 6 adet 35 m maksimal sprint eforunu içermektedir. Her bir sprint aralığının süresini belirlemek için kızılötesi fotosel kapıları (Witty-microgate italy) kullanılmıştır. Katılımcılara her sprintten sonra toparlanma aşamasının ne zaman tamamlanacağı sözlü olarak bildirilmiştir. Testten önce, katılımcılar bireysel olarak ısınmış olup her biri en az 3 saniye süren kısa sprint denemeleri yapmışlardır. RAST performans göstergesi olarak, Glaister ve ark. (2008)<sup>16</sup> tarafından önerildiği gibi toplam süre, en iyi süre, ortalama süre, en kötü süre ve performans düşüş yüzdesi ölçülmüştür. Ayrıca; De Andrade ve ark.(2014)<sup>17</sup> bu değerlerin performanstaki düşüşleri araştırmak için geleneksel yorgunluk indeksinden daha güvenilir indeksler olduğunu doğruladığından, 6 sprint sırasında kuvvetin integrali olarak pik güç, ortalama güç, minimum güç ve kuvvet impulsu değerleri aşağıdaki formül üzerinden hesaplanmıştır.

$$\text{Zirve Güç} = \text{Vücut ağırlığı} \times \text{Mesafe}^2 \div \text{Süre}^3$$

#### **Enerji sistemleri katkısının belirlenmesi:**

Enerji sistemlerinin katkısının belirlenmesinde katılımcıların vücut ağırlığı,  $VO_2$  tüketim ve laktik asit üretim değerleri kullanılmıştır. Nefesten nefese ölçüm yapan metabolik gaz analizörü aracılığıyla  $VO_2$ , ısınmadan önce dinlenme sırasında 10 dakika, sprintler sırasında ve sprint sonrası 15 dakika süreyle toparlanma sırasında kaydedilmiştir. Kan örnekleri her sprint testinden önce sol parmak ucundan ve en yüksek plazma laktat konsantrasyonunu belirlemek için testleri takiben sprintler sonrası 1., 3., 5. ve 7. 10 ve 15. dakikalarda alınmıştır. Oksidatif, glikolitik ve ATP-PCr enerji sistem katkıları, OriginPro 8.0 yazılımı (OriginLab Corp., Northampton, ABD) kullanılarak vücut kütlesi,  $VO_2$ , laktat değerleri ve egzersiz sonrası fazladan oksijen tüketim (ESFOT) kinetiği hızlı bileşeni kullanılarak tahmin edilmiştir. Oksidatif sistem katkısı test  $VO_2$  eğrisi altındaki alandan (trapezoidal yöntem) protokolün metabolik değeri bulunarak oksidatif sistemden gelen enerji katkısı olarak aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır;

$$\text{Oksidatif Sistem Katkısı (kJ): (Egzersiz } VO_2 - \text{Dinlenik } VO_2) \times 20.92$$

Bununla birlikte, RAST için oksidatif yol katkısı iki şekilde tahmin edilmiştir: sprint süresi ve dinlenme aralıkları dahil edilerek genel olarak; ve dinlenme aralıklarındaki VO<sub>2</sub> dahil edilmeden yalnızca sprintler sırasındaki enerji sistem katkısı olarak hesaplanmıştır<sup>12, 18</sup>.

Glikolitik sistem katkısı, 1 mmol.L<sup>-1</sup> kan laktat birikiminin vücut kütesinin kilogramı başına 3 mililitre oksijene eşdeğer olduğu varsayılarak tahmin edilmiştir<sup>19</sup>.

Glikolitik sistem katkısı= Laktik Asit<sub>delta</sub> x Vücut ağırlığı (kg) x 3 (ml O<sub>2</sub>)

LA<sub>delta</sub>: Katılımcıların LA<sub>dinlenik</sub> ve LA<sub>maks</sub> değerleri arasındaki farkı ifade eder.

Alaktik sistem katkısı (ATP-PCr), RAST sonundaki VO<sub>2</sub> değeri ile ESFOT kinetiği üzerinden hesaplanmıştır. ESFOT kinetiğinin hızlı bölümünde yapılan egzersiz nedeniyle boşalan PCr depolarının yeniden sentezinin gerçekleştiği bilindiği için toparlanma oksijen kinetiğinin hızlı ve yavaş bölümlerini açıklayan mono eksponensiyel (üstel) modelle oluşturulmuştur<sup>20</sup>.

