

## **MİKRO ELEKTROMEKANİK SİSTEMLERİN SPORDA KULLANIMI**

## **USE OF MICRO ELECTROMECHANICAL SYSTEMS IN SPORTS**

Gönderilen Tarih: 19/11/2021  
Kabul Edilen Tarih: 15/03/2022

**Zeki AKYILDIZ**

Gazi Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor ABD, Doktora Öğrencisi

Orcid: 0000-0002-1743-5989

**Ceren SUVEREN ERDOĞAN**

Gazi Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Ankara, Türkiye

Orcid: 0000-0002-2698-1500

## Mikro Elektromekanik Sistemlerin Sporda Kullanımı

### ÖZ

Global pozisyon sistemi (GPS) ve atalet sensörleri hem müsabaka hem de antrenman sırasında sporcuların hareket modellerini değerlendirmek ve antrenman yüklerini görüntülemek için spor performansında yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir. Bu sistemden elde edilen veriler hem müsabakaların hem de bireysel antrenmanların taleplerini daha iyi anlamak için kullanılabilir. Müsabakaların artan yoğun temposuyla birlikte sporcuların şartlara daha da iyi hazırlanabilmesi için antrenman bilimindeki teknolojik gelişmeler de beraberinde devam etmektedir. Spor bilimi dünyasında kullanılan mikro elektromekanik sistemler (MEMS) de bu ihtiyacın bir ürünüdür. Sporcuların zorlu müsabaka şartlarına hazırlanabilmesi için antrenman ortamında ve müsabaka ortamındaki stresör faktörlerinin gözlemlenebilmesi oldukça önemlidir. MEMS kullanarak spor bilimciler ve antrenörler müsabakalarda ve antrenmanlar da oluşan aşırı antrenman yüklerini gözlemleyip, sporcularını daha objektif verilere dayanarak takip edebilmektedir. MEMS sadece aşırı antrenman yüklerinin değil aynı zamanda sporculardaki bireysel farklılıkları da gözlemleyip yetersiz antrenman yüklerinin takibini yapabilmemize de olanak tanımaktadır. MEMS aracılığıyla sporcuların doğru gözlemlenmesi sayesinde sakatlıklardan koruyarak optimum performans elde edebilmektedir. Sporcuların antrenmanlarını objektif verilere dönüştürmek için son yıllarda oldukça popüler olarak kullanılan MEMS spor bilimi açısından büyük öneme sahiptir. Bu derlemenin amacı; spor bilimciler ve antrenörler için MEMS ile ilgili teorideki bilgilerin araştırılıp uygulanabilir bilgiler halinde okuyucularla buluşturulmasıdır.

**Anahtar Kelimeler** GPS, atalet sensörleri, MEMS, antrenman yükü

## Use of Micro Electromechanical Systems in Sports

### ABSTRACT

The global positioning system (GPS) and inertial sensors are a widely used technology in sports performance to evaluate athletes' movement patterns and monitor training loads, both during competition and training. The data obtained from this system can be used to better understand the demands of both competitions and individual training. With the increasing speed of the competitions, technological developments in training science continue with it in order to better prepare the athletes for the conditions micro electromechanical systems, which is used in the world of sports science, is a product of this need. In order for athletes to be prepared for challenging competition conditions, it is very important to be able to observe the stressor factors in the training environment and the competition environment. By using MEMS, sports scientists and trainers can observe extreme training loads in competitions and trainings, and follow their athletes based on more objective data. MEMS allows us to monitor not only excessive training loads but also individual differences in athletes and follow up insufficient training loads. Thanks to the correct observation of the athletes through MEMS, it can achieve optimum performance by protecting them from injuries. MEMS, which has been widely used in recent years to transform the training of athletes into objective data, is of great importance in sports science. The aim of this review is; To research the information in theory about MEMS for sports scientists and coaches and to bring them together with the readers as applicable information.

**Key Words:** GPS, Inertial Sensors, MEMS, Training Load

## GİRİŞ

Modern spor dünyasındaki gelişmelerle birlikte, müsabakaların temposu ve müsabaka içindeki yoğunluk düzeyi de artmıştır<sup>1,2</sup>. Oyun temposundaki bu artış oyuncuların daha fazla performans sergilemelerine neden olmaktadır<sup>3</sup>. Antrenmanlarda sporcular üzerinde oluşan tüm stresörlere antrenmanda oluşturulan doz denilmektedir<sup>4</sup> ve oluşan bu dozlar sonucunda meydana gelen fizyolojik cevaplar (iç antrenman yükü), kinematik cevaplar (dış antrenman yükü) antrenmanların temel prensipleri arasındadır<sup>4-7</sup>. Modern spor dünyasındaki performans taleplerinin artması, spor bilimcileri ve antrenörleri doz-yanıt ilişkisini dengede tutmak için antrenman yükünü, objektif olarak kanıta dayalı karar verme yöntemiyle kontrol etmeye sevk etmiştir<sup>4,5</sup>. Büyük çaplı değişimlere yanıt olarak, performansı en üst düzeye çıkarmak ve sakatlığı en aza indirmek için aynı zamanda antrenman ve maç sırasında oyuncuya yüklenen stresi anlamak amacıyla oyuncuların antrenman yüklerinin genel olarak izlenmesine daha fazla odaklanılmıştır<sup>8,9</sup>.

