

Bölüm 15

SERBEST YÜZME PERFORMANSINDA AKIŞKAN MEKANİK PARAMETRELERİ

**Benil KISTAK ALTAN¹
Çiğdem BULGAN ERCİN²**

GİRİŞ

Yüzme; kişinin suyun içerisinde yaptığı kulaç hareketleri ve ayak vuruşları ile belirli bir mesafeyi en kısa sürede tamamlamayı hedeflediği bir spor dalıdır (Yfanti & ark., 2014; Mousavi & ark., 2022). Başka bir deyişle yüzme, sıvı içerisinde sporcunun belirli mesafeleri kelebek, sırtüstü, kurbağalama ve serbest stilleri ile en kısa zamanda kat edebilme yeteneği olarak tanımlanır (Hannula, 2001). Yüzme, suyun içinde batmadan durmak veya suyun yüzeyinde hareket etmeyi ve tek yönde ilerlemeyi sağlayan hareketlerin bütünüdür (McGill, 2016). Yüzmeyi diğer su sporlarından ayıran özellik, kişinin yatay pozisyonda uyguladığı hareketler sonucunda enerji tüketmesidir (Bozdoğan & Özüak, 2010). Bir yüzücü; suyun kaldırma kuvvetini anlayarak, suyun yüzeyinde eş zamanlı kolları ve bacakları ile simetrik hareketler uygulayarak kat edilmesi gereken mesafeyi en kısa sürede tamamlamayı hedefler (Hannula & Thornton, 2012; Young, 2010). Her bir yüzücü kendisine ait kulvarda kelebek, sırtüstü, kurbağalama ve serbest stillerinden birini veya dördünü içeren karışık yüzme stilini kendi tekniğiyle gerçekleştirir. Bu spor dalında stillere göre yarış mesafeleri değişkenlik gösterir. Yüzme, bireysel ve takım yarışmalarını içeren spor dallarından biridir (Magalhaes & ark., 2015; Wang & ark., 2019).

Serbest yüzme stili, kolların ve bacakların hareketleri ile baş ve nefes alma tekniklerine bağlı olarak stiller arasında en hızlı olan yüzme stildir. Bu stilde, ardışık kol hareketi ile yatayda ayak vuruşları ile ileriye doğru mesafe kat etmek ana hedeftir (Bozdoğan, 2003; Yanai & Wilson, 2008; Hagem & ark., 2013). Bu hedefi gerçekleştirebilmek için yüzücünün uygun baş pozisyonunda iken düz bir

¹ Öğr. Gör., Haliç Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, benilkistak@halic.edu.tr,
ORCID iD: 0000-0002-5868-6856

² Doç. Dr., Sağlık Bilimleri Üniversitesi Hamidiye Yaşam Bilimleri Fakültesi, Egzersiz ve Spor Bilimleri
AD, cigdembulgan@gmail.com, ORCID iD: 0000-0003-4357-5333

sırt ve kalça ile küçük ayak vuruşları yapması gerekir (Bíró & ark., 2015). Bir kulaç devrinde altı ayak vuruşu küçük yaş grubu yüzücülerine öğretilen model olarak benimsenmiştir (Millet & ark., 2002). Bu stilde kulaç ve ayak vuruş hareketleri iki bölümden oluşur. Kulaç hareketleri aktif ve pasif; ayak vuruş hareketleri itici ve aşağıya vuruş olmak üzere iki bölümde incelenir. Aktif bölüm sırasıyla suya giriş ve yakalama, çekme ve itme olmak üzere üç fazdan oluşur. Bu bölüm kulacın tamamen suyun içerisinde kaldığı süre boyunca geçerlidir. Pasif bölüm ise toparlanma olarak da bilinir ve bu bölümde kulaç suyun tamamen dışındadır (Chollet & ark., 2000; Lee & ark., 2011). Giriş ve yakalama evresinde yüzücünün eli suya paralel olarak ilerde iken parmaklar 45 dereceye kadar önce dışarıya sonra içeriye döndürülür. Bu hareket sırasında dirseğin bükülmesi ile avuç içinin dışarıya bakmasına izin verilir. Çekme evresinde parmak uçları suyun zeminine (aşağı doğru) bakması ile ön kolun suyun içerisinde hareket etmesine yardımcı olur. Suyun içerisindeki dirsek eklemi bu harekette 90 dereceye kadar bükülebilir, fakat bu eklem açısı yüzücülere göre farklılık gösterebilmektedir. Omuz ve dirsek eklemi fleksiyonla bu açıyı genişletip suda ilerlemeyi devam ettirir. İtme evresinde kol tamamen bacağıın yanında gelir ve çekme hareketi itme hareketine dönüşür. Elin tamamı suyun dışına çıkması ile pasif kısım başlar. Pasif bölümde el, el bileği ve dirsek ileriye doğru suyun dışında yaptığı hareket ile omuz kaslarından da destek alarak elin en ileriden suyun içine girmesi amaçlanır (Bíró & ark., 2015; Thomas, 2015). Serbest stil yüzmede kulaç hareketlerinde bu döngü bir kulacın aktif ve pasif kısmı tamamlaması veya bir kulacın çekme evresi başlangıcında iken diğer kolun çekme evresini tamamlaması ile sağlanır (Millet & ark., 2002; Zamparo & ark., 2009). Ayak vuruş hareketinde ise itici faz alt ekstremitenin suya batmış halidir. Aşağı vuruş fazı dizin bükülmüş kamçı hareketinin uygulandığı süreçtir. Serbest stil yüzerken kulaç hareketinin itiş evresinin sonunda çok uzun sürmeyecek şekilde kolun olmadığı taraftan başın yana çevrilmesi ile nefes alınır. Yüzerken nefes alma tekniğine bağlı olarak yatay düzlemde sabit kalmayıp uzanma ekseninde yaklaşık 30 ile 40 derece arasında vücut rotasyonu gerçekleştirebilir (Bíró & ark., 2015; Thomas, 2015).

