

makale

Hakan F. ÖZTOP,
İhsan DAĞTEKİN,
İlker KÜÇÜK
Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Makina Mühendisliği Bölümü

YARIŞ BİSİKLETİ AERODİNAMİĞİ

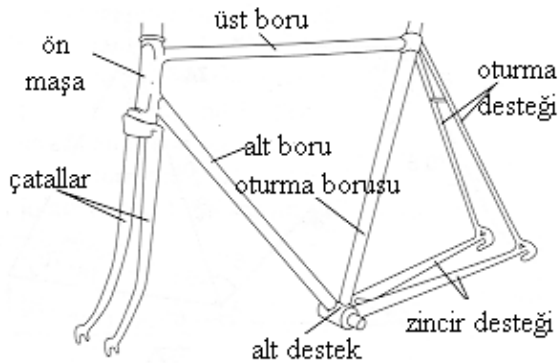
GİRİŞ

ncelikle kullanım alanına göre bisiklet tipinin çok iyi tespit edilmesi gerekir. Bisiklet tiplerini aşağıdaki gibi gruplandırmak mümkündür [1].

Günlük Kullanım Bisikletleri, çok amaçlı bisikletler, gösteri ve akrobasi bisikletleri, çok kişilik bisikletler (tandem) ve yarış bisikletleri. Yarış bisikletleri de kendi arasında üç grupta incelenebilir: a) Geleneksel yol yarışı bisikletleri, b) Uzun yol bisikletleri, c) Pistte kullanılan bisikletler.

Bisiklete aerodinamik yapı kazandırabilmek için iki genel ölçüt vardır. Birincisi; bisikletin toplam ağırlığıdır. Yarış bisikleti 8-10 kg, uzun yol bisikleti 11-13kg ve çok kişilik bisiklet 20-25kg kadar olmalıdır. İkinci ölçüt ise direksiyon, jant, vites, pedal ve pedal dişlileri, kranklar vb. ne ölçüde çelik, ne ölçüde alaşım olduğudur. Ayrıca alaşım çeliğe göre daha pahalıdır ve öte yandan alaşım daha hafif bir malzeme olduğundan bu tip bir parça sayısı arttıkça bisikletin toplam ağırlığı azalmaktadır. Lastik malzemeleri olarak polimer ve elastomer (kauçuk) kullanılabilir. Jantlar, sağlam hafif ve çok dengeli olmalıdırlar. Alüminyum alaşımli jantlar; hafif, frenlerde etkili ve paslanıp korozyona uğramayacakları için büyük yarar sağlamaktadırlar.

Bisiklet üzerinde iskelet en önemli parçadır. Toplam ağırlığın en büyük kısmını teşkil eder. İskelet, dört temel boru ve üç çataldan (maşa) oluşan bir bütündür. En önemli parçasının ön maşa olduğu söylenebilir. Çünkü hareketli olup dört cepheden gelen kuvvetlere karşı koymak zorundadır [1]. Bkz. Şekil.1



Şekil 1. Bisikletin iskelet yapısı.

AERODİNAMİĞE GİRİŞ VE SÜRTÜNME KAYIPLARI

Aerodinamik; bisiklet sürüşünde çok büyük bir etkiye sahiptir. Bisiklet aerodinamiğinin, sürücünün bisiklet üzerindeki yerleşiminden, bisikletin nasıl dizayn edildiğine kadar çok

çeşitli etkileri vardır. Sürüş araştırmacıları, halen daha, az rüzgar direncine maruz kalacak, yüksek aerodinamik özelliklere sahip bir bisiklet yaratmak için uğraşıyorlar. Son zamanlarda karbon-fiber kafes yapılı Superbike II adındaki bisikletler göz önündedir [2].

Sürücü havanın içerisinde hareket ederken kendi arkasında türbülanslı bir iz akımı üretir. Bu da girdap oluşumuna neden olur. Girdaplar sürücünün arkasında kalan ve sürücü ile birlikte hareket eden bir rüzgar alanı ve düşük basınç alanı meydana getirir. Bir bisiklet sürücüsünü takip ederken, arkasında kalan rüzgar içinde ilerleyebilirsiniz, bu sürücüler için %40'a varan bir kazanç oluşturacaktır ve rüzgar direnci sürekli azalma eğiliminde olacaktır. Çünkü düşük basınç sizi ileri doğru hareket ettirir ve girdaplar sizi ileri doğru iter [3].

Bisiklet ve sürücüsü ilerlerken, hıza bağlı olarak havanın direncine karşı gittikçe artan bir güç harcamak zorunda kalacaklardır (Bkz.Şekil 2) [4]. Bu güç, bisikletin ve sürücüsünün, hava ile temas yüzeyleri arasında oluşturduğu sürtünme kuvveti için gereklidir. [5]

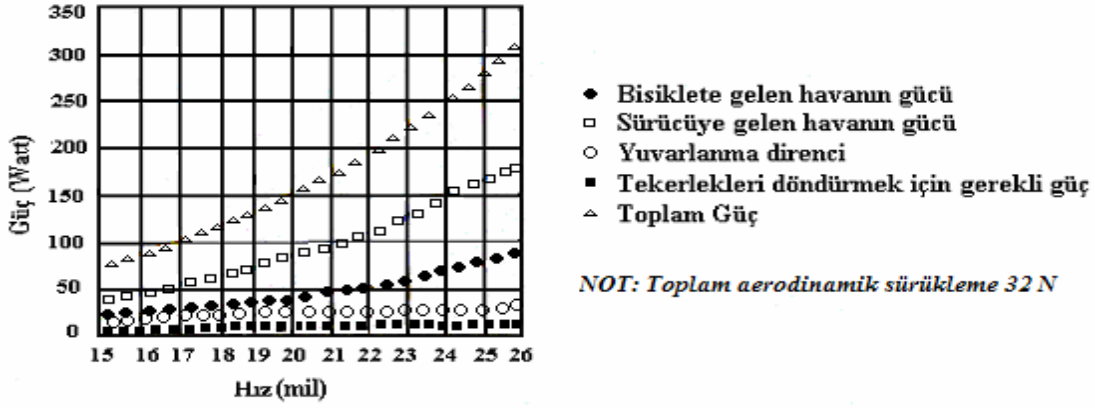
Bisiklette akışa paralel ve dik olmak üzere iki farklı parça vardır. Akışa elverişli gövdeler bir balık sırtı görünümündedir ve akım çizgileri parçanın etrafından pürüzsüzce akarlar. Dik şekilli parçaları ise bir tuğlanın şekline benzetebiliriz ve akım çizgileri parça üzerinde bir yön değişimi meydana geldiğinde kırılarak ilerler. Bu iki tip parça üzerindeki en büyük farklılık, elverişli parçalarda kayıpların olduğu bölgelerin, sınır tabaka içerisinde meydana gelmesi ve akışın sürekli ince kalmasıdır. Diğerlerinde ise, kuvvetli girdaplar oluşur ve akış mekanik enerji tüketen ve bu suretle sürüklemeyi artıran bir akış şeklini alır.

