

## Türkiye`de Profesyonel 400m Koşucularının Müsabaka Ortamında Koşu Parametrelerinin Değerlendirilmesi\*

Shahriar SİAHJANI<sup>1</sup> , Tolga AKŞİT<sup>2†</sup> , Berkant ERMAN<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, İzmir.

### Araştırma Makalesi

Gönderi Tarihi: 29/11/2022

Kabul Tarihi: 19/02/2023

Online Yayın Tarihi: 30/06/2023

### Öz

Performanstaki küçük farklılıklar kısa mesafe koşu branşlarında sonucu önemli derecede etkilediğinden, enerji kaynaklarını ekonomik kullanmanın en iyi yolu ile ilgili bilgiler oldukça ilgi çekicidir. Bununla birlikte, performans üzerine literatüre bakıldığında, bu konuda az sayıda çalışma bulunduğu görülmüştür. Bu çalışmada, atletizm branşından 400 m koşu parametrelerinin ve sporcuların açısal kinematikleri yönünden incelemesi amaçlanmıştır. Sporcu verilerini elde etmek için müsabaka ortamında dört kamera uygun yerlere yerleştirilmiş ve çekim yapılmıştır. Müsabakanın iki bölgeden oluşan en hızlı ve en yavaş bölgelerine göre (140/150 m) ve (350/360 m) koşu mekaniği olarak en anlamlı farklılıklar, adım uzunluğu (AU) ( $p<0,001$ ) ve adım sıklığı (AS) ( $p=0,002$ ) olduğu tespit edilmiştir. İlk 100 m de AS, ikinci 100 m AU, üçüncü 100 m de AS baskın olduğu tespit edildi. Son 100 m de iki parametrede neredeyse paralel olarak bir düşüş görüldü. Üçüncü 100 m de koşu hızının azalması, AU parametresinin anlamlı olarak kısılması ile açıklanabilir ( $p<0,001$ ). Tüm açısal kinematik verilerin negatif değişimleri sporcuların koşu parametrelerinin negatif değişimleri ile paralel olduğu tartışma konusu olmuştur. Atletlerdeki en belirgin değişim gösteren açılar, Dorsifleksiyon (DF) pozisyonunda diz açısı ( $\beta^\circ$ ), bilek açısı ( $\tau^\circ$ ), gövde açısı ( $\alpha^\circ$ ) ve Plantarfleksiyon (PF) pozisyonunda diz açısı ( $\beta^\circ$ ) olduğu tespit edildi. Bu kinematik değişimlerin yarışmanın son metrelerinde yavaşlamanın sebeplerinden biri olduğu ve atletlerin AS ve AU koşu parametrelerinin doğrudan etkilediği düşünülmektedir. Sonuç olarak yarışmanın en hızlı ve en yavaş bölümündeki tüm parametrelerde bir düşüş ve açısal kinematik verilerinde 8 faktörden 7'si istatistik olarak anlamlı fark göstermektedir. **Anahtar Kelimeler:** Adım uzunluğu, Adım sıklığı, Açısal kinematik.

## Evaluation of the Running Parameters of Professional 400m Runners in the Competition Environment in Türkiye

### Abstract

Knowledge of the most economical use of energy resources is critical, as small differences in performance determine the outcome in athletics and sprints. However, when the literature on performance is reviewed, it is seen that there are only few studies on this subject. In this study, it was aimed to examine the 400 m track and field in terms of running parameters and angular kinematics of the athletes. In order to obtain the data of the athletes, four cameras were placed in the appropriate places in the competition environment and the recording was carried out. According to the fastest and slowest parts of the competition (140 m-150 m) and (350 m-360 m), the most significant differences in running mechanics were observed in the Stride Length (SL) ( $p<0.001$ ) and Step Frequency (SF) ( $p=0.002$ ). It was determined that SF was dominant in the first 100 m, SL in the second 100 m, and SF in the third 100 m. In the last 100 m, there was an almost parallel decrease in both parameters. The third 100m decrease in running speed can be explained by the shortened significantly of the SL parameter. ( $p<0.001$ ). It has been controversial that the negative changes of all angular kinematic data are parallel to the negative changes of the athletes running parameters. The angles with the most significant changes in athletes were found to be knee angle ( $\beta^\circ$ ), wrist angle ( $\tau^\circ$ ), trunk angle ( $\alpha^\circ$ ) in dorsiflexion (DF) position, and knee angle ( $\beta^\circ$ ) in plantarflexion (PF) position. It is thought that these kinematic changes are one of the reasons for the slowdown in the last meters of the competition and directly affect the SF and SL running parameters of the athletes. As a result, it is seen that there is a decrease in all parameters in the fastest and slowest section of the competition and a significant difference in 7 out of 8 factors in the angular kinematics data.

**Keywords:** Step length, Step frequency, Running parameters.

\* Bu araştırma, Doç. Dr. Tolga AKŞİT danışmanlığında yürütülen Shahriar SİAHJANI`ın Yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

† Sorumlu Yazar: Doç. Dr. Tolga AKŞİT, E-posta: [tolga.aksit@ege.edu.tr](mailto:tolga.aksit@ege.edu.tr)