Mekanik, fizik biliminin kuvvetlerin etkisindeki durgun ve hareketli cisimler ile ilgilenen en eski dalıdır. Mekanğin hareketsiz cisimler ile ilgili dalı statik, hareketli cisimler ile ilgili dalı ise dinamik olarak adlandırılır. Akışkan mekaniği alt dalı ise; akışkanların, durgun haldeki (akışkan statik) ve hareket halindeki (akışkan dinamik) davranışları ve yine akışkanların diğer akışkanlar ve katılar ile oluşturdukları sınırlardaki etkileşimleri ile ilgilenen bilim dalı olarak tanımlanır. Akışkanlar mekaniği aynı zamanda, akışkanın durgun hali hareket hızının sıfır

olduğu özel bir durum olarak değerlendirilip akışkanlar dinamiği olarak da adlandırılmaktadır. Sıvı ve gaz halindeki maddeler akışkan olarak nitelendirilir. Katı ve sıvı arasındaki fark maddelerin şeklini değiştirmek üzere uygulanan kayma gerilmesine karşı gösterdikleri direnç ile anlaşılır (White, 2019; Çengel & Cimbala, 2020). Spor bilimlerinde örneğin cirit atma hava hidrodinamik, su sporları sıvı hidrodinamik konusu ile ilişkilidir. Sıvı hidrodinamik ile ilgili olan akışkanlar mekaniği su sporlarından kano, tekne, yüzme, kayak gibi branşlarda kullanılır. Akışkanlar mekaniğinde aslında spesifik olarak sıvı akışkanlığından söz edilmektedir.

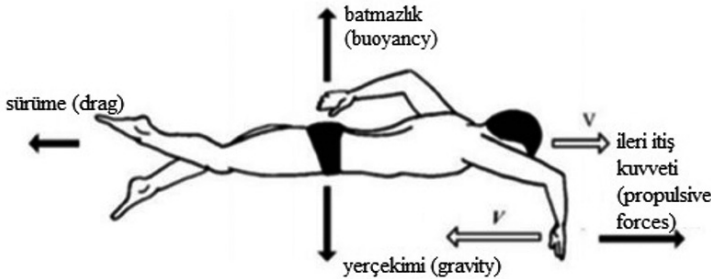
YÜZMEDE AKIŞKANLIK

Yüzme biyomekaniği, yüzücülerin suyu kullanabilme yeteneği ile ilgilidir ve bu kavramı anlayabilmek ve aktarabilmek için akışkanlar mekaniğinde incelenen yoğunluk ve yukarı itici kuvvet kavramlarını bilmek gerekir (McMaster & Troup, 2001; Naemi & ark., 2010). Bir cismin bir sıvı üstünde durma kabiliyeti o cismin yapıldığı maddenin yoğunluğu ile içine konulduğu sıvının yoğunluğuna bağlıdır. Suyun yoğunluğundan daha az bir yoğunluğa sahip bütün cisimler su üstünde durur ve onun yoğunluğundan daha fazla yoğunluğu olan cisimler suya batar (Çengel & Cimbala, 2020). Kaldırma kuvveti, Arşimet prensibi ile açıklanır. Arşimet prensibi; sıvının içerisinde bulunan katı bir cismin, taşıdığı sıvının ağırlığına eşit olan batmazlık kuvveti ile yukarıya itildiğini açıklar. Ünlü Antik Yunan bilim insanı Arşimet, bu prensibi altın bir taç ve altın bir külçe ile denemiştir. İki maddenin taşıdıkları su miktarının aynı ve tacın saf altın olmadığını anlamıştır. Suyun kaldırma kuvvetini ise yoğunluk farklılıklarından meydana gelen itme kuvvetinin etkisiyle cismin yüzdüğünü fark etmesiyle bulmuştur (Learning, 2021). Bir sıvının içine konan bir nesne, sıvının yukarı doğru itici bir kuvvetine maruz kalır. Bir nesne sıvının üstünde yüzdüğü zaman bu yukarı itici kuvvet yerçekiminin aşağı doğru etki yapan kuvveti ile dengelenmiş olur. Suyun itme kuvveti, kişinin ters yönde ağırlığıyla ilişkilidir. Suyun üstünde yatay pozisyonda iyi durabilen kişilerin tüm vücutları boyunca eşit yoğunlukları vardır (Bozdoğan, 2003; White, 2019). Kişinin su içindeki hareketi itici kuvvetin büyüklüğüne ve yönüne bağlıdır. Su içindeki hareketlerin çoğu, uygulanan her kuvvet için eşit ve ters yönde bir kuvvet (reaksiyon) vardır prensibini içeren Newton'un üçüncü kanunu Hareket Yasası tarafından yönetilir. Yüzerken en büyük itici kuvvet; kolların arkaya doğru itme hareketini yaptıkları zaman oluşur (Murathlı & Çetin, 2011; İnal, 2017). Kol ve bacakların aşağı doğru bir hareketi vücutta yukarı doğru bir tepki yaratır. Bu duruma serbest stilde kulaç hareketinin

itme evresi örnek olarak verilebilir. Bir sıvının içinde hareket eden herhangi bir nesneye suyun kaldırma kuvveti etki eder. Yüzücülerde suyun kaldırma kuvveti; el kesidinin biçimine, elin suda hareket ettiği hıza ve elin çekiş yönü ile yaptığı açığa bağlıdır (Barbosa & ark., 2011).

