

GÜNLÜK YAŞAMDA DOPPLER ETKİSİNİN KULLANIM ALANLARI

Alaaddin Revaha KÜRÜN

ÖZET

Bu çalışmada, herhangi bir kaynak ile gözlemci arasındaki mesafe değişimi sonucunda, yalın veri ile gözlemcinin algıladığı veri arasındaki değişim incelenmeye çalışılmıştır. Veri olarak ses, ışık gibi herhangi bir ortam içinde belirli değişkenlere göre bazı özellikleri değişebilen enerji biçimleri üzerinde incelemeler yapılmıştır. Sesin sıcaklık, bağıl nem, ortam yoğunluğu, rakım gibi değişkenler ile hız değişikliği gösterdiği formüller ile gösterilmeye çalışılmıştır. Sabit bir frekans ile ses üreten bir kaynak ile gözlemci arasındaki mesafe değişimi sonucunda gözlemcinin algıladığı sesteki frekans farkı gösterilmeye çalışılmıştır. Değişken frekanslarda ses üreten bir kaynak ile gözlemci arasındaki mesafe sonucunda gözlemcinin algıladığı sesteki frekans farkı gösterilmeye çalışılmıştır. Doppler etkisi ile sağlık, müzik, astronomi, denizaltı teknolojisi ve savunma sanayi teknolojileri gibi bazı konularda ne gibi faydalar sağlanabildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Müzik, ses hızı, frekans, duyum, müziksel algı, doppler efekti.

FIELDS OF USE OF DOPPLER EFFECT IN DAILY LIFE

ABSTRACT

In this study, as a result of the change in distance between any source and observer, the change between lean data and the data perceived by the observer is investigated. Data has been examined on energy forms which can change some properties according to certain variables in any environment such as sound and light. It has been tried to show with the formulas that the sound changes with the variables such as temperature, relative humidity, ambient density and altitude. Likewise, the variables that affect the light were tried to be shown. As a result of the change in distance between a source that produces sound with a fixed frequency and the observer, the frequency difference in the sound perceived by the observer is tried to be shown. As a result of the distance between a source that produces sound at variable frequencies and the observer, the frequency difference in the sound perceived by the observer is tried to be shown. The benefits of Doppler effect on health, music, astronomy, submarine technology and defense industry technologies were observed.

Key Words: Music, sound velocity, frequency, sensation, musical perception, doppler effect.

GİRİŞ

Her şeyin temelinde bir tetikleyici ve tetikleyicinin oluşturduğu hareket bulunmalıdır ve insanoğlu bu düşünceyle yaratılışı açıklamaya çalışmaktadır. Bigbang teorisi de bu etkiyi incelemeye çalışmaktadır. Bununla ilgili olarak Nikola Tesla “Eğer, Evreni anlamak istiyorsan; enerji, frekans ve titreşim üzerine düşün.” demiştir.

Hareket; herhangi bir şeyin nasıl hareket ettiğini inceleyen bilimdir. Yaklaşık 300 yıl önce Isaac Newton tarafından tüm nesnelere 3 temel yasaya göre (atalet yasası, kuvvetler yasası ve roketler yasası) hareket ettiği keşfedilmiştir ve fiziğin diğer dallarına bakıldığında bu 3 temel yasa ile birçok soru cevaplanabilmektedir. Bu yasalar ile evrendeki her şeyin nasıl hareket ettiğini anlaşılmakta ve açıklanabilmektedir (İ.K.1).

Hareket olayı ile sadece basit olarak fiziksel hareketleri değil, sürekli bir etkiye maruz kalan atom parçacıklarının ve moleküllerin hareketini de düşünerek olayı daha geniş çaplı irdelemek gerekmektedir. Titreşim olayı da atom parçacıkları ve molekül hareketlerinin bir örneğini oluşturmaktadır.

“Herhangi bir cisme uygulanan etki etrafındaki ortamın titreşmesine neden olur. Bu titreşimlerin oluşturduğu dalgalar ortamda ilerleyerek yayılmaktadırlar” (İ.K.2).

Moleküllerin birbirlerini herhangi bir yönde itmesi ve o yöne doğru titreşerek hareket etmesi, oluşan dalgaların da aynı yönde ilerlemesi ve hareket etmesini sağlamaktadır.

“Herhangi bir dalgayı karakterize etmek için kullanılan başlıca dört parametre vardır: Frekans, yayılma hızı, basınç genliği, dalgaboyu” (Önen, 2008: 78).

Hareket halindeki dalgaların uzunluk, zaman, ilerleme hızı gibi farklı yönlerde özellikleri tespit edilmiştir. Dalgayı karakterize etmek için kullanılan parametreler üç kategoride değerlendirilir.

1. Zaman Cinsinden Özellikler

Frekans: “Bir saniyelik süre içinde oluşan titreşim sayısı olarak tanımlanmıştır” (Zeren, 2003: 17). “Sesin birim zamandaki (genellikle saniye) titreşim sayısına “frekans” denir. Birimi ise Hertz (Hz)dir. Frekans f ile gösterilir” (İ.K.12). Herhangi bir çalgı aletinin telinin 1 saniyelik süre içerisinde 440 defa titreşmesi yani frekansının 440 Hz olması anlamına gelmektedir.

Periyot: “Parçacığın hareketinin bir tam devri tamamlaması için geçen süredir. Bir tam salınım için geçen süredir. Frekans ile ters orantılıdır. T ile gösterilir” (İ.K.11).

2. Uzunluk Cinsinden Özellikler

Dalga Kaynağı: “Maddeye etki eden kaynağa yani dalgayı meydana getiren etkiye dalga kaynağı denilmektedir” (İ.K.5). Yani titreşimi oluşturan kaynaktır denilebilir.

Genlik: “Periyodik hareketteki maksimum düzeye genlik denir. Bir dalganın en tepesinden, dalga çukuruna kadar olan düşey uzunluğun yarısı genliktir” (İ.K.9). “Dalgaların dikey büyüklüğünün bir ölçüsüdür. Dalgaları oluşturan sıkışma ve genleşmeler arasındaki fark, dalgaların genliğini belirler. Dalgalar havada veya başka bir ortamda titreşen objeler tarafından üretilir” (İ.K.3). Çalgı aletinin teline uygulanacak olan basıncın artması,

dalgaların daha büyük olmasına ve aynı şekilde basıncın azalması da dalgaların daha küçük olmasına sebep olacaktır.

Dalga Boyu: “Bir dalga örüntüsünün tekrarlanan birimleri arasındaki mesafedir. Yaygın olarak Yunanca lamda (λ) harfi ile gösterilmektedir. Dalgaboyu frekans ile ters orantılıdır, dolayısıyla dalgaboyu uzadıkça frekans azalır” (İ.K.10). “Dalgaboyu bir dalganın kendini tam olarak bir kez tekrar etmesi süresince aldığı yoldur. Dalgaboyu λ simgesiyle gösterilir ve birimi uzunluk birimi olan metredir” (İ.K.4). Çalgı aletinin teline uygulanan basınç sonucunda dalganın frekansı arttıkça dalgaboyu azalır, frekansı azaldıkça dalgaboyu artacaktır. Bu sebeple de tiz seslerin dalgaboyu kalın seslere göre daha kısadır denilebilir.

3. İlerleme Hızı Cinsinden Özellikler

Dalga (Yayılma) Hızı: “Dalganın birim zamandaki yer değiştirmesine denir” (İ.K.6). Yayılma işleminin gerçekleştiği zaman birimidir(m/s). Dalga hızı (v) = Dalga Boyu (λ) / Periyod (T) Bu ilişkiye dalga denklemi ya da dalga formülü denilmektedir.

Frekansı 440 Hz olan bir dalganın bulunduğu ortamdaki ilerleme hızı olarak da tanımlanabilir. Çalgı aletinin telinin titreştirilmesinden itibaren geçen 1 saniyelik sürede ilerleyebileceği mesafenin miktarı, dalganın (yayılma) hızı ile hesaplanabilmektedir.