Spor bilimciler, atletik performans koçları ve antrenörler sporcuları yeterli şekilde hazırlamak için aşırı yorgunluğa neden olabilecek ve sakatlık riskini artıracak uygun olmayan yüksek antrenman yüklerinden kaçınmaktadırlar<sup>4,7,10,11</sup>. Uygun doz-yanıt ilişkisini (hacim ve yoğunluk) belirlemek karmaşık bir görev olabilir<sup>12</sup> ancak GPS gibi modern teknolojilerin geliştirilmesi ile bu görev önemli ölçüde kolaylaştırılmıştır<sup>3-6,9,11,13</sup>. Bu ekipmanlar spor bilimcilerin ve antrenörlerin oyunculara ait müsabakalardan ve antrenmanlardan objektif veriler elde etmesine imkan tanımaktadır<sup>5,9,13</sup>. Giyilebilir teknoloji olarak belirtilen MEMS içerisinde ivme ölçerler ve kalp atış hızı izleme sensörleri gibi sensör verilerini de kullanıcılara sunmaktadır<sup>3,6</sup>. Bu derlemenin amacı ise literatürde MEMS'lerin genel kullanım bilgilerini, avantajlarını, dezavantajlarını, kullanım esnasında karşılaşılabilecek zorlukları ve kullanımdaki pratik yönlerini uygulayıcılara aktarmaktır.

### **MEMS İçerisindeki GPS Destekli Teknoloji**

Global pozisyon sistemi takip cihazlarının konum ve zaman bilgilerini sağlayan bir uydu navigasyon ağıdır. Sistem ilk olarak ABD Savunma Bakanlığı tarafından 1970'lerin başında askeri kullanım için geliştirilmiş, daha sonrasında (1980'lerde) sivilin kullanımına sunulmuştur<sup>6,14,15</sup>. Günümüzde GPS destekli cihazlar 50'ye yakın alanda kullanıcılara hizmet vermektedir. GPS teknolojisi genel olarak; havacılık, deniz, tarım, bilim, haritacılık, askeri, finansal servisler, telekomünikasyon, ağır vasıta yönlendirme, karayolu taşımacılığı, hayvan takibi, sanat eserlerinin güvenliğinin sağlanması, deniz ve kara avlanması, robotik alanlar, acil yardımlarda, hava durumu, nesli tükenmekte olan türlerin takibi, astronomi ve depremlerin tespitinde kullanılmaktadır<sup>16</sup>.

GPS ünitelerinin temel çalışma prensibi, iletilen bir sinyali almak için geçen süreye göre her bir uyduya olan mesafeyi hesaplamak ve bunun sonucu olarak kullanıcının konumu kesin olarak belirlemek şeklindedir<sup>9,17</sup>. GPS uyduları ve yeryüzündeki GPS sinyal alışverişini sağlayan sensörlerin saniye içerisinde kurdukları bu bağlantı miktarı hertz (Hz) birimiyle ölçülmektedir. GPS sensörleri için oldukça büyük öneme sahip olan bu Hz miktarı alınan verilerin kalitesini doğrudan etkilediği çalışmalarda belirtilmektedir<sup>5,18,19</sup>. GPS uyduları Dünya'nın yörüngesinde hareket ederek, sinyalin geçiş süresini belirlemek için GPS alıcılara atomik saatlerden kesin zaman bilgileri göndermektedir<sup>5,6,17</sup>.

Başlangıçta askeri amaçlar için geliştirilen bu sistem artık sporcu takibi ve yük miktarının belirlenmesi de dahil olmak üzere çok daha geniş bir uygulama alanına sahiptir<sup>7,8,10,11</sup>. MEMS içerisinde bulunan GPS destekli veriler artık her düzeyde bireysel ve takım sporlarında yaygın olarak kullanılmaktadır<sup>1,2,4</sup>. MEMS sporunun oyun formasının veya özel olarak tasarlanmış yeleğinin içine giyilebilen, genellikle üst sırtta bulunan küçük bir mikro sensör alıcısından oluşmaktadır<sup>3,4,6,12,15,20</sup>. Sporda mikroteknolojinin gelişmesi, üç eksenli ivme ölçerler, manyetometreler ve jiroskoplar gibi GPS cihazlarına diğer mikro atalet sensörlerinin entegrasyonuna yol açmıştır. Entegrasyonun sonrasında ise topluca MEMS olarak adlandırılmışlardır<sup>3,4,6,11,13</sup>. MEMS içerisinde bulunan GPS destekli veriler uydu bağlantısı olan bir teknolojidir ve MEMS içerisindeki diğer teknolojilerle kavram kargaşası yaşanmamalıdır. Triaksiyel ivme ölçerler GPS ünitelerine entegre çalışabilen, 3 farklı düzlemde (x, y ve z) hız değişikliklerini tespit etmemize yarayan ekipmanlardır. Jiroskoplar ve manyetometreler ise GPS ünitelerinin yönünün belirlenmesine yardımcı olmakta ve hızlanma yönü hakkında bilgi sağlanmaktadır<sup>4-6,12,15,21,22</sup>. Böylece, MEMS teknolojisi, spor bilimciler ve antrenörlere sporcu antrenman yükünü ve aktivite profilini değerlendirmek için kullanılacak çok çeşitli veriler sağlarlar<sup>4-6,9,11-13</sup>.

Sporda MEMS kullanımı, spor bilimciler ve antrenörler tarafından antrenman programlarını değerlendirmelerini ve araştırmacıların araştırma sorularını uygulamalı olarak daha iyi araştırmasını sağlamaktadır<sup>5</sup>. Sporda MEMS kullanımı üzerine yazılan ilk makale<sup>23</sup> 2001 yılında yayımlanmış ve MEMS sporcuların metabolik ölçümlerini araştırmak için kullanılmıştır<sup>5</sup>. James Malone ve ark. (2017)<sup>5</sup> MEMS kullanımıyla ilgili yaptıkları bir araştırmada 2001 yılından 2015 yılına kadar hakemli araştırma yayınlarının sayısının katlanarak arttığını bildirmektedir (Şekil 1)<sup>5</sup>.