## GİRİŞ

Genetik yatkınlıklar sadece antropometrik özellikleri ve kas fibril tipi dağılımları değil aynı zamanda antrenmana uyum kapasitesini içerdiğinden, hangi genetik profillerin en büyük katkıyı yaptığı çok tartışma konusu olmuştur (Lucia ve ark., 2007; Tucker ve ark., 2013). Performanstaki küçük farklılıklar atletizm kısa mesafe branşlarında sonucu belirlediğinden, enerji kaynaklarını ekonomik kullanmanın en iyi yolu ile ilgili bilgiler oldukça ilgi çekicidir. 400m koşucusu, ekonomik teknik kullanılarak çok yüksek bir hıza ulaşabilmeli ve yorgunluğa rağmen en uygun teknik özelliklerini koruyabilmelidir. Bu nedenlerden dolayı Sprint (SP) koşusundaki biyomekanik faktörleri anlamak ve en yüksek performans için, dünya standartları seviyelerine ulaşmak ve alanlarını belirlemek her zaman ulusal eğitimcilerin ilgisini çekmektedir (Hanon ve Gajer, 2009). Bir sporcunun koşma hızı, Adım Sıklığı (AS) ve Adım Uzunluğuna (AU) bağlıdır. Birim zamanda atılan adım sayısı, adım sıklığıdır. Teoride çok açık ve basit olmasına rağmen, sporcular uygulamada sorunlarla karşılaşır. Bu nedenle, bir parametrede bir artış, tipik olarak diğerinde bir azalmaya yol açabilir. Bu değişkenler arasındaki ilişki özellikle spor biyomekaniği alanında dikkat çekmiştir (Hunter ve ark., 2004). SP koşusu sırasındaki zamansal parametreler, yani uçuş ve yere temas süresi atletizm antrenörleri için temel bir bilgi olarak bilinmektedir. Literatüre bakıldığında, bu parametrelerin daha çok sistematik bilgiler olduğu ve performansla korelasyonu konusunda geniş çapta araştırmalar olduğu görülmektedir. (Hunter ve ark., 2004). Bu bağlamda sprintin temel prensipleri ve hareket uygunluklarının yönetilmesi amacıyla antrenörlerin mekanik kısıtlamaları çözme ile bu kısıtlamalar dâhilindeki en uygun açılarda antrenman yapma konusu önem taşımaktadır (Haugen ve ark., 2019). 400 m'lik bir yarışta 100-150 m arasında, koşucu maksimum hıza ulaşır ve bunu yarışın son aşamalarında önemli bir hız düşüşü izler (Graubner ve ark., 2009; Hanon ve Gajer 2009; Hobara ve ark., 2010; Nummela ve ark., 1996). Bu hız düşüşü özellikle yarışın Son 50 m'sinde çok daha düşüktür (Ferro ve ark., 2001; Gajer ve ark., 2007; Hanon ve Gajer, 2009; Hobara ve ark., 2010; Muller ve Hommel, 1997). Dünya atletizm federasyonu tarafından yapılan çalışmada, 2017 Dünya Atletizm Şampiyonasında 400 m finalindeki koşucuların performansı ele alınarak her 10 metrede koşu parametreleri değerlendirilmiştir. Bu çalışmada sporcuların tüm Zamansal (ZMS) ve Konumsal (KNS) koşu parametreleri detaylı olarak incelendi. Rapor edilen konular, yukarıdaki faktörlere bağlı atletlerin nasıl bir yarış stratejisi uyguladığını ve bu stratejiler yarış performansının tükenme noktasına nasıl etki ettiği, tüm parametreleri ele alınarak açıklamıştır. Çalışmanın en önemli özelliği ise finalde koşan, koşucuların vücut açısal derecelerinin ölçülmesi ve kinematik olarak gösterilmesi olmuştur (Pollitt ve ark., 2017). Yapılan bir çalışmada, gerçekleşen 400 m yarışmalar sırasında her 50 metrede AU ve AS parametrelerin 3 farklı performans seviyesini (amatör-milli-dünya çapı) KNS ve ZMS parametreleri kullanılarak değerlendirmişlerdir. Burada göreceli olarak adım uzunluğunun 400 m koşusunda önem taşıdığı ve deneyimli sporcuların yarışmanın son kademelerinde orantı olarak daha çok hız düşüşüne maruz kaldıklarını göstermiştir (Hanon ve Gajer, 2009). Bu konularda tüm çalışmalar 400 m koşucuların KNS ve ZMS parametreler hakkında genel ve özel bilgiler verirken, yarışma ve antrenman stratejisine doğru yön verebilme alanında faydalı olabilmektedir. Ancak yapılan çalışmalarda işlenmemiş önemli konulara değinmemiz mümkündür. Bu konulardan biri açısal kinematik ile KNS ve ZMS parametrelerini birbiri ile ilişkisi ve bunun koşu performansına doğrudan nasıl etki yaptığı dikkat çekmiştir. Bu

uygulama vücut açısı değişimlerinin yorgunluktan nasıl etkilendiği ve bu etki sporcunun KNS ve ZMS parametreleri ile ilişkisi nasıl olabileceği hakkında bilgi verme imkânını sağlayabilir. Bu çalışmanın amacı Türkiye'deki 400m elit atletlerin yarışma ortamındaki performanslarını inceleyerek, atletlerin koşu parametrelerinin analiz sonuçlarını, kendi yarış performanslarıyla kıyaslayıp bir öneri sunmak olacaktır. Çalışmanın en önemli hedefi ise koşucuların iki bölümden oluşan en hızlı ve en yavaş yarış hızlarının, biyomekanik verilerini analiz edip birbiriyle kıyaslayıp ve KNS, ZMS ile ilişkisini gözlemlemektir.

## YÖNTEM

### Araştırma Modeli

Araştırma randomize olmayan, kesitsel bir çalışmadır. Nicel araştırma yöntemlerinden deneysel araştırma modeli olarak tek grup olarak planlanmıştır.

### Çalışma Grubu

Bu çalışma Türkiye Atletizm Süper Lig müsabakaları kapsamında 2021'de İzmir Atatürk Stadı'nda gerçekleşen son kademe 400m erkekler yarışında final koşu performansı ele alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın evrenini 18-24 yaş arasında elit "400 m sporcuları" temsil etmektedir. Çalışma grubunu ise 8 erkek 400m sporcusu oluşturmuştur. Çalışma grubu çalışmaya yerel profesyonel ligler büyükler kategorisinde atletizm Türkcell süper lig 400 m final yarışması kapsamında, yaş ortalamaları 18,5±24,8 yıl, boy ortalamaları 175,6±9,15 (cm) ve vücut ağırlıkları 64,9±7,95 (kg) 8 erkek sporcu katılmıştır. Çalışmaya doğal yarışma ortamında uygulanmıştır. Katılan sporcular yarışma öncesinde ısınma protokollerini kendi profesyonel antrenörleri tarafından uygulanmıştır. Isınma protokolleri ve ölçümler uygulanmadan önce sporcular bir önceki gün ağır antrenman yapmadıkları, çalışmaların gerçekleşeceği saatin beş saat öncesinde ağır yemek, bir saat öncesinde çay, kahve vb. içecekler tüketmedikleri bilgisi profesyonel sporcular tarafından doğrulanmıştır.

### Araştırma Etiği

Bu araştırma için, Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 04/08/2022 tarih ve 22-8T/22 sayılı onamın yanı sıra 27/4/2023 tarihli ve 23-4.1T/82 düzeltme karar numaralı toplantıda oy birliği ile etik onam alınmıştır.

### Prosedür

Kamera yerleşimi için 4 gözetleme yeri belirlenmiş ve güvenlik altına alınmıştır. Bunlardan ikisi sahanın içinde, biri stadyumun çevresinde, bir diğeri ise hava çekimi olarak konumlandırılmıştır. Saha içi kameraların konumlarının her biri, zemine paralel olarak tripodlara yerleştirilmiştir. İlk saha içi kamera konumu, mesafe olarak dördüncü kulvar referans alınarak 140 m çizgisinden 150 m çizgisine kadar ve ikinci kamera 350 m çizgisinden 360 m çizgisine kadar, uygun bir şekilde 10 m'yi gözlemleyecek şekilde uygulanmıştır. Üçüncü kamera konumu, bitiş çizgisine 30 m kala, protokol açık alanı içinde yer aldı. Yarışmadan bir gün önce saha içinde belirleyici olarak tüm pozisyonlar düzenlenmiştir. İlk olarak, yere

yapıştırma bantlarını 100, 200 ve 300 m aralıklarla iz işaretleri üzerindeki sekiz kulvarın tamamına yapıştırılmıştır.