Dalga kavramını ve dalga mekaniğini açıklamak için birçok bilim adamı birçok çalışma ve tanımlamalar yapmışlar. Ancak bu tanımlamayı yapabilmek için dalga kavramını ve dalgayı oluşturan parametreleri incelemeleri gerekmiştir.

Dalga Kavramı

Dalgayı oluşturan ve dalganın karakteristik özelliklerini tanımlamayı kolaylaştıran frekans, yayılma hızı, basınç genliği ve dalgaboyu terimlerinin anlaşılması, moleküllerin hareketleri süresince farklı doğrultu ve farklı etkilerle yayılmaları gerektiği ile ilgili bir öngörü oluşturmaktadır. Öyle ki doğada moleküllerin bir araya gelerek oluşturduğu dalgaların gözlemlenebilmesi ve bu dalgaların incelenebilmesi sonucunda dalgalar sınıflandırılmaya başlanmıştır.

Örneğin su moleküllerinin bir araya gelmesiyle oluşan ve rüzgârın, deniz tabanındaki toprak kaymalarının v.b. etkisiyle su moleküllerinin hareket etmeye başlaması sonucunda oluşan dalgaların hem sahile doğru yani yatay olarak (enine) hem de yükselip alçalarak aşağı ve yukarı yönde (boyuna) hareket ettiklerini görmekteyiz. Bu sebeple su dalgaları hem enine hem boyuna dalgalar olarak sınıflandırılmıştır.

“Cisimler üç tür hareket yaparlar; Öteleme, dönme, titreşim. Titreşim hareketi nesnenin moleküllerinin dönme veya öteleme yapmayıp bulunduğu yerde salınım yapması ve titreşim hareketi durunca yine eski halini alması olayıdır” (İ.K.5).

Başlamış olan her hareketin durması sonucunda hareket halindeki moleküllerin hareketsiz bir şekilde eski halini alması enerjisinin bitmesiyle gerçekleşmektedir.

“Dalganın tüm özelliklerini taşıyan bir dalga parçasına *atma* denir. Dalga kaynağının oluşturduğu her bir sarsıntıya bir *atma* denir. Atmaya *titreşim* de denir. Bir tam titreşim bir atmadır. Atmalar dalgaların hareketinin

incelenmesini kolaylaştırmak için oluşturulur” (İ.K.5). Titreşim bir denge noktası etrafında oluşan salınımlardır da denilebilir.

Maddenin darbe, gerilme, itilme, çekilme v.b. bir etkiye uğramasıyla ortamdaki moleküllerin birbirine çarparak ilerlemeye başlaması ve uygulanan etkinin son bulmasıyla moleküllerin hareketinin durması sonucu yine eski halini almasına dalga hareketi denilmektedir denilebilir. “Dalgalar taşıdıkları enerjiye göre ve titreşim doğrultusuna göre sınıflandırılmıştır” (İ.K.6).



Resim 1 Dalga Çeşitleri

Taşıdıkları Enerjiye Göre Dalgalar

Dalgaların yayılması için bir ortama ihtiyaç duydukları ve herhangi bir ortam olmadan yayılamayacakları düşüncesi, güneşten dünyamıza gelen ışınların nasıl geldiğiyle ilgili araştırmalar sonucunda geçerliliğini yitirmeye başlamıştır. Böylelikle yayılması için herhangi bir ortama ihtiyaç duymayan ve uzayda ışık hızıyla hareket ettiği düşünülen dalgaların varlığı tespit edilmiştir ve tanımlanmıştır. Bu bağlamda dalgalar taşıdıkları enerjiye göre 2 kategoriye ayrılmaktadır.

Mekanik Dalgalar: “Yayılabilmesi için maddesel bir ortama ihtiyaç duyan dalgalardır” (İ.K.7).

“Ses, “herhangi bir etki sonucu, herhangi bir cisimde oluşan titreşimlerin hava, tel, toprak, su vb. iletken ortamlara yayılarak kulağa kadar gelmesi ve beyindeki ses duyumu merkezinde biçimlenmesiyle oluşan işitme duyumu” olarak tanımlanacak olursa, kulak ve titreşimlerin kulağa kadar gelmesini sağlayan iletken ortamlar, titreşimlerin ses duyumu olarak algılanmasıyla ilgili olup sesin asıl kaynağı titreşimdir” (Atalay, 2015: 1).

Yayılabilmesi için maddesel ortam gereken mekanik dalgaların farklı iletken ortamlarda farklı özellikler göstermektedir. Deprem, su, yay ve ses gibi dalgalar da mekanik dalgalardır ve farklı özelliklerin gözlemlenebildiği ortamlardır.

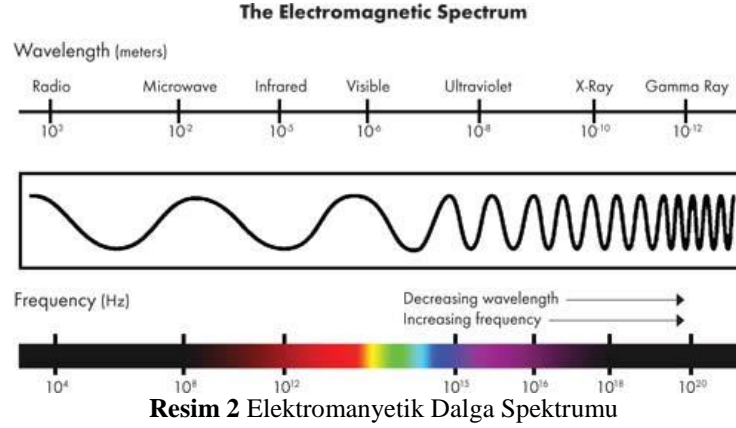
Elektromanyetik Dalgalar: “Yayılabilmesi için maddesel ortama ihtiyaç duymayan, yüklerin ivmeli hareketi ile oluşturulan, boşlukta ışık hızı ile yayılan, elektrik ve manyetik alana sahip dalgalara denir” (İ.K.7).

Elektromanyetik dalgalar ile ilgili ölçümler ve hesaplamalar laboratuvar ortamında yapılabilmektedir. Çünkü herhangi bir cismin ışık hızına erişebilmesi günümüz teknolojiyle mümkün değildir.

“Henrich Rudolf Hertz’in 1879’da, doktora tezini, ışık hızında hareket eden elektromanyetik dalgaların varlığını öngören Maxwell’in elektromanyetizma teorisini test etmeye ve ışığın kendisinin böyle bir dalga olduğunu öngörerek hazırladı. Maxwell’in elektromanyetizma teorisini test etmeye ve ispatlamaya çalışan bir deney düzeneği oluşturabilmesi ile çok yüksek frekans aralığında şimdi radyo dalgaları olarak adlandırılan manyetik dalgaları üretti. Hertz’in hiçbir işe yaramayacağını

düşündüğü keşfi radyo dalgaları kullanılarak radyo yayıncılığı ve daha sonra televizyon yayıncılığı yapılmasını sağlamıştır. Bugün radyo dalgaları, küresel telekomünikasyon ağlarında ve modern kablosuz cihazların altında yatan iletim ortamının vazgeçilmez teknolojisidir” (İ.K.21).

Elektromanyetik dalgaların, dalga boyu ve frekansına bakarak türü hakkında bilgi sahibi olunabilir. Daha uzun dalga boylu elektromanyetik dalgaların frekansları daha düşüktür ve daha kısa dalga boylu dalgalar daha yüksek frekanslara sahiptir. Yüksek frekans dalgaları daha fazla enerjiye sahiptir. Bir dalganın hızı, dalga boyunun ve frekansının bir ürünüdür.



Resim 2 Elektromanyetik Dalga Spektrumu

Elektromanyetik dalgaların uzayda hızı sabit ve saniyede yaklaşık 300 milyon metre (3.0×10^8 m / s) ışık hızında uzayda yolculuk eder.

