

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTROKARDİYOGRAM ÖLÇÜMLERİ, GPS VE SINIFLANDIRMA
ALGORİTMALARI KULLANILARAK FUTBOL HAKEMLERİNİN MAÇ
AKTİVİTE ANALİZİ**

Cengiz KÜRKÇÜ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2015

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTROKARDİYOGRAM ÖLÇÜMLERİ, GPS VE SINIFLANDIRMA
ALGORİTMALARI KULLANILARAK FUTBOL HAKEMLERİNİN MAÇ
AKTİVİTE ANALİZİ**

Cengiz KÜRKÇÜ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(Bu tez AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
BİRİMİ tarafından 2013.02.0121.031 nolu proje ile desteklenmiştir.)**

2015

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTROKARDİYOGRAF ÖLÇÜMLERİ, GPS VE SINIFLANDIRMA
ALGORİTMALARI KULLANILARAK FUTBOL HAKEMLERİNİN MAÇ
AKTİVİTE ANALİZİ

Cengiz KÜRKCÜ

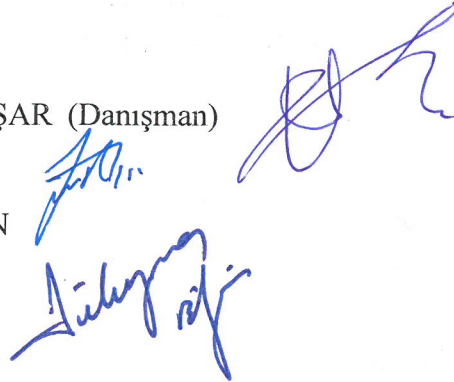
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 13./02./2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Ümit Deniz ULUŞAR (Danışman)

Doç. Dr. Bekir Taner SAN

Yrd. Doç. Dr. Süleyman BİLGİN



ÖZET

ELEKTROKARDİYOGRAM ÖLÇÜMLERİ, GPS VE SINIFLANDIRMA ALGORİTMALARI KULLANILARAK FUTBOL HAKEMLERİNİN MAÇ AKTİVİTE ANALİZİ

Cengiz KÜRKCÜ

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ümit Deniz ULUŞAR
Şubat 2015, 80 Sayfa

Futbol oyununun temel faktörlerinden bir tanesi de hakemdir. Hakem maçın oynanması esnasında oyuncuların sağlığını korumakla ve kuralların doğru bir şekilde uygulanmasını sağlamakla görevlidir. Bu görevini en iyi şekilde gerçekleştirebilmesi için fiziksel ve zihinsel olarak üst düzeyde olması, kuralları oyun ruhuna uygun şekilde yorumlayabilmesi ve topun oynandığı bölgeye hâkim olması gerekmektedir. Maçın hızının ve akışın yönünün sürekli değişmesinden dolayı hakemlerin maç boyunca sarf ettikleri efor ve maruz kaldıkları fizyolojik zorlanma ile ilgili olarak uygun kondisyona sahip olup olmadıklarını belirlemek için hareket şekillerinin karşılaştırmalı analizi önemlidir. Bununla birlikte kalp atım hızı tepkisi de fizyolojik zorlanmanın bir göstergesi olarak incelenmektedir.

Hakemlerin performansı konusunda çeşitli çalışmalar bulunmakla birlikte, genellikle çalışmalar futbol hakemlerinin maç içindeki hareketlerini kat edilen mesafe cinsinden incelemekle sınırlı kalmıştır. Bu tezde 1) futbol hakemlerinin maç esnasında koşu şekilleri, 2) süresi, 3) saha kullanımları ve diyagonale uygun koşu sitiline ne kadar uydukları 4) maçın belirli dönemleri için saha içinde yaptıkları aktivitelere bağlı olarak kalp atım hızlarının nasıl değiştiği, incelendi. Çalışmamızda maçın oynandığı sahanın dünya üzerindeki konumu elde edilerek saha çizgileri oluşturuldu, orta saha çizgisi ve orta noktanın konumu belirlendi. Hakemlerin saha içindeki konumları ve kalp atım hızları eşzamanlı olarak kaydedildi ve analiz edildi. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak koşu siteleri çeşitli gruplara ayrıldı ve istatistikleri hesaplandı.

Araştırmaya yaşları 22 ile 35 arasında değişen 3 bölgesel ve ulusal hakem katıldı. Hakemlerin koşu mesafeleri, koşu süreleri ve saha kullanımlarının belirlenmesi için 9 adet maç, kalp atım hızlarının belirlenmesi için ise bu maçlar arasından 4 adet maç analiz edildi. Çalışma sonucunda hakemler maçın ilk devresinde ortalama 4864,9±632,2 m, ikinci devresinde ortalama 4588,9±767,6 m maç boyunca ortalama 9453,8±1298,2 m mesafe kat ettiler. Bununla beraber maç boyunca ortalama 1012,9±235,8 m yürüme, 2552,2±262 m düşük hızda koşu, 2829,6±657,9 m orta hızda koşu, 1697,5±407,4 m yüksek hızda koşu ve 1361,6±379,3 m süratli koşu yaptıkları saptandı. İlk devre, ikinci devre ve maç boyunca hakemlerin ortalama kalp atım hızlarının ortalamaları 182,8±5,6 atım/dk, 176,7±5,7 atım/dk ve 179,8±4,5 atım/dk olarak hesaplandı. Maç içinde hakemin kalp atım hızı değerinin 201 atım/dk'ya kadar çıkabildiği belirlendi. Kalp atım hızının koşu hızını ortalama 21 sn gecikmeli olarak takip ettiği gözlemlendi. Hakemlerin maç içinde ortalama olarak diyagonalden

uzaklıkları maçın ilk devresinde $10,5\pm7,6$ m, ikinci devresinde $10,4\pm7,4$ m, ma süresince $10,5\pm7,6$ m olarak belirlendi.

ANAHTAR KELİMELEER: Elektrokardiyogram, GPS, sınıflandırma algoritmaları, futbol hakemi, aktivite analizi.

JÜRİ: Yrd. Doç. Dr. Ümit Deniz ULUŞAR (Danışman)
Doç. Dr. Bekir Taner SAN
Yrd. Doç. Dr. Süleyman BİLGİN

ABSTRACT

MATCH ACTIVITY ANALYSIS OF SOCCER REFEREES USING ELECTROCARDIOGRAM, GPS AND CLUSTERING ALGORITHMS

Cengiz KÜRKÇÜ

M.Sc. Thesis in Electrical Electronics Engineering
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ümit Deniz ULUŞAR
February 2015, 80 Pages

Referee is one of the main factors of a soccer game. During the game, referee is responsible to protect players' health and to ensure proper implementation of the rules. In order to be able to achieve these tasks, referee needs to have tremendous physical and mental fitness, has to be able to interpret events according to the spirit of the game of the rules and needs to be control the area where the ball is played. Due to the constant change in direction and speed of the game, comparative analysis of movement patterns is important for the assessment of the physiological stress and effort exerted to the referees. Additionally, the heart rate response is analyzed as an indicator of physiological stress.

Although there are several studies on performance of soccer referees, studies are typically limited to the analysis of the distance covered by the referees during the games. In this thesis, analysis of 1) running styles of the referees, 2) duration, 3) how well the referees are using diagonal running style and field usage, 4) activities performed in various periods of the games and heart rate change with the activity, were performed. In this study, field dimensions and positions of field line markings were obtained by using global positioning system. Midfield line and midpoint were estimated based on the field lines. Simultaneous recording of the coordinates of the referees and heart rate were recorded and analyzed. Running styles were divided into several groups and statistical analysis was performed.

Three national and regional referees between 22 and 35 years old participated the reseach. A total of 9 game data was collected. All of them were used for running period and field usage estimation and 4 of them were used for heartbeat analysis. The average total distance covered by the referees throughout the game, first half and second half were $9453,8 \pm 1298,2$ m, $4864,9 \pm 632,2$ and $4588,9 \pm 767,6$ m respectively. $1012,9 \pm 235,8$ m of the average total distance was covered by walking, $2552,2 \pm 262$ m by low speed running, $2829,6 \pm 657,9$ by middle speed running, $1697,5 \pm 407,4$ m by high speed running and $1361,6 \pm 379,3$ m by sprinting. The average heart rate in the first half, second half and all game were $182,8 \pm 5,6$ bpm, $176,7 \pm 5,7$ bpm and $179,8 \pm 4,5$ bpm respectively. The maximum heart rate was 201 bpm. During the study, approximately 21 s time lag was observed between the heart rate change following the running speed change. The average distances of the referees from the diagonal were $10,5 \pm 7,6$ m throughout the first half, $10,4 \pm 7,4$ m throughout the second half and $10,5 \pm 7,6$ m throughout the entire game.

KEYWORDS: Electrocardiogram, GPS, clustering algorithms, soccer referee, activity analysis.

COMMITTEE: Asst. Prof. Dr. Ümit Deniz ULUŞAR (**Supervisor**)
Assoc. Prof. Dr. Bekir Taner SAN
Asst. Prof. Dr. Süleyman BİLGİN

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca bilgisini, emeğini, desteğini ve anlayışını hiçbir zaman esirgemeyen, yardım ve katkılarıyla ben yönlendiren hocam Yrd. Doç. Dr. Ümit Deniz ULUŞAR'a, benim bu aşamaya kadar gelmemde hiçbir emeğini esirgemeyen aileme ve hep desteğiyle yanımda olan eşim Duygu Dumanlı KÜRKÇÜ'ye çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI	2
2.1. Futbol	2
2.2. Hakem	2
2.2.1. Hakemliğin gelişimi	2
2.2.2. Hakemin görevleri	3
2.2.3. Hakemlerin futbol maçlarındaki hareket profilleri	4
2.3. Elektrokardiyogram	37
2.4. Küresel Konumlama Sistemi (GPS)	38
2.5. Sınıflandırma Analizi	40
2.5.1. Karar ağaçları	43
2.5.2. K-Means	44
2.5.3. Naive Bayes	46
3. MATERYAL VE METOD	48
4. BULGULAR	53
4.1. Koşu Mesafeleri	53
4.2. Kardiyak Verileri	56
4.3. Saha Kullanımı	60
4.4. Hareketlerin Sınıflandırılması	63
5. TARTIŞMA	70
6. SONUÇ	73
7. KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	Santigrad Derece
C_i	Küme
cm	Santimetre
dk	Dakika
gr	Gram
h	Saat
kg	Kilogram
km	Kilometre
L	Litre
m	Metre
m_i	Küme Merkezi
ml	Mililitre
mmol	Milimol
sn	Saniye
x	Yatay Koordinat
y	Düşey Koordinat
$\ \cdot\ $	Öklid Normu

Kısaltmalar

CAN	Commissione Arbitri Nazionali
DLT	Direct Linear Transformation
DVD	Digital Versatile Disc
FA	Football Association
FIFA	Federation Internationale de Football Association
GPS	Global Positioning System
IFAB	International Football Association Board
MÖ	Milattan Önce
SSE	Summed Squared Error
TFF	Türkiye Futbol Federasyonu
UEFA	Union of European Football Associations

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Diyagonal sistem.....	3
Şekil 2.2. Maç sırasında hakem ve yardımcı hakemler tarafından yapılan aktiviteler ...	18
Şekil 2.3. Maçın birinci ve ikinci yarısı boyunca 15 dakikalık periyotlarda kat edilen mesafeler.....	20
Şekil 2.4. 5 dakikalık dönemlerde hakem ve futbolcuların kat ettikleri mesafeler.....	34
Şekil 2.5. 2008/2009 İngiltere birinci ligi boyunca hakem ve futbolcuların maç günü toplam mesafeleri.....	34
Şekil 2.6. Elektrokardiyogram sinyali.....	38
Şekil 2.7. GPS sisteminin bölümleri	39
Şekil 2.8. Dendogramın yapısı	42
Şekil 2.9. Karar ağacı yapısı	43
Şekil 2.10. K-means algoritması akış diyagramı	45
Şekil 3.1. Çeşitli maçlarda hakemlerin pozisyon bilgisi	48
Şekil 3.2. Futbol sahasının çizgileri	50
Şekil 3.3. Hakemin sahadaki konumu.....	51
Şekil 4.1. Maçın devrelerinde hakemlerin kat ettikleri ortalama mesafeler	54
Şekil 4.2. 15 dakikalık dönemlerinde hakemlerin kat ettikleri ortalama mesafeler.....	56
Şekil 4.3. Koşu mesafesi ile kalp atım hızı grafiği	56
Şekil 4.4. 15 dakikalık dönemlerinde hakemlerin ortalama kalp atım hızları	58
Şekil 4.5. Koşu hızı ile kalp atım hızı grafiği	58
Şekil 4.6. Kalp atım hızının koşu hızına bağlı değişim grafiği.....	59
Şekil 4.7. Hakemlerin aktivitelerdeki ortalama kalp atım hızları	60
Şekil 4.8. Hakemlerin maç içinde başlama noktasından uzaklıkları.....	62
Şekil 4.9. Hakemlerin maç içinde 20 saniyelik pencere merkezinden uzaklıkları	63

Şekil 4.10. 20 saniyelik pencereler halinde hareketlerden özelliklerin elde edilmesi	64
Şekil 4.11. Ortalama hız, yön oranı ve merkeze olan uzaklık parametreleri kullanılarak hakem hareketlerinin 3 gruba ayrılması	65
Şekil 4.12. Hakem hareketlerinin 6 gruba ayrılması.....	66
Şekil 4.13. Grupların merkez noktaları	67
Şekil 4.14. İçbükey ve dışbükey koşu sayılarına göre sınıflandırma.....	68
Şekil 4.15. İçbükey, dışbükey sayıları ve ortalama hız için ortalama değerler.....	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Maç boyunca aktivitelerde kat edilen mesafeler.....	8
Çizelge 2.2. Maçın yarı devreleri için bazı aktivitelerde kat edilen mesafeler	10
Çizelge 2.3. Hakemlerin maç kategorilerinde kat ettikleri mesafeler.....	13
Çizelge 2.4. Maç boyunca kat edilen mesafeler ve durma sırasında harcanan zaman ...	16
Çizelge 2.5. Her bir devrede bazı aktiviteler için kat edilen mesafeler	17
Çizelge 2.6. Maçın içinde çeşitli aktiviteler için hakemlerin kat ettikleri mesafeler.....	20
Çizelge 2.7. Maçın her iki yarısında farklı hızlarda kat edilen mesafeler	26
Çizelge 3.1. Koşu Türleri.....	52
Çizelge 4.1. Hakemlerin maçın devrelerinde kat ettikleri mesafeler	53
Çizelge 4.2. Hakemlerin aktiviteler sırasında kat ettikleri mesafeler	53
Çizelge 4.3. Her bir maç için hakemlerin aktiviteler sırasında harcadıkları süreler.....	54
Çizelge 4.4. Maçın devrelerinde hakemlerin aktiviteler sırasında harcadıkları ortalama süreler	55
Çizelge 4.5. Maçın 15 dakikalık dönemlerinde hakemlerin kat ettikleri ortalama mesafeler	55
Çizelge 4.6. Maçın 15 dakikalık dönemlerinde hakemlerin ortalama aktivite süreleri ..	55
Çizelge 4.7. Hakemlerin maçtaki ortalama ve en yüksek kalp atım hızları.....	57
Çizelge 4.8. Hakemin maç başındaki kalp atım hızı ile ortalama en yüksek Kalp atım hızına oranı.....	57
Çizelge 4.9. Maçın 15 dakikalık dönemlerinde hakemlerin ortalama kalp atım hızları .	57
Çizelge 4.10. Hakemlerin aktivitelere bağlı ortalama kalp atım hızları	59
Çizelge 4.11. Hakemlerin saha kullanım süre ve mesafeleri	61
Çizelge 4.12. Hakemlerin diyagonalden ortalama uzaklıkları.....	61
Çizelge 4.13. Hakemlerin başlama noktasından ortalama uzaklıkları	62
Çizelge 4.14. Hakemlerin 20 saniyelik pencere merkezinden ortalama uzaklıkları.....	63

1. GİRİŞ

Dünyada pek çok spor dalı arasında en yaygın olanı futboldur. Tüm ülkeler tarafından çok sevilmekte ve geniş kitleler tarafından izlenmektedir. Futbolcular ve seyircilerle birlikte futbol oyununun temel faktörlerinden bir tanesi de hakemdir. Hakem maçın oynanması esnasında kuralların doğru bir şekilde uygulanmasını sağlamakla görevlidir. Bu görevini en iyi şekilde gerçekleştirebilmesi için fiziksel ve zihinsel olarak üst düzeyde olması, kuralları oyun ruhuna uygun şekilde yorumlayabilmesi ve doğru yerde bulunması, topun oynandığı bölgeye hâkim olması gerekmektedir. Topun hızının ve yönünün sürekli değişmesinden dolayı hakemler de yoğunluğu değişen ve sürekli olmayan aktiviteler yaparlar. Bu nedenle maç sırasında pek çok fizyolojik zorlanmaya maruz kalırlar.

Hakemlerin maç boyunca sarf ettikleri efor ve maruz kaldıkları fizyolojik zorlanma ile ilgili olarak uygun kondisyona sahip olup olmadıklarını belirlemek için hareket şekillerinin karşılaştırmalı analizi önemlidir. Bununla birlikte kalp atım hızı tepkisi de fizyolojik zorlanmanın bir göstergesi olarak incelenmektedir.

Yapılan çalışmalarda hakem hareketlerinin analizi için genellikle hakemin kameralar ile kayıt edilmesi ve kayıt edilen görüntülerin yarı otomatik video maç analiz görüntü tanıma sistemi kullanılmıştır. Nadir de olsa ölçekli kâğıda çizim yapılması ve çizimlerin elle ölçülmesi yöntemi ile küresel konumlama sistemi (GPS) cihazı ile kayıt ve çeşitli yazılımlar kullanılarak analiz yapılması yöntemi de kullanılmıştır. Türkiye'de hakemlerin maç performansları ve fizyolojik durumları ile ilgili çok az çalışma olmakla beraber uluslararası literatürde yayınlanan çalışmaların büyük bir kısmında hakemlerin maç içindeki kalp atım hızları ile gerçekleştirdikleri koşu türleri ve koşu mesafelerini incelemekle sınırlı kalmıştır.

Bu çalışmada hakemlerin maç boyunca maruz kaldıkları fiziksel ve fizyolojik zorlanmanın tespit edilmesi, kalp atım hızının sarf edilen efor ile ilgisinin olup olmadığının belirlenmesi ve bu bilgiler ışığında hakemlerin mevcut antrenman programlarının geliştirilmesi için veri sağlanması amaçlanmıştır. Bunun için, öncelikle futbol maçlarının oynandığı sahaların konumları elde edilerek metrik sisteme dönüştürüldü ve saha çizgileri oluşturuldu. Hakemlerin saha içindeki konum ve kalp atım hızı verileri maç boyunca eşzamanlı olarak kaydedildi ve bilgisayara aktarıldı. Özel olarak hazırlanan yazılım aracılığı ile hakemlerin hareket şekilleri, süresi, koşu hızları, kat ettikleri mesafeler ve kalp atım hızıyla ilişkisi, saha kullanımları ve esnek diyagonale uygun koşu sitiline ne kadar uydukları incelendi.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

2.1 Futbol

Dünyada pek çok spor dalı geniş kitleler tarafından takip edilmektedir. Bu spor dalları arasında en yaygın olanı ise futboldur. Başta Güney Amerika ve Avrupa ülkeleri olmak üzere tüm ülkeler tarafından çok sevilmekte ve kitleler tarafından izlenmektedir (Aydın 2008).

Futbolun, günümüzden yaklaşık olarak iki bin yıl önce Çin'den Japonya'ya, Roma'dan Orta Amerika'ya, Avrupa'nın birçok bölgesine kadar uzanan geniş bir coğrafyada oynandığı bilinmektedir (Dikici 2009).

Clive Gifford ise futbolun uyarlanabilir olma özelliğini en güçlü yönü olarak belirtmiştir. Ayrıca futbolun diğer bir güçlü yönü olarak da her yaş ve yeterlilik seviyesindeki insanın oynayabilmesine imkân verdiğini belirtmiştir. Futbol, pahalı malzemeler gerektirmeyen ve hemen hemen her alanda oynanabilen basit bir spor türüdür. Futbolun böylesine kolay ulaşılabilecek kadar basit olması kendisine yeni izleyici kitleleri oluşturmada önemli bir rol oynamaktadır (Gifford 2006).

2.2 Hakem

Futbol maçları futbol kurallarını uygulamakla yükümlü olan hakemler tarafından yönetilir. Hakemler, öncelikle takımlar arasında ve dolayısıyla seyirci ile futbolcular arasında köprü görevi görmektedirler. Maç esnasında bu görevi gerçekleştirirken, önceden belirlenmiş kurallar çerçevesinde karar verirler (Orta 2002). Hakemler futbol kurallarını uygulamada tam yetkilidirler. Hakemler, maçın yönetilmesi ve kuralların uygulanmasında yardımcı hakemler ve dördüncü hakem ile işbirliği yaparlar (FIFA 2013).

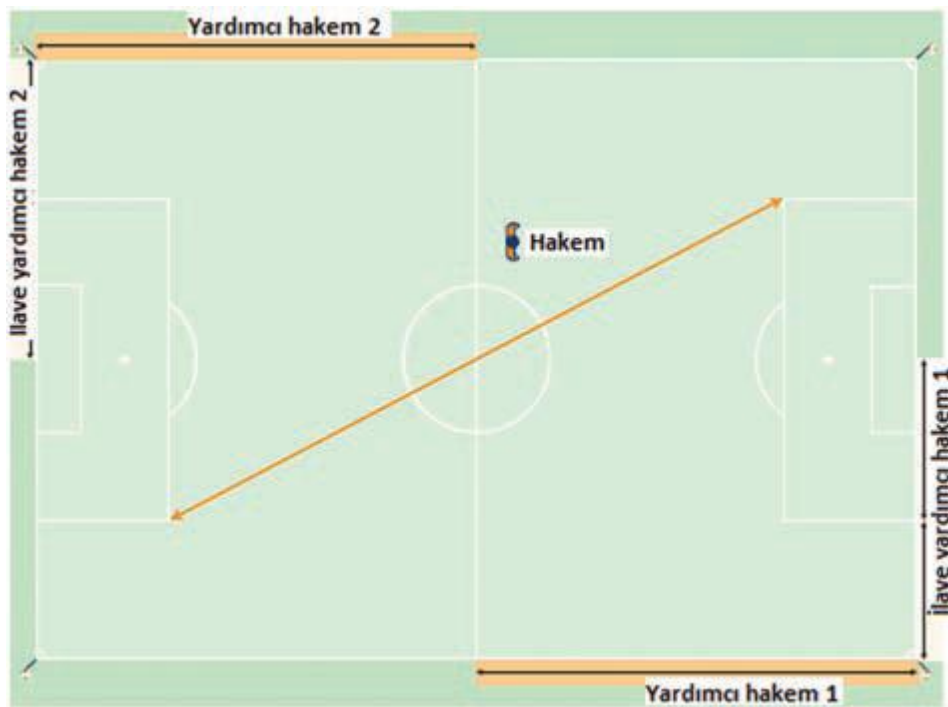
Futbol maçında hakemin rolü çok önemlidir. Doğru kararlar vererek futbol maçının güzel, heyecan verici, centilmenlik içinde geçmesine, yanlış kararlar vererek ise olaylı, kavgalı bir şekilde geçmesine neden olabilirler. Oyunu okuyarak doğru kararlar verebilmek, bilgi, tecrübe, eğitim, konsantrasyon ve kondisyon gerektirir. Hakemler aynı zamanda insan psikolojisinden anlamalı, bireysel ve toplumsal davranışları yorumlayabilmelidir (Orta 2002).

2.2.1 Hakemliğin gelişimi

Tezcan'a göre hakemlik İngiltere'de doğmuş ve 1880 yılında kurumsallaşmaya başlamıştır (Orta 2002). 1878 yılında futbol maçlarında ilk kez düdüğü kullanılmış, futbol kurallarında hakem ilk olarak 1881 yılında yer almıştır. 1884 yılında ise, hakemlerin maçlardaki yetki ve sorumlulukları belirlenmiş ve maçlardaki tek yetkili olmaları sağlanmıştır (Orta 2008). Tezcan, 1905 yılında kurallarda yapılan değişiklikler ile futbol hakemlerinin sahadaki konumlarının günümüzdekine benzer nitelik kazandığını belirtmektedir (Orta 2002).

1920'lere gelindiğinde hakemlerin yönetim biçimi değişmiş ve orta hakemler sahayı diyagonal olarak kullanmış ve kontrol etmişlerdir. Bu, günümüzde kullanılan diyagonal sistemin başlangıcını oluşturmaktadır (Şekil 2.1). Tezcan, bu sistemi şu şekilde tarif etmektedir (Orta 2002).

“Yan hakemler orta çizginin taç hattını kestiği nokta ile kendi koştuğu istikametteki köşe gönderi ve bu yarı sahada bulunan kalenin tam ortasındaki noktanın oluşturduğu üçgenin içersinde bulunan sahayı kontrolleri altında bulundurur, bu sahada meydana gelen olayları hakeme işaret eder, hakem de bu iki üçgenin haricinde kalan kısmı kontrolü altında bulundururdu.”



Şekil 2.1. Diyagonal sistem (FIFA 2013)

Daha sonraki yıllarda, futboldaki profesyonelleşme sürecinden hakemlik de olumlu yönde etkilenmiştir. Futbol oyununun hızlanması, kuralların sürekli değişmesi, rekabetin artması ve kuralların hakemler tarafından yorumlanmasıyla birlikte artan hatalar hakemlerin eğitime önem verilmesini sağlamıştır. Hatta hakemleri, kararlarının hukuki sorumluluğundan korumak için düzenlemeler yapılmıştır.

2.2.2 Hakemin görevleri

Futbol hakemlerinin yetki ve görevleri TFF Merkez Hakem Kurulu'nun yayınladığı Hakem Yardımcı Hakem Dördüncü Hakem ve Gözlemci El Kitabında tanımlanmıştır. Buna göre hakemlerin ana görevi oyun kurallarını uygulamak, maçı yardımcı hakemler ve dördüncü hakem ile işbirliği içinde yönetmektir. Bunun yanında futbol topunun ve takımların formalarının uygunluğunu kontrol eder, maçın süresini

belirler ve ma ile ilgili kayıtları tutarlar. Maçı başlatır, durdurur, erteler ve tatil ederler. İhtar veya ihraç gerektiren bir ihlali yapan futbolcuyu ve sorumlu bir şekilde hareket etmeyen takım yetkililerini cezalandırırlar. Göremedikleri olaylarda, diğer hakemlerin verdiği bilgiye göre karar verirler (TFF 2011).

Futbol maçlarında hakeme yardımcı olmak için her bir ta çizgisi üzerinde bir yardımcı hakem bulunur. Çapraz olarak ayrı yarı sahalarda yer alan yardımcı hakemler sahanın yarısından sorumludurlar ve ellerindeki küçük bayraklarla hakemi uyarırlar. Yardımcı hakemler oyuncu değişikliği, ofsaytları belirleme, topu elle oynama, golü belirleme ve topun oyun alanı dışına çıkışı gibi durumlarda orta hakeme yardımcı olurlar. Dördüncü hakem ise sakatlık durumunda hakemin yerini alır. Ayrıca oyuncu değişikliklerini kontrol eder ve oyunu gözler (TFF 2011).

2.2.3 Hakemlerin futbol maçlarındaki hareket profilleri

Literatürde futbol maçları sırasında, hakemlerin ve yardımcı hakemlerin fiziksel hareket profillerini belirlemek amacıyla çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Söz konusu çalışmalar, futbol maçlarında hakemlerin ve yardımcı hakemlerin saha içindeki hareketlerini incelemek, ma sırasındaki aktivite profillerini tanımlamak, fiziksel performanslarını ve fiziksel gereksinimlerini ölçümlemek, ma sırasındaki ortalama kalp atım hızı, koşu hızı ve kat edilen mesafeleri belirlemek amacıyla gerçekleştirilmişlerdir.

Asami vd (1988), futbol maçlarında hakemlerin saha içindeki hareketlerini incelemek ve iyi hakemlik yapmayı etkileyecek form karakteristiklerini düşünerek veri toplamak amacıyla “Analysis of Movement Patterns of Referees During Soccer Matches” adlı çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, oyunu kontrol eden hakemlerin, doğru karar verebilmeleri için sahada geniş bir alanda bulunmaları gerektiği belirtilmiştir. Futbol oyuncuları hakkında daha önceleri pek çok araştırma yapıldığı ve 90 dakika boyunca ortalama 10 km olmak üzere 8-12 km arasında mesafe kat ettikleri raporlanmıştır. Çalışmanın gerçekleştiği yıla kadar futbolcular hakkında birçok çalışma yapılmasına rağmen hakemler hakkında herhangi bir çalışmanın yapılmadığı belirtilmiştir.

Çalışma sırasında 6 adet üst seviye Japon hakem ve 7 adet yabancı FIFA hakemi kullanılmıştır. Japon hakemlerin yönettiği Japonya Ulusal Birinci Ligindeki 10 ma ve yabancı hakemlerin yönettiği 7 uluslararası ma analiz edilmiştir. Hakemlerin hareketleri, iyi eğitilmiş gözlemciler tarafından, futbol sahasının 1/350 ölçekli haritasına işlenmiştir. Gözlemciler sahayı yukarıdan gören bir yere oturmuşlardır. Her 5 dakikada bir hakem hareketlerinin işlendiği takip çizelgeleri yenisiyle değiştirilmiştir. Böylece her bir yarıda 9 adet ve toplamda 18 adet kayıt tutulmuştur. Çalışmada incelenen 17 maçın 11’inde hakem hareketleri, yürüme, yavaş koşu ve koşu olmak üzere 3 kategoriye ayrılmıştır. Maçtan sonrasında, takip çizgilerinin uzunluğu eğriöler ile belirlenmiştir. Kat edilen mesafe 15 dakikalık ve 45 dakikalık periyotlar ile tüm ma (90 dakika) için toplanmıştır.

Asami vd (1988), Japon hakemlerin ma boyunca ortalama 10168 m, yabancı hakemlerin ise ortalama 9736 m mesafe kat ettiklerini belirlemişlerdir. İncelenen 17

maçta hakemlerin maç boyunca koşu mesafesi 8054 ile 11180 m arasında değişmekte olup ortalama 9990 m olarak hesaplanmıştır. Hakemlerin birinci yarıda ortalama 4881 m, ikinci yarıda ise 5109 m mesafe kat ettikleri gözlenmiştir. Her bir yarı ve tüm maç için Japon hakemler yabancı hakemlerden daha fazla mesafe kat etmişlerdir. Hem Japon hakemlerin hem de yabancı hakemlerin kat ettikleri mesafelerin ikinci yarıda birinci yarıya göre arttığı saptanmıştır. 17 hakemden sadece 2 tanesi ikinci yarıda daha az mesafe kat etmişlerdir. Koşu türleri üzerinde çalışma yapılan 11 üst düzey futbol maçındaki hakemlerin birinci yarıda 4846 m ve ikinci yarıda 5162 m olmak üzere toplam kat ettiği 10008 m mesafenin %48,5'inin yavaş koşu (4851 m), %33,8'inin yürüme (3385 m) ve %17,7'sinin de oldukça yüksek hızlı koşu (1772 m) olduğu tespit edilmiştir.

Catteral vd (1993) gerçekleştirilen "Analysis of the work rates and hearts of association football referees" adlı çalışmada hakemlerin aktivite profillerini tanımlamak ve kalp ritimlerini belirlemek amacıyla 14 futbol hakemi ve 11 lig maçı üzerinde ölçüm yapılmıştır. Her bir maç, orta çizgiye yakın ve yukarıdan bakan bir kamera ile kaydedilmiştir ve hakemin kat ettiği mesafe egzersiz yoğunluğuna göre yürüme, yavaş koşu, hızlı koşu ve geriye koşu olmak üzere 4 seviyeye ayrılmıştır. Her bir seviye için hakemin adım mesafesi hesaplanmıştır. Kayıtlardan hakemin her bir seviye için attığı adım sayısı sayılmış ve adım mesafesi ile çarpılarak kat ettiği mesafe bulunmuştur. Kalp ritminin elde edilmesinde kısa mesafeli radyo sinyalli uzaktan ölçüm cihazı kullanılmıştır. Göğüs kısmından alınan kalp ritim sinyalleri bileğe takılı saate aktarılmış ve daha sonra bu bilgiler bilgisayara yüklenmiştir. Kalp ritmi, maç başlamadan 30 dakika öncesinden maç bitiminden 10 dakika sonrasına kadar 5 sn'de bir kaydedilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre hakemler 90 dakika boyunca 7977 ile 10187 m aralığında olmak üzere ortalama 9438 m mesafe kat etmişlerdir. Maçın ikinci yarısında birinci yarıya göre daha az koşulduğu saptanmıştır. Hakemlerin ortalama 2163 m yürüme, 4444 m yavaş koşu, 1109 m hızlı koşu ve 1722 m geri koşu yaptıkları tespit edilmiştir. En kısa mesafeli aktivitenin, hızlı koşu olduğu belirtilmiştir. İstatistiksel olarak tahmin edilen maksimum kalp ritmi "220-yaş" formülüyle hesaplanmıştır. Bu çalışmada tüm maç boyunca hakemlerin kalp ritim ortalaması dakikada 165 atım olarak bulunmuştur. Bu da maksimum kalp ritminin %95'ine denk geldiği ve üst düzey bir maçta maksimum kalp ritminin dakikada 200 atıma ulaştığı raporlanmıştır. Ölçümlere göre birinci yarı ile ikinci yarı kalp ritimleri arasında belirgin bir fark bulunmamıştır. Bu nedenle koşu mesafesi ile kalp ritmi arasında bir ilişki kurulamadığı belirtilmiştir.

Çalışmada hakemlerin kat ettikleri mesafenin orta saha futbolcuları ile kıyaslanabileceği ve defans oyuncularından ise fazla olabileceği raporlanmıştır. Hakemlerin ikinci yarıdaki koşu mesafelerinin düşüş gösterdiği futbolcularda da gözlenmektedir. Bu durum futbolcuların kas yorgunluğuna bağlı iken hakemlerde böyle bir sonuca ulaşılamamıştır. Kalp ritminin hızlanması fiziksel aktivite ile ortaya çıkan fizyolojik zorlanmanın faydalı bir göstergesi olduğu ve kalp hızının çalışan kaslara oksijen taşımayı kolaylaştırmak için arttığı belirtilmiştir. Kalp hızının psikolojik bileşeni, maç öncesi kalp hızının dakikada 100 atıma kadar yükseldiği gerçeği ile kanıtlanmıştır. Bu çalışma, kalp hızı üzerindeki psikolojik etkinin ağır fiziksel egzersiz sırasında kaybolma eğiliminde olduğunu ve kalp hızının maç sırasında nispeten

istikrarlı olduğunu göstermiştir. Hakemlerin yaşlarının genelde futbolculardan daha fazla olmasına rağmen, kalp ritimlerinin birbirine yakın olduğu saptanmıştır. Bunun nedeni futbolcuların toptan uzak olduklarında hareketten kaçınırlarken, hakemlerin maç boyunca topa yakın olmak için sürekli hareket etmesi olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada saptanan bulgulardan bir diğeri ise hakemlerin hareketlerinin (acyclical) devirsiz olması ve 6 saniyede bir değişmesidir.

Müniroğlu (1999), “Ankara bölgesi futbol hakemlerinin maç sırasındaki kalp atım hızı ile koşu mesafeleri arasındaki ilişkinin incelenmesi” adlı çalışmayı 2. Amatör Kümede görevlendirilmiş Ankara İl Futbol Hakemlerinin kat ettikleri mesafe ve kalp atım hızları arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla gerçekleştirmiştir. Çalışmada, yaş ortalamaları 27,03 yıl, boy ortalamaları 176,9 cm, ağırlık ortalamaları 72,1 kg olan ve 2. Amatör Küme maçlarında görev yapan Ankara bölgesindeki 10 il hakemi incelenmiştir.

Futbol hakemlerinin koşu mesafelerinin analizinde daha önceden belirlenmiş 6 hareket çeşidi kullanılmıştır. Bunlar; sprint, orta şiddette koşu, jog, geriye yürüme, geriye koşma ve yürümedir. Bu hareket çeşitlerinin, 1/400 ölçekli futbol sahasına sembollerle işaretlendiği belirtilmiştir. Katılımcıların kalp atım hızlarının belirlenmesinde hafızalı saatler (Polar) kullanılmış ve maç boyunca hakemlerin kalp atım hızları 5 sn aralıklarla kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler bir arayüz yardımıyla bilgisayara aktarılmış ve ortalama kalp atım hızı hesaplanmıştır. Anaerobik eşik kalp atım hızının belirlenmesi için Conconi testinin uygulandığı raporlanmıştır. Buna göre çevresi 100 m olan ve 20 m aralıklarla koni işaretleri konulmuş koşu pistinde 12 km/h hızla başlayan ve her 200 metrede bir 0,5 km/h hız artımı ile devam eden koşu testi yapılmıştır. Hakemler, teypten gelen sinyaller doğrultusunda koni işaretlerini arka arkaya 3 kez yakalayamadıklarında testin bitirildiği raporlanmıştır.

Müniroğlu (1999), hakemlerin maçın ilk yarısında 2757,5 m, ikinci yarısında 3008,9 m olmak üzere maç boyunca kat ettikleri toplam mesafenin ortalamasının 5766,4 m olduğunu belirtmiştir. Hakemlerin daha çok orta şiddette koşu, jog ve yürüme hareketlerini yaptıkları raporlanmıştır. Sırasıyla ilk yarı ve ikinci yarı olmak üzere hakemlerin orta şiddette koşu hareketinde 867 m ve 853 m, jog hareketinde 657,4 m ve 855,6 m, yürüme hareketinde 443,4 m ve 456,4 m mesafe kat ettikleri belirlenmiştir. Maçlardaki ortalama kalp atım hızları 155,06 atım/dk bulunmuş olup, ilk yarıda 156,22 atım/dk, ikinci yarıda 153,89 atım/dk olarak gerçekleşmiştir. Ortalama kalp atım hızının, 176,5 atım/dk olarak belirlenen anaerobik eşik kalp atım hızı ortalamasının %87,62'sine denk geldiği belirtilmiştir. Anaerobik eşik koşu hızı ortalamasının ise 3,6 m/sn olarak hesaplandığı raporlanmıştır.

Eniseler vd (1999), futbol hakem ve yardımcı hakemlerinin maç boyunca kat ettikleri toplam mesafeyi, maç sırasında gerçekleştirdikleri koşu türlerini, koşu türlerinde kat ettikleri mesafeleri, geçen süreleri ve koşu tekrar sayılarını belirlemek amacıyla “Hakem ve yardımcı hakemlerin futbol müsabakası boyunca hareket şekillerinin karşılaştırmalı olarak analizi” adlı çalışmayı yapmışlardır. Çalışmada 1997-98 sezonunda Manisa bölgesinde oynanan 2. ve 3. Türkiye Ligi maçlarında görev yapan 10 hakem ve 10 yardımcı hakem incelenmiştir.