Uydu sinyallerine bağlı teknolojilerin gelişimi, MEMS'lerin spor bilimciler ve antrenörlere çok çeşitli değişkenler hakkında son derece yararlı bilgiler vermesini sağlamaktadır<sup>4-6,12,15,21,22</sup>. Uydu sinyallerine bağımlı olan GPS değişkenlerinin doğruluğu ve güvenilirliği antrenmanın ya da müsabakanın yapıldığı alanlardan etkilenebilmektedir<sup>5,6</sup>. Sportif etkinliklerin yapıldığı alanların yüksek binaların etrafında olması, havanın bulutlu olması ya da kullanıcıların sinyalleri olumsuz etkileyebilecek elektronik aygıtları ve metal eşyalarını kullanım esnasında yanlarında bulundurmaları GPS uydu bağlantısı esnasında veri akışını olumsuz yönde etkileyebilmektedir<sup>24</sup>. Bu nedenle spor bilimcilerin ve antrenörlerin bu sistemleri kullanırken oluşabilecek aksaklıkları fark edebilmeleri açısından, bu bilgiden haberdar olmaları ve verilerin değerlendirilmesi aşamasında içinde buldukları çevresel şartları göz önünde bulundurmaları gerekmektedir<sup>5,6,12</sup>. Özellikle kapalı antrenman alanlarında antrenman yapılırken uydu sinyali alınamayabilir<sup>25</sup>. Bu tür durumlarda spor bilimciler ve antrenörlerin ivmeölçer bileşeni kullanılarak üretilen verilere erişmeleri mümkün olabilmektedir<sup>25</sup>.

MEMS'lerden elde edilen veriler spor bilimciler ve antrenörlerin antrenmanlarını planlarken daha doğru adımlarla yol haritası çizmelerini sağlayacağı düşünülmektedir ve bu cihazlardan elde edilen birçok yol gösterici parametre mevcuttur<sup>4-6,11-13,15,17,22,26</sup>. Yaygın olarak MEMS'lerden elde edilen veriler Tablo 1'de görülmektedir.

**Tablo.1.** Yaygın olarak GPS cihazlarından elde edilen veri örnekleri

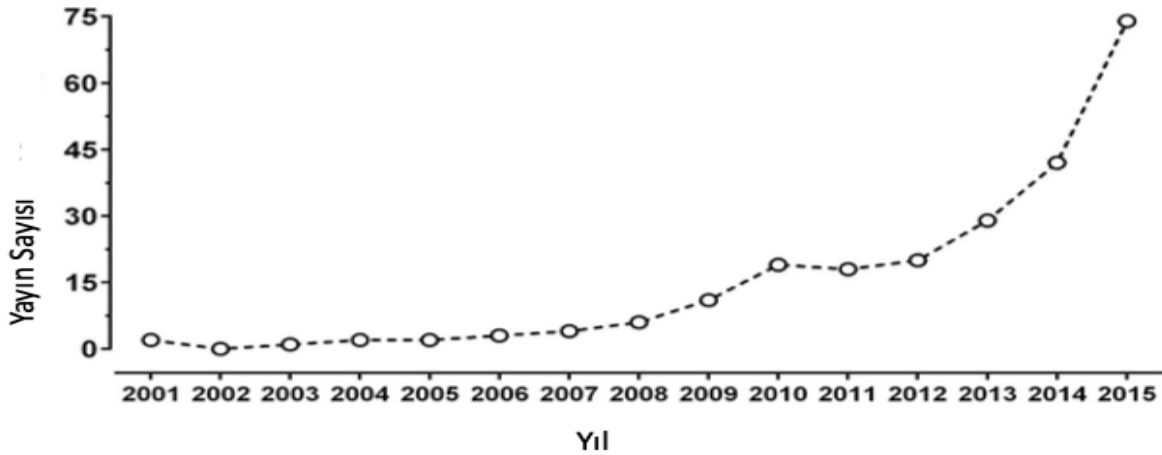
Değişken	Tanım	Ölçüm Birimleri	Referanslar
Toplam Kat Edilen Mesafe	Müsabakada ya da antrenmanda toplam kat edilen mesafe	Kilometre ya da metre	(4,6,9,12,13)
Yüksek Hızlarda Kat Edilen Mesafe	Hız eşiğinin üzerinde kat edilen toplam mesafe	Kilometre ya da metre Toplam Mesafenin yüzdesi	(4,6,9,12,13)
Çalışma Oranı	Toplam mesafenin zamana bölünmesi	Dakika başına metre(m.min <sup>-1</sup> )	(4,6,9,12,13)
İvmelenme	Hız Değişim Ölçümü (m.s <sup>-2</sup> )	İvme Sayısı	(4,6,9,12,13)
Yavaşlama	Hız Değişim Ölçümü (m.s <sup>-2</sup> )	Yavaşlama sayısı	(4,6,9,12,13)
Sprint	Belirli bir hız bölgesinin üzerindeki aktivitelerin sayısı ve süresi	Sprint sayısı ya da bölgede harcanan mesafe	(4,6,9,12,13)
Maksimum Hız	Sporcu tarafından elde edilen en yüksek koşu hızı	Kilometre/saat (km.h <sup>-1</sup> ) ya da metre/saniye(m.s. <sup>-1</sup> )	(4,6,9,12,13)
Çarpışma	Fiziksel temas	Yerçekimi kuvveti kullanılarak önceden tanımlanmış bölgelerde temas sayısı ve "g" kuvveti ölçümleri.	(4,6,9,12,13)
Metabolik Yük	Etkinliği tamamlamak için toplam enerji harcaması	Relatif kilogram başına kilojul(kJ.kg <sup>-1</sup> ) ya da absolüt (kJ)	(6,9,13)
Ortalama Metabolik Güç	Enerjinin saniyede harcanma hızı	Kilogram başına Watt(W.kg. <sup>-1</sup> )	(6,9,13)
Yüksek Metabolik Yük mesafesi	Önceden tanımlanmış bölgede ölçülen "zorlu çalışma" mesafesi (yüksek hızlı koşu, hızlanma ve yavaşlamaları içerir)	Metre	(6,9,13)
Body Load (GpSports)	İvme verilerinin toplam hacmi ve yoğunluğundan türetilmiş veriler	Arbitrary üniteler (AU)	(6,9,13)