AERODİNAMİK YARIŞ BİSİKLETLERİ

Literatürde genellikle performansa eşlik eden etkiler ve düşük sürüklenme özellikleri incelenmektedir. Bütün hızlı araçlarda olduğu gibi orta hızlı araçlarda da rüzgar basıncı dengeyi sağlamak açısından dikkate alınmalıdır. Fakat bu durum otomobil gibi dengelenmiş motorlu araçlarla karşılaştırıldığında çok karmaşık bir durum ortaya çıkarmaktadır. Aşağıda bisikletlere aerodinamik yapı kazandırmak amacıyla karşılaşılan problemlerden bazılarına değinilmekte ve bazı çözüm önerileri sunulmaktadır.

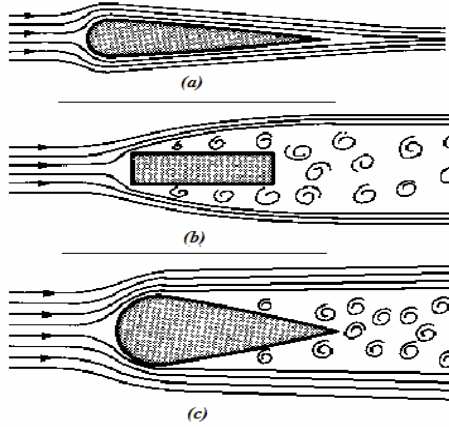
Sürüklenme

Sürüklenme hava içerisindeki bisikletin hareketini süratle önlemeye çalışan bir kuvvettir. Bu yüzden geniş etkili alanlar büyük sürüklenme kuvvetlerini doğuracaktır. Bunu engellemek sadece akışa elverişli şekillerle mümkün olmaktadır, aynen klasik gözyaşı damlası gibi. Böyle bir durumda akış laminar olarak adlandırılır. Pratikte akış genellikle türbülanslıdır, girdaplar bisiklet üzerindeki ani şekil değişimlerinin neden olduğu havanın düzensizliğinden kaynaklanır. Bisikletin boyut, şekil ve hızı iz akışının boyutunu etkileyen önemli faktörlerden biridir. Şekil 3'de görüldüğü gibi şeklin ön kısmı etrafında düzgünce dolaşan hava akımı düşük sürüklenme üretecektir [6].



Şekil 2. Bisiklet üzerinde hava direncinden dolayı hıza bağlı olarak artan güç grafiği [4].

Sürücünün giysileri yüzey sürtünmesini azaltmada büyük bir rol oynar. Neredeyse bütün profesyonel yarış sürücüleri kendilerini sıkıca saran sentetik giysiler ve sürtünmeyi direkt olarak azaltan deri elbiseler giyerler. Bunun yanında, bisiklet kaskı da aerodinamik sürüklemeyi %2 civarında azaltmaktadır. Gerçekten de modern aerodinamik kasklar saç olmayan bir sürücünden çok daha düşük sürüklemeye neden olmaktadır [5].



Şekil 3. (a) İyi bir aerodinamik şekil üzerindeki laminar akış, (b) Kötü bir aerodinamik şekil üzerinde meydana gelen türbülanslı akış, (c) Arka kısımlardaki çok dik açılar ayrılmaya ve sürüklemenin artmasına sebep olmaktadır [6].

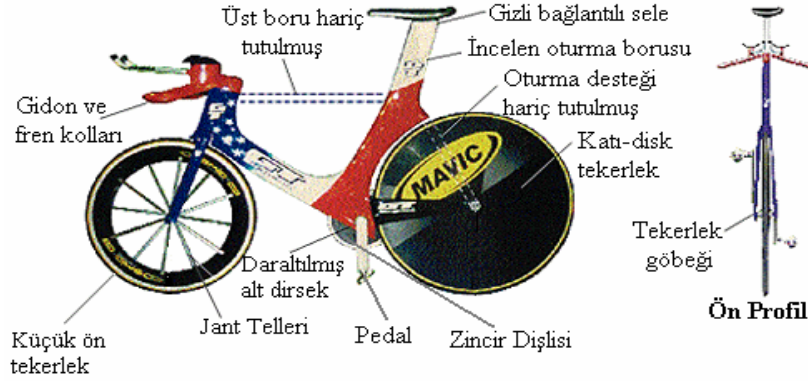
Bisikletin Parçaları

Bisikletin parçaları bisiklet aerodinamiğinde ayrıca bir rol oynar. Tekerleklerin düzeni, jant telleri, borular, iskelet ve kollar bisikletin aerodinamik verimliliğine etki eder. Aerodinamik yapıları tekerlekler çok dayanıklı bir etkiye sahip olmalıdır. Tekerlek dönerken hava akımı bir türbülans ayrımına sebep olur. Jant telleriyle sarılı tekerlekler rüzgar sürüklemesini düşürür ve bu da tekerlekleri döndürebilmek için normalde harcadığımız gücün yarısı kadar bir güç harcamayı sağlar.

1980' den bu yana bisiklet iskeletinin aerodinamik yönden iyileştirilmesinde büyük ilerlemeler olmuştur. İlk adım olarak, yuvarlak yerine oval borular seçilerek, hava akımı sürücü ile birlikte arkaya daha çabuk gelmesi sağlanmıştır. Bu da sürüklemenin azalması demektir.

Bir iskeletin en önemli alanları çatal, ön boru ve bisikletin gidonudur. En iyi aerodinamik iskeletler kanat şekli verilmiş ön kenarlar ve oturma borularına sahip olan kısımlardır.