Mono eksponansiyel modele ait hesaplama;

$$VO_2(t) = A_1 [e^{-((t - \delta) / t_1)}] + VO_2 (\text{dinlenik})$$
$$\text{Alaktik katkı} = A_1 \cdot t_1$$

Modelde yer alan VO<sub>2</sub> (t), t zamandaki oksijen tüketimini; VO<sub>2</sub> (dinlenik), dinlenik durumdaki oksijen tüketimini; A, genliği;  $\delta$ , zaman gecikmesini ve t ise zaman sabitini, A<sub>1</sub> ve A<sub>2</sub> ise sırasıyla hızlı ve yavaş bileşenlere ait genliği ifade eder. Üç enerji sisteminin toplamı toplam enerji harcamasını (TEE) temsil etmiştir. Ayrıca, her bir enerji sisteminin katkısı TEE'nin yüzdesi olarak ifade edilmiştir.

### Verilerin Analizi

Tanımlayıcı istatistik yöntemleri ile ortalama ve standart sapma değerleri hesaplandıktan sonra tüm değişkenlerin normal dağılıma uyumları Shapiro-Wilk Testi, küresellik varsayımına uyumu Mauchly's Testi ile kontrol edilmiştir. RAST performans çıktıları, toparlanma VO<sub>2</sub>, kalp atım hızı ve laktat yanıtlarını karşılaştırılması için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. ANOVA'da anlamlı bir etki bulunduğu olası farklılıkları belirlemek için Bonferroni çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. RAST sonuçları ve enerji sistemlerinin katkıları arasındaki ilişkileri belirlemek için Pearson korelasyon testi kullanılmıştır. İstatistiksel işlemler istatistik paket programında (SPSS 25, ABD) yapılmış olup uygulanan tüm istatistiksel işlemlerde p=0.05 yanılma düzeyi kullanılmıştır.

### BULGULAR

RAST'a ait performans çıktıları, enerji sistemi katkısı ve fizyolojik yanıtlara ait ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 1 ve 2'de sunulmuştur. Enerji sistemlerinin katkıları ile RAST sonuçları arasında da istatistiksel olarak anlamlı ilişki düzeyleri bulunmuştur. Glikolitik yol katkısı toplam süre ve ortalama süre ile, ATP-PCr enerji sistem katkısı ise; zirve güç, ortalama güç, minimum güç ve kuvvet impulsu ile önemli ölçüde ilişkiliydi (Tablo 3). RAST'a ait sprint süreleri ve sprintler sonrası toparlanma O<sub>2</sub> tüketim değerlerine ilişkin ANAVO sonuçlarında; bütün sprint süreleri istatistiksel olarak birbirinden farklı iken; Toparlanma VO<sub>2</sub> değerlerinde ise 1.Sprint sonrası VO<sub>2</sub> tüketimi, 2,3,4,5 ve 6. sprint sonrası VO<sub>2</sub> tüketimi değerlerinden istatistiksel olarak farklıdır (Şekil

1). RAST sonrası kalp atım hızı (KAH) ve Laktat yanıtlarına ilişkin sonuçlar Şekil 2.'de sunulmuştur. RAST'taki relatif enerji sistem katkısı bütün protokol (overall) ve sadece sprintlere ait yüzdesel değerler Şekil 3.'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** RAST'ne Ait Performans Çıktıları

RAST	X±Ss
Toplam Süre	31.693±0.65
En iyi Süre (s)	4.875±0.09
Ortalama Süre (s)	5.282±0.03
Yorgunluk İndeksi %	9.470±2.05
Zirve Güç (W)	784,29±53,43
Ortalama Güç (W)	629.85±115.96
Minumum Güç (W)	483.67±61.29
Kuvvet İmpulsu (N.s)	190.18±6.96