YÜZMEDE SU İÇERİSİNDE ETKİ EDEN MEKANİK PARAMETRELER

Yüzmede su içerisinde yüzücülere etki eden mekanik parametreler; drag (sürüme), kaldırma (lift), yerçekimi kuvveti, batmazlık (buoyancy), ileri itiş kuvvetidir (propulsive forces) (Şekil 1.). Drag (sürüme) yüzücülerin suyun içinde yaptıkları hareketlere karşı olan ve suyun direncini belirten bir terimdir. Kaldırma kuvveti, sürüme kuvvetine dik yönde oluşur. Kaldırma, sürüme gibi bir nesnenin iki yanındaki basınç farkının sonucudur. Ancak, kaldırma kuvveti nesnenin hareketini engellemek yerine nesnelere uygulandığı yönde iter. Yüzücülerin ağırlık merkezi kalça alanında bulunurken vücut havasının en çok olduğu ciğerlerin bulunduğu göğüs kafesi alanında da batmazlık merkezi bulunur (Maglischo, 2018). Kaldırma kuvveti, bir yüzücünün hareket etmese bile suda yüzmesini sağlayan kuvvettir. Yer çekimi evrendeki tüm maddi nesnelere arasında var olan bir kuvvettir. Sıfır olmayan kütleyle sahip herhangi iki nesne veya parçacık için, yerçekimi kuvveti onları birbirine doğru çekme eğilimindedir. Yüzücülere etki eden kaldırma kuvveti yerçekiminden daha az olduğunda yüzücülerin vücudu batmaya başlar. Yüzücüler suda yatay duruşlarını korumaya çalışırlar. Yüzücülere kaldırma kuvveti ve yer çekimi kuvveti kütle merkezi üzerinden etki eder (Moriyama & ark., 2021; McLean & ark., 1998; Watanabe & ark., 2017). Bu etki faktörlerin yanı sıra yüzücülerin kulaç hareketlerini gerçekleştirdiğinde aktif kısımda oluşan ileri itiş mekanizmasının Newton'un etki-tepki kanununa bağlı olduğu bildirilmiştir (Counsilman, 1968; Grimshaw, 2019).



Şekil 1. Serbest yüzme performansında akışkan mekanik parametreleri (Van Houwelingen & ark., 2017)

Yapılan bilimsel çalışmalarda serbest yüzmede bu faktörlerin hesaplanarak yüzücülerin performansını etkilediği vurgulanmıştır. Bu çalışmalar yüzücülerin performansını geliştirmede suyun içerisinde etki eden faktörlerin önemini göstermektedir (Vorontsov & Romyantsev, 2000; Floryan & ark., 2017; Santos & ark., 2021). Yüzmede bu mekanik parametreler, yüzücülerin suda daha iyi kaymalarına ve daha az enerji harcayarak mesafeleri tamamlamalarına yardımcı olur. Daha hızlı olmak ve mesafeyi daha kısa sürede tamamlayabilmek için yüzücülerin mekanik parametreleri dikkate alarak kulaç hareketlerini ve ayak vuruşlarını gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Bu nedenle bu kitap bölümü yüzücülere daha hızlı yüzmede yol göstermesi amacıyla yazılmıştır.

BERNOULLİ TEORİSİ VE BATMAZLIK (BUOYANCY)

Daniel Bernoulli, akışkanın akış hızı ile basınç arasındaki ters orantıyı ilk tanımlayan İsviçreli bir bilim adamıdır. Bernoulli, ideal bir akışkan için akışkan hızlı akarken basıncın daha düşük, yavaş akarken de daha yüksek olduğunu bulmuştur. Bernoulli ilkesi bir akışkanın hızı arttıkça basıncının düşeceğini söyler. Bernoulli'nin teorisi, folyo şeklindeki cisimlerin, akışkanlar içinde hareket ederken veya akışkanlar o nesnelerin üzerinden akarken kaldırma güçlerinin oluşum yöntemi için bir açıklama getirmektedir. Daniel Bernoulli, bu prensibe ilk defa, 1738 yılında yayımladığı *Hydrodynamica* kitabında yer vermiştir (Mikhailov, 2005).

Yüzücülerin elleri üzerinde suyun daha hızlı aktığı yerdeki su basıncı, ellerinin altında suyun daha yavaş aktığı yerdekinden daha düşük olacaktır. Bu basınç farklılıkları kaldırma kuvvetlerini oluşturur. En çok itici kuvveti sağlamak amacıyla yüzücüler mesafe boyunca suya bastıkları sırada ellerinin takip ettiği yolu değiştirirler. Bu akışkanlar mekaniğinde Bernoulli Prensibi ile açıklanır. Suda vücut biçimi, denizde yaşayan canlılardan esinlenmiştir. Azami performans için insanların vücudu en az cephe direnci göstereceği şekilde olmalıdır. Akış çizgisi sağlamada vücut biçiminin de etkisi vardır. Uzun boylu ve ince kişilerin mekanik avantajı daha iyi akış çizgisi biçimine sahip olma durumu ile açıklanabilir (Muratlı & Çetin, 2011; İnal, 2017). Yüzmede diyagonal kulaç hareketi de Bernoulli teorisine örnek olarak gösterilebilir. Bu kulaç hareketi yüzücünün elin üstünden akan ve altından geçen su miktarının ivme kazanması ile açıklanır (Toussaint, 2016). Holt ve Holt (1989) ve Toussaint ve ark. (2002) yaptıkları çalışmalarda Bernoulli teorisi ile kaldırma kuvvetinin el ve kol hareketlerine etkisini incelemiştir. Bu teorinin serbest yüzme itme evresinde etki ettiğini ve bu teorinin itme evresi ile ilişkili olduğunu bulmuşlardır (Holt & Holt, 1989; Toussaint & ark., 2002).