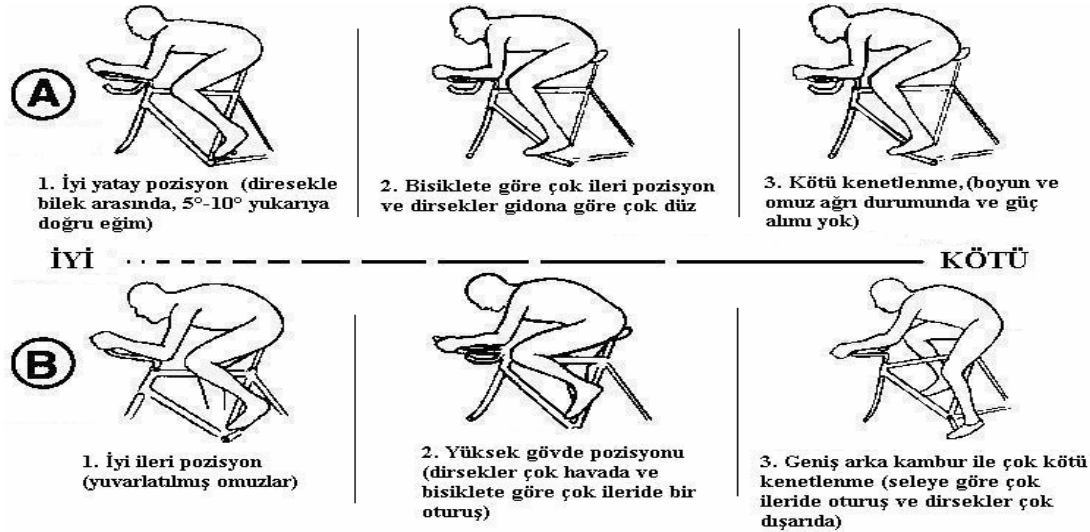
Modern malzemeler sayesinde, sürüklemeyi azaltmak amacıyla kullanılan bazı iskelet boruları, bağlama çubukları ve hatta oturma borusu da kaldırılmıştır (Şekil4) [7].



Şekil 4. Aerodinamik yönden ideal bir bisikletin parçaları [2].

Sürücünün Pozisyonu

Binici; bisiklet üzerinde rüzgara en fazla maruz kalan kısım olduğundan ve sürüklemenin %65-80'ini meydana getirdiği için sürüş pozisyonu çok önemlidir. Rüzgar tüneli testleri, uygun vücut pozisyonunun, dik oturmuş pozisyonuna göre sürüklemeyi %30' un üzerinde azalttığını göstermektedir. İyi bir aerodinamik pozisyon için sürücünün dirsekleri arasındaki mesafe, hava akımının sürücünün vücuduna çarparak girdap oluşmasını engellemek amacıyla mümkün olduğunca dar olmalıdır. Diz genişliği de dirsek genişliğine benzer bir niceliktir. Ayrıca üst boruya yakın bir şekilde pedal çevirmek aerodinamik etkileri arttırmaktadır [5]. Şekil 5'de görüldüğü gibi sürücünün vücudu yere paralel olduğu durumda ve yatay bir pozisyonda ise oldukça aerodinamiktir.



Şekil 5. Bu resimler şu anda geçerli olan iyi ve kötü sürüş pozisyonlarını göstermektedir [4].

Yedi biniciden oluşan bir ekip ile rüzgar tünelinde sürüklenme ve bir anemometre ile harcanan güçler ölçülmüştür. Sonuçlar, tahmin edilen güçlerle ölçülen güçler arasındaki eşleştirmede 5 W' lık bir standart hatanın mevcut olduğunu göstermektedir. Triatlet ve duatlet olarak bilinen, koşuculukta ve bisiklet sürücülüğünde çok iyi eğitilmiş yarışçılar, ortalama koşu ekonomisi (1.6 kcal/kg.mil) ve ortalama sürüş verimliliğine (%19 sürüş verimliliği) sahiptirler ki bu sürücüler için gerekli güç çıkışı aşağıdaki basit denklemlerle hesaplanabilir [2]

$$\text{Güç(watt)} = \frac{60 * 2.205 * A(\text{kg})}{Z(\text{dak})} \quad (1)$$

Bu denklem baz alındığında Tablo 1'de triatlet ve duatletin 4 kategorisi (seçkin, çok uygun, uygun, amatör) için güç çıkışları hesaplanmıştır. Bu hesaplanmış güç çıkışları farklı sürüş pozisyonlarındaki aerodinamik etkileri tanımlamada kullanılacaktır.

	Seçkin Sürücü	Çok uygun	Uygun	Amatör
10 km	35 dak	40 dak	48 dak	60 dak
Güç	264 watt	231 watt	192 watt	154 watt

Tablo 1. 70 kg ve 10km koşu zamanı baz alınarak hesaplanmış bisiklet sürüşü için güç çıkışları.

"Klasik" biniş pozisyonunda, uygun bir bisiklet ve standart tekerleklere sahip 70 kg bir binicide sürüklenme yaklaşık 35,5N olacak, "iyi" bir binici pozisyonunda bu sürüklenme 31,2N'a inecek, "mükemmel" pozisyonda ise 26,7N'luk bir sürüklenme sağlanacaktır. Bu sürüklenme değerleri esas alınan performanslar Tablo 2'de gösterilmiştir. Klasik bir sürücü pozisyonu ile mükemmel pozisyon arasında yaklaşık 6 dakika fark meydana gelecektir.

Pozisyon	48kph Hızda Sürüklenme	Seçkin Sürücü	Çok Uygun	Uygun	Amatör
Klasik	35,5 N	62:49	65:51	70:16	76:01
İyi	31,2 N	60:14	63:07	67:22	72:57
Mükemmel	26,7 N	57:23	60:10	64:07	69:47

Tablo 2. 40km koşu zamanı, rüzgarsız, düz bir pist ve standart tekerlekler ile 3 ayrı vücut pozisyonunun etkileri.