### Veri Toplama Araçları

Saha içinde yer alan 2 kamera hassas verileri toplamak (açısal kinematik, hız) için 240 FPS modunda kalibre edildi. Çalışan üçüncü kamera sahanın dışında yer alırken, CANON GX1 II (12.800 ISO 1600; FHD: 1920x1080 piksel; 30 FPS) kamera, yarışın tümünü kaydetmek için yarışma bitiş çizgisine 30 m kala türbinlerde konumlandırılmıştır. Tüm sporcuların adımlarını yakalamak için optimal bir yükseklik ve açıda profesyonel kişi tarafından tüm yarışma kaydedilmiştir. Son kamera ise Türkiye Atletizm Federasyonu (TAF) tarafından kullanılan uzaktan kumandalı bir hava aracına bağlı olan (30 FPS, FHD: 1920x1080) kamera (30 FPS, FHD: 1920x1080) ile kaydedildi. Bu kameranın amacı ise önceden işaretlenmiş tüm noktaları gözetleyip, koşucuların 100, 200, 300, 400 m zaman aralıkları ve adım sayılarını hesaplamak için kullanıldı.

**Tablo 1.** Sporcuların performansını açıklamak için seçilen değişkenler

Faktörler	Tanım
<b>Konumsal (KNS) Analiz</b>	Yarış sırasında her 100 m aralıklarla her sporcunun konumu ayrıca, (dördüncü kulvar baz alınarak) 140 ile 150 m arası ve 350 360 m arası.
<b>Kişisel Bölünme Süreleri</b>	Yukarıdaki pozisyon analizine göre her sporcu için ayrı zaman.
<b>Ortalama Hız</b>	Bireysel bölünmüş sürelerle göre her sporcu için ortalama hız.
<b>Tamamlanan Adımlar</b>	Her 100 m'lik aralıkta kaydedilen toplam adım sayısı (örneğin sağ ayaktan sol ayağa).
<b>Ortalama Adım Uzunluğu</b>	Her 100 m'lik aralıklarla her adımın ortalama mutlak uzunluğu.
<b>Adım Uzunluğu</b>	Bir ayağın parmak ucundan diğer ayağın parmak ucuna kadar kat edilen mesafe.
<b>Adım Sıklığı</b>	Saniyedeki adım sayısı.
<b>Uçuş Süresi</b>	Sporcunun bir adımdan diğer adımdaki havada durma zamanı.
<b>Adım Süresi</b>	Temas süresi + Uçuş süresi.
<b>Adım Hızı</b>	Adım uzunluğu, adım süresine bölünür.
<b>İki Adım Süresi</b>	Sağ ayak temasından diğer sağ ayak temasına kadarki geçen süre

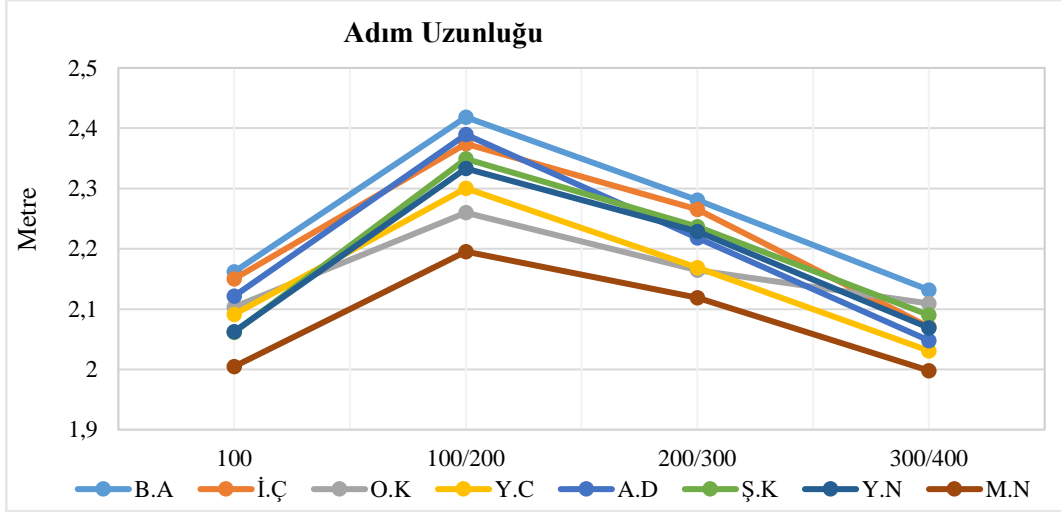
### Verilerin Analizi

Veriler SPSS 25.0 istatistik programı (SPSS Inc., Chicago, ABD) kullanılarak değerlendirilmiştir ve ortalama±standart sapma olarak ifade edildi. Verilerin normal dağılım gösterip göstermediğini Kolmogorov-Smirnov testi ile yapılmıştır. Verilerin normal dağılım gösterdiği bulunduktan sonra parametrik testlerden eşleştirilmiş t-testi (paired-samples t-test) yapılarak fark analizi uygulanmıştır İstatistiki anlamlılık düzeyi  $p < 0,05$  olarak kabul edilmiştir. Görüntülerin analizi Kinovea hareket analiz programı (kinovea.org) ile yapılmıştır.

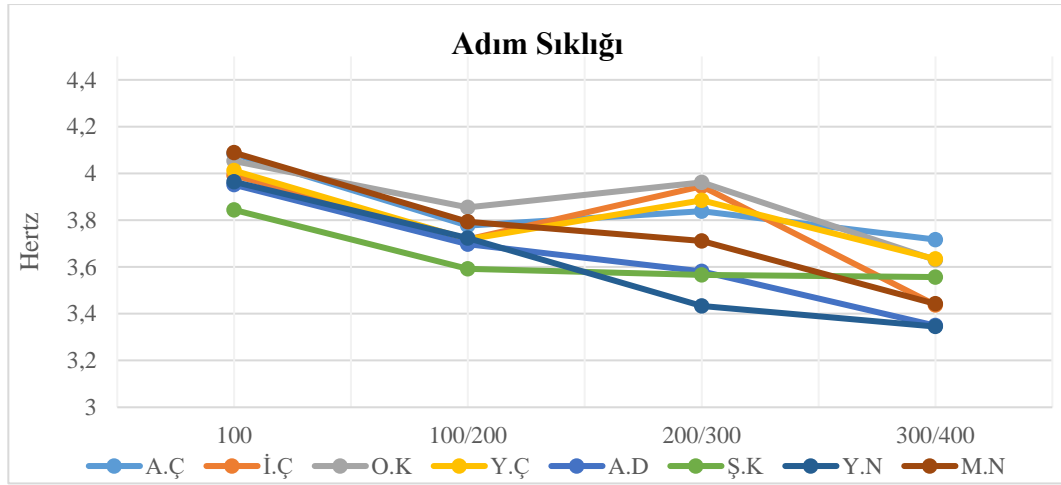
## BULGULAR

### Tamamlanan 400 metrelik AS ve AU

Aşağıdaki grafikler, tüm yarışmanın ortalama AU, her bir sporcunun aşamalı 100 m'lik bölümlerde kişisel adım bilgilerini göstermektedir (Grafik1). Tüm yarışmanın ortalama AS, her bir sporcunun aşamalı 100 m'lik bölümlerde kişisel adım bilgilerini göstermektedir (Grafik 2).

