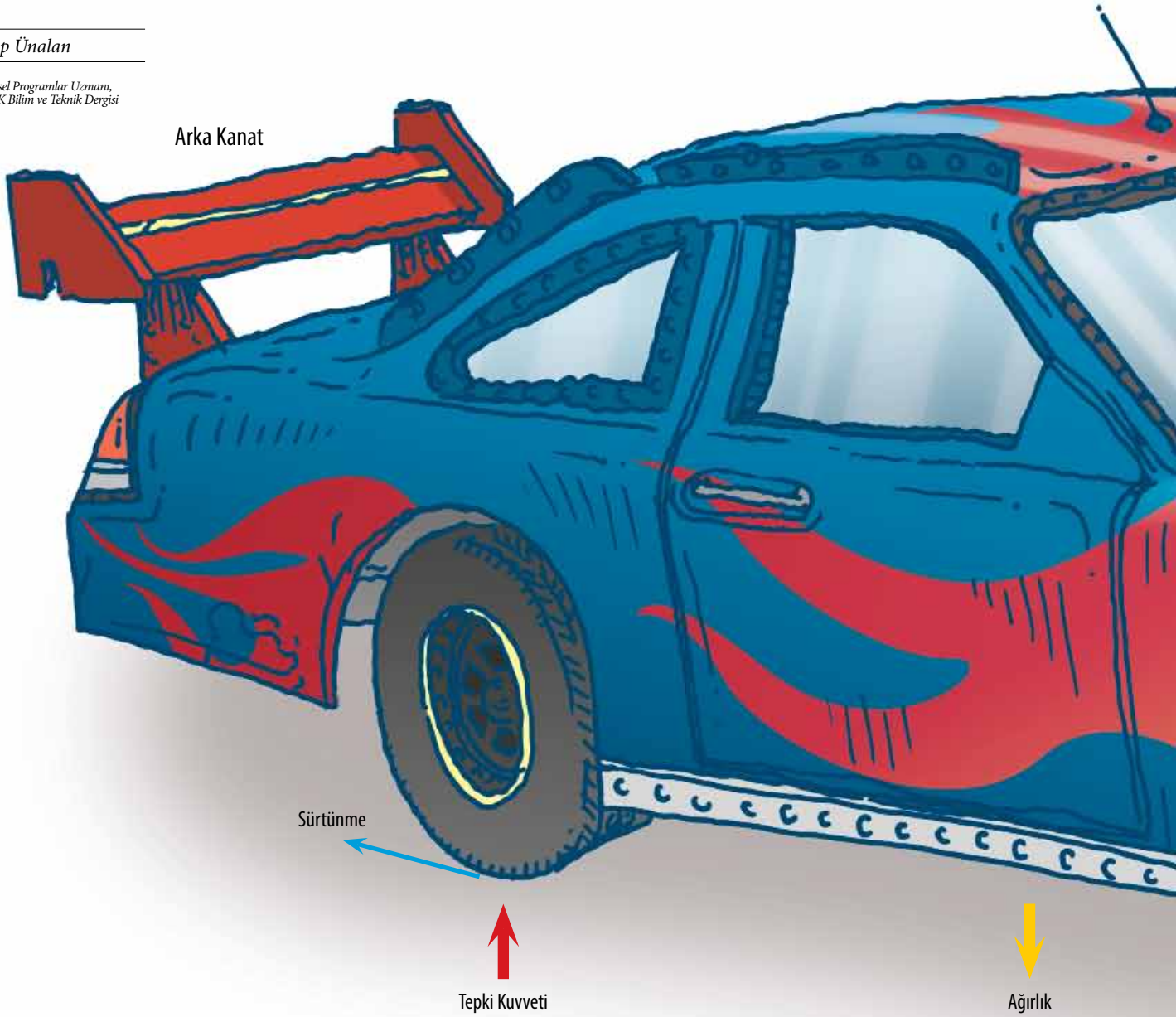


## Arka Kanat

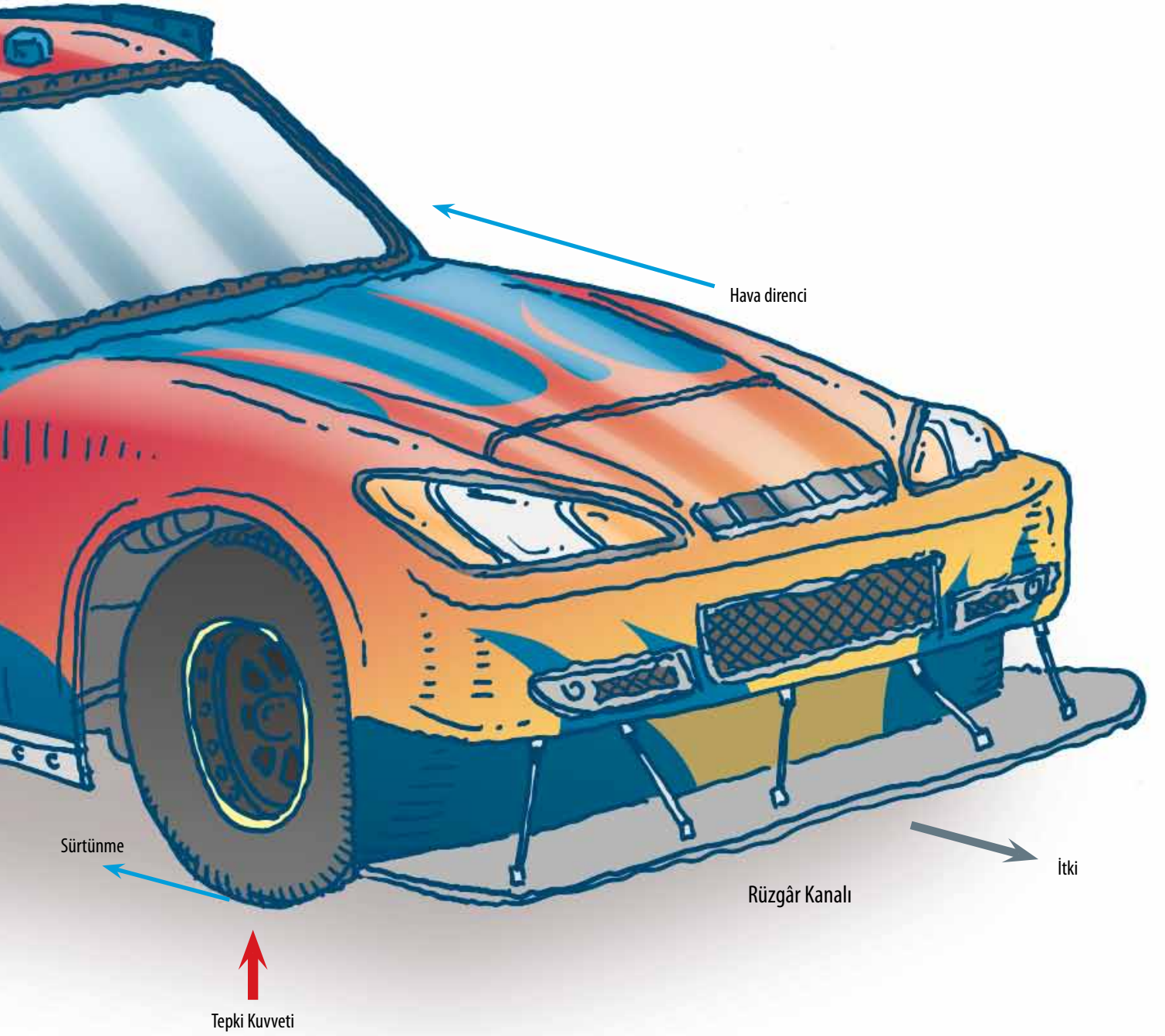


# Otomobillerin Fiziği

## Otomobili yerde tutmaya çalışan hava molekülleri

Çok hafif olan hava molekülü nasıl olur da 1000 küsur kilogramlık otomobili yerde tutar diye şaşırmayın. Burada bir tane hava molekülünden değil milyarlarcasından bahsediyoruz, yani birlikten kuvvet doğuyor. Otomobile değişik yönlerde çarpan hava moleküllerinden aşağıya doğru çarpanlar otomobilin üstünden yere doğru bir kuvvet uygular. Bu kuvvet özellikle yüksek hızlarda çok işe yarar.

Yüksek hızda giden bir otomobilin yeri tutması zorlaşır, hatta zaman zaman otomobil yerden havalanır. Bu gibi durumlarda hava molekülleri aracı yere doğru bastırabilir. Bazı binek araçlarda gördüğümüz arka kanat, yarış otomobillerinin ise hepsinde gördüğümüz öndeki rüzgâr kanalının ve arka kanadın işlevi bu kuvveti artırmaktır. Yere hayli yakın olan rüzgâr kanalı havanın çoğunun üstten