İyi bir sürüş pozisyonu için yardımcı olacak unsurlar;

Yatay vücut gövdesi: Daha önce de ifade edildiği gibi gövdenin zemine paralel olması aerodinamik sürüklenme sonuçlarında önemli değişikliklere neden olabilmektedir. Maalesef bunu elde etmesi çok zor olmaktadır, çünkü bu pozisyona yaklaşıldığında kalça kemikleri gövdenize vurmaya başlayacaktır. Anatomik seleler vücudun ağırlığını tümüyle dağıtması açısından yardımcı olabilir, fakat oturma borusu açısının 73-75 derece olduğu klasik bisikletlerde vücudun aerodinamik pozisyonunu zorlayacaktır. Bu sınırın üstesinden gelmek için vücudu bir bütün olarak ileriye doğru çevirebilmeye izin veren bir pozisyonu kullanmak gerekir. Bu pozisyon iyi bir aerodinamik durum ortaya çıkaracak, fakat bisikleti dengeleyememekten doğan sonuçlardan dolayı sürüş için çok tehlikeli olabilecektir.

Pozisyon	48kph Hızda Sürüklenme	Seçkin Sürücü	Çok Uygun	Uygun	Amatör
Klasik	33,8 N	1:09	1:13	1:22	1:22
İyi	29,4 N	1:16	1:20	1:27	1:34
Mükemmel	24,9 N	1:26	1:31	1:32	2:00

Tablo 3. Aerodinamik tekerlekler kullanılarak yapılmış tahmini etkilerin tablo 2 ile karşılaştırılması sonucu açığa çıkan zaman farkları.

Diz Genişliği: Diz genişliği aerodinamik sürüklemeyi etkileyen önemli bir parametredir. Üst boruya yakın olan dizlerle pedal çevirme iyi bir aerodinamiğin vazgeçilmez kısımlarındandır.

Pozisyon	48km/h Hızda Sürüklenme	Seçkin Sürücü	Çok Uygun	Uygun	Amatör
Klasik	32,5 N	0:47	0:51	0:50	0:59
İyi	28,0 N	0:53	0:56	1:00	1:02
Mükemmel	23,6 N	0:58	1:00	1:05	1:09

Tablo 4. Aerodinamik iskeletler kullanılarak yapılmış tahmini etkilerin Tablo 3 ile karşılaştırılması sonucu açığa çıkan zaman farklar (saniye).

Aerodinamik Tekerlekler: Etrafı jant telleri ile çevrili bu tekerlekler standart tekerleklerle karşılaştırıldığında aerodinamik sürüklemeyi yaklaşık 1,8N düşürmektedirler ve dönüş için normalde kullanılan gücün yarısı kadar bir güç gerektirirler. Aşağıdaki örneklerde özel 3 jant teline sahip ön tekerlek ve mercek şeklinde eğimli arka tekerlekler kullanılmıştır. Buna göre aerodinamik tekerleklerle yapılan değişiklikler 1 veya 2 dakika arasında etki eder.

Aerodinamik İskeletler: Yuvarlak iskelet borularıyla karşılaştırıldığında iyi bir iskelet yapısı sürüklemeyi ek olarak 1.3 N azaltacaktır. Bir iskeletin kritik alanları çatal, gidon ve ana borudan oluşmaktadır. Bu iskelet yapılarının ve oturma tüplerinin hava kanadı biçimli olması iyi bir eğilim grafiği çizer. Tablo 4'te aerodinamik iskelet yapılarının tahmini hesapları görülmektedir.

Şimdiye kadar yapılan modellemeler hep rüzgarsız ve sakin durum hallerindeydi. Rüzgar etkileri de bisiklet aerodinamiği için oldukça etkilidir. Rüzgarın farklı hızlardaki etkileri Tablo 5' de verilmiştir [8].

Rüzgar Durumu	48kph Hızda Sürüklenme	Seçkin Sürücü	Çok Uygun	Uygun	Amatör
Sakin	28 N	58:05	60:51	64:55	70:21
8 km/h	28 N	58:45	61:39	65:52	71:31
16 km/h	28 N	60:48	63:58	68:40	75:02

Tablo 5. 40km koşu zamanı, düz bir pist, aerodinamik tekerlekler, aerodinamik iskelet yapısı, iyi vücut pozisyonu ile hesaplanmış rüzgarlı durumların tahmini etkileri.

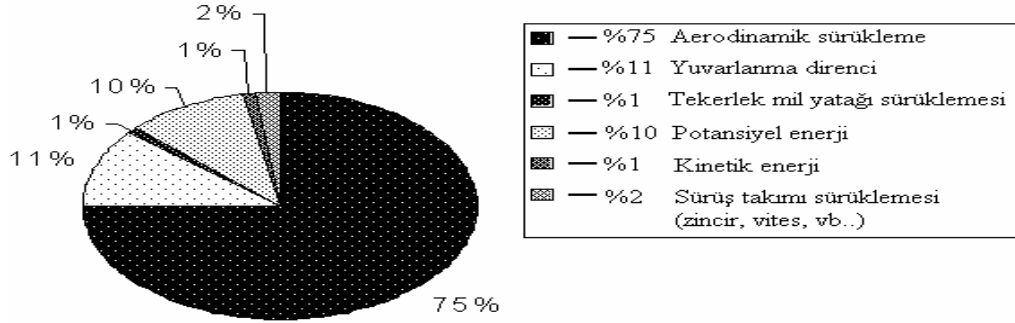
BİSİKLETTE KARŞI KONULMASI GEREKEN KUVVETLER

Bisikleti kullanırken çeşitli kuvvetlerle karşılaşılır. Kuvvetleri yenmek için gerekli kuvvetler; yerçekimi, sürtünme, yuvarlanma direnci ve en büyüğü de rüzgar direncidir. İlk olarak bir sürücü üzerindeki aerodinamik sürüklemenin etkileri ele alınacaktır.

Aerodinamik Sürüklenme (Rüzgar Direnci): Şekil 6'da gösterildiği gibi rüzgar direnci için harcanan güç gerçekten de çok fazladır. Sürücülerin bu aerodinamik direnci azaltması oldukça önemli bir problemdir. Aerodinamik direnç; havanın yoğunluğu, rüzgar hızı, bisikletin yere göre hızı ve tekerleğin döndürülmesi gibi birçok faktöre bağlıdır. Genel bir kural olarak bisikletin şekli, bisiklet ağırlığından daha büyük bir etkiye sahiptir.

