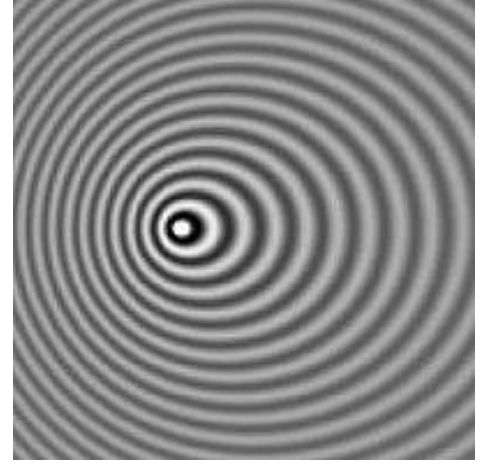


Doppler Etkisi veya Olayı

Hidayet TERECİ - www.fencebilim.com

Merkezi bir dalga kaynağı sola doğru hareket ederken hareket yönü doğrultusundaki dalgaların frekanslarının zıt yöndeki dalgaların frekanslarından daha yüksek olduğu görülüyor.

Doppler etkisi (veya Doppler kayması), adını ünlü bilim insanı ve matematikçi [Christian Andreas Doppler](#)'den almakta olup, kısaca dalga özelliği gösteren herhangi bir fiziksel varlığın frekans ve dalga boyu'nun hareketli (*yakınlaşan veya uzaklaşan*) bir gözlemci tarafından farklı zaman veya konumlarda farklı algılanması olayıdır.



Herhangi bir A konumundan B konumuna gitmek için fiziksel bir dalga ortamına ihtiyaç duyan dalgalar (örn. ses dalgaları veya su dalgaları) için Doppler Etkisi hesaplamaları yapılırken, dalga kaynağı ve gözlemcinin birbirine göre konum, yön ve hızlarının yanında dalganın içinde veya üzerinde hareket ettiği dalga orta yapısı (yoğunluk, hacim, iletkenlik katsayısı, kimyasal özellikleri, vb.) dikkate alınmak zorundadır. Eğer söz konusu dalga herhangi bir A konumundan B konumuna gitmek için fiziksel bir dalga ortamına ihtiyaç duymuyor ise (örn. ışık, radyo dalgaları veya radyasyon), Doppler Etkisi hesaplamalarında sadece dalga kaynağının ve gözlemcinin birbirine göre birim zamandaki konumlarının değerlendirilmesi yeterlidir.

Bunaltıcı ve sıcak yaz havalarında, sayıları her geçen gün artan sivrisineklerin sesinin uzağınızda iken kalın, yakınınızdayken tiz olduğunu fark etmişsinizdir. Peki, bunun nedenini biliyor musunuz?

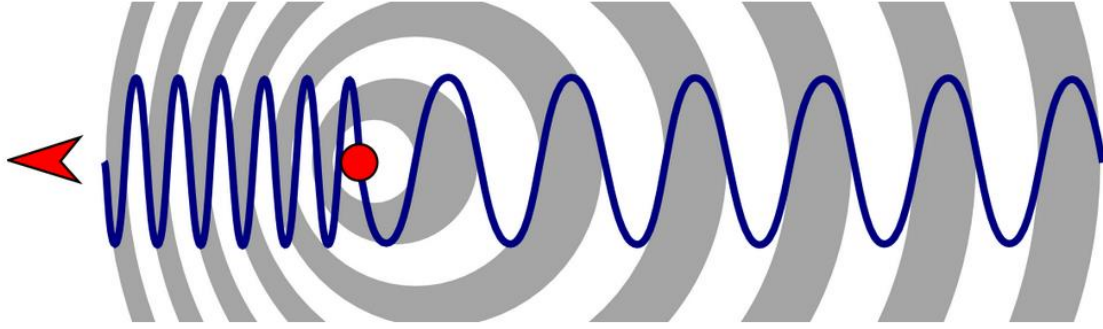
Yandaki resimde görüldüğü gibi bir itfaiye aracının siren sesi bayan tarafından pes, erkek tarafından ise tiz olarak duyular. Kaynağın frekansı değişmediği halde farklı frekanslarda algılanması **Doppler Etkisi** olarak bilinir.



► Ses Dalgalarında Doppler etkisi nasıl gerçekleşir?

Bir ses kaynağı durağan bir gözlemciye doğru hareket ettiğinde gözlemci, [sesi](#) mesafe değişimi ile daha farklı algılar. Örneğin biz hareketsizken, hareket halindeki sivrisinek bize yaklaştıkça ses dalgalarının aldığı yol kısalır. Böylece ses dalgaları daha küçük dalga boyları ile yayılır ve daha sık aralıklarla ses dalgalarına maruz kalarak çok **tiz** bir ses duyarız.