Player Load (Catapult Sports)	İvme verilerinin toplam hacmi ve yoğunluğundan türetilmiş veriler	Arbitrary üniteler (AU)	(4,6,9,12,13)
Koşu simetrisi	3 yönden her birinde 100 Hz'de örneklenen ivme ölçer verilerini kullanarak adım dengesi, sol ve sağ ayaklar için her adım üzerindeki ortalama tepe etkisi olarak tanımlanır.	Sol ve sağ ayak vuruşları arasındaki fark (%)	(6,9,13)

Bu ekipmanlar dünyadaki birçok spor branşı tarafından geniş ölçüde kullanılmaktadır. Yoğun olarak açık alanlarda yapılan takım sporlarında kullanımları mevcut olmasına karşılık kapalı alanda yapılan takım sporlarında da kullanım gösterilmektedir.

MEMS'ler AFL, Rugby, Futbol, Kriket, Hokey, Netbal, Lakrose, Basketbol ve Amerikan futbolu gibi çeşitli branşlarda kullanılmaktadır. Bu ekipmanlar spor takımlarında hem antrenmanlarında hemde müsabakalarında düzenli olarak sakatlığı önlemek, sakatlık sonrası sahaya dönüşü sağlamak, fiziksel performansları takip etmek ve antrenmanlara çeşitli müdahalelere bulunmak için spor bilimciler, kuvvet kondisyon koçları ve sağlık sorumlusu ekip departmanları tarafından kullanılmaktadır.





Şekil 1. Literatürdeki makalelerde MEMS kullanımının yıllara göre artış grafiği<sup>5</sup>

### MEMS İçerisindeki Atalet Sensörleri

Sportif aktivitelerde kullanılan MEMS'ler kendi içerisinde atalet sensörlerine sahiptir<sup>6</sup>. Sporda yapılan araştırmaların çoğu, atalet sensörlerini göz ardı ederek MEMS içerisinde bulunan ve uydu sinyalleri ile toplanan verileri baz almaktadır<sup>3,14</sup>. Bu veriler toplam kat edilen mesafe ve yüksek hızlarda kat edilen mesafeleri sporculardaki dış antrenman yükü miktarını belirleyebilmek için kullanılmaktadırlar<sup>5,6,11,25</sup>. Atalet sensörleri (100 Hz) ise, GPS sinyallerinden elde edilen veriler (5-20 Hz) ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir frekansta örneklenir<sup>5,6,14,15</sup>. Atalet ölçüm birimleri (AÖB), uydu bağlantısı gerektirmediği için iç mekanlarda kullanılabilme avantajına sahiptirler<sup>6,14,15</sup>. GPS teknolojisinin mevcut sınırlamaları uydu bağlantısı sebebiyle, yalnızca açık alanda yapılan aktiviteleri izleyebilmesi ve direnç antrenmanlarıyla ilgili egzersizleri izleyememesi şeklindedir<sup>5,6,14,15</sup>. Ancak cihazlarında bulunan AÖB'lar aracılığıyla kaydedilen parametreler, GPS ünitelerinden elde edilen parametrelere göre daha az sayıda çalışma da incelemiştir<sup>4-6,13,21,25</sup>. Bu nedenle GPS sinyalleriyle alınan veriler sınırlı çalışma prensiplerine sahip olmasına rağmen atalet sensörleri üzerinde yapılan çalışmaların azlığı GPS verilerinin kullanımının daha yaygın olmasına sebep olmaktadır<sup>2,3,27,4-6,9,12,13,15,17</sup>.

Atalet sensörleri ile entegre bulunan jiroskoplar oyuncuların vücut konumlarını, yer küreye olan açılarını ve hızlanama esnasında oluşan ivmenin yönünün tespit edilmesi için kullanılmaktadır<sup>13</sup>. Spor bilimi dünyasındaki kapalı alanlarda ve açık alanlarda oynanan sporların çok yönlülüğü alınan verilerin yönlerinin ayrıştırılarak sporun gerektirdiği yönlerdeki hareket kalıplarının incelenerek daha özel analiz yapmaya spor bilimcileri sevk etmiştir. Bu duruma örnek olarak yatay eksek de oynanan futbolda oluşan hareket miktarlarının daha çok dikey de oynanan basketbola göre farklılık göstereceği aşikardır bu nedenle jiroskoplardan alınan yön tayinine göre farklı açılardaki oyun yapıları incelenerek branşa özgü analizler mümkün kılınmaktadır<sup>12,13,25,26</sup>.