Titreşim Doğrultusuna Göre Dalgalar

Dalgalar, yayılma doğrultusu ile titreşim doğrultusunun yönlerine göre incelendiğinde 3 kategoriye ayrılmaktadır.

Enine Dalgalar: “Taneciklerin titreşim doğrultusuyla, dalganın yayılma doğrultusunun birbirine dik olduğu bu çeşit dalgalara enine dalgalar deniyor” (Zeren, 2003: 67). Elektromanyetik dalgalar enine dalgalardır. Yani moleküllerin titreşim doğrultusuyla dalganın yayılma doğrultusu arasında dik açı bulunmaktadır.

Boyuna Dalgalar: “Dalganın yayılma doğrultusu, taneciklerin titreşim doğrultusuna koşutsa, böyle dalgalara boyuna dalgalar denir” (Zeren, 2003: 66). Yani, dalganın hareket doğrultusu ile ortamdaki molekül taneciklerinin titreşim doğrultusu aynı olduğunda boyuna dalgalar denilmektedir. Ses dalgaları havada boyuna dalgalarla yayılmaktadır.

Hem Enine Hem Boyuna Dalgalar:

“Boyuna dalgalar, ortamın içinde sıkışma ve genişleme bölgeleri oluşturarak ilerler ve yüzeyde bir değişikliğe neden olmazken, enine dalgalar, sıkışma ve genişmelere değil, su dalgalarında açıkça gördüğümüz yüzey dalgalanmalarına neden olur” (Zeren, 2003: 68). Deprem, su ve yay dalgaları hem enine hem de boyuna dalgalardır. Sesin, katı ve sıvı ortamlarda (tellerde, kutularda, toprakta, duvarda, camda, suda, vb) hem enine hem de boyuna dalgalarla yayılabildiğini, gaz ortamlarda (hava, vb) ise, yalnızca boyuna dalgalarla yayıldığını söylenebilir. “Dalga hareketinde her ne kadar ortamdaki madde ilerlemese de titreşimin bir ilerlemesi söz konusudur” (İ.K.8).

Dalgaların hareket özellikleri üzerinde gözlemlenen veya hissedilen farklı etkileri incelemek ve anlamak için doppler etkisinin ne olduğunu anlamamız gerekmektedir. Görüldüğü gibi dalgaların titreşim doğrultusuna ve taşıdıkları enerjiye göre gruplandırılmıştır ve bu gruplandırmalara göre farklı özellikler taşımaktadırlar. Taşıdıkları enerjiye göre elektromanyetik ve mekanik dalgalar olarak sınıflandırılmış olan dalgalardan elektromanyetik dalgalar ışık hızıyla hareket etmektedir. Bu sebeple elektromanyetik dalgalarla ilgili deney ve gözlemler laboratuvar ortamında yapılabilmektedir.

Doppler Etkisi

“Hareketli cisimlerden gelen sesin frekansındaki değişmeyi 1842 yılında Christian Johann Doppler bulmuştur. Bütün dalga hareketlerinde böyle bir değişme olur. Işık ve radyo dalgaları da böyledir” (İ.K.13). “Doppler etkisi; nesnenin hareketi nedeniyle cisimden yayılan radyasyon dağılımı ve rüzgârlar dâhil atmosferik hareketleri ölçmek için özel olarak tasarlanmış cihazlar ile ölçülebilen bir etkidir” (Jia, 2018: 81-113). “Doppler olayı denilen bu olayda, kaynak hep aynı kaldığı, dolayısıyla hep aynı frekanslı sesi çıkardığı halde, biz frekansın değiştiğini düşünürüz. Bu olay, kaynağın ya da alıcının veya her ikisinin birden birbirine göre hareket halinde olması durumunda görülür” (Zeren, 2003: 89). Doppler etkisi, cisimlerin hareketleri sebebiyle yaydıkları ses, ışık v.b. enerjilerin kaynak ile alıcı arasındaki mesafenin değişmesi sebebiyle alıcı tarafından farklı algılanması olayıdır denilebilir.

“Doppler Effect — [Fr. effet Doppler; Alm. D opplereffekt; Tr. Dopier Efektî]: Adını Christian Johann Doppler'den (1803-1853) alan bir akustik algılama etkisi. Hareketsiz duran bir gözlemciye doğru hareketle gelen ses kaynağından çıkan sesin gözlemci tarafından tiz, gözlemciden uzaklaşan sesin ise daha pes algılanması etkisi. Örneğin, sabit bir gözlemciye doğru hızla gelen bir otomobilin gürültüsü, otomobil gözlemcinin yanından geçtikten sonra daha pes bir gürültü çıkartarak uzaklaşıyormuş gibi duyulur. Hareketsiz gözlemciye göre, saniyede “n” metre yol alan bir ses kaynağı sabit noktaya yaydığı sesi “n + ses hızı”, gözlemciden uzaklaştığı andan itibaren ise “ses hızı - n” ilişkisine göre iletir. [eğer gözlemci sabit duruyorsa $f_a = e$ ğer gözlemci hareketli ise $f_a = f(c+ug)/c$]. Dolayısıyla dalga boyu küçük frekanslar daha tiz, büyük frekanslar ise daha pes algılanır” (Durmaz, 2009: 119-120).

Tanımlardan da anlaşılabilirliği gibi herhangi bir kaynak ile gözlemci arasındaki mesafe değişimi sonucunda, yalın veri ile gözlemcinin algıladığı veri arasında değişim oluşmaktadır. Bu çalışmada oluşan bu fark gösterilmeye çalışılacaktır. Ayrıca KV'nin sabit ve değişken olması durumlarında GV'deki fark gösterilmeye çalışılmıştır. Veri olarak ses, ışık, radyo dalgaları gibi herhangi bir ortam içinde herhangi bir hız ile dalgalar halinde ilerleyebilen ve belirli değişkenlere göre farklı özellikler taşıyabilen dalga hareketleri ele alınmıştır. Yalın veri kaynağın ürettiği veridir. Ve çalışmada KV olarak kısaltılmıştır. Kaynaktan gözlemciye ulaşan ve gözlemcinin algıladığı veri ise gözlemcinin algıladığı yani gözlenen veridir. Ve çalışmada kısaca GV olarak kısaltılmıştır.

Dalga hareketleri üzerinde etki oluşturan sıcaklık, bağıl nem, ortam yoğunluğu, rakım gibi değişkenler ile bu değişkenlerin KV ile GV arasında oluşturduğu etki formüller ile gösterilmeye çalışılmıştır.

Dalga hareketleri kullanım alanlarına göre sınıflandırılmaya çalışılmıştır.

Doppler Etkisinin Prensipleri

1 - Doppler etkisi kaynak ile alıcı arasındaki mesafenin değişmesine bağlı olarak gözlemlenebilmektedir. Kaynak ile alıcı arasındaki mesafeyi 3 şekilde değiştirebilmektedir. “Alıcı sabitken kaynağın hareket etmesi; kaynak sabitken alıcının hareket etmesi; kaynak ve alıcının hareket etmesi (aynı yönde ve aynı hızda olmamak şartıyla)” (İ.K.14).

2 - Kaynak ile alıcı arasındaki uzaklığın değişme hızı da önemlidir. Bu hız değişirse; kaynak ile alıcı arasında yaklaşma ya da uzaklaşma olacağından frekans farkı da değişir. Dolayısıyla kaynağın frekansı ile olan fark da değişir. Hız artarsa KV ile GV arasındaki frekans farkı artmakta ve hız azalrsa KV ile GV arasındaki frekans farkı azalmaktadır.

3 - Kaynak ile alıcı arasındaki uzaklık sabitken kaynaktan çıkan sesler alıcıya t saniyelik düzgün aralıklarla ulaşmaktadır. Ancak uzaklık azaldıkça seslerin alıcıya ulaşma süresi azalmakta ve dolayısıyla periyot ve dalga boyu küçülmektedir; uzaklık arttıkça seslerin alıcıya ulaşma süresi artmakta ve dolayısıyla periyot ve dalga boyu büyümektedir.