**Tablo 2.** RAST Sırasında Göreceli ve Mutlak Enerji Sistemi Katkısı Ve Fizyolojik Yanıtlar

	RAST (Genel) X±Ss	RAST (Sadece Sprintler) X±Ss
ATP-PCr (%)	45.05±2.9	56.83±3.7
Glikolitik (%)	24.46±3.5	30.85±4.3
Oksidatif (%)	30.49±1.9	12.32±2.2
ATP-PCr (kJ)	116.33±15.9	116.33±15.9
Glikolitik (kJ)	62.61±7.5	62.61±7.5
Oksidatif (kJ)	78.79±11.2	25.39±6.3
Enerji Talebi(L of O <sub>2</sub> )	12.32±1.3	9.76±1.0
TEH (kJ)	257.72±26.2	204.32±20.9
Laktak dinlenik (mmol)	0.90±0.3	
Laktak delta (mmol)	14.71±1.8	

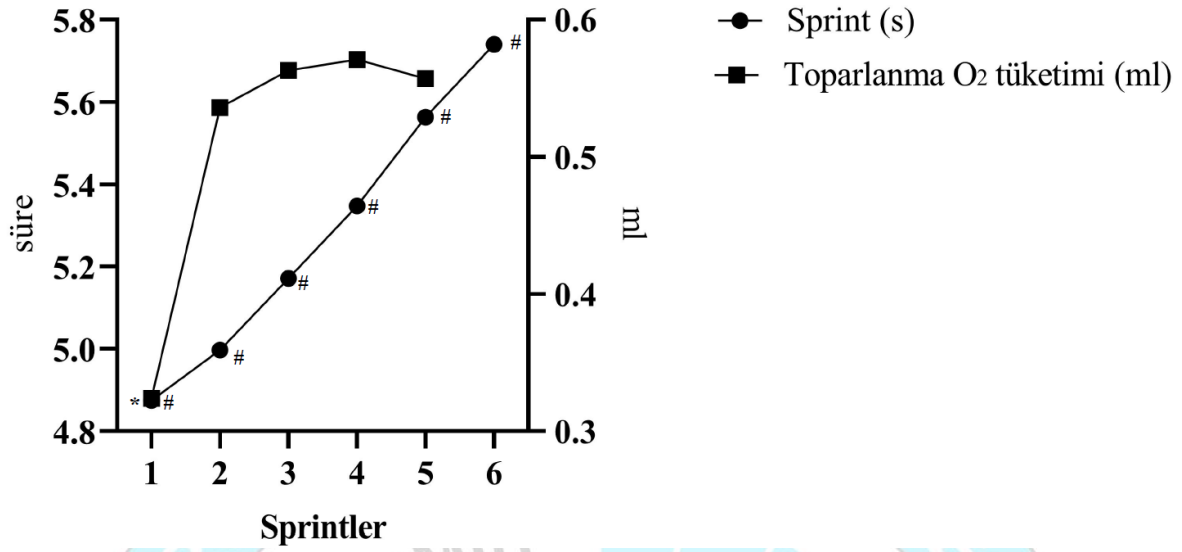
TEH: toplam enerji harcaması

**Tablo 3.** Enerji Sistemlerinin Katkıları ile RAST Sonuçları Arasındaki Pearson Korelasyon Katsayıları (r).

RAST	Oksidatif	Glikolitik	ATP-PCr
Toplam Süre (s)	0.38	0.61*	0.28
En iyi Süre (s)	0.40	0.45	0.60
Ortalama Süre (s)	0.41	0.65*	0.25
Yorgunluk indeksi (%)	-0.03	0.31	-0.04
Zirve Güç (W)	-0.37	0.35	0.66*
Ortalama Güç (W)	-0.34	0.30	0.55*
Minumum Güç (W)	-0.31	0.68	0.65*
Kuvvet İmpulsu (N.s)	-0.05	0.51	0.66*