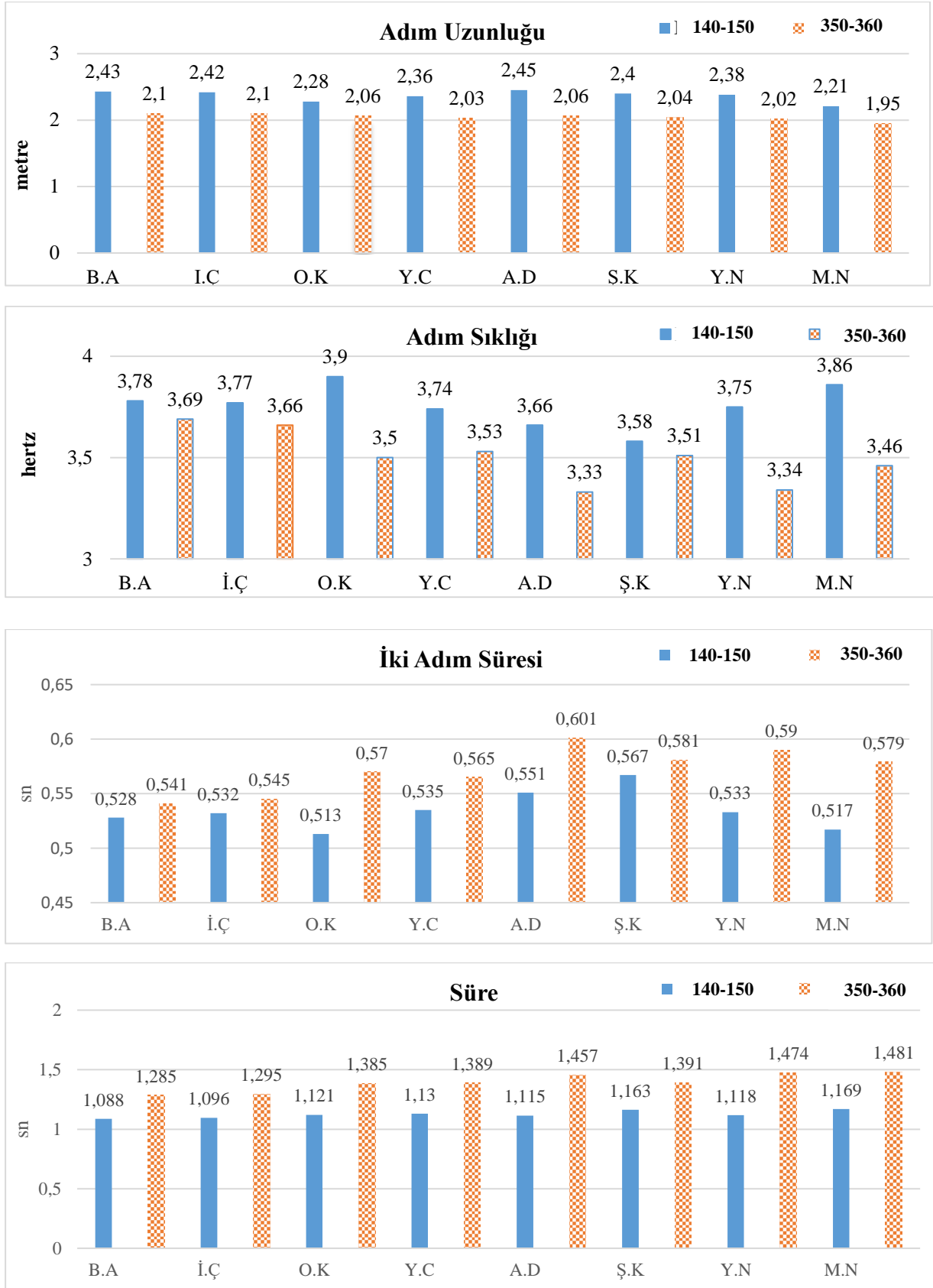


**Grafik 1.** Her 100 m'nin Ortalama Adım Uzunluğu (AU)



**Grafik 2.** Her 100 m'nin ortalama Adım Sıklığı (AS)

140-150 ve 350-360 metreler arası 10 metrelik AU, AS, iki adım süresi ve 10 metreyi aldıkları süreler Grafik 3'te verilmiştir.

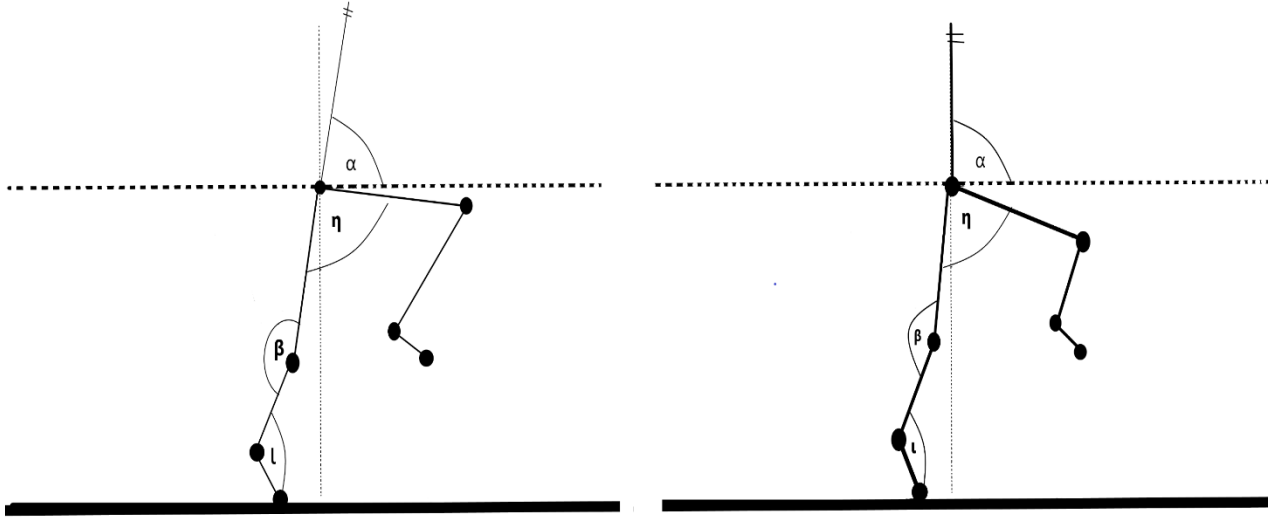


**Grafik 3.** 10 metrelik (140m \_ 150) (350m \_ 360m) performans grafikleri

Koşucuların parmak ucu (Plantarfleksiyon) fazında alınan kinematik değerlerin referans yerleri Grafik 4'te gösterilmiştir. Bu ölçümlerin sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

140m - 150m

350m - 360m



**Grafik 4.** Parmak ucunda (Plantarfleksiyon) ölçülen eklem açılarını gösteren postür şeması. Örnekleme amaçlıdır (Tüm ölçülmüş açılar sağ ayaktan alınmıştır).