Yani sesin frekansı, dolayısıyla yüksekliği arttığı için ses tizleşir. Ancak, bu durum sivrisineklerin sesinin rahatsız edici gerçeğini değiştirmmez.



$$f_D = 2 \times (v / \lambda)$$

f_D = Doppler frekans

λ = Gönderilen sin. dalga boyu

v = Hedefin hız

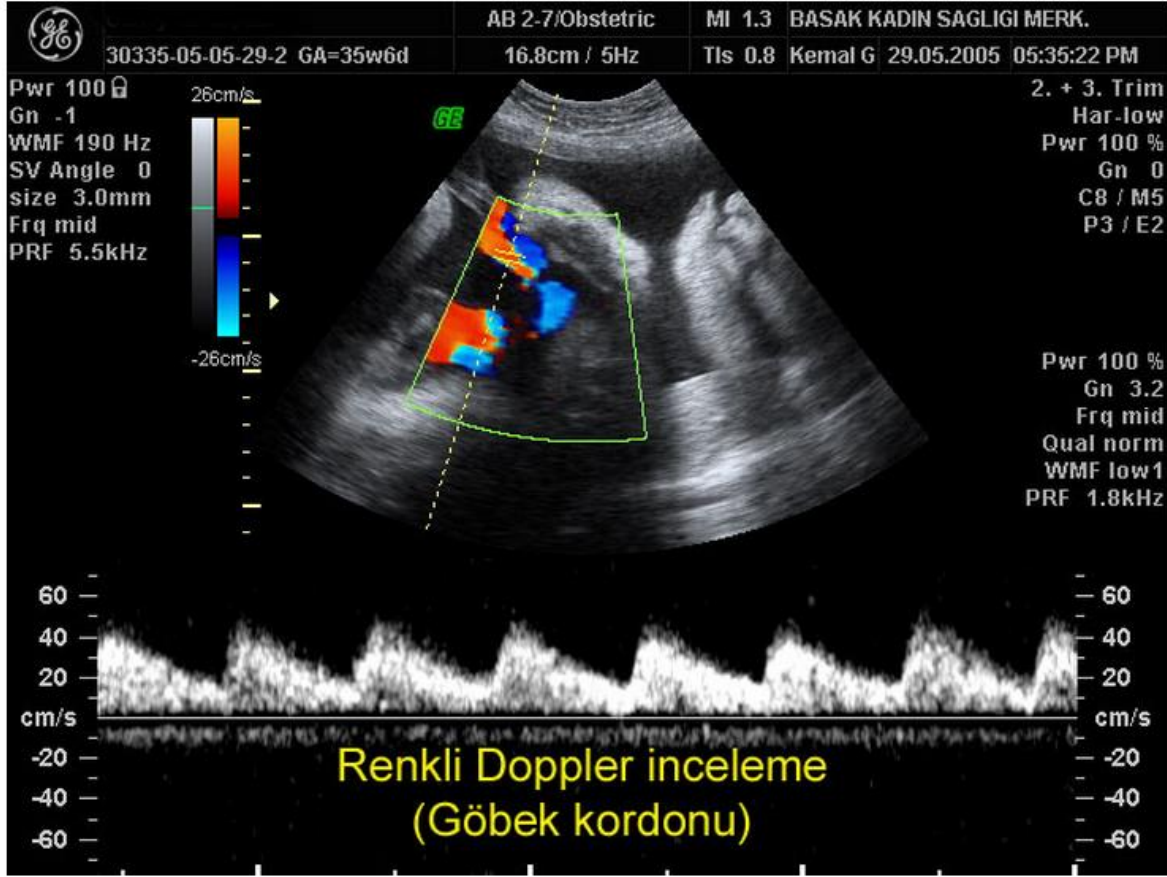
Benzer bir örnekle hareket halindeki bir arabanın bize yaklaşırken duyduğumuz sesin frekansının artarak tizleşmesi, uzaklaşırken ise frekansın azalması ile sesin pesleşmesi, ses dalgalarındaki doppler etkisini açıklamaktadır.