“Kaynak ve alıcı birbirine hızla yaklaşıyorsa, yani aralarındaki uzaklık gitgide küçülüyorsa, kaynaktan ilk önce yola çıkan dalgaların alıcıya varış süresi daha uzun, sonra çıkanlarınki daha kısa olur. Böylece, kaynaktan r saniyede bir çıkan dalgalar, hareketsiz bir alıcıya 7 saniyelik düzgün aralıklarla vardıkları halde, hızla yaklaşan bir alıcıya daha küçük zaman aralıklarıyla varacaklar, yani periyot küçülecek, dolayısıyla frekans büyüyecektir (ses tizleşecektir). Kaynak geçildikten sonra, dalgaların alıcıya varmak için gitmeleri gereken yol gitgide uzadığı için, dalgalar geç gelmeye başlayacak, periyot büyüyecek, frekans küçülecektir (yani ses pesleşecektir)” (Zeren, 2003: 90).

4 - Frekans ile periyot ters orantılı olduğu için kaynak ile gözlemci arasındaki uzaklık azaldıkça frekans artmakta yani ses tiz duyulmakta; uzaklık azaldıkça frekans azalmakta yani ses pes (kalın) duyulmaktadır.

KV ile GV Arasındaki Farkı Etkileyen Faktörler

Dalgaların ortamdaki yayılma hızı sıcaklık, basınç, yoğunluk, gibi kriter değişiklik gösterebileceği için hesaplama yaparken bu kriterlerin dikkate alınması gerekmektedir.

Sıcaklık (°C)	Ses Hızı (m/s)								
	Bağıl Nem (%)								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	331.5	331.5	331.5	331.6	331.6	331.6	331.7	331.7	331.7
5	334.5	334.6	334.6	334.7	334.7	334.7	334.8	334.8	334.9
10	337.5	337.6	337.7	337.7	337.8	337.9	337.9	338.0	338.0
15	340.5	340.6	340.7	340.8	340.9	341.0	341.1	341.2	341.2
20	343.5	343.6	343.7	343.9	344.0	344.1	344.2	344.4	344.5
25	346.4	346.6	346.8	347.0	347.1	347.3	347.5	347.6	347.8
30	349.4	349.6	349.9	350.1	350.3	350.5	350.8	351.0	351.2

Tablo 1 - Havada Ses Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişim Tablosu

Dalgaların havadaki yayılma hızı sıcaklık değişimine, rakıma dolayısıyla hava basıncına, havadaki nem oranına dolayısıyla havanın yoğunluğuna göre değişiklik gösterebileceği için hesaplama yaparken bu kriterlerin dikkate alınması gerekmektedir.

Basınç, nem gibi etkenlerin ses hızı üzerindeki etkisi çok azdır. Bunun sebebi basınç ve yoğunluğun ses hızını eşit olarak etkilemesidir. Yukarıdaki tabloda da görüldüğü üzere aynı sıcaklıkta nem oranı artışının ses hızına olan etkisi en fazla yaklaşık 2 m/s olabilmektedir.

Ancak rakıma göre ses hızı daha belirgin olarak değişebilmektedir. Yüksek irtifada ve yüksek rakımda düşük sıcaklık nedeniyle ses daha yavaş hareket edecektir.

Doppler Etkisinin Formüllerle Gösterilmesi

Yaklaşan Veya Uzaklaşan Cismin Frekansındaki Değişimi Hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmaktadır ve hesaplama yapılabilmesi için ses hızının bilinmesi gerekmektedir.

$$V = F \left(1 \pm \frac{V'}{V_{ortam}} \right) \quad V = \text{Kaynağın Gerçek Frekansı} \left(1 \pm \frac{\text{Kaynak ile Alıcının Yaklaşma Ya Da Uzaklaşma Hızı } m/s}{\text{Dalgaların Ortamda Yayılma Hızı } m/s} \right)$$

Formül 1 - Doppler Etkisinin Formülü

Yukarıdaki formülde kaynak ile alıcının yaklaşma hızı kullanılıyorsa (+), uzaklaşma hızı kullanılıyorsa (-) kullanılmalıdır.

(G)V=Hissedilen Ya Da Duyulan Frekans

F=Kaynağın Gerçek Frekansı

V'=Kaynak ile Alıcının Yaklaşma Ya Da Uzaklaşma Hızı (m/s)

Vortam=Sesin Havadaki(Ortam) Hızı (m/s)

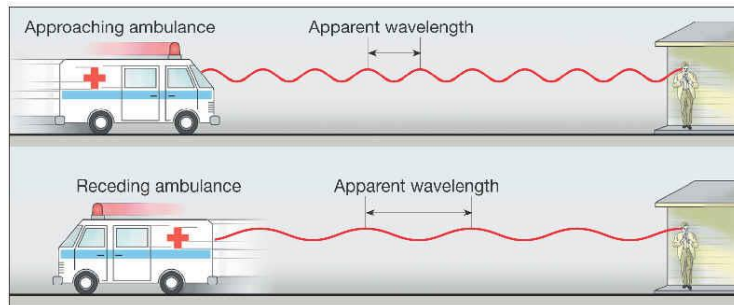
$$V_{ortam} = 20,1\sqrt{T} \quad (T = 273 + t^{\circ}C)$$

Formül 2 - Ses Hızını Isıya Bağlı Hesaplama Formülü

Doppler Etkisinin Dalga Hareketlerine Göre Kullanım Alanları

“Edwin Hubble, evrenin Doppler Etkisi'nin bir sonucu olarak genişlediğini keşfetti. astronomi ve uzay teknolojisi alanlarında önemli uygulamalara sahiptir: Sirenler, astronomi, radarlar, tıbbi görüntüleme ve kan akışı yönetimi, akış yönetimi, hız profili yönetimi, uydu iletişimi, ses, titreşim ölçümü” (İ.K.15). Aşağıda bu maddeler ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir.

1 – Sirenler: “Bir ambulans bir gözlemciye yaklaştığında, siren dalga boyları küçüldükçe yüksek perdeli ses algılanır, çünkü ambulans ve kulağımız arasındaki mesafe ve ses dalgalarının boyu azalmıştır. Ambulans gözlemciden uzaklaştığında, dalga boyları ve mesafe artacağı için daha düşük perdeli bir ses algılanır.” (İ.K.16).



Resim 3 - Siren sesi ve doppler sonucunda dalga boyu değişim gösterimi

2-) Astronomi: Christian Doppler'in ölümünden daha 1 asır geçmeden 1920'li yıllarda evrende sadece güneş sisteminin veya samanyolu galaksisinin var olduğu sanılırken; daha büyük güneş sistemleri ve galaksilerin olduğunun ispat edilmesiyle bilim adamları kocaman bir bilinmezlikler yığını ile karşı karşıya kalmışlardır.

"Edwin Hubble Shapley'in tekniğini kullanarak yaptığı çalışmalar sırasında keşfettiği bulutsuların başka galaksiler olduğunu iddia etti. İddia etmekle kalmayıp 30 Aralık 1924'de "Sarmal Bulutsularındaki Cepheidler" adlı makalesinde bu iddiasını ispat ederek evrenin pek çok galaksiden oluştuğunu açıkladı. Cepheid adı verilen değişken yıldızlardan gelen ışıklar üzerinden hesaplama yaparak Samanyolu'na uzaklığını belirlemiştir. Mesafe ölçülmesini sağlayan bu yıldızlar sayesinde Hubble ilk keşfini yapmış, dış galaksilerin varlığını ispat etmiştir" (İ.K.17).

Bilim adamları dış galaksilerdeki yıldızlardan gelen ışıkların gittikçe daha kırmızı olduğu ve bunun neden böyle olduğu merak edilirken yapılan hesaplamalar sonucunda dünyadan uzaklaşan cisimlerin renginin kırmızıya döndüğü tespit edilmiştir.