Hakemlerin iki kamera kullanılarak kaydedildiği ve hareket şekillerinin analizi için özel bir bilgisayar programının hazırlandığı belirtilmiştir. Programda her bir koşu türü için ayrı bir tuşun tanımlandığı, bir tuşa basıldığında ilgili koşu türünün kronometresinin çalışmaya başladığı, diğer bir tuşa basıldığında önceki koşu türü kronometresinin durduğu ve ilgili koşu türü kronometresinin çalışmaya başladığı raporlanmıştır. Tuşa basma işlemi, video görüntülerini izleyip koşu şekillerini yorumlayan gözlemci tarafından yapılmıştır. Program, koşu türlerinde kat edilen mesafeleri, geçen süreleri ve koşu tekrar sayılarının hesaplayacak şekilde hazırlandığı raporlanmıştır. Bu analiz yönteminin Bangsbo (1992) tarafından kullanılan yöntemle benzer özellikler taşıdığı belirtilmiştir. Hakemlerin koşu şekilleri ve hızları Reilly tarafından yapılan sınıflandırmaya uyumu olacak şekilde oluşturulmuştur; yürüme (6 km/h), jogging (10 km/h), orta tempo koşu (18 km/h), yüksek tempo koşu (24 km/h), sprint (>30 km/h) ve yan geri koşu (12 km/h).

Eniseler vd (1999) çalışma sonucunda, futbol maçı sırasında hakemlerin ortalama 10265 m, yardımcı hakemlerin 7228 m mesafe kat ettikleri sonucuna ulaşmışlardır. Hakemler ortalama olarak 3701 m yürüme, 2933 m jogging, 1834 m orta tempo koşu, 375,5 m yüksek tempo koşu, 81,5 m sprint, 1143 m yan geri koşu mesafesi kat ederken yardımcı hakemler 3705 m yürüme, 1015,7 m jogging, 674,1 m orta tempo koşu, 177,2 m yüksek tempo koşu, 21 m sprint, 1652 m yan geri koşu mesafesi kat etmişlerdir. Hakemler 3,12 sn ortalama süre ile 340 defa, yardımcı hakemler ise 4,09 sn ortalama süre ile 493,4 defa durma hareketini yapmışlardır. Hakemleri yaptıkları 1582,1 hareketin 517,4'ünü yürüme, 417,4'ünün jogging sırasında, yardımcı hakemler yaptıkları 1541,3 hareketin 501,9'unu yürüme, 223'ünü yan geri koşu, 218,3'ünü jogging sırasında gerçekleştirmişlerdir. Koşu şekillerinde geçen sürelerle bakıldığında bir defada harcanan en yüksek süre yürüme hareketi sırasında meydana gelmiştir. Hakemler için yürüme hareketi sırasında bir defada geçen süre 4,34 sn iken yardımcı hakemler için bu süre 4,5 sn olmuştur.

Castagna ve D'Ottavio (2001), "Effect of maximal aerobic power on match performance in elite soccer referees" adlı çalışmalarını, son derece rekabetçi maçlarda hakemlerin en yüksek derecedeki aerobik gücünün maç performansına etkisi olup olmadığını belirlemek amacıyla yapmışlardır. Çalışmada İtalya Seri A ve B liginde 5 sezon görev yapan, en az 20 yıl deneyimli 8 üst düzey hakem, 1992-1993 ve 1993-1994 sezonlarındaki 16 maçta incelenmiştir. Hakemlerin ortalama yaşı 37,6 yıl, ortalama boyu 182,9 cm ve ortalama ağırlığı 77,6 kg olarak ölçülmüştür.

Hakemler, tüm maç boyunca kodlayıcılar ile donatılmış uçayak bağlı iki kamera ile gözlenmiştir. Kameralar futbol sahasının kenar çizgilerinin birinden yaklaşık 10 m uzaklığa kurulmuştur. Kodlayıcılar tarafından elde edilen açı sinyalleri maç sonrası analiz için sıralı olarak dijital veriye dönüştürülmüş ve diske kaydedilmiştir. Yazılım yardımıyla kaydedilen verilerden maç kategorilerindeki kat edilen mesafe ve harcanan zaman bilgileri elde edilmiştir.

Bu çalışmada maç aktivitelerinin analizi 11 kategoride sınıflandırılmıştır. Bunlar; (a) ayakta durma, (b) ileri yürüme, (c) düşük hızda koşu (13 km/h'den az), (d) orta hızda koşu (13,1-18 km/h), (e) yüksek hızda koşu (18,1-24 km/h), (f) maksimum hızda koşu (24 km/h'den daha yüksek hız), (g) geriye yürüme, (h) geriye doğru koşu (i)

yan koşu, (j) yüksek hızda aktivite (hızı 18,1 km/h'den daha yüksek hızlarda gerçekleştirilen faaliyetlerin toplamı) ve (k) alışılmışın dışındaki hareketler (geriye doğru koşu + yan koşu). Mesafelerin ölçümü için kullanılan bu metodun geçerliliği ve güvenilirliğinin D'Ottavio ve Castagna tarafından yapılan çalışmada raporlandığı belirtilmiştir.

Hakemlerin en yüksek oksijen tüketimi çok aşamalı bir protokol ile değerlendirilmiştir. Her 20 metrede bir koni ile işaretlenmiş pistte test koşusu uygulanmıştır. İki dakikalık sürede 8 km/h hızla koşmuşlardır. Yorulana kadar hız her iki dakikada 2 km/h arttırılmıştır. Test süresince verilen nefes, taşınabilir uzaktan ölçüm sistemi K2 ile analiz edilmiştir. K2 sistemi her hakemin göğüs kısmına bağlanmıştır. Verilen nefes her 15 saniyede analiz edilmiş ve bilgiler K2 alıcı ünitesine iletilmiştir. Her bir testten önce K2 sistemi kalibre edilmiştir.

Çalışma sonunda, bir futbol maçında hakemlerin ilk yarı 347 sn, ikinci yarı 428 sn ve toplamda 775 sn ayakta durdukları tespit edilmiştir. Bu sürenin, toplam oyun zamanının %14'ünü kapsadığı belirtilmiştir. Maç süresince toplam kat edilen mesafe 10054 ile 12792 m aralığında değişmekle beraber ortalama 11584 m hesaplanmıştır. Maç içinde hakemlerin yaptıkları aktivitelerde kat ettikleri mesafeler Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Elde edilen verilere göre maç süresince en yüksek oksijen tüketimi değeri salt koşullarda 3,75 L/dk, bağıl koşullarda ise 49,3 ml/kg.dk bulunmuştur. Salt ve bağıl koşullardaki en yüksek oksijen tüketimi değerleri ile maç süresince orta hızda koşu aktivitesinde ve maç boyunca kat edilen mesafeler arasında anlamlı bir ilişki tespit edildiği belirtilmiştir.

Çizelge 2.1. Maç boyunca aktivitelerde kat edilen mesafeler (Castagna ve D'Ottavio 2001)

	Düşük hızda koşu (m)	Orta hızda koşu (m)	Yüksek hızda koşu (m)	Süratli koşu (m)	İleri yürüme (m)	Toplam (m)
Birinci yarı	2434	1450	717	251	470	5977
İkinci yarı	2406	1294	719	226	505	5606
Toplam	4840	2744	1436	477	975	11584

D'Ottavio ve Castagna'nın (2001a) gerçekleştirdikleri çalışma ise, "Analysis of match activities in elite soccer referees during actual match play" adlı çalışmadır. Bu çalışmada İtalyan hakemlerin maç sırasındaki aktivite profil detaylarını belirlemek amacıyla Ulusal Hakem Kurulu'na (CAN) kayıtlı, İtalya Seri A ve B liglerinde görev yapan deneyimli üst düzey hakemleri, İtalya Seri A liginin 1992-1993, 1993-1994, 1994-1995 ve 1995-1996 sezonlarında incelemişlerdir. Çalışma sırasında yaş ortalaması 37,8 olan hakemlerden her biri en az 1 ve en fazla 6 kez olmak üzere toplam 96 maçta gözlemlenmiştir. Hakemlerin aktivite profilleri hakkında ulaşılan bilgilerin özel eğitim programlarının geliştirilmesinde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Çalışmada hakemler, ölçüm cihazları ile donatılmış bir üçayak takılı iki kamera ile tüm maç boyunca gözlenmiştir. Kameralar futbol sahası kenar çizgilerinin birinden yaklaşık 10 m uzaklıkta kurulmuştur. Kodlayıcılar ile edinilen açıların sinyalleri, ardışık olarak dijital veri haline dönüştürülmüş ve maç sonrası analiz için bir diskete kaydedilmiştir. Bu çalışmada, maç faaliyetlerinin analizi aşağıdaki kategoriler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir: (a) ayakta durma, (b) ileri yürüme, (c) düşük hızda koşma (13 km/h'den az), (d) orta hızda koşma (13,1-18 km/h), (e) yüksek hızda koşma (18,1-24 km/h), (f) maksimum hızda koşma (24 km/h'den daha yüksek hız), (g) geriye yürüme, (h) geriye doğru koşma (i) yan koşma, (j) yüksek yoğunluklu aktivite (hızı 18,1 km/h'den daha yüksek hızlarda gerçekleştirilen faaliyetlerin toplamı) ve (k) alışılmışın dışındaki hareketler (geriye doğru koşu + yan koşu).

Çalışma sonucunda uzatmalarla birlikte yaklaşık 95 dakikalık bir maç sırasında hakemlerin toplam kat ettikleri mesafenin ortalama 11469 m olmak üzere 7818 ile 14156 m arasında değiştiği belirlenmiştir. Bunun 945 metresi ileriye doğru yürüme, 4577 metresi düşük hızda koşma, 2746 metresi orta hızda koşma, 1546 metresi yüksek hızda koşma, 427 metresi maksimum hızda koşma olarak gerçekleştiği raporlanmıştır. Bu doğrultuda yüksek yoğunluklu aktiviteler 1973 m ile maçta kat edilen toplam mesafenin %17,2 sine tekabül ettiği belirtilmiştir. Hakemler, toplam maç süresinin %14,6'sına denk gelen 832 saniye ayakta durmuşlardır. Bu sürenin 385 saniyesi birinci yarıda, 447 saniyesi ise ikinci yarıda gerçekleşmiştir. Hakemler maçların birinci yarısında 5854 m ve ikinci yarısında ise 5612 m mesafe kat etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen veriler maçın ikinci yarısında kat edilen mesafede belirgin bir düşüş olduğunu göstermiştir. Sırasıyla birinci yarı ve ikinci yarı olmak üzere düşük hızda koşu 2295 ve 2282 m, orta hızda koşu 1481 ve 1342 m, yüksek hızda koşu 794 ve 752 m, ileri doğru yürüme 461 ve 486 m, maksimum hızda koşu ise 202 ve 225 m olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada elde edilen veriler üst düzey maçlarda hakemliğin fiziksel olarak yorucu bir faaliyet olduğunu ve yüksek yoğunluklu aktivitelerin ayrık dönemlerinin 30 metreyi geçmeyeceğini göstermiştir.

D'Ottavio ve Castagna (2001b), "Physiological load imposed on elite soccer referees during actual match play" adlı çalışmalarında üst düzey İtalyan futbol hakemlerinin fizyolojik tepkilerini ve aktivite profil detaylarını incelemişlerdir. Çalışmaya, CAN'a kayıtlı, İtalya Seri A ve B liglerinde görev yapan deneyimli üst düzey 18 hakem katılmıştır. Çalışma başlamadan önce araştırma hakkında detaylı açıklamalar yapılmış ve katılımcılardan şartları kabul ettiklerini belirten sözlü onayları alınmıştır. Hakemler, İtalya Seri A ligi 1992-1993 sezonu boyunca incelenmiştir. Çalışma sırasında hakemlerin yaş ortalaması 37,5 yıl olarak tespit edilmiştir.

Çalışmada hakemler tüm maç boyunca, kodlayıcılar ile donatılmış bir üçayak takılı iki kamera ile gözlenmiştir. Kameralar futbol sahası kenar çizgilerinin birinden yaklaşık 10 m uzaklıkta kurulmuştur. Kodlayıcılar ile elde edilen açıların sinyalleri, ardışık olarak dijital veriye dönüştürülmüş ve maç sonrası analiz için bir diske kaydedilmiştir. Maç aktivitelerinin analizi aşağıdaki kategoriler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

1. Durma,
2. İleri yürüme,

3. Düşük hızda koşu (13 km/h'den az),
4. Orta hızda koşu (13,1-18 km/h),
5. Yüksek hızda koşu (18,1-24 km/h),
6. En yüksek hızda koşu (24 km/h'den daha yüksek hız),
7. Geriye yürüme,
8. Geriye koşu,
9. Yan koşu,
10. Yüksek yoğunluklu aktiviteler (hızı 13,1 km/h'den daha yüksek hızlarda gerçekleştirilen faaliyetlerin toplamı)
11. Alışılmışın dışındaki hareketler (geriye koşu + yan koşu).

Kalp atım hızı, kısa mesafeli radyo uzaktan ölçüm sistemi ile 5 saniyede bir kaydedilmiştir. Hakemler, kalp atım sinyallerini bileğe takılmış alıcıya ileten göğüs izleme cihazı takmışlardır. Hakemlerin en yüksek kalp atım hızının tahmininde "220-yaş" formülünün kullanıldığı belirtilmiştir.

D'Ottavio ve Castagna (2001b) tüm maç boyunca hakemlerin ortalama kalp atım hızını 163 atım/dk olarak hesaplamışlardır. Bu değer, tahmin edilen en yüksek kalp atım hızının %89,1'ine denk geldiği saptanmıştır. Ortalama kalp atım hızı maçın ilk devresinde 163 atım/dk, ikinci devresinde 162 atım/dk olarak gerçekleşmiştir. Ortalama kalp atım hızı maçın ilk devrenin 15 dakikalık bölümlerinde sırasıyla 159 atım/dk, 165 atım/dk ve 163 atım/dk, ikinci devresinin 15 dakikalık bölümlerinde ise sırasıyla 161 atım/dk, 163 atım/dk ve 162 atım/dk tespit edilmiştir.

D'Ottavio ve Castagna (2001b) çalışma sonunda hakemlerin ilk devrede 462 sn, ikinci devrede 505 sn olmak üzere maç boyunca ortalama 968 sn durdukları belirtilmiştir. Bu sürelerin sırasıyla, maçın ilk devre süresinin %16,2'sine, ikinci devre süresinin %17,6'sına ve toplam maç süresinin %16,9'una denk geldiği saptanmıştır. Hakemlerin maç boyunca kat ettikleri toplam mesafe 7818 m ile 13063 m aralığında olmak üzere ortalama 11376 m tespit edilmiştir. Hakemler ortalama olarak 889 m ileri yürüme, 68 m geri yürüme, 4174 m düşük hızda koşu, 2585 m orta hızda koşu, 1556 m yüksek hızda koşu, 608 m en yüksek hızda koşu, 181 m yan koşu, 1315 m geriye koşu aktivitesi yapmışlardır. Düşük, orta, yüksek ve en yüksek hızda koşu aktivitelerinin gruplandığı yüksek yoğunluklu aktivitelerde 4749 m mesafe kat etmişlerdir. Bu da, maç boyunca kat edilen toplam mesafenin %41,7'sine denk gelmiştir. Maçın yarı devreleri için bazı aktivitelerde kat edilen mesafeler Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Maçın yarı devreleri için bazı aktivitelerde kat edilen mesafeler (D'Ottavio ve Castagna 2001b)

	İleri yürüme (m)	Düşük hızda koşu (m)	Orta hızda koşu (m)	Yüksek hızda koşu (m)	En yüksek hızda koşu (m)	Toplam (m)
Birinci devre	429	2040	1314	767	301	5757
İkinci devre	460	2134	1271	789	307	5619
Toplam	889	4174	2585	1556	608	11376

Yine 2001 yılında yayınlanan diğer bir çalışma ise, Krusturp ve Bangsbo (2001) tarafından yapılan, “Physiological demands of top-class soccer refereeing in relation to physical capacity: effect of intense intermittent exercise training” adlı çalışmadır. Bu çalışmayı, rekabetçi futbol maçlarında üst düzey hakemlerin aktivite şekillerini ve fizyolojik gereksinimlerini incelemek, maç sırasındaki fiziksel performansları ölçmek için aralıklı testin kullanılabilir olup olmadığını belirlemek ve hakemlerin maç performanslarına aralıklı egzersiz eğitimlerinin etkisini incelemek amacıyla yapmışlardır. Çalışmaya katılan 27 erkek hakemin yaş ortalaması 29-47 yıl aralığında 38 yıl, boy ortalaması 169-195 cm aralığında 182 cm, ağırlık ortalaması 69,3-101,6 kg aralığında 83 kg olarak hesaplanmıştır. Yedi tanesi FIFA lisansına sahip olan 12 katılımcı Danimarka üst liginde 7 yıldan daha fazla deneyime sahip üst düzey hakemler iken geri kalan 15 hakem Danimarka ikinci liginde en az 4 yıl deneyimli yüksek standarda sahip hakemlerdir. Hakemlere deneysel süreç hakkında tam olarak bilgi verilmiş ve onlardan katılımcı olacaklarına dair onay alınmıştır.

Bu çalışmanın maç analizi ve fizyolojik ölçümleri için, 1997-98 sezonunun ilk yarısında oynanan 43 maç filme alınmış ve analiz edilmiştir. Filme alma sırasında sahanın yan tarafında ve orta çizgi hizasında olup yerden yaklaşık 15 m yüksekliğe ve sahadan 30 m uzaklığa konumlandırılan 2 kamera kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan kameralardan biri hareket aktivitelerini ölçmek için maç sırasında hakemi yakın çekim filme alırken, diğer kamera ise ihlallerden uzaklığı ölçmek için hakemi geniş açıyla filme almıştır. İhlallerden uzaklık, orta çizgiden her iki tarafa doğru ilk 20 metrelik alan olan orta bölge ve sahanın geri kalanı hücum bölgesi olarak iki bölgede kaydedilmiştir. Hareket analizi için aşağıdaki hareket kategorilerinin, durma (0 km/h), yürüme (6 km/h), yavaş koşu (8 km/h), düşük hızda koşu (12 km/h), orta hızda koşu (15 km/h), yüksek hızda koşu (18 km/h), süratli koşu (25 km/h) ve geri koşu (10 km/h) olarak Bangsbo'nun çalışmasına uygun olacak şekilde seçildiği belirtilmiştir. Bu aktiviteler daha sonra 4 ana grupta toplanmıştır. Bunlar; 1) durma 2) yürüme 3) yavaş koşu, düşük hızda koşu ve geri koşudan oluşan düşük yoğunluklu koşu 4) orta hızda koşu, yüksek hızda koşu ve süratli koşudan oluşan yüksek yoğunluklu koşudan oluşmaktadır. Her bir aktivitenin frekansı ve süresi kaydedilmiş ve kat edilen mesafeler aktivite sırasında geçen süre ile ortalama hızın çarpımıyla elde edilmiştir. Maç sırasındaki toplam kat edilen mesafe ise her bir aktivitede kat edilen mesafelerin toplamı olarak hesaplanmıştır.

Kalp atım hızı, toplamda yaklaşık 100 gr ağırlığındaki göğüs izleme cihazı ve bileğe takılan alıcıyı da içeren kalp atım hızı izleme cihazı (Polar Electro Oy) kullanılarak 5 saniye aralıklarla kaydedilmiştir. Cihazlar, başlama vuruşundan yaklaşık 45 dakika önce hakemlere takılmıştır. Maksimum kalp atım hızı, sırasıyla 5 ve 15 saniyelik dönemlerde ulaşılan zirve değerleri olarak belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda 27 hakem ortalama olarak maç süresinin %21,8'inde durma, %41,4'ünde yürüme, %30,2'sinde düşük yoğunluklu koşu, %6,6'sında yüksek yoğunluklu koşu aktivitesi yapmışlardır. Düşük yoğunluklu koşu sayısı 2,9 sn ortalama süre ile 588 adet, yüksek yoğunluklu koşu sayısı 2,3 sn ortalama süre ile 161 adet, yürüme aktivite sayısı 6,4 sn ortalama süre ile 361 adet, maçtaki toplam aktivite sayısı 4,3 sn ortalama süre ile 1269 adet gerçekleşmiştir. Maç boyunca toplam kat edilen mesafe 9,2-11,49 km aralığında ortalama 10,07 km hesaplanmıştır. Maçın iki yarısı arasında belirgin bir fark bulunmadığı belirtilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular

doğrultusunda üst düzey hakemler yüksek standarda sahip hakemlere göre biraz daha fazla mesafe kat ettikleri saptanmıştır. Hakemler yürüme aktivitesinde 3,87 km, yavaş koşuda 1,94 km, düşük hızda koşuda 1,69 km mesafe kat edilmiştir. Yüksek yoğunluklu koşu için ilk yarıda 0,89 km mesafe kat edilmişken ikinci yarıda 0,78 km mesafe kat edilmiştir.

Maç boyunca ihlallerden uzaklık orta bölge için 11 m, hücum bölgesi için 15 m olarak tespit edilmiştir. Hücum bölgesindeki ihlallerden ortalama uzaklık ilk 15 dakikalık dönemde 13 m iken gitgide artarak son 15 dakikalık dönemde 17 m olmuştur. İhlallerden uzaklık için kaydedilen en yüksek beş değer ortalama orta bölge için 16 m, hücum bölgesi için 23 m hesaplanmıştır.

Hakemlerin ortalama kalp atım hızı, 190 atım/dk'lık maksimum kalp atım hızı ortalamasının %85'ine denk gelen 162 atım/dk olarak tespit edilmiştir. Ortalama kalp atım hızı her iki yarı için de ilk 15 dakikalık dönemden son 15 dakikalık döneme doğru artış gösterdiği saptanmıştır. Toplam maç süresinin %56,3'ünde kalp atım hızı 150 ile 170 atım/dk arasında, %26,8'inde 170 atım/dk'nın üzerinde gözlenmiştir. Çalışma sonucunda üst düzey hakemler ile yüksek standarda sahip hakemlerin ortalama kalp atım hızları arasında belirgin bir fark bulunmadığı tespit edilmiştir. Maç sırasında kalp atım hızının zirve değeri 184 atım/dk olarak gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır.

Harley vd (2001), Sussex Bölge Ligi hakemlerinin maç sırasındaki fizyolojik zorlanma ve çalışma oranı ile saha içi pozisyonlarının kalitesi arasında bir ilişki olup olmadığını değerlendirmek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaya yaş ortalaması 37,5 yıl ve ağırlık ortalaması 82,1 kg olan 14 bölgesel lig hakemi katılmıştır. Katılımcılar, Sussex Bölge Ligi 1997-1998 sezonunun ilk bölümündeki maçlarda incelendiği belirtilmiştir.

Her hakem, yarı saha çizgisine yakın olacak şekilde sahayı yukarıdan görecektir tribünden veya taç çizgisi civarındaki en uygun yerden maçın 90 dakikası boyunca videoya kaydedilmiştir. Kat edilen mesafeler yürüme, yavaş koşu, hızlı koşu ve geri koşu olacak şekilde 4 kategoriye ayrılmıştır. Maçtan önce, her bir kategori için 5 defa olmak üzere, orta yuvarlak boyunca hakem hareketinin izlenmesi ile her bir hakemin kategoriler için adım uzunluğu belirlenmiştir. Son üç denemedeki mesafeler ortalama adım sayısına bölünerek ortalama adım uzunluğu hesaplanmıştır. Maçın ilk ve ikinci devresi için kat edilen mesafe, her bir hareket kategorisinde elde edilen adım sayısı ile uygun adım uzunluğunun çarpılması ve bu çarpımların toplanmasıyla tahmin edilmiştir. Fizyolojik analiz için hakemlerin kalp atım hızı, kalp atım hızı ölçüm cihazı (Polar) kullanılarak maç boyunca kaydedilmiştir.

Harley vd (2001) çalışma sonunda hakemlerin maç boyunca 5760 m ile 8979 m aralığında olmak üzere ortalama 7496 m mesafe kat ettiklerini belirlemişlerdir. Bu mesafe dâhilinde 3137 m yürüme, 3475 m yavaş koşu, 225 m hızlı koşu ve 660 m geri koşu yaptıkları raporlanmıştır. Çalışmaya katılan 14 hakemin maçın ilk devresinde ortalama 4017 m, ikinci devresinde ise ortalama 3479 m mesafe kat ettikleri belirtilmiştir. Maç boyunca hakemlerin kalp atım hızları 145 atım/dk ile 180 atım/dk arasında değişmekle beraber ortalama 162 atım/dk olarak saptanmıştır. Ortalama kalp

atım hızları maçın ilk devresinde 164 atım/dk, ikinci devresinde 160 atım/dk olarak gerçekleşmiştir.

Castagna vd (2002a), İtalyan hakemlerin saha test sonuçları ile maç performansları arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla “Relation between fitness tests and match performance in elite Italian soccer referees” adlı çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaya, CAN’a kayıtlı, İtalya Seri A ve B liglerinde görev yapan deneyimli üst düzey 22 hakem katılmıştır. Her bir hakemin en az 20 yıl mesleki deneyimine sahip olduğu, Seri A ve B liglerinde 5 yıl görev yaptıkları ve 5 hakemin uluslar arası düzeyde hakem olduğu belirtilmiştir. Yaş ortalaması 37 yıl, boy ortalaması 182 cm ve ağırlık ortalaması 76,8 kg olan hakemler 1994-1995 ve 1995-1996 sezonları boyunca gözlemlenmiştir. Çalışma başlamadan önce araştırma hakkında detaylı açıklamalar yapılmış ve katılımcılardan şartları kabul ettiklerini belirten yazılı onayları alınmıştır.

Çalışmada hakemler tüm maç boyunca, kodlayıcılar ile donatılmış bir üçayak takılı iki kamera ile gözlenmiştir. Kameralar futbol sahası kenar çizgilerinin birinden yaklaşık 10 m uzaklıkta kurulmuştur. Kodlayıcılar ile edinilen sinyaller, ardışık olarak dijital veri haline dönüştürülmüş ve maç sonrası analiz için bir diske kaydedilmiştir. Maç aktivitelerinin analizi; (a) ayakta durma, (b) ileri yürüme, (c) düşük hızda koşu (13 km/h'den az), (d) orta hızda koşu (13,1-18 km/h), (e) yüksek hızda koşu (18,1-24 km/h), (f) en yüksek hızda koşu (24 km/h'den daha yüksek hız), (g) geriye yürüme, (h) geriye koşu (i) yan koşu, (j) yüksek yoğunluklu aktiviteler (hızı 18,1 km/h'den daha yüksek hızlarda gerçekleştirilen faaliyetlerin toplamı) ve (k) alışılmamış dışındaki hareketler (geriye doğru koşu + yan koşu) kategorileri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Castagna vd (2002a) çalışma sonunda hakemlerin birinci devrede ortalama 5922 m, ikinci devrede ortalama 5705 m ve toplamda ortalama 11638 m mesafe kat ettiklerini belirlemişlerdir. İlk devre, ikinci devre ve tüm maç boyunca aktivitelerde kat edilen mesafeler Çizelge 2.3'te gösterilmiştir. Ortalama maç süresinin 95 dk olduğu ve hakemlerin ilk devrede 392 sn, ikinci devrede 429 sn olmak üzere maç süresince 822 sn durduğu raporlanmıştır.

Çizelge 2.3. Hakemlerin maç kategorilerinde kat ettikleri mesafeler (Castagna vd. 2002a)

	İlk devre (m)	İkinci devre (m)	Tüm maç (m)
Yürüme	466	490	956
Düşük hızda koşu	2356	2379	4735
Orta hızda koşu	1483	1357	2840
Yüksek hızda koşu	819	762	1581
En yüksek hızda koşu	195	202	397
Geriye yürüme	22	20	42
Geriye koşu	517	445	961
Yan koşu	63	38	101
Yüksek yoğunluklu aktiviteler	1014	964	1979
Toplam mesafe	5922	5705	11638

Castagna vd (2002b), üst düzey futbol hakemlerinin elit maçlardaki aktiviteleri ile kan laktat eşik değerleri arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla “The relationship between selected blood lactate thresholds and match performance in elite soccer referees” adlı çalışmayı yapmışlardır. Çalışmaya, CAN’a kayıtlı, İtalya Seri A ve B liglerinde görev yapan, deneyimli, üst düzey 8 hakem katılmıştır. Katılımcıların, Seri A ve B liglerinde 5 yıl görev yapmış olmakla birlikte en az 20 yıl mesleki deneyimine sahip hakemler oldukları ve 3 hakemin uluslar arası düzeyde hakem olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, yaş ortalaması 37,6 yıl, boy ortalaması 182,9 cm ve ağırlık ortalaması 77,6 kg olan hakemler 1995-1996 ve 1996-1997 sezonlarındaki 16 maçta gözlemlenmiştir.

Çalışmada hakemler, kodlayıcılar ile donatılmış bir üçayak takılı iki kamera ile tüm maç boyunca gözlenmiştir. Kameralar futbol sahası kenar çizgilerinin birinden yaklaşık 10 m uzaklıkta kurulmuştur. Kodlayıcılar ile edinilen açıların sinyalleri, ardışık olarak dijital veri haline dönüştürülmüş ve maç sonrası analiz için bir diskete kaydedilmiştir. Her bir maç kategorisi için harcanan zaman ve kat edilen mesafe özel yazılım kullanılarak sağlanmıştır. Maç aktivitelerinin analizi (a) yüksek yoğunluklu koşu (18,1-24 km/h), (b) maksimum hızda koşu (24 km/h'den daha yüksek hız), (c) yüksek yoğunluklu aktivite (hızı 18,1 km/h'den daha yüksek hızlarda gerçekleştirilen faaliyetlerin toplamı) ve (d) toplam kat edilen mesafe kategorileri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Katılımcılara saha koşulları altında yürütülen çok etaplı bir uygulama ile kan laktat değerlendirmesi yapılmıştır. Her 20 metreye konulan koniler ile işaretlenmiş koşu pistinde test koşusu gerçekleştirmişlerdir. 2 dakika boyunca 8 km/h hızla, daha sonra hızları her 2 dakikada 2 km/h artarak bitkin düşene kadar koşmuşlardır. Hızlar, ses kasetinden yayınlanan uyarı sesi yardımıyla attırılmıştır. Her aşamanın sonunda hakemler kan numunesi almak için durdurulmuştur. Kan numunesi, test uygulamasının başlamadan önce ve her 2 dakikalık aşamanın sonunda hemen alınmıştır. Dayanıklılık performansını değerlendirmek için 2 ve 4 mmol/L'lik kan laktat yoğunlukları seçilmiş ve bu yoğunluklarda ulaşılan hız değerleri V2 ve V4 olarak belirlenmiştir.

Çalışma sonunda hakemlerin ortalama olarak maçın ilk yarısında 5977 m, ikinci yarısında 5606 m ve tüm maç boyunca 11584 m mesafe kat ettikleri hesaplanmıştır. İlk yarıda 717 m yüksek yoğunluklu koşu ve 251 m maksimum hızda koşu olmak üzere 969 m yüksek yoğunluklu aktivite yaparken ikinci yarıda 719 m yüksek yoğunluklu koşu ve 226 m maksimum hızda koşu olmak üzere 944 m yüksek yoğunluklu aktivite gerçekleştirmişlerdir. Castagna vd, maç boyunca toplam kat edilen mesafenin 1913 metresinin yüksek yoğunluklu aktivite sırasında kat edildiğini belirtmişlerdir.

Ortalama hız, 2 mmol/L kan laktat yoğunluğu için 10,9 km/h, 4 mmol/L için 13,6 km/h bulunmuştur. Ortalama zirve laktat değeri 9,4 mmol/L olarak hesaplanmıştır. 4 mmol/L kan laktat yoğunluğunda ulaşılan koşu hızı, üst düzey hakemlerin maç boyunca kat ettikleri toplam mesafe ile kısmen ilişkilendirilmiştir. Castagna vd bu kan laktat eşik değerinin, üst düzey futbol hakemlerinin dayanıklılıklarının değerlendirilmesinde kullanışlı olabileceğini belirtmişlerdir.

Castagna ve Abt (2003), “Intermatch Variation of Match Activity in Elite Italian Soccer Referees” adlı çalışmada özellikle yüksek yoğunluklu aktiviteler olmak üzere maç aktivitelerini ve üst düzey futbol hakemlerinin maçlar arasındaki performans değişimlerini incelemişlerdir. Ayrıca maçlar, hakemler tarafından kat edilen toplam mesafeler açısından kısa maçlar ve uzun maçlar olarak ayrılmış ve bu maçlar arasındaki aktivite farklılıkları da ölçülmüştür. Çalışmaya, Ulusal Hakem Kuruluna (CAN) kayıtlı, İtalya Seri A ve B liglerinde görev yapan, deneyimli, üst düzey 14 hakem katılmıştır. Seri A liginin, İtalya’da futbol oynanan en yüksek lig olduğu belirtilmiştir. Yaş ortalaması 37 yıl, boy ortalaması 180,2 cm, ağırlık ortalaması 77,9 kg olan hakemlerin en az 15 yıl mesleki deneyime sahip olduğu, 4 hakemin ise uluslararası hakem olduğu raporlanmıştır. Katılımcılar sağlıklı olup, aerobik güç ve hız dayanıklılıklarının gelişimini hedefleyen koşu alıştırmalarından oluşan fiziksel eğitim programlarını takip etmişlerdir. Bu çalışmaya katılan bütün hakemler bu çalışmanın başlamasından önceki 12 hafta boyunca eğitim programına katılmışlardır.

Çalışmada hakemler, kodlayıcılar ile donatılmış ve üçayak takılmış iki kamera ile tüm maç boyunca gözlenmiştir. Kameralar futbol sahası kenar çizgilerinin birinden yaklaşık 10 m uzaklıkta kurulmuştur. Kodlayıcılar ile edinilen açıların sinyalleri, ardışık olarak dijital veri haline dönüştürülmüş ve maç sonrası analiz için bir diske kaydedilmiştir. Maç faaliyetlerinin analizi aşağıdaki kategoriler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu kategoriler; durma, ileri yürüme, düşük yoğunluklu koşu (13 km/h'den az), orta yoğunluklu koşu (13,1-18 km/h), yüksek yoğunluklu koşu (18,1-24 km/h), maksimum hızda koşu (24 km/h'den daha yüksek hız), geri yürüme, geri koşu, yan koşu, yüksek yoğunluklu aktivite (hızı 18,1 km/h'den daha yüksek hızlarda gerçekleştirilen faaliyetlerin toplamı) ve alışılmadık dışındaki (geriye doğru koşu + yan koşu) hareketlerdir.

Castagna ve Abt (2003) çalışma sonucunda hakemlerin kısa maçlarda kat ettikleri toplam mesafenin 10949 m, uzun maçlarda kat ettikleri toplam mesafenin 12303 m olduğunu belirtmişlerdir. Kısa maçlardaki yürüme (953 m), maksimum hızda koşu (580 m) ve geri yürüme (44 m) aktivitelerinde kat edilen mesafelerin uzun maçlardaki yürüme (689 m), maksimum hızda koşu (433 m) ve geri yürüme (38 m) aktivitelerinde kat edilen mesafelerden daha çok olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde uzun maçlardaki düşük yoğunluklu koşu (4811 m), orta yoğunluklu koşu (3115 m), yüksek yoğunluklu koşu (1823 m) ve geri koşu (974 m) aktivitelerinde kat edilen mesafeler kısa maçlardaki düşük yoğunluklu koşu (4373 m), orta yoğunluklu koşu (2596 m), yüksek yoğunluklu koşu (1504 m) ve geri koşu (816 m) aktivitelerinde kat edilen mesafelerden daha fazla olmuştur. Kısa maçlardaki yüksek yoğunluklu aktivitelerde 2084 m, uzun maçlarda ise 2256 m mesafe kat edilmiştir.

Castagna vd (2004) tarafından yayınlanan “Activity profile of international-level soccer referees during competitive matches” adlı çalışmada uluslar arası maçlardaki futbol hakemlerinin aktivite profilleri araştırılmıştır. Uluslar arası düzeydeki hakemlerin maç performanslarının olası özelliklerini vurgulamak için iki gruba ayrılan üst düzey hakemler analiz edilmiştir. Bu amaçla, rekabetçi Avrupa Kupası maçları sırasında İtalya’da görev yapan uluslar arası düzeydeki 13 hakemden oluşan grubun aktivite profili ile İtalya Seri A liginde maç yöneten 13 ulusal hakemden oluşan grup karşılaştırılmıştır. Uluslar arası düzeydeki hakemlerin yaş ortalaması 38 yıl, boy

ortalaması 1,82 m, ağırlık ortalaması ise 78,8 kg olarak belirlenmiştir. Ulusal hakemlerin ise 37 yaş, 1,82 m boy ve 77,1 kg ağırlık ortalamalarına sahip oldukları belirlenmiştir. Her iki gruptaki hakemlerin sağlıkları iyi durumda olup UEFA sağlık standartlarını geçmişlerdir.

Hakemler, tüm maç boyunca kodlayıcılar ile donatılmış üçayak bağlı iki kamera ile gözlenmiştir. Kameralar futbol sahasının kenar çizgilerinin birinden yaklaşık 10 m uzaklığa kurulmuştur. Kodlayıcılar tarafından elde edilen açı sinyalleri maç sonrası analiz için sıralı olarak dijital veriye dönüştürülmüş ve diske kaydedilmiştir. Maç aktivitelerinin analizi, (a) ayakta durma, (b) ileri yürüme, (c) düşük hızda koşu (13 km/h'den az), (d) orta hızda koşu (13,1-18 km/h), (e) yüksek hızda koşu (18,1-24 km/h), (f) maksimum hızda koşu (24 km/h'den daha yüksek hız), (g) geriye yürüme, (h) geriye doğru koşu (i) yan koşu, (j) yüksek hızda aktivite (hızı 18,1 km/h'den daha yüksek hızlarda gerçekleştirilen faaliyetlerin toplamı) ve (k) alışılmadık dışındaki hareketler (geriye doğru koşu + yan koşu) kategorileri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Castagna vd, aralarında karşılaştırma yapılan iki grubun yukarıda adı geçen maç kategorilerindeki ortalama hızlarına “kat edilen mesafe / harcanan zaman” formülüyle ulaşıldığını belirtmişlerdir.

Çalışma sonucunda her bir aktivite için elde edilen veriler Çizelge 2.4'te gösterilmiştir. Çizelge 2.5'te ise birinci devre ile ikinci devre ölçümleri arasında belirgin fark bulunan aktiviteler listelenmiştir.