Yuvarlanma Direnci: Bu direnç yer ve tekerlek arasındaki sıkışmanın meydana getirdiği bir sonuçtur. Yuvarlanma noktasındaki sıkışma esnasında, materyallerin iç sürtünmesinden dolayı oluşacak büyük kuvvetler, yuvarlanma direnci ile geciktirici bir tork oluşturacaktır. Burada sürücünün ve bisikletin ağırlığı hesaba katılmaz. Fakat Şekil

6'da grafiğe baktığımızda bütün güç tüketiminin yanında yuvarlanma direncinin etkisinin düşük olduğu görülmektedir. Bu direnç, bisiklet ve sürücüsünün ağırlığına, tekerlek basıncına, tekerleğin baskı modeline, tekerlek kaplama malzemesine, sürüş yüzeyinin dokusuna ve yolun eğimine bağlıdır.



Şekil 6. Bisiklet üzerinde karşılaşılan kuvvetlerin yüzdesel grafiği [4].

Tekerlek Mil Yatağı Sürüklemesi: Her ne kadar çok küçük olsa da, sürtünme kayıplarını yenebilmek için gücünüzün harcanmasına neden olmaktadır [4].

Potansiyel Enerji: Potansiyel enerji en iyi şekilde, yol eğimlerinin değişmesiyle ilgili harcanacak güç olarak açıklanabilir. Bunu yerçekimi etkisi olarak da adlandırabiliriz. Esasen yerçekimi bir yokuş ile karşılaşıldığı zaman büyük bir rol oynar. Bir yokuşa doğru sürerken yokuşun dikliği, etki eden yerçekiminin ne kadar büyüklükte olduğunu belirlemektedir. Bu yokuş aşağı durumlarda da aynıdır, ancak yerçekimi sizin lehinize çalışmaktadır. Bisikletin ve sürücüsünün ağırlığı veya kütlesi potansiyel enerjiye etki etmektedir. Gerçekte yolun eğimini sadece % 0,5 değiştirmek bisiklete 133 N yük eklemekle aynı etkiyi verecektir.

Kinetik Enerji: Kinetik enerji, hızdaki değişimlerle ilgilidir. Çok küçük bir değerdir fakat sürücü ve bisiklet ağırlığından etkilenmektedir.

Sürüş Takımı Sürüklemesi: Bir bisikletin sürüş takımları, zincirler, vites, vites kaydırma mekanizmalarıdır ki bunlar tam anlamıyla yağlanmışsa toplam gücün %2' sini oluşturur [9].

Sürüklenme Kuvveti

Bisikletin hareketiyle meydana gelecek F_t kuvveti; yuvarlanma sürtünmesi (F_y), aerodinamik sürüklenme (F_r), ivmelenme kuvveti (F_i), yukarı eğim direnci (F_e), yatak sürtünme direnci ve sürüş verimliliği (η) gibi değerlerin toplamından oluşmaktadır. Diğer niceliklerden farklı olarak ivmelenme ve yukarı eğim direnci negatif olabilmektedir, böylece bisikleti geciktirici kuvvetlerden ziyade ileri iten bir durum ortaya çıkar. Yatak sürtünme kuvvetleri, sürüş verimliliğine (η) eklenmiştir. Belirli bir biçimde pedallar ve alt destekler, serbest sürüş ve tekerlek göbekleri de değerine eklenmiştir. Bu değerleri formüle ettiğimizde;

$$F_{\text{toplam}} = \frac{(F_{\text{yuvarlanma}} + F_{\text{egim}} + F_{\text{ivmelenme}} + F_{\text{rüzgar}})}{\eta} \quad (2)$$

Geciktirici kuvvetler ayrı ayrı aşağıda gösterildiği şekilde tanımlanmıştır;

$$F_y = c_r * m * g \quad (3)$$

$$F_e = s * m * g \quad (4)$$

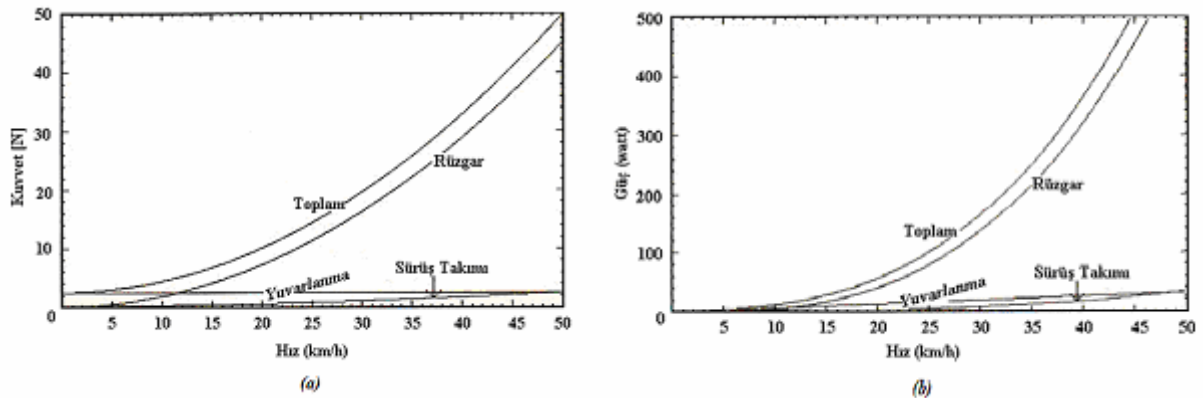
$$F_i = m * a \quad (5)$$

$$F_r = \frac{\rho * c_r * A * v_r^2}{2} \quad (6)$$

Toplam sürüklemenın üstesinden gelecek olan gerekli güç ise;

$$P = F_t * v \quad (7)$$

Hava direnci için kullanılacak olan formülasyon rüzgarsız durumlar için geçerlidir. Bisikletin hareketinden doğacak rüzgar ile gerçek rüzgarın toplam vektörü v hızının yerini alacaktır. Ancak, c_r ve A sadece cepheye dik düşen akışlar için uygulanacaktır. Bisikletin sürüş verimi, max.%96 civarındadır. Dişli sistemleri ise verimi %1-2 oranında azaltır. İçten dişli tekerlek göbeklerinde verim direkt sürüşte %90, en kötü durumda %80 arasında değişir.