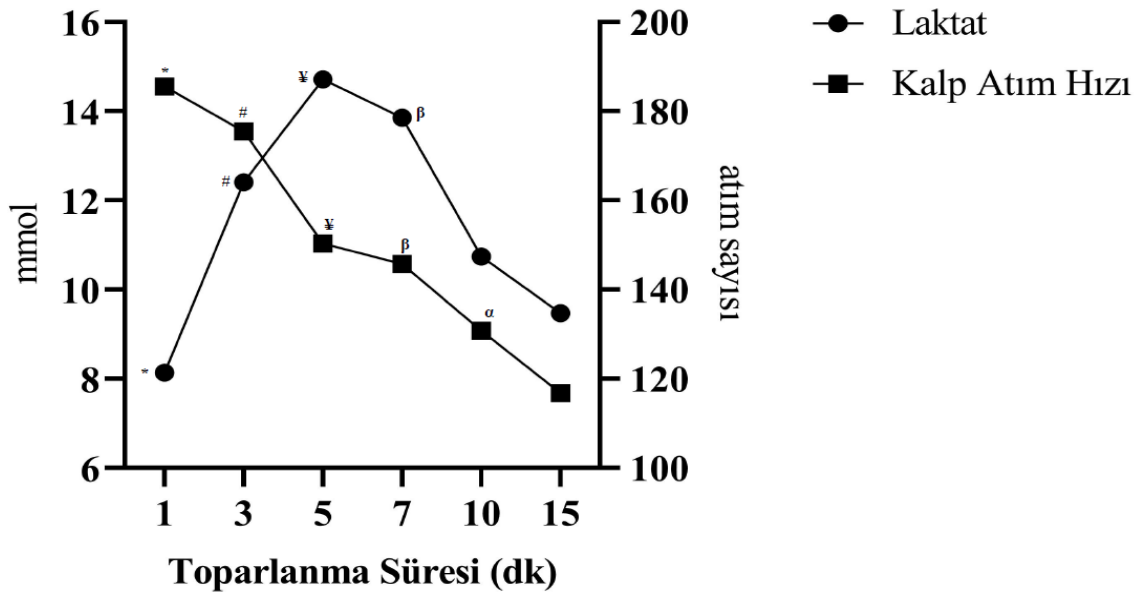
\*p<0.05





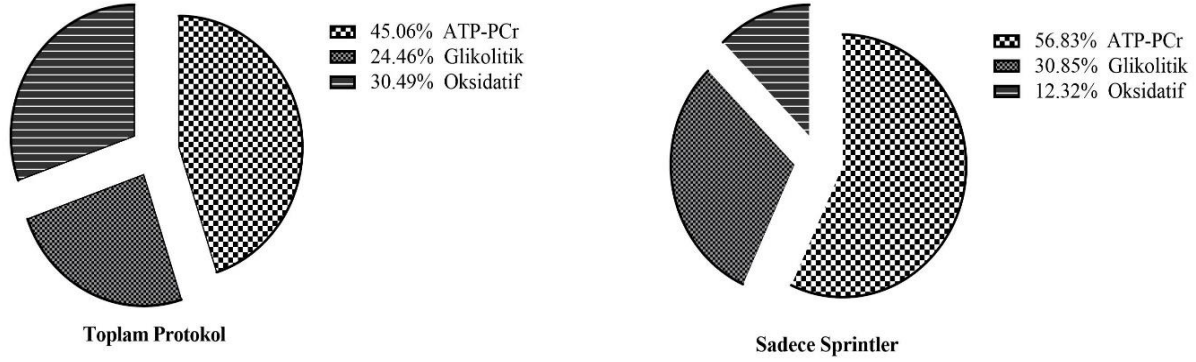
Şekil 1. RAST'ne Ait Sprint Süreleri ve Sprintler Arası Toparlanma VO<sub>2</sub> Tüketim Değerleri

\*:1.Sprint sonrası toparlanma VO<sub>2</sub> tüketimi, 2,3,4,5 ve 6. Sprint sonrası VO<sub>2</sub> tüketimi değerlerinden istatistiksel olarak farklıdır (p<0.05). #: Bütün sprint süreleri istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).



Şekil 2. RAST Sonu Toparlanma KAH ve Laktat Yanıtları

\*: 3., 5., 7., 10., ve 15. KAH ve Laktat değerlerinden istatistiksel olarak farklıdır (p<0.05). #:5., 7., 10., ve 15 dakikalardaki değerlerden istatistiksel olarak farklıdır (p<0.05). ¥:7., 10., ve 15. dakikalardaki değerlerden istatistiksel olarak farklıdır (p<0.05). β: 10., ve 15. dakikalardaki değerlerden istatistiksel olarak farklıdır (p<0.05). α: 15. dakikalardaki değerlerden istatistiksel olarak farklıdır (p<0.05).