"Edwin Powell Hubble'ın bilime büyük katkı sağlayan bir diğer keşfi Hubble Yasası olarak tarihe geçmiştir. O dönemde nebulalardan gelen ışığın renk değiştirerek daha kırmızı olduğu biliniyor, ancak sebebi tam olarak açıklanamıyordu. Hubble bu kıvrıla kayan rengin sebebinin yıldızların uzaklaşması olabileceğini düşünerek asistanı Milson Humason ile ölçümlere başladı. Andromeda galaksisinin uzaklık hesaplamaları sonucunda Hubble Yasası ortaya çıktı. Yani bir yıldızda kıvrıla kayma varsa, o yıldız dünyadan uzaklaşıyor demektir. Bu durumda evrenin genişlediği anlamına geliyordu" (İ.K.17).

Galaksilerde ve yıldızlarda kütle çekim alanından faydalanılarak ışığın doğrultusu, dalga boyu ve dolayısıyla frekansı tespit edilebilmektedir. Kütle çekim alanında cisme doğru gelen ışık demetinin dalga boyu azalır ve frekansı artarsa ışık mavi görünür yani yakındadır; cisimden uzaklaşan ışık demetinin ise dalga boyu artar ve frekansı da küçülürse ışık kırmızı görünür yani uzaktadır. Birçok galaksini hızı bu şekilde ölçülmüş ve gittikçe renklerin gittikçe kırmızıya dönüştüğü tespit edilmiştir. Buradan da anlıyoruz ki galaksiler bizden uzaklaşmakta yani evren genişlemektedir. (Alıcı Sabit, Kaynak Hareketli)

"Hubble'ın evrenin statik değil sürekli genişleyen bir yapısının olduğunu keşfetmesi büyük yankı uyandırdı. Albert Einstein 1931'de Wilson Dağı'nda Hubble'ı ziyaret ederek bizzat tebrik etti. Çünkü 10 yıl kadar önce kendisi evrenin genişlediği ya da daraldığına dair ortaya koyduğu genel görecelik teorisi gökbilimciler tarafından kabul görmemiş ve ters düşmemek için bu teorisini geri çekmişti" (İ.K.17).

"İnternet üzerinde doppler etkisi kullanılarak bulunan 4000 üzerinde yıldız, gezegen ve uydu tespit edilmiştir" (V.K.4).

3-) Radarlar: Karayollarındaki radar sistemlerinde radar aracına yaklaşan arabanın hızı tespit edilebiliyor. Radar aracı hedef araca belirli frekansta ve dalga boyunda sinyaller gönderiyor ve bu sinyallerin hedeften geri yansmasıyla hedefin yaklaşma veya uzaklaşma hızı bulunuyor. (Alıcı Sabit veya Hareketli, Kaynak Hareketli)

"1978'de SAE Transactions Vol. 87, Section 3, Kohsaku Baba, Yukitsugu Fukumori, Yoichi Kaneko, Kenji Sekine and Akira Endo tarafından yayınlanan bir makalede üzerinde mikروفon, osilatör ve basınç ekranı bulunan 24 GHz Mikrodalga Entegre Devre (MIC) bulunan doppler hız sensörü geliştirilmiştir. Geliştirilen bu cihaz ile radar ile hız ölçümünde hata oranı %10'un altına düşürülmüştür. Radar ünitesindeki mikrodalga kaynağı, verimlilik, üretim kolaylığı, güç kaynağı, güvenilirlik ve maliyet gibi faktörler arasında tasarım denemeleri yaptıktan sonra seçilmelidir. Şu anda mevcut olan potansiyel adaylar Gunn cihazı ve Impatt cihazıdır" (Kohsaku B., Fukumori Y., 1978).

Osilatör: "Özellikle elektronik devrelerde kare, üçgen ve testere gibi sinyalleri üreten bir elektronik düzendir. Salıngaç adıyla da bilinir ve bir diğer tanımla elektrik salınımları üretir" (İ.K.18).

4 -) Tıbbi Görüntüleme ve Kan Akışı Yönetimi: "Kanın içi organlar, gebelik, tiroid bezi, eklemler, yüzeysel dokular, damarlar ve anevrizmalar ile ilgili vücut içinde oluşan ve oluşabilecek hastalıkların teşhisi ve tedavisi için geliştirilmiş olan doppler cihazları kullanılmaktadır" (V.K.5).

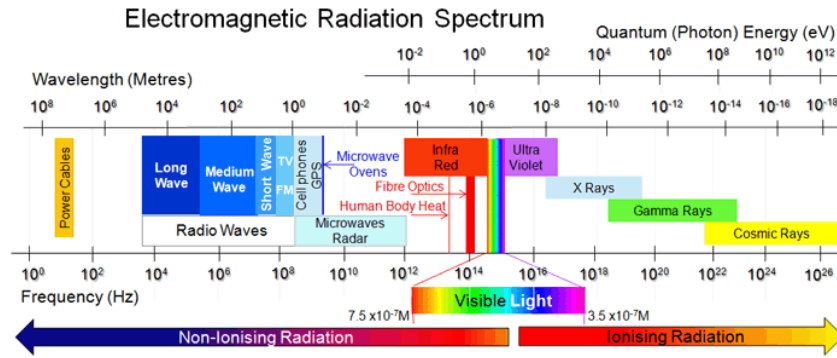
"Ultrason ses dalgalarından faydalanarak görüntüleme sağlayabilen bir yöntemdir. (sound: ses) Buradaki ses dalgaları yüksek frekanslı ve insan kulağının işitemeyeceği ses dalgalarıdır. Ultrasonun çalışma prensibi ses dalgalarının farklı doku ve organlardan farklı şekilde yansması özelliğine dayanır. Tıbbın sadece kadın hastalıkları ve doğum dalında değil hemen hemen bütün branşlarında kullanılan çok faydalı bir görüntüleme yöntemidir. Renkli Doppler ultrason, klasik ultrason ile kan damarlarını görüntüleyen Doppler sisteminin birlikte bulunduğu ultrason cihazlarıdır. Kan akımının yönü ve hızı, damarların yapısı hakkında bilgi verir. Sistem beraberinde klasik siyah beyaz ultrasonuda içerdiği için, bir ultrasonun

yapabildiği bütün incelemeler dahil, damarlar hakkında fizyolojik ve anatomik bilgi edinilebilir. Bu sayede damarların çapı, diğer dokularla olan ilişkisi, damar duvarının yapısı ve akan kanın debisi ve hızı hakkında nesnel bilgi edinilebilir. Ultrason cihazının ses dalgaları gönderen ve dokulardan geri dönen ses dalgalarını algılayan vücuda tutulan kısmına prob denir. Prob geri dönen ses dalgalarını algılar ve bunları bir tür bilgisayar yani işlemci içerisinde işleyerek görüntüye dönüştürür. Görüntü monitörde izlenir” (İ.K.19).

Hamile bayanların bebeklerinin cinsiyetlerini öğrenmelerini sağlayan, kalp krizine sebep olabilecek damar tıkanıklıklarının erken tespit edilmesini ve tedavi edilmesini sağlayan doppler cihazları sağlık alanında insanlara hizmet etmektedir.

5 -) Akış Yönetimi: “1873 yılında James Clerk Maxwell elektromanyetik dalgaların varlığını önerdi ve böyle bir fenomeni hiç gözlemlemeden veya hatta düşünmeden önce özelliklerinin ne olabileceğini matematiksel olarak çalıştı. O zamandan beri, iletişim mühendisleri sayısız kullanım için bu radyasyonu kullanan mucizeler gerçekleştirdiler” (İ.K.20).

En spesifik örneği radyo dalgalarıdır ve hayatımızın her alanında kullandığımız, ancak yanlış yerde ve tehlikeli miktarlarda değilse herhangi bir tehlike taşımayan dalgalarıdır.