Batmazlık (Buoyancy) hava, su gibi herhangi bir akışkan içerisindeki bir nesneye akışkan tarafından ağırlığın (W) karşı yönünde uygulanan kuvvet olarak tanımlanır. Yüzücülere özgü batmazlık seviyesi, yüzücünün suyun üstünde yatay pozisyonda kolları ileri uzatılmış halde (eller açık streamline pozisyonu) iken değerlendirilebilir. Yüzücülerin batmazlık seviyelerine göre vücut pozisyonlarının suda yatay olarak kalabilme durumları değişkenlik gösterebilir. Yüzücülerin vücut yağ oranlarının fazla olması vücut yüzey alanının da fazla olduğu anlamına gelir. Yüzey alanının artması batmazlığın da artması demektir. Fakat bir sonraki bölümde açıklayacağımız sürümenin (drag) etkisi de ihmal edilmemelidir (Yanai, 2004; McLean & Hinrichs, 2000).

DRAG (SÜRÜME)

Sürüme, yüzücülerin su içinde uyguladıkları hareketlere karşı olan ve suyun direncini belirten bir terimdir. Sürüme kuvveti, her zaman hareket yönünün tersi yönünde oluşur. Başka bir deyişle bu kuvvet nesnelere hareketlerine karşı koyan bir kuvvettir. Su direnci, yüzücünün ilerlemesini engellediğinde oluşan sürüme kuvvetleri, yüzme hızını azaltır. Yüzücülerin engelleyici sürüme kuvvetine direnç sürümesi, yüzücüyü ileri yönde ivme kazandıran sürüme kuvvetine ise itici sürümesi denir. Sürüme; hız, şekil, boyut ve ön yüzey alanından etkilenir. Yüzücülere etki eden sürüme kuvvetleri suda vücudun yer değiştirmesini belirler (Denklem 1) (Barbosa & ark., 2020).

$$a = \frac{T - D}{m} \quad (1)$$

Denklem 1'de a ivmeyi (m/s^2), T toplam itiş gücünü (N), D toplam sürüklenme kuvvetini (N) ve m yüzücünün vücut ağırlığını (kg) ifade eder. Sürüme, akışkan bir ortamda yer değiştirmeyi belirten direnç kuvvetidir ve Newton denklemine dayanarak şu şekilde hesaplanabilir (Denklem 2):

$$D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot FSA \cdot C_D \quad (2)$$

Denklem 2'de D sürüme (N), ρ suyun yoğunluğunu (997 kg/m^3), FSA yüzücünün ön yüzey alanı (m^2), v yüzme hızı (m/s) ve C_D sürüme katsayısıdır (Morais & ark., 2023). Sürtünme kuvvetinin olumsuz etkilerini azaltmak ve olumlu

etkilerini arttırmak amacıyla yüzmede kulaç hareketleri yüzücüye özgü uygulanır. Bu uygulama sayesinde kulaç hareketleri ile bütünleşen ayak vuruşları sonucunda meydana gelen itme kuvveti, sürtünme kuvvetine karşı koyar (Maglischo, 2018). Bu mücadelede suya temas etme yüzeyi arttıkça sürtünme kuvveti de artar. Bu sürtünme kuvveti, yüzücünün vücudu ile su molekülleri arasında kalan tüm vücut yüzeyine temas ederken bu kuvvet, en çok m.quadriceps femoris, m.gluteus maximus ve abdominal bölgelerinde etkili olmaktadır (Tor, Pease & Ball, 2015). Sürtünme kuvvetini azalmak için vücut morfolojisi ve mayo teknolojisi üzerinde durulmaktadır. Yüzücü mayolarında özellikle bu üç bölge için daha kaygan materyalden yapılan kısımlar bulunmaktadır (O'Connor & Vozenilek, 2011).

DİRENÇ

Yüzücüler suda ilerleme esnasında havaya göre çok daha kuvvetli bir direnç ile mücadele etmektedirler. Bu kuvvet direnç sürümesi olarak adlandırılır. İleri itiş kuvvetleri, direnç kuvvetlerinden daha büyük olduğunda yüzücüler ivme kazanıp ilerleyebilir; daha az olduğunda yüzücüler yavaşlayabilir. Bu kuvvetlerin farklılıkları kulaç hareketinin her evresinde hızlanma ve yavaşlamayı etkiler. Yüzücülerin amacı daha az eforla direnç sürüme kuvvetinden en az miktarda olumsuz etkilenmektir (Pyne & Sharp, 2014). Bu etkinin en az olabilmesi için araştırmacılar kulaç hareketinde toparlanma bölümünün uygulanış biçiminin önemini vurgulamışlardır (Gourgoulis & ark., 2010; Stosic & ark., 2020; Umek & ark., 2018). Direnç kuvvetlerini etkileyen bir diğer unsur da vücudun yön değiştirmesi sonucu oluşan çalkantılardır. İnsan vücudu su memeli hayvanları kadar hidrodinamik bir yapıya sahip olmadığı için yüzme tekniği ne kadar iyi olursa olsun direnç ile karşılaşacaktır. Fakat yüzücüler sadece kendisine özgü en iyi tekniği belirleyerek suda ilerlemeyi kolaylaştırabilir (Papic & ark., 2023).

İTİŞ

İtiş, suyun uyguladığı dirençler arasında en yavaşlatıcı özelliğe sahip olan oluşumdur. Yüzücüler Newton'un üçüncü hareket kanununa göre kendilerine etki eden bir kuvvet ile mücadele ederler. Bu mücadeleyi kazanmak için kulaç hareketlerini ve ayak vuruşlarını farklı yönlerde (yukarı, aşağı, ileri, sağa, sola) gerçekleştirirler. İtiş kuvveti, vücudun ters yönde eğiliminde olmasına karşın yüzücülerin suda ilerlemesini sağlayan hareket suyu ileri yönde etkin bir biçimde itmeleridir (Santos & ark., 2021). Serbest yüzmede kulaç hareketinin pasif bölümünde kolun suyun dışında iken suyun yüzeyinde kolun sürüklenmesi itiş

sürümesinin mekanizmasından kaynaklı olabileceği bildirilmiştir (Psycharakis & Coleman, 2023). Ayak vuruşlarında ise çok derin ayak vuruşunun uygulanması itiş sürümesine neden olur. Yüzücüler itiş kuvvetini kazanmak için daha derin ayak vurduklarında suda kapladıkları yeri arttırmakla beraber suyun ayaklarıyla ileri itişini sağlarlar. Serbest yüzme performansında kulaç hareketinin ve ayak vuruşunun aşağı ve yukarı yönde uygulanması itiş kuvveti ve kulaç mekaniği açısından önemlidir (Cohen & ark., 2018).