**Tablo 2.** Koşucuların parmak ucu zamanında 140-150 metreleri ile 350-360 metreleri arası alınmış açısal kinematik dereceleri

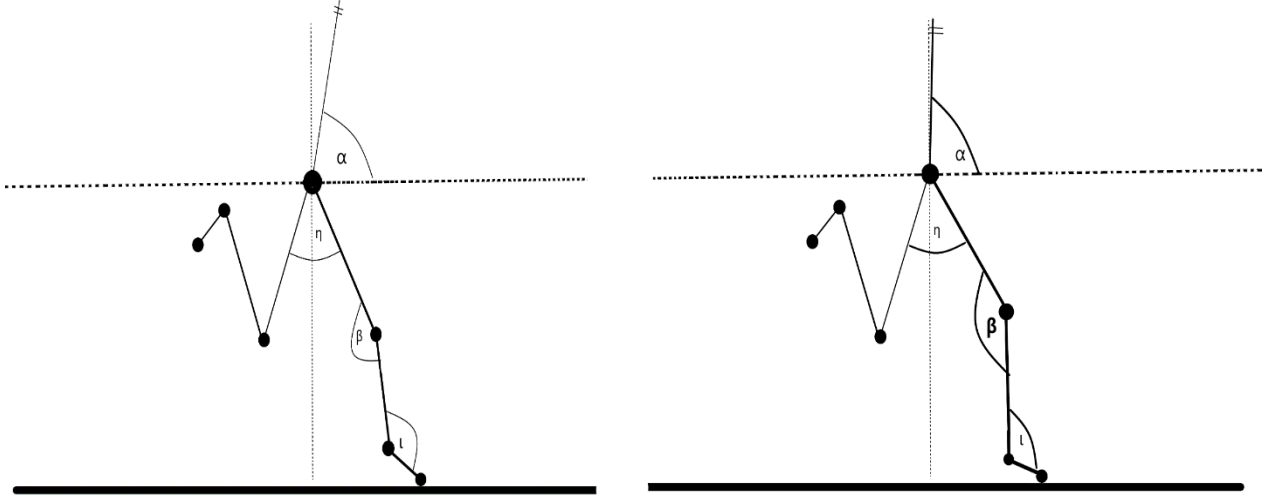
İSİM	140m-150m				350m-360m			
	B	$\alpha$	$\iota$	$\eta$	$\beta$	$\alpha$	$\iota$	$\eta$
B. A	161,3	85,9	137,9	81,3	160,3	87,8	137,1	79,9
İ. Ç	159,1	86,5	134,2	86,3	156,7	91,5	135,2	82,2
O. K	161,9	83,9	135	87,2	160,6	88,7	135,5	87,2
Y.C	165,1	85,4	137,5	81,7	162,1	95,8	138,8	81,1
A. D	163,3	84,5	128,6	91,2	162,2	85,9	129,9	88,0
Ş. K	155,3	81,4	130,1	74,9	152,7	85,5	131,9	73,0
Y. N	161,8	82,7	126,4	72,2	160,8	84,2	129,1	71,6
M.N	165,3	88,9	128,3	78,1	161,4	90,2	128,6	87,2

Gövde açısı ( $\alpha$ ); Gövdenin yataya göre açısı ve dik konumda  $90^\circ$  olarak kabul edilir. Diz açısı ( $\beta$ ); Arka bacak ve baldır arasındaki açı ve anatomik ayakta durma pozisyonunda  $180^\circ$  olarak kabul edilir. İki bacak açısı ( $\eta$ ); Koşarken bacakların birbirinden ayrıldığı en uç nokta açısı (bu açı bir ayağın arka bacağından diğer bacağın ön bacak kısmından hesaplanır). Ayak bileği açısı ( $\iota$ ); Baldır ile ayak arasındaki açı ve anatomik ayakta durma pozisyonunda  $90^\circ$  olarak kabul edilir.

Koşucuların konma (Dorsifleksiyon) fazında alınan kinematik değerlerin referans yerleri Grafik 5'te gösterilmiştir. Bu ölçümlerin sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

140m - 150m

350m - 360m



**Grafik 5.** Konma zamanında (dorsifleksiyon) ölçülen eklem açılarını gösteren postür şeması. Örneklem amaçlıdır (Tüm ölçülmüş açılar sağ ayaktan olmuştur).

**Tablo 3.** Koşucuların konma (140-150 m) ve (350-360 m) arası alınmış açısal kinematik dereceleri

İSİM	140-150 m				350-360 m			
	$\beta$	$\alpha$	$\iota$	$\eta$	$\beta$	$\alpha$	$\iota$	$\eta$
B. A	159,3	82,3	127,5	30,6	156,4	84,5	119,3	36,0
İ. Ç	158,7	83,2	118,4	25,9	154,7	89,7	111,2	31,1
O. K	158,2	82,8	121,2	21,9	152,0	84,8	119,3	26,6
Y.C	154,7	84,5	109,4	20,3	149,1	94,2	107,4	21,3
A. D	161,8	83,3	118,2	20,1	157,1	84,6	111,4	25,5
Ş. K	160,4	81,3	116,9	26,9	155,7	85,4	110,1	27,6
Y. N	161,2	81,2	118,6	27,6	155,5	83,4	112,4	31,7
M.N	166,1	85,4	121,1	17,6	159,0	87,6	115,9	19,9

Gövde açısı ( $\alpha$ ); Gövdenin yataya göre açısı ve dik konumda  $90^\circ$  olarak kabul edilir. Diz açısı ( $\beta$ ); Arka bacak ve baldır arasındaki açı ve anatomik ayakta durma pozisyonunda  $180^\circ$  olarak kabul edilir. İki bacak açısı ( $\eta$ ); Koşarken bacakların birbirinden ayrıldığı en uç nokta açısı (bu açı bir ayağın arka bacağından diğer bacağın ön bacak kısmından hesaplanır). Ayak bileği açısı ( $\iota$ ); Baldır ile ayak arasındaki açı ve anatomik ayakta durma pozisyonunda  $90^\circ$  olarak kabul edilir.

Tablo 4'te sporcuların 140-50 m ve 350-360 m arası özel mesafe olarak tanımlanan müsabakanın en hızlı ve en yavaş kısmının (AU, AS, SÜRE, İKİ ADIM, HIZ) parametrelerin ortalama ve tanımlayıcı verileri bulunmaktadır.



**Tablo 4.** 140-150 ve 350-360 metreler arası gösterilen performansın fark analiz tablosu

Mesafe	Değişkenler	Ortalama	Standart Sapma
140-150m Arası	AU	2,36	0,07
	AS	3,75	0,10
	Süre (sn)	1,12	0,028
	İki Adım	0,53	0,01
	Hız (m.sn <sup>-1</sup> )	8,89	0,22
350-360m Arası	AU	2,05	0,05
	AS	3,50	0,13
	Süre (sn)	1,39	0,75
	İki Adım	0,57	0,02
	Hız (m.sn <sup>-1</sup> )	7,18	0,39

AU: Adım uzunluğu, AS: Adım sıklığı, İki Adım: Sol ve sağ ayağın uçuş süresi.

