

Bazı Lokasyonlarda Ses-Ötesi 20-40 kHz Sinyal Varlığının Tespiti

Detection of Ultrasound 20-40 kHz Signal Presence in Some Locations

Melike Girgin, Eren Taha Yüzgeç, Tayfun Akgül

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
{girginm20, yuzgec19, tayfunakgul}@itu.edu.tr

Özetçe

Bu bildiriye, İstanbul'daki metro, Marmaray, tramvay, hastane, alış-veriş merkezi, havaalanı, hatta asansör gibi farklı ortamlarda kaydedilen ses verilerinde 20-40 kHz frekansa sahip sinyallerin varlığı sunulmuştur. Ses ötesi bölgedeki zaman-frekans analizi, ses basınç seviyesi ölçüm sonuçları ve karşılaştırmaları yapılmış; bu tür sinyalleri üreten kaynaklar incelenmiştir.

Abstract

In this paper, detection of 20-40 kHz ultrasound signals in various locations (i.e., transportation vehicles, stations, hospitals, shopping malls, airports and even elevators) in Istanbul is presented. Time-frequency analysis of these signals and their sound pressure level measurements are shown. Simple comparisons between the ultrasound frequency and sound pressure level values of signals from different locations are made. The sources of such signals are summarized.

1. Giriş

İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Yerleşkesi'nin gürültü haritası çıkarımı esnasında metro girişindeki kayıtlarda duyma frekans bandının biraz üstünde (20 kHz civarında) bir ses ötesi sinyal kaynağı tespit edilmesi üzerine diğer farklı ortamlarda ve araçlarda çeşitli zaman aralıklarında kayıtlar alınıp incelenmiştir. Mevcut metro hatları, Marmaray, tramvay, alış-veriş merkezleri, hastaneler, havaalanları, konaklama tesisleri, konferans salonları ve hatta asansörde alınan ses kayıtlarında 20-40 kHz arasında duyma ötesi ses sinyalleri gözlenmiş, bu sinyallerin Ses Basınç Seviyesi (SBS) hesaplanarak her birinin ses şiddetleri kestirilmiştir. Kayıt yapılan mekanların tek ortak özelliği kayıt sırasında çalışır vaziyetteki havalandırma sistemlerinin varlığıdır.

Bu bildiriye, farklı ortamlarda tespit edilen duyma frekans bandının üstündeki ses-ötesi sinyallerin gözlemlerinden örneklerin sunulması (Bölüm II), ses-ötesi sinyalin kaynaklarının irdelemesi (Bölüm III) ve araştırmalar sonucu elde edilen bilgilerin tartışılması (Bölüm IV) yapılmaktadır.

2. Gözlemler

Ses ötesi baskın sinyallerin tespiti çalışması için, Şekil-1'de görülen AudioMoth türü özel kayıtçılardan kullanılması gerekmektedir. Bu cihaz nispeten düşük maliyetli, üç adet AA pille uzun süreler kayıt yapılabilen, yüksek (384 kHz'e kadar) örnekleme hızına sahip, hafif, küçük boyutlu ve en önemlisi açık kaynaklı yapıdadır [1]. Cihazın teknik özellikleri Tablo-1'de incelenebilir.



Şekil 1: Audiomoth marka kayıtçı.

Tablo 1: AUDIOMOTH TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Örneklem Frekans Aralığı		8 - 384 kHz
Güç		3 x AA Pile
Boyut		58 x 48 x 15 mm
MEMs Mikrofon	Duyarlılık	-38dBV/Pa
	SNR	63dBA, 10Hz to 192kHz
	Yükseltilmiş	30.6 dB
	Değişken Kazancı	