Resim 4 - Elektromanyetik Radyo Frekans ve Dalga Boyu Tablosu

“Son teknolojik gelişmeler ışığında Elektromanyetik spektrum izlemeye ve yönetmeye yönelik kablosuz iletişimde önde gelen ülkelerin ve çok uluslu kuruluşların kısa, orta ve uzun vadeli stratejileri ele alınmaktadır. Ayrıca, yeni nesil kablosuz sistemler için yeni bir spektrum izleme stratejisi önerilmekte ve önerilen stratejinin sonuçları ana hatlarıyla belirtilmektedir” (Boyacı, 2018; 1).

6 -) Hız Profili Yönetimi: Yoğunluğu farklı ortamlardaki dalgalar sürtünme katsayılarının değişmesi ve molekül ilerleme hızlarının değişmesi sebebiyle farklı ortamlarda farklı hızlarda ilerlemektedir. Bu sebeple sıvı ve katı ortamlarda dalga yayılma hızları hesaplanmalı ve bilinmelidir.

“Doppler Velocity Logs(DVL), Otonom Sualtı Araçlarının (AUV) Ataletsel Seyir Sistemleri (INS) için önemli bir düzeltme ölçümü sağlamaktadır. Çalışmada hem gevşek hem de sıkıca bağlı çerçevelerde DVL yerleşiminin AUV navigasyon doğruluğu üzerindeki etkilerini araştırmak için önceki araştırmaları genişletmektedir. Neredeyse tüm otonom AUV'ların, navigasyon hatalarını en aza indirmek için doğru konumlandırılmış DVL'den faydalanabileceğini bulunmuştur. DVL'nin ve AUV'nin tasarım aşamalarında navigasyon doğruluğu üzerindeki etkisi nedeniyle DVL konumu dikkate alınmalıdır. Doppler Hız Günlükleri navigasyon için değerli sensörlerdir. Yeni nesil Otonom Sualtı Araçlarında DVL yaygın olarak kullanılmaktadır” (Monaco, C.D, Brennan, S.N., Hacker, K.A., 2018; 1).

7 -) Uydu İletişimi: “Hızlı hareket eden uyduların konumunun doğru tespit edilebilmesi uyduyla iletişim kurulabilmesi için önemli bir etkidir. Bu yüzden mobil uydu iletişim sistemlerinde doppler ölçümü de önemlidir” (Liu, 1999; 1).

“Jeosentrik yörüngede olmayan (ekvatorial bir yörüngede, dünyanın dönüşüne paralel olarak hareket ettiği için yerdeki gözlemciye hareketsiz görünen uyduların yörüngesidir. Söz konusu yörüngeye sahip uydulara jeosentrik yörünge uydular adı verilir) uyduların düzlemi koordinat sistemindeki küresel boylam - enlem koordinatları kullanılarak dairesel eğimli yörüngede olmayan uydular için dünya'nın ortalama ekvatorial yarıçapı (6378.144 km), Dünya yüzeyinden uyduya kadar olan yükseklik, uydunun açılma hızı gibi birçok parametreyle konumu bulunmaya çalışılmaktadır. Doppler frekans kayması ile jeosentrik yörüngede olmayan bir uydudan dünya üzerinde belirlenen bir noktaya ulaşan elektromanyetik dalgaların yer yüzeyinden tekrar uyduya yansmasıyla jeosentrik uydunun bağıl hız vektörü hesaplanabilir” (Tabakovic, 2000; 1).

Aynı sistem sadece uydular için değil uçak sistemlerinde de kullanılabilir. Uçak iniş yapacağı havaalanına gönderdiği elektromanyetik dalgaların yansmasıyla konumunu ve hızını ayarlayan otomasyon sistemleriyle iniş yapabilmektedir.

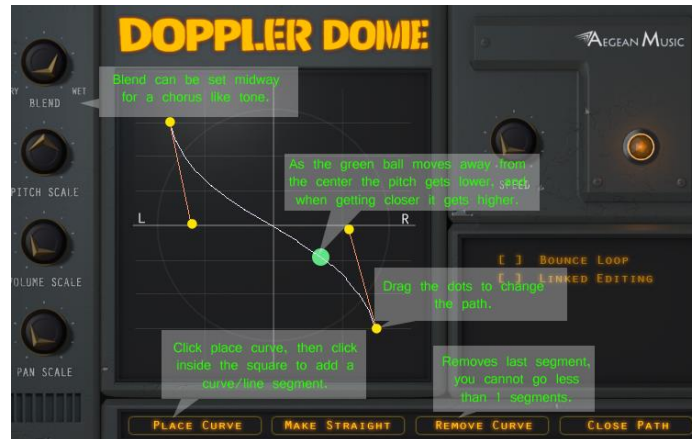
8 –) Ses: Doppler etkisinin en kolay gözlemlenebildiği ve günlük hayatta sürekli karşılaştığımız ama dikkat etmediğimiz örnekleri ses dalgaları üzerinde gözlemlenmektedir.

Doppler etkisini yapay olarak üretebilmek için dijital ses sentezleme yazılımları (DAW) üzerinde kullanılabilen Virtual Sound Technology (VST) eklentileri bulunmaktadır.

Aegan Music Firmasının geliştirdiği Doppler Dome, Tonsturm firmasının geliştirdiği Traveler, Sound Particles firmasının geliştirdiği Doppler+Air ve Waves firmasının geliştirdiği Doppler eklentileri bunlardan bazılarıdır.



Resim 5 - Waves Doppler Plug-in



Resim 6 - Aegan Doppler Dome Plug-in



Resim 7 - Sound Particles Doppler Plug-in

Doppler etkisi ile ilgili eklentiler incelendiğinde yön, hız, genlik v.b. birçok dalga parametresinin değiştirilerek etkinin gözlemlenebileceği görülmektedir.

9 -) Titreşim Ölçümü: Sabit frekanslı bir ses kaynağı duvara doğru hareket ettirildiğinde dinleyici iki ayrı frekansta ses duymaya başlar. Bunlardan biri doğrudan ses kaynağından gelir ve hareketin etkisiyle titreşimin orijinal tonundan kalın duyulur, diğeri ise duvardan yansır ve orijinal tondan ince duyulur.

“Bir dalga hareketli bir nesne tarafından yansıtılırsa ve bir cihaz tarafından algılanırsa (LDV’de olduğu gibi), dalganın ölçülen frekans kayması şöyle tanımlanabilir:

$$f_D = 2 \cdot v \cdot \lambda$$

Burada v nesnenin hızı ve λ yayılan dalganın dalga boyudur. Bir nesnenin hızını tersine belirleyebilmek için, (Doppler) frekans kaymasının bilinen bir dalga boyunda ölçülmesi gerekir. Bu LDV’de bir lazer interferometre kullanılarak yapılır” (Mahafza, Elsherbeni, 2004).

“Doppler efekti ve doppler ile geliştirilen teknolojilerin kullanıldığı daha birçok alan bulunmaktadır.

Savunma amacıyla kullanılmak üzere polis teşkilatlarına keskin nişancı tespit aracı sunabilecek deneysel bir radar tekniği geliştirilmiştir. Doppler radar tekniklerini kullanan sistem, yüksek hızlı gelen mermileri tespit etmeyi ve menzil ve yörünge bilgileri sağlamayı amaçlamaktadır” (TOLES, 1969; 1).

“Gelecekte akıllı nesnelerin birbiriyle iletişim kurması ve birbiriyle veri alışverişi sağlaması ve böylelikle insan hayatının kolaylaştırılması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda Intelligent Transport System (ITS) adıyla geliştirilen akıllı ulaşım sistemi sayesinde hareketli araçlar arasında çok yüksek hızda koordinasyon sağlanması amaçlanmıştır. Bunun için 802.11 teknolojisi yerine VANET teknolojisi geliştirilmiş ve çalışmada 802.11 teknolojisinde karşılaşılan doppler kayması sorununun VANET teknolojisi ile çözümüne yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda gelecekte konuda yapılacak araştırmalar için Doppler kayması probleminden kaynaklanan sorunların çözümüne öncülük edecek bir çalışma olduğu düşünülmektedir.” (Pamungkasl, Suryani, 2018).