İvmeölçerlerden türetilen antrenman yükü ölçüleri (sporcuların yorgunluğunun gözlemlendiği parametreler) farklı üreticiler arasında değişkenlik gösterebilmektedir ve en yaygın olanları PlayerLoad™ (Catapult Sports)<sup>4,5,22</sup> ve Body Load™(GPSports)<sup>4,5</sup> 'dur. Bu cihazların yaptığı ölçümlerden elde edilen vektör büyüklüğü ivmeölçer verileri

yani mekanik yükün ölçümü için 3 vektörün (x-, y- ve z-ekseni) her birinde ani hızlanma değişimine dayanan veriler, egzersiz yoğunluğunun hem iç hem de dış antrenman yükü ölçümlerindeki değişikliklere duyarlıdır. <sup>14,26</sup> AÖB'ler antrenman yüklerinin sonucu olarak ortaya çıkan akut <sup>18,28,29</sup> ve kronik <sup>30,31</sup> yorgunlukları belirleyerek, antrenmanlarda planlama yapılabilmesine olanak tanımaktadır <sup>4,5,11-13</sup>. Her iki ivme ölçerin yük ölçüsü, kabul edilebilir seviyeler (Coefficient of variation <5%) arasındadır ve birim içi güvenilirlik göstermiştir <sup>22,32</sup>. Bununla birlikte, ölçüt referanslı bir ivmeölçer ile karşılaştırıldığında mutlak hızlanma büyüklüğünü (m/s<sup>2</sup>) ölçerken dikkatli olunması gerekmektedir. Çünkü ölçümler esnasında verilerde minör değişimler olabileceği belirtilmiştir <sup>32</sup>.

### **MEMS'lerin Güvenilirlik ve Geçerliliği**

Her elektronik cihazda olduğu gibi MEMS, birçok farklı firma tarafından üretilmektedir. Bu firmaların ürettikleri cihazlar birbirinden farklı işlemciler, veri işleme algoritmalarına filtreleme yöntemlerine ve çeşitli örnekleme hızlarına sahip olmaları sebebiyle değişik özellikler göstermektedirler. Literatürde farklı ünitelerin karşılaştırıldığı çalışmalar mevcuttur. Toplam kat edilen mesafelerin gerçek mesafe ve GPS desteğiyle elde edilen verilerde % 4.8 sapma payının olduğu yapılan çalışmada bildirilmiştir <sup>19,33</sup>. 10 Hz ve 15 Hz GPS verilerini inceleyen bir diğer çalışmada da <sup>34</sup> 15 Hz MEMS'lerin GPS ölçüm hata miktarlarının daha düşük olduğu rapor edilmiştir. MEMS'lerdeki GPS bağlantılarında ölçümlerin sapma payının oldukça yüksek olduğu hareket kalıpları düz koşullara göre ani yön değiştirmelerin dar alanlarda yapıldığı hareket kalıplarıdır <sup>19,35</sup>. GPS bağlantılarındaki ölçümlerin hata payını ani yön değiştirmelerin ve kısa mesafelerde dönüşlerin olduğu hareket kalıplarında inceleyen çalışmada <sup>36</sup> 10 Hz MEMS ölçüm hatalarının kriter ölçüye oranla  $0.31 \pm 0.55$  metre olduğunu rapor etmişlerdir. Bu çalışmanın aksi yönünde ani yön değiştirmelerin kısa mesafeler içerisinde yapıldığı bir diğer çalışmada ise <sup>37</sup> 10 Hz MEMS'lerin geçerli ve güvenilir veriler sunduğu rapor edilmiştir. Bu çalışmadaki durum okuyuculara sadece GPS veri frekansının değil kullanılan yazılımsal düzenlemelerin de veri kalitesi ve ölçüm hata miktarlarını etkileyebileceğini göstermektedir. Ölçüm hata miktarlarının 10 Hz ve 15 Hz MEMS'lerin karşılaştırıldığı çalışmada <sup>38</sup> 15 Hz ünitelerin 10 Hz MEMS'lere göre daha doğru ve hata miktarının düşük olduğu veriler sunduğu rapor edilmiştir.

MEMS'lerdeki markalar/ modeller arasındaki bu veri işleme farklılıkları nedeniyle her bir marka / model için ölçümlerin geçerliliğinin ve güvenilirliğinin belirlenmesi esas unsurlardan biridir <sup>5,11,19</sup>. Çünkü kullanıcıların bir çoğu MEMS tarafından toplanılan ve raporlanan verilerin marka ve modeller arasındaki veri işleme farklılıklarından nasıl etkilenebileceği hakkında fikir sahibi olmayabilir <sup>4-6,19</sup>. MEMS sporcuların müsabaka ve antrenmanlardaki verilerini gerçek zamanlı ve aynı zamanda aktivitelerin bitiminde analiz etmemize olanak sağlamaktadır <sup>39-42</sup>. Fakat MEMS yazılıma gönderdiği ya da aktardığı verileri işleyen ürün yazımlarındaki verilerde kayıplar ve hata oranları ortaya çıkabilmektedir <sup>39-42</sup>. Spor bilimciler ve antrenörler MEMS'lerin geçerliliği ve güvenilirliğinin sorgulanmasıyla birlikte yazılımsal doğrulukları da daha doğru veriler elde etmek için sorgulanması gerektiği düşünülmektedir <sup>39,41,42</sup>.