Şekil 3. RAST'de Enerji Sistemlerin Yüzdesel Katkıları

## TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı, kısa toparlanma süreleri ile tekrarlanan sprintlere verilen fizyolojik yanıtlarla beraber enerji sistemlerinin katkılarını ve sprint performansı üzerine olası etkilerini belirlemek üzerine oluşturulmuştur. Çalışmanın ana bulguları RAST sırasında ATP-PCr ve glikolitik sistem katkısının daha baskın olduğu (genel: %69, Sadece sprintler: %88) RAST zaman performansı ve kuvvet impulsu verilerinin anaerobik tabanlı değişkenlerle pozitif yönde orta düzey pozitif ilişkili olduğu bulunmuştur. RAST, wingate testinin koşuya uyarlanmış formu olup<sup>21</sup> bireysel ve takım sporlarında sık sık antrenman metodolojisi olarak uygulanmaktadır. Beneke ve ark. (2022)<sup>22</sup> bisiklet ergometresinde bu çalışmadaki yöntemin aynısını kullanmış ve oksidatif sistem katkısının yaklaşık %18 olduğunu bildirmiştir. Sonuçlarımız bisiklet ergometresinde yapılan bu çalışma dan genel protokolde %12 daha fazla olduğu sadece sprintler esnasından gerçekleşen oksidatif sistem katkısının ise %6 daha az olduğu görülmüştür. Wingate testinde enerji sistem katkısının araştırıldığı bir başka çalışmada ise aerobik sistem katkısı %16 bulunmuştur<sup>23</sup>.

RAST sırasında oksidatif enerji sistem katkısındaki artış muhtemelen her bir sprint arasındaki 10 saniyelik toparlanmalardan kaynaklanmaktadır. Ek olarak, bu kısa süreli toparlanma nedeniyle, aralıklar arasındaki VO<sub>2</sub>, PCr yeniden sentezi olarak değil oksidatif enerji sistem katkısı olarak kabul edilmiştir. Ayrıca bu sonuçlar, kas-iskelet sistemi performansının, üretilen mutlak kuvvet seviyesinden bağımsız olarak sprint sırasında mekanik işlev sağlamak için anaerobik tabanlı enerji sistem katkısına bağlı olduğunu doğrulayan Mendez-Villanueva ve ark. (2012)<sup>24</sup> wingate testi sonuçları ile bir başka yöntem olan maksimal birikmiş oksijen açığı ile ölçülen ATP-PCr ve glikolitik sistem katkıları arasında güçlü korelasyonlar gösteren Bertuzzi ve ark.(2015)<sup>25</sup> ile uyumludur.

Sprintler sırasında katılımcılar yüksek hızda bitiş çizgisini geçtikten hemen sonra, başlangıç çizgisine dönmek için yavaşlama, koşu ve diğer düşük aktiviteli eylemleri gerçekleştirmiş, bu da PCr'yi tamamen yenilemek için çok kısa olan (10saniye) dinlenme aralıkları sırasında artan bir VO<sub>2</sub> ile sonuçlanmıştır (Şekil1.). Davis ve ark. (2014)<sup>26</sup> tarafından yapılan bir çalışmada tanımlandığı gibi PCr yenilenmesinin gerçekçi olmayan bir ölçümüne neden olmuştur. PCr ile zirve güç, ortalama güç, minimum güç ve kuvvet impulsu arasındaki güçlü korelasyonlar, ATP-PCr enerji sisteminin kas gücü üretimine doğrudan dahil olduğunu göstermektedir. Daha önce yapılan bir araştırmada; bisiklet ergometresi kullanılarak 30sn pasif toparlanma ile



birlikte yapılan 6x10 saniye sprintlerin ardından 6 dakikalık pasif toparlanma sonrası tekrardan yine 30 saniye pasif toparlanma ile yapılan 6x5 saniyelik sprintler sonrasında, PCr yeniden sentezi ile RAST arasındaki anlamlı korelasyona ( $r = 0,67$ ) ve PCr içeriğinin 6 dakikalık pasif toparlanmadan sonra neredeyse tamamen geri kazanılmasına rağmen, elektromiyografi aktivitesi ve kas içi pH bozulmuş olarak kalmış ve bu da sprint performansının düşmesine neden olmuştur<sup>24</sup>. Yukarıda bahsedilen durumun RAST sırasında, PCr'nin restorasyonunu sınırlayacak ve H<sup>+</sup> iyonlarının uzaklaştırılmasına ve tamponlanmasına olumsuz etkileyecek 35 m'lik tüm sprintler sonrasında kısa toparlanma süresi (yani 10 s) nedeniyle daha da kötüleştiğine inanılmaktadır. Bu çalışmanın sonucu bu bulguyu destekler nitelikte olup RAST sırasında gerçekleştirilen sprintler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmaktadır (Şekil 1.)