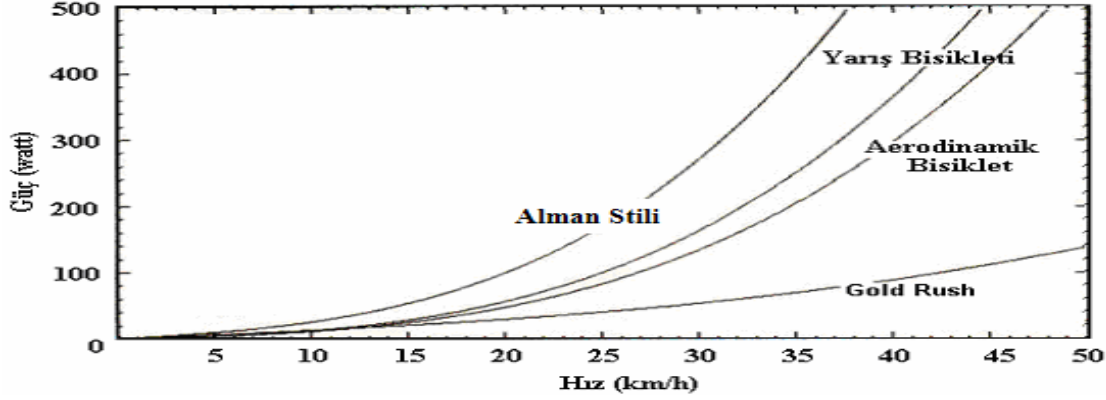
Şekil 7. (a)Yarış bisikletlerinde hıza bağlı olarak gerekli kuvvetler, (b) Yarış bisikletlerinde hıza bağlı olarak gerekli güç çıkışı. (Hesaplama şu değerler kullanılmıştır; $\eta=0.95$, $m=80\text{kg}$, $c_r=0.003$, $\rho=1.2 \text{ kg/m}^3$, $c_{\text{rüzgar}}A=0.39\text{m}^2$) [10].

Rüzgarsız, eğimsiz ve ivmesiz bir durumda, Şekil 7.a hızın bir fonksiyonu olarak tipik klasik yarış bisikletleri ve geciktirici kuvvetlerin etkileri için itme kuvvetini gösterir. Şekil 7.a'da görüleceği üzere yaklaşık 12km/h hızda yuvarlanma ve hava direnci eşit büyüklüklere sahiptirler. Ancak yüksek hızlarda hava direnci oldukça kuvvetli bir şekilde hakimiyeti ele geçirmektedir. Şekil 7.b aynı bisiklet için hızın bir fonksiyonu olarak gerekli güç çıkışını göstermektedir. Normal bir binici ergonometrede sürekli olarak 80w gücü muhafaza edebilmelidir. Ancak trafikte biniciler 200W' ın üzerinde bir değerde güç harcarlar. Yarış sürücüleri yaklaşık 500W gücü yarış boyunca muhafaza eder [10].

İskelet Aerodinamiği

Kyle [13]'nin test ettiği (Tablo. 6) eşsiz aerodinamik iskeletler "Lotus ve Superbike2" geometrisine benzeyen çok yeni prototipleridir. Ayrıca rüzgar tüneli testinde alüminyum borulu Cannondale ve klasik yol bisikleti GIOS tipi de test edilmiştir.

Şekil 8'de farklı bisiklet tipleri için farklı hızlarda binicinin harcadığı güçler görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere her dört tipte de artan hızla birlikte güç gereksinimi artmaktadır. Bu noktada aerodinamik bisikletler yüksek hızlarda çok daha iyi sonuçlar vermektedir.



Şekil 8. Bir binicinin farklı bisikletlerdeki güç talebini göstermektedir [10].

Bisiklet	İskelet Tipi	Tekerlekler	Sürüklenme (N)	
			Sadece Bisiklet	Bisiklet ve Sürücüsü
Cannondale	Klasik elmas biçimli, geniş tip yuvarlak borulu.	27" x 36 jant (ön & arka)	12,1	32,25
GIOS	Klasik elmas biçimli, standart tip, yuvarlak borulu	27" x 36 jant (ön & arka)	11,74	32,18
Schwinn Track	Klasik elmas biçimli, standart tip, çelik borulu	27" x 32 keskin jant, aero kenar	10,72	31,05
Yeni Superbike2	Aerodinamik şekil yapılı	27" arka disk, 24" ön disk	5,38	29,18
Yeni Lotus Tipi	Aerodinamik şekil yapılı	27" arka disk, 24" ön disk	5,34	28,51

Tablo 6. Kyle' nin rüzgar tüneli testi, 48km/h hızında

(Testlerde kullanılan sürücü 1.88cm boyunda ve 77 kg ağırlığındadır) [12].

Tablo 6'dan şu sonuçlar çıkarılabilir: 1. Standart tekerleklerin değiştirilmesi sürüklemeye çok büyük etkilere neden olmaktadır. 2. Sürüklemeye farklılık 2 farklı aerodinamik yapıda bisiklette çok küçük olurken, standart borulu bisikletleri karşılaştırdığımızda bu fark oldukça büyüktür. 3. Sürücü ile birlikte bile sürüklemeye hala ölçülebilir farklılıklar gözlenmektedir. Tablo 7, güç çıkışının değişmez olduğu şartıyla, azaltılmış aerodinamik sürüklemenin etkilerinin matematiksel bir modelini göstermektedir.

Sürüklenme İndirgemesi		Saniye olarak kazanılmış zaman		
		1000 metre	4000 metre	40kilometre
Pound (lb)	Gram (g)	35.2 mph (56.7kph)	31 mph (49.9 kph)	30 mph (48.3 Kph)
0.02	9	-0.06 san.	-0.28 san.	-3.0 san.
0.04	18	-0.11 san.	-0.56 san.	-6.0 san.

0.10	45	-0.26 san.	-1.26 san.	-13.0 san.
0.20	91	-0.53 san.	-2.52 san.	-25.0 san.
0.40	181	-1.06 san.	-5.06 san.	-51.0 san.
1.00	454	-2.71 san.	-13.04 san.	-131.0 san.

Tablo 7. Aerodinamik sürüklenme azaldıkça kazanılmış zamanlar [11].