SÜRTÜNME

Sürtünme; yüzmede deri ile deriye temas eden su molekülleri arasında meydana gelir. Sınır katmanı ise vücutla beraber çekilen su akıntılarının tümüdür. Cisimlerin üzerine uygulanan sürtünme sürümesinin miktarını etkileyen önemli unsurlar cismin yüzey alanı, cismin hızı, cismin yüzeyinin pürüzlülüğüdür. Düz yüzeyler pürüzlü yüzeylere göre sürtünmeyi azaltır ve yüzücüler sınır katmanında daha az su molekülü taşır. Bu olay daha az çalkantı oluşumunu sağlar. Bu bilgiler doğrultusunda yarışlarda tüm vücudu kaplayan mayolardan ve bone takmamaktan vazgeçilmiştir (Yuan & ark., 2019). Günümüzde hidrodinamik yapıya uygun mayo ve boneler tercih edilmektedir. Boneler ve mayolar en az sürtünmesi olan malzemeden yapılması, dikişsiz olması, suyun tutulacağı ve çarpıp etrafa dağılacığı en az kırıksıklık oluşturacak şekilde başa veya vücuda tam oturması önerilmektedir. Ayrıca, önemli müsabakalar öncesinde yüzücülerin vücut tıraşı olmaları da sürtünme konusu ile ilgilidir (McFall & ark., 2020; Di Palma & ark., 2018).

MEKANİK PARAMETRELERİN SU İÇERİSİNDE AVANTAJA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ: TEKNİK İÇİN BİLİMSEL KANITLAR

Yüzmede itiş teorilerini açıklama çabası 1900'lü yıllara dayanmaktadır. Bu çalışmalarda yüzücülerin kulaç hareketleri kürek veya su çarklarının süpürme hareketinde yarım daire şeklinde uygulanmasına benzetilmiştir (Alley, 1952; Counsilman, 1955). 1960'lı yıllarda Indiana Üniversitesinden Dr. James E. Counsilman ve Springfield Kolejinden Charles Silvia, yüzücülerin aslında stillere göre su altı kulaç hareketlerini farklı uyguladığını bulmuştur. Çalışmalarında bu farklılığın Newton'un etki-tepki kanununa bağlı itiş mekanizmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir (Counsilman, 1968; Silvia, 1970). Bu itiş mekanizmasına göre yüzücüler, suyu geriye doğru ittiklerinde eşit miktarda bir kuvvet yüzücülerini ileri yöne taşıyacaktır. İleri taşıma miktarı; itilen su miktarı ve

mesafe ile doğru orantılıdır. Bu dönem yüzücülere su altında kulaç hareketlerinde kolun en derin mesafede çekişi uygulayıp dirseğin bükülmesi sonrasında uzatılması önerilmiştir. 1970'li yıllarda ise uluslararası müsabakalarda yüzücülerin su altı kulaç hareketleri incelendiğinde serbest ve kelebek stillerinde ellerin giriş-yakalama ile çekme evresi arasında aşağı yönde iken çekme ile itme evresi arasında vücudun dışarısına doğru suyu süpürdüğü gözlemlenmiştir. Bu süpürmenin suyun içinde S şekline benzediği belirtilmiştir (Craig & Pendergast, 1979; Magel, 1970). Yüzücülerin S şeklinde kulaç hareketini gerçekleştirmesinin nedeni o dönem bilim insanlarına göre hareketin momentumundan kaynaklanıyordu. Böylece vücuda ivme kazandırmak için kulacın, geri yöndeki su miktarından daha hızlı bir geri itiş gerçekleştirmesi gerekmektedir (Brown & Counsilman, 1971). 1980 ve 1990'lı yıllarda incelendiğinde yüzücülerin dikey ve yanal yönlerde diyagonal olarak dairesel kulaç hareketini uyguladığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmalarla kulaç hareketinin Newton'un etki-tepki kanununun sonucu oluşan itiş mekanizması ve Bernoulli teorisi ile ilgili olduğu bildirilmiştir (Schleihauf & ark., 1984; Maglischo & ark., 1986; Troup, 1999; Toussaint & Beek, 1992). Bu teorilerin açıklanabilmesi için geçmişten günümüze yapılan araştırmalarda yüzücülerin serbest stil el bileği, dirsek ve omuz açılarının sayısal değerleri incelenmiştir. Schleihauf ve arkadaşları 26 elit yüzücü (n=14 erkek, 12 kadın) ile yaptıkları araştırmada dirsek açısını $93^{\circ} \pm 11$ (Schleihauf & ark., 1988); farklı bir araştırmada ise (n=9) yazar yüzücülerin ortalama dirsek açısını $106,5^{\circ}$ olduğunu tespit etmiştir (Cappaert, 1999). 2000'li yıllarda ise Payton ve arkadaşları tüm yüzücülerin dirsek açısının 90° olmayabileceğini bildirmiş olup çalışmada ortalama dirsek açısını 105° bulmuştur (Payton & ark., 2002). Caty ve arkadaşları ise yedi yüzücünün ortalama el bileği açısını $187,66^{\circ}$ hesaplamıştır (Caty & ark., 2007). Bu yıllarda Psycharakis ve Sanders ise omuz ve vücut rotasyonu açıları üzerine çalışmış ve ortalama omuz açısının $106,6 \pm 8,4^{\circ}$ olduğunu bildirmiştir. Çalışmanın sonucunda hızlı yüzücülerin yavaş yüzücülere göre omuzlarını daha az döndürdükleri belirtilmiştir (Psycharakis & Sanders, 2008). Lee ve arkadaşları 2008 yılında yüzücülerin omuz rotasyonunu incelerken ölçümlerin antrenman esnasında uygulanan testlerden faydalandığını ve bu durumun müsabakalara aktarma konusunda çalışmaların devam ettiği vurgusu yapılmıştır (Lee & ark., 2008). Aynı yılda Gourgoulis ve arkadaşları ise çekme evresinin ortasından itme evresine kadar el bileği açısının azaldığını bildirmiştir (Gourgoulis & ark., 2008). 2010'lu yılların başlarında Psycharakis ve McCabe, 2011 ve McCabe ve ark., 2015 omuz ve kalça rotasyonun nefes alma durumuna göre etkisini incelerken, Bächlin ve Tröster, 2012 yüzücülerde dönme açısını araştırmıştır. McCabe ve