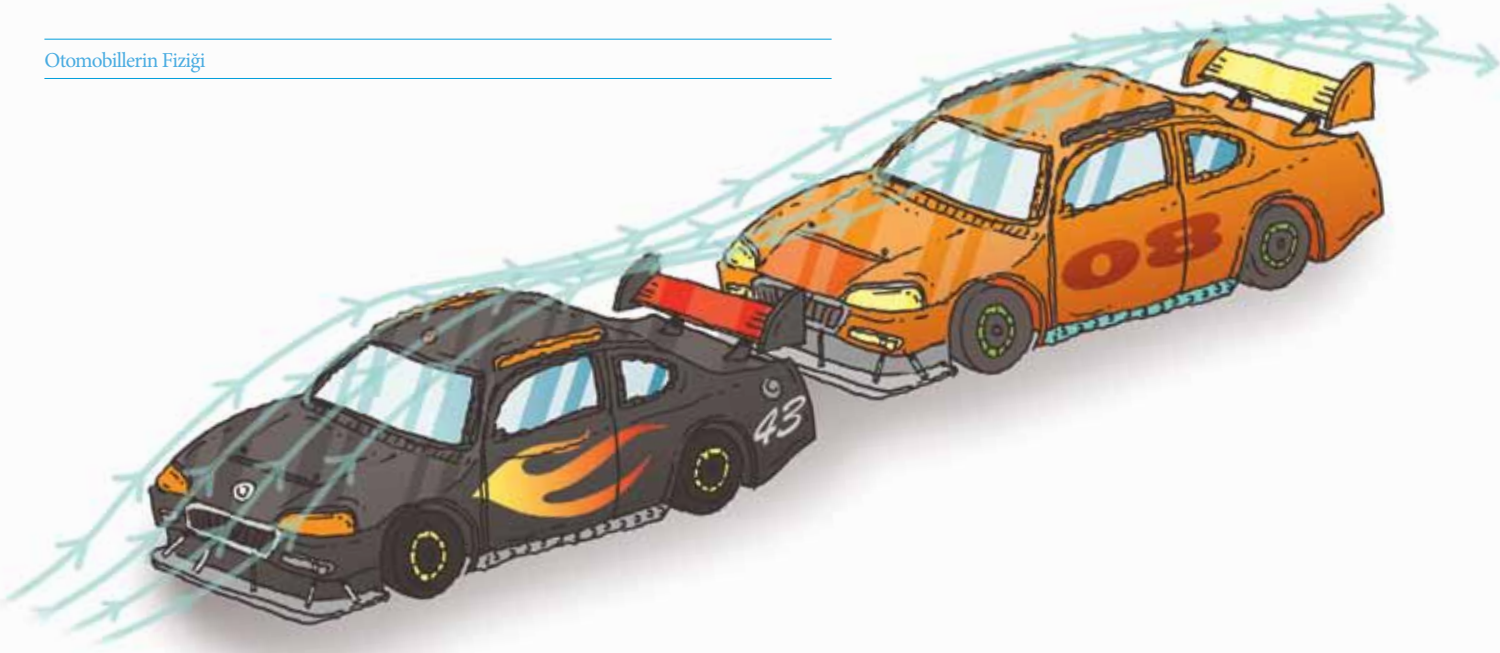


geçmesini sağlar. Arka kanat ise ters çevrilmiş uçak kanadına benzer. Uçak kanadı nasıl uçağı havalandırmaya yarıyorsa otomobildeki kanat da otomobilin yeri tutmasını. Aslında her iki mekanizma da otomobile doğru gelen havayı yarararak iki kanaldan akmasını sağlar. Bernouilli prensibine göre bir akışkanın uyguladığı basınç, moleküllerinin hızına bağlıdır ve molekül hızı azaldıkça basınç artar.

Üst kanala giren havanın hızı azalır. Yavaş hareket eden hava daha büyük basınç uygular.