Çizelge 2.4. Maç boyunca kat edilen mesafeler ve durma sırasında harcanan zaman (Castagna vd 2004)

	Ulusal hakemler (n=13)	Uluslararası hakemler (n=13)
Düşük hızda koşu (m)	5148	4879
Orta hızda koşu (m)	3513	2562
Yüksek hızda koşu (m)	1920	1277
Maksimum hızda koşu (m)	458	366
Yüksek hızda aktivite (m)	2378	1642
Ayakta durma (s)	645	732
İleri yürüme (m)	800	994
Geriye yürüme (m)	47	42
Geri koşu (m)	896	989
Yan koşu (m)	172	108
Toplam kat edilen mesafe (m)	12956	11218
Maç süresi (s)	5674	5561

Castagna vd (2004) bu çalışmada uluslar arası düzeydeki hakemliğin ulusal düzeydeki hakemliğe göre daha az zorlu olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Uluslar arası düzeydeki futbol maçlarının fiziksel açıdan daha zorlu olduğu bilindiğinden, bu sonucun beklenmedik olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 2.5. Her bir devrede bazı aktiviteler için kat edilen mesafeler

	Ulusal hakemler (n=13)		Uluslar arası hakemler (n=13)	
	1. devre	2. devre	1. devre	2. devre
Orta hızda koşu (m)	1829	1684	1310	1252
Yüksek hızda koşu (m)	965	955	648	629
Maksimum hızda koşu (m)	206	253	156	210
Yüksek hızda aktivite (m)	1171	1207	803	839
Ayakta durma (s)	300	345	351	379
İleri yürüme (m)	388	412	486	508
Toplam kat edilen mesafe	6549	6407	5672	5546

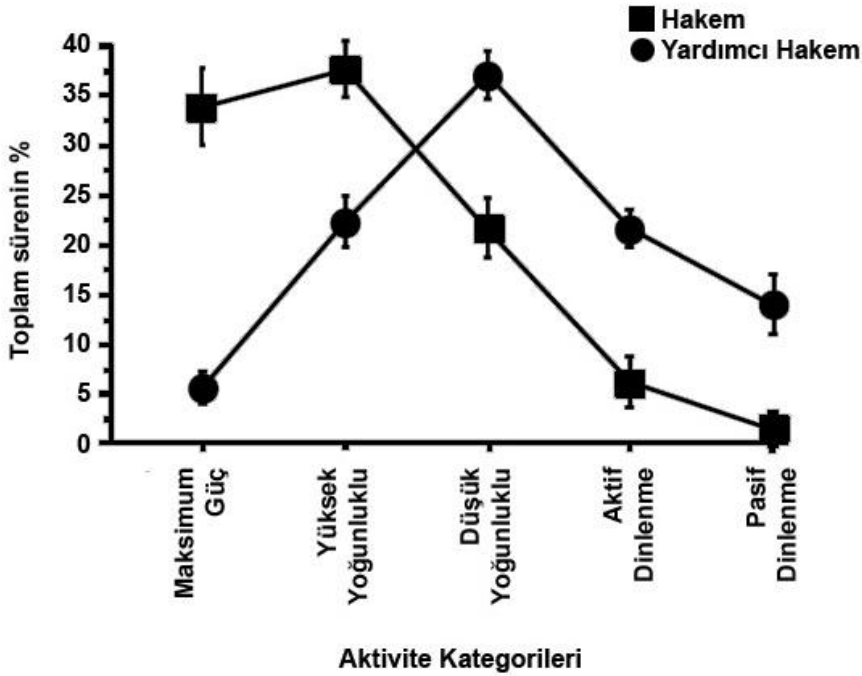
Diğer bir çalışma ise Helsen ve Bultynck (2004) tarafından, Euro 2000 Avrupa Şampiyonası final turu boyunca UEFA üst düzey hakem ve yardımcı hakemlerinin fiziksel ve algısal-kavramsal gereksinimlerini incelemek amacıyla gerçekleştirdikleri “Physical and perceptual-cognitive demands of top-class refereeing in association football” adlı çalışmadır. Bu çalışmada farklı Avrupa ülkelerinden seçilmiş, deneyimli, üst düzey 17 hakem ve 17 yardımcı hakem katılımcı olarak belirlenmiştir. Hakemlerin boy ve ağırlık ölçümleri turnuva başlamadan önceki hafta yapılmıştır. Hakemlerin ortalama yaşı 40,2 yıl, ortalama boyu 182 cm ve ortalama ağırlığı 79,7 kg olarak hesaplanırken yardımcı hakemlerin ortalama değerleri sırasıyla 41,3 yıl, 177 cm ve 75,3 kg olarak hesaplanmıştır.

Helsen ve Bultynck’in (2004) çalışmasında kalp atım hızı ölçümleri, maç boyunca hakem ve yardımcı hakemlerin fiziksel iş yükünün bir belirtisi olarak kullanılmıştır. Kalp atım hızı, kısa mesafeli radyo uzaktan ölçüm sistemi ile 5 saniyede bir kaydedilmiştir. Göğüs izleme cihazının ilettiği kalp atım hızı sinyalleri bilekteki saate depolanmış ve daha sonra bilgisayara yüklenmiştir.

Maç boyunca hakemlerin yaptığı gözlenebilir kararların sayısının ölçümü için her maç kaydedilmiştir. Etkileşimli bir program kullanılarak 31 maçtaki hakem kararlarının objektif gösterimsel analizi yapılmıştır. Bu analizde, maç videolarının tekrar oynatımında hakemin vücut dilinin gözlenmesi temel alınmıştır. Hakemlerin karar alma durumu üç kategoriye ayrılarak incelenmiştir. Bunlardan birincisi; hakemin oyunu devam ettirmesi, penaltı ve serbest vuruş ile ödüllendirmesi ve aldatmaya yaklaşımı, ikincisi; gol, ofsayt, köşe atışı, taç atışı, oyuncu değişikliği gibi durumlarda karar öncesi yardımcı hakem ile iletişime geçmesi, üçüncüsü de; kasti durumlarda sarı ve kırmızı kart göstererek diğer takımı ödüllendirmesi olarak belirlenmiştir.

Maçta hem hakemin hem de yardımcı hakemin fiziksel yüklenmesinin analizi için beş farklı aktivite kategorisi belirlemiştir. Bu kategoriler arasındaki ayırım, maksimum kalp atım hızının (KAHm) yüzdesi olarak ifade edilmiştir: 1) maksimum güç (%95 KAHm’den büyük) 2) yüksek yoğunluklu (%86-%95 KAHm) 3) düşük yoğunluklu (%76-%85 KAHm) 4) aktif dinlenme (%65-%75 KAHm) 5) pasif dinlenme (%65 KAHm’den küçük). Bu kategorilerin oluşturulmasında, Bangsbo (1994), Krusturp ve Bangsbo (2001), Weston ve Brewer (2002) tarafından yapılan çalışmalardaki bulgular temel alındığı belirtilmiştir.

Helsen ve Bultynck'in (2004) çalışması sonunda maç sırasında hakemlerin maksimum kalp atım hızı 179 atım/dk, yardımcı hakemlerin 181 atım/dk olarak tespit edilmiş, "220-yaş" kuralına göre ise hakemlerin maksimum kalp atım hızı 180 atım/dk, yardımcı hakemlerin 178 atım/dk olarak hesaplanmıştır. Hakemlerin ve yardımcı hakemlerin ortalama kalp atım hızları, sırasıyla maksimum kalp atım hızlarının %85 ve %77'si olarak bulunmuştur. Hem hakemlerin hem de yardımcı hakemlerin fiziksel yüklenmesi (% KAHm) birinci yarının başlangıcında, ikinci yarının başlangıcındakine göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Hakemin fiziksel yüklenmesi maçın her iki yarısının sonuna doğru belirgin şekilde arttığı raporlanmıştır. Şekil 2.2'de gösterildiği üzere hakemler güçlerinin çoğunu, maksimum güç ve yüksek yoğunluklu kategorilerinde harcarken, yardımcı hakemler ise daha çok yüksek yoğunluklu ve düşük yoğunluklu kategorilerinde harcadıkları belirtilmiştir.



Şekil 2.2. Maç sırasında hakem ve yardımcı hakemler tarafından yapılan aktiviteler (Helsen ve Bultynck 2004)

Çalışmanın algısal-kavramsal gereksinimlerle ilgili sonuçlarına göre maç başına 104 ile 162 arasında olmak üzere ortalama 137 gözlenebilir karar üretilmiştir. Bunlardan 44,4'ü hakemler tarafından yapılmıştır. Hakem kararlarının en yüksek payı 42,4 ile taç atışlarına ait olup, turnuva boyunca direkt serbest vuruşların ortalama sayısı 37,3, endirekt serbest vuruşların ortalama sayısı da 0,6 olarak saptanmıştır. Helsen ve Bultynck, tüm kararların %64'ünün yardımcı hakem veya dördüncü hakem ile iletişime dayandığı sonucuna ulaşmışlardır.

Mallo vd (2007), üst seviye hakemlerin fiziksel gereksinimlerini analiz etmek ve hakemlerin maç sırasındaki fiziksel performansı ile resmi FIFA sağlık (form) test sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla 2003 yılında Finlandiya'da düzenlenen 17 yaş altı

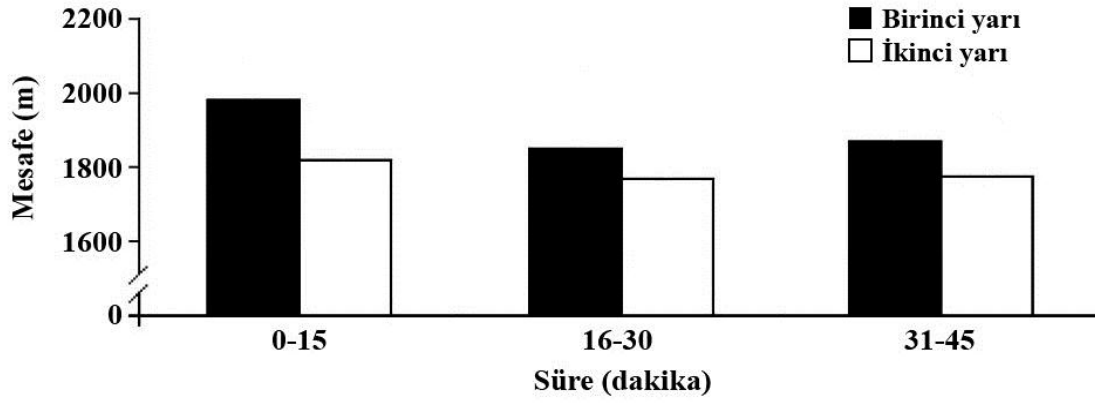
Dünya Kupasındaki 12 maçta görev yapan 11 hakem üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada izlenen hakemler uluslar arası düzeyde 2 yıl deneyimli ve FIFA lisansına sahip olup, ortalama yaşları 33,4 yıl, boyları 182,6 cm ve ağırlıkları 80,8 kg olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, video görüntülerinden düzlemde x ve y koordinat noktalarının dijital olarak alınmasına izin veren iki boyutlu photogram-metric sistemi kullanılmıştır. Yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlamak için maçlar, stadyum koltuklarına yerleştirilmiş üç kamera kullanılarak kaydedilmiştir. Kameralar tüm maç boyunca oyun alanının tamamını görecektir şekilde yerleştirilmiştir. Saha, başlama vuruşundan önce, önceden kalibre edilmiş ölçüm bandı ile ölçülmüştür. Her kamera için 6 noktalı kalibrasyon sistemi kullanılmıştır. Kameraların kaydettiği görüntüler yazılım ile senkronize edilmiş ve hakem kütle merkezinin yansıması zeminde sayısallaştırılmıştır. Kalibrasyon sistemi de sayısallaştırılmış ve iki boyutlu direkt doğrusal dönüşüm (DLT) tabanlı algoritma ile ekranda görülen koordinatlar gerçek koordinatlara dönüştürülmüştür. Yer değiştirme ve çizgisel hız, şerit polinom fonksiyonları temel alınarak hesaplanmıştır.

Hakem hareketleri Helsen ve Bultynck'in (2004) çalışmalarıyla uyumlu olarak, (a) durma (1 m/sn'den az), (b) yürüme (1,01 m/sn'den 2 m/sn'ye kadar), (c) yavaş koşu (2,01 m/sn'den 3,60 m/sn'ye kadar), (d) takip sırasında koşu (3,61 m/sn'den 5 m/sn'ye kadar), (e) hızlı koşu (5,01 m/sn'den fazla) şeklinde sınıflandırılmıştır. Saniyedeki hızı 3,6 metreden fazla olan aktiviteler yüksek yoğunluklu aktivite olarak kabul edilmiştir. Maç boyunca performanslar 15 ve 45 dakikalık periyotlar halinde hesaplanmıştır.

Turnuva başlamadan iki gün önce tüm hakemlere koşu pistinde saha testleri yapılmıştır. Testler FIFA hakem şubesi yetkililerince yönetilmiştir. Hakemler önce 2x50 m ve 2x200 m hızlı koşularına daha sonra da 12 dakikalık koşuya tabi tutulmuşlardır. Hızlı koşular arasında 2-3 dakikalık, 12 dakikalık koşu öncesinde ise 10 dakikalık dinlenme süresi verilmiştir. 200 m hızlı koşu testi elle ölçülmüş, 50 m hızlı koşu testi ise fotoelektrik hücreler yardımıyla hesaplanmıştır.

Mallo vd (2007) çalışmaları sonucunda, hakemlerin birinci yarı 5699 m., ikinci yarıda ise 5360 m. olmak üzere ortalama 11059 m. mesafe kat ettikleri bulgusuna ulaşmışlardır. Maçın ilk 15 dakikasında diğer 15 dakikalık periyotlara göre daha fazla mesafe kat ettikleri belirlenmiştir (Şekil 2.3). Özellikle en fazla mesafenin ilk 6-10 dakikalık sürede, en az mesafenin ise 81 ile 85'inci dakikalar arasında kat edildiği raporlanmıştır.



Şekil 2.3. Maçın birinci ve ikinci yarısı boyunca 15 dakikalık periyotlarda kat edilen mesafeler (Mallo vd 2007)

Hakemlerin maçta gerçekleştirdikleri aktiviteler ve bu aktiviteleri yaparken kat ettikleri mesafeler Çizelge 2.6’da gösterilmiştir. Takip sırasında koşu ve hızlı koşudan oluşan yüksek yoğunluklu aktivitelerin maçın ikinci yarısında belirgin şekilde azaldığı, durma ve yürüme aktivitelerinin ise az da olsa arttığı belirtilmiştir. Mallo vd, yüksek yoğunluklu aktiviteler maçın ilk 15 dakikasında, ikinci yarıdaki 15 dakikalık periyotlara göre %20-22 daha fazla gerçekleştiğini raporlamışlardır. Aktivitelere süre açısından bakıldığında toplam maç süresinin %30,3’ünü yürüme, %27,4’ünü durma, %25,5’ini yavaş koşu, %12,2’sini takip sırasında koşu, %4,6’sını ise hızlı koşu oluşturduğu sonucuna ulaşmıştır.

Çizelge 2.6. Maçın içinde çeşitli aktiviteler için hakemlerin kat ettikleri mesafeler (Mallo vd 2007)

	Durma (m)	Yürüme (m)	Yavaş koşu (m)	Takip sırasında koşu (m)	Hızlı koşu (m)
Birinci yarı	416	1186	1890	1462	746
İkinci yarı	427	1216	1831	1222	659
Toplam	843	2402	3721	2684	1405

Saha testlerinde hakemler 12 dakikalık koşuda ortalama 2996 m mesafe kat ederken, 50 m hızlı koşu testini 6,98 saniyede, 200 m testini ise 28,47 saniyede bitirmişlerdir. Mallo vd, bu çalışmanın sonucunda 12 dakikalık koşu ile toplam kat edilen mesafe karşılaştırıldığında aralarında herhangi bir bağıntı bulunmadığı verisine ulaşmışlardır. Maçta yüksek yoğunluklu aktiviteler gerçekleşirken harcanan süre ile 12 dakikalık koşu süresi arasında makul bir ilişki tespit edilmiş, fakat yüksek yoğunluklu aktivitelerde harcanan süre ile 50 m hızlı koşu süresi arasında bir bağıntı tespit edilmemiştir.

Oliveira vd (2008), futbol maçı boyunca hakemler tarafından kat edilen mesafenin belirlenmesi ve hem hakemlerin yer değiştirme şekillerini hem de kalp atım hızı ve oksijen tüketimi gibi fonksiyonel göstergelerini analiz etmek amacıyla “Analysis of in-field displacement patterns and functional indexes of referees during the soccer match” adlı çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaya katılan 20 yaş altı Sao Paulo

Bölgesel Liginde görev yapan 8 hakem, dünya genelindeki gençlik şampiyonası maçlarının bir kısmında görev almışlardır. Katılımcı hakemlerin yaş ortalaması 26,75 yıl, boy ortalaması 179,62 cm, maçlardan önceki ortalama ağırlıkları 74,77 kg, maçlardan sonraki ortalama ağırlıkları 72,96 kg olarak hesaplanmıştır. Katılımcılar çalışma hakkında bilgi almış ve şartları kabul etmişlerdir.

Hakemlerin kalp atım hızları Accurex® Plus kullanılarak maçın ilk ve ikinci yarısı boyunca 15 sn'de bir ölçülmüştür. Alınan veriler analiz yapmak amacıyla grafik oluşturmak için Excel programına aktarılmıştır. Oksijen tüketimi, gaz analizi yapan bir cihaz (Aerosport) kullanılarak ölçülmüştür. Bu ölçümde hakemler 8 km/h hızla koşmaya başlamış ve hızın her dakika 1 km/h arttığı bir uygulama yapılmıştır. Kalp frekansının ölçümünde dijital elektrokardiyograf kullanılmıştır. Bu testler 21°C sıcaklıktaki laboratuarda gerçekleştirilmiştir.

Oliveira vd (2008), hareket analizi için; yürüme, düşük, orta ve yüksek yoğunluklu koşular, geri yürüme, geri koşu, yana yer değiştirme hareketlerinin her birinde harcanan zamanın ve kat edilen mesafenin hesaplanması için özel olarak geliştirilen yazılımın kullanıldığı bir yöntem uygulamışlardır. Hakemler, uçayak üzerine yerleştirilen ve sahayı yukarıdan görece şekilde basın odasına veya tribünlerin en yüksek kısmına konumlandırılan bir dijital kamera kullanılarak kaydedilmişlerdir. Analizler, bir hareket başladığında o hareketle ilgili tuş aktive edilecek şekilde çevrimiçi gerçekleştirilmiştir. Tüm kayıt ve analizler, aktiviteler başlamadan önce eğitim almış kişiler tarafından yapılmıştır. Kat edilen mesafeler, yer değiştirmede harcanan zaman ile ortalama hızın çarpımıyla hesaplanmıştır.

Çalışma sonunda hakemlerin ortalama kalp frekansı maçın başında 135 atım/dk, ilk yarıda 166 atım/dk, ikinci yarıda 165 atım/dk, maç boyunca 160,1 atım/dk olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın parçası olan 6 hakemin laboratuarda ölçülen maksimum oksijen tüketim ortalaması 48,16 ml/(kg.dk) bulunmuştur. Hakemler maçın ilk yarısında 4978 m ve ikinci yarısında 4373 m olmak üzere maç boyunca ortalama 9351 m mesafe kat etmişlerdir. Maç boyunca yapılan hareket aktivitelerinde geçen toplam sürenin %31,41'inde ileri yürüme, %8,89'unda geri yürüme, %43,79'unda düşük hızda koşu, %4,5'inde geri koşu, %8,89'unda koşu, %1,38'inde yana yer değiştirme ve %1,13'ünde ise en yüksek hızda koşu yapılmıştır.

Da Silva vd (2008) tarafından gerçekleştirilen "Energy expenditure and intensity of physical activity in soccer referees during match-play" adlı çalışmada futbol hakemlerinin maç sırasındaki kalori tüketimlerine ve fiziksel aktivite yoğunluklarına karar vermek amaçlanmıştır. Bunun için 2005-2006 sezonunda Brezilya Parana Bölgesel Ligindeki 29 maçta Brezilya Futbol Konfederasyonuna akredite olmuş hakemler incelenmiştir. Hakemlerin ortalama yaşlarının 38,9 yıl, ağırlıklarının 86,1 kg. ve boylarının 1,80 m olduğu gözlenmiştir. Çalışma kapsamında her bir maçın video görüntüleri; futbol sahasının kenarında, orta çizgi hizasında, sahadan 15-20 m uzaklıkta ve yaklaşık 15 m yüksekliğe konumlandırılan bir kamera ile kaydedilmiştir. Hakem hareketleri; durma, yürüme (5,83 km/h), yavaş koşu (8,85 km/h), koşu (11,37 km/h), hızlı koşu (18,28 km/h) ve geri koşu (8,85 km/h) olmak üzere 6 kategoride gruplandırılmıştır. Bu kategoriler Da Silva ve Rodrigues tarafından daha önce yapılan çalışma ile uyumlu olarak seçilmiştir ve her bir kategorinin ortalama hızına videolar

incelendikten sonra karar verilmiştir. Sahada mesafesi bilinen işaretçiler arasındaki aktivite geçiş zamanı, her aktivitenin hızının hesaplanmasında kullanılmıştır. Her bir aktivitenin frekans ve süresi, aynı deneyime sahip gözlemciler tarafından dijital olarak kaydedilmiştir. Bu veriler her bir aktivitede hakemin kat ettiği mesafenin hesaplanmasında kullanılmıştır. Maçın her bir aşamasındaki toplam kat edilen mesafeler her bir hareket aktivitesindeki mesafelerin toplanması ile hesaplanmıştır.

Da Silva vd (2008) çalışma sonucunda, maç boyunca hakemlerin 4592 m yürüme, 2577 m yavaş koşu, 1011 m koşu, 123 m hızlı koşu, 852 m geri koşu olmak üzere toplam 9155 m mesafe kat ettikleri bulgusuna ulaşmışlardır. Maç süresince hakemlerin 47,06 dakika yürüme, 17,26 dakika yavaş koşu, 13,59 dakika durma, 5,46 dakika geri koşu, 5,20 dakika koşu, 24 saniye hızlı koşu yaptıkları belirtilmiştir. Birinci yarıda kat edilen mesafe (4625 m) ile ikinci yarıdaki kat edilen mesafe (4530 m) arasında önemli bir fark bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Yürüme aktivitesinde ikinci yarıda kat edilen mesafe birinci yarıda kat edilen mesafeye göre artış gözlenmiş, yavaş koşu ve geri koşu aktivitelerinde ise azalma saptanmıştır. Yüksek yoğunluklu aktivitelerde (koşu ve hızlı koşu) iki yarı arasında önemli bir fark görülmediği belirtilmiştir.

Weston vd (2009) "Relationship Among Field Test Measures and Physical Match Performance In Elite-Standard Soccer Referees" adlı çalışmalarını yayınlamışlardır. Bu çalışmada, hakemlerin maçla ilişkili fiziksel kapasitelerini izlemek için kullanılabilen yeni FIFA hakem form testinden elde edilen ölçümleri incelemiştir. Çalışmaya İngiltere Futbol Federasyonu Birinci Liginde görevli 17 hakem katılmıştır. Veriler 2007-2008 İngiltere futbol sezonunun ilk dört ayı boyunca (Ağustos-Kasım) İngiltere Birinci Liginden toplanmıştır. Hakemlerin yaş ortalamasının 40 yıl, ağırlık ortalamasının 82,8 kg olduğu belirtilmiştir. Deneysel tasarımın yazılı ve sözlü açıklanmasından sonra bunu kabul ettiklerine dair hakemlerden yazılı belge alınmıştır.

Hakemlerin fiziksel maç performansları 85 maç için ölçülmüştür. Her bir maç, bilgisayarla donatılan yarı otomatik video maç analiz görüntü tanıma sistemi (ProZone®) kullanılarak incelenmiştir. Bu yöntemde futbol sahasının çevresinde çatı yüksekliğine konumlandırılan 8 kamera kullanılarak her bir hakem ve oyuncunun pozisyon verileri 0,1 sn'de bir kaydedilmiştir. Alınan veriler, her bir oyuncu ve hakemin hareket yoğunluğu ve kat ettikleri mesafeleri içerecek şekilde kapsamlı veri sağlayan lisanslı bir yazılım kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz için fiziksel maç performans ölçümleri beş kategoride sınıflandırılmıştır;

- 1) Toplam kat edilen mesafe (m)
- 2) Yüksek yoğunluklu koşu mesafesi (hız>5,5 m/sn)
- 3) Sprint mesafesi (hız>7 m/sn)
- 4) 0,5 sn'lik örnekler sırasında kaydedilen en yüksek hız değerleri olarak hesaplanan en yüksek sprint hızı (m/sn)
- 5) Tüm maç boyunca faullerden ortalama uzaklık (m)

Weston vd (2009) bu çalışmada resmi FIFA hakem form testleri 2007-2008 İngiltere Birinci Lig sezonunun başlangıcından 1 hafta önce uygulanmışlardır. Her

hakem test oturumuna, en az 48 saat dinlenmiş, tam olarak su ve güç yüklenmeyi sağlayan beslenme çizelgesini uygulamış olarak gelmişlerdir. Hakemler, düşük yoğunluklu koşu ve esneme hareketlerini de içeren 25 dakikalık ısınmadan sonra, her bir hızlı koşu arasında 90 saniyelik dinlenme zamanı bulunan 6x40 m hızlı koşu testi yapmışlardır. Koşu süreleri fotoelektrik algılayıcılar yardımıyla kaydedilmiştir. Hakemleri en hızlı ve ortalama performansları analiz için kullanılmıştır. Bu testin bitmesinden sonra 8 dakikalık ara verilmiş ve ardından aralıklı 150 m testine geçilmiştir. Bu testte hakemler 400 metrelik koşu pistinde 150 m koşu, sonrasında 50 m yürüme olacak şekilde 10 tur tamamlamışlardır. Aralıklı test kalp atım hızı, kısa mesafe uzaktan ölçüm sistemi (Polar S610) kullanılarak 5 sn'de bir kaydedilmiştir. Kayıtlar ilk turun başlangıcından başlayarak 10'uncu turun sonunda bitmiştir. Testten sonra veriler, analiz için (Polar Precision Software) bilgisayara yüklenmiştir. Aralıklı test kalp atım hızı yükü, beş farklı kalp atım hızı bölgesindeki sürelerin toplamı ile her bir bölge için bir katsayının ($<0,60 \times$ en yüksek kalp atım hızı=1, $0,60-0,75=2$, $0,76-0,85=3$, $0,86-0,93=4$, $>0,93=5$) çarpımıyla hesaplanmıştır. Hakemlerin bireysel en yüksek kalp atım hızı değeri için maç, eğitim oturumları veya form testleri sırasında 5 sn'lik periyotların herhangi birinde kaydedilen tepe değeri kullanılmıştır.

Hakemlerin maç boyunca kat ettikleri toplam mesafe 10556 m ile 12640 m aralığında ortalama 11478 m, yüksek yoğunluklu koşuda kat ettikleri mesafe 497,3 m ile 1176,9 m aralığında ortalama 752 m, hızlı koşuda kat ettikleri mesafe 66 m ile 352,7 m aralığında ortalama 160,1 m olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, ortalama en yüksek sprint hızı 8,83 m/sn ve ortalama faullerden uzaklık 14,3 m olarak saptanmıştır. Form testlerinden 10 tur için ortalama kalp atım hızı yükü 82,3 olarak tespit edilmiştir. 40 m'lik hızlı koşu testi için ortalama en hızlı süre 5,59 sn, ortalama sürelerin ortalaması ise 5,71 sn hesaplanmıştır.

Weston vd (2009) aralıklı test kalp atım hızı yükü ile toplam kat edilen mesafe arasında ve yüksek yoğunluklu koşu ile hızlı koşu mesafeleri arasında çok büyük bağıntı bulunduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda en yüksek hızlı koşu hızı ile 40 m'lik en hızlı koşu ve 40 m'lik ortalama koşu süreleri arasında büyük bir bağıntı tespit edilmiştir. Hakemlerin faullerden uzaklıkları ile herhangi bir form test performansı arasında bir ilişki bulunmamıştır.

Krustrup vd (2009), uluslararası bir futbol maçında hakem ve yan hakemlerin fiziksel performansını incelemek ve hakem ile yan hakemlerin fiziksel gereksinimlerini karşılaştırmak amacıyla "Activity profile and physical demands of football referees and assistant referees in international games" adlı çalışmayı yapmışlardır. Çalışma kapsamında, uluslararası maçlarda en az 4 yıl deneyimli, FIFA lisanslı 15 hakem ve 15 yardımcı hakem incelenmiştir. Hakemlerin ortalama yaşı 42 (32-45) yıl, ortalama boyu 188 (176-191) cm., ortalama ağırlığı 82,5 (76,1-93,4) kg, ortalama vücut kütle indeksi 23 (20-27) olarak hesaplanırken yardımcı hakemlerin ortalama değerleri sırasıyla 43 (34-45) yıl, 181 (168-192) cm, 77,8 (71,3-96,6) kg ve 24 (22-28) olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada, 6 tane A milli takım maçı, 2 tane 21 yaş altı milli takım maçı, 5 tane Şampiyonlar Ligi maçı ve 2 tane UEFA Kupası maçı, hakemlerin aktivitelerini belirlemek için 2 kamera ile kaydedilmiştir. Kameralar yarı saha çizgisinin hizasında, taç çizgisinden 20-30 m uzaklığa ve 10-20 m yüksekliğe konumlandırılmıştır.

Kameralarından biri 15 hakemin zaman-hareket analizi için, diğer kamera ise 14 hakemin ihlallerden uzaklığını ölçmek için kullanılmıştır. Hakemlerden dördü 1999-2000 sezonunda diğer 10 hakem ise 2004-2008 yılları arasında izlenmiştir. Yardımcı hakemler ise 2003-2008 yılları arasında 8 tane A milli takım maçında, 5 tane 21 yaş altı milli takım maçında ve 2 tane Şampiyonlar Ligi maçında video filme kayıt edilmişlerdir. Kayıtlar, penaltı yayının hizasında, taç çizgisinden 15-30 m uzaklıkta, 10-20 m yükseklikte olacak şekilde tribüne kurulan bir kamera ile yapılmıştır.

Zaman-hareket analizi için Krustrop ve Bangsbo (2001) ile Krustrop vd (2002) tarafından daha önce yapılan çalışmalar ile uyumlu olacak şekilde; ayakta durma, yürüme (6 km/h), yavaş koşu (8 km/h), düşük hızda koşu (12 km/h), orta hızda koşu (15 km/h), yüksek hızda koşu (18 km/h), süratli koşu (25 km/h), yan koşu (10 km/h) ve geri koşu (10 km/h) olmak üzere 9 kategoride sınıflandırılmıştır. Bu aktiviteler daha sonra 4 ana grupta toplanmıştır. Bunlar; 1) ayakta durma 2) yürüme 3) yavaş koşu, düşük hızda koşu, yan koşu ve geri koşudan oluşan düşük yoğunluklu koşu 4) orta hızda koşu, yüksek hızda koşu ve süratli koşudan oluşan yüksek yoğunluklu koşudur. Her bir aktivitenin frekansı ve süresi 15 dakikalık dönemler halinde analiz edilmiştir. Maç boyunca hakem ve yardımcı hakemlerin kalp atım hızları göğüs kısmına konulan izleme cihazına (Polar Vantage NV) 5 saniye aralıklarla kaydedilmiştir. Bu kayıt işlemi başlama vuruşundan yaklaşık 60 dakika önce başlatılmıştır.

Krustrop vd (2009) çalışma sonucunda, hakemlerin maç sırasında maç süresinin %21,9'unda durma, %40,2'sinde yürüme, %15,8'inde yavaş koşu ve %9,3'ünde düşük hızda koşu yaptıkları, yardımcı hakemlerin ise maç süresinin %45,8'inde durma, %29,7'sinde yürüme, %10,2'sinde yan koşu ve %6,3'ünde yavaş koşu yaptıklarını belirtmiştir. Hakemlerin 1412 aktivite gerçekleştirdikleri ve bunların 427'inin yürüme, 178'inin durma, 629'unun düşük yoğunluklu koşu, 178'inin yüksek yoğunluklu koşu olduğu; yardımcı hakemlerin gerçekleştirdikleri 1163 aktivitenin 256'sının durma, 371'inin yürüme, 421'inin düşük yoğunluklu koşu, 115'inin yüksek yoğunluklu koşu olduğu tespit edilmiştir. Hakemlerin ortalama aktivite süresi 4 sn iken yardımcı hakemlerin 4,9 sn olarak tespit edilmiştir.

Çalışma sonucunda hakemlerin ortalama olarak 10,27 km, yardımcı hakemlerin ise 6,76 km mesafe kat ettikleri, sırasıyla bu mesafelerin 1,92 km ve 0,97 km'sinin yüksek yoğunluklu koşu olduğu belirlenmiştir. Süratli koşu sırasında kat edilen mesafeler hakem (0,22 km) ve yardımcı hakem (0,26 km) için benzer olduğu raporlanmıştır. Hakemler maç boyunca geri koşu yaparak 0,89 km mesafe kat ederken, yardımcı hakemler yan koşu yaparak 1,54 km mesafe kat etmişlerdir.

Krustrop vd (2009) hakemler için toplam kat edilen mesafe ve yüksek yoğunluklu koşu sırasında kat edilen mesafelerde maçın iki yarısı arasında önemli bir fark gözlenmediğini belirtmişlerdir. İlk 15 dakikalık döneme göre 30-45'inci dakikalar arasında %9, 60-75'inci dakikalar arasında %11 ve 75-90'inci dakikalar arasında %10 daha az mesafe kat edildiği gözlenmiştir. Yüksek yoğunluklu koşu sırasında kat edilen mesafeler için ilk 15 dakikalık döneme göre 30-45'inci dakikalar arasında kat edilen mesafe %27, 60-75'inci dakikalar arasında kat edilen mesafe %28 daha az bulunmuş, maçın ilk ve son 15 dakikalık dönemleri arasında belirgin bir farklılık olmadığı gözlenmiştir. Geriye koşuda en fazla mesafenin ilk 15 dakikalık döneminde kat edildiği

ve bu döneme oranla maçın son 15 dakikalık periyodunda %49 daha az mesafe kat edildiği tespit edilmiştir.

Maç sırasında ortalama kalp atım hızı hakemler için 151 atım/dk, yardımcı hakemler için ise 124 atım/dk olarak bulunmuştur. Bu değerler sırasıyla hakemlerin maksimum kalp atım hızının %85'i iken yardımcı hakemlerin maksimum kalp atım hızının %77'si olarak hesaplanmıştır. Maç boyunca hakemlerin kalp atım hızında belirgin bir değişiklik olmadığı raporlanmıştır. Yardımcı hakemlerin kalp atım hızı ilk 15 dakikalık döneme göre ikinci yarıda 11-13 atım/dk azalma göstermiştir.

Mallo vd (2009) "Activity profile of top-class association football referees in relation to fitness-test performance and match standard" adlı çalışmayı üst düzey hakemlerin kinematik performanslarında topun hareketinin ve maç standartlarının etkisini belirlemek, maç sırasında 5 dakikalık periyotlarda kinematik ve kalp atım hızı tepkilerinin ilişkisini ve saha testleri ile fiziksel maç performansı arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla yapmışlardır. Çalışmada, 2005 yılında Almanya'da düzenlenen FIFA Konfederasyon Kupasında görev yapan, ortalama yaşı 39,31 yıl, ortalama boyu 183 cm ve ortalama ağırlıkları 78,82 kg olan 11 hakem incelenmiştir.

Bu çalışmada hakemlerin kinematik aktivite profili, oyun sahasındaki pozisyonları belirlemeye imkân sağlayan iki boyutlu photo-grammetric sistem ile kaydedilmiştir. Tüm maçlar stadyum ana koltuklarına yerleştirilen üç dijital kamera ile filme alınmış, maçtan sonra kayıtlar sayısallaştırılmış, senkronize edilmiş ve bilgisayara depolanmıştır. Kalibrasyon sistemi de sayısallaştırılmış ve iki boyutlu DLT tabanlı algoritmalar ile ekranda gözüken koordinatlar gerçek koordinatlara dönüştürülmüştür. Hareket mesafeleri ve hızlar, şerit polinom fonksiyonlarından hesaplanmıştır. Hakem hareketleri, Mallo vd'nin (2007) çalışmaları temel alınarak, (a) durma (1 m/sn'den az), (b) yürüme (1,01 m/sn'den 2 m/sn'ye kadar), (c) yavaş koşu (2,01 m/sn'den 3,60 m/sn'ye kadar), (d) takip sırasında koşu (3,60 m/sn'den 5 m/sn'ye kadar), (e) yüksek hızda koşu (5 m/sn'den fazla) şekilde sınıflandırılmıştır. Saniyedeki hızı 5 metreden fazla olan aktiviteler yüksek yoğunluklu aktivite olarak ifade edilmiştir. Maç boyunca performanslar 5, 15 ve 45 dakikalık periyotlar halinde hesaplanmıştır.

Kalp atım hızı, kısa mesafeli radyo uzaktan ölçüm sistem ile kaydedilmiştir. Bu sistem özellikle takım sporları için tasarlanmış ve kalp atım hızı sinyallerini 5 saniyelik periyotlarla depolayan göğüs görüntüleyicisinden oluşmaktadır. Göğüs görüntüleyicisi ısınmadan önce soyunma odasında hakemlerin vücutlarına yerleştirilmiştir. Veriler Konfederasyon Kupasındaki 16 maçın 12'sinden alınmıştır.

Turnuvadan üç gün önce tüm hakemlere 90 dakika boyunca atletik pistte iki test yapılmıştır. Tekrarlanan hızlı koşular sırasındaki ortalama koşu hızını belirlemek için hakemler ilk olarak, her biri arasında 1,5 dakikalık dinlenme süresi bulunan 6x40 m hızlı koşu testini tamamlamışlardır. 6-8 dakikalık dinlenme süresinden sonra 400 metrelik atletik pistte birbirini izleyecek şekilde 30 saniyede 150 m koşu ve 40 saniyede 50 m yürümeden oluşan ikinci test uygulanmıştır. Testi tamamlayabilmeleri için peş peşe 20 defa koşmuş yani pistte 10 tur atmışlardır. Tüm hakemler form testi süresince 5 saniyede bir kayıt yapan kalp atım hızı izleme cihazı kullanmışlardır.

Mallo vd (2009) bu çalışma sonucunda hakemlerin birinci yarıda 5178 m, ikinci yarıda ise 5040 m olmak üzere toplam 10218 m mesafe kat ettiklerini belirlemişlerdir. Maçın %37,1'inde durma, %26'sında yürüme, %20,2'sinde yavaş koşu, %8,9'unda takip sırasında koşu, %7,7'sinde ise yüksek hızda koşu hareketini yapmışlardır. Maçın her iki yarısında farklı hareket kategorileri için kat edilen mesafeler Çizelge 2.7'de gösterilmiştir. Hakemlerin kalp atım hızı maçın ilk yarısında 162 atım/dk, ikinci yarısında ise 160 atım/dk olmak üzere maç boyunca ortalama 161 atım/dk olarak bulunmuştur. Bu değer maksimum kalp atım hızının %86'sına karşılık geldiği belirtilmiştir.