Sanders yüzücülerde performans parametreleri ile kinematik parametreler arasındaki ilişkinin var olup olmadığını araştırmıştır (McCabe & Sanders, 2012). Bu çalışmalarda teknolojinin de gelişmesi ile yüzücülerde kulaç hareketinin tüm evrelerinde açısız değişimlerinin incelenmesi söz konusudur. Örneğin Figueiredo ve ark., 2013 elin üç boyutlu yer değişimi ile dirsek açısını incelemiş, sonuç olarak her bir evrede dirsek açısının farklılık gösterdiğini ve bu farklılığın sayısal olarak 149° ile 40° arasında olduğunu bildirmiştir (Figueiredo & ark., 2013). Bu çalışmayı destekler nitelikte Kistak'ın yaptığı çalışmada yüzücülerin dirsek açısı evrelere göre farklılık göstermiştir (Kistak, 2016). El bileği açısı Mooney ve ark., tarafından incelendiğinde yüzücülerde tekniğe bağlı olarak değişkenlik gösterdiği ve 128,92° ile 178,34° arasında olduğu hesaplanmıştır (Mooney & ark., 2016). 2020'li yıllarda ise Andersen ve ark., farklı hızlarda uygulanan serbest yüzme esnasındaki omuz rotasyonunu (Andersen & ark., 2020); Kistak-Altan ve ark., farklı evrelerdeki omuz açısını incelemiştir (Kistak-Altan & ark., 2022). Hyodo ve ark., vücut rotasyonundaki artışın gövde kas gruplarına etki ettiğini ve bunun da omuz rotasyon açısı maksimum değerine ulaştıktan sonra çekme ve itme fazlarında ortalama omuz dönme açısını etkilediğini bildirmiştir (Hyodo & ark., 2023).

SONUÇ

Sonuç olarak, akışkan mekaniği ile ilgili parametreler yüzme performansının belirleyicisidir. Yüzücüler kulaç hareketleri ve ayak vuruşunda bu parametrelere göre tekniklerini belirleyip su ile mücadele verirler. Havuzlarda yarış öncesinde suyun durgun olmasına karşın yarış esnasında yaşanan türbülans (çalkantı) ile bu parametrelerin yüzücüye etkisinin değişebileceği bilinmektedir. Buna ek olarak, açık su yarışlarının denizde ve açık havada yapıldığı dikkate alınarak akışkan mekaniği parametrelerinin incelenmesi önerilmektedir. Antrenörler bu etki faktörlerini hesaplayarak antrenmanları yazmalı ve sporcular da bilinçli olarak su antrenmanlarını gerçekleştirmelidir. Bu bağlamda sporcuların akışkan mekaniği parametrelerini etkileyecek olan kuvvet ve kas-iskelet sistemlerini güçlendirici antrenmanları yapmaları önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Alley LE. An analysis of water resistance and propulsion in swimming the crawl stroke. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 1952;23(3):253-270.
- Andersen JT, Sinclair PJ, McCabe CB, et al. Kinematic differences in shoulder roll and hip roll at different front crawl speeds in national level swimmers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2020;34(1):20-25.
- Bächlin M, Tröster G. Swimming performance and technique evaluation with wearable acceleration sensors. *Pervasive and Mobile Computing*, 2012;8(1):68-81.
- Barbosa TM, Marinho DA, Costa MJ, et al. Biomechanics of competitive swimming strokes. *Biomechanics in Applications*, 2011;367-388.
- Barbosa TM, Yam JW, Lum D, et al. Arm-pull thrust in human swimming and the effect of post-activation potentiation. *Scientific Reports*, 2020;10:8464.
- Bíró, M, Révész, L, Hidvégi, P. (2015). *Swimming*. Eszterházy Károly Catholic University: EKC Líceum Press.
- Bozdoğan, A. (2003). *Yüzme fizyoloji mekanik metod*. İstanbul: İlpres Basım ve Yayın.
- Bozdoğan, A., Özüak, A. (2010). *Stilleriyle temel yüzme*. İstanbul: İlpres Basım ve Yayın.
- Brown, R. M., Counsilman, J. E. (1971). The role of lift in propelling swimmers. In *Biomechanics*, edited by J. M. Cooper, 179-88. Chicago, IL: Athletic Institute
- Cappaert, J. M. (1999). Biomechanics of swimming analysed by three-dimensional techniques. In K. Keskinen, P. Komi, & A. P. Hollander (Eds.), *Biomechanics and medicine in swimming VIII: Proceedings of the VIII International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming* (pp. 141–145). Jyväskylä, Finland: University of Jyväskylä Press.
- Caty V, Aujouannet Y, Hintzy F, et al. Wrist stabilisation and forearm muscle coactivation during freestyle swimming. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2007;17:285–291.
- Chollet D, Chaliés S, Chatard JC. A new index of coordination for the crawl: Description and usefulness. *International Journal of Sports Medicine*, 2000;21(01):54-59.
- Cohen RC, Cleary PW, Mason BR, et al. Forces during front crawl swimming at different stroke rates. *Sports Engineering*, 2018;21:63-73.
- Counsilman JE. Forces in swimming two types of crawl stroke. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 1955;26(2):127-139.
- Counsilman, J. E. (1968). *The Science of Swimming*.-New Jersey Prentice.
- Craig Jr AB, Pendergast DR. Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine and Science in Sports*, 1979;11(3):278-283.
- Çengel, Y. A. & Cimbala, J. M. (2020). *Akışkanlar mekaniği temelleri ve uygulamaları*. Ankara: Palme Yayınevi.
- Di Palma D, Ascione A. New Technologies in Swimming Sports. *Italian Journal of Health Education, Sport and Inclusive Didactics*, 2018;2(2).
- Figueiredo P, Sanders R, Gorski T, et al. Kinematic and electromyographic changes during 200 m front crawl at race pace. *International Journal of Sports Medicine*, 2013;34(01):49-55.
- Floryan D, Van Buren T, Smits AJ. Forces and energetics of intermittent swimming. *Acta Mechanica Sinica*, 2017;33:725-732.