Bisiklet ergometresinde (10x6sn-30sn toparlanma) ve koşu tabanlı (12x20m-20sn toparlanma) RAST testinde, PCr'nin sprintler sırasında adenozin trifosfat yeniden sentezi için belirleyici bir enerji sistemi olduğunu öne sürmüştür<sup>27, 28</sup>; bu hipotez Deminice ve ark. (2013)<sup>29</sup> tarafından güçlendirilmiştir. Futbolcularda 7 günlük kreatin takviyesinin RAST sırasında zirve gücü, ortalama gücü ve minimum gücü plasebo grubu ile karşılaştırıldığında artırdığını göstermiştir. Bu çalışmanın test protokolleri ile daha önce atıfta bulunulan çalışmalar arasındaki bazı farklılıklara rağmen, bu sonuçlar mitokondriyal olmayan metabolizmanın, özellikle ATP-PCr olmak üzere, tüm eforlar sırasında kuvvet/güç üretimindeki önemini vurgulamaktadır<sup>30</sup>. Çalışmamıza ait tablo 3'teki korelasyon değerleri yukarıda verilen bulguları destekler nitelikte olup anaerobik tabanlı enerji sistem katkısından özellikle ATP-PCr sistem katkısı güç değerleri (Zirve Güç, Ortalama Güç, Minimum Güç Kuvvet İmpulsu) glikolitik sistem katkısı ise zamansal performans değerleri (Toplam Süre, En iyi Süre ve Ortalama Süre) ve yorgunluk indeksi ile anlamlı korelasyon kat sayılarına sahiptir (Tablo 3.).

Tekrarlı sprint aktivitelerinde Milioni ve ark. (2017)<sup>31</sup> oksidatif enerji sistem katkısının daha detaylı incelendiği bir çalışmalarında; Oksidatif sistem katkısı ve RAST parametreleri (yani toplam süre, en iyi süre ve ortalama süre) arasındaki anlamlı korelasyonlar bulunmuş olup, RAST sırasında oksidatif fosforilasyon yolu katkısındaki artışa ek olarak, bu metabolizmanın esas olarak PCr restorasyonu üzerindeki olası bir etkisini göstermişlerdir. Gelişmiş bir oksidatif sistem katkısının glikolitik yol aktivasyonuna olan ihtiyacı azaltmaya önemli ölçüde katkıda bulunduğu<sup>32</sup> ve eforlar arasındaki toparlanma sürelerini optimize ettiği bilinmektedir<sup>33</sup>. Ayrıca oksidatif sistem katkısının PCr yeniden sentezine katkıda bulunarak, tekrarlanan sprintlerin performansı için temel olan ATP-PCr yolu metabolizmasının kullanımını en üst düzeye çıkarır.

Milioni ve ark. (2017)<sup>31</sup> çalışmalarında, her RAST sprintinden sonra oksidatif sistem katkısının arttığını, ancak her sprintten sonraki gücün azaldığını ortaya koymuşlardır. Dolayısıyla, oksidatif sistem katkısının RAST performansı için belirleyici olmadığını, ancak sprintler arasındaki toparlanma dönemlerinde önemli bir role sahip olduğunu ve buna ek olarak, ATP-PCr sistem katkısının RAST performansında, özellikle de güç üretimi açısından temel bir rol oynadığını ortaya koymuşlardır. Sprintler sonrası toparlanma VO<sub>2</sub>-zaman integrali, PCr depolarının geri kazanımının sprintler arasındaki 10 saniyelik dinlenme aralıklarının ana odağı olması muhtemel olduğundan, PCr depolarının katkısını belirlemek için kullanılabilir<sup>9</sup>. Bu yaklaşım şu anda üç farklı enerji sisteminin katkılarını ayırt edebilen mevcut tek non-invaziv yaklaşımdır<sup>12</sup>.