Çizelge 2.7. Maçın her iki yarısında farklı hızlarda kat edilen mesafeler (Mallo vd 2009)

	Durma (m)	Yürüme (m)	Yavaş koşu (m)	Takip sırasında koşu (m)	Yüksek hızda koşu (m)	Toplam (m)
Birinci yarı	1004	1120	1310	812	932	5178
İkinci yarı	973	1064	1216	798	989	5040
Toplam	1977	2184	2526	1611	1920	10218

Çalışmada tüm hakemlerin 6x40 m. hızlı koşu testini başarıyla tamamladığı belirtilmiştir. 40 m. hızlı koşuları en kısa süresi 5,70 saniye olmak üzere ortalama 5,77 saniyede tamamlanmıştır. Süre testinde ise hakemler ortalama 26 dakika 50 saniyelik süre ile ortalama 23 koşu yapmışlardır. Test sırasındaki ortalama kalp atım hızı 171 atım/dk olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında hızlı koşu testindeki ortalama ve en iyi süre ile maç sırasındaki yüksek hızda koşuda kat edilen mesafe arasında yeterli bir ilişki olmadığı tespit edilmiştir. Süre testi sırasındaki ortalama kalp atım hızı ile maç sırasındaki kalp atım hızı ve maksimum kalp atım hızının %85'ini aşan aktivitelerde harcanan süre arasında ilişki tespit edilmiştir.

Mallo vd (2010), maç sırasında üst düzey kadın futbol hakemlerinin aktivite profillerini belirlemek ve topun pozisyonu ile ilişkisini tanımlamak amacıyla "Activity profile of top-class female soccer refereeing in relation to the position of the ball" adlı çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Yaş ortalaması 35,3 yıl, boy ortalaması 168,4 cm ve ağırlık ortalaması 62,5 kg olan 10 kadın hakemin uluslararası düzeyde en az 6 yıl deneyime sahip oldukları belirtilmiştir. Hakemler, 2006 yılı Ağustos ve Eylül aylarında Rusya'da yapılan FIFA kadınlar 20 yaşaltı dünya şampiyonası sırasında 3 haftalık dönemde incelenmişlerdir.

Çalışma sırasında 10 maç sabitlenmiş 3 dijital video kamera kullanılarak kaydedilmiş ve iki boyutlu photogram-metric video sistemi ile analiz edilmiştir. Hakemlerin kütle merkezlerinin düşey izdüşümü, maç sırasında her saniye ekranda sayısallaştırılmıştır. Ayrıca top zeminde olduğu zamanlar topun pozisyonu ekranda gösterilmiş, topun havada olduğu veya tam olarak görünmediği görüntüler çıkarılmıştır. Bu durumlarda topun başlangıç ve bitiş pozisyonu arasındaki yatay mesafe hesaplanmıştır. Her kamera için kalibrasyon sistemi sayısallaştırılmış ve iki boyutlu DLT tabanlı algoritma, sahadaki gerçek koordinatların hesaplanması için kullanılmıştır. Yer değiştirme ve hız değerleri, şerit polinom fonksiyonlarından hesaplanmıştır.

Hakem hareketleri Mallo vd'nin (2007) çalışmalarıyla uyumlu olarak, durma (3,6 km/h'den az), yürüme (3,61 km/h'den 7,2 km/h'e kadar), yavaş koşu (7,21 km/h'den 13 km/h'e kadar), koşu (13,01 km/h'den 18 km/h'e kadar), yüksek hızda koşu (18 km/h'den fazla) şeklinde sınıflandırılmıştır. Saatteki hızı 13 km'den fazla olan aktiviteler yüksek yoğunluklu aktivite olarak düşünülmüştür. Maç boyunca performanslar 15 ve 45 dakikalık dönemler halinde hesaplanmıştır. Hakemin pozisyonu ve gösterilen olaydaki yeri sayısallaştırılmış ve noktalar arasında mesafeler hesaplanmıştır. Aynı zamanda, top zeminde olduğu zamanlardaki hakemin toptan uzaklığı maç boyunca hesaplanmıştır.

Mallo vd (2010) çalışmada elde ettikleri verilere göre hakemlerin birinci yarıda 5176 m, ikinci yarıda ise 4856 m olmak üzere ortalama 10032 m mesafe kat ettiklerini belirtmişlerdir. Maç içinde hakemlerin kat ettikleri en büyük mesafe 1840 m ile maçın ilk 15 dakikalık dönemi boyunca gerçekleşmiştir. Hakemler maç boyunca yavaş koşu aktivitesinde 2821 m, yürüme aktivitesinde 2176 m, koşu aktivitesinde 1747 m, yüksek hızda koşu aktivitesinde 1390 m mesafe kat etmişlerdir. Maç süresinin %38,1'inde durma, %25,7'sinde yürüme, %21,1'inde yavaş koşu, %9,5'inde koşu ve %5,6'sında yüksek hızda koşu aktivitesi gerçekleştirilmiştir. Yani maçın %64'ünde düşük yoğunluklu, %21'inde orta yoğunluklu, %15'inde ise yüksek yoğunluklu aktivitelerin yapıldığı raporlanmıştır. Hakemler maçın ilk yarısında yüksek yoğunluklu aktivitelerde 431 sn, ikinci yarısında 384 sn zaman harcamışlardır. Yüksek yoğunluklu aktivitelerde 161 sn ile ilk 15 dakikalık dönemde, ikinci yarıdaki 15 dakikalık dönemlere göre daha fazla zaman harcanmıştır.

Maç boyunca topun kat ettiği mesafe 17987 m olarak hesaplanmıştır. Hakemlerin toptan uzaklığının ortalaması maçın ilk yarısında 19,3 m, ikinci yarısında 19,6 m olmak üzere maç boyunca 19,5 m olarak hesaplanmıştır. Hakemlerin topa en yakın olduğu dönem 18,7 m ile maçın ilk 15 dakikalık döneminde gerçekleşmiştir.

Weston vd (2010) tarafından, dört ardışık sezon boyunca faullerden ve toptan uzaklığa bağlı olarak futbol hakemlerinin fiziksel maç performansları üzerine yaşın etkisini ve rekabetçi maçlar sırasında futbol hakemlerine dayatılan fizyolojik yük üzerine yaşın etkisini incelemek amacıyla "Ageing and physical match performance in English premier league soccer referees" adlı çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmadaki veriler, 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006 ve 2006-2007 sezonları boyunca İngiltere Futbol Federasyonu birinci liginde gözlemlenen 778 maçta 22 profesyonel hakemden toplanmıştır. Hakemlerin yaşı her sezonun ilk gününde alınmıştır. Hakemler, daha önce yapılan çalışmalarla uyumlu olarak üç farklı yaş grubuna ayrılmıştır: Genç (31-36 yaş, gözlenen maç n=135), orta yaşlı (37-42 yaş, gözlenen maç n=308) ve daha yaşlı (43-48 yaş, gözlenen maç n=335). Her maç, bilgisayarla donatılan yarı otomatik video maç analiz görüntü tanıma sistemi kullanılarak izlenmiştir. Analiz için hakemlerin maç koşu performanslarının ölçümleri aşağıdaki şekilde yapılmıştır;

- 1) toplam kat edilen mesafe
- 2) yüksek yoğunluklu koşu mesafesi (19,8 km/h'den fazla)
- 3) hızlı koşu sayısı (25,2 km/h'den fazla)

- 4) en yüksek hızda koşu (m/sn)
- 5) toptan uzaklık (m)
- 6) faullerden uzaklık (m).

Hakemler global yoğunluk değerlendirmesini elde etmek için Borg'un CR10 ölçeğini kullanarak kendi yorgunluk derecelerini maçın bitiminden 30 dakika sonrasına kadar kaydetmişlerdir. Maç kalp atım hızı ise kısa mesafeli uzaktan ölçüm sistemi ile 5 saniyede bir kaydedilmiş ve analiz edilmiştir. Maç kalp atım hızı yükü, beş farklı kalp atım hızı bölgesinin her birinde bulunulan süre ile bir çarpanın çarpılmasıyla hesaplanmıştır (<60%KAHm = 1; 60-75% = 2; 76-85% = 3; 86-93% = 4; >93% = 5). Hakemlerin bireysel maksimum kalp atım hızları, maç sırasında gözlenen 5 saniyelik dönemlerin herhangi birindeki tepe değerinden tespit edildiği belirtilmiştir.

Weston vd'nin (2010) bu çalışma sonucunda elde ettiği bulgulara göre fiziksel maç performansları incelendiğinde genç hakemlerin (12209 m), orta yaşlı (11490 m) ve daha yaşlı hakemlere (11302 m) göre daha çok mesafe kat ettikleri belirlenmiştir. Hakemlerin yaşları arttıkça toplam kat edilen mesafenin, yüksek yoğunluklu koşu mesafesinin ve hızlı koşu sayısının azaldığı raporlanmıştır. Daha yaşlı hakemlerin genç hakemlere göre toplam kat ettikleri mesafenin %7,4, yüksek yoğunluklu koşu mesafesinin %28,4 ve hızlı koşu sayısının %35 daha az olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Daha yaşlı hakemlerin en yüksek hızdaki koşu hızlarının (8,53 m/sn), genç (8,69 m/sn) ve orta yaşlı hakemlere (8,64 m/sn) göre daha yavaş olduğu tespit edilmiştir. Toptan uzaklık ve faullerden uzaklık için genç ve daha yaşlı hakemler arasında herhangi bir fark gözlenmemiş, daha yaşlı hakemlerin orta yaşlı hakemlere göre %2-3 daha az mesafede buldukları belirtilmiştir. Maç kalp atım hızı yükü açısından yaş grupları arasında fark görülmemiştir. Diğer taraftan daha yaşlı hakemlerin hissedilen yorgunluk derecesi genç ve orta yaşlı hakemlerle kıyaslandığında belirgin bir şekilde daha yüksek bulunmuştur. Weston vd bu çalışmada, hakemin kalp atım hızı ile yaşı arasında bir ilişki olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Weston vd (2011a) tarafından "Variability of soccer referees' match performance" adlı çalışma, seçkin futbol hakemlerinin maç performans aktivitelerinin uzun ve kısa dönemli maçlar arası değişkenliğini ölçmek ve maçtan maça değişkenler üzerindeki hakem yaşı ve deneyiminin etkilerini incelemek amacıyla hazırlanmıştır. Bu çalışmada 2003-2004 sezonu ile 2007-2008 sezonunu kapsayan 5 sezonda İngiltere birinci liginde 919 ve ikinci liginde 350 olmak üzere toplam 1269 karşılaşmada 59 hakem izlenmiştir. Her hakemin 2 ile 79 arasında maç yönettiği belirtilmiştir. Maçlar, bilgisayarla donatılan yarı otomatik video maç analiz görüntü tanıma sistemi (ProZone®) kullanılarak incelenmiştir. Hakemlerin maçtan maça değişkenliğinde yaşın etkisini incelemek için hakemler yaşa göre, genç (22-36 yaş, 23 hakem, 338 maç), orta yaşlı (37-42 yaş, 24 hakem, 420 maç) ve daha yaşlı (43-49 yaş, 12 hakem, 511 maç) olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Hakemlerin maçtan maça değişkenliğinde deneyimin etkisini incelemek için ise hakemler iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup (46 hakem, 571 maç), İngiltere birinci ve ikinci liginde 4 sezon veya daha az görev yapmış hakemlerden, ikinci grup (13 hakem, 698 maç) ise 4 sezondan daha fazla görev yapmış hakemlerden oluşturulmuştur.

Fiziksel performansın ölçümünde aşağıdaki kategoriler kullanılmıştır. 1) toplam kat edilen mesafe, 2) yüksek hızda koşu mesafesi (19,8 km/h'den fazla), 3) yüksek hızlı dönemler arasındaki ortalama toparlanma zamanı (s), 4) hızlı koşu sayısı (25,2 km/h'den fazla), 5) en yüksek hızda koşu (km/h), 6) hızlı ivmelenmelerin yüzdesi (yavaştan 25,2 km/h'e ulaşma). Bu değerlerin, kullanılan sistemin (ProZone®) varsayılan eşik değerleri olduğu, daha önce yapılan hakem ve futbolcu performans analiz çalışmaları ile tutarlı olduğu belirtilmiştir. Kısa dönemli maçlar arası hakemlerin fiziksel performans ölçümlerindeki değişikliğin belirlenmesi için her bir sezonda 8 haftalık bir dönem zarfında 15 hakemden alınan maç bilgileri analiz edilmiştir. Uzun dönemli maçlar arası analizde ise 1269 maç incelenmiştir.

Weston vd (2011a) bu çalışma ile hakemlerin maç sırasında ortalama olarak kat ettikleri mesafenin 11770 m, yüksek hızda koşu mesafesinin 889 m, en yüksek koşu hızının 31,8 km/h, sprint sayısının 30,5 adet, faullerden uzaklığın 14,6 m, toptan uzaklığın 19,4 m ve maçıdaki faul sayısının 28 adet olduğunu tespit etmişlerdir. Hem kısa hem de uzun dönemli maçlar için toplam kat edilen mesafe, en yüksek koşu hızı aktiviteleri ile faullerden uzaklık ve toptan uzaklık mesafelerinin değişim katsayısı düşük iken, yüksek hızda koşu mesafesi, toplam sprint sayısı ve maçıdaki faul sayısının değişim katsayısının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Hakemlerin maç performans aktivitelerinin maçıdan maça değişmesinde hakemlerin yaşının ve tecrübesinin herhangi bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir.

Da Silva vd (2011), sıvı değişiminin miktar ve bileşiminin resmi maçlar boyunca erkek futbol hakemlerinin fiziksel performansına etkisini ve ağız yoluyla alınan sıvı çeşitleri ile performansın ilişkisini belirlemek amacıyla "Time motion analysis of football referees during official matches in relation to the type of fluid consumed" adlı çalışmayı yapmışlardır. Çalışmaya, Brezilya Futbol Konfederasyonu tarafından atanmış 10 erkek futbol hakemi katılmıştır. Katılan hakemlerin ortalama yaşları 38 yıl, ortalama boyları 180 cm, ortalama ağırlıkları 85 kg olarak hesaplanmıştır. Hakemler bu çalışmaya gönüllü olarak katılmışlar ve bu çalışmanın gerekleri hakkında bilgilendirilerek açıklama formunu imzalamışlardır. Çalışma, Parana Futbol Şampiyonasının 2005 ve 2006 yıllarının Şubat ayından Nisan ayına kadar olan dönemindeki resmi maçlar boyunca gerçekleştirilmiştir. Çalışma dönemi boyunca hakemlerin profesyonel yaşamlarına ve normal eğitimlerine devam etmelerine özen gösterildiği belirtilmiştir.

Resmi bir maç sırasında hakemlerin vücut su kaybı üç ayrı durumda incelenmiştir.

- 1- Normal maç koşulları altında libitum adlı mineral suyun tüketimi,
- 2- Önceden miktarı belirlenmiş mineral suyun tüketimi,
- 3- Önceden miktarı belirlenmiş karbonhidrat elektrolit çözeltinin tüketimi.

Sıvıların özgül miktarları, Da Silva ve Fernandez (2003) tarafından bir resmi maçta hakemler üzerinde yapılan çalışmaya uygun olarak hakemlerin vücut kütlelerinin yaklaşık %1,5'inin kaybı temel alınarak değerlendirilmişlerdir. Tüketilen sıvının miktar ve bileşiminin bağırsağa olumsuz etkisinden kaçınmak için hakemler sadece, kendi vücut kütlelerinin %1'ine denk gelen yoğunluğu almışlardır. Bu yoğunluğun ağız

yoluyla alımının, maç başlamadan ve ikinci yarı başlamadan 10 dakika önce olmak üzere iki döneme bölüdüğü raporlanmıştır. Hakemlerin kütleleri maçtan önce ve maçtan 10 dakika sonra dijital tartı kullanılarak 100 gr hata payı ile ölçülmüştür. Hakemlerin toplam vücut su kaybının hesabında kullanılmak amacıyla idrarlarını verilen tüplere doldurmaları konusunda bilgilendirildikleri belirtilmiştir.

Da Silva vd (2011), futbol hakemlerinin maç sırasındaki fizyolojik performanslarını, Castagna ve D'Ottavio (2007) ile Krstrup ve Bangsbo (2001) tarafından kullanılan zaman hareket analiz yöntemini kullanarak gerçekleştirdiklerini raporlamışlardır. Çalışma sırasındaki tüm maçlar, futbol sahasının kenarında, orta çizgi hizasında, sahadan 15-20 m uzaklıkta ve yaklaşık 15 m yüksekliğe konumlandırılan uçayağa bağlanmış bir dijital kamera ile kaydedilmiştir. Hareket aktivitelerini değerlendirmek için hakemler, yakın çekim olarak tüm maç boyunca kaydedilmişlerdir. Hakem hareketleri için aşağıdaki hareket kategorileri kullanılmıştır; durma, yürüme (5,83 km/h), yavaş koşu (8,85 km/h), koşu (11,37 km/h), hızlı koşu (18,28 km/h) ve geri koşu (8,85 km/h). Bu kategorilerin, Da Silva vd (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmaya uyumlu olarak seçildiği ve her bir kategorinin ortalama hızına videolar incelendikten sonra karar verildiği belirtilmiştir. Sahada mesafesi bilinen işaretçiler arasındaki aktivite geçiş zamanı, her aktivitenin hızının hesaplanmasında kullanılmıştır. Her bir aktivitenin frekans ve süresi, aynı deneyime sahip gözlemciler tarafından dijital olarak kaydedilmiştir. Bu veriler her bir aktivitede hakemin kat ettiği mesafenin hesaplanmasında kullanılmıştır. Maçın her bir aşamasındaki toplam kat edilen mesafeler her bir hareket aktivitesindeki mesafelerin toplanması ile hesaplanmıştır.

Da Silva vd (2011), maçlar sırasında çevresel koşulların sıcak olduğunu, hava sıcaklık ortalamasının 23,1°C, ortalama nem oranının %67 olduğunu raporlamışlardır. İçilen libitum adlı mineral suyun miktarının 0,48 L, önceden miktarı belirlenmiş mineral suyun tüketiminin 0,84 L ve karbonhidrat elektrolit çözelti tüketiminin 0,86 L olduğunu belirtmişlerdir. Hakemler, libitum tükettiklerinde maç öncesi kütlelerinin %1,97'sini, mineral su tükettiklerinde %1,3'ünü, karbonhidrat çözelti tükettiklerinde ise %1,02'sini kaybettikleri belirlenmiştir. Hakemler libitum tükettiklerinde maç boyunca ortalama 9189 m mesafe kat ederken bunun 4594 metresini yürüme, 2859 metresini yavaş koşu, 903 metresini koşu, 98 metresinin hızlı koşu ve 733 metresini geri koşu aktivitesi sırasında gerçekleştirmişlerdir. Mineral su tüketildiğinde 4592 m yürüme, 2492 m yavaş koşu, 1096 m koşu, 144 m hızlı koşu ve 817 m geri koşu aktivitesinde olmak üzere ortalama 9153 m mesafe kat etmişlerdir. Karbonhidrat çözelti tüketildiğinde ise 4587 m yürüme, 2357 m yavaş koşu, 1035 m koşu, 126 m hızlı koşu, 1024 m geri koşu olmak üzere tüm aktivitelerde 9131 m mesafe kat edilmiştir. Her üç sıvının tüketiminde de yürüme aktivitesi için ikinci yarıda ilk yarıya göre daha fazla mesafe kat edilirken, yavaş koşu aktivitesi için daha az mesafe kat edildiği belirtilmiştir.

Aoba vd (2011) gerçekleştirdikleri çalışmada, maç boyunca hareket geçmişi, hareket mesafesi, hareket hızı, kalp atım hızı, diyagonal kontrol sistemi alanı dışındaki hareket mesafesi ve hakem ile faulün meydana geldiği nokta arasındaki mesafe olmak üzere hakem performansının objektif olarak değerlendirilmesine imkân veren fiziksel formun 6 yönünü incelemeyi amaçlamışlardır. Bunun için 2 farklı araştırma yapmışlardır.

Birinci araştırmaya 7 tane birinci sınıf ve 7 tane ikinci sınıf hakem olmak üzere Japonya Futbol Federasyonuna kayıtlı 14 hakem katılmıştır. Birinci sınıf hakemlerin ortalama mesleki deneyimi 12 yıl, yaş ortalaması 33 yıl, boy ortalaması 172 cm, ağırlık ortalaması 65 kg iken, ikinci sınıf hakemlerin ortalama mesleki deneyimi 5 yıl, yaş ortalaması 23 yıl, boy ortalaması 175 cm, ağırlık ortalaması 66 kg olarak hesaplanmıştır. Hakemlere, araştırmanın amacı ve yöntemi hakkında yazılı ve sözlü açıklama yapıldığı ve katılmadan önce hakemlerin yazılı izinlerinin alındığı belirtilmiştir. Araştırmada 10 tane Kanto Üniversitesi Futbol Ligi maçı ve 4 tane Chiba Yetişkin Amatör Ligi maçları olmak üzere toplam 14 maçın incelendiğı raporlanmıştır. Aoba vd, maç boyunca hakem hareketinin rotasını, mesafesini ve hızını belirlemek için Ohashi vd tarafından geliştirilen ve üçgen yardımıyla ölçüm yapan davranış analiz sisteminin kullanıldığını belirtmişlerdir. Sahanın taç çizgilerine paralel iki noktaya, potansiyometre yüklü, yüksek hassasiyetli kameralar yerleştirilmiştir. Araştırmacılar, üçgenin ölçülmüş açılardan eşdüzlemlı koordinatları elde etmişlerdir. Hareketin hız ve mesafe bilgileri her 0,5 saniyede bir sağlanmıştır. Hareketin hızı, mesafenin zamana bölümüyle hesaplanmıştır. Kalp atım hızı, göğüs vericisi (Polar) ile ölçülmüştür. Ortalama kalp atım hızı bilgileri 5 saniyede bir kaydedilmiştir. Tahmini en yüksek kalp atım hızı değeri "220-yaş" olarak ayarlanmıştır. Hakemin diyagonal kontrol sistemi alanı dışındaki hareket mesafesi, dijital eğriölçer kullanılarak ölçülmüştür. Cihaz kullanılmadan önce ölçüm biriminin 1 m ve ölçek boyutunun 500 olarak ayarlandığı belirtilmiştir.

İkinci araştırmaya 45 hakem katılmıştır. Hakemlerin, 15 tanesinin 2006 FIFA Dünya Kupasında görev yapmış uluslararası hakem, 15 tanesinin 2007 Japonya Liginde görev yapmış birinci sınıf hakem, 15 tanesinin de 81'inci Kanto Üniversitesi Futbol Liginde görev yapmış ikinci sınıf hakem olduğu raporlanmıştır. Uluslararası ve birinci sınıf hakemlerin yönettiğı maçlar, televizyon yayınından çok amaçlı sayısal diske (DVD), ikinci sınıf hakemlerin yönettiğı maçlar ise dijital videokasete kaydedilmiştir. Görüntülerin durdurulabilir ve işaretlenebilir olduğu belirtilmiştir. Hakemlerin olası pozisyonlarının çok daha doğru olması için sahadaki çim çizgilerinin ve saha çizgilerinin de kaydedildiğı raporlanmıştır. İkinci sınıf hakemler videolarda "R" ile, faulün meydana geldiğı nokta ise "F" ile işaretlenmiştir.

Aoba vd (2011) çalışma sonucunda, birinci sınıf hakemlerin maçın ilk yarısında 6131 m, ikinci yarısında 5996 m ve toplamda 12029 m mesafe kat ettiklerini, ikinci sınıf hakemlerin maçın ilk yarısında 5898 m, ikinci yarısında 6035 m ve toplamda 12031 m mesafe kat ettiklerini belirlemişlerdir. Hareket hızı ilk yarıda birinci sınıf hakemler için 2,3 m/sn, ikinci sınıf hakemler için 2,2 m/sn olarak, ikinci yarıda hem birinci sınıf hakemler hem de ikinci sınıf hakemler için 2,2 m/sn olarak gerçekteşmiştir. İlk yarıda birinci sınıf hakemler arasında en sık görülen hareket hızı 3-4 m/sn ve hareket mesafesi 1424 m, ikinci sınıf hakemler arasında en sık görülen hareket hızı 2-3 m/sn ve hareket mesafesi 1365 m olarak saptanmıştır. İkinci yarıda hem birinci sınıf hem de ikinci sınıf hakemler için en sık görülen hareket hızı 2-3 m/sn olarak gerçekteşirken birinci sınıf hakemler için hareket mesafesi 1398 m, ikinci sınıf hakemler için 1379 m olarak tespit edilmiştir.

Birinci sınıf hakemlerin kalp atım hızı ilk yarıda 162 atım/dk, ikinci yarıda 164 atım/dk, maç boyunca 163 atım/dk olarak, ikinci sınıf hakemlerin kalp atım hızı ilk

yarıda 168 atım/dk, ikinci yarıda 169 atım/dk, maç boyunca 168 atım/dk olarak hesaplanmıştır. Birinci sınıf hakemlerin en yüksek kalp atım hızı %87, ikinci sınıf hakemlerin en yüksek kalp atım hızı %86 olarak tespit edilmiştir. 15 dakikalık dönemlerdeki kalp atım hızları birinci sınıf Japon hakemler için sırasıyla 156±16, 165±15, 166±16, 160±18, 165±15 ve 167±16 atım/dk, ikinci sınıf Japon hakemler için ise 165±14, 168±13, 171±16, 166±17, 169±14 ve 171±15 atım/dk olarak raporlamışlardır.

Diyagonal kontrol sistemi alanı dışındaki hareket mesafesi, birinci sınıf hakemler için 689 m, ikinci sınıf hakemler için 1126 m olarak saptanmıştır. Birinci sınıf hakemlerin diyagonal kontrol sistemi alanı dışındaki toplam hareket mesafesinin 364 metresi ilk yarıda, 325 metresi ikinci yarıda gerçekleşirken, ikinci sınıf hakemlerin diyagonal kontrol sistemi alanı dışındaki toplam hareket mesafesinin 509 metresi ilk yarıda, 617 metresi ikinci yarıda gerçekleşmiştir. Aoba vd, birinci sınıf hakemlerin diyagonal kontrol sistemi alanı dışındaki hareket mesafesinin ikinci sınıf hakemlere göre belirgin olarak daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Hakem ile faulün meydana geldiği yer arasındaki mesafe, uluslararası hakemler için 12 m, birinci ve ikinci sınıf hakemler için 14 m olarak hesaplanmıştır. 15 dakikalık dönemler kıyaslandığında maçın son 15 dakikalık döneminde uluslararası ve birinci sınıf hakemler arasında belirgin bir fark olduğu raporlanmıştır.

Weston vd (2011b) "Changes in a top-level soccer referee's training, match activities, and physiology over an 8-year period: a case study" adlı çalışmayı, üst düzey bir futbol hakeminin antrenman yükü, fiziksel maç performansı ve fizyolojik formunu belirlemek amacıyla yapmışlardır. Katılımcının, 2000 yılında 31 yaşındayken İngiltere Futbol Ligi hakem listesine yükseltilmiş erkek hakem olduğu ve 2010 yılında aynı sezonda UEFA Şampiyonlar Ligi ve FIFA Dünya Kupası finallerini yöneterek tarihe geçen ilk hakem olduğu belirtilmiştir. Hakemin 2002 yılındaki ağırlığının 97,1 kg, 2010 yılındaki ağırlığının ise 98,7 kg olduğu raporlanmıştır. Bu çalışmada, 2003-2004 sezonundan 2009/2010 sezonuna kadarki 7 futbol sezonu incelenmiştir. Sezon başına ortalama 15 maçın analizine dayanan fiziksel maç performans verilerinin, bilgisayarla hesaplanan, yarı otomatik video maç analiz görüntü tanıma sistemi (Prozone) kullanılarak toplandığı raporlanmıştır. Hakemin maç performans ölçümleri Weston vd (2010)'nin çalışmasında olduğu gibi sınıflandırılmıştır. Weston vd'nin, "Ageing and physical match performance in English premier league soccer referees" adlı çalışmada bu sınıflandırmayı; toplam kat edilen mesafe, yüksek yoğunluklu koşu mesafesi (koşu hızı 5,5 m/sn'den fazla), hızlı koşu sayısı (koşu hızı 7 m/sn'den fazla), en yüksek hızda koşu (m/sn), toptan uzaklık (m), faullerden uzaklık (m) şeklinde yaptıkları görülmüştür.

Weston vd (2011b), çalışma süresi içinde toplam maç mesafelerinin azalma, yüksek hızda koşu mesafeleri ile sprint sayısı ve en yüksek sprint hızlarının artma eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir. Hakemler ortalama olarak 2003/2004 sezonunda 12513 m, 2004/2005 sezonunda 13042 m, 2005/2006 sezonunda 12508 m, 2006/2007 sezonunda 12249 m, 2007/2008 sezonunda 12151 m, 2008/2009 sezonunda 11700 m ve 2009/2010 sezonunda 11171 m mesafe kat etmişlerdir. Yüksek hızda koşu sırasında kat edilen mesafeler ortalama olarak 2003/2004 sezonunda 808 m ile en düşük değerde iken 2007/2008 sezonunda 1263 m ile en yüksek değerde gerçekleşmiştir. Hakemin 2003/2004 sezonunda maç boyunca yaptığı ortalama sprint sayısı 22 adet olarak

hesaplanmıştır. Sprint sayısı özellikle 2007/2008 sezonundan itibaren artmış ve 2009/2010 sezonunda ortalama 50 adet gerçekleşmiştir. Maç boyunca ortalama toptan uzaklık mesafesinin 17,4 m ile en kısa olduğu sezon 2004/2005 iken, 19,1 m ile en uzun olduğu sezon ise 2009/2010 sezonu olmuştur. Faullerden uzaklık mesafesi, çalışmanın yapıldığı 7 sezon boyunca ortalama 13,6 m ile 14,6 m arasında gerçekleşmiştir.

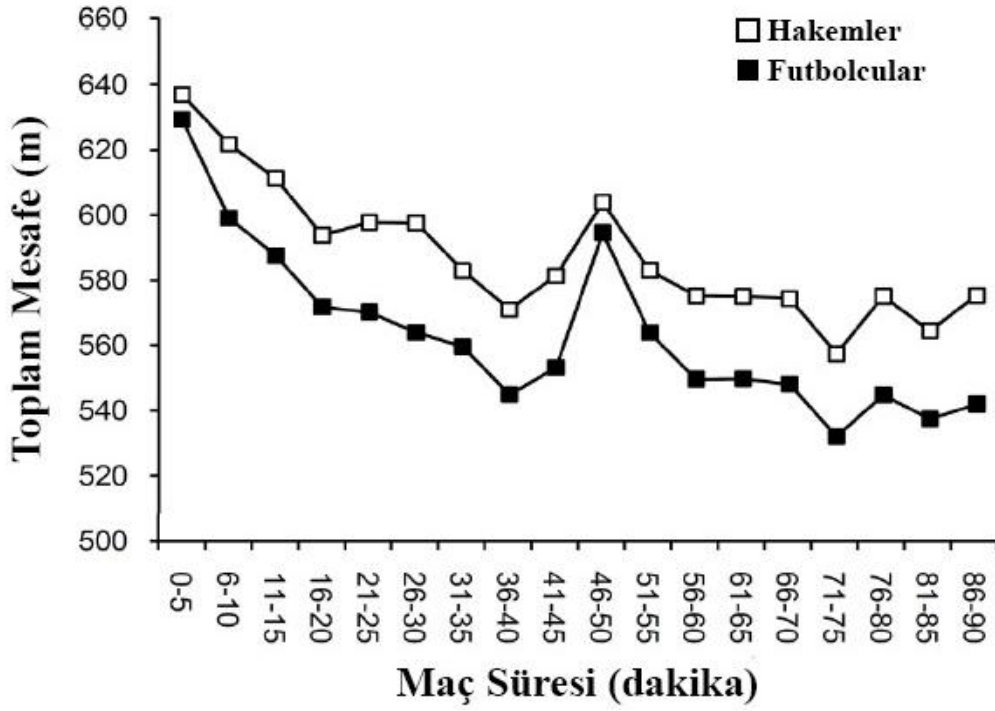
Weston vd (2011c), "Intensities of exercise during matchplay in FA Premier League referees and players" adlı çalışmayı üst düzey futbol hakemleri ile futbolcuların maç sırasındaki egzersiz yoğunlukları arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla gerçekleştirmişlerdir. Katılımcıların, 18 İngiltere Futbol Federasyonu Birinci Lig hakemi olduğu belirtilmiştir. Çalışma verilerinin 2008/2009 İngiltere futbol sezonu boyunca Birinci Lig maçlarından toplandığı raporlanmıştır. Hakemlerin yaşlarının 26-49 yıl aralığında, yaş ortalamasının 40 yıl, ağırlık ortalamasının 82,8 kg olduğu belirlenmiştir. Deneysel çalışma hakkında yazılı ve sözlü açıklamalar yapılmış ve kabul ettiklerine dair hakemlerden yazılı onay alınmıştır.

Hakemlerin egzersiz yoğunlukları 236 maçta, yarı otomatik video maç analiz görüntü tanıma sistemi (Prozone) kullanılarak incelenmiştir. Analiz için egzersiz yoğunluğu ölçümleri, toplam kat edilen mesafe, yüksek hızda koşu mesafesi (>19,8 km/h) ve sprint mesafesi (>25,2 km/h) olarak 3 kategoriye ayrılmıştır. Egzersiz yoğunlukları aynı sistem (Prozone) kullanılarak kaydedilen futbolcuların ölçümleri, 3 kategori için de futbolcuların kat ettiği mesafelerin toplamı kaleci haricindeki diğer futbolcuların sayısına bölünerek hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar 5 dakikalık 18 eşit dönemin her birinde yapılmıştır. Bu çalışmada 488 futbolcu incelenmiştir.

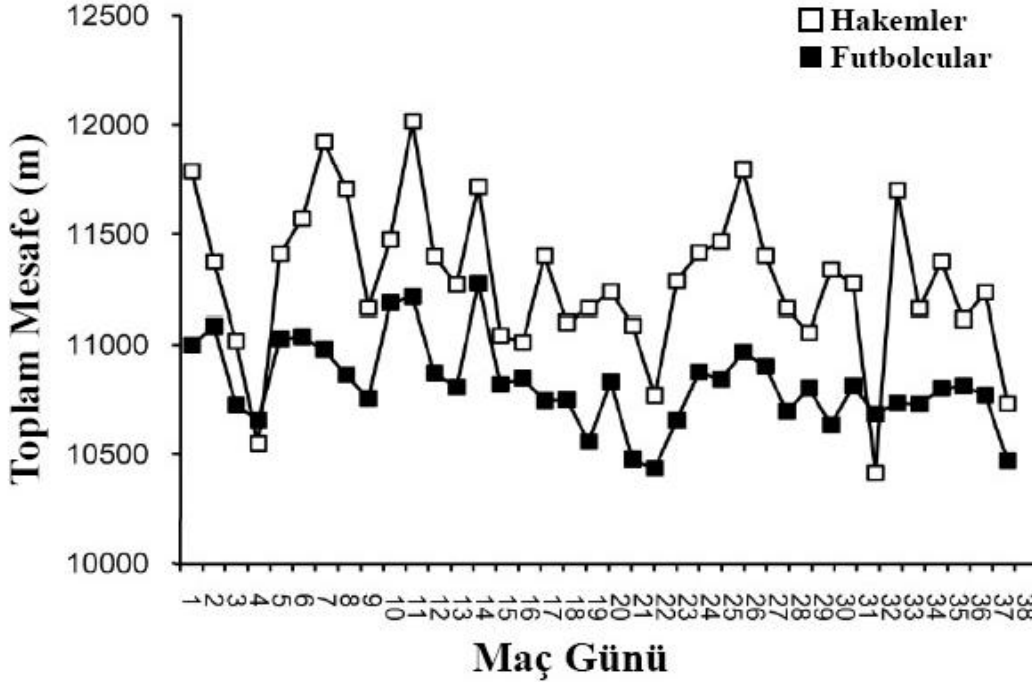
Maç egzersiz yoğunluklarının sezon içi değişimleri, 2008/2009 sezonu boyunca 38 maç gününde hakem ve futbolcuların ortalama koşu mesafeleri kıyaslanmıştır. Bunun için 13 hakem, Ağustos-Eylül aylarında 27 maç, Ekim-Kasım aylarında 46 maç, Aralık-Ocak aylarında 53 maç, Şubat-Mart aylarında 33 maç ve Nisan-Mayıs aylarında 47 maç olmak üzere toplam 206 maçta incelenmiştir.

Weston vd (2011c) bu çalışmanın sonucunda futbolcuların maç boyunca 10794 m mesafe kat ettiklerini, hakemlerin ise 11280 m ile maç boyunca futbolculardan daha fazla mesafe kat ettiklerini belirtmişlerdir. Yüksek hızda koşu mesafelerine bakıldığında hakemlerin 716 m, futbolcuların 703 m mesafe kat ettikleri saptanmıştır. Hakemlerin sprint mesafesi 153 m, futbolcuların sprint mesafesi ise 262 m olarak kaydedilmiştir. Hakem ve futbolcuların maç boyunca 5 dakikalık dönemlerde ortalama kat ettikleri mesafeler Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

Hakemlerin maç günü kat ettikleri mesafelerin ortalama değeri 26756 m iken futbolcuların 20031 m olarak gerçekleşmiştir. Hakem ve futbolcuların maç günlerinde kat ettikleri ortalama mesafeler Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. 5 dakikalık dönemlerde hakem ve futbolcuların kat ettikleri mesafeler (Weston vd 2011c)



Şekil 2.5. 2008/2009 İngiltere birinci ligi boyunca hakem ve futbolcuların maç günü toplam mesafeleri (Weston vd 2011c)

Di Salvo vd (2011), "Football officials activities during matches: a comparison of activity of referees and linesmen in European, Premiership and Championship matches" adlı çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, 2005/2006 futbol sezonunda UEFA ve Şampiyonlar Ligi ile İngiltere birinci ve ikinci ligi maçlarını yöneten hakem ve yardımcı hakemlerin aktivitelerini karşılaştırmayı ve farklı turnuvalardaki hakem aktiviteleri arasında fark olup olmadığını belirlemeyi amaçlamışlardır. Analiz, bilgisayara yüklenen video sistemi (Prozone) kullanılarak yapıldığı belirtilmiştir. Bu yöntemin, teknik olarak karmaşık olan, pek çok kişinin yaptığı bir spor aktivitesini takip etmeye izin verdiği raporlanmıştır. 8 kamera, oyun alanının hepsini görecektir şekilde sahanın etrafına konumlandırılmıştır. Doğruluk, çözüm ve esneklik için her bölge en az 2 kamera ile izlenmiştir. Analizde kullanılacak aktiviteler ve hız aralıkları şu şekilde tanımlanmıştır; yürüme (<7,2 km/h), yavaş koşu (7,3 km/h ile 14,4 km/h arasında), koşu (14,5 km/h ile 19,8 km/h arasında), yüksek hızda koşu (19,9 km/h ile 25,2 km/h arasında), sprint (>25,2 km/h). Yüksek yoğunluklu aktivitelerin, hızı 19,8 km/h'den büyük olan aktiviteleri içerdiği belirtilmiştir.