Enerji

Aşağıdaki eşitlik bisikletler için enerji eşitliğidir;

$$E = E_K + E_P + E_M \quad (8)$$

$$E = \left[E_K = \frac{1}{2} mV^2 \right] + \left[E_P = mgh \right] + \left[E_M = (R = \sum \frac{1}{2} I\omega^2) + (S = N \frac{1}{2} Ky^2) \right] \quad (9)$$

$$I = mr^2 \quad (10)$$

Bisikletin ağırlığının azaltılması sayesinde tırmanış için çok daha fazla güç sarf etmek zorunda kalmazsınız. Bir tepeye tırmanma enerjisi sizin kinetik ve potansiyel enerjiniz ile kayıp mekanik enerjinin toplamına bağlıdır. Mekanik enerji bisiklet sisteminizin başlıca yapısal bileşenlerinin (tekerlek ve iskelet) ve dönel bileşenlerinin (tekerlek göbeği ve pabuçları, krank ve zincirler) etkinliğine yüksek derecede bağlıdır. Yaylanma enerjisi, bisikletin yapısal bileşenlerinin sertliğini ve bisikleti ileriye doğru götürecektir enerji transferi kabiliyetini temsil eder.

Eğer ağır dönel bileşenleri döndürmek zorunluluğu varsa, gerekenden çok daha fazla dönel enerji sarf etmeniz gerekecektir. Dönel atalet momenti yarıçapın karesinin bir fonksiyonudur. Enerji kaybı, sapma mesafesinin karesinin bir fonksiyonudur.. Her seferinde pedalı bir devir döndürdüğünüzde bu enerji kaybı meydana gelir [11].

YARIŞ BİSİKLETİ TEKERLEKLERİNİN AERODİNAMİĞİ

Testler bağıl rüzgar hızlarında (30-60 km/h) ve sapma açılarında (0-30°) gerçekleştirilmiştir. Jantlı tekerleklerle karşılaştırıldığında, aerodinamik olarak dizayn edilmiş tekerleklerde %50' den yukarı seviyelerde bir aksel sürüklenme azalması gözlenmiştir. Bunun yerine yanal kuvvetlerde artış olmuştur. Toplam sürüklenme kuvvetine katkıda bulunan üç farklı alan vardır. Bunlar sürücünün kendi sürüklenmesi (aerodinamik akışa elverişli giysiler dahil, kasket vb.), bisiklet iskeletinin sürüklenmesi ve tekerleklerin sürüklenmesidir. Kyle ve Burke [12], sürücü ve bisiklet kombinasyonlarının oluşturduğu bütün sürüklenme kuvvetini belirlemişlerdir ve aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir:

1. Rüzgar direnci, 32 km/h' in üzerindeki hızla seyreden bir sürücü için %90 oranında bir geciktirici sebep teşkil eder.
2. 13 km/h'in üzerindeki hızlarda rüzgar direnci, yuvarlanma sürtünmesini aşacak bir değere sahip olur.
3. 4000m yarışlarında, sürüklemeye 0.09N' luk bir azalma size 0.3s, 4.4N' luk bir azalma ise 13s' lik bir zaman kazandıracaktır.

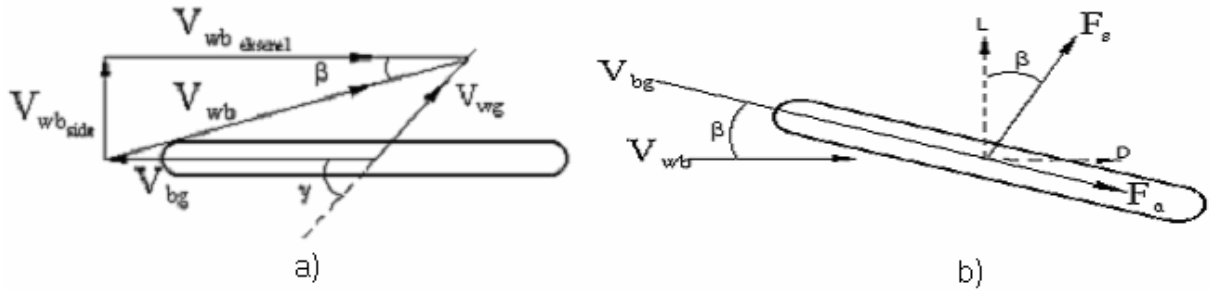
4. Bir arka veya ön rüzgar sürücünün hızını, rüzgar hızının yarısından daha fazla artıracak veya azaltacaktır. Örneğin sürücü yaklaşık 32 km/h ile sürüyorsa, 16 km/h hızındaki bir ön rüzgar sürücünün hızını 22.5 km/h' e düşürecektir.

5. Lastiklerdeki yuvarlanma direnci normal sürüş hızlarında sabite yakın bir değerdedir.

6. 6.7 m/s' deki rüzgar testleri sonucunda aşağıdaki veriler elde edilmiştir;

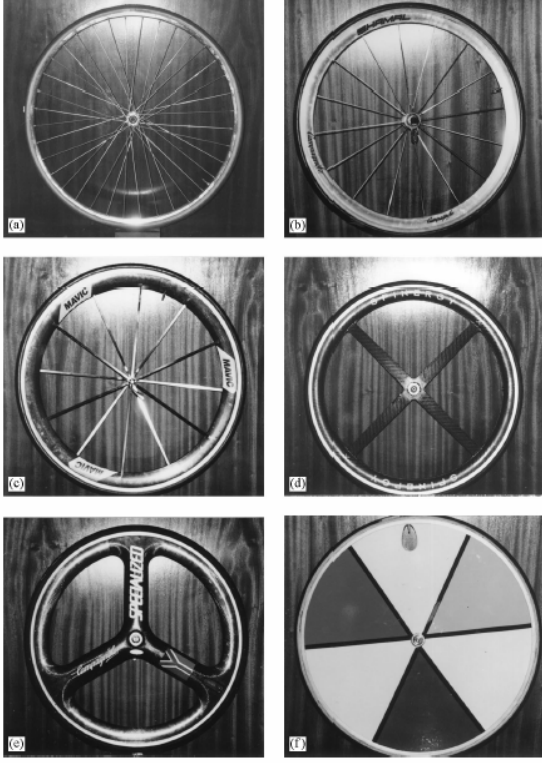
a) Çevrenmemiş tekerleklerdeki sürüklenme 0.52N

b) Çevrenmiş tekerleklerdeki sürüklenme ise 0.08N olarak bulunmuştur.