>>>





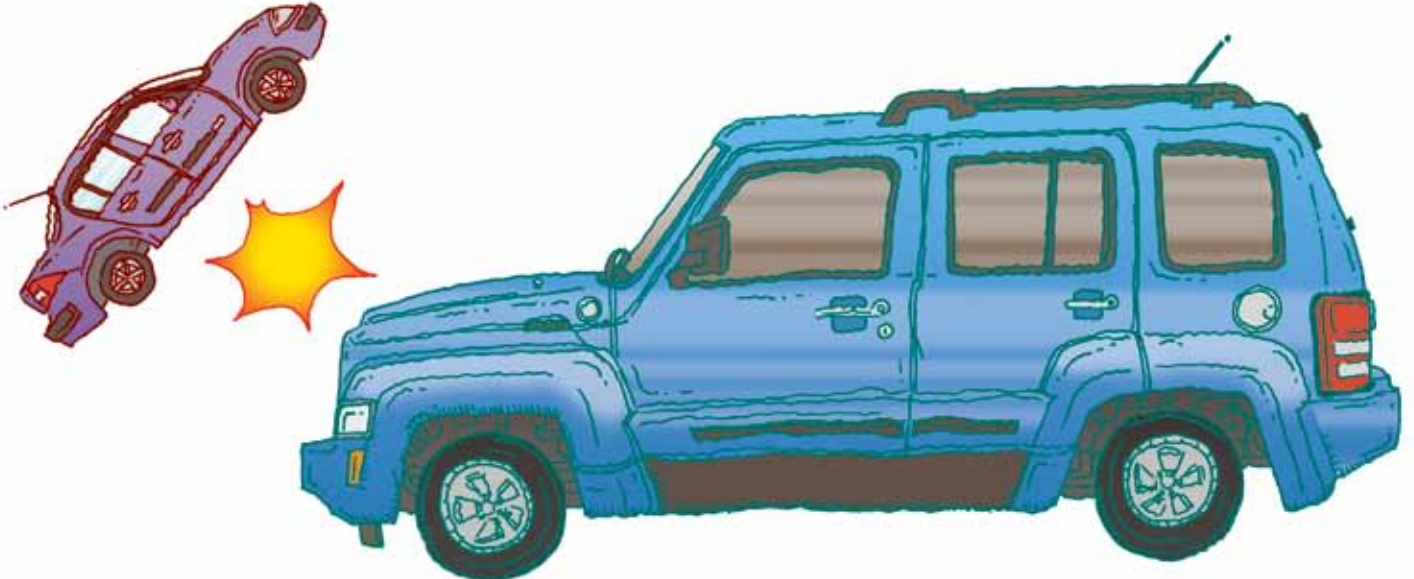
## Momentum ve Güvenlik

Üç kapılı küçük bir otomobil ile bundan iki kat daha ağır olan bir jipin çarpıştığını düşünün. Biliyoruz ki çarpışma öncesi ve sonrası toplam momentum korunur. O zaman jipteki hız değişimi 20 km/saat ise küçük otomobildeki hız değişimi 40 km/saat, jipin hız değişimi 30 km/saat ise küçük otomobilin ki 60 km/saat olacaktır. Yani hafif otomobil daha çok hız değişimine uğrayacak ve bu değişim kütle farkı arttıkça artacaktır. Kazalardaki ölüm riskinin hız değişiminin 4. kuvvetiyle arttığı söyleniyor. Yani yukarıdaki örnekte hafif otomobildeki kişilerin ölüm riski ağır otomobilledekilere göre 16 kat ( $2^4$ ) daha fazla. Yakıt verimlilikleri daha kötü olsa da ağır otomobillerin tercih edilmesine şaşmamak gerek. Zira daha güvenli. Tabii bu güvenlik sadece ağır otomobil kullanıcılarını kapsayan bir güvenlik. Trafik yasalarının

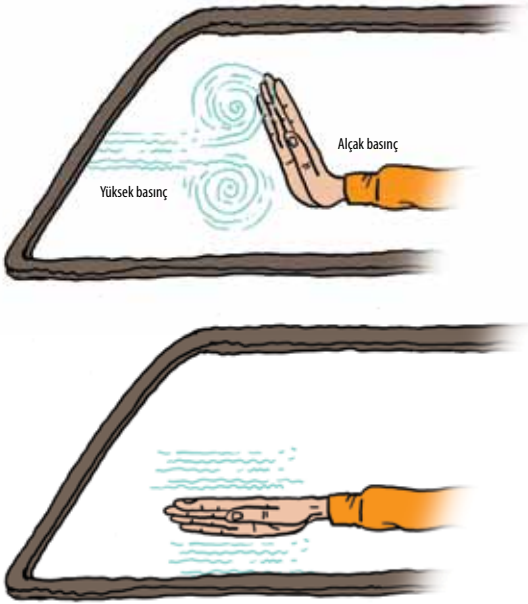
temelini fizik kanunları oluştursaydı, herhalde konulan trafik yasalarından biri sadece ağır otomobil kullanıcılarının değil de trafikteki herkesin güvenliğini sağlamak için yollardaki araçların kütlelerinin birbirinden farkının az olması gerektiğini belirten “momentum korunum yasası” olurdu. Neyse, siz siz olun ve kamyon, tır gibi büyük araçlardan uzak durun.

## Rüzgâra karşı

Otomobili hareket ettirmek ya da hızını artırmak için gaz pedalına basıldıkça, yakıttaki kimyasal enerji kinetik enerjiye dönüşür. Ancak istediğimiz hıza ulaştık da ayağımızı gaz pedalından çekmeyiz. Bunun nedeni otomobilin hareketini engelleyen kuvvetlerdir.



Hava direnci yani aerodinamik direnç, aracın hava içindeki hareketinden kaynaklanan bir kuvvettir. Aerodinamik direnci etkileyen, otomobilin aerodinamik yapısıdır. Otomobil hareket ederken yolu üzerindeki hava moleküllerini iter. Otomobilin ön kısmının alanı ne kadar küçük ise yoluna çıkan ve itilmesi gereken hava molekülleri o kadar az olur, haliyle aerodinamik direnç düşer. Ayrıca tasarımcılar otomobilin şeklini tasarlarlarken aracın hava içinde ne kadar kolay süzülüp süzülmediğini ölçüsü olan sürüklenme sabitini de düşük tutmaya çalışır. Hava direncinin iyi bir tasarımıyla dörtte bir oranında azaltılabildiğini biliyor muydunuz?



Elimizi hareket doğrultusunda dik tuttuğumuzda, elimizin yüzey alanı büyük olur ve rüzgârı daha çok hissederiz.

Otomobilin hızı arttıkça hava molekülleri ile olan sürtünme de artar ve sürtünmeyi yenmek için daha çok yakıt tüketmek gerekir. Yüksek hızlarda yakıt verimliliğinin düşmesinin en büyük nedeni, enerjinin çoğunun rüzgârın direncini kırmak için kullanılıyor olmasıdır. Birçok binek otomobil için yakıt verimliliğinin en düşük olduğu ideal hız 70 ile 100 km/saat arasında değişir. Bu hızın üstünde hava direnci hızla artar.

Peki yarış otomobillerinde dikiz aynalarının konumuna hiç dikkat etmiş miydiniz? Pürüzlü yüzeyler gibi, çıkıntılar da hava direncini artırdığı için aynalar daha iç kısımlara yerleştirilerek yüksek hızlarda oluşacak hava direnci azaltılmaya çalışılır.