Çalışmada 14 UEFA ve Şampiyonlar Ligi maçı, 202 İngiltere Birinci Ligi maçı ve 112 İngiltere İkinci Lig maçı analiz edilmiştir. İncelenen 68 hakem ve 170 yardımcı hakemden 10 hakem ve 23 yardımcı hakem Avrupa Kupalarında, 20 hakem ve 49 yardımcı hakem Birinci Ligde, 48 hakem ve 128 yardımcı hakem İkinci Ligde maç yönetmişlerdir. Avrupa Kupalarında görev alan hakem ve yardımcı hakemlerden hiçbirinin Birinci Ligde maç yönetmediği raporlanmıştır.

Di Salvo vd (2011) elde ettikleri bilgiler doğrultusunda hakemlerin, Avrupa Kupası maçlarında ortalama 11308 m, İngiltere Birinci Lig maçlarında 11602 m ve İngiltere İkinci Lig maçlarında 11991 m mesafe kat ettiklerini belirlemişlerdir. Tüm maçlar için hakemlerin ilk yarıda ortalama 1701,6 m yürüme, 2517 m yavaş koşu, 1240,5 m koşu, 1240,5 m yüksek hızda koşu, 56,7 m sprint ve 5894,7 m toplam koşu mesafesi kat ettikleri, ikinci yarıda ise ortalama 1736,4 m yürüme, 2426,1 m yavaş koşu, 1218,8 m koşu, 371,7 m yüksek hızda koşu, 58,1 m sprint ve 5827,8 m toplam koşu mesafesi kat ettikleri tespit edilmiştir. Tek tek aktivitelere bakıldığında Birinci Ligde görev yapan hakemler diğer turnuvalarda görev yapan hakemlere göre yürüme aktivitesinde 3456,3 m ile en yüksek mesafeyi kat etmişlerdir. İkinci Lig maçlarını yöneten hakemlerin özellikle 5169,5 m ile yavaş koşu ve 2528,3 m ile koşu aktivitelerinde kat ettikleri mesafeler en yüksek değerler olarak bulunmuştur.

Yardımcı hakemler maç boyunca Avrupa Kupası maçlarında 6419 m, Birinci Lig maçlarında 6487 m, İkinci Lig maçlarında 6617 m mesafe kat etmişlerdir. Yapılan aktivitelere göre turnuvalar kıyaslandığında yürüme aktivitesinde kat edilen en yüksek mesafe 2956,2 m ile Avrupa Kupası maçlarında gerçekleşmiştir. Diğer aktivitelerde kat edilen en yüksek mesafeler İngiltere İkinci Ligi maçlarında olmuştur. İkinci Lig maçlarındaki yavaş koşu aktivitesinde 2425 m, koşu aktivitesinde 1024,8 m, yüksek hızda koşu aktivitesinde 434,1 m, sprint aktivitesinde 83,5 m mesafe kat edilmiştir.

Barbero-Alvarez vd (2012), "Physical and physiological demands of field and assistant soccer referees during America's cup" adlı çalışmalarını 2007 Amerika Kupası boyunca üst düzey hakemlerin ve yardımcı hakemlerin fiziksel ve fizyolojik gereksinimlerini incelemek amacıyla yapmışlardır. Çalışmada 2007 yılı Haziran ve

Temmuz aylarında düzenlenen Amerika Kupasına katılan 13 hakem ve 12 yardımcı hakem arasından rastgele olarak 7 hakem ve 7 yardımcı hakem seçilmiştir. Seçilenlerin ortalama yaş, boy ve ağırlıkları hakemler için sırasıyla 40 yıl, 175 cm, 68 kg iken yardımcı hakemler için sırasıyla 36 yıl, 174 cm ve 76,1 kg olarak ölçülmüştür. Tüm hakemler turnuva programına bağlı olarak haftada 3-5 oturum eğitim almışlar ve hakemlerden turnuva öncesinde FIFA tarafından belirlenen saha testlerini başarmaları istenmiştir.

Çalışma sırasında maç aktivitelerinin ölçülmesi için GPS teknolojisi (SPI Elite) kullanılmıştır. Hakem ve yardımcı hakemler 100 Hz. frekanslı, üç eksenli ivmeölçer ile donatılmış 1 Hz frekanslı GPS cihazı taşımışlardır. GPS cihazı maçlardan 45 dakika önce açılmış ve en az 4 uydu tespit edilmiştir. Elde edilen bilgiler analiz için lisanslı yazılıma aktarılmıştır. Castagna vd (2003) ve Castagna vd (2007) tarafından yapılan daha önceki çalışmalar temel alınarak maç aktiviteleri; durma (0-0,4 km/h), ileri yürüme (0,5-4 km/h), düşük yoğunlukta koşu (4,1-8 km/h), orta yoğunlukta koşu (8,1-13 km/h), yüksek yoğunlukta koşu (13,1-18 km/h) ve maksimum hızda koşu (>18 km/h) kategorilerine ayrılmıştır. Ayrıca bireysel en yüksek koşu hızları ve yüksek yoğunluklu ivmelenme sayısı kaydedilmiştir. Yüksek yoğunluklu ivmelenmenin tanımlanması için eşik değer olarak 8-18 km/h hız aralığı içinde 1,5 m/sn² değeri kabul edildiği belirtilmiştir. Kardiovasküler stresi değerlendirmek için ise taşınabilir, uzaktan ölçüm yapabilen kalp atım hızı izleme cihazı kullanılmıştır. Analiz için değişik egzersiz yoğunluklarında harcanan zaman (<65% KAHm; 65-75% KAHm; 76-85% KAHm; 86-95% KAHm and >95% KAHm) dikkate alınmıştır.

Barbero-Alvarez vd (2012) çalışma sonucunda, bir futbol maçında hakemlerin ortalama kat ettikleri mesafenin 10197 m, yardımcı hakemlerin ortalama kat ettikleri mesafenin ise 5819 m olduğunu belirtmişlerdir. Kat edilen mesafeye göre hakemler maç sırasında daha çok 3127 m ile orta yoğunluklu koşu ve 3043 m ile düşük yoğunluklu koşu yapmışlardır. Bu aktivitelerin meydana gelme yüzdeleri sırasıyla %30,8 ve %30 olarak gerçekleşmiştir. Yardımcı hakemler ise daha çok 2010 m ile düşük yoğunluklu koşu ve 1610 m ile yürüme aktivitelerini yapmışlardır. Meydana gelme yüzdelerine göre %34,7 düşük yoğunluklu koşu, %27,9 yürüme ve %24,2 orta yoğunluklu koşu aktivitesi gerçekleşmiştir. Maçların birinci yarısına kıyasla ikinci yarılarında hakemler için orta ve yüksek yoğunluklu koşu mesafelerinin azaldığı, yardımcı hakemler için ise yürüme, düşük yoğunluklu ve maksimum hızda koşu mesafelerinin azaldığı tespit edilmiştir. Tüm koşu aktiviteleri için hakemlerin, yardımcı hakemlere göre daha fazla mesafe kat ettiklerini raporlamışlardır.

Hakemler için ortalama ivmelenme sayısı ilk yarıda 40 adet, ikinci yarıda 28 adet gerçekleşirken bu eylem sırasında kat edilen mesafenin ilk yarıda 837 m, ikinci yarıda 701 m olduğu saptanmıştır. Yardımcı hakemlerin ortalama ivmelenme sayısı ile ivmelenme sırasında kat edilen mesafe için maçın iki yarısı arasında fark olmadığı belirtilmiştir. İlk yarıda 25 adet, ikinci yarıda 24 adet ivmelenme gerçekleşirken, bu eylem sırasında kat edilen mesafe ilk yarıda 356 m, ikinci yarıda 359 m olmuştur.

Kardiovasküler stres ile ilgili elde edilen verilere göre hakemlerin ortalama kalp atım hızları, maksimum kalp atım hızlarının %85,6'sı, yardımcı hakemlerin ise %75,3'ü olduğu tespit edilmiştir. Tüm maç için her 5 dakikalık periyotlarda hakemin kat ettiği

mesafe ile maksimum kalp atım hızının ortalaması arasında belirgin bir ilişki saptanmıştır.

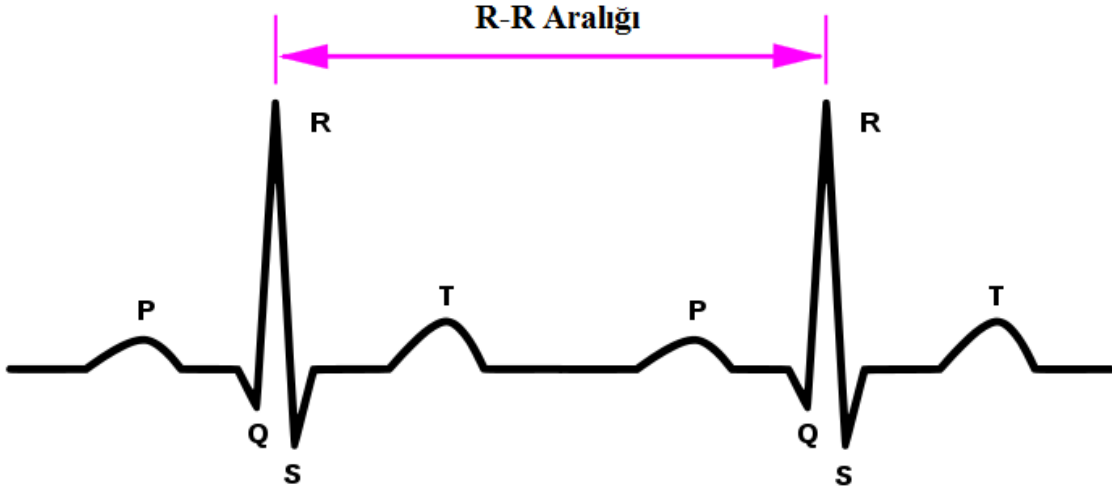
Costa vd (2013), "Monitoring external and internal loads of Brazilian soccer referees during official matches" adlı çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, profesyonel resmi maçlar sırasında Brezilyalı futbol hakemlerinin dâhili ve harici yüklerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmaya, yaş ortalaması 36,2 yıl ve ortalama mesleki deneyimleri 8,3 yıl olan 11 hakem katılmıştır. Hakemler, çalışmanın risk ve faydaları hakkında bilgi almış ve çalışmaya başlamadan önce, şartları kabul ettiklerine dair bilgi formunu imzalamışlardır. Her biri en az 3 yıl deneyime sahip 11 hakem, Rio Grande do Norte eyalet şampiyonasının 35 profesyonel futbol maçında incelenmiştir. Bu şampiyonadaki hiçbir takımın Brezilya ulusal futbol liginin ilk bölümüne katılmadığı raporlanmıştır. Futbol maçı boyunca toplam kat edilen mesafe ile ortalama ve en yüksek koşu hızının, harici yükün bir göstergesi olduğu belirtilmiştir. Hissedilen yorgunluk derecesi ve antrenman yükü ise dâhili yük olarak fizyolojik zorlanmanın göstergesi olarak farz edilmiştir.

Toplam kat edilen mesafe, en yüksek kalp atım hızının %90 ve yukarısına denk gelen yüksek yoğunluklu kalp atım hızı bölgesinde kat edilen mesafe, ortalama ve en yüksek koşu hızı değerleri, bileğe takılan ve kalp atım hızı göstergeli GPS alıcı (Garmin) kullanılarak belirlenmiştir. GPS alıcısı, her bir maçın ilk ve ikinci yarılarının öncesinde açılmış ve sonrasında kapatılmıştır. En yüksek kalp atım hızı, maç içinde ulaşılan en yüksek kalp atım hızının ölçümü yoluyla elde edilmiştir.

Costa vd (2013) çalışma sonucunda Brezilyalı hakemlerin maçın ilk yarısında 5219 m, ikinci yarısında 5230 m mesafe kat ettiklerini belirlemişlerdir. Hakemlerin sırasıyla ilk yarı ve ikinci yarı olmak üzere 6,6 km/h ve 6,4 km/h ortalama hızda, 19,3 km/h ve 19,4 km/h en yüksek hızda koştuğu saptanmıştır. Ölçümler sonunda hakemlerin ortalama kalp atım hızları maçın ilk yarısında 166 atım/dk, ikinci yarısında 165 atım/dk olarak, en yüksek kalp atım hızları ise maçın hem ilk hem de ikinci yarısında 184 atım/dk olarak hesaplanmıştır. Maçın %95'i boyunca Brezilyalı futbol hakemlerinin kalp atım hızının, en yüksek kalp atım hızlarının %80'inden fazla olduğu raporlanmıştır. Maçın ilk yarısında yüksek yoğunluklu kalp atım hızı sırasında harcanan zaman maçın ikinci yarısına göre daha yüksek gerçekleşmiştir.

2.3. Elektrokardiyogram

Elektrokardiyogram, kalp atımları sırasında kalp kasları tarafından üretilen ve kalbin elektriksel aktivitesini gösteren işaretlerdir (Gürkan vd 2006). Kalbin çalışması sürecinde kalbin kulakçık ve karıncıklarının kasılma ve gevşeme evrelerini, kalbin uyarılması ve uyarının iletilmesi sırasında ortaya çıkan ve kalpten tüm vücuda yayılan elektrik akımlarının doğurduğu ve vücut yüzeyinde belirli noktalardan algılanan elektriksel potansiyellerin kaydı olarak ta anılır (Sazlı 2007).



Şekil 2.6. Elektrokardiyogram sinyali

Şekil 2.6’da gösterildiği gibi elektrokardiyogramda her kalp atımının karşılığı olan P, Q, R, S, T dalgalarından oluşmuş bir yapı görülür (Übeyli 2006). Anlık kalp atım hızı (KAH), R-R dalga aralığı kullanılarak aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$KAH = \frac{60}{(R - R \text{ aralığı})} \quad (2.1)$$

Kalp hızı izleme cihazları, elle ölçümlerin imkânsız olduğu ölçümlerin sürekli alınması gerektiği zamanlarda ve egzersiz sırasında kullanılabilir. Çeşitli kalp hızı izleme cihazları mevcuttur. Spor sırasında kullanılan bazı cihazlar, elektrotlar ile bir göğüs kemerinden oluşur. Elde edilen sinyalleri bileğe takılan bir alıcıya gönderir (http://en.wikipedia.org/wiki/Heart_rate).

2.4. Küresel Konumlama Sistemi (GPS)

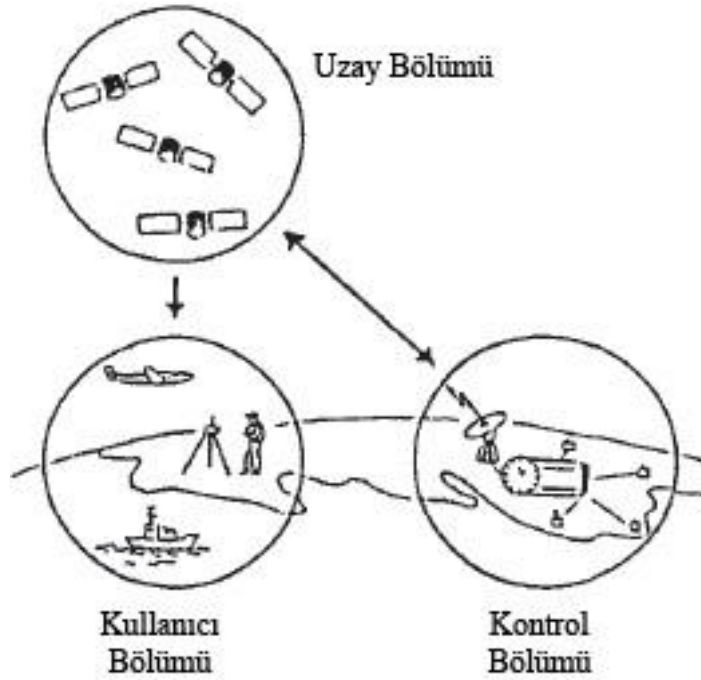
Konum bilgisi dünya üzerindeki bir nesnenin yerinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Bu bilginin kalitesi ne amaçla kullanılacağına bağlı olarak belirlenir ve bilgi ne kadar doğru ise o kadar kaliteli demektir. Konumu belirlenmek istenen nesne, sabit veya hareketli olabilir (Çelik 1999). Konum bilgisi ile hareketli nesnelerin hızı hakkında bilgi sahibi olunabilir. Bir nesnenin konum bilgisinin elde edilmesinde yerel ve uydu konumlandırma sistemleri, uzaktan algılama sistemleri gibi değişik yöntem ve cihazlar kullanılabilir. Günümüzde kullanım kolaylığı, yüksek hassasiyette ölçüm yapılabilmesi, kesintisiz servis olanağı ve kapsama alanının genişliği nedeniyle uydu bazlı sistemler kullanılmakta olup kullanımı en yaygın olanı ise küresel konumlama sistemidir (Çelik 1999).

1960’lı yıllarda Amerikan Donanması tarafından konum belirleme sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Kullanılan ilk sistemlerin veri sağlama hızı düşük olduğundan Amerikan Hava Kuvvetleri’nin hızlı hareket ihtiyacını karşılayamamıştır. 1970’li yıllarda Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı tarafından yapılan

çalışmalar sonucunda GPS oluşturulmuştur. Sistem ilk olarak askeri amaçlarla ortaya çıksa da daha sonraki yıllarda sivil kullanıma da açılmıştır (Bilgiç 2011).

GPS, dünya üzerindeki bir nesnenin koordinat bilgilerini enlem, boylam ve yükseklik cinsinden sayısal olarak sağlamaktadır. GPS, uydulardan gelen sinyaller yardımıyla doğru ve süratli olarak her türlü hava şartlarında üç boyutlu olarak konum belirleyebilmektedir (Karaali ve Yıldırım 1996). Kullanılan konum bulma yöntemi, konumlarını yayınlayan GPS uyduları ile GPS alıcısı arasındaki uzaklığın ölçülmesine dayanır (Çınar 2005).

Sistem temel olarak 3 ana bölümden oluşmaktadır (Şekil 2.7). Bunlar uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümüdür.



Şekil 2.7. GPS sisteminin bölümleri

Uzay bölümü 24 uydudan oluşmaktadır. Uydu yörüngelerinin yerden yüksekliği 20200 km'dir. Uydular, ekvatorla 55° lik açı yapan bu yörüngelere yerleştirilmiştir ve yörüngelerini 12 saatte tamamlarlar (Gökalp 1994). Konum bilgisinin alınabilmesi için en az 4 uydunun GPS alıcısına bilgi göndermesi gerekir. Mevcut durumda ise GPS alıcısı 6 uydu tarafından görülebilmektedir (Bilgiç 2011). Uydular 1575,42 Mhz frekansındaki L1 ve 1227,60 Mhz frekansındaki L2 olmak üzere iki ana frekans yayımlarlar. L2 frekansı sadece askeri amaçla kullanılırken L1 frekansı hem askeri hem de sivil amaçlı kullanılmaktadır.

Kontrol bölümü, ana kontrol merkezi, kontrol istasyonları ve izleme istasyonlarından oluşur. Yörünge ve uydu konum bilgilerinin belirlenmesi, saat ve mesaj bilgilerinin gönderilerek uyduların güncellenmesi gibi görevleri yerine getirirler (Karaali ve Yıldırım 1996).

Kullanıcı bölümü, askeri ve sivil kullanıcılar olmak üzere iki kısma ayrılır. Askeri anlamda bir uçak, gemi veya taşıt GPS alıcısı olarak düşünülebilir. Sivil amaçlı olarak GPS, özel GPS cihazları, GPS donanımlı telefonlar ile arazi ölçümleri, uçuş kontrolü ve yönetimi, araç takibi, yön ve yol bulma gibi pek çok uygulama için kullanılmaktadır (Gökalp 1994).

2.5. Sınıflandırma Analizi

Karmaşık ve büyük sorunları çözmek için genellikle büyük sorunu daha küçük ve daha rahat çözülebilecek alt sorunlara bölmek gerekir. Alt sorunlar çözüldükten sonra çözümler birleştirilerek ana sorunların çözümüne ulaşılabilir. Ancak bazı durumlarda verilerin nereden bölüneceğini ve hangi şekilde alt gruplara ayrılacağını belirlemek mümkün olmayabilir. Sınıflandırma, bir araştırmada incelenen verilerin ortak özelliklerini belirlemek ve genel tanımlar yapmak amacıyla verileri, aralarındaki benzerliklere göre sınıflandırma işlemidir. Verileri alt gruplara ayırabilmek için otomatik sınıflandırma yöntemleri geliştirilmiştir. Elde bulunan veriler, belirlenen yöntemlerle daha önceden özellikleri belli olmayan sınıflara ayrılır. Bu sınıflar analiz edilerek veriler hakkında detaylı bilgilere ulaşılır. (Atbaş 2008, Yılmaz ve Patır 2011).

Araştırmacılar yaptıkları birçok araştırmada, gözlenen verileri anlamlı olarak sınıflandırmaya dair problemlerle karşılaşmaktadırlar (Atbaş 2008). Bu problemlerin çözümü için sınıflandırma konusunda geliştirilen yöntemler, eğitilmiş sınıflandırma ve eğitimsiz sınıflandırma olarak iki başlık altında toplanmıştır (Satı 2013).

Eğitilmiş sınıflandırmada, sınıflandırma yapılacak veriler hakkında ön bilgi elde edildikten sonra sınıflandırma sürecine geçilir. Bunun için sınıfı belli olan veriler kullanılarak her bir sınıfın karakteristiği çıkartılır. Öğrenme aşamasında elde edilen karakteristikler kullanılarak yeni verilerin sınıfları tespit edilir. Eğitilmiş sınıflandırmada Karar Ağaçları, Naive Bayes, Destek Vektör Makineleri gibi algoritmalar kullanılmaktadır (Beşiktaş 2012, Çatalbaş 2014). Eğitimsiz sınıflandırma, sınıfı belli olmayan, hakkında herhangi bir ön bilgi bulunmayan verilerin kümeleme denilen yöntemler kullanılarak sınıflandırılmasıdır. Sınıflar benzer özellikteki elemanlardan oluşur. Sınıf elemanları kullanılarak seçilen özelliklere göre sınıf karakteristiği çıkartılır. Eğitimsiz sınıflandırmada k-means, DBSCAN gibi algoritmalar kullanılmaktadır (Ayhan vd 2003, Beşiktaş 2012).

Verilerin sınıflandırılmaları hakkında açık bilgi bulunmayan durumlarda, veri setinin özelliklerine ilişkin tahminlerin yapılmasında kullanılan bir yöntem olarak kümeleme analizi, araştırmacıya, incelenen bir veri setindeki veri gruplarını bulma, verilerin kendi içinde benzer fakat diğer gruplardan farklı olacak şekilde kümelere ayırma olanağı sağlayan çok değişkenli istatistiksel analiz tekniğidir (Doğan 2002, Yılmaz ve Patır 2011). Kümelemede amaç, bir veri setini, benzer veriler aynı kümede bulunacak şekilde bölümlere, yani doğal gruplara ayırmaktır. Ayırma işlemi sonucunda, elde edilen küme içindeki elemanların benzerliğinin fazla, kümeler arası benzerliğin az olması istenir. Bu ayırma işlemi, incelenen veri seti hakkında çok özel bilgileri ortaya çıkartabilmektedir. Bu sebeple kümeleme; tıp, mühendislik, bankacılık, pazarlama, coğrafya gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Haner 2012).

Kümeleme analizi, bir çözüm sürecidir ve birkaç adımdan oluşmaktadır. Sürecin ilk aşaması analiz için veri girişidir. Daha sonra benzerlik ölçüsü ile verilerin uzaklıklar matrisi elde edilir. Uzaklıkların ölçümünde Minkowski, Öklid, Pearson, Manhattan, Canberra gibi uzaklık ölçüleri kullanılabilirken en çok tercih edileni Öklid uzaklığıdır. Öklid uzaklığı, iki veri arasına çizilecek düz bir doğrunun uzunluğunu temel alır ve

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (2.2)$$

formülüyle ifade edilir. Burada x ve y, aralarındaki uzaklığı bulunan iki veriyi, n ise verilerin boyutunu belirtmektedir. Uzaklıkların belirlenmesinden sonra uygun kümeleme tekniği seçilerek uygulanır. Kümeleme tekniğinin seçimi, hem veri türüne hem de çalışmanın amacına bağlıdır. Uygulama sonucunda nesnelere kümelere ayrılmış olur. Sürecin son aşaması, kümeleme sonuçlarının yorumlandığı aşamadır. Kümeleme analizi sonucunda kümeleri oluşturan elemanlar birbirine benzerlik gösterirken diğer kümelerin elemanlarından farklılık gösterirler. Bu benzerlik, küme içerisindeki verilerin birbirilerine çok yakın olması ile, farklılık ise kümelerin birbirlerinden uzak olması ile görülür (Akın 2008, Günay ve Alkan 2009, Yılmaz ve Patır 2011).

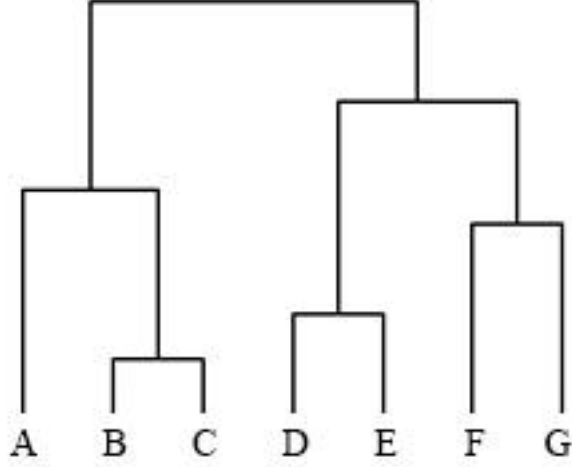
Kümeleme analizi konusunda pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler farklı yönlerden sınıflandırılabilirler. Literatürde bu yöntemler, hiyerarşik kümeleme yöntemleri ve hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemleri olarak iki başlık altında toplanmıştır. Her iki teknikte de amaç küme içi benzerlikleri ve kümeler arası farklılıkları yüksek tutmaktır (Akın 2008).

Hiyerarşik kümeleme yöntemleri, yakınlıklarına göre verileri birbirleriyle değişik aşamalarda bir araya getirerek verilerin hiyerarşisini oluşturan yöntemlerdir. Kümelere eleman ekleme ya da kümelere eleman silme olmak üzere temelde iki yaklaşıma sahiptir. Birincisi, başlangıçta verilerin her birini bir küme olarak kabul edip her bir adımında kümelerin birbirlerine uzaklığına göre birbirine en yakın olan iki kümeyi birleştiren yöntemdir. İkincisi ise başlangıçta tüm verileri tek bir küme kabul edip her adımda birbirine en uzak iki kümeyi bulmaya çalışan yöntemdir (Amasyalı ve Ersoy 2008, Yılmaz ve Patır 2011).

Bu yöntemler genelde ikiye ayrılır. Toplaşım (agglomerative) yöntemde her bir nesne ayrı bir küme olarak ele alınır ve bu kümeler birleştirilerek sonuca ulaşılır. Bölünür (divisive) yöntemde ise tüm nesnelere tek bir küme içinde olduğu düşünülür ve bu küme daha küçük bölümlere ayrılarak kümeleme işlemi gerçekleştirilir (Haner 2012).

Hiyerarşik kümeleme yöntemleri, verilerin birbirlerine olan uzaklık değerlerini kullanarak, verilerin hiyerarşik ayrıştırmasını yaparlar. Hiyerarşik ayrıştırma sırasında işleyişin daha kolay anlaşılabilmesi ve elde edilen kümelerin görselleştirilmesi için ağaç yapısı olarak da bilinen dendogramdan yararlanılır. Şekil 2.8'de görüleceği üzere bir dendogram kökler, iç düğüm ve yapraklar olmak üzere 3 bölüme ayrılır.

Dendogramın kökü ana kümeyi içerir. Dendogramın yaprakları bir araya getirilmeyen tek bir veriden oluşan kümeleri, iç düğümleri ise verilerin bir araya gelerek oluşturdukları kümeyi temsil eder ([http://en.wikipedia.org/wiki/Tree_\(data_structure\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Tree_(data_structure))).



Şekil 2.8. Dendogramın yapısı

Hiyerarşik kümeleme yöntemi, basit olsa da, genellikle birleştirme veya bölme noktalarının seçimi konusunda zorluklar ile karşılaşır. Nesnel ilk kez bir gruba bölündükten veya birleştirildikten sonraki süreçte yeni oluşturulan kümeler üzerinde çalışıldığından dolayı böyle bir karar kritiktir (Han ve Kamber 2006). Hiyerarşik kümeleme yöntemleri iteratif yöntemler olduklarından dolayı, bir adım gerçekleştirildikten sonra bir daha tekrar aynı adıma geri dönülemez. Bu yüzden yanlış kararları doğrulamaya izin vermemektedir (Haner 2012). Bölme veya birleştirme işlemleri bazı adımlarda doğru yapılamazsa, düşük kaliteli kümelerin oluşmasına neden olabilir (Han ve Kamber 2006).

Hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemlerinde veri seti, eleman sayısından daha az olmak üzere rastgele olarak seçilen başlangıç kümelerine bölünür. Başlangıç kümelerinin iyileştirilmesi şeklinde bir ilerleme izlenir. Yani, belirli bir kriter yerel olarak geliştirilir. Bu yöntemler, benzerlik veya uzaklık değerlerini hesaplayıp bu sonuçlar içerisinde en iyi sonucu seçmektedir (Haner 2012). Veri setinin bölüneceği küme sayısı önceden belirlenmelidir. Küme sayısı araştırmacıya bağlıdır ve duruma göre keyfi olarak seçilir. Küme sayısı belirlendikten sonra belirlenen küme ayırma kriterlerine göre verilerin hangi kümelere gireceğine karar verilir. Bu, küme içerisindeki verilerin orta noktadan uzaklıklarının karelerinin toplamı en küçük olacak şekilde yapılabilir. Kümeler, aynı kümedeki veriler birbirlerine benzer, farklı kümelereki verilerden farklı olacak şekilde oluşturulurlar (Yılmaz ve Patır 2011).

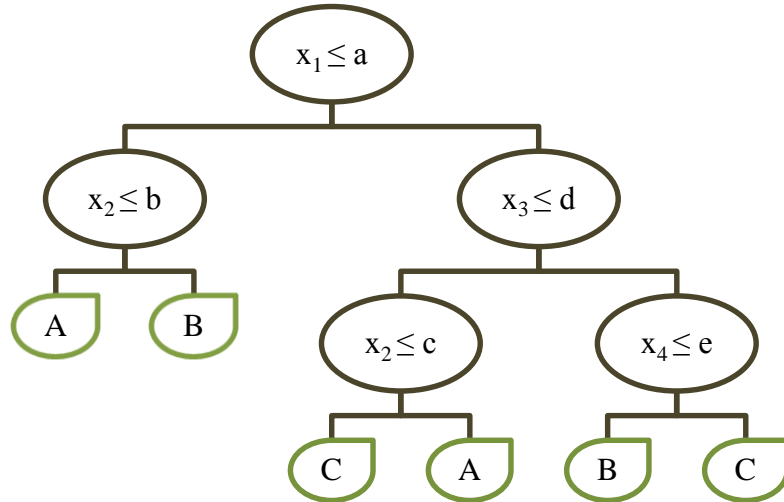
Hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemlerinin hiyerarşik kümeleme yöntemlerine göre dezavantajı, küme sayılarının önceden belirlenmesi gerekliliği ve küme sayısı seçimlerinin keyfi olmasıdır (Akın 2008). Ancak, teorik dayanaklarının daha güçlü olması, küme sayısı konusunda ön bilgi olması ya da araştırmacının küme sayısına karar verebilmesi nedeniyle pek çok durumda hiyerarşik kümeleme yöntemlerine tercih edilmektedir (Doğan 2002). Hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemleri, hiyerarşik

kümeleme yöntemlerine oranla daha hızlıdır ve veri sayısı ne kadar büyük olursa o kadar anlamlı sonuçlar elde edilir (Akın 2008).

2.5.1. Karar ağaçları

Karar ağaçları, son yıllarda yaygın olarak kullanılan bir sınıflandırma yöntemidir. Radar sinyal sınıflandırma, karakter ve konuşma tanıma, uzaktan algılama, tıbbi tanı ve uzman sistemler gibi pek çok alanda başarıyla kullanılmaktadır (Gülkesen vd 2008, Albayrak ve Yılmaz 2009, Kavzoğlu ve Çölkesen 2010). Bu yöntem, karmaşık sınıflandırma sürecini bölerek basit bir karar verme işlemi gerçekleştirilmesini sağlar. (Safavian ve Landgrebe 1991). Karar alıcıya, göz önüne alınması gereken faktörlerin belirlenmesinde ve bu faktörler ile kararın farklı çıktıları arasındaki ilişkisinin öğrenilmesinde yardımcı olur. Karar ağaçları, kurulum maliyetlerinin az olması, yorumlanmalarının kolay olması, veri tabanları ile entegre olması ve güvenilirliklerinin tatmin edici düzeyde olması gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedirler (Emel ve Taşkın 2005, Albayrak ve Yılmaz 2009).

Karar ağaçları ile üretilen model bir ağaca benzemektedir. Bu ağaç yapısı genel olarak karar verme noktaları olan düğümler ve bu düğümleri birbirine bağlayan dallardan oluşmaktadır (Şekil 2.9). Yapı, tersine çevrilmiş ağaç gibi olduğundan en tepede kök düğüm bulunmaktadır. Karar kriterlerinin testi buradan başlamaktadır. Bu testin sonuçlarına göre kök düğümden dallar türemekte ve her bir dal yeni bir karar düğümüne bağlanmaktadır. Bu işlem yapının en altında bulunan ve kendisinden dal türemeyen yaprak düğümlere kadar devam eder (Seyrek ve Ata 2010). Temel prensip, verilere ilişkin sorulan sorulardan elde edilen cevaplar doğrultusunda en kısa sürede sonuca gidilmesi olarak açıklanabilir. Ağaç yapısının oluşturulması için sorular sorulur ve yaprak düğümler bulunana kadar bu işlem devam eder. Bu şekilde karar ağacı, sorulara aldığı cevapları toplayarak, kök düğümden yaprak düğüme kadar olan yol için karar kuralları oluşturur (Kavzoğlu ve Çölkesen 2010).



Şekil 2.9. Karar ağacı yapısı

Eğitim veri seti ile oluşturulan ağaç yapının genelleme kabiliyetinin belirlenmesi için test veri seti kullanılır. Bu veri seti test işlemine kök dğumden başlar ve belirli bir yaprak dğume ulaşana kadar bu işleme devam eder. Kökten her bir yaprağa giden tek bir yol vardır, bu da karar kuralıdır (Kavzoğlu ve lkesen 2010).

Karar ağacı oluşumunda çok geniş ve karmaşık bir yapı ortaya çıkabilir. Yapı içinde doğruluğu etkilemeyen veya yapıya katkısı olmayan kısımların ayıklanması gerekir. Bu işlem, ağaç yapısının budanması olarak adlandırılır ve bir alt ağaç atılarak yerine bir yaprak yerleştirilir. Budama sonucunda işlem karmaşıklığının azaltılması ve ağaç yapısının sadeleştirilmesi ile daha anlaşılabilir bir ağaç elde edilir (Kavzoğlu ve lkesen 2010).

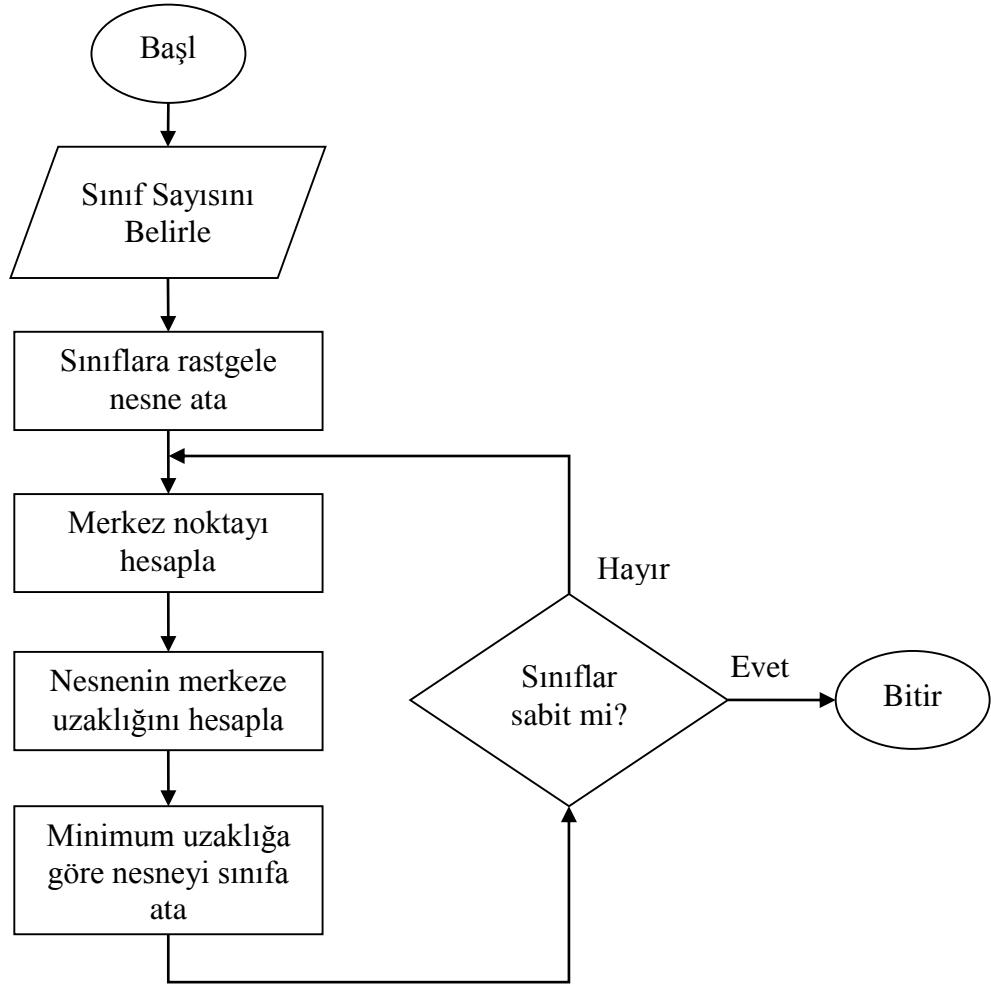
Karar ağaçlarını oluşturmak için geliştirilmiş farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler arasında sıklıca kullanılanlar CHAID, CART, ID3 ve C4.5 algoritmalarıdır. Bu yöntemler temel olarak karar ağacını oluştururken farklı özellikleri seçmeleri ile birbirinden ayrılmaktadırlar (Seyrek ve Ata 2010).