Şekil 9.a) Bisiklet tekerleği için hız vektörleri, b) Tekerlek üzerinde belirlenen kuvvetler

Ayrıca Kyle [13]' nin raporlarına göre dönen tekerleklerde sabit ilerleyen tekerleklere oranla %30 daha fazla sürüklenme belirlenmiştir. Zdravkovich [16], gerçekleştirdiği deneylerde tekerlekteki sürüklemenin sapma açısına karşı aşırı derecede duyarlı olduğunu görmüştür ki sapma açısında sadece 2°, sürüklenme katsayısında %10 artışa neden olmaktadır. Ayrıca tekerleğin şekil faktörü sürüklenme katsayısını önemli derecede etkilemektedir. Bu konuda, Reynolds sayısının $0 < Re < 3.6 \cdot 10^4$ olduğu bir hava akışı üzerinde 3 farklı tekerlek dizaynının sürüklenme katsayıları araştırılacaktır.



Şekil 10. Bisikletin altı standart hali için tanımlanabilir: a) Mükemmel halde ($V_{bg} = V_{wb}$, $\beta = 0^\circ$, $\gamma = 0^\circ$), b) Ön rüzgarda ($V_{bg} < V_{wb}$, $\beta = 0^\circ$, $\gamma = 0^\circ$), c) Arka rüzgarda ($V_{bg} > V_{wb}$, $\beta = 0^\circ$, $\gamma = 180^\circ$), d) 90° rüzgarda ($V_{bg} = V_{wb_{axial}}$, $\beta > 0^\circ$, $\gamma = 90^\circ$), e) Açılı ön rüzgarda ($V_{bg} < V_{wb_{axial}}$, $\beta > 0^\circ$, $\gamma < 90^\circ$), f) Açılı arka rüzgarda ($V_{bg} > V_{wb_{axial}}$, $\beta > 0^\circ$, $\gamma > 90^\circ$) [15].

Şekil 9a' da bisiklet tekerleğinin yere göre bağlı hızı V_{bg} , bir g açısında çapraz rüzgar tarafından gelen hız V_{wg} , bir b açısında bisiklete gelen bağlı rüzgar hızı olarak gösterilmektedir. Şekil 9b'de bisiklet tekerleğine etkiyen kuvvetler görülmektedir. Eksenel sürüklenme kuvveti F_a , tekerleğin yönüne zıt olarak etkimekte; yanıl kuvvet olan F_s ise tekerleğin yönüne dik olarak etki etmektedir. Şekil 10 'da ise 6 farklı jant tipi ve açıları verilmektedir.

SONUÇLAR

Çalışmada, yarış bisikletlerinin aerodinamik tasarımları ile ilgili bulgular ve hesaplamalar değerlendirildi. Bisikletlerin aerodinamik yapılarına etki eden iki önemli faktörden birinin sürücü değerinin ise bisiklet parçalarının aerodinamik yapısının etkili olduğu tespit edildi. Binici giysilerinin ve sürüş biçimi aerodinamik etkilere karşı harcanan gücü indirgemektedir. Bununla birlikte, jantlar başta olmak üzere bisikletin aerodinamik yapısını azaltmada tüm iskelet parçalarının sürüklenme direncinin azaltılması gereklidir.

SEMBOLLER

m Bisiklet ve sürücüsünün ağırlığı, (N)

r Belirli bir sıcaklık ve yükseklikteki hava

yoğunluğu, (kg/m³)

A Faydalı alan (m²)

V Hız (m/s)

I Dönel atalet momenti

r Dönmeye çalışan gövdenin yarıçapı

w Açısal hız

N Belirli bir X mesafesindeki dönüş sayısı

K Tekerlek ve iskeletin sabit sertlikleri

y Sapma

EM Mekanik Enerji (Toplam Dönel Enerji ve

Yaylanma Enerjisi)

EK Kinetik Enerji

Ep Potansiyel Enerji

R Dönel enerji, tüm dönen kısımların dönüşü için

gerekli enerji

S Yaylanma enerjisi

g Yerçekimi ivmesi, m/s²

h Tırmanma yüksekliği, m

P Güç

h Sürüş verimliliği

cr Yuvarlanma direnci katsayısı, (0.0015 - 0.015)

s Yukarı eğim

a İvme, m/s²

crüzgar Rüzgar direnç katsayısı, boyutsuz

vrüzgar Rüzgar hızı, m/s

KAYNAKÇA

1. Gümüř, T., Bisikletli Yařam, Akılcılık, Ankara, 1989.

2. http://www.princeton.edu/~asmits/Bicycle_web, (Smits,L.,Bicycle Aerodynamics)
3. <http://www.exploratorium.edu/cycling>, (Aerodynamics home page)
4. <http://www.bicyclesports.com>, (Cobb,J., Why Become Aero, 2000)
5. <http://www.enter.net/~dlandis/index.html> (Landis,D., The Aerodynamics of Cycling)
6. <http://www.ctv.es/users/softtech/motos> (Foale,T., Aerodynamics,1997)
7. <http://wings.avkids.com/Book/Sports/advanced>, (Cislunar,A., Aerodynamics and Bicycling,1998)
8. <http://home.hia.no/~stephens/cycling.htm>, (Martin, J., Aerodynamics and Cycling, 1996)
9. <http://www.kent.wednet.edu/staff/trobinso/physicspages/Cycling-Heenk>, (Copyright © by the Kent School District, Forces and Things, 1995).
10. <http://damonrinard.com/aero/formulas.htm>, (Pivit,R., Drag Forces in Formulas, 1998)
11. <http://www.cas-bikes.com>, (Bicycle Aerodynamics and Weight Considerations)
12. **Kyle, C.R., E. Burke**, Improving the Racing Bicycle, Mech. Eng. 106, pp. 34-45, 1984.
13. **Kyle, C.R.**, Aerodynamic Wheels, Bicycling, 1985.
14. **Sayers,A.T., Stanley, P.**, Drag force on Rotating Cycle Wheels, 1994.
15. **Tew,G.S., Sayers,A.T.**, Aerodynamics of Yawed Racing Cycle Wheels, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 82, 209-222, 1999.
16. **Zdravkovich, M. M.**, Aerodynamics of Bicycle Wheel and Frame, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 40, 1, pp. 55-70, 1992