- Gourgoulis V, Aggeloussis N, Vezos N, et al. Estimation of hand forces and propelling efficiency during front crawl swimming with hand paddles. *Journal of Biomechanics*, 2008;41:208-215.
- Gourgoulis V, Antoniou P, Aggeloussis N, et al. Kinematic characteristics of the stroke and orientation of the hand during front crawl resisted swimming. *Journal of Sports Sciences*, 2010;28(11):1165-1173.
- Grimshaw, P. (2019). Swimming. In *Instant Notes in Sport and Exercise Biomechanics* (pp. 296-309). Garland Science.
- Hagem RM, O'Keefe SG, Fickenscher T, et al. Self contained adaptable optical wireless communications system for stroke rate during swimming. *IEEE Sensors Journal*, 2013;13(8):3144-3151.
- Hannula D. (2001) The Swim Coaching Bible. Human Kinetics, 21-133.
- Hannula, D. & Thornton, N. (2012). The swim coaching bible. Champaign: Human Kinetics.
- Holt, L. E., & Holt, J. B. (1989). Swimming velocity with and without lift forces. *Unpublished paper, Sports Sciences Laboratory, Canada: Dalhousie University*.
- Hyodo H, Koga D, Sengoku Y, et al. Relationship between swimming velocity and trunk twist motion in short-distance crawl swimming. *Biomechanics*, 2023;3(2):193-203.
- İnal, S. (2017). Spor ve egzersizde vücut biyomekaniği. Ankara: Hipokrat Kitabevi.
- Kıstak-Altan B, Ercin CB, Bingul BM, et al. The kinematic analysis of 3 repeated 200 metres freestyle swimming performances of swimmers aged 13-15 years. *International Journal of Curriculum and Instruction*, 2022;14(1):894-904.
- Kıstak B. (2016) 13-15 yaş grubu serbest stil erkek yüzücülerin 3 tekrarlı 200m performanslarına bağlı kinematik parametrelerin analizi (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Learning, L. (2021). Archimedes' Principle. *Fundamentals of Heat, Light & Sound*.
- Lee JB, Burkett BJ, Thiel DV, et al. Inertial sensor, 3D and 2D assessment of stroke phases in freestyle swimming. *Procedia Engineering*, 2011;13:148-153.
- Lee J, Mellifont R, Winstanley J, et al. Body roll in simulated freestyle swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 2008;29(7):569-573.
- Magalhaes FAD, Vannozzi G, Gatta G, et al. Wearable inertial sensors in swimming motion analysis: A systematic review. *Journal of Sports Sciences*, 2015;33(7):732-745.
- Magel, JR. Propelling force measured during tethered swimming in the four competitive swimming styles. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 1970;41(1):68-74.
- Maglischo CW, Maglischo EW, Higgins J, et al. A biomechanical analysis of the 1984 US Olympic swimming team: The distance freestylers. *Journal of Swimming Research*, 1986;2(3):12-16.
- Maglischo, E. W. (2018). Swimming fastest. İstanbul: Ekin Yayın Grubu.
- McCabe CB, Sanders RH. Kinematic differences between front crawl sprint and distance swimmers at a distance pace. *Journal of Sports Sciences*, 2012; 30(6):601-608.
- McCabe CB, Sanders RH, Psycharakis SG. Upper limb kinematic differences between breathing and non-breathing conditions in front crawl sprint swimming. *Journal of Biomechanics*, 2015;48(15):3995-4001.
- McFall TA, Griffith AL, Rotthoff KW. The impact of technology and rule changes on elite swimming performances. *The Economics of Aquatic Sports*, 2020;77-92.