2.5.2. K-Means

K-means algoritması, basit ve yaygın kullanılan bir kümeleme tekniğidir. İlk olarak Hugo Steinhaus tarafından oluşturulmuş olup 1967 yılında J.B. MacQueen tarafından tanıtılmıştır. Bilimsel ve endüstriyel uygulamalarda yoğun bir şekilde kullanılan bu algoritmaya K-means adı verilmesinin nedeni, sabit bir k küme sayısına ihtiyaç duyulmasıdır (Dinçer ve Duru 2006). Algoritma, küme içi benzerliğin analiz edilmesinde, kümenin ağırlık merkezi ya da çekim merkezi olarak kabul edilen kümedeki nesnelere ortalama değerini dikkate alır (Han ve Kamber 2006). Her verinin sadece bir kümeye ait olabilmesinden dolayı keskin bir kümeleme algoritmasıdır (Fırat 2012).

Algoritmanın genel mantığı, n adet veri nesnesinden oluşan bir veri setini k adet kümeye blmlenektir. Burada küme sayısı giriş parametresi olarak verilir ve kümeleme işlemi bitinceye kadar değer değişmez. Işlem sonuçları, verilecek k sayısına göre değişiklik gösterir. Eğer küme sayısı bilinmiyorsa, deneme yoluyla en uygun sayı bulunur (Fırat 2012).

K-means algoritmasının çalışma metoduna göre öncelikle ilk küme merkezleri belirlenir. Bunun için veri setindeki ilk k adet veri kullanılabilereği gibi seçim rastgele de yapılabilir. Belirlenen bu veriler tek elemanlı başlangıç kümeleridir. Kalan diğer veriler, kümelerin merkezine olan uzaklıklarına göre kendilerine en yakın kümeye yerleştirilirler. Her bir kümenin merkezi, küme elemanlarının ortalama değerine güncellenir. Daha sonra veriler ile küme merkezleri arasındaki uzaklıklar hesaplanarak veriler tekrar en yakın kümeye yerleştirilirler. Bu süreç kümelerde herhangi bir değişim olmayıncaya kadar devam eder (Demiralay ve amurcu 2005, Yıldız vd 2010). K-means algoritmasının akış diyagramı şekil 2.10'da verilmektedir.



Şekil 2.10. K-means algoritması akış diyagramı

Bir verinin küme merkezlerine olan uzaklıklarının hesaplanmasında en çok kullanılan yöntem Öklid uzaklığıdır. İki veri arasında çizilecek düz bir doğrunun uzunluğunun ölçümüdür. Öklid uzaklığı kümeleme analizindeki sıra dışı verilerden etkilenmezken, boyutlar arasındaki ölçek farklılıklarından önemli ölçüde etkilenir (Demiralay ve Çamurcu 2005, Günay ve Alkan 2009).

K-means kümeleme algoritmasının değerlendirilmesi ve başarısının ölçülmesinde değişik performans göstergeleri kullanılabileceği gibi en yaygın olarak hataların karelerinin toplamı (Summed Squared Error - SSE) kullanılır.

$$SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} (x - m_i)^2 \quad (2.3)$$

C_i , k adet kümenin her birini; x , C_i kümesinin elemanlarını; m_i , C_i kümesinin merkez noktasını belirtmektedir. Hataların karelerinin toplamının en düşük değeri, en iyi kümelemeyi gösterir (Günay ve Alkan 2009, Işık ve Çamurcu 2010, Yıldız vd 2010).

K-means yöntemi, sadece kümenin ortalamasının tanımlanabildiği durumlarda kullanılabilir. Kullanıcıların, oluşturulacak küme sayısı olan k değerini belirtmesi gerekmektedir ve bu durum dezavantaj olarak görülebilir. Bu yöntem, konveks (dışbükey, küresel) olmayan şekilli ve çok farklı büyüklükteki kümeleri keşfetmek için uygun değildir. Ayrıca, gürültü ve aşırı uç değerlere karşı duyarlıdır. Bu tür az sayıdaki veri, küme ortalama değerini büyük ölçüde değiştirebilir, bu durum da kümenin hassasiyetini bozabilir (Han ve Kamber 2006). Yöntemin en büyük problemi, başlangıçta küme merkezlerini belirlemek için kullanılan verilerin nasıl seçildiğidir. Kötü bir seçim yapılmışsa, verilerin kümelenmesinde çok sık değişiklikler olur ve farklı sonuçlar oluşabilir (Kaya ve Köymen 2008). Yöntemin uygulanabilirliği kolaydır. En önemli avantajı, büyük veri setlerinin işlenmesinde hızlı ve verimli olmasıdır (Yıldız vd 2010).

2.5.3. Naive Bayes

Naive Bayes sınıflandırıcı, olasılık kuramı içinde incelenen önemli bir konu olan Bayes teoremini temel alır. Bayes teoremi, olasılık dağılımı içinde koşullu olasılıklar ile marjinal olasılıklar arasındaki ilişkiyi inceler. Olasılık teorisi içinde incelenen bir B olayının bilindiği durumda A olayı için olasılık değeri, A olayının bilindiği durumdaki B olayı için olasılık değerinden farklıdır. Bu iki birbirine ters koşulluluk arasındaki ilişkiye Bayes Teoremi denilmektedir. Felsefi temelde sübjektivist düşünürler, olasılık değerlerini nesnel bir özellik olarak değil, gözlemcinin meydana çıkardığı sübjektif bir değer olarak kabul ederler. Sübjektivist düşünürler Bayes teoremini, yeni veriler doğrultusunda olasılık değeri hakkındaki sübjektif inanışların güncelleştirilip değiştirilmesini sağlayan temel bir geçiş olarak tanımlarlar (Yumak 2011).

Naive Bayes, hedef değişkenle bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi inceleyen, verinin öğrenilmesi esasına dayanan, tahminci ve tanımlayıcı bir sınıflandırma algoritmasıdır. Eğitim setinde bulunan her bir bağımsız öznitelik arasındaki ilişki ve her bir ilişki içerisindeki şartlı olasılık analiz edilir. Eğitimde kullanılan veriler ile modelin öğrenilmesi için her olayın meydana gelme sayısı hesaplanır. Olayın meydana gelme sıklığı, hesaplamalar sırasında her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkenlere bölümünün kombinasyonu ile bulunur. Bu, veri kümesinden yapılacak tahmin için kullanılır. Tahmin işlemi, bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkenler üzerindeki etkilerini belirleyerek yeni bir olayı sınıflandırmak için gerçekleştirilir (Değerli 2012).

Bu sınıflandırıcı, özniteliklerin birbirinden bağımsız ve hepsinin aynı derecede önemli olduğunu kabul eder. Gerçek hayatta giriş değişkenleri birbirlerine güçlü bir şekilde bağımlıdır. Bu bağımlılık, Naive Bayes sınıflandırıcısının gerçek problemlere uygun olmadığını gösterse de, yöntem başarılı tahminler üretebilmektedir (Solmaz vd 2014).

Teorik olarak, bir C sınıfının bilinmesi durumunda x özneliğinin var olma olasılığı $P(x|C)$ ile x özneliğinin bilinmesi durumunda C sınıfının var olma olasılığı $P(C|x)$ arasındaki bağıntı aşağıda verilmiştir (Sarikoç 2012, Solmaz vd 2014).

$$P(C|x) = \frac{P(C).P(x|C)}{P(x)} \quad (2.4)$$

Öznitelik sayısı 1'den fazla olması durumunda yukarıda verilen Denklem 2.4 aşağıdaki şekilde adım adım açılabilir.

$$\begin{aligned} P(C, x_1, \dots, x_n) &= P(C).P(x_1, \dots, x_n|C) \\ &= P(C).P(x_1|C).P(x_2, \dots, x_n|C, x_1) \\ &= P(C).P(x_1|C).P(x_2|C, x_1).P(x_3, \dots, x_n|C, x_1, x_2) \\ &= P(C).P(x_1|C).P(x_2|C, x_1).P(x_3|C, x_1, x_2).P(x_4, \dots, x_n|C, x_1, x_2, x_3) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Bu açılım, n+1 elemanlı bir $\vec{A}_k = (C, x_1, \dots, x_n)$ vektörünü tanımlamak üzere Denklem 2.5,

$$P\left(\bigcap_{k=1}^{n+1} \vec{A}_k\right) = \prod_{k=1}^{n+1} P(\vec{A}_k | \bigcap_{j=1}^{k-1} \vec{A}_j) \quad (2.6)$$

şeklinde özetlenebilir. Özniteliklerin birbirlerinden bağımsız olması kabulünden yola çıkarak

$$\begin{aligned} P(x_2|C) &= P(x_2|C, x_1) \\ P(x_3|C) &= P(x_3|C, x_1, x_2) \\ &\vdots \\ P(x_n|C) &= P(x_n|C, x_1, \dots, x_{n-1}) \end{aligned} \quad (2.7)$$

bağıntıları sağlanır. Bu bağıntılar yardımıyla çok değişkenli uzayda Bayes bağıntısı aşağıda verilen şekilde sadeleşir.

$$P(C|x_1, \dots, x_n) = \frac{P(C). \prod_{k=1}^n P(x_k|C)}{P(x_1, \dots, x_n)} \quad (2.8)$$

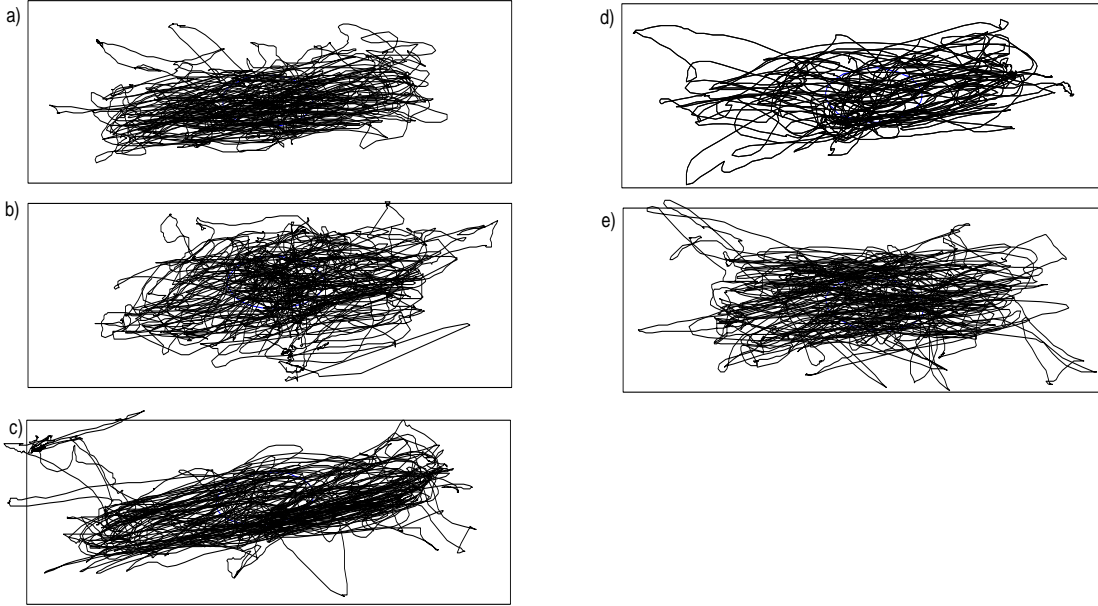
Denklem 2.8 kullanılarak otomatik sınıflandırma yapılabilir. Burada bir öznitelik vektörünün herhangi bir C sınıfına ait olma olasılığı hesaplanır. En yüksek olasılığın olduğu sınıf, karar sınıfı olarak seçilir (Sarıkoc 2012, Solmaz vd 2014).

Yalın tasarımı ve uygulanabilirliği ile araştırmacılar tarafından yoğun biçimde kullanılmakta ve beklenilenden daha iyi sonuçlar vermektedir. Eğitim ve değerlendirme işlemlerinin hızlı olması diğer bir avantajıdır. Ancak, çok karmaşık sınıflandırma problemlerinin çözümünde yetersiz kalabilmektedir (Kılıç 2011).

3. MATERYAL VE METOD

Araştırmaya yaşları 22 ile 35 arasında değişen 3 bölgesel ve ulusal hakem katılmıştır. Araştırma verileri Akdeniz bölgesinde gerçekleştirilen uluslararası düzeyde hazırlık maçları, 1. Lig düzeyinde hazırlık maçları ve bölgesel lig maçlarından elde edilmiştir. Hakemlerin koşu mesafeleri, koşu süreleri ve saha kullanımlarının belirlenmesi için 9 adet maç, kalp atım hızlarının belirlenmesi için ise bu maçlar arasından 4 adet maç analiz edilmiştir.

Hakemin her saniye için bulunduğu pozisyon ve kalp atım hızı bilgisinin elde edilmesinde RCX5 (Polar, Finlandiya) cihazı kullanılmıştır. Kola takılan ve en az dört GPS uydusuyla iletişim kuran, doğruluk hassasiyeti $\pm\%2$ olan G5 (Polar) GPS sensörüyle pozisyon bilgileri, göğse takılan H2 kalp atış hızı sensörüyle de kalp atım hızı bilgileri elde edilmiştir. Bu bilgiler maçlar sırasında 2,4 GHz Polar W.I.N.D. kablosuz iletişim teknolojisi yardımıyla RCX5 cihazına kaydedilmektedir. Her bir maç tamamlandıktan sonra kaydedilen bilgiler bilgisayara aktarılmıştır. Şekil 3.1’de elde edilen pozisyon bilgileri gösterilmektedir. Burada 5 maçta 90 dakika boyunca hakemlerin saha içinde kat ettikleri yol yer almaktadır.



Şekil 3.1. Çeşitli maçlarda hakemlerin pozisyon bilgisi

Bilgilerin analiz edilmesi için Matlab 7.1 (Mathworks, Natick, MA) ortamında özel bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bilgisayara yüklenen konum bilgileri programa aktarılmış ve metrik sisteme dönüştürülmüştür. Sahanın koordinatları maçlardan hemen önce Polar RCX5 sistemiyle elde edilmiştir. Elde edilen veriler ile saha kenar çizgileri çizilmiş ve oluşan kaymaları düzeltmek için saha çizgilerini oluşturan koordinat noktaları, her bir kenar için ayrı ayrı oluşturulan dört grupta toplanmıştır.

$P_i, i=1, \dots, p, Q_j, j=1, \dots, q, R_k, k=1, \dots, r, S_l, l=1, \dots, s$

Sahanın kenarları birbirine paralel ve dik çizgilerden oluştuğu için problemin çözümü için aşağıdaki denklemler oluşturulmuştur.

$$\begin{aligned}
 a: c_1 + n_1x + n_2y &= 0 \\
 b: c_2 - n_2x + n_1y &= 0 \\
 c: c_3 + n_1x + n_1y &= 0 \\
 d: c_4 - n_2x + n_1y &= 0 \\
 n_1^2 + n_2^2 &= 1
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Bu denklemin çözümünde,

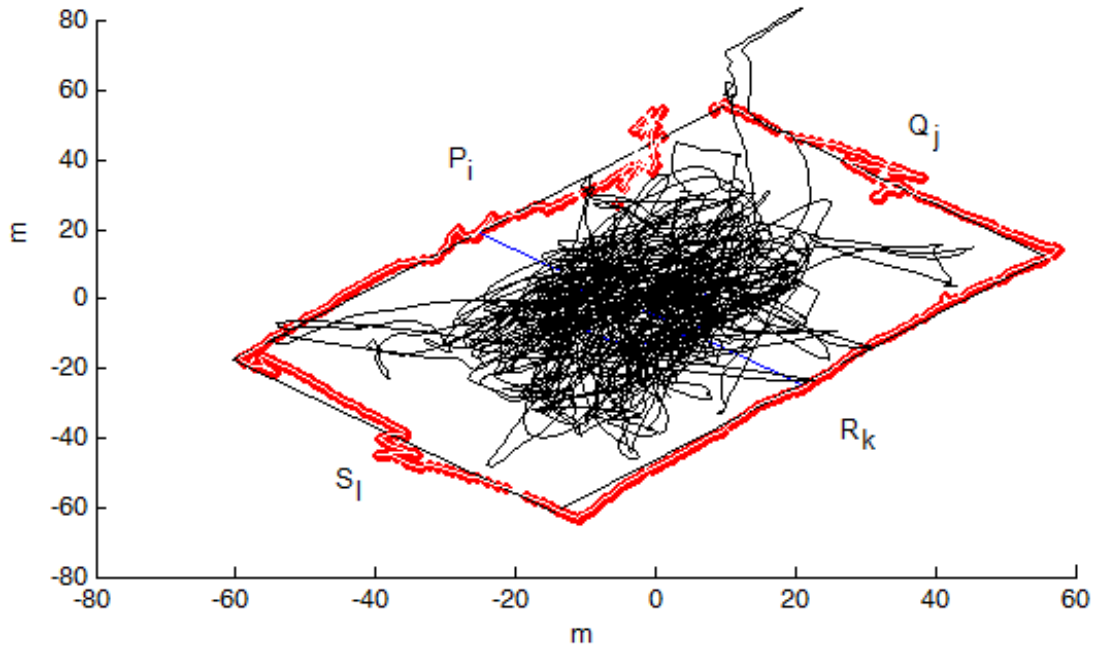
$$\begin{pmatrix}
 1 & 0 & 0 & 0 & x_{P1} & y_{P1} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 1 & 0 & 0 & 0 & x_{Pp} & y_{Pp} \\
 0 & 1 & 0 & 0 & y_{Q1} & -x_{Q1} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 0 & 1 & 0 & 0 & y_{Qq} & -x_{Qq} \\
 0 & 0 & 1 & 0 & x_{R1} & y_{R1} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 0 & 0 & 1 & 0 & x_{Rr} & y_{Rr} \\
 0 & 0 & 0 & 1 & y_{S1} & -x_{S1} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 0 & 0 & 0 & 1 & y_{Ss} & -x_{Ss}
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 c_1 \\
 c_2 \\
 c_3 \\
 c_4 \\
 n_1 \\
 n_2
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 r_1 \\
 r_2 \\
 r_3 \\
 \vdots \\
 r_{p+q+r+s}
 \end{pmatrix} \tag{3.2}$$

ve

$$n_1^2 + n_2^2 = 1 \tag{3.3}$$

formüllerini kapsayacak şekilde en küçük kareler metodu kullanılmıştır.

$$\|r\| = \sum_{i=1}^m r_i^2 = \min \tag{3.4}$$



Şekil 3.2. Futbol sahasının çizgileri

Şekil 3.2’de görüldüğü üzere yukarıdaki formüller yardımıyla düzgün kenar çizgilerine sahip sahalardan oluşturulmuştur. Burada kırmızı renkli noktalar GPS cihazından elde edilen saha verilerini, siyah dikdörtgen ise sahanın düzeltilmiş kenarlarını göstermektedir. Sahaların orta çizgisinin belirlenmesinde iki noktası bilinen doğru denklem formülü kullanılmıştır.

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \quad (3.5)$$

Formüldeki (x_1, y_1) ve (x_2, y_2) noktaları için iki kenar çizgisinin orta nokta değerleri kullanılmış ve formül düzenlenerek aşağıdaki şekle dönüştürülmüştür.

$$ax + by + c = 0 \quad (3.6)$$

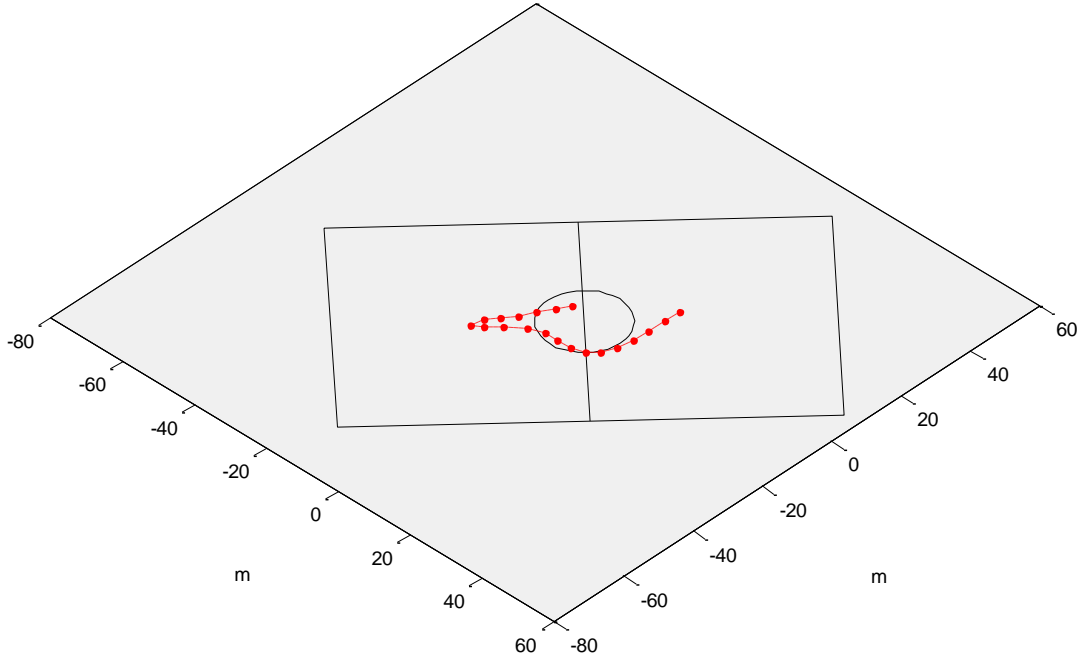
Hakemlerin sahadaki koordinatları (x, y) saniye bazında denkleme konulmuş ve sonucun pozitif veya negatif olması durumuna göre o saniyede hakemlerin hangi yarı sahada olduğu tespit edilmiştir. Hakemlerin yarı sahalarda geçirdikleri süreler ile koşu mesafeleri bulunmuştur.

Konum bilgilerinden hakemlerin saniye bazında koşu mesafeleri metre cinsinden altta belirtilen formül ile hesaplanmıştır. Burada t zamanı, $x(t)$ ve $y(t)$ pozisyonun yatay ve dikey koordinatlarını belirtmektedir.

$$d(t) = \sqrt{(x(t+1) - x(t))^2 + (y(t+1) - y(t))^2} \quad (3.7)$$

Bu mesafelerin toplanması ile hakemin maç boyunca toplam koşu mesafesi hesaplanmıştır. Şekil 3.3’te hakemin saha içindeki konumundan bir kesit görülmektedir.

Şekildeki kırmızı noktalar hakemin 20 saniyelik bir zaman periyodunda bulunduğu noktaları göstermektedir.



Şekil 3.3. Hakemin sahadaki konumu

Hakemlerin esnek diyagonale uygun koşu yapıp yapmadıklarının belirlenmesinde ceza sahalарının sağ köşe koordinatlarının belirlenmesine ihtiyaç duyulmuştur. Futbol oyun kurallarına göre ceza sahasının ölçüleri sabittir ve kale çizgisinin orta noktasından korner köşesine doğru 20,16 m, orta çizgiye doğru 16,5 m uzaklıktadır (FIFA 2013). Öncelikle sahanın köşe koordinatlarından kale çizgilerinin orta noktaları bulunmuştur.

Buradan köşe noktalarının koordinatları hesaplanmıştır. İki ceza sahasının köşe noktalarını birleştiren çizgi elde edildikten sonra, hakemin esnek diyagonale ne kadar uygun hareket ettiğini ölçmek amacıyla altta belirtilen noktanın doğruya olan uzaklık formülü kullanılmıştır. Formülde h mesafeyi, (x_1, y_1) ise hakemin yatay ve düşey koordinatlarını göstermektedir.

$$h = \frac{|ax_1 + by_1 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (3.8)$$

Anlık hız birim zamanda kat edilen mesafenin zamana bölünmesine eşittir. Denklem 3.7'de bulunan $d(t)$ aynı zamanda hakemin saniyelik hızını göstermektedir (Örnekleme frekansı 1 Hz). Barbero-Alvarez vd. (2012) tarafından kullanılan hız sınıflandırmasına benzer şekilde anlık hızları bu çalışmada 6 gruba ayırdık. Çizelge 3.1 hızları ve grupları belirtmektedir.

Çizelge 3.1. Koşu Türleri

Koşu Türleri	Hızları
Durma	0,11 m/sn'den az
Yürüme	0,11 m/sn'den 1,11 m/sn'ye kadar
Düşük Hızda Koşu	1,11 m/sn'den 2,22 m/sn'ye kadar
Orta Hızda Koşu	2,22 m/sn'den 3,61 m/sn'ye kadar
Yüksek Hızda Koşu	3,61 m/sn'den 5 m/sn'ye kadar
Süratli Koşu	5 m/sn'den fazla

4. BULGULAR

4.1. Koşu Mesafeleri

Araştırma sonucunda hakemlerin maç boyunca en az 7611,9 m ve en çok 11316,8 m olmak üzere ortalama $9453,8 \pm 1298,2$ m mesafe kat ettiler. Benzer şekilde maçın ilk devresinde en az 4058,6 m, en çok 5621,7 m, ortalama $4864,9 \pm 632,2$ m, ikinci devresinde en az 3505,7 m, en çok 5695,1 m, ortalama $4588,9 \pm 767,6$ m mesafe kat ettikleri belirlendi. Maçın ilk devresinde, ikinci devreye göre daha çok mesafe kat ettikleri görüldü. Her bir maç için hakemlerin ilk devre, ikinci devre ve maç boyunca kat ettikleri mesafeler Çizelge 4.1’de bulunmaktadır.

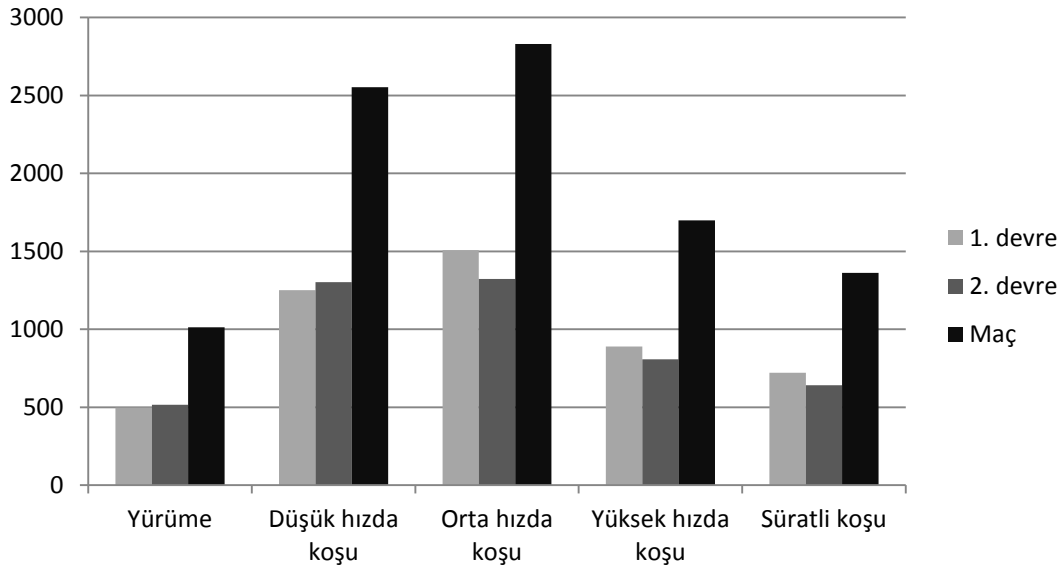
Çizelge 4.1. Hakemlerin maçın devrelerinde kat ettikleri mesafeler

Maç No	1. devre (m)	2. devre (m)	Maç boyunca (m)
1	5621,7	5695,1	11316,8
2	5409,4	5436,6	10846,0
3	5203,0	5460,8	10663,8
4	5493,3	4549,6	10042,9
5	4306,8	4276,6	8583,4
6	4424,4	4273,1	8697,5
7	4058,6	4225,8	8284,4
8	4106,2	3505,7	7611,9
9	5160,4	3877,1	9037,5

Hakemlerin maç boyunca ortalama $1012,9 \pm 235,8$ m yürüme, $2552,2 \pm 262$ m düşük hızda koşu, $2829,6 \pm 657,9$ m orta hızda koşu, $1697,5 \pm 407,4$ m yüksek hızda koşu ve $1361,6 \pm 379,3$ m süratli koşu yaptıkları, durma aktivitesinde mesafe kat etmedikleri saptandı (Çizelge 4.2). Toplam maç mesafesinin yaklaşık %57’lik kısmında düşük ve orta hızda koşu yaptılar. 45 dakikalık dönemlerde ise sırasıyla ilk devre ve ikinci devre olmak üzere $497,1 \pm 121,3$ m ve $515,8 \pm 120,1$ m yürüme, $1250,2 \pm 132,8$ m ve $1302 \pm 167,1$ m düşük hızda koşu, $1507,6 \pm 313,9$ m ve $1322 \pm 361,9$ m orta hızda koşu, $889,9 \pm 209,2$ m ve $807,6 \pm 240,3$ m yüksek hızda koşu, $720,1 \pm 250,9$ m ve $641,5 \pm 209,4$ m süratli koşu mesafesi tespit edildi (Şekil 4.1).

Çizelge 4.2. Hakemlerin aktiviteler sırasında kat ettikleri mesafeler

Maç No	Yürüme (m)	Düşük hızda koşu (m)	Orta hızda koşu (m)	Yüksek hızda koşu (m)	Süratli koşu (m)
1	795,5	2888,3	3746,8	2376,5	1509,7
2	765,2	2432,2	3465,1	2202,3	1981,2
3	785,8	2702,3	3384,7	1984	1807
4	922	2981,7	3306,3	1599,2	1233,7
5	1156,3	2293,2	2387,7	1617,6	1128,6
6	1150,1	2327	2457,9	1617,1	1145,4
7	1289,5	2577,3	2073,9	1258,8	1084,9
8	1385,6	2242,9	1960,1	1220,8	802,5
9	866,2	2524,9	2683,9	1401,2	1561,3
Ortalama	1012,9	2552,2	2829,6	1697,5	1361,6



Şekil 4.1. Maçın devrelerinde hakemlerin kat ettikleri ortalama mesafeler

Toplam koşu mesafelerinde olduğu gibi orta hızda koşu, yüksek hızda koşu ve süratli koşu aktivitelerinde de ilk devre, ikinci devreye göre daha fazla mesafe kattılar. Yürüme ve düşük hızda koşu aktivitelerinde ise ikinci devre daha fazla mesafe alındığı gözlemlendi. Maç içinde gerçekleştirdikleri aktivitelerde harcanan süreler bakıldığında maç süresince $460,2 \pm 175,9$ sn (%8,5) durma, $1671,1 \pm 438$ sn (%30,9) yürüme, $1655,3 \pm 143,1$ sn (%30,7) düşük hızda koşu, $997,8 \pm 232,9$ sn (%18,5) orta hızda koşu, $405,6 \pm 96$ sn (%7,5) yüksek hızda koşu ve $210 \pm 56,4$ sn (%3,9) süratli koşu yaptıkları tespit edildi (Çizelge 4.3). Maç süresinin yaklaşık %62'lik kısmında yürüme ve düşük hızda koşu yaptıkları belirlendi.

Çizelge 4.3. Her bir maç için hakemlerin aktiviteler sırasında harcadıkları süreler

Maç No	Durma (sn)	Yürüme (sn)	Düşük hızda koşu (sn)	Orta hızda koşu (sn)	Yüksek hızda koşu (sn)	Süratli koşu (sn)
1	221	1246	1794	1331	566	242
2	619	1239	1497	1220	524	301
3	591	1176	1696	1187	472	278
4	276	1462	1919	1168	382	193
5	505	1929	1546	851	387	182
6	492	1893	1568	875	387	185
7	373	2105	1755	720	302	145
8	317	2422	1536	697	291	137
9	748	1568	1587	931	339	227

Maçın 45 dakikalık dönemleri incelendiğinde orta hızda koşu, yüksek hızda koşu ve süratli koşu gibi daha fazla güç gerektiren aktiviteler sırasında harcanan süreler ilk devre, ikinci devreye göre daha çok gerçekleşirken, durma, yürüme ve düşük hızda koşu aktivitelerinde ise ikinci devre daha çok gerçekleşmektedir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Maçın devrelerinde hakemlerin aktiviteler sırasında harcadıkları ortalama süreler

Aktivite	1. devre	2. devre	Maç boyunca
Durma (sn)	227,3±103	232,9±80,5	460,2±175,9
Yürüme (sn)	809,9±216,3	861,2±245	1671,1±438
Düşük hızda koşu (sn)	808,8±84,5	846,6±85	1655,3±143,1
Orta hızda koşu (sn)	530,8±111,7	467±126,8	997,8±232,9
Yüksek hızda koşu (sn)	212,8±49,4	192,8±56,3	405,6±96
Süratli koşu (sn)	110,4±37,2	99,6±33,4	210±56,4

Maçın 15 dakikalık dönemlerinde hakemler ortalama 1575,6 m mesafe kat ettiler. Bu mesafenin 168,8 m'si yürüme, 425,4 m'si düşük hızda koşu, 471,6 m'si orta hızda koşu, 282,9 m'si yüksek hızda koşu ve 226,9 m'si süratli koşu aktivitesinde gerçekleşti (Çizelge 4.5). 15 dakikalık dönemler için hakemlerin gerçekleştirdikleri aktivitelerde kat ettikleri mesafeler ait grafik Şekil 4.2'de verilmektedir.

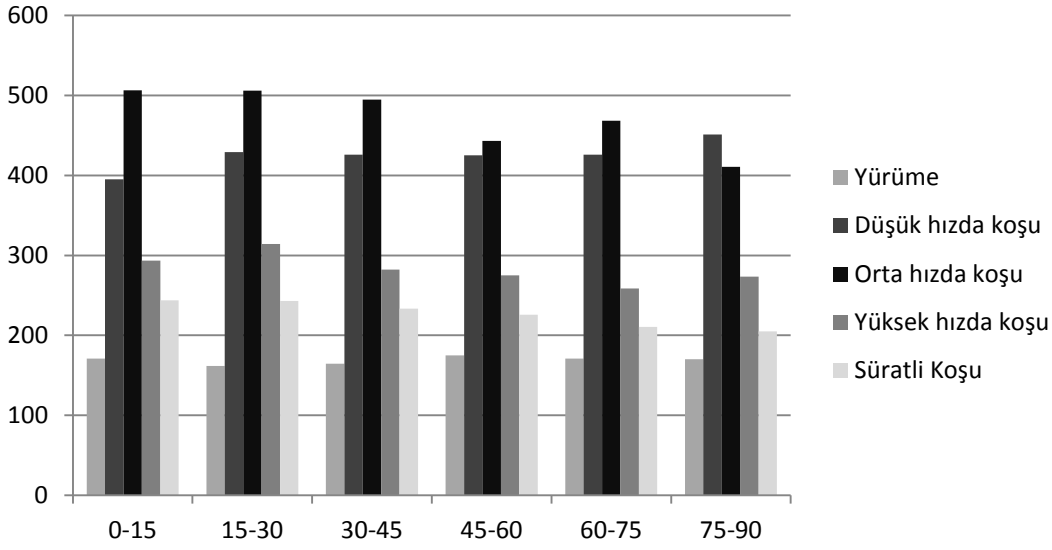
Çizelge 4.5. Maçın 15 dakikalık dönemlerinde hakemlerin kat ettikleri ortalama mesafeler

Dönem (dk)	Yürüme (m)	Düşük hızda koşu (m)	Orta hızda koşu (m)	Yüksek hızda koşu (m)	Süratli koşu (m)	Toplam (m)
0-15	170,8±39,5	395,3±59	506,6±106,9	293,4±81,2	243,8±125	1609,9±268,2
15-30	161,9±50,2	429,2±61,2	506,1±150,7	314,3±90,2	242,9±84,1	1654,5±245,1
30-45	164,4±38,3	425,8±45,5	494,9±94,5	282,1±81	233,4±71,3	1600,6±172,6
45-60	175±43,8	425±66,4	443±135,3	275,2±93,7	225,8±87,3	1544,1±303,9
60-75	170,8±45,4	425,9±61,5	468,3±131,8	258,8±55,5	210,5±84,2	1534,3±253
75-90	170±34	451±66,6	410,8±122,7	273,6±104	205,1±87,6	1510,5±277,5

15 dakikalık dönemlerde hakemlerin saha içi aktivitelerde harcadıkları süreler Çizelge 4.6'da gösterilmektedir. Ortalama 278,5 sn ile yürüme ve 275,9 sn ile düşük hızda koşu, en çok süre harcanan aktiviteler olarak belirlendi. Bunları sırasıyla 166,3 sn ile orta hızda koşu, 76,7 sn ile durma, 67,6 sn ile yüksek hızda koşu ve 35 sn ile süratli koşu aktiviteleri takip etmektedir.