Otomobil yarışı izleyicisiyseniz iki aracın aralarındaki mesafe birkaç santimetre olacak şekilde, bir-

likte hareket ettiğini fark etmişsinizdir. Peki bu size çok tehlikeli görünmüyor mu? Aslında dip dibe hareket, yarışçılara dezavantajdan çok avantaj sağlar. Öndeki araç önündeki hava sütununu yararak ilerlerken, arkadaki araç hali hazırda hava moleküllerinden temizlenmiş ortamda, hava direncine karşı enerji harcamadan yol alabilir. Bu birliklikten kârlı çıkan sadece arkadaki araç değil. Birbirlerine çok yakın olduklarından arkadaki araç zaman zaman öndekine hafifçe vurarak ona bedava enerji aktarır ve hızlanmasını sağlar. Bir süre birlikte yol alarak diğer otomobillere fark atmaya çalışan ikilinin bitiş çizgisine yaklaşırken karşılıklı fayda ilişkisini bozup birbirlerini geçmeye çalıştığına şahit oluruz.

## Tekerlekler

Birbirine dokunan iki yüzeyin birbirine göre bağıl hareketini engelleyen statik sürtünme kuvveti, yüzey diğeri üzerinde kaymaya başlayınca kinetik sürtünme kuvvetine dönüşür. Hareket halinde olan bir cismin hızını değiştirmek, duran bir cismi harekete geçirmekten daha kolay olduğu için kinetik sürtünme kuvveti statik olandan genelde daha küçüktür. Bir otomobil hareket halindeyken tekerleğin yolla temas ettiği nokta yer değiştirmedikçe göre her zaman enerjinin küçük de olsa bir kısmının statik sürtünmeyi yenmek için kullanıldığını söyleyebiliriz. Araba yol üzerinde kaymadığı sürece ise kinetik sürtünmeden söz edemeyiz. Peki tekerleğin hareketini engelleyen başka bir kuvvet var mı? Yuvarlanma direncini hiç duymuş muydunuz? Yuvarlanma direnci, tekerleğin yerle temas eden kısmındaki yassılıktan kaynaklanan ve hareketi engelleyen bir kuvvettir. Alt kısım ne kadar düz ise tekerlek o kadar zor yuvarlanır. Buna göre yuvarlanma direncini azaltmak için neler yapabiliriz? Birçoğumuzun aklına hemen iki şey geliyor. Biri otomobilin ağırlığını azaltmak, diğeri tekerleğin içindeki hava basıncını artırmak. Etkili bir tasarım ile yuvarlanma direnci düşürülebilir. Yeri gelmişken yuvarlanma direncinde % 5 oranında azalmanın % 1 oranında yakıt tasarrufu sağladığını da belirtelim.

Hem kinetik sürtünme hem de yuvarlanma direncinin tekerleğin sıcaklığını artıracığına şüphe yok. Yüksek hızda giden otomobilde tekerlek sıcaklığı 90 santigrat dereceyi bulurken bir yarış otomobilinde bu değer 160, 180 dereceye kadar çıkabiliyor. Zaten bu değerın üstünde tekerlek alev alıyor. Yarış otomobillerinde daha enli tekerlek kullanımı bir yandan otomobilin yeri tutuşunu artırırken bir yandan da ısının daha geniş bir alana yayılmasını sağladığı için tutuşma tehlikesini azaltır.





### Yarışan atlar

İlk benzinli otomobiller birkaç beygir gücüne, Henry Ford'un 1909 yapımı Model T'si ise 77 beygir gücüne sahipti. Şimdiki binek otomobillerin çoğu ise 150, 200 beygir gücü civarında. Tabii bu değer lüks spor otomobillerde 600'e hatta 1000'e kadar çıkıyor. Yarış pistlerindeki otomobillerin çoğu ise 800 beygir gücünde.

Beygir gücü tabirini ilk kullanan buharlı makinenin mucidi James Watt. Bir makinenin gücünü bir atın yapabildiği iş cinsinden ifade ederse o zamanın insanların kafasında bir şeyler canlanır diye düşünmüş Watt. Bir atın belli bir zaman aralığında bir yükü kaç metre taşıdığına dair ölçümler yapmış ve sonunda beygir gücünü (güç = birim zamanda yapılan iş), 75 kilogramlık yükü bir saniyede 1 metre taşımak için yapılan iş olarak tanımlamış. İlk başta değişik buhar makinalarını karşılaştırmak için kullanılan bu tabir sonraları elektrik motorları ve otomobiller için de kullanılmış.

Bir otomobil motoru yakıtın enerjisini ne kadar çabuk tekerleklere iletebiliyorsa o kadar güçlüdür. Ancak otomobilin beygir gücü tek başına bu bilgiye ulaşmak için yeterli değil. Zira motorun yaptığı krank milini döndürmek yani mile tork (döndürme kuvveti) uygulamak. Otomobilin beygir gücü, tork ile motorun devir sayısının çarpımına eşit. Haliyle motorun belli bir zaman aralığında yaptığı devir sayısı da önemli. Bazı binek otolarında krank mili bir dakikada 2500 defa dönerken bu sayı yarış otomobillerinde 10.000'e kadar çıkıyor. Otomobil motorlarını karşılaştırırken maksimum beygir gücünde çalışırkenki devir sayısına bakmak gerekiyor. Bir otomobil motorunun düşük devirde çalışırken yüksek tork uygulayabilmesi güçlü bir motor olduğunu gösterir ve düşük yakıt tüketimi sağladığı için şehir içi kullanıma daha uygundur.