“Yapılan bir çalışmada her yıl yaklaşık 1.24 milyon insanın ölümüne sebep olan ve önemli bir kısmının sürücünün dikkatsizlik veya el becerisi eksikliğinden kaynaklandığı trafik kazalarını önlemek için mikro doppler özellikleri kullanılarak yayaların erken tespit edilmesi ve kazanın önlenmesi amaçlanmaktadır” (Severino, 2019: 1).

“Saat senkronizasyonu teknolojisi kullanılarak kablosuz sensörü ve sualtı sensörü iletişim sorunları için çözüm üretmek amacıyla okyanus akım modeline dayalı senkronizasyon algoritması ve UWSN'ler için doppler etkisi kullanılarak MATLAB simülasyonları ile de test edilen sistem mevcut sistemle karşılaştırıldığında akustik frekans varyasyonunu tespit ederek gecikme zaman senkronizasyonu düzeltilmesi ile enerji tüketimi tasarrufu ve yüksek hassasiyetli çalışma avantajı sağlamaktadır” (Wang S., Mingsheng G., 2017; 1).

Ayrıca yarasaların sonar sistemi üzerinde yapılan araştırmalarda yarasaların algılayabildiği frekans aralığının çok dar olduğu ve doppler etkisini kullanarak kendine yaklaşan ya da kendinden uzaklaşan cisimleri tespit ettiği tespit edilmiş. Doppler etkisi kuralına göre hareket halindeki bir cisme çarpan sesin frekansı değişir. Bu yüzden yarasa kendinden uzaklaşan bir cisme doğru ses dalgalarını yaydığına dönen ses dalgaları yarasanın algılayamayacağı bir aralığa düşecektir ve yarasa hareketli cisimleri algılamakta zorluk çekecektir. Ancak yarasa doppler etkisini yaratılıştan bilerek hareketli cisimlere yaydığı ses dalgalarını değiştirir. Örneğin kendinden uzaklaşan bir cisme yayabileceği en yüksek frekansı gönderir ki ses geri döndüğünde frekansı algılayabileceği frekansların altına düşmesin. (Hem Alıcı Hem Kaynak Hareketli)

“Rüzgar türbinlerinin (WTs) radar sistemi üzerindeki etkisine yönelik bir araştırmada, rüzgar enerjisi çiftliklerine yönelik artan taleplerle birlikte oluşmakta olan araştırma ihtiyaçları doğrultusunda Rotasyonel WT'nin Doppler spektrum özelliklerini değerlendirmek için, yüksek güvenilirliğe sahip basitleştirilmiş bir WT modeli önerilmiştir ve önerilen WT modeli ile ilgili simülasyonlar yapılarak sonuçları incelenmiştir. Önerilen WT modeli farklı özellikler altında Doppler etkisi, hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) yanı sıra katarakt yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir” (Gao F., Niu, Z., 2016; 1).

“Bir çalışmada ise gps v.b. altyapıların bulunmadığı yerlerdeki oluşabileceği düşünülen kaza senaryolarına ilişkin kurtarıcıların kurtaranları hızlı bir şekilde bulabilmelerini sağlamak amacıyla felaket mağdurlarının kullandıkları cihazlardan yayılan wi-fi sinyallerinin yönünü belirlemek için doppler efekti kullanılan bir kurtarma sistemi geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle doppler etkisinin yön bulma doğruluğu üzerindeki etkileri araştırılmış ve doppler kaymalarından kaynaklı zorlukları çözerek yön bulma doğruluğunu en üst düzeye çıkarmak için bir algoritma geliştirilmiştir. Ayrıca, hayatta kalanların cihazlarının, enerji tüketimini en aza indirecek bir karar mantığının yanı sıra, sabit ve sürekli Wi-Fi sinyalleri yaymasını sağlamak için aktif bir algılama şeması önerilmektedir. Gerçek dünya ortamlarında önerilen sistemin kurtarma sürelerini yarıya kadar azaltabildiğini göstermektedir” (Shih Y., Pang A., Hsiu P. 2018; 1).

Deney Uygulaması

Alıcı sabit ve kaynak hareketliyken doppler etkisi ölçülmeye çalışmak üzere saatteki hızı 45 Km olan bir bisiklete 415Hz'lik ses ile ve 425Hz'lik korna sesi ile bağlanmıştır. Daha sonra bisikletin 45 Km hız yaparak ve kornalardan herhangi birini çalınarak alıcının önünden geçmesi sağlanmıştır. Normal korna ve salyangoz korna için 2 ayrı ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerde hava sıcaklığının 20 derece olarak ölçülmesi dolayısıyla ses hızının Tablo 1'de de görüldüğü gibi 343 m/s olarak alınması gerekmektedir. Bu değerler doğrultusunda bisiklete bağlanmış olan korna alıcının önünden geçerken bilgisayarda spectrum analyzer ve sonograph ile ses frekansında oluşan değişiklikler ölçülmüştür.

Ölçümler sonucunda alıcıya yaklaşan sabit bir sesin, alıcı tarafından olduğundan daha pes algılandığı ve uzaklaşan sabit bir sesin ise alıcı tarafından daha tiz algılandığı tespit edilmiştir.

415 Hz'lik Normal Korna

415 Hz'lik Korna Yaklaşırken	415 Hz'lik Korna Uzaklaşırken
$V = 415x \left(1 + \frac{45x10^3 / 3600}{343} \right)$	$V = 415x \left(1 - \frac{45x10^3 / 3600}{343} \right)$
$V = 415x \left(1 + \frac{45000 / 3600}{343} \right)$	$V = 415x \left(1 - \frac{45000 / 3600}{343} \right)$
$V = 415x \left(\frac{343}{343} + \frac{12.5}{343} \right)$	$V = 415x \left(\frac{343}{343} - \frac{12.5}{343} \right)$
$V = 415x \left(\frac{355.5}{343} \right)$	$V = 415x \left(\frac{330.5}{343} \right)$
$V = 415x1.03644314$	$V = 415x0.963556851$
$V = 430Hz$	$V = 399Hz$

Yandaki hesaplamalardan da görülebileceği üzere saatteki hızı 45 km olan bir bisiklette 415 Hz sabit ses çıkaran korna'nın sesi alıcıya yaklaşırken 15 Hz daha tiz ve uzaklaşırken de 16 Hz daha pes duyulmaktadır.

425 Hz'lik Salyangoz Korna

425 Hz'lik Korna Yaklaşırken	425 Hz'lik Korna Uzaklaşırken
$V = 425x \left(1 + \frac{45x10^3 / 3600}{343} \right)$	$V = 425x \left(1 - \frac{45x10^3 / 3600}{343} \right)$
$V = 425x \left(1 + \frac{12.5}{343} \right)$	$V = 425x \left(1 - \frac{12.5}{343} \right)$
$V = 425x \left(\frac{343}{343} + \frac{12.5}{343} \right)$	$V = 425x \left(\frac{343}{343} - \frac{12.5}{343} \right)$
$V = 425x \left(\frac{355.5}{343} \right)$	$V = 425x \left(\frac{330.5}{343} \right)$
$V = 425x1.03644$	$V = 425x0.96355$
$V = 440Hz$	$V = 409Hz$

Yandaki hesaplamalardan da görülebileceği üzere saatteki hızı 45 km olan bir bisiklette 425 Hz sabit ses çıkaran korna'nın sesi yaklaşırken 15 Hz daha tiz ve uzaklaşırken de 16 Hz daha pes duyulmaktadır.

SONUÇLAR

Doppler etkisinin insan yaşantısına sağladığı kolaylıklar incelendiğinde sağlık, savunma sanayi ve daha birçok alanda kullanıldığı görülmektedir. Doppler teknolojisinin çalışma mantığı incelendiğinde kullanılan cihazların benzer özellikler taşıdığı gözlemlenmektedir. Sağlık sektöründe kullanılan doppler ultrason cihazları insan vücuduna belirli frekanslarda gönderilen sinyallerin vücuttan geri yansması ve trafik radar sistemlerinde kullanılan doppler cihazlarında araçlara belirli frekanslarda gönderilen sinyallerin geri yansması sonucunda toplanan veriler ile gözlem yapmak isteyen kişi için gerekli veri sağlanabilmektedir.