**Tablo 5.** Sporcuların (N=8) özel mesafe birimde kapsamlı koşu performans parametrelerinin tanımlayıcı verileri

Değişkenler	Ort. Fark	t	p	Etki Büyüklüğü
AU	0,318	16,944	<0,001*	5,09
AS	0,252	4,782	0,002*	2,15
10 m Süre (sn)	-0,27	-12,22	<0,001*	0,50
İki adım (sn)	-0,037	-4,802	0,002*	2,50
Hız (m.sn <sup>-1</sup> )	1,707	15,682	<0,001*	5,40
DF ( $\beta^\circ$ )	5,11	10,958	<0,001*	1,60
DF ( $\alpha^\circ$ )	-0,38	-3,686	0,008*	1,37
DF ( $\iota^\circ$ )	5,53	6,607	<0,001*	1,17
DF ( $\eta^\circ$ )	-3,60	-5,150	0,001*	0,72
PF ( $\beta^\circ$ )	2,03	5,255	0,001*	0,62
PF ( $\alpha^\circ$ )	-0,38	-0,347	0,01*	1,21
PF ( $\iota^\circ$ )	-1,012	-2,733	0,029*	0,24
PF ( $\eta^\circ$ )	1,58	3,176	0,016*	0,245

\*p<0,05, DF: Ayağın yere konduğu zamanki alınan açısız ölçümler (Dorsifleksiyon); PF: Ayağın yerden kalkış zamanında ki alınan açısız ölçümler (Plantarfleksiyon); AU: Adım uzunluğu, AS: Adım sıklığı, İki Adım: Sol ve sağ ayağın uçuş süresi. Diz Açısı ( $\beta$ ); Gövde açısı ( $\alpha$ ); Ayak bileği açısı ( $\iota$ ); İki bacak açısı ( $\eta$ ).

## TARTIŞMA

Türkiye Atletizm Süper Lig'i kapsamında erkekler 400 m müsabakasını analiz ederken, uygun koşu mekaniğinin ve dolayısıyla teknik modelin kalitesinin çok farklı bir rol oynadığını belirtmek ilginçtir. Araştırmada, göreceli adım uzunluğu önemli bir rol oynadığı görülmüştür. 400 metrelik koşunun son bölümündeki hız düşüşü, birinci sınıf koşucularda daha çarpıcı olmuştur. Bu hız düşüşü öncelikle adım uzunluğuna (200-300 m'de), ardından (300-350 m'de) hem adım uzunluğuna hem de adım sıklığına ve son olarak, son 50m'deki adım sıklığına bağlanabilmektedir. Bu ilk genel sonuçlar yapılan daha önceki bir çalışmayla benzer sonuçları göstermiştir (Gajer ve ark., 2007; Hanon ve Gajer, 2009).

Yorgunluk altında maksimuma yakın hızla koşarken ekonomik olarak koşmayı amaçlayan yüksek bir AU seviyesine ulaşmanın zorluğu nedeniyle, AS'yi korumanın daha önemli olduğu literatürde tartışma konusu olmuştur (Hay, 1985). 400 m koşu stratejisi, nöromüsküler sistemin kuvvet üretme kapasitesindeki yorgunluk kaynaklı değişiklikleri yansıtarak AU'daki parametreyi doğrudan etkilediği söylemek mümkündür (Nummela ve ark., 1996). Deneyimli atletler büyük bir AU elde ederken aynı zamanda maksimum AU konusunda bir rezerv tutmak, ekonomik olarak koşmayı ve dolayısıyla mümkün olduğunca rahat koşmayı amaçladıklarını varsayabiliriz. Bu hızı tam olarak düzenleme kapasitesinin, bir motor ünitesi rezervinin bakımını sağlaması beklenir (Tucker ve ark., 2006). Adım uzunluğunun, tahrik aşaması sırasında meydana gelen tepe kuvveti ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle, en iyi atletler ile daha az başarılı atletler arasındaki en büyük farklardan birinin temas zamanlarında kuvvet üretimi ile ilgili olduğunu söylemek mümkündür (Mero ve ark., 2012).

Yapmış olduğumuz müsabakanın temel verilerine göre yani yarışmanın genel bir bakışla parametrelerini ölçmek istediğimizde ortalama AS ve AU atletler yarışmanın ilk 100 metresini hızlı bir AS (3,99 Hz) ve kısa bir AU ile (2,09 m) başladıkları görülmektedir. 400 m'lik bir yarışta 100-150 m arasında koşucu maksimum AU, AS ve hıza ulaşır ve bunu yarışın son aşamalarında önemli bir hız ve değişen parametrelerde bir düşüş izler (Graubner ve ark., 2009; Hanon and Gajer, 2009; Hobara ve ark., 2010; Nummela ve ark., 1996). Ancak bizim bulgularımıza göre İkinci 100 metreye (140-150 m) girdiklerinde AU 2,36 m ortalamasıyla maksimum devam ederken, AS de (3,75 Hz) bariz bir düşüş ilk 100 metreye göre sürdürdükleri fark edilmiştir. Yani bizim makalenin bulgularına göre AS 140-150 m arasında maksimum seviyelerde değildir. Bu bölüm yarışmanın en hızlı bölümü olarak da gösterilmiştir (Grafik 1 ve 3). Deneysel verilerle birlikte, 400 metrelik bir yarışın enerji üretimi için laktat sistemine önemli bir talep oluşturduğu sonucuna varıldı. Bu nedenle yorgunluğun yarış performans üzerine daha az etki yapması için, AS, AU sürdürmek önemli bir faktördür (Nummela ve ark., 1992; 1994; 1996). Sporcu yarışın ikinci yarısına girer girmez ATP yeniden sentez hızının düşmesi ve farklı kas liflerinin gereksinimindeki değişiklik nedeniyle hız azalır (Hirvonen ve ark., 1992). Bizim çalışmada, Yarışmanın üçüncü bölümünde (200-300 m) yorgunluğun baskın olmaya başladığı yerlerde, sporcular hıza dayanıklılık gösterirken istemsiz bir şekilde sürdürdükleri veya korudukları parametre AS (3,74 Hz) olduğu ve yoğunluğun dezavantajını AU (2,21 m) parametresine verdikleri görülmüştür. Son bölüme geldiğimizde (300-400 m) atletlerin bariz bir şekilde hem AU hem de AS parametrelerinde düşüş gösterdikleri tespit edilmiştir. Bu yorumlara göre yarışmanın en hızlı bölümü (100- 200 m) arası koşan atletler en verimli AU göstererek adım uzunluğunun, daha uzun sprintlerde ne kadar önem taşıdığı

belirlenmiştir. Atletler uzun bir sprint koşusunda ne kadar da güçlü bir AS ile sahip olsalar da tam verimi 400 m koşusundan aldıkları söylenemez. AU parametresi koşunun en hızlı bölümünde ortalama 2,36 m ve en yavaş bölümdeyse 2,05 m olarak kaydedildi (Tablo 4). Bu parametrede yaklaşık olarak %13 bir fark görülmektedir. AS parametre ise yaklaşık %7 olarak bir düşüş göstermiştir. Yukarıda yarışmanın genel olarak analiz edildiği gibi, koşunun en hızlı ve en yavaş bölümünde de atletler AU dan yorgunluğa karşı AS daha fazla etkilendiğini söylemek mümkündür. Bu konuda küçük bir sonuca varmak istersek ayakların döngü gücü laktik aside daha dayanıklı olabilmektedir. Buna karşın ayak kaslarının yorgunluğa karşı devamlılıktan çok patlayıcı kuvvetten etkilendiğini ve bu etkilenme AU 'da bir kısalmaya sebep olduğu düşünülmektedir.