## Otomobilin kütlesi

Duran bir otomobili harekete geçirmek ya da belirli bir hızda giden otomobilin hızını istenen bir son hıza ulaştırmak için gereken enerjinin, otomobilin kütlesiyle doğru orantılı olduğunu biliyoruz. Yani otomobil ne kadar hafifse o kadar az enerjiye ihtiyaç var. Tabii hafif otomobilin tek avantajı yakıt verimliliği değil. Düşük kütleli bir otomobilde küçük tekerlekler kullanılabilir, ki bu da yuvarlanma direncini düşürür. Hafif otomobilde büyük şasiye ve büyük fren sistemine de gerek yok.

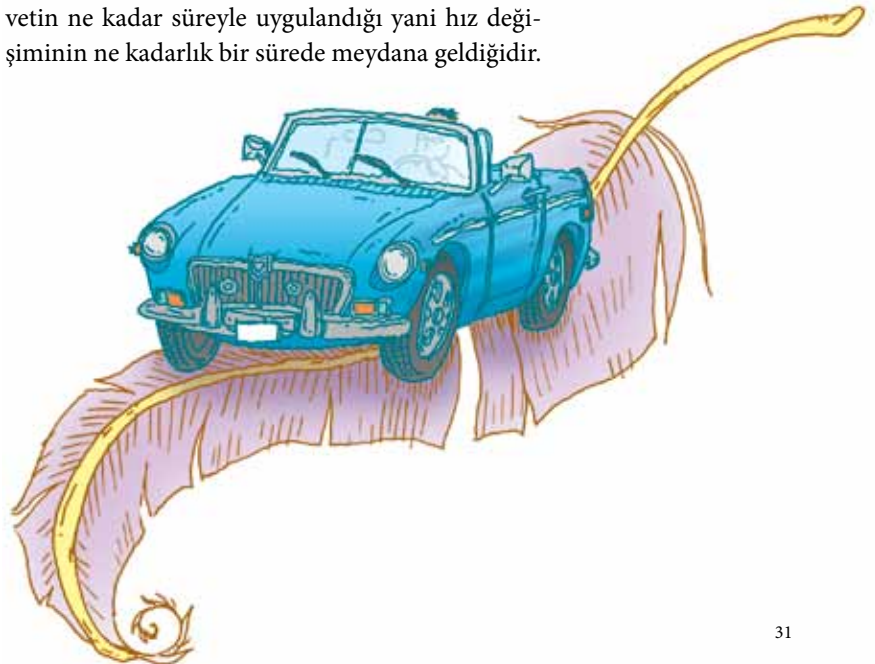
Otomobillerin büyüklüğünü azaltmadan kütlelerini azaltmak için değişik yöntemler araştırılıyor ve uygulanıyor. Uygulanan yöntemlerden biri metal yerine köpük dolgu ile takviyeli metal levhalar kullanılmak. Bir diğeri ise çelikten % 70 daha hafif ve dayanıklı olduğu için özellikle havacılık ve uzay sanayisinde tercih edilen karbon fiber malzemeleri otomobil gövdesine taşımak. Karbon kompozit kullanımı otomobilin kütlesini 3-5 kat azaltabilir. Hali hazırda bazı otomobil parçalarında karbon kompozitler kullanılsa da, hem çeliğe göre daha pahalı olması hem de parça birleştirme işleminin daha zahmetli olması gibi nedenlerle otomobil gövdesinde henüz karbon kompozitler kullanılmıyor. Otomotiv endüstrisi -sağlayacağı yakıt verimliliğini göz önüne alarak- her şeye rağmen otomobillerde metal yerine karbon fiber kullanmak gibi radikal bir değişikliğe gitme kararı alsa da, dünyada büyük ölçekte karbon fiber üreten birkaç firma olduğu için böyle bir talebin karşılanamayacağı biliniyor.

## Yüksek hızda ani fren mi? Aman dikkat!

Ölümcül yaralanmalara neden olan yüksek hız değil, ani hız değişimleri. Ani hız değişimlerinde iç organlarımızın ve dokularımızın maruz kaldığı kuvvet, kütleçekimi ivmesi cinsinden ifade ediliyor. Bu kuvvete g-kuvveti de deniyor, ama aslında g kuvveti değil;  $9,8 \text{ m/s}^2$  olan kütleçekimi ivmesi. Kütleçekimi kuvvetini Dünya'nın merkezine doğru olan ivmelenme olarak tarif etsek de Newton hareket kanunlarına göre kuvvet ve ivme farklı şeyler. Ancak g-kuvveti tabirini hoş görmek isteyen birinin işi çok da zor değil. Einstein'ın yıllar önce ifade ettiği gibi, üzerimize etki eden çekim kuvvetini ivmeden ayırmadığımız gerçeği bu tabiri haklı çıkarmaya yetiyor.