Çizelge 4.6. Maçın 15 dakikalık dönemlerinde hakemlerin ortalama aktivite süreleri

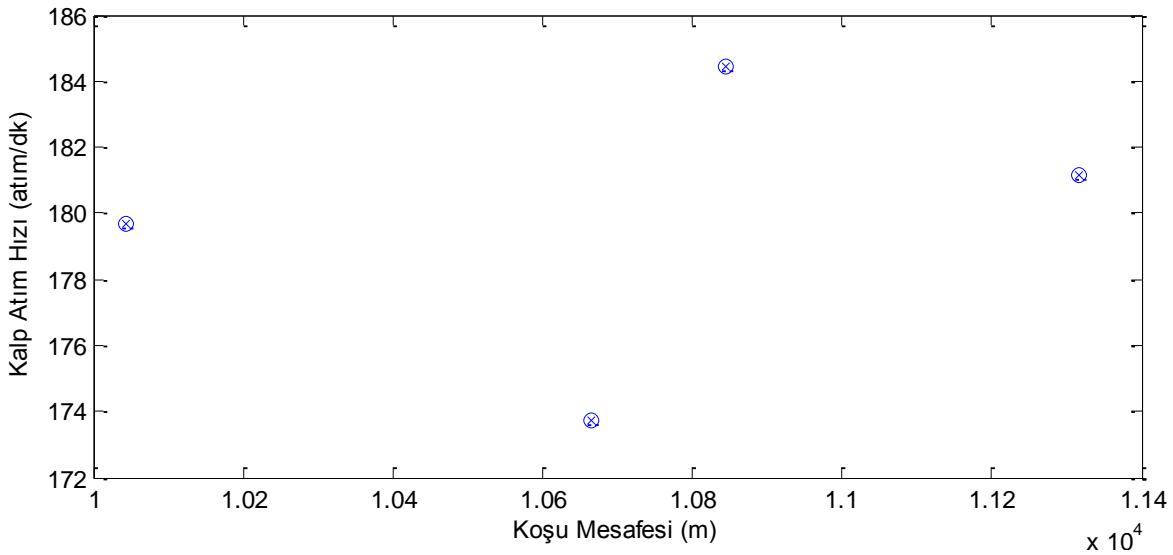
Dönem (dk)	Durma (sn)	Yürüme (sn)	Düşük hızda koşu (sn)	Orta hızda koşu (sn)	Yüksek hızda koşu (sn)	Süratli koşu (sn)
0-15	77±33	285,4±91,1	253,1±33,6	178,1±37,7	70,2±19,4	36,1±19,2
15-30	71,8±43	256,6±81,3	279,7±41,9	178,6±54,2	74,9±21	38,6±12,4
30-45	78,6±36	267,9±59,4	276±31,3	174,1±33,1	67,7±18,9	35,8±10,4
45-60	78,3±39,8	287±88,5	275,4±37,3	158,3±48,4	65,3±21,9	35,6±13,8
60-75	75,7±27,9	288,7±91,5	277,3±33,6	163,4±45,4	62±13	32,9±13,6
75-90	78,9±27	285,6±74,3	293,8±36,3	145,2±42,2	65,4±24,6	31,1±13,4



Şekil 4.2. 15 dakikalık dönemlerinde hakemlerin kat ettikleri ortalama mesafeler

4.2. Kardiyak Verileri

İlk devre, ikinci devre ve maç boyunca hakemlerin ortalama kalp atım hızlarının ortalamaları $182,8 \pm 5,6$ atım/dk, $176,7 \pm 5,7$ atım/dk ve $179,8 \pm 4,5$ atım/dk olarak hesaplandı. Şekil 4.3, maç boyunca kat edilen toplam mesafe ile ortalama kalp atım hızı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 4.3. Koşu mesafesi ile kalp atım hızı grafiği

Maçlarda hakemlerin ortalama ve en yüksek kalp atım hızı değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir. Maç içinde hakemin kalp atım hızı değeri 201 atım/dk'ya kadar çıkabilmektedir. Toplam maç süresi için ortalama kalp atım hızı, en yüksek kalp atım hızının %88,2'si ile %92,2'si arasında değişmekte olup ortalama olarak %90,3'ü olarak gerçekleşti. Bu oran ilk devre için %91,8, ikinci devre için %90,7 hesaplandı.

Çizelge 4.7. Hakemlerin maçtaki ortalama ve en yüksek kalp atım hızları

Maç No	Devre	Ortalama (atım/dk)	En yüksek (atım/dk)	%
1	1. devre	182,3±12,5	198	92,1
	2. devre	180±9,9	195	92,3
	Maç boyunca	181,2±11,3	198	91,5
2	1. devre	185,8±8,3	200	92,9
	2. devre	183±8,5	198	92,4
	Maç boyunca	184,4±8,5	200	92,2
3	1. devre	175,2±11,9	197	88,9
	2. devre	172,2±12,3	193	89,2
	Maç boyunca	173,7±12,2	197	88,2
4	1. devre	187,9±9,2	201	93,5
	2. devre	171,4±11,1	193	88,8
	Maç boyunca	179,7±13,1	201	89,4

Herbir maç için hakemlerin maç başındaki kalp atım hızı ile maç başındaki kalp atım hızının maç boyunca ortalama ve en yüksek kalp atım hızlarına oranları Çizelge 4.8'de gösterilmiştir. Maç başındaki kalp atım hızının ortalama kalp atım hızına oranlarının ortalaması %84±3,5 olarak, en yüksek kalp atım hızına oranlarının ortalaması ise %75,9±4,4 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. Hakemin maç başındaki kalp atım hızı ile ortalama ve en yüksek kalp atım hızına oranı

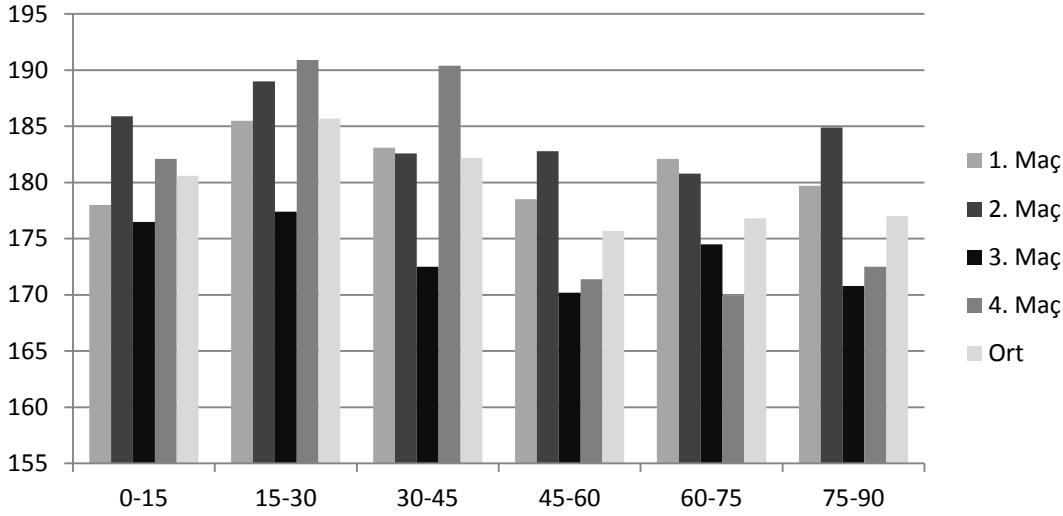
Maç No	Maç başı kalp atım hızı (atım/dk)	Ortalama değere oranı (%)	En yüksek değere oranı (%)
1	161	88,9	81,3
2	155	84,1	77,5
3	142	81,8	72,1
4	146	81,2	72,6

Çizelge 4.9. Maçın 15 dakikalık dönemlerinde hakemlerin ortalama kalp atım hızları

Dönem (dk)	1. maç (atım/dk)	2. maç (atım/dk)	3. maç (atım/dk)	4. maç (atım/dk)	Ortalama (atım/dk)
0-15	178±16,3	185,9±6,2	176,5±9,3	182,1±11,7	180,6±4,2
15-30	185,5±8,5	189±8,5	177,4±8,7	190,9±6,6	185,7±6
30-45	183,1±10,3	182,6±8,8	172,5±13,5	190,4±6,1	182,2±7,4
45-60	178,5±10,4	182,8±8,6	170,2±15,9	171,4±12,2	175,7±6
60-75	182,1±12,6	180,8±8,3	174,5±13,3	169,9±11,2	176,8±5,7
75-90	179,7±10,1	184,9±8,3	170,8±9,6	172,5±10,3	177±6,5

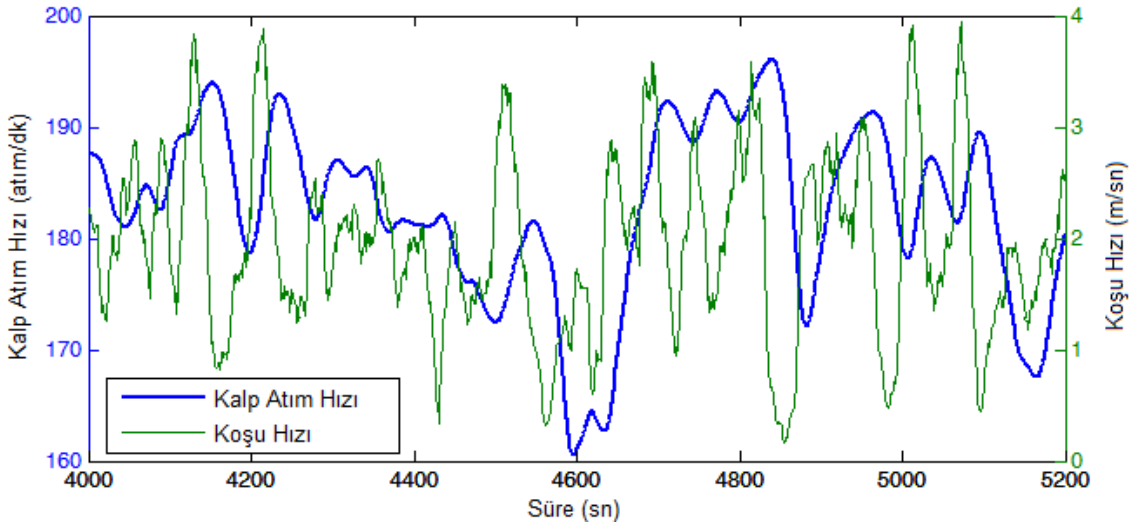
15 dakikalık dönemlerde hakemlerin kalp atım hızları incelendiğinde özellikle ilk devrenin ikinci 15 dakikalık dönemindeki ortalama kalp atım hızının, diğer dönemlere göre daha yüksek olduğu gözlemlendi (Çizelge 4.9). İkinci devrenin 15

dakikalık dönemlerdeki ortalama kalp atım hızlarının birbirine daha yakın olduğu tespit edildi (Şekil 4.4).

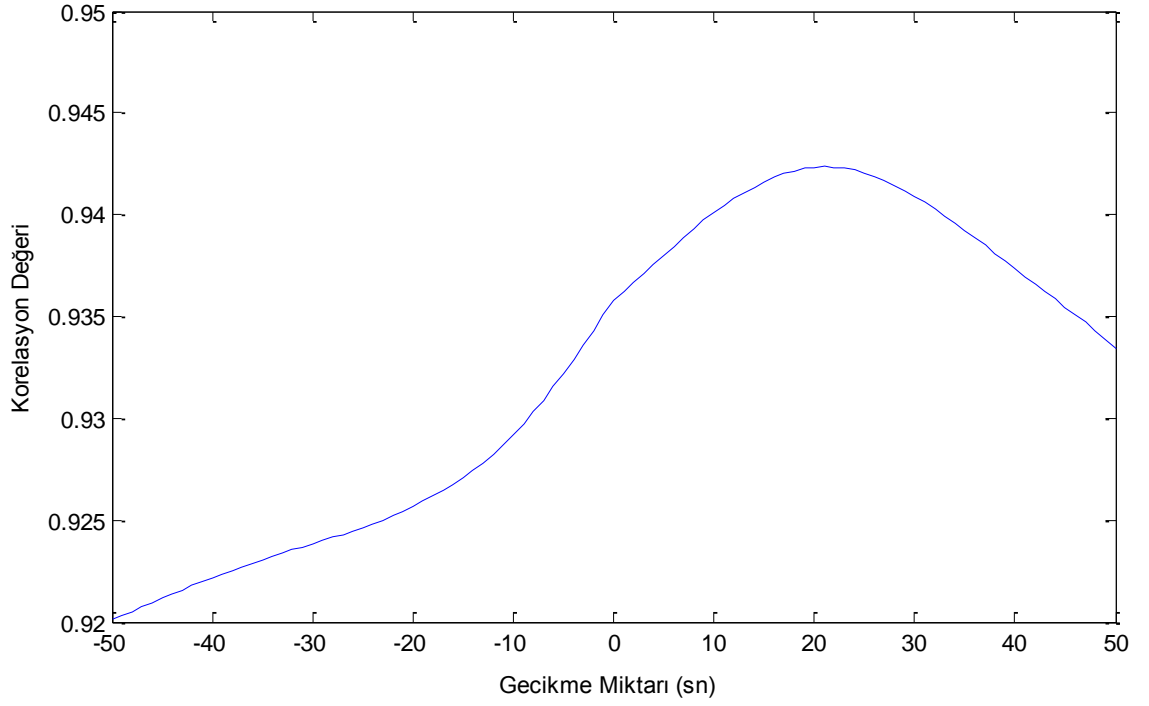


Şekil 4.4. 15 dakikalık dönemlerinde hakemlerin ortalama kalp atım hızları

Hakemlerin maç süresince 20 saniyelik pencere için 1 saniyelik kayan adımlarla hesaplanan ortalama koşu hızı grafiği ile ortalama kalp atım hızı grafiği Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Her bir maç için ortalama koşu hızı ile ortalama kalp atım hızı sinyalleri arasındaki ilişkinin tespit edilmesi için korelasyon analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda birinci maç için 20 sn, ikinci maç için 20 sn, üçüncü maç için 21 sn ve dördüncü maç için 23 sn gecikmeli olarak kalp atım hızının hareketi takip ettiği gözlemlendi (Şekil 4.6).



Şekil 4.5. Koşu hızı ile kalp atım hızı grafiği

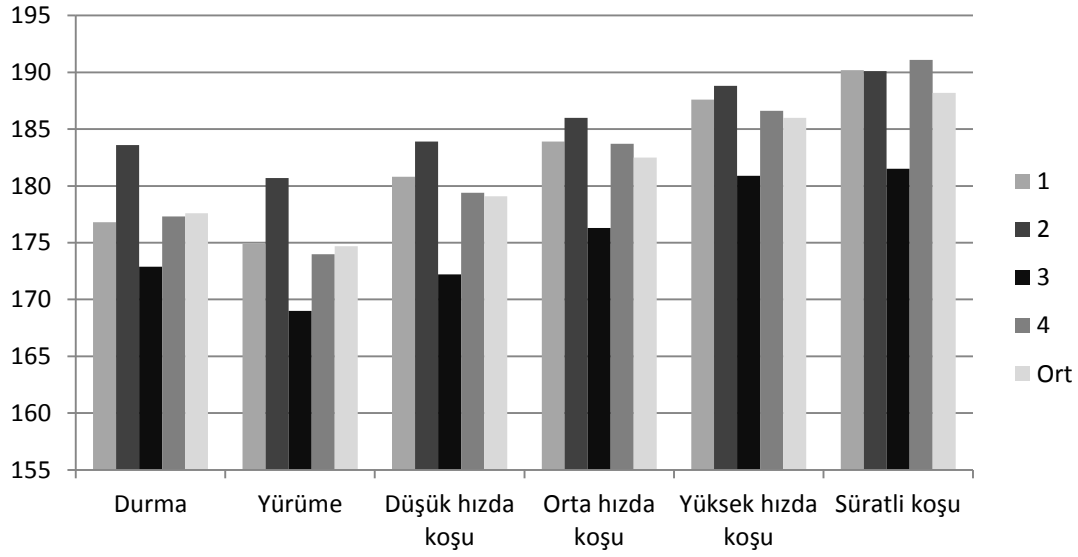


Şekil 4.6. Kalp atım hızının koşu hızına bağlı değişim grafiği

Her bir maça ait kalp atım hızının koşu hızına bağlı değişim süresi kullanılarak hakemlerin saha içi aktivitelerine bağlı ortalama kalp atım hızları hesaplandı. Bu değerler ilk devre, ikinci devre ve maç boyunca olmak üzere Çizelge 4.10'da gösterilmektedir. Şekil 4.7'de ise her bir maç boyunca hakemlerin aktivitelerdeki kalp atım hızı grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.10. Hakemlerin aktivitelere bağlı ortalama kalp atım hızları

Maç No	Devre	Durma	Yürüme	Düşük hızda koşu	Orta hızda koşu	Yüksek hızda koşu	Süratli koşu
1	1. devre	175,5±19,2	176±16	181,8±10,6	185,6±7,9	189,2±6,1	191,9±5
	2. devre	178,3±10,5	173,7±11,3	179,9±8,9	182,2±8,1	185,9±6,7	188,6±4,7
	Maç boyunca	176,8±15,8	174,9±14	180,8±9,8	183,9±8,2	187,6±6,6	190,2±5,1
2	1. devre	184,6±9	182,5±8,5	185,5±7,7	187,1±7,7	190,9±6,1	190,5±7
	2. devre	182,5±8,7	178,6±9,4	182,6±7,9	184,9±7,3	186,6±6,1	189,7±6,3
	Maç boyunca	183,6±8,9	180,7±9,1	183,9±8	186±7,6	188,8±6,5	190,1±6,7
3	1. devre	173,6±13,7	171±13,8	174,3±10,9	177,5±9,2	182,1±7,2	182,5±8,3
	2. devre	171,9±12,9	166,8±12,8	170,5±12	175,1±10,5	179,9±8,5	180,4±9,8
	Maç boyunca	172,9±13,4	169±13,5	172,2±11,7	176,3±10	180,9±8	181,5±9,1
4	1. devre	187,8±9,3	184,9±9,5	186,8±9	189,9±8,7	191,4±9,6	194,6±5,9
	2. devre	169,3±12	166±11,6	171,5±9,6	176,7±8,1	178,9±7,9	184,9±6,5
	Maç boyunca	177,3±14,2	174±14,2	179,4±12	183,7±10,7	186,6±10,9	191,1±7,7



Şekil 4.7. Hakemlerin aktivitelerdeki ortalama kalp atım hızları

4.3. Saha Kullanımı

Bu tez kapsamında hakemlerin futbol sahasını nasıl kullandıkları da incelendi (Çizelge 4.11). Hakemler ortalama olarak sağ yarı sahada ilk devre 2569,6±529 m, ikinci devre 2029,4±945,5 m, maç boyunca 4599±974,4 m, sol yarı sahada ilk devre 2295,2±830 m, ikinci devrede 2559,5±801,1 m, maç boyunca 4854,7±1172,6 m mesafe kat etmişlerdir. Bunlarla beraber, ortalama olarak sağ yarı sahada ilk devre 1449,9±322,9 sn, ikinci devre 1175,8±470,4 sn, maç boyunca 2625,7±461,6 sn, sol yarı sahada ilk devre 1250,1±322,9 sn, ikinci devrede 1524,2±470,4 sn, maç boyunca 2774,3±461,6 sn buldukları tespit edildi.

Çizelge 4.11. Hakemlerin saha kullanım süre ve mesafeleri

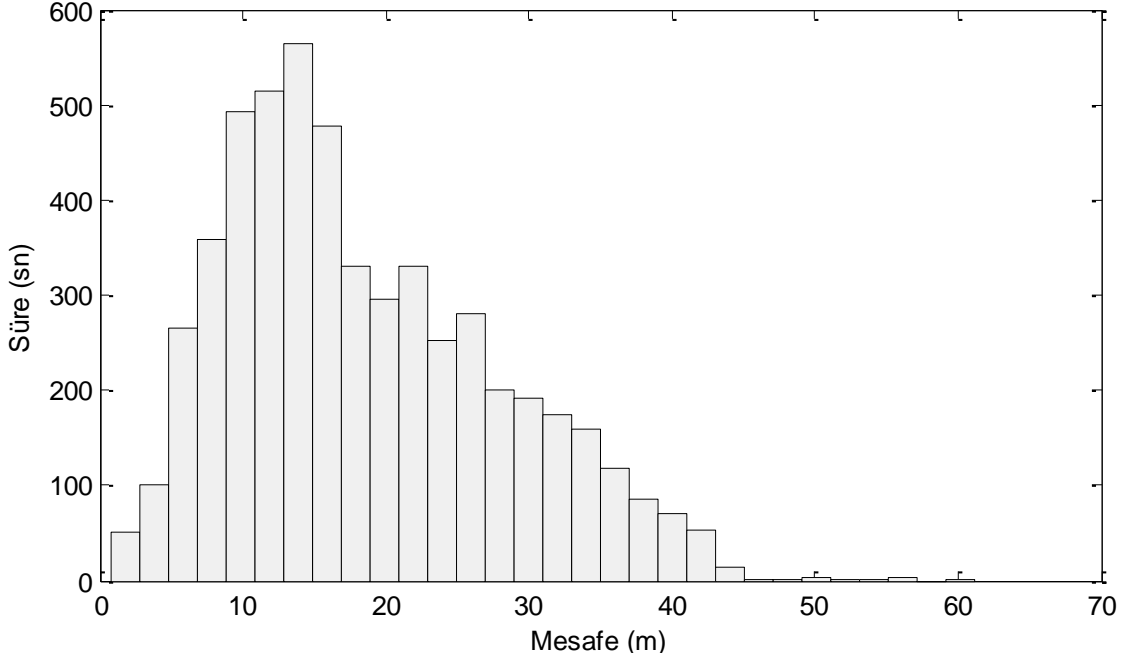
Maç No	Devre	Sağ yarı saha		Sol yarı saha	
		Süre (sn)	Mesafe (m)	Süre (sn)	Mesafe (m)
1	1. devre	1535	3120,9	1165	2500,7
	2. devre	1692	3478,4	1008	2216,7
	Maç boyunca	3227	6599,3	2173	4717,5
2	1. devre	1022	2114,8	1678	3294,5
	2. devre	527	1082,8	2173	4353,8
	Maç boyunca	1549	3197,6	3851	7648,3
3	1. devre	1350	2353,5	1350	2849,6
	2. devre	1369	2798,3	1331	2662,6
	Maç boyunca	2719	5151,7	2681	5512,2
4	1. devre	925	1805,7	1775	3687,7
	2. devre	1952	3229,7	748	1319,8
	Maç boyunca	2877	5035,4	2523	5007,5
5	1. devre	1539	2525,6	1161	1781,1
	2. devre	1343	2111,7	1357	2164,8
	Maç boyunca	2882	4637,3	2518	3946
6	1. devre	1385	2386	1315	2038,4
	2. devre	1132	1782,4	1568	2490,6
	Maç boyunca	2517	4168,4	2883	4529
7	1. devre	1664	2593,4	1036	1465,2
	2. devre	1100	1695	1600	2530,8
	Maç boyunca	2764	4288,4	2636	3996
8	1. devre	1683	2628,4	1017	1477,8
	2. devre	824	1048,4	1876	2457,1
	Maç boyunca	2507	3676,8	2893	3934,9
9	1. devre	1946	3598,3	754	1562,2
	2. devre	643	1038,2	2057	2838,9
	Maç boyunca	2589	4636,5	2811	4401,1

Hakemlerin oyunu takip edebilmeleri, yardımcı hakemlerle iletişim içinde olabilmeleri için sahayı, ceza sahasının bir köşesinden diğer ceza sahasının uzak köşesine çizilecek bir diyagonal baz alarak ve top sağlarında kalacak bir şekilde koşmaları tavsiye edilmektedir. Analiz edilen maçlarda hakemlerin ortalama olarak diyagonalden uzaklıkları maçın ilk devresinde $10,5\pm 7,6$ m, ikinci devresinde $10,4\pm 7,4$ m, maç süresince $10,5\pm 7,6$ m olarak gözlemlendi. Maçların devreleri için en düşük değer 7,7 m, en yüksek değer 12,9 m tespit edildi (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Hakemlerin diyagonalden ortalama uzaklıkları

Maç No	1. devre (m)	2. devre (m)	Maç boyunca (m)
1	$11\pm 8,2$	$9,2\pm 6,4$	$10,1\pm 7,4$
2	$10,5\pm 7,6$	$11,3\pm 7,7$	$10,9\pm 7,6$
3	$9,3\pm 6,3$	$9,8\pm 5,8$	$9,6\pm 6$
4	$9,7\pm 6,7$	$11\pm 7,1$	$10,4\pm 6,9$
5	$11,4\pm 8,9$	$9,3\pm 7,4$	$10,3\pm 8,3$
6	$10,5\pm 8,6$	$12,6\pm 9,3$	$11,5\pm 9$
7	$11,9\pm 7,8$	$9,1\pm 6,4$	$10,5\pm 7,3$
8	$7,7\pm 5,6$	$9,5\pm 8,3$	$8,6\pm 7,1$
9	$12,9\pm 9$	$11,4\pm 8,6$	$12,2\pm 8,8$

Hakemlerin ma içinde başlama noktasına olan uzaklıkları ilk devre için ortalama $21\pm12,4$ m, ikinci devre için ortalama $23,4\pm15,7$ m, ma boyunca ortalama $22,2\pm14,6$ m olarak hesaplandı (şekil 4.8). Maçların devreleri için hakemlerin başlama noktasından ortalama uzaklıkları izelge 4.13'te verilmektedir.

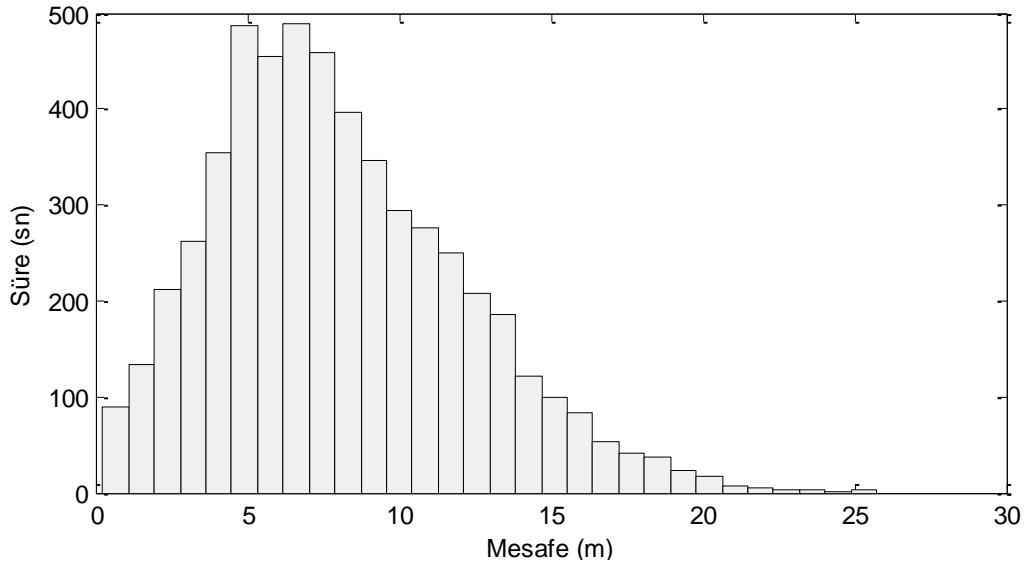


şekil 4.8. Hakemlerin ma içinde başlama noktasından uzaklıkları

Çizelge 4.13. Hakemlerin başlama noktasından ortalama uzaklıkları

Ma No	1. devre (m)	2. devre (m)	Ma boyunca (m)
1	$22,3\pm12,6$	$19,7\pm10,8$	$21\pm11,8$
2	$25,9\pm15$	$22,9\pm11$	$24,4\pm13,2$
3	$17,8\pm9,3$	$19,3\pm9,8$	$18,5\pm9,6$
4	$22,5\pm12,2$	$21,4\pm11,7$	$21,9\pm12$
5	$23,7\pm15,1$	$30,3\pm30,5$	$27\pm24,3$
6	$17,9\pm11,9$	$29,8\pm29,7$	$23,9\pm23,4$
7	$21\pm13,3$	$20\pm10,4$	$20,5\pm12$
8	$18\pm10,6$	$18,9\pm10,3$	$18,4\pm10,5$
9	$19,7\pm11,2$	$28,2\pm17$	24 ± 15

Ma süresince 20 saniyelik pencere için 1 saniyelik kayan adımlarla hakemlerin pencere merkezine olan uzaklıkları ortalama olarak ilk devre için $7,4\pm3,9$ m, ikinci devre için $7,2\pm4,1$ m, ma boyunca ise $7,3\pm4$ m olarak gerçekleşti. Ma içinde hakemlerin pencere merkezinden uzaklıkları şekil 4.9'da, maçların devreleri için pencere merkezinden ortalama uzaklıkları izelge 4.14'te verilmektedir.



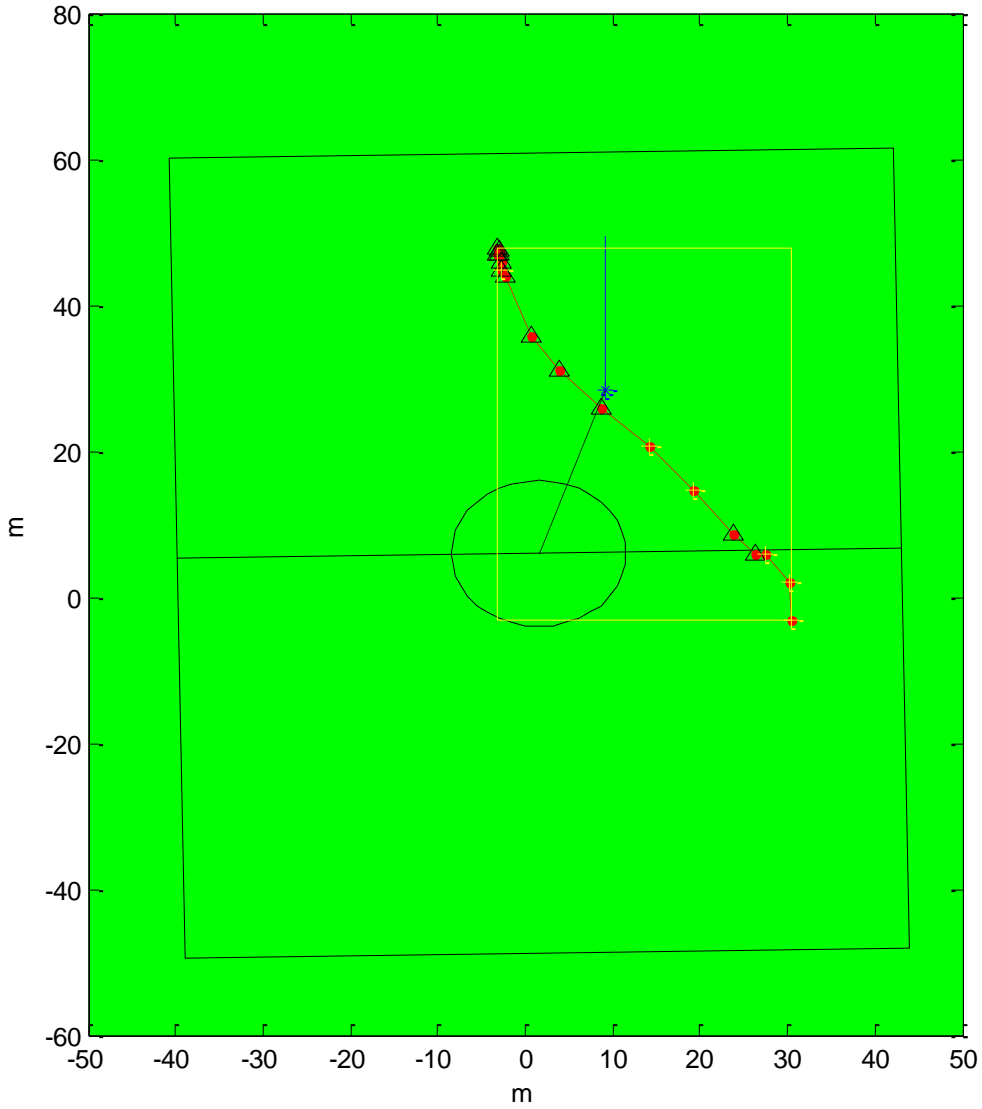
Şekil 4.9. Hakemlerin maç içinde 20 saniyelik pencere merkezinden uzaklıkları

Çizelge 4.14. Hakemlerin 20 saniyelik pencere merkezinden ortalama uzaklıkları

Maç No	1. devre (m)	2. devre (m)	Maç boyunca (m)
1	8±4,2	8,4±4,2	8,2±4,2
2	7,9±4	8,1±4,2	8±4,1
3	7,8±3,9	8,3±4	8±4
4	8,8±4,2	7,2±4	8±4,2
5	6,8±3,8	7,2±4,3	7±4,1
6	7±3,8	7,1±4,3	7,1±4
7	5,8±3,6	6,6±4	6,2±3,8
8	6,5±3,8	5,8±3,9	6,1±3,8
9	8,1±4,1	6,3±3,9	7,2±4,1

4.4. Hareketlerin Sınıflandırılması

Hakem hareketlerinin sınıflandırılması amacıyla konum verileri 20 saniyelik pencereye ayrılmış ve 1'er saniyelik kayan adımlarla incelenmiştir (Şekil 4.10). 20 saniyelik pencere, 7 m/sn maksimum hızda koşan bir hakemin sahanın bir ucundan diğer ucuna gidebileceği minimum süre olarak değerlendirildiği için seçildi. Her pencerede konum verilerinin ağırlık merkezi noktası, hakemin ortalama hızı, sahanın merkezine olan ortalama uzaklığı, koşu çizgisinin içbükey, dışbükey sayısı hesaplandı. Hesaplanan veriler sınıflandırılmak amacıyla bir vektörde toplandı.



Şekil 4.10. 20 saniyelik pencereler halinde hareketlerden özelliklerin elde edilmesi

Şekil 4.10'da siyah üçgenler içbükey, sarı artılar dışbükey hareketleri, mavi yıldız pencerenin ağırlık merkezini, sarı dörtgen ise pencereyi kapsayan en küçük dörtgeni göstermektedir.

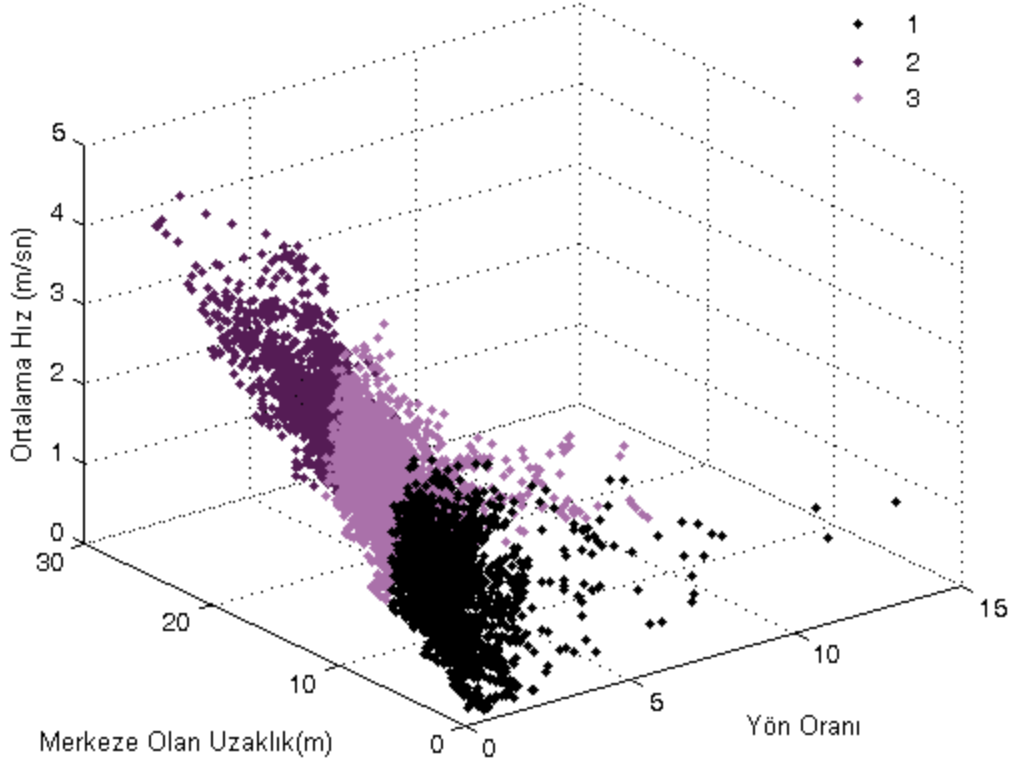
Penceredeki noktaların minimum ve maksimum değerleri kullanılarak yön oranı hesaplandı.

$$Oran = (x_{min} - x_{max}) / (y_{min} - y_{max}) \quad (4.1)$$

Her bir pencerenin ağırlık merkezinin hesaplanmasında aşağıdaki denklemler kullanıldı. Denklemden x_i ve y_i pozisyonun yatay ve düşey koordinatlarını göstermektedir.

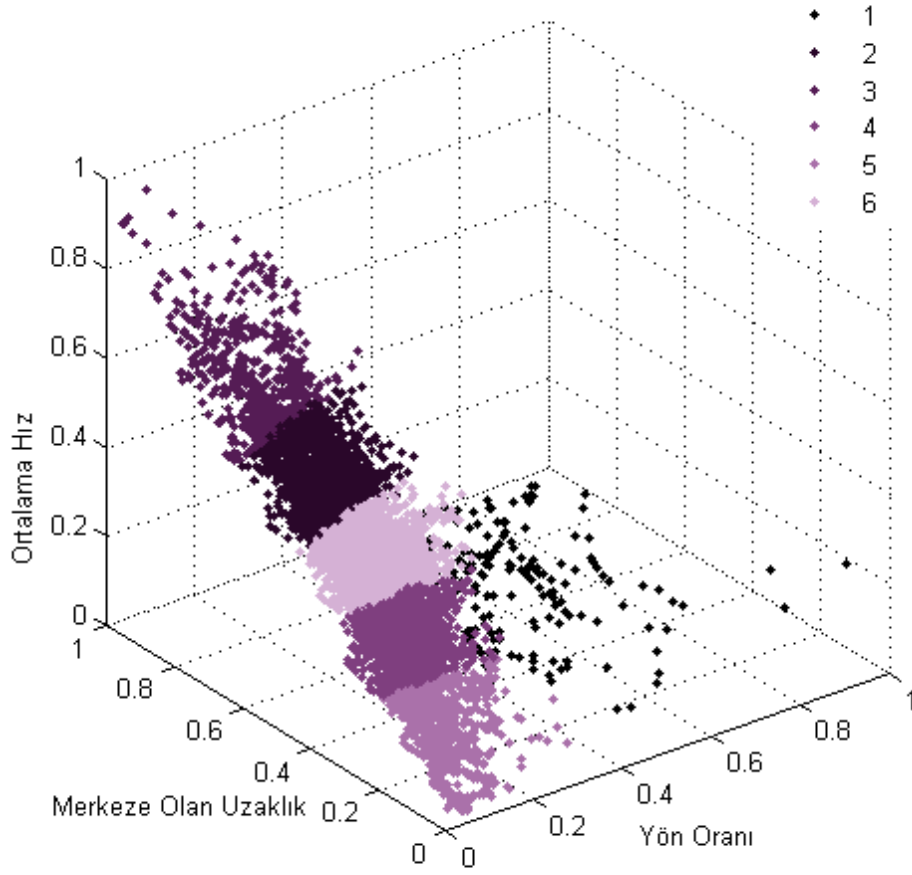
$$\begin{aligned} x_{merkez} &= (x_1 + \dots + x_{20}) / 20 \\ y_{merkez} &= (y_1 + \dots + y_{20}) / 20 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Uluslararası maçtan elde edilen yön oranı, ortalama hız ve merkeze olan uzaklık dağılımı Şekil 4.11’de gösterilmektedir. Burada k-means sınıflandırma algoritması ve Öklid mesafe ölçümü kullanılarak veriler 3 farklı gruba ayrılmıştır.