Aynı şekilde birçok alanda birçok verinin elde edilebilmesini sağlayan doppler etkisinin gelecekte insanların yaşayabilmesi için uygun gezegenler araştırılması için de kullanıldığı ve bu gezegenlerin dünyamıza olan uzaklığının ölçülmesi için de renklerin frekanslarındaki değişiminden kaynaklanan renk değişimlerini gözlemleyerek veriler elde edildiği görülmektedir.

Trafik kazalarını önlemek için geliştirilen mikro tanımlama yeteneğine sahip doppler cihazları ile araçların yayalara çarpmalarını engelleyecek teknolojiler geliştirilmeye çalışılmaktadır.

İnternet ve uydu teknolojilerinde kullanılan birçok sistemin çalışabilmesi için doppler cihazları kullanılmaktadır.

KISALTMALAR

- İ.K....** – İnternet Kaynağı
KV – Kaynak Veri
GV – Gözlenen (Gözlemcinin Algıladığı) Veri
F - Kaynağın Gerçek Frekansı
V' - Kaynak ile Alıcının Yaklaşma Ya Da Uzaklaşma Hızı (m/s)
Vortam - Sesin Havadaki Hızı (m/s)
VST – Virtual Sound Technology
DAW – Digital Audio Workstation

KAYNAKÇA

- Atalay, A., (2015) Türk Müziğinde “Komalı Ses” Var Mıdır?, EÜ Devlet Türk Musikisi Konservatuarı Dergisi, Sayı : 6, Sayfa : 13-35 / Sayı : 7, S. 39-62.
- Boyacı, A., Ekti, A. R., Yarkan, S., & Aydın, M. A. (2018). Monitoring, Surveillance, and Management of the Electromagnetic Spectrum: Current Issues in Electromagnetic Spectrum Monitoring. *Electrica*, 18(1), 100-108.
- Durmaz, S., (2009) Müzik Teknolojisi ve Audio Terimleri Sözlüğü, Cinius Yayınları, 119-120.
- Gao, F., & Niu, Z. (2016, October). Analysis of the Doppler effect of wind turbines. In 2016 11th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory (ISAPE) (pp. 464-467). IEEE.
- Jia, Y., (2018) Real-Time Control Systems, Transportation Cyber-Physical Systems, Elsevier Inc, 81-113.
- Baba, K., Fukumori, Y., Kaneko, Y., Sekine, K., & Endo, A. (1978). Doppler Radar Speed Sensor for Anti-Skid Control System. *SAE Transactions*, 3065-3070.
- Liu, Q. (1999, November). Doppler measurement and compensation in mobile satellite communications systems. In MILCOM 1999. IEEE Military Communications. Conference Proceedings (Cat. No. 99CH36341) (Vol. 1, pp. 316-320). IEEE.
- Mahafza, B. R., & Elsherbeni, A. Z. (2004). Simulations for Radar Systems Design. Chapman&Hall/CRC.

Shih, Y. Y., Pang, A. C., & Hsiu, P. C. (2017). A Doppler effect based framework for Wi-Fi signal tracking in search and rescue operations. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(5), 3924-3936.

Monaco, C. D., Brennan, S. N., & Hacker, K. A. (2018, November). Doppler Velocity Log Placement Effects on Autonomous Underwater Vehicle Navigation Accuracy. In *2018 IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicle Workshop (AUV)* (pp. 1-6). IEEE.

Önen, U., (2010) *Ses Kayıt ve Müzik Teknolojileri*, Çitlenbik Yayıncılık, 78.

Pamungkas, W., & Suryani, T. (2018, Mart). Doppler effect in VANET technology on high user's mobility. In *2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)* (pp. 899-904). IEEE.

Severino, J. V. B., Zimmer, A., Brandmeier, T., & Freire, R. Z. (2019). Pedestrian recognition using micro Doppler effects of radar signals based on machine learning and multi-objective optimization. *Expert Systems with Applications*, 136, 304-315.

Tabaković, Ž. (2000, Ocak). Doppler effect in non-GSO satellite propagation. In *Millennium conference on antennas and propagation-IEEE AP-2000*.

Toles, G.E., (1969) *Radar Bullet Tracer*, *The Journal Of Criminal Law, Criminology and Police Science*, 15 (9-9): 4849.

Wang, S., & Gao, M. (2017, December). Current model and Doppler effect based time synchronization algorithm. In *2017 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC)* (pp. 326-330). IEEE.

Zeren, A., (2003) *Müzik Fiziği*, Pan Yayıncılık, İstanbul, 17, 66, 67, 68, 89.

İnternet Kaynakları

İ.K.1 - <https://wonders.physics.wisc.edu/what-is-motion/> 10.12.19

İ.K.2 - <https://www.explainthatstuff.com/sound.html> - 10.12.19

İ.K.3 - <http://koklea.tripod.com/ses.htm> - 01.01.20

İ.K.4 - <https://fizikdersi.gen.tr/dalgalar-dalga-hareketi-cesitleri/> - 21.12.19

İ.K.5 - <http://www.sanatsalbilgi.com/DOKUMANLAR/13/dalga-bilgisi-1085.html> - 17.12.2019

İ.K.6 - <https://www.fizik.net.tr/site/dalgalar-temel-kavramlar-yay-dalgaları/>

İ.K.7 - <https://www.fizikbilimi.gen.tr/dalgalar/> - 01.01.2020

İ.K.8 - <https://589086750403233364.weebly.com/dalgaların-hizi-ve-ortamin-hiza-etk304s304.html> - 17.12.2019

İ.K.9 - <https://tazemuhendis.net/2019/02/frekans-ve-genlik-nedir-nelere-baglidir.html> - 17.12.2019

İ.K.10 - <https://diyot.net/dalga-boyu/> - 17.12.2019

İ.K.11 - <https://www.dersimiz.com/terimler-sozlugu/periyot-nedir-ne-demek-850> - 17.12.2019

İ.K.12 - <https://medium.com/sercansolmaz/ses-frekans-nedir-cb24477d83fa> - 21.12.19

İ.K.13 - <https://www.ilkkimbuldu.com/doppler-kayması-kim-buldu/> 29.11.2019

İ.K.14 - <https://www.onlinefizik.com/doppler-olayı/> - 01.01.2020

İ.K.15 - <https://economictimes.indiatimes.com/definition/doppler-effect> - 01.01.2020

İ.K.16 - <https://physicsofambulances.weebly.com/the-doppler-effect.html> - 01.01.2020

İ.K.17 - <https://www.iienstitu.com/blog/astronom-edwin-hubble-evreni-kesfetti> - 01.01.2020

İ.K.18 - <https://www.elektrikport.com/universite/osilator-nedir-1-bolum/11410#ad-image-0> - 01.01.2020

İ.K.19 - <https://numuneeah.saglik.gov.tr/TR,193124/ultrasonofi-doppler-unitesi.html>
- 01.01.2020

İ.K.20 - <https://www.mpoweruk.com/radio.htm> - 01.01.2020

İ.K.21 - <https://www.ilkkimbuldu.com/heinrich-hertz-kimdir/>

Video Kaynaklar

V.K.1 - https://youtu.be/c38H6UKt3_I

V.K.2 - <https://youtu.be/i77D2c9CHZo>

V.K.3 - <https://youtu.be/t4iC6zWTVkI>

V.K.4 - <https://www.youtube.com/watch?v=oZtkK7Nvcw8> (6.08 sn) Videodaki Link: <http://www.exoplanet.eu/> - 01.01.2020

V.K.5 - <https://www.youtube.com/watch?v=VqmdbppbUgw> (Ultrasonofi Doppler Ünitesi)

V.K.6 - https://www.youtube.com/watch?v=g87btwYgi-4&feature=emb_logo (Doppler Dome)