Şimdi gelelim ivmenin ölümcül olabilecek sonuçlarına. Diyelim otomobiliniz saate 90 km (saniyede 25 metreye karşılık geliyor) hızla yol alırken aniden önünüze bir engel çıkıyor ve engele çarparak 0,5 saniye içinde duruyorsunuz. Böyle bir talihsiz kaza sonucu ivmeniz  $25/0,5=50 \text{ m/s}^2$  olur. Bu değeri 9,8'e bölerek 5,1g'lik bir ivmeye karşılık geldiğini buluruz. 1g'lik bir kütleçekimi ivmesinde her şeyi normal hissederiz. 2g'lik ivme altında ise her şey iki kat, 5,1g'lik ivme altında her şey 5,1 kat daha ağırdır. Astronotlar 0g'lik ortamda kendilerini kütesiz hisseder.

Bir sürücünün hız değişimi sırasında üzerine ne kadarlık bir kuvvet etki ettiğini bulmak için sürücünün kütlesi ile otomobilin ivmesini çarpabiliriz. Bu durumda kütleçekiminin 1 kilogramlık kütleyle 9,8 Newton kuvvet uyguladığını hemen söyleyebiliriz. Biyolojik hasar söz konusu olduğunda maruz kalınan kuvvetten daha belirleyici olan, kuvvetin ne kadar süreyle uygulandığı yani hız değişiminin ne kadarlık bir sürede meydana geldiğidir.



Örneğin frene bastığımız andan tam durma noktasına kadar geçen süreyi iki katına çıkarırsak hissedilen kuvvet yarıya iner. Uzun süre maruz kalınan 4-5g'lik bir kuvvet ölümcül olabilirken bir saniyeden daha az sürmesi durumunda birçoğumuz en fazla bulantı ve baş dönmesi yaşarız. Lunarklardaki eğlence trenlerindeki dik inişlerde hissettiğimiz kuvvet de 3-4 g'lik ama kısa süreli olduğu için tahammül edebiliyoruz. 100 g'lik bir kuvvet ise akciğer atardamarını kalbizden söküp alacak kadar kuvvetli.

## Dönerken

Buzlu yolda dönmek neden zordur? Çünkü otomobilin dönmesini sağlayan yol ile tekerlek arasındaki sürtünme kuvvetidir. Buzla kaplanan yolun tekerlekle arasındaki sürtünme kuvveti azalmış, otomobilin dönmesini sağlayan kuvvet azaldığı için de dönüş zorlaşmış olur. Sürtünme kuvveti dönüş sırasında otomobilin savrulmasını engelleyen kuvvettir. Bunu başarabilmesinin nedeni, yönünün virajı bir çembere tamamladığımızda oluşan çemberin merkezine doğru olmasıdır.

Peki dönüşlerde kuvvet merkeze doğru ise biz niye çemberin dışına doğru savruluruz? Bunun nedeni otomobilin ve dolayısıyla otomobilin içindeki yolcuların merkezci kuvvete ters yönde bir kuvvetin (merkezkaç kuvvetinin) etkisi altında olması değil. Döner arabanın bulunduğu referans

sistemi için böyle bir kuvvet yoktur, ancak bu sistemde bulunanlar sanal bir kuvvetin etkisi altında oldukları hissine kapılır. Ancak sola dönerken sağa savrulmamızın (ya da tersi) asıl nedeni, hareket durumumuzu koruma eğiliminde olmamız olarak tarif edilen eylemsizliğimizdir. Newton'un ikinci hareket yasası, bir cisme etki eden kuvvet ile cisimde meydana gelen hız değişimi arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu ilişki, kütlesi büyük bir cisimde hız değişimi meydana getirmek için daha çok kuvvet uygulamamız gerektiğini söyler. Bu aynı zamanda şu anlama da gelir: Bir cismin kütlesi ne kadar fazla ise hız değişimine o kadar çok direnç gösterir. Yani bu yasa eylemsizlik prensibini içerir. Otomobil dönerken hız değişimi merkeze doğru olduğundan, hem otomobil hem biz merkezin dışına doğru savrulurken bu değişime direnç gösteririz.

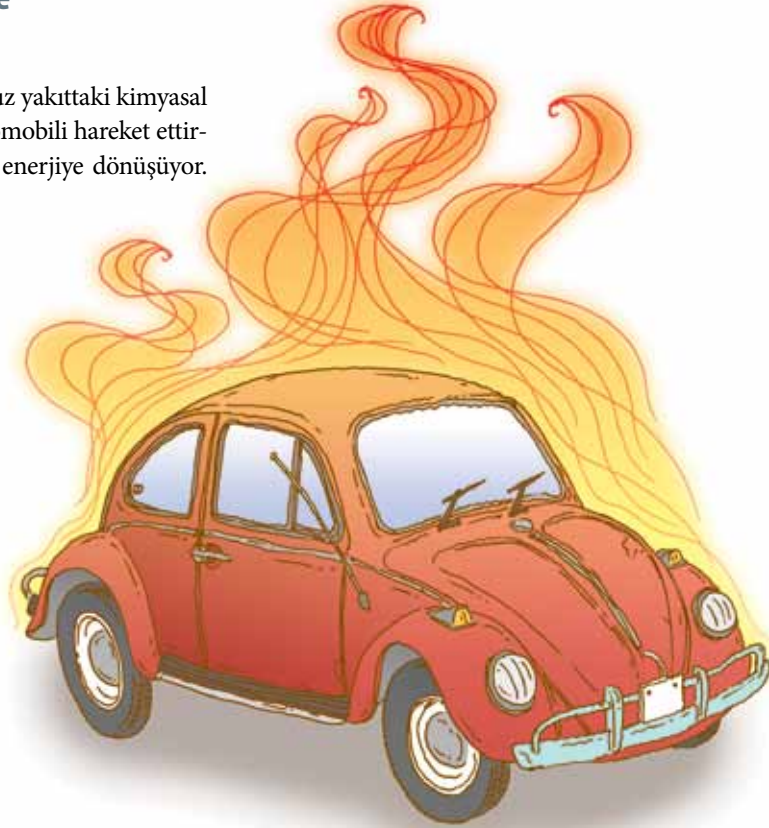
Virajlarda araçların devrilmesinin nedeni de budur. Peki tır, kamyon gibi yüksek araçların devrilme riski neden fazladır? Yatay konumdaki bir kalemi bir parmağınızın üzerinde dengede tutmaya çalışmışsınızdır. Parmağınız tam kütle merkezinin altında değilse kaleminiz uzun olan taraf üzerine devrilir. Moment kolu ne kadar uzun ise tork (döndürme kuvveti) o kadar fazladır. Kamyonet, minibüs gibi yüksek araçların kütle merkezi daha yukarıda, haliyle tekerleklerden daha uzakta olduğu için dönüş sırasındaki moment kolu uzundur ve daha kolay devrilirler.