Sporcu takip teknolojisi mikroişlemciler, veri işleme ve yazılımlardaki yeniliklere paralel olarak sürekli gelişmektedir <sup>4,5,13</sup>. Her cihaz ve güncelleme MEMS üreten firmalar tarafından gerçekleştirildiği için araştırmacılar bağımsız geçerlilik ve güvenilirlik çalışmaları yürütmektedirler <sup>4-6</sup>. MEMS'lerin geçerliliğini ve güvenilirliğini araştıran çalışmaları yayınlamak için harcanan efor fazla ve yayınlanması için gereken süre



uzun olabilmektedir. Bu nedenle genellikle sportif alanlarda bu cihazların kullanımı, MEMS ölçüm hassasiyetleri hakkında firmalardan bağımsız bilgiler sunan geçerlilik güvenilirlik çalışmaları yapılmadan başlamaktadır<sup>6</sup>.

MEMS'lerin ölçüm geçerliliği ve güvenilirliğinin yapılan son çalışmalarda iyileştiği görülmektedir<sup>19</sup>. Ölçüm hassasiyetinin artan örnekleme hızı ile iyileştiği ve düşük hızlarda daha az yön değişikliği ile tamamlanan aktivitelerde daha iyi olduğu, Johnson ve ark. 2014 yılında yapmış oldukları çalışmalarında görülmektedir<sup>38</sup>. Yine bu çalışmada, 10-Hz MEMS 15-Hz MEMS'ten üstün olduğu belirtilmektedir. 10 Hz MEMS ham yani "gerçek" verileri direkt olarak iletirken, 15 Hz MEMS, örnekleme olmayan enterpolasyonlu yani referans veriler sayesinde elde edilen verileri iletmektedir. Johnson ve ark. (2014)<sup>38</sup> çalışmalarına göre ham verilerin, enterpolasyonlu verilere yani referans alınarak oluşturulan verilere göre daha tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Tutarsızlıkların giderilebilmesi ve daha radikal sonuçlara ulaşılabilmesi amacıyla yüksek örnekleme frekansına sahip MEMS kullanarak daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir. Ancak kullanılan işlemcilerin ve cihazların gövde üzerlerindeki konumlarının da MEMS'lerden elde edilen verileri etkileyebileceği, tek başına örnekleme hızının MEMS verilerinin kalitesini artırmayacağı unutulmamalıdır<sup>4,6,15,38</sup>.

MEMS, sporcuların hızlarını ve kat ettikleri mesafeyi farklı yöntemler (Doppler-kayıdırma veya konumsal farklılaşma) kullanılarak hesaplayabilmektedir.<sup>5,6</sup> Ancak konum bilgilerinin doğruluğu, birden fazla MEMS ile GPS uydularının arasındaki mesafeyi belirlemek için tek başına yeterli değildir<sup>6,9</sup>. Aynı zamanda, aynı marka ve modeldeki MEMS birbirinden farklı sonuçlar verebilmektedir<sup>6,9,18,32,43</sup>. Buna göre, hız ve mesafe ölçümleri bağımsız olarak ve kombinasyon halinde geçerlilik ve güvenilirlik gerektirir (örneğin, belirli hızlarda kat edilen mesafe)<sup>3,6,9</sup>. Bazı çalışmalar, önce cihazlar ve daha sonra da sporcular arasındaki mesafeyi belirlemek için enlem ve boylam ölçülerini kullanmışlardır<sup>3,6,9,18,19,22,26,38,44</sup>. Enlem ve boylamların kullanılabilmesi de konum ölçülerinin özel olarak doğrulanmasını gerektirmektedir<sup>33,45</sup>. Bu nedenle araştırmacılar MEMS ile ilgili çalışmalarında doğru sonuca ulaşabilmek için, kullanacak oldukları cihazların geçerlilik ve güvenilirliğine mutlaka erişim sağlamalıdır<sup>4-6,19</sup>. Bu çalışmaların pratikte incelenen aynı metrikleri (yani hızlar, mesafe vb.) raporlaması da önemlidir<sup>4-6,19</sup>.

Farklı MEMS modellerinde üniteler arasındaki güvenilirlik değerleri için yüksek hata oranları bildirilmiştir<sup>5,18,19,44,46-48</sup>. Bir sporcu tarafından aynı periyot içerisinde yarışma, antrenman vb) farklı cihazlar giyildiğinde, bu durum pratikte verilerin anlamlı yorumlanmasını zorlaştırabildiği gözlemlenmiştir<sup>5</sup>. Spor bilimci ve antrenörlerin uzun süreli çalışmalar yaparken doğru verilere ulaşabilmesi için, sporcuların izlendiği süre boyunca kullanılan cihazların sporcuya özel olması yani sporcuların her defasında aynı cihazı kullanmaları önerilmektedir<sup>4,5,11,43</sup>. Bunun nedeni henüz test sırasında iki veya daha fazla cihaz arasındaki veri kaybının kapsamını araştıran yeterli çalışma bulunmadığı düşünülmektedir<sup>5,44</sup>.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

MEMS, spor bilimci ve antrenörlere hem müsabaka hem de antrenman sırasında oyuncu hareketleri hakkında değerli bilgiler sağlamaktadır. Bu bilgiler, sporcuları rekabete uygun olarak hazırlayan antrenman programlarını etkin şekilde tasarlamada