Araştırmanın kinematik bulgularına göre 8 açıdan tamamı anlamlı fark göstermiştir (Tablo 5). Bu sebeple teknik bozulmanın atletlerin hızına doğrudan tesir ettiğini anlamak mümkündür. En büyük farklılık gösteren açılar ise Dorsifleksiyon (DF) pozisyonunda ( $\beta$ ) diz açısı ve yine DF pozisyonunda ( $\alpha$ ) ayak bileği olmuştur. Bu, sallanan bacağın bir sonraki adımı hazırlamak için yeterince hızlı gelmediğini ve temas fazı sırasında tibianın aşırı yüksek katlanmasına ve ayağın kalçaların altında kavisli bir yörüngeye yol açacağını gösterir. Tezin önemli açılarından bir diğeryse DF pozisyonunda gövde ( $\alpha$ ) açısıdır. Koşulan müsabakanın en hızlı bölgesinde atletlerin gövde açısı daha çok fleksiyon iken yarışma ilerledikçe özellikle son 10 m'nin en yavaş bölgesinde ekstansiyona kaymıştır. Bu kayma en hızlı bölge ortalama olarak  $82,97^\circ$  ve koşunun en yavaş bölümünde ise  $86,77^\circ$  olmuştur. Eğer açıklanan bu 3 açı koşunun en yavaş bölgesinde atletlerin iki adım süresinin neden arttığını, (Tablo 4) bu teknik değişimine (açıklanan yukardaki açılar) bağlamak oldukça mantıklı gelmektedir. Laktik asidin verdiği yorgunluğun, kas ve kandaki düşük PH seviyesi gibi faktörlerin yansısı, bu teknik değişiminin atletlerin yere basış süresini etkilediğini ve iki salıncak ayak hızının düştüğü düşünülmektedir. Bu bağlamda AS ve AU parametrelerinin (özellikle AU) bu açısal teknik değişimden doğrudan etkilendiği ve hız düşüşünün biyomekanik olarak en mantıklı açıklaması olduğunu söylemek gerekmektedir. Son açı DF pozisyonunda, iki bacak arasındaki açı ( $\eta^\circ$ ) dikkat çekici ölçüde farklılık göstermiştir. Koşunun en hızlı bölgesinde ( $\eta^\circ$ ) açısı iki bacak arasındaki mesafe oldukça az olduğu ölçülmüştür. Bunun sebebinin bacakların daha dik ve daha hızlı bir koşu yaptığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Koşunun en yavaş bölgesinde bacaklar arasındaki açının daha çok olması, bacakların hızının ve ayakların yere temas süresinin negatif yönde etkilediği düşünülmektedir. Bu çalışmada alınan ikinci yön açı ise (PF) pozisyonu olmuştur (Şekil 5). Bu pozisyon DF pozisyonuna göre daha az anlamlı farklılık göstermiştir. Bu açıda koşu esnasında bacaklarda ileriye bir itme olmadığı için DF pozisyonuna göre daha az kasılma, neticede daha az açısal değişim sonucuna varılmıştır. Açısal olarak en büyük farklılığı ( $\beta^\circ$ ) diz açısında dikkat çekmiştir. Bu farklılık koşunun en hızlı bölgesinde diz açısı (DF) pozisyonunda olduğu gibi dik bir hal aldığı gibi yarışın son bölgesinde bu açı daha kavisli bir açıya dönüşmüştür ki yine bu değişim AS, AU ve iki adım süresini negatif yönde etkilediği sonucuna varmak mümkündür. PF pozisyonunda kalça fleksiyonu, bacağın hareketliğin kontrol etmek ve etkili bir salıncak ayağı hazırlanmak için kalça fleksiyonu kuvvetli bir şekilde çalışır (Thelen ve ark., 2005; Wood, 1986; Yu ve ark., 2008). Bu biartiküler kasları (Rectus Femoris, Biceps Femoris) koşu sırasında yorgunluğun en erken belirtilerini gösteren kaslardır (Hanon ve ark., 2009). İki bacak arasındaki açı ( $\eta^\circ$ ) PF pozisyonunda bir açı düşüşü söz konusu olmuştur. Bu düşüş ( $\beta^\circ$ ) açısını negatif etkilendiğini ve Swing Leg açısında, yarışın en yavaş bölgesi en hızlı

bölgesine göre fleksiyondan ekstansiyona bir kayma söz konusu olduğundan, iki bacak arasındaki daralmayı açıklayabiliriz. Bu sonuç literatürdeki kaynaklar aynı sonucu verdi. PF pozisyonunda bir diğer açı ( $\tau^\circ$ ) ayak bileği, kaval kemiğinin yarışmanın hızlı bölgesine göre daha öne gelmesi neticesinden oluşmuş bir değişim görülmektedir. Son olarak PF pozisyonunda ( $\alpha^\circ$ ) gövde açısında en hızlı bölgeye göre bir anlamlı fark görülmemektedir.

## SONUÇ

Müsabakanın (en hızlı ve en yavaş) verilerine göre tüm açısal kinematik verilerin sonuçları ve değişimleri atletlerin koşu parametre değişimleri ile (KNS ve ZMS) paralel olduğu tartışma konusu olmuştur. Açı değişimlerinin en bariz örneği (DF) pozisyonunda diz ( $\beta^\circ$ ), bilek açıları ( $\tau^\circ$ ), gövde ( $\alpha^\circ$ ) ve (PF) pozisyonunda diz ( $\beta^\circ$ ) olduğu görüldü. Bu değişimlerin yarışmanın son metrelerinde yavaşlamanın sebeplerinden biri olduğu ve atletlerin AS ve AU koşu parametrelerin doğrudan etkilediği düşünülmektedir. Sonuç olarak yarışmanın en hızlı ve en yavaş bölümlerindeki tüm parametrelerde bir düşüş ve açısal kinematik verilerinde 8 faktörden tamamı anlamlı fark göstermektedir.

## Uygulamada Öneriler

1. Sürat antrenmanlarına, süratte devamlılık antrenmanlarından önce başlanmalıdır.
2. Süratte devamlılık antrenmanları kapsamdan çok yoğunluğu ve bu yoğunlukla uygulanan doğru teknik daha önem taşımaktadır.
3. Adım uzunluğunun tekniği, kısa mesafelerle kademeli olarak geliştirilmelidir.
4. Adım sıklığı tekniği, patlayıcı sürat antrenmanları ile geliştirirken, adım uzunluğu tekniği ile birleştirilerek sürat koşusu daha verimli hale getirebilmektedir.
5. Adım uzunluğu tekniğini süratte devamlılık antrenmanları dâhilinde kademeli olarak geliştirilmelidir (özellikle koşunun 200 m ve 300 m arasında uygundur).
6. Koşuda kalça ve diz eklemlerinin bükülmesini engellemek için her zaman bacak kaslarının maksimum kuvvet seviyesi (MKS) kuvvet ve kuvvette devamlılık antrenmanları gözden kaçırılmamalıdır.
7. 400 m antrenmanı için antrenörlerin ve atletlerin güçlü yönleri dikkate alınmalı ve belirli bir antrenman için tüm unsurlar arasındaki ince dengeyi kurmaları gerektiğini bilmeleri önerilmektedir.