- McGill, N. (2016). Swimming: Stay afloat for better health.
- McLean SP, Hinrichs RN. Sex differences in the centre of buoyancy location of competitive swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 1998;16(4):373-83.
- McLean SP, Hinrichs RN. Buoyancy, gender, and swimming performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 2000;16(3):248-263.
- McMaster WC, Troup JP. Competitive swimming biomechanics: Freestyle. *The International SportMed Journal*, 2001;2(6):1-8.
- Mikhailov, G. K. (2005). Daniel bernoulli, hydrodynamica (1738). In *Landmark Writings in Western Mathematics 1640-1940* (pp. 131-142). Elsevier Science.
- Millet GP, Chollet D, Chaliès S, et al. Coordination in front crawl in elite triathletes and elite swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 2002;23(02):99-104.
- Mooney R, Corley G, Godfrey A, et al. Inertial sensor technology for elite swimming performance analysis: A systematic review. *Sensors*, 2016;16:18.
- Morais JE, Barbosa TM, Garrido ND, et al. Agreement between different methods to measure the active drag coefficient in front-crawl swimming. *Journal of Human Kinetics*, 2023;86:41.
- Moriyama SI, Watanabe Y, Kurono T, et al. Effect of additional buoyancy swimsuits on performance of competitive swimmers. *The Open Sports Sciences Journal*, 2021;14(1).
- Mousavi L, Seidi F, Minoonejad H, et al. Prevalence of idiopathic scoliosis in athletes: A systematic review and meta-analysis. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 2022;8(3):e001312.
- Muratlı, S., & Çetin, E. (2011). Spor biyomekaniği. Ankara: Başak Matbaacılık.
- Naemi R, Easson WJ, Sanders RH. Hydrodynamic glide efficiency in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2010;13(4):444-451.
- O'Connor LM, Vozenilek JA. Is it the athlete or the equipment? An analysis of the top swim performances from 1990 to 2010. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 2011;25(12):3239-3241.
- Papic C, McCabe C, Gonjo T, et al. Effect of torso morphology on maximum hydrodynamic resistance in front crawl swimming. *Sports Biomechanics*, 2023;22(8):982-996.
- Payton CJ, Baltzopoulos V, Bartlett R. Contributions of rotations of the trunk and upper extremity to hand velocity during front crawl swimming. *Journal of Applied Biomechanics*, 2002;18:243-256.
- Psycharakis SG, Coleman SG. Which phases of the stroke cycle are propulsive in front crawl swimming? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 2023;1-9.
- Psycharakis SG, McCabe C. Shoulder and hip roll differences between breathing and non-breathing conditions in front crawl swimming. *Journal of Biomechanics*, 2011;44(9):1752-1756.
- Psycharakis SG, Sanders, RH. Shoulder and hip roll changes during 200-m front crawl swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2008;40(12):2129-2136.
- Pyne DB, Sharp RL. Physical and energy requirements of competitive swimming events. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 2014;24(4):351-359.
- Santos CC, Marinho DA, Neiva HP, et al. Propulsive forces in human competitive swimming: A systematic review on direct assessment methods: Propulsive forces in competitive swimming. *Sports Biomechanics*, 2021;1-21.
- Schleihauf, R. E. (1988). Propulsive techniques: front crawl stroke, butterfly, back stroke, and Breaststroke. *Swimming Science*, 53-59.

- Schleihauf, R. E., Higgins, J., Hinricks, R., Luedtke, D., Maglischo, C. W, Maglischo, E. W, & Thayer, A. (1984). Biomechanics of swimming propulsion. In ASCA World Clinic Yearbook, edited by T.R. Welsh, 19-24. Fort Lauderdale, FL: American Swimming Coaches Association.
- Silvia, E. C. (1970). Manual and lesson plans for basic swimming, water stunts, life saving, springboard diving, skin and scuba diving. Springfield, Mass.: published by the author.
- Stosic J, Veiga S, Trinidad A, et al. How should the transition from underwater to surface swimming be performed by competitive swimmers?. *Applied Sciences*, 2020;11(1):122.
- Thomas, D. (2015). Yüzme adım adım başarı. İstanbul: Ekin Yayın Grubu.
- Tor E, Pease DL, Ball KA. How does drag affect the underwater phase of a swimming start? *Journal of Applied Biomechanics*, 2015;31(1):8-12.
- Toussaint, H. M. (2016). Biomechanics of propulsion and drag in front crawl swimming. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*.
- Toussaint HM, Beek PJ. Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Medicine*, 1992;13:8-24.
- Toussaint HM, Van den Berg C, Beek WJ. “ Pumped-up propulsion” during front crawl swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2002;34(2):314-319.
- Troup JP. The physiology and biomechanics of competitive swimming. *Clinics in Sports Medicine*, 1999;18(2):267-285.
- Umek A, Kos A. Wearable sensors and smart equipment for feedback in watersports. *Procedia Computer Science*, 2018;129:496-502.
- Van Houwelingen J, Schreven S, Smeets JB, et al. Effective propulsion in swimming: grasping the hydrodynamics of hand and arm movements. *Journal of applied biomechanics*, 2017;33(1):87-100.
- Vorontsov AR, Rummyantsev VA. Propulsive forces in swimming. *Biomechanics in sport: Performance enhancement and injury prevention*, 2000;205-231.
- Wang, Z., Shi, X., Wang, J., Gao, F., Li, J., Guo, M., Zhao, H., & Qiu, S. (2019). Swimming motion analysis and posture recognition based on wearable inertial sensors. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, 3371-3376.
- Watanabe Y, Wakayoshi K, Nomura T. New evaluation index for the retainability of a swimmer's horizontal posture. *PLoS One*, 2017;12(5)e0177368
- White, F. M. (2019). Akışkanlar Mekaniği. İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Yanai T. Buoyancy is the primary source of generating bodyroll in front-crawl swimming. *Journal of Biomechanics*, 2004;37(5):605-612.
- Yanai T, Wilson BD. How does buoyancy influence front-crawl performance? Exploring the assumptions. *Sports Technology*, 2008;1(2-3):89-99.
- Yfanti M, Samara A, Kazantzidis P, et al. Swimming as physical activity and recreation for women. *TIMS Acta*, 2014;8(2):137-145.
- Young, M. (2010). The complete guide to simple swimming. Hertfordshire, UK: Educate & Learn Publishing.
- Yuan ZM, Li M, Ji CY, et al. Steady hydrodynamic interaction between human swimmers. *Journal of the Royal Society Interface*, 2019;16(150):20180768.
- Zamparo P, Gatta G, Pendergast D, et al. Active and passive drag: The role of trunk incline. *European Journal of Applied Physiology*, 2009;106(2):195-205.