Tarihçe

Doppler etkisi ilk olarak 1842 yılında Avusturyalı bilim insanı **Christian Andreas Doppler** tarafından (*ber das farbige Licht der Doppelsterne und einige andere Gestirne des Himmels* söylemi ile) matematiksel bir hipotez olarak ortaya atılmıştır. 1845 yılında Hollanda'lı fizikçi Christophorus Ballot tarafından ses dalgaları kullanılarak test edilmiş ve "ses kaynağı kendisine yakınlaşırken duyduğu frekansın yükseldiğini, uzaklaşırken ise düştüğünü ispatladığının" söylemesi ile resmen onaylanmıştır. Aynı etki Ballot veya Doppler'dan bağımsız olarak 1848 yılında Fransız fizikçi Hippolyte Fizeau tarafından elektromanyetik dalgalar üzerinde de keşfedilmiştir. Bu yüzden nadiren de olsa bazı bilim çevrelerince **Doppler-Fizeau etkisi** olarak da bilinir.

► Ses dalgalarında doppler etkisinden nasıl faydalanılabilir?

Ses dalgalarındaki doppler etkisinin **teknoloji** ile buluştuğu en önemli alanlardan biri de hastalıkları teşhis etmede kullanılan **ultrasonografidir**. X ışını kullanılmayan bu yöntemin temelini ses dalgaları oluşturur. Ultrason cihazı, insan kulağının duyamayacağı **yüksek frekanslı** ses dalgaları gönderir. Dokulardan geri dönen ses dalgalarını, cihazın prob denen kısmı yakalar ve görüntü oluşumu gerçekleşir. Bu tanı yönteminde incelenecek olan bölgeye jel sürülmesinin nedeni ise bölge-cihaz arasındaki havadan ses dalgalarının etkilenmesini engellemektir.



Matematiksel Çözümleme

Doppler etkisi konusunda bilinmesi gereken en önemli husus, her ne kadar gözlemci dalga frekansının kendi hareketi ya da dalga kaynağının hareketi yüzünden değiştiğini görse de, aslında kaynağın yaydığı dalganın frekansının sabit kaldığı gerçeğidir. Tam olarak ne olduğunu daha iyi anlamak için şöyle bir örnek üzerinde düşünelim: Siz yerinizde ve hareketsizsiniz. Bir arkadaşınız sizden 10 metre uzakta duruyor ve size her saniyede bir elindeki tenis toplarından birini fırlatıyor. Burada arkadaşınızın topları her seferinde aynı doğru boyunca ve aynı hızda attığını varsayalım. Eğer arkadaşınız da hareketsiz ise her saniyede bir 10 metre yol kateden tenis toplarından biri size ulaşacaktır. Şimdi arkadaşınızın yine her saniyede bir top fırlattığını (yani aslında top fırlatma frekansı değişmiyor), ancak bu sefer size doğru yürümeye başladığını öngörelim. Bu durumda size ulaşan iki top arasındaki süre 1 saniyeden daha kısa olacaktır, çünkü toplar her seferinde 10 metre, 9 metre, 8 metre şeklinde daha az mesafe katettikten sonra size ulaşacaktır. Elbette aynı etkinin zıddı arkadaşınız sizden uzaklaşırken de geçerli olacaktır. Bir başka deyişle, toplar arkadaşınızın elinden her zaman saniyede bir çıktığı halde, sizin ya da arkadaşınızın hareketi yüzünden size azalan ya da artan zamanlarda ulaşacaktır. Bu da doğal olarak arkadaşınızın size topu farklı zamanlarda fırlattığını düşünmenize sebep olur. Yani aslında Doppler Etkisi'nde "etkilenen" asıl fiziksel değişken dalga boyu'dur. Elbette dalga boyu ile frekans ters orantılı olduğundan gözlemciye göre dalga kaynağının frekansı da değişiyor gibi görünür.

Eğer (f_0) frekansında dalga yayan hareketli bir kaynak bu yayılımı sadece kendinin ve bir gözlemcinin bulunduğu sabit bir dalga ortamında yapıyorsa, o zaman bu dalga ortamına göre hareketsiz olan bir gözlemcinin göreceği frekansı (f) bulmak için:

$$f = f_0 \left(\frac{v}{v + v_{s,r}} \right)$$

formülü kullanılır. Burada (v) dalga ortamındaki dalgaların hızı, ($v_{s,r}$) ise kaynağın sabit olan dalga ortamına göre (eğer gözlemciye doğru hareket ediyorsa (-) eksi bir değer, gözlemciden uzaklaşacak şekilde hareket ediyorsa (+) artı bir değer) hızıdır. Benzer bir analiz sabit bir dalga kaynağı ile hareketli bir gözlemci için aşağıdaki gibidir. (v_0) = Gözlemcinin dalga ortamına göre hızı.

$$f = f_0 \left(1 - \frac{v_0}{v} \right)$$

Yukarıdaki örnekte de gördüğümüze benzer şekilde, bu sefer gözlemcinin dalga kaynağından uzaklaşması durumunda (v_0) değeri (+) artı, yaklaşması durumunda ise (-) eksi olur.