Araştırmalar, sprintler sonrası toparlanmalar sırasındaki VO<sub>2</sub>'nin, genel egzersiz süresi eşitlendiğinde aralıklı sprint egzersizleri sırasında enerji yollarının mutlak ve yüzde katkılarını önemli ölçüde değiştirebileceğini göstermiştir<sup>31</sup>. Bu çalışmada toparlanma sürelerinin VO<sub>2</sub>-zaman integrali alınarak genel ve sadece sprintler esnasında enerji sistem katkısı gösterilmiştir (Şekil 3). Toparlanma bölümündeki O<sub>2</sub> tüketimin PCR'nin yeniden sentezinde kullanıldığı bilgisinden yola çıkarılarak oluşturulan enerji sistem katkısı yüzdelerinin (sadece sprintler) toplam protokoldeki yüzdesel enerji sistem katkısı değerlerini değiştirdiği görülmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmanın bulguları, RAST sırasında fizyolojik ve metabolik farklılıkları anlamamanın yanı sıra yeni antrenman stratejilerinin oluşturulması açısından önemli olabilir. Futbolda optimal performans, fizyolojik ve teknik beceriler, enerji üretimi ve verimlilik tarafından belirlenmektedir. Çalışmanın sınırlı bir örneklem büyüklüğüne sahip olduğunu vurgulamak çok önemlidir, bu da bulguların genellenebilirliğini sınırlayabilir. Ayrıca, çalışma yalnızca RAST protokolü (6x35m) incelemiş ve farklı yüklenme ve dinlenme değerlerine sahip tekrarlı sprint protokolleri sırasında enerji sistemi katkılarına araştırılmamıştır. Gelecekteki araştırmalar bu bulguları daha kapsamlı ve çeşitli yaş kategorilerinde tekrarlamalı ve farklı egzersiz türlerinin arasındaki enerji sistemi katkıları üzerindeki etkilerini araştırmalıdır. Bu koşullardaki metabolik tepkileri anlamak ve yüksek yoğunluklu egzersiz içeren antrenman programlarında hedeflenen enerji sistemlerini geliştirmek için gerekli olabilir.

## KAYNAKLAR

1. Girard O, Mendez-Villanueva A, Bishop D. (2011). Repeated-sprint ability-part I: factors contributing to fatigue. *Sports Medicine*. 41, 673-694.
2. Rampinini E, Coutts AJ, Castagna C, Sassi R, Impellizzeri F. (2007). Variation in top level soccer match performance. *International Journal of Sports Medicine*. 10, 18-24.
3. Jones RM, Cook CC, Kilduff LP, Milanović Z, James N, Sporiš G. (2013). Relationship between repeated sprint ability and aerobic capacity in professional soccer players. *The Scientific World Journal*. 1-5.
4. Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports Medicine*. 35, 1025-1044.
5. da Silva JF, Guglielmo LG, Bishop D. (2010). Relationship between different measures of aerobic fitness and repeated-sprint ability in elite soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 24(8), 2115-2121.
6. Buchheit M, Laursen PB. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine*. 43(5), 313-338.
7. Bradley PS, Di Mascio M, Peart D, Olsen P, Sheldon B. (2010). High-intensity activity profiles of elite soccer players at different performance levels. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 24(9), 2343-2351.
8. Castagna C, D'Ottavio S, Vera JG, Álvarez JCB. (2009). Match demands of professional Futsal: a case study. *Journal of Science and medicine in Sport*. 12(4), 490-494.
9. Dawson B, Goodman C, Lawrence S, Preen D, Polglaze T, Fitzsimons M, Fournier P. (1997). Muscle phosphocreatine repletion following single and