## Motordan tekerleklerle iletilemeyen enerji

Benzin deposuna koyduğunuz yakıttaki kimyasal enerjinin ancak % 10 kadarı otomobili hareket ettirmede kullanılıyor, yani kinetik enerjiye dönüşüyor.

Peki enerjinin geriye kalan % 90'ına ne oluyor?



Hareketli piston yanma odasındaki hava yakıt karışımını her sıkıştırdığında ortaya büyük bir ısı çıkıyor. Ancak bu ısının hepsi maalesef hareket enerjisine dönüşmüyor. Isının yanma odasının duvarlarından sızmasıyla meydana gelen ısı kaybı hayli fazla, ki bu durum bir kıvılcım ateşlemeli benzin motorunun termodinamik verimliliğini % 38'lere kadar düşürüyor. Tabii verimi düşüren sadece atıl kalan ısı enerjisi değil. Sıkıştırma oranı, ateşleme zamanının ayarı, silindirin iç duvarlarına uygulanan kaplama ile sürtünmenin ne kadar azaldığı, yanma odasının tasarımı, yanma odasında yanmadan kalan yakıt miktarı termodinamik verimliliği doğrudan etkiliyor. Isı enerjisinin hareket enerjisine dönüşümü zor ve bir o kadar da verimsiz iken, neden kimyasal enerjiyi doğrudan hareket enerjisine dönüştürmüyor ya da alternatif teknolojiler kullanmıyoruz da önce ısı enerjisine dönüştürüyor sonra ısı enerjisini harekete çeviriyoruz? Bu yerinde sorunun gelecek ayki yazımızın konusu olacağı haberini verdikten sonra şimdilik kısa bir şeyler söyleyelim. Arada termodinamik bir süreç olmadan yakıtı, örneğin hidrojeni elektriğe dönüştüren yakıt hücresi kullanımı araştırılan ve geliştirilen teknolojilerden. Tabii yeri gelmişken bu hücrelerin çok da basit olmadığını ve pahalı olduğunu hemen belirtelim.

Söz konusu yakıt verimliliği olunca otomobilin mekanik verimliliği termodinamik verimlilik kadar önem kazanıyor. Çünkü toplam verimlilik tüm verimliliklerin çarpımına eşit. Enerji, tekerleklerle kadar olan mekanik aksamda sürtünmeden dolayı kaybedile kaybedile hatırı sayılır oranda düşüyor. Birçok otomobilin mekanik verimliliği % 45 civarında. Otomobildeki enerjiyi mekanik bir aksamla değil de elektrikle iletsek, mekanik aksam olmadığından mekanik kayıp da olmaz. Ancak yine % 100 de verimliliğe ulaşamayız. Bu sefer de elektriğin letimi sırasında, batarya ve motorda kayıplar söz konusu olduğundan toplam verimlilik azalır. Elektrikli otomobillerde ağır ve büyük piller kullanıldığı için de kütle artışından dolayı verimlilik düşer. O zaman elektrikli otomobiller çok daha verimli. Ancak elektrikli otomobillerde büyük ve ağır piller kullanıldığı için kütle artışından dolayı toplam verimlilik düşüyor. Peki bu noktada hibrid otomobiller bir çözüm olabilir mi? Hidrojenli, elektrikli ve hibrid otomobil teknolojilere değineceğimiz gelecek yazımızda buluşmak üzere.

**Çizimler:** Barış Hasırcı

**Kaynaklar**  
Science of Speed Belgesi, 2009 yapımı,  
National Science Foundation :  
[http://www.nsf.gov/news/special\\_reports/sos/index.jsp](http://www.nsf.gov/news/special_reports/sos/index.jsp)

Ask a Scientist Arşivi, Argonne National Laboratory  
Marc H. Ross, Fuel Economy and the  
Physics of Automobiles, Contemporary  
Physics 38, 6, s 381-394, 1997