oldukça pratiktir. MEMS'lerden elde edilecek verileri en doğru şekilde kullanmanın anahtarı, spor bilimciler ve antrenörler tarafından kullanılan spor ve antrenman drillerinin fizyolojik ve kinematik ihtiyaçlarının tam olarak anlaşılmasıdır. Müsabakalarda ve antrenmanlarda MEMS'ler sayesinde ölçülen kat edilen mesafeler, farklı hızlarda kat edilen mesafeler, pozitif-negatif ivmelenme miktarları ve ivme ölçerden türetilen Body Load, (GpSports), Player Load (Catapult Sports) ve koşu simetrisi gibi parametreler oyuncuların maç gününe göre hafta içerisinde ne kadar antrenman yapılması konusunda yol gösterici olabilmektedir. MEMS'ler sayesinde bu ihtiyaçlar tam olarak anlaşıldığında MEMS antrenman hacimlerini ve yoğunluklarını etkili bir şekilde planlamayı kolaylaştırmanın yanı sıra, tamamlayıcı kondisyon temelli drillerin farklı şekillerde tasarlanmalarına imkân sağlamaktadır. MEMS geleceği, ümit verici görünse de antrenman yükünün izlenmesi için daha geniş bir yaklaşımın benimsenmesi gerekmektedir. Yalnız uydu verilerine dayanan bilgilere göre daha hassas, daha geçerli ve güvenilir bilgiler veren aynı zamanda kapalı alanda da çalışabilen MEMS içerisinde yer alan AÖB'ler sayesinde GPS teknolojisinin sınırlılığının aşılabileceği düşünülmektedir. AÖB'ler antrenman yükü izlemenin geleceği hakkında fikir verebilir ancak güvenilir ve geçerli verilerin üretilmesi, mevcut metrikleri hassaslaştırmayı ve çoğaltmayı gerektirmektedir. MEMS içerisinde bulunan GPS teknolojisinden gelen verilerin hata payının azaltılması ve kapalı alanda ölçüm yapılamama durumunun aşılabilmesi, spor alanında MEMS hakkında çok daha fazla, geniş kapsamlı ve nitelikli çalışma yapılmasıyla mümkün olabilecektir.

## KAYNAKLAR

1. Barnes C., Archer DT., Hogg B., Bush M., Bradley, P. (2014). The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *International Journal of Sports Medicine*. 35(13), 1095-1100.
2. Zamboni-Ferraresi F., García-Cebrián LI., Lera-López F., Iráizoz, B. (2017). Performance evaluation in the UEFA Champions League. *Journal of Sports Economics*. 18(5), 448-470.
3. Lutz J., Memmert D., Raabe D., Dornberger R., Donath, L. (2020). Wearables for integrative performance and tactic analyses: opportunities, challenges, and future directions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17(1), 59.
4. Bourdon PC., Cardinale M., Murray A., Gatin P., Kellmann M., Varley MC., Cable NT. (2017). Monitoring athlete training loads: consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 12(2), -2161-2170.
5. Malone JJ., Lovell R., Varley MC., Coutts AJ. (2017). Unpacking the black box: applications and considerations for using GPS devices in sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 12(2), 2-18.
6. Cummins C., Orr R., O'Connor H., West C. (2013). Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports Medicine*. 43(10), 1025-1042.
7. Gabbett TJ., Hulin BT., Blanch P., Whiteley R. (2016). High training workloads alone do not cause sports injuries: how you get there is the real issue. *British Journal of Sports Medicine*. 50(8), 444-445.

8. Gabbett TJ. (2010). The development and application of an injury prediction model for noncontact, soft-tissue injuries in elite collision sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 24(10), 2593-2603.
9. Hennessy L., Jeffreys I. (2018). The current use of GPS, its potential, and limitations in soccer. *Strength & Conditioning Journal*. 40(3), 83-94.
10. Drew MK., Purdam C. (2016). Time to bin the term 'overuse'injury: is 'training load error'a more accurate term?. *British Journal of Sports Medicine*. 50(22), 1423-1424.
11. Akyıldız Z. (2019). Antrenman yükü. *Celal Bayar Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*. 14(2),152-75.
12. Wing C. (2019). Designing pre-season training programs using global positioning systems: a systematic approach. *Strength & Conditioning Journal*. 41(1), 27-38.
13. Chambers R., Gabbett TJ., Cole MH., Beard A. (2015). The use of wearable microsensors to quantify sport-specific movements. *Sports Medicine*. 45(7), 1065-1081.
14. Buchheit M., Gray A., Morin JB. (2015). Assessing stride variables and vertical stiffness with GPS-embedded accelerometers: preliminary insights for the monitoring of neuromuscular fatigue on the field. *Journal of Sports Science & Medicine*. 14(4), 698-701.
15. Aughey RJ. (2011). Applications of GPS technologies to field sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 6(3), 295-310.
16. Bajaj R., Ranaweera SL., Agrawal DP. (2002). GPS: location-tracking technology. *Computer*. 35(4), 92-94.
17. Larsson P. (2003). Global positioning system and sport-specific testing. *Sports Medicine*. 33(15), 1093-1101.
18. Portas MD., Harley JA., Barnes CA., Rush CJ. (2010). The validity and reliability of 1-Hz and 5-Hz global positioning systems for linear, multidirectional, and soccer-specific activities. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 5(4), 448-458.
19. Scott MT., Scott TJ., Kelly VG. (2016). The validity and reliability of global positioning systems in team sport: a brief review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 30(5), 1470-1490.
20. Conceição MS., Libardi CA., Chacon-Mikahil MPT., Nogueira FRD., Vechin FC., Bonganha V., Bernerdes CF., Madruga VA., Cavaglieri CR. (2014). Inflammatory responses after different velocities of eccentric exercise. *Isokinetics and Exercise Science*. 22(1), 77-84.
21. Cormack SJ., Smith RL., Mooney MM., Young WB., O'Brien BJ. (2014). Accelerometer load as a measure of activity profile in different standards of netball match play. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 9(2), 283-291.
22. Boyd LJ., Ball K., Aughey RJ. (2011). The reliability of MinimaxX accelerometers for measuring physical activity in Australian football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 6(3), 311-321.
23. Larsson P., Henriksson-Larsén K. (2001). The use of dGPS and simultaneous metabolic measurements during orienteering. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 33(11), 1919-1924.
24. Rico-González M., Los Arcos A., Rojas-Valverde D., Clemente FM., Pino-Ortega J. (2020). A survey to assess the quality of the data obtained by radio-frequency technologies and microelectromechanical systems to measure external workload and collective behavior variables in team sports. *Sensors*. 20(8), 2271.