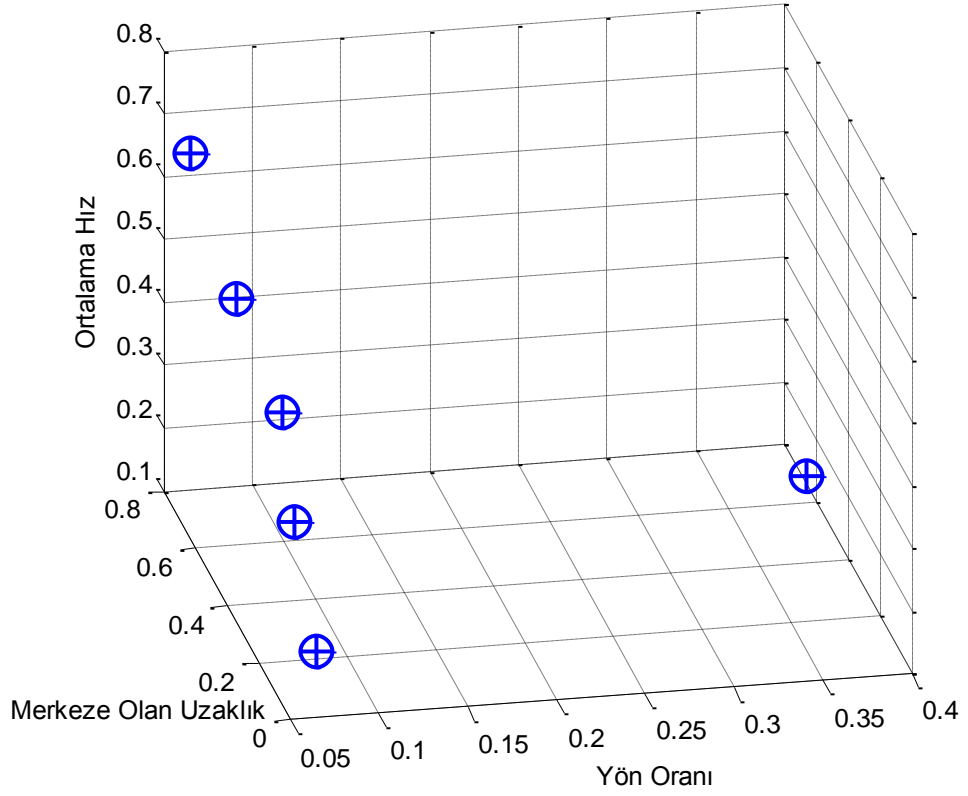
Şekil 4.11. Ortalama hız, yön oranı ve merkeze olan uzaklık parametreleri kullanılarak hakem hareketlerinin 3 gruba ayrılması

Yön oranının düşük hızlarda oldukça fazla değişkenlik gösterdiği ve yüksek hızlarda fazla değişmediği gözlemlenmektedir. K-means metodunda Öklid mesafe ölçümü kullanılıncı merkezden olan uzaklık bilgisi büyük değerlere sahip olduğu için hesaplamada en baskın faktör olmaktadır. Bu nedenle değişik türde ve boyutta olan veriler, maksimum olası değerler kullanılarak normalize edildi. Veriler çalışmada kullanılan koşu türlerine benzer şekilde 6 adet gruba ayrıldı.



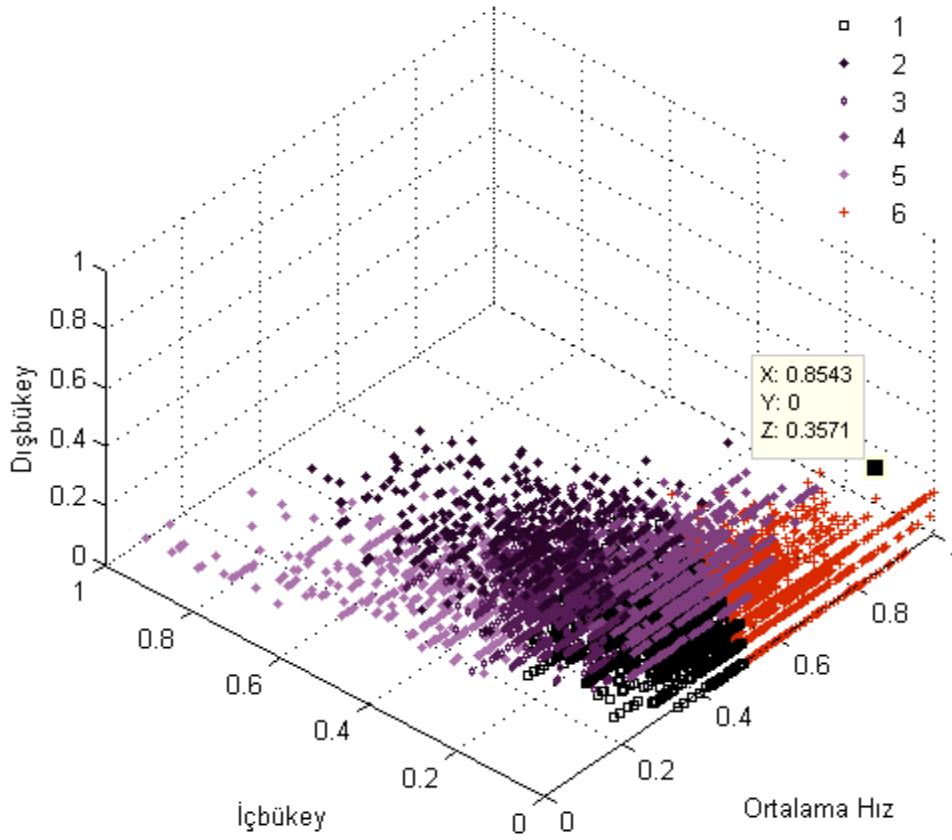
Şekil 4.12. Hakem hareketlerinin 6 gruba ayrılması

Burada yön oranı yüksek olan değerlerin diğerlerinden bariz bir şekilde ayrıldığı ve ayrı bir grup oluşturduğu gözlenmektedir (Şekil 4.12). Diğer gruplar merkeze yakın ve ortalama hızın düşük olduğu, merkezden uzaklığın daha fazla olduğu yüksek hızlı koşular şeklinde olmaktadır. Burada her bir grubun merkez noktaları incelendiğinde daha net anlaşılmaktadır (Şekil 4.13).



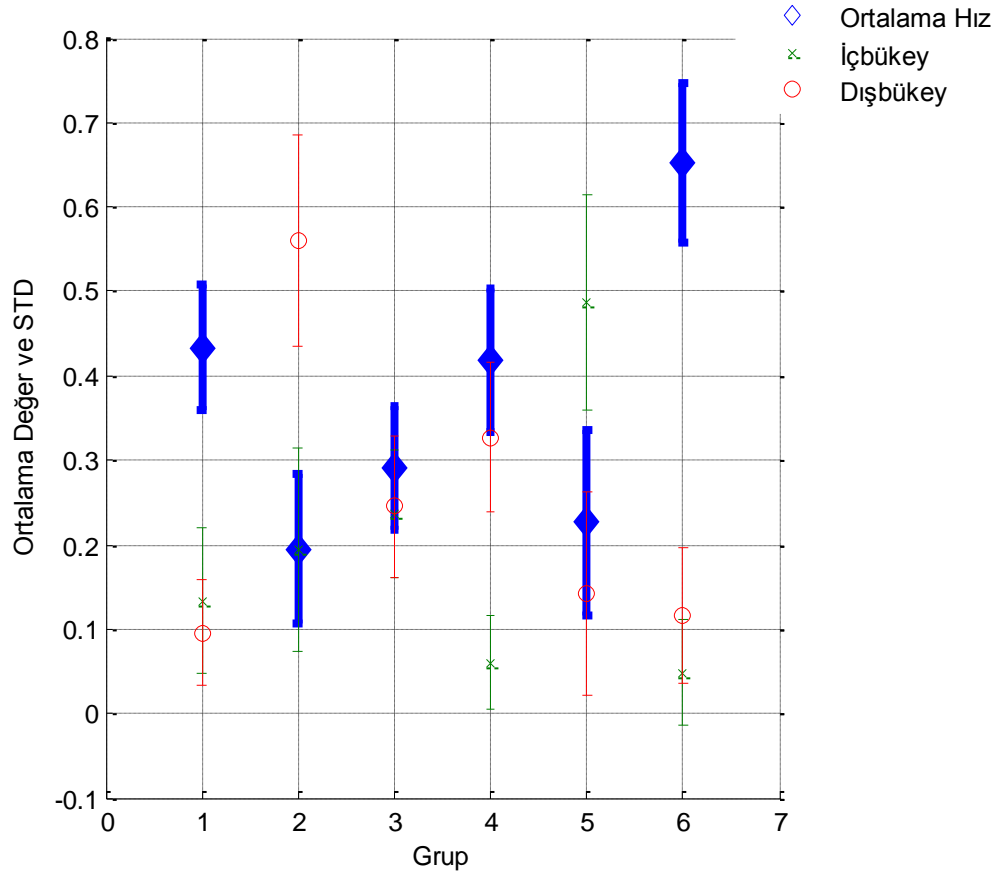
Şekil 4.13. Grupların merkez noktaları

Koşunun doğrusallığını incelemek amacıyla içbükey ve dışbükey nokta sayıları elde edilen sınıflar Şekil 4.14'te gösterilmektedir. Burada ortalama hız, içbükey nokta sayısı ve dışbükey nokta sayısı parametreleri kullanılmaktadır. Bütün parametreler maksimum değerlerine bölünerek normalize edildi. Burada çok küçük açısal değişimlerin yön değiştirme olarak kabul edilmemesi için bir açısal eşik değeri konuldu ve 18 dereceden düşük açılar doğrusal olarak kabul edildi. 18 derece 20 saniyelik pencerede bir çember çizmek istenilirse her bir adımda olması gereken en küçük açı değeri olması nedeniyle seçildi.



Şekil 4.14. İçbükey ve dışbükey koşu sayılarına göre sınıflandırma

Sınıflandırmalar incelendiğinde ortalama hızın arttığı durumda 20 saniyelik pencere içerisinde içbükey nokta sayısının sıfıra yaklaştığı gözlemlenmektedir. Ancak dışbükey noktaların sıfırdan uzak değerlerde de bulunduğu gözlemlenmektedir. Burada sınıflandırma grupları incelendiğinde ortalama hızın yüksek (0.65146 ± 0.094667), içbükey (0.04837 ± 0.062887) ve dışbükey (0.11557 ± 0.080657) nokta sayısının sıfıra yakın olduğu bir grubun oluştuğu görülmektedir (grup 6). Grup 1, grup 6 kadar belirgin olmamakla birlikte aynı özellikleri sergilemektedir. 2, 3 ve 4 numaralı gruplarda ortalama hızın içbükey, dışbükey nokta sayısına paralel şekilde arttığı gözlemlenmektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. İçbükey, dışbükey sayıları ve ortalama hız için ortalama değerler

5. TARTIŞMA

Araştırma sonucunda Türkiye’de görev yapan futbol hakemleri maçların ilk devresinde ortalama 4864,9 m, ikinci devre 4588,9 m ve maç boyunca ortalama 9453,8 m mesafe kat ettiler. Türkiye’de görev yapan hakemlerin Brezilyalı meslektaşları kadar koştuıkları, ancak Japon, İngiliz ve İtalyan meslektaşlarından daha az koştuıkları gözlemlenmiştir. Bu durum, çalışmalara katılan Türk ve Brezilyalı hakemlerin bölgesel liglerde; Japon, İngiliz ve İtalyan hakemlerin ise maçların daha hızlı oynandığı üst liglerde maç yönetmelerinden kaynaklanmaktadır. Maçın devrelerine bakıldığında Japon hakemler maçın ikinci devresinde daha fazla mesafe kat etmişlerdir. Ancak bu teze konu olan Türk hakemlerin Brezilya’da, İtalya’da, İngiltere’de ve uluslar arası maçlarda görev yapan hakemler gibi maçın ilk devresinde, ikinci devresine göre daha fazla mesafe kat ettikleri görülmektedir. Bunun temel sebebi oyuncuların ikinci devrede daha az koşmaları olabileceği gibi hakemlerin oyuncular gibi ikinci yarı daha yorgun olmaları da olabilir.

Bu tez çalışmasında hakemlerin maç boyunca ortalama 1012,9 m yürüme, 2552,2 m düşük hızda koşu, 2829,6 m orta hızda koşu, 1697,5 m yüksek hızda koşu ve 1361,6 m süratli koşu gerçekleştirdikleri belirlendi. Maçın ilk devresinde 497,1 m yürüme, 1250,2 m düşük hızda koşu, 1507,6 m orta hızda koşu, 889,9 m yüksek hızda koşu, 720,1 m süratli koşu mesafesi, maçın ikinci devresinde 515,8 m yürüme, 1302 m düşük hızda koşu, 1322 m orta hızda koşu, 807,6 m yüksek hızda koşu, 641,5 m süratli koşu mesafesi tespit edildi.

Hakemlerin maç içinde 460,2 sn durma, 1671,1 sn yürüme, 1655,3 sn düşük hızda koşu, 997,8 sn orta hızda koşu, 405,6 sn yüksek hızda koşu ve 210 sn süratli koşu yaptıkları tespit edildi. 45 dakikalık dönemlerde ise sırasıyla ilk devre ve ikinci devre olmak üzere 227,3 sn ve 232,9 sn durma, 809,9 sn ve 861,2 sn yürüme, 808,8 sn ve 846,6 sn düşük hızda koşu, 530,8 sn ve 467 sn orta hızda koşu, 212,8 sn ve 192,8 sn yüksek hızda koşu, 110,4 sn ve 99,6 sn süratli koşu yaptıkları belirlendi.

Türk hakemler saha içinde en çok düşük hızda koşu ve orta hızda koşu yaptılar. Maçın ilk devresinde orta hızda koşu, yüksek hızda koşu ve süratli koşu gibi daha fazla güç gerektiren aktiviteler sırasında harcanan süreler ve kat edilen mesafeler, ikinci devreye göre daha çok gerçekleşirken, durma, yürüme ve düşük hızda koşu aktivitelerinde harcanan süreler ve kat edilen mesafeler ise ikinci devre daha çok gerçekleşti. Benzer şekilde, literatürdeki çalışmalarda incelenen hakemlerin de güç gerektiren aktivitelerde kat ettikleri mesafeler ikinci devrede azalmıştır. Hakemler de oyuncular gibi ikinci devre daha yorgun olmaları sebebiyle yürüme ve düşük hızda koşu aktiviteleri ile aktif dinlenme yapıyor olabilirler.

Araştırma sonucunda hakemler ilk devrenin 15 dakikalık dönemlerinde sırasıyla 1609,9 m, 1654,5 m ve 1600,6 m, ikinci devrenin 15 dakikalık dönemlerinde sırasıyla 1544,1 m, 1534,3 m ve 1510,5 m olmak üzere ortalama 1575,6 m mesafe kat ettiler. Dönemler arasında aşırı fark olmamakla birlikte en yüksek koşu mesafesi ikinci 15 dakikalık dönemde gerçekleşti. Devrelerin en az koşulan dönemleri son 15 dakikalık dönemlerdir. Mallo vd (2007) hakemlerin, maçın ilk 15 dakikasında diğer 15 dakikalık dönemlere göre daha fazla mesafe kat ettiklerini belirtmişlerdir. Krustup vd (2009) ilk

15 dakikalık döneme göre 30-45'inci dakikalar arasında %9, 60-75'inci dakikalar arasında %11 ve 75-90'ıncı dakikalar arasında %10 daha az mesafe kat edildiğini raporlamışlardır. Mallo vd (2010) hakemlerin maç içinde en fazla mesafeyi ortalama 1840 m ile maçın ilk 15 dakikalık döneminde aldıklarını belirlemiştir.

Hakemlerin maçın 15 dakikalık dönemlerinde yaptıkları aktivitelerde kat ettikleri mesafeler ve harcadıkları süreler incelendiğinde maçın ilk 15 dakikalık döneminde düşük hızda koşu sırasında kat edilen mesafe ve harcanan sürenin en düşük değerinde, orta hızda koşu ve süratli koşu sırasında kat edilen mesafenin en yüksek değerinde olduğu belirlendi. Maçın son 15 dakikalık döneminde ise özellikle orta hızda koşu ve süratli koşu sırasında kat edilen mesafe ve harcanan sürenin en düşük değerinde, düşük hızda koşu sırasında kat edilen mesafe ve harcanan sürenin en yüksek değerinde olduğu tespit edildi.

Hakemlerin maçın ilk devresi ve ikinci devresi ile maç boyunca ortalama kalp atım hızları sırasıyla 182,8 atım/dk, 176,7 atım/dk ve 179,8 atım/dk olarak tespit edildi. İncelenen 4 maç için, maç içindeki en yüksek kalp atım hızı 197 ile 201 atım/dk arasında hesaplandı. Ortalama kalp atım hızının en yüksek kalp atım hızına oranı ortalama olarak %90,3 olarak gerçekleşti. Literatürdeki çalışmalarda ortalama kalp atım hızının en yüksek kalp atım hızına oranı %85-95 aralığında gerçekleştiği söylenebilir. Türk hakemler de %90,3 ile bu aralığın ortasında yer almaktadırlar.

Maçlarının 15 dakikalık dönemlerinde hakemlerin ortalama kalp atım hızları sırasıyla ilk devre için 180,6±4,3 atım/dk, 185,7±6 atım/dk ve 182,2±7,4 atım/dk, ikinci devre için 175,7±6 atım/dk, 176,8±5,7 atım/dk ve 176,7±6,4 atım/dk olarak belirlendi. Her bir maç için özellikle ilk devrenin ikinci 15 dakikalık döneminde hakemlerin ortalama kalp atım hızı, maçın diğer 15 dakikalık dönemlerine göre daha yüksek gerçekleşti. İkinci devrenin 15 dakikalık dönemlerindeki ortalama kalp atım hızlarının birbirine daha yakın olduğu tespit edildi. Maç süresince İtalyan hakemlerin de Türk hakemler gibi ikinci 15 dakikalık dönemde, Japon hakemlerin ise son 15 dakikalık dönemde en yüksek kalp atım hızına sahip oldukları saptanmıştır.

Hakemlerin kalp atım hızlarının koşu hızlarıyla bağlantısını incelemek için yapılan korelasyon analizine göre hakemlerin kalp atım hızlarının koşu hızlarına göre değişimi 20-23 sn aralığında olmak üzere ortalama 21 sn sonra gerçekleşti. Bu süreler kullanılarak koşu türlerine bağlı ortalama kalp atım hızları durma için 177,6±4,4 atım/dk, yürüme için 174,7±4,8 atım/dk, düşük hızda koşu için 179,1±5 atım/dk, orta hızda koşu için 182,5±4,2 atım/dk, yüksek hızda koşu için 186±3,5 atım/dk ve süratli koşu için 188,2±4,5 atım/dk olarak belirlendi. Genelde hakemlerin koşu hızlarının artmasıyla kalp atım hızlarının da arttığını, ancak durma aktivitesinden kaynaklı kalp atım hızının yürüme aktivitesinden kaynaklı kalp atım hızından daha yüksek olduğu gözlemlendi. Bu durum, durma aktivitesi sırasında hakemin kalp atım hızının artmasına neden olabilecek kararların alındığı pozisyonların yaşanmasına ve yürüme aktivitesinde aktif dinlenme yapmalarına bağlı olabilir.

Hakemler ortalama olarak sağ yarı sahada ilk devre 1449,9 saniyede 2569,6 m, ikinci devre 1175,8 saniyede 2029,4 m, maç boyunca 2625,7 saniyede 4599 m, sol yarı sahada ilk devre 1250,1 saniyede 2295,2 m, ikinci devrede 1524,2 saniyede 2559,5 m,

maç boyunca 2774,3 saniyede 4854,7 m mesafe kat ettiler. İlk devre sağ yarı sahada, ikinci devre ise sol yarı sahada bulunulan süre ve kat edilen mesafeler diğer yarıya göre daha çoktur. İncelenen maçlarda takımlardan birinin daha atak oynadığı, topun, rakibin sahasında daha çok bulunmasından dolayı hakeminde o yarı sahada daha çok bulunduğu söylenebilir. İkinci devrede takımların yarı sahayı değiştirmelerinden dolayı, aynı durum öteki yarı sahada yaşanmış olabilir. Böylelikle ilk devrede bir yarı sahada daha çok bulunan hakem, ikinci devre diğer yarı sahada daha çok bulunmuştur.

Hakemlerin diyagonalden uzaklıkları maçın ilk devresinde ortalama 10,5 m, ikinci devresinde ortalama 10,4 m, maç süresince ortalama 10,5 m olarak belirlendi. Birçok pozisyonda diyagonalden uzaklaştıkları gözlemlendi.

Hakemlerin maç içinde başlama noktasına olan uzaklıkları ilk devre için ortalama 21 m, ikinci devre için ortalama 23,4 m, maç boyunca ortalama 22,2 m olarak hesaplandı. Maç içinde başlama noktasına olan uzaklıkları 60 metreye kadar çıkabilmektedir. Bu da, hakemlerin, sahanın köşelerine kadar gittikleri anlamına gelmektedir.

Maç süresince 20 saniyelik pencere için 1 saniyelik kayan adımlarla hakemlerin pencere merkezine olan uzaklıkları ortalama olarak ilk devre için 7,4 m, ikinci devre için 7,2 m, maç boyunca ise 7,3 m olarak gerçekleşti. Maç içinde bu değer 26 metreye kadar çıktığı görülmüştür.

Verilerden elde edilen özelliklerin sınıflandırılması sonucunda içbükey dışbükey nokta sayısının ve bunun ortalama hızla ilişkisinin hareketlerin sınıflandırmasında önemli olduğu tespit edildi. Benzer şekilde yön oranının hareketi tanımladığı gözlemlendi. Son olarak merkeze olan uzaklığın hareketin tanımlanmasında önemli olmadığı gözlemlendi.

6. SONUÇ

Futbolun önemli unsurlarından biri olan hakemlerin, görevlerini yerine getirebilmeleri için maç içinde yaptıkları aktivitelere uygun antrenman yapmaları gerekmektedir. Uygun antrenman programlarının hazırlanabilmesi için hakemlerin maç boyunca yaptıkları aktivitelerle birlikte fizyolojik zorlanmaların belirtisi olarak kalp atım hızlarının da belirlenmesi ve bunlar arasındaki ilişkinin ortaya konulması önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında, hakemlerin antrenman programlarının güncellenerek daha yararlı hale getirilebilmesi için istatistiksel veri oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, hakemlerin maç boyunca yaptıkları aktiviteler, süreleri, bu aktivitelerde kat ettikleri mesafeler, kalp atım hızları, aktiviteler ile kalp atım hızının ilişkisi, diyagonale uygun koşu yapıp yapmadıkları, aktiviteler sırasındaki yönleri, içbükey ve dışbükey hareket sayıları, bunların koşu hızı ile ilişkisi incelenmiş, hakemlerin maç içindeki aktivitelerine ilişkin önemli bilgiler literatüre kazandırılmıştır. Bu bilgilerin pek çoğu, bu alanda çalışacak araştırmacılara referans sağlayacak yeni bilgilerdir.

Kalp atım hızını etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bazıları fiziksel olmakla birlikte bazıları da psikolojiktir. Çalışma kapsamında maçın zorluğu, seyirci baskısı gibi psikolojik faktörler değerlendirilmemiştir. İlerleyen aşamalarda bu gibi faktörler göz önüne alınacaktır.

Başarılı bir ön çalışma olmakla birlikte daha genel sonuçlar elde etmek için veri sayısının artırılması gerekmektedir. Veri sayısının artırılması konusunda ilerleyen dönemlerde TFF ile iletişime geçilmesi düşünülmektedir.

Sonuç olarak, hakemlerin maç içindeki aktiviteleri ve fizyolojik durumları ile ilgili veriler ışığında yeni antrenman programlarının hazırlanması, futbolun, özellikle de hakemliğin gelişmesine büyük katkı sağlayacaktır. Bu tez çalışması, daha fazla sayıda hakemden maç verisi toplanılarak, hakemlerin fiziksel durumlarının klasmanlara, yaşlara ve sezona göre gösterdiği farklılık incelenerek daha ileri bir düzeye taşınabilir.

7. KAYNAKLAR

- AKIN, Y.K. 2008. Veri Madenciliğinde Kümeleme Algoritmaları ve Kümeleme Analizi. Doktora Tezi (yayınlanmamış), Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- ALBAYRAK, A.S. ve YILMAZ, Ş.K. 2009. Veri Madenciliği: Karar Ağacı Algoritmaları ve İMKB Verileri Üzerine Bir Uygulama. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 14 (1): 31–52.
- AMASYALI, M.F. ve ERSOY, O. 2008. Kümeleyici Topluluklarının Başarısını Etkileyen Faktörler. IEEE 16. Sinyal İşleme, İletişim ve Uygulamaları Kurultayı, 1–4, Aydın.
- AOBA, Y., YOSHIMURA, M., MIYAMORI, T. and SUZUKI, S. 2011. Assessment of soccer referee performance during games, Japanese Society of Science and Football, c 8, ss 8–15.
- ASAMI, T., TOGARI, H. and OHASHI, T. 1988. Analysis of movement patterns of referees during soccer matches, in: Reilly, T., Lees, A., Davids, K., Murphy, W.J. (Eds.), Science and Football 4. Routledge, pp. 341–345.
- ATBAŞ, A.C.G. 2008. Kümeleme Analizinde Küme Sayısının Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Ankara Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü.
- AYDIN, E. 2008. Futbol Ekonomisi: 2 Ülke Kıyaslaması (İngiltere ve Türkiye). Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- AYHAN, E., KARSLI, F. ve TUNÇ, E. 2003. Uzaktan Algılanmış Görüntülerde Sınıflandırma ve Analiz, Harita Dergisi, 130: 32-46.
- BANGSBO, J. 1992. Time and motion characteristics of competitive soccer. Science and Football, no. 6, 34-42.
- BARBERO-ALVAREZ, J., BOULLOSA, D.A., NAKAMURA, F.Y., ANDRIN, G. and CASTAGNA, C. 2012. Physical and physiological demands of field and assistant soccer referees during America's cup. J Strength Cond Res 26, 1383–1388.
- BEŞİKTAŞ, C. 2012. İnternet Trafikinin Gerçek Zamanlı Sınıflandırılması. Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- BİLGİÇ, H.T. 2011. GPS Donanımlı Telefonlara Yönelik Konumlandırma Sistemi. Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- CASTAGNA, C., ABT, G. and D'OTTAVIO, S. 2004. Activity profile of international-level soccer referees during competitive matches. *J Strength Cond Res* 18, 486–490.
- CASTAGNA, C. and D'OTTAVIO, S. 2001. Effect of maximal aerobic power on match performance in elite soccer referees. *J Strength Cond Res* 15, 420–425.
- CASTAGNA, C., ABT, G. and D'OTTAVIO, S. 2002a. Relation between Fitness Tests and Match Performance in Elite Italian Soccer Referees. *J. Strength Cond. Res.* 16 (2): 231–35.
- CASTAGNA, C., ABT, G. and D'OTTAVIO, S. 2002b. The relationship between selected blood lactate thresholds and match performance in elite soccer referees. *J. Strength Cond. Res.* 16(4):623–627.
- CASTAGNA, C. and ABT, G. 2003. Intermatch Variation of Match Activity in Elite Italian Soccer Referees. *Journal of Strength and Conditioning* 17 (2): 388–92.
- CATTERALL, C., REILLY, T., ATKINSON, G. and COLDWELLS, A. 1993. Analysis of the work rates and heart rates of association football referees. *Br J Sports Med* 27, 193–196.
- COSTA, E.C., VIEIRA, C.M., MOREIRA, A., UGRINOWITSCH, C., CASTAGNA, C. and AOKI, M.S. 2013. Monitoring external and internal loads of Brazilian soccer referees during official matches. *Journal of Sports Science and Medicine*, sayı 12, ss 559–564.
- ÇATALBAŞ, M.C. 2014. Temel Bileşenler Analizi ve Kanonik Korelasyon Analizi ile İmge Tanıma ve Sınıflandırma. Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ÇELİK, R.N. 1999. Ulaşımında GPS Kullanımları ve GPS Sisteminin Türkiye'deki Alt Yapısı. 2. Ulaşım ve Trafik Kongresi, 84–89, Ankara.
- ÇINAR, S. 2005. GPS İle Araç Takip Ve Yönlendirme Sistemi. Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- DA SILVA, A.I., FERNANDES, L.C. and FERNANDEZ, R. 2008. Energy expenditure and intensity of physical activity in soccer referees during match-play. *Journal of Sports Science and Medicine* 7, 327–334.
- DA SILVA, A.I., FERNANDES, L.C. and FERNANDEZ, R. 2011. Time motion analysis of football (soccer) referees during official matches in relation to the type of fluid consumed. *Braz J Med Biol Res*, Volume 44(8) 801-809.
- DEĞERLİ, O. 2012. Naive Bayes Yöntemi İle Blog İçeriklerinin Sınıflandırılması. Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü.

- DEMİRALAY, M. ve ÇAMURCU, A.Y. 2005. Cure, Agnes ve K-Means Algoritmalarındaki Kümeleme Yeteneklerinin Karşılaştırılması. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 4 (8): 1–18.
- DI SALVO, V., CARMONT, M.R. and MAFFULLI, N. 2011. Football Officials Activities during Matches: A Comparison of Activity of Referees and Linesmen in European, Premiership and Championship Matches. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal* 1 (3): 106–11.
- DİKİCİ, S.T. 2009. Çarşı Bir Başka Taraftarlık, Ankara: Dipnot Yayınları, 2. Baskı.
- DİNÇER, E. ve DURU, N. 2006. Gırtlak Kanseri Ameliyat Verilerinin K-Means Yöntemiyle Analizi. Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi 2 (2).
- DOĞAN, İ. 2002. Kümeleme Analizi ile Seleksiyon. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, sayı 26: 47–53.
- D’OTTAVIO, S. and CASTAGNA, C. 2001a. Analysis of match activities in elite soccer referees during actual match play. *J Strength Cond Res* 15, 167–171.
- D’OTTAVIO, S. and CASTAGNA, C. 2001b. Physiological Load Imposed on Elite Soccer Referees during Actual Match Play. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 41 (1): 27–32.
- EMEL, G.G. ve TAŞKIN, Ç. 2005. Veri Madenciliğinde Karar Ağaçları ve Bir Satış Analizi Uygulaması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 6 (2): 221–39.
- ENİSELER, N., KAYA, R., ÇOLAKOĞLU, M., ÖZCAN, F., ÖNAL, İ. ve MORBEL, Ö. 1999. Hakem ve yardımcı hakemlerin futbol müsabakası boyunca hareket şekillerinin karşılaştırmalı olarak analizi, *Beden Eğitimi Ve Spor Bilimleri Dergisi*, c 3, sayı 2, ss 34–41.
- FIFA. 2013. Futbol Oyun Kuralları.
- FIRAT, E. 2012. Öğrenci Harf Notlarının K-Means Kümeleme Algoritması ile Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Mühendisliği Programı Bitirme Ödevi.
- GIFFORD, C. 2006. Futbol Ansiklopedisi, Çeviri: Levent Türer, İzmir, Tudem Yayınları.
- GÖKALP, E. 1994. GPS Ölçme Süresini Kısaltma Amaçlı Yöntem Geliştirme. Doktora Tezi (yayınlanmamış), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- GÜLKESEN, K.H., KÖKSAL, İ.T., ÖZDEM, S. ve SAKA, O. 2008. Karar Ağacı Analizi ile Prostat Kanserinin Öngörülmesi. 5. Ulusal Tıp Bilişimi Kongresi, 68–74, Antalya.
- GÜNAY, M. ve ALKAN, A. 2009. EMG İşaretlerinin K-Ortalama Algoritması Kullanılarak Öbekleştirilmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 12 (2): 25–29.
- GÜRKAN, H., YARMAN, S. ve GÖNÜLEREN, A.N. 2006. Elektrokardiyogram (EKG) işaretlerinin temel tanım ve zarf fonksiyonları ile modellenmesi. İTÜ Dergisi D Mühendislik, 5 (2): 49-57.
- HANER, G. 2012. Matematik Tabanlı Kümeleme Yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- HAN, J. and KAMBER, M. 2006. Data Mining: Concepts and Techniques. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- HARLEY, R. A., TOZER, K. and DOUST, J. 2001. An analysis of movement patterns and physiological strain in relation to optimal positioning of association football referees, içinde Science and Football IV, Ed: W. Spinks, T. Reilly, ve A. Murphy, London: Routledge, ss 137–143.
- HELSEN, W. and BULTYNCK, J.B. 2004. Physical and perceptual-cognitive demands of top-class refereeing in association football. J Sports Sci 22, 179–189.
- İŞİK, M. ve ÇAMURCU, A.Y. 2010. K-Means ve Aşırı Küresel C-Means Algoritmaları İle Belge Madenciliği. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 22 (1): 1–18.
- KARAALİ, C. ve YILDIRIM, Ö. 1996. Global Konum Belirleme Sistemi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2 (2): 103–8.
- KAVZOĞLU, T. ve ÇÖLKESEN, İ. 2010. Karar Ağaçları İle Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılması: Kocaeli Örneği. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2 (1): 36–45.
- KAYA, H. ve KÖYMEN, K. 2008. Veri Madenciliği Kavramı ve Uygulama Alanları. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi.
- KILIÇ, B.S. 2011. Bayes Ağları Kullanarak Medikal Transtorasik Ekokardiyografi Verilerinin İşlenmesi ve Teşhis Yazılımı Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- KRUSTRUP, P. and BANGSBO, J. 2001. Physiological demands of top-class soccer refereeing in relation to physical capacity: effect of intense intermittent exercise training, Journal of Sports Sciences, 19:11, 881-891.

- KRUSTRUP, P., HELSEN, W., RANDERS, M.B., CHRISTENSEN, J.F., MACDONALD, C., REBELO, A.N. and BANGSBO, J. 2009. Activity profile and physical demands of football referees and assistant referees in international games. *J Sports Sci* 27, 1167–1176.
- MALLO, J., NAVARRO, E., ARANDA, J.M.G. and HELSEN, W.F. 2009. Activity profile of top-class association football referees in relation to fitness-test performance and match standard. *J Sports Sci* 27, 9–17.
- MALLO, J., NAVARRO, E., GARCIA-ARANDA, J.M., GILIS, B. and HELSEN, W. 2007. Activity profile of top-class association football referees in relation to performance in selected physical tests. *J Sports Sci* 25, 805–813.
- MALLO, J., VEIGA, S., LOPEZ DE SUBIJANA, C. and NAVARRO, E. 2010. Activity Profile of Top-Class Female Soccer Refereeing in Relation to the Position of the Ball. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia* 13 (1): 129–32.
- MÜNİROĞLU, S. 1999. Ankara bölgesi futbol hakemlerinin maç sırasındaki kalp atım hızı ile koşu mesafeleri arasındaki ilişkinin incelenmesi, *Hacettepe Spor Bilimleri Dergisi*, c 10, ss 25–32.
- OLIVEIRA M.C., SANTA C. H.G. and BARROS NETO T.L. 2008. Analysis of in-field displacement patterns and functional indexes of referees during the soccer match. *Fit Perf J.* 7(1):41-7.
- ORTA, L. 2002. Dünyada ve Türkiye’de Futbol Hakemliğinin Başlangıcı ve Gelişimi. *Spor Araştırmaları Dergisi* c.6, 16.
- ORTA, L. 2008. Futbol Oyun Kurallarının Evrimi. *Gazi Üniversitesi İletişim Fakültesi İletişim Kuram ve Araştırma Dergisi* Sayı 26.
- SAFAVIAN, S.R. and LANDGREBE, D. 1991. A Survey of Decision Tree Classifier Methodology. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 21 (3): 660–74.
- SARIKOÇ, F. 2012. Meme Kanseri Biyopsi Örneklerinde Östrojen Hormonu Alıcı Varlığının Zeki Yöntemlerle Tespiti. *Doktora Tezi (yayınlanmamış)*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- SATI, N.U. 2013. Veri Sınıflandırması İçin Matematiksel Optimizasyon Tabanlı Metotlar. *Doktora Tezi (yayınlanmamış)*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- SAZLI, M.H. 2007. EKG Sinyallerinin Korelasyon Analizi ile Bazı Kalp Aritmilerinin Belirlenmesi. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10 (1): 69-76.

- SEYREK, İ.H. ve ATA, H.A. 2010. Veri Zarflama Analizi ve Veri Madenciliği ile Mevduat Bankalarında Etkinlik Ölçümü. BDDK Bankacılık ve Finansal Piyasalar Dergisi.
- SOLMAZ, R., GÜNAY, M. ve ALKAN, A. 2014. Fonksiyonel Tiroit Hastalığı Tanısında Naive Bayes Sınıflandırıcının Kullanılması. Akademik Bilişim Konferansı, Mersin.
- TFF Merkez Hakem Kurulu. 2011. Hakem, Yardımcı Hakem, Dördüncü Hakem ve Gözlemci El Kitabı.
- ÜBEYLİ, E.D. 2006. EKG İşaretlerinin Farklı ve Birleşik Öznitelikler ile Analizi. Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, Bursa.
- WESTON, M., CASTAGNA, C., HELSEN, W. and IMPELLIZZERI, F. 2009. Relationship Among Field Test Measures and Physical Match Performance In Elite-Standard Soccer Referees. *Journal of Sports Sciences*, 27 (11), pp.1177-1184.
- WESTON, M., CASTAGNA, C., IMPELLIZZERI, F.M., RAMPININI, E. and BREIVIK, S. 2010. Ageing and physical match performance in English Premier League soccer referees. *J Sci Med Sport* 13, 96–100.
- WESTON, M., DRUST, B., ATKINSON, G. and GREGSON, W. 2011a. Variability of Soccer Referees' Match Performances. *International Journal of Sports Medicine*, 32 (3), pp.190-194.
- WESTON, M., GREGSON, W., CASTAGNA, C., BREIVIK, S., IMPELLIZZERI, F. and LOVELL, R.J. 2011b. Changes in a Top-Level Soccer Referee's Training, Match Activities, and Physiology over an 8-Year Period: A Case Study. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 6 (2): 281–86.
- WESTON, M., DRUST, B. and GREGSON, W. 2011c. Intensities of Exercise during Match-Play in FA Premier League Referees and Players. *Journal of Sports Sciences* 29 (5): 527–32.
- YILDIZ, K., ÇAMURCU, Y. ve DOĞAN, B. 2010. Veri Madenciliğinde Temel Bileşenler Analizi ve Negatifsiz Matris Çarpanlarına Ayırma Tekniklerinin Karşılaştırmalı Analizi. Akademik Bilişim Konferansı, Muğla.
- YILMAZ, Ş.K. ve PATIR, S. 2011. Kümeleme Analizi ve Pazarlamada Kullanımı. İnönü Üniversitesi Akademik Yaklaşımlar Dergisi 2 (1): 91–113.
- YUMAK, B. 2011. Elektronik Postaların Ayrıştırılmasında Naive Bayesian ve Bulanık Mantık Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü.

<http://www.cumhuriyet.com.tr/?hn=342012> Erişim Tarihi: 16/10/2012

[http://en.wikipedia.org/wiki/Tree_\(data_structure\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Tree_(data_structure)) Erişim Tarihi: 19/11/2013

http://en.wikipedia.org/wiki/Heart_rate Erişim Tarihi: 23/07/2014

ÖZGEÇMİŞ

Cengiz KÜRKCÜ 1980 yılında Almanya'da doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Eskişehir'de tamamladı. 1997 yılında girdiği Dumlupınar Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2001 yılında Elektrik Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. 2010 yılından beri T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı'nda Elektrik Elektronik Mühendisi olarak görev yapmaktadır.