Matematiksel olarak bu iki formül elbette tek bir vektörel eşitlik olarak genelleştirilebilir. Koordinat sisteminin dalga ortamı üzerindeki herhangi bir noktanın konumunu verdiğini ve bu ortamda ses hızı'nin (c) olduğunu varsayalım ve söz konusu ortamda (S) kaynağının (\mathbf{V}_s) hızıyla hareket edip çevresine (f_s) frekansında dalgalar yaydığını öngörelim. Bu dalga ortamında bir de (\mathbf{V}_r) hızıyla hareket eden bir (R) gözlemcisi olsun. Dalga kaynağı (S) ile gözlemci (R) arasındaki matematik vektörün ise (\mathbf{n}) olduğunu öngörelim. (Yani $\mathbf{r}_r - \mathbf{r}_s = \mathbf{n}|\mathbf{r}_r - \mathbf{r}_s|$)

Bu durumda gözlemcinin algılayacağı frekans (f_r):

$$\frac{f_r}{f_s} = \frac{1 - \mathbf{n} \cdot \mathbf{v}_r / c}{1 - \mathbf{n} \cdot \mathbf{v}_s / c}$$

eşitliğinden bulunabilir. Eğer $v_s \ll c$ ise, o zaman algılanan frekanstaki değişim daha çok dalga kaynağı ve gözlemcinin birbirine göre hızlarına bağlı olur:

$$\frac{f_r}{f_s} \approx 1 - \mathbf{n} \cdot (\mathbf{v}_r - \mathbf{v}_s) / c$$

Veya alternatif olarak:

$$\frac{f_r - f_s}{f_s} = \frac{\Delta f}{f_s} \approx -\mathbf{n} \cdot (\mathbf{v}_r - \mathbf{v}_s) / c$$

Doppler'in bu analizinin ışık ışınları için de geçerli olabilmesi için yapılan ilk çalışma Hippolyte Fizeau tarafından yürütülmüştür. Ancak ışık A noktasından B noktasına gidebilmek için belli bir dalga ortamına gerek duymaz (örneğin sonsuz boşluk olan uzayda kolayca yol alır) ve Doppler Etkisi'nin ışık ışınlarına nasıl doğru bir şekilde uygulanabileceğinin anlaşılabilmesi için Einstein'ın Özel Görelilik (izafiyet) teorisinin kullanımına ihtiyaç vardır.

Kozmolojik alanda kullanımı

Doppler kayması ve kozmolojik gelişimde yıldız ışınlarının önemli katkıları olmuştur. Yıldızların hızları doppler kayması sayesinde saptanmaktadır. Spektrum Atomların ya da moleküllerin yayınladığı ışınımdır. Bunlar ışınımın çok dar frekans bandı aralıklarıdır. Edwin Hubble doppler kaymasının uygulamasını yapmıştır. Birçok yıldızın spektrumunu incelemiştir. Dünyaya uzaklıkları hakkında yıldızların parlaklıklarını kullanarak tahminde bulunmuştur. Yıldızların çoğunun spektrumunun kırmızıya kaydığını ve bu sonuçla yıldızların olduğu galaksilerin bizden uzaklaştığını söylemiştir. Bunun yanında uzaklaşma hızlarının Dünya'ya olan uzaklıklara orantılı olduğunu da söylemiştir. Hubble kanunu sayesinde doppler kaymasının ölçümleri ile birlikte galaksilerde olan uzaklıkların hesaplanması olanağı sağlamıştır. Astronomlar kırmızıya kaymaların olduğu radyasyon kaynakları (örnek olarak yıldız benzeri cisimler sayılabilir). Bu kaynakların çok fazla enerji yaydığını söylemişler. Bu enerjinin maddelerin aşırı ivme kazanmasından dolayı böyle bir büyüklükte bir ışınımın neden olduğu belirtilmiştir.

Kaynakça

1. Effects of Red Shifts on the Distribution of Nebulae, Hubble, Edwin, Astrophysical Journal, vol. 84, p.517, The SAO/NASA Astrophysics Data System
2. Red-shifts and the distribution of nebulæ, Hubble, Edwin, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 97, p.513, The SAO/NASA Astrophysics Data System
3. Temel Fizik, Cilt 2, Prof. Dr. CENGİZ YALÇIN
4. FİZİĞİN TEMELLERİ MEKANİK VE TERMODİNAMİK, Prof.Dr. Cengiz YALÇIN.
5. <http://www.elektrikport.com/>
6. Wikipedia, Özgür Ansiklopedi.