- repeated short sprint efforts. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports.* 7(4), 206-213.
10. Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy H, Nevill AM. (1995). Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. *The Journal of Physiology.* 482(2), 467-480.
  11. La Monica MB, Fukuda DH, Starling-Smith TM, Clark NW, Panissa VL. (2020). Alterations in energy system contribution following upper body sprint interval training. *European Journal of Applied Physiology.* 120(3), 643-651.
  12. Panissa VL, Fukuda DH, Caldeira RS, Gerosa-Neto J, Lira FS, Zagatto AM, Franchini E. (2018). Is oxygen uptake measurement enough to estimate energy expenditure during high-intensity intermittent exercise? Quantification of anaerobic contribution by different methods. *Frontiers in Physiology.* 9, 868.
  13. Zacharogiannis E, Paradisis G, Tziortzis S. (2004). An evaluation of tests of anaerobic power and capacity. *Medicine & Science in Sports & Exercise.* 36, 116.
  14. Archiza B, Andaku DK, Beltrame T, Libardi CA, Borghi-Silva A. (2020). The relationship between repeated-sprint ability, aerobic capacity, and oxygen uptake recovery kinetics in female soccer athletes. *Journal of Human Kinetics.* 75(1), 115-126.
  15. Buchheit M, Mendez-Villanueva A, Delhomel G, Brughelli M, Ahmaidi S. (2010). Improving repeated sprint ability in young elite soccer players: repeated shuttle sprints vs. explosive strength training. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 24(10), 2715-2722.
  16. Glaister M, Howatson G, Pattison JR, McInnes G. (2008). The reliability and validity of fatigue measures during multiple-sprint work: an issue revisited. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 22(5),1597-1601.
  17. De Andrade VL, Santiago P, Kalva Filho CA, Campos EZ, Papoti M. (2014). Reproducibility of running anaerobic sprint test for soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness.* 56(1-2), 34-38.
  18. Latzel R, Hoos O, Stier S, Kaufmann S, Fresz V, Reim D, Beneke R. (2018). Energetic profile of the basketball exercise simulation test in junior elite players. *International Journal of Sports Physiology and Performance.* 13(6), 810-815.
  19. di Prampero PE, Ferretti G. (1999). The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respiration Physiology.* 118(2-3), 103-105. Lopes-Silva JP, da Silva Santos JF, Abbiss CR, Franchini E. (2019). Measurement properties and feasibility of repeated sprint ability test: a systematic review. *Strength & Conditioning Journal.* 41(6),41-61.
  20. Zagatto A, Redkva P, Loures J, Filho CK, Franco V, Kaminagakura E, Papoti M. (2011). Anaerobic contribution during maximal anaerobic running test: correlation with maximal accumulated oxygen deficit. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports.* 21(6), e222-e30.
  21. Beneke R, Pollmann C, Bleif I, Leithäuser R, Hütler M. (2002). How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? *European Journal of Applied Physiology.* 87, 388-392.
  22. Tortu E, Deliceoglu G. (2024). Comparison of energy system contributions in lower body Wingate tests between sexes.
  23. Mendez-Villanueva A, Edge J, Suriano R, Hamer P, Bishop D. (2012). The recovery of repeated-sprint exercise is associated with PCr resynthesis, while muscle pH and EMG amplitude remain depressed. *PLoS One.* 7(12), e51977.



24. Bertuzzi R, Kiss M, Damasceno M, Oliveira R, Lima-Silva A. (2015). Association between anaerobic components of the maximal accumulated oxygen deficit and 30-second Wingate test. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 48, 261-266.
25. Davis P, Leithäuser RM, Beneke R. (2014). The energetics of semicontact 3× 2-min amateur boxing. *International journal of Sports Physiology and Performance*. 9(2), 233-239.
26. Gaitanos, Williams C, Boobis LH, Brooks S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*. 75(2), 712-719.
27. Wadley G, Le Rossignol P. (1998). The relationship between repeated sprint ability and the aerobic and anaerobic energy systems. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 1(2), 100-110.
28. Deminice R, Rosa FT, Franco GS, Jordao AA, de Freitas EC. (2013). Effects of creatine supplementation on oxidative stress and inflammatory markers after repeated-sprint exercise in humans. *Nutrition*. 29(9), 1127-1132.
29. Chamari K, Padulo J. (2015). Aerobic and Anaerobic terms used in exercise physiology: a critical terminology reflection. *Sports Medicine-Open*. 1, 1-4.
30. Milioni F, Zagatto AM, Barbieri RA, Andrade VL, dos Santos JW, Gobatto CA, (2017). Energy systems contribution in the running-based anaerobic sprint test. *International Journal of Sports Medicine*. 38(3), 226-232.
31. Bishop D, Edge J. (2006). Determinants of repeated-sprint ability in females matched for single-sprint performance. *European Journal of Applied Physiology*. 97(4), 373-379.
32. Faiss R, Léger B, Vesin J-M, Fournier P-E, Eggel Y, Dériaz O, Millet GP. (2013). Significant molecular and systemic adaptations after repeated sprint training in hypoxia. *PloS One*. 8(2), e56522.