**Çıkar Çatışması:** Yazarların herhangi bir kişisel ve finansal çıkar çatışması bulunmamaktadır.

**Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı:** Araştırma Dizaynı SS, TA, İstatistik analiz BE, TA; Makalenin hazırlanması, SS, TA, BE; Verilerin Toplanması SS, BE tarafından gerçekleştirilmiştir.

## Etik Kurul İzni ile ilgili Bilgiler

**Kurul Adı:** Ege Üniversitesi Tıbbi Araştırmalar Etik Kurulu

**Tarih:** 04/08/2022; Düzeltme tarihi: 27/04/2023

**Sayı/Karar No:** 22-8T/22; Düzeltme sayısı: 23-4.1T/82

## KAYNAKLAR

- Ferro, A., Rivera, A., Pagola, I., Ferreruella, M., Martin, A., & Rocandio, V. (2001). Biomechanical analysis of the 7th World Championships in Athletics Seville 1999. *New Studies Athletics*, 16(1/2), 25-60. Erişim adresi: <https://www.worldathletics.org/download/downloadnsa?filename=9e9d0970-6235-41ee-9739-2c9031773f06.pdf&urlslug=biomechanical-research-project-at-the-at-the>
- Gajer, B., Hanon, C., & Thépaut-Mathieu, C. (2007). Velocity and stride parameters in the 400 meters. *New Studies in Athletics*, 22(3), 39-46. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318194e071>
- Graubner, R., Buckwitz, R., Landmann, M., & Starke, A. (2009). Final report: Sprint men. In: Hommel H (Project Coordinator), Biomechanical analyses at the 12th I.A.A.F. World Championships in Athletics, Berlin 15–23 August 2009, Deutscher Leichtathletik-Verband, Darmstadt. 13–14. <https://www.worldathletics.org/download/download?filename=76ade5f9-75a0-4fda-b9bf-1b30be6f60d2.pdf&urlslug=1%20-%20Biomechanics%20Report%20WC%20Berlin%202009%20Sprint%20Men>
- Hanon, C., & Gajer, B. (2009). Velocity and stride parameters of world-class 400-meter athletes compared with less experienced runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 524-531. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318194e071>
- Haugen, T., McGhie, D., & Ettema, G. (2019). Sprint running: From fundamental mechanics to practice-a review. *European Journal of Applied Physiology*, 119(6), 1273-1287. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318194e071>
- Hay, J.G. (1985). *The Biomechanics of sports techniques*, (3rd ed.). Prentice-Hall.
- Hirvonen, J., Nummela, A., Rusko, H., Rehunen, S., & Harkonen, M. (1992). Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 17(2), 141-144. Erişim adresi: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1324108/>
- Hobara, H., Inoue, K., Gomi, K., Sakamoto, M., Muroaka, T., Iso, S., & Kanosue, K. (2010). Continuous change in spring-mass characteristics during a 400 m sprint. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(2), 256-261. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.02.002>
- Hunter, A. P., Marshall, R. N., & McNair, P. J. (2004). Interaction of step length and step rate during sprint running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(2), 261-271. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000113664.15777.53>
- Lucia, A., Oliván, J., Gómez-Gallego, F., Santiago, C., Montil, M., & Foster, C. (2007). Citius and longius (faster and longer) with no alpha-actinin-3 in skeletal muscles? *British Journal of Sports Medicine*, 41(9), 616–617. <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.034199>
- Mero, A., Komi, P. V., & Gregor, R. J. (2012). Biomechanics of sprint running. *Sports Medicine*, 13(6), 376-392. <https://doi.org/10.2165/00007256-199213060-00002>
- Muller, H., & Hommel, H. (1997). Biomechanical research project at the VIth World Championships in athletics, Athens 1997: Preliminary report. *New Studies Athletics*, 12(2/3), 3-73. Erişim adresi: <https://www.worldathletics.org/download/downloadnsa?filename=4b65d42f-9bce-4333-92d8-52e8e1be2b33.pdf&urlslug=biomechanical-research-project-at-the-vith-w>
- Nummela, A., Vuorimaa, T., & Rusko, H. (1992). Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400-m sprint. *Journal of Sports Sciences*, 10(3), 217-228. <https://doi.org/10.1080/02640419208729920>
- Nummela, A., Rusko, H., & Mero, A. (1994). EMG activities and ground reaction forces during fatigued and nonfatigued sprinting. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(5), 605-609. Erişim adresi: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8007809/>
- Nummela, A., Stray-Gundersen, J., & Rusko, H. (1996). Effects of fatigue on stride characteristics during a short-term maximal run. *Journal of Applied Biomechanics*, 12(2), 151-160. <https://doi.org/10.1123/jab.12.2.151>
- Pollitt, L., Walker, J., Tucker, C., Sutton, L., Gallagher, L., Lawton, L., & Cooke, M. (2017). *Biomechanical Report 400 m Men*, 58. Erişim adresi: <https://www.worldathletics.org/download/download?filename=8a95b26a-333d-4b05-b935-08f48f434e20.pdf&urlslug=Men%27s%20400m%20-%202017%20IAAF%20World%20Championships%20Biomechanical%20report>
- Thelen, D. G., Chumanov, E. S., Hoerth, D. M., Best, T. M., Swanson, S. C., Li, Young, M., & Heiderscheit, B. C. (2005). Hamstring muscle kinematics during treadmill sprinting. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(1), 108-114. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000150078.79120.C8>

- Tucker, R., Lambert, M. I., & Noakes, T. D. (2006). An analysis of pacing strategies during men's world-record performances in track athletics. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(3), 233-245. <https://doi.org/10.1123/ijspp.1.3.233>
- Tucker, R., Santos-Concejero, J., & Collins, M. (2013). The genetic basis for elite running performance. *British Journal of Sports Medicine*, 47(9), 545-549. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092408>
- Wood, G. A. (1986). Optimal performance criteria and limiting factors in sprint running. *New Studies Athletics*, 1(2), 55-63. Erişim adresi: <https://www.worldathletics.org/download/downloadnsa?filename=fc7063fc-4b81-4102-b03c-8e8f75940144.pdf&urlslug=optimal-performance-criteria-and-limited-fact>
- Yu, B., Queen, R.M., Abbey, A.N., Liu, Y., Moorman, C.T., & Garrett, W.E. (2008). Hamstring muscle kinematics and activation during overground sprinting. *Journal of Biomechanics*, 41(15), 3121-3126. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.09.005>



Bu eser Creative Commons Atıf-Gayri Ticari 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.