25. Roe G., Halkier M., Beggs C., Till K., Jones B. (2016). The use of accelerometers to quantify collisions and running demands of rugby union match-play. *International Journal of Performance Analysis in Sport.* 16(2), 590-601.
26. Barrett S., Midgley A., Lovell R. (2014). PlayerLoad™: reliability, convergent validity, and influence of unit position during treadmill running. *International Journal of Sports Physiology and Performance.* 9(6), 945-952.
27. Russell M., Sparkes W., Northeast J., Cook CJ., Love TD., Bracken RM., Kilduff LP. (2016). Changes in acceleration and deceleration capacity throughout professional soccer match-play. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 30(10), 2839-2844.
28. Barrett S., Midgley A., Reeves M., Joel T., Franklin E., Heyworth R., Lovell R. (2016). The within-match patterns of locomotor efficiency during professional soccer match play: implications for injury risk? *Journal of Science and Medicine in Sport.* 19(10), 810-815.
29. Barrett S., Midgley AW., Towson C., Garrett A., Portas M., Lovell R. (2016). Within-match PlayerLoad™ patterns during a simulated soccer match: potential implications for unit positioning and fatigue management. *International Journal of Sports Physiology and Performance.* 11(1), 135-140.
30. Gallo TF., Cormack SJ., Gabbett TJ., Lorenzen CH. (2016). Pre-training perceived wellness impacts training output in Australian football players. *Journal of Sports Sciences.* 34(15), 1445-1451.
31. Cormack SJ., Mooney MG., Morgan W., McGuigan MR. (2013). Influence of neuromuscular fatigue on accelerometer load in elite Australian football players. *International Journal of Sports Physiology and Performance.* 8(4), 373-378.
32. Kelly SJ., Murphy AJ., Watsford ML., Austin D., Rennie M. (2015). Reliability and validity of sports accelerometers during static and dynamic testing. *International Journal of Sports Physiology and Performance.* 10(1), 106-111.
33. Aguiar M., Gonçalves B., Botelho G., Lemmink K., Sampaio J. (2015). Footballers' movement behaviour during 2-, 3-, 4-and 5-a-side small-sided games. *Journal of Sports Sciences.* 33(12), 1259-1266.
34. Akyıldız Z., Yıldız M., Clemente FM. (2020). The reliability and accuracy of Polar Team Pro GPS units. *Journal of Sports Engineering and Technology.* 1754337120976660.
35. Padulo J., Iuliano E., Brisola G., Iacono AD., Zagatto AM., Lupo C., Cular D. (2019). Validity and reliability of a standalone low-end 50-Hz GNSS receiver during running. *Biology of Sport.* 36(1), 75-80.
36. Beato M., Bartolini D., Ghia G., Zamparo P. (2016). Accuracy of a 10 Hz GPS unit in measuring shuttle velocity performed at different speeds and distances (5–20 M). *Journal of Human Kinetics.* 54(1), 15-22.
37. Nikolaidis PT., Clemente FM., Van der Linden CM., Rosemann T., Knechtle B. (2018). Validity and reliability of 10-Hz global positioning system to assess in-line movement and change of direction. *Frontiers in Physiology.* 9, 228.
38. Johnston RJ., Watsford ML., Kelly SJ., Pine MJ., Spurrs RW. (2014). Validity and interunit reliability of 10 Hz and 15 Hz GPS units for assessing athlete movement demands. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 28(6), 1649-1655.
39. Barrett S. (2017). Monitoring elite soccer players' external loads using real-time data. *International Journal of Sports Physiology and Performance.* 12(10), 1285-1287.

40. Buchheit M., Simpson, BM. (2017). Player-tracking technology: half-full or half-empty glass. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 12(Suppl 2), 2-35.
41. Weaving D., Whitehead S., Till K., Jones B. (2017). Validity of real-time data generated by a wearable microtechnology device. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 31(10), 2876-2879.
42. Sağiroğlu I., Akyıldız Z., Öncen S., Bozdemir M., Çetin, O. (2020). Investigation of real time and post-match data relationships of wearable GPS systems. *African Educational Research Journal*. 8, 442-448.
43. Jennings D., Cormack S., Coutts AJ., Boyd LJ., Aughey, RJ. (2010). Variability of GPS units for measuring distance in team sport movements. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 5(4), 565-569.
44. Jennings D., Cormack S., Coutts AJ., Boyd L., Aughey RJ. (2010). The validity and reliability of GPS units for measuring distance in team sport specific running patterns. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 5(3), 328-341.
45. Gonçalves BV., Figueira BE., Maças V., Sampaio J. (2014). Effect of player position on movement behaviour, physical and physiological performances during an 11-a-side football game. *Journal of Sports Sciences*. 32(2), 191-199.
46. Petersen C., Pyne D., Portus M., Dawson B. (2009). Validity and reliability of GPS units to monitor cricket-specific movement patterns. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 4(3), 381-393.
47. Waldron M., Worsfold P., Twist C., Lamb K. (2011). Concurrent validity and test-retest reliability of a global positioning system (GPS) and timing gates to assess sprint performance variables. *Journal of Sports Sciences*. 29(15), 1613-1619.
48. Coutts AJ., Duffield R. (2010). Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 13(1), 133-135.