İlk kez İTÜ Ayazağa Yerleşkesi girişindeki M2 Metro'sunda fark edilen ses ötesi sinyal sonrasında Şekil-2'deki bir çok metro hattı ve metro istasyonu ile AVM, hastane gibi çeşitli merkezlerde Audiomoth ile akustik kayıt gerçekleştirilmiş, ham sinyal verileri en basit zaman-frekans analiz yöntemi Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (STFT)

$$X_m(f) = \sum_{n=1}^N x(n)w(n - mr)e^{-2\pi jfn/N} \quad (1)$$

vasıtasıyla incelenmiştir. Burada $x(n)$ L uzunluğa sahip ayrık

zamanlı gürültü sinyali, $w(n)$ N uzunluğunda örneklenmiş pencere fonksiyonu, r ise ardışık pencereler arasındaki öteleme değeridir. Sinyalin frekans spektrumunun zamana göre değişimi için her bir pencere için $S(m, f) = |X_m(f)X_m^*(f)|^2$ yoğunluğu ölçülür. Burada $S(m, f)$ spektrogramı, $|\cdot|$ mutlak değeri, $(\cdot)^*$ ise karmaşık eşleşme simgelemektedir. Spektrogram iki boyutlu grafikte dikey-düşey eksenler frekans-zamanı gösterirken, grafik üstündeki renkler ise güç spektral yoğunluğunun değerlerini görselleştirmektedir. Bu görselleştirmeyle kaydedilmiş verilerde baskın ses ötesi sinyallerinin tespiti yapılabilmektedir.

Zaman-frekans analizi ile tespit edilen baskın ses ötesi sinyalinin şiddeti Ses Basınç Seviyesi (SBS, Sound Pressure Level) ile hesaplanır:

$$SBS = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \text{ dB} \quad (2)$$

Burada p ölçülen ses sinyalinin basınç değeri, p_0 20 mikropascal seviyesinde (μPa) ses basınç referans değeridir.

Mikrofonların duyarlılık ve yükselteç değişken kazancı gibi değerleri SBS ölçümlerinin doğru hesaplaması için kullanıcılar ile paylaşılmaktadır. Mikrofon için V/Pa 'ın doğrusal birimleri cinsinden hassasiyeti $D_{V/\text{Pa}}$, desibel cinsinden logaritmik olarak ifade edilebilir:

$$D_{dBV} = 20 \log_{10} \frac{D_{V/\text{Pa}}}{O_{AREF}} \quad (3)$$

burada O_{AREF} , 1 V/Pa referans çıkış oranıdır. Yaptığımız ölçümlerde AudioMoth marka kayıtçıya ait Tablo-1'de verilen teknik özellikler dikkate alınmıştır.

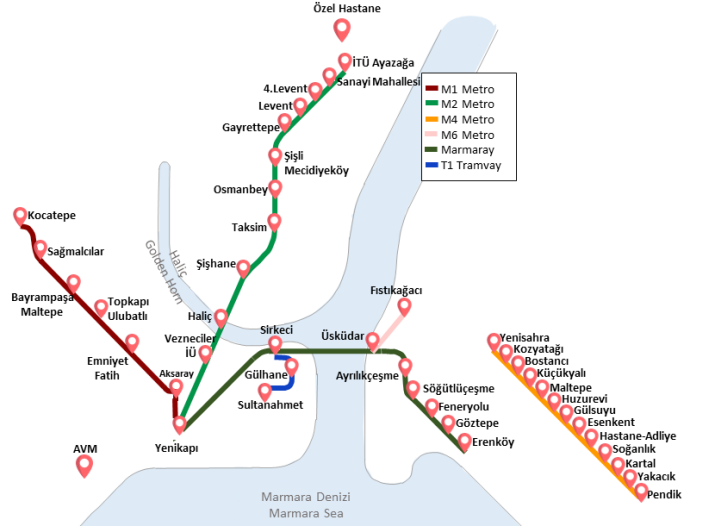
Şekil-2'de istasyon konumları ve hatları gösterilen Metro, Marmaray, tramvay verilerine ek, havalandırma sistemleri etkin çalışan hastane, havaalanı, alış-veriş merkezi (AVM), konaklama tesisi, asansör gibi farklı alanlarda akustik veriler toplanıp incelenmiştir. Veriler toplama sırasında örnekleme frekansları bir kayıt hariç (96 kHz) hepsinde 192 kHz seçilmiş; zaman-frekans analizi için MATLAB yordamları kullanılmıştır.

Bu verilerden ulaşım araçları istasyonlarında kaydedilenlerinin ölçüm değerleri Tablo-2'de sunulmaktadır. Görüldüğü gibi, her metro hattının istasyon ölçümlerinde farklı baskın frekanslı ses ötesi sinyaller gözlenmiştir.

Tablo 2: ULAŞIM ARAÇLARI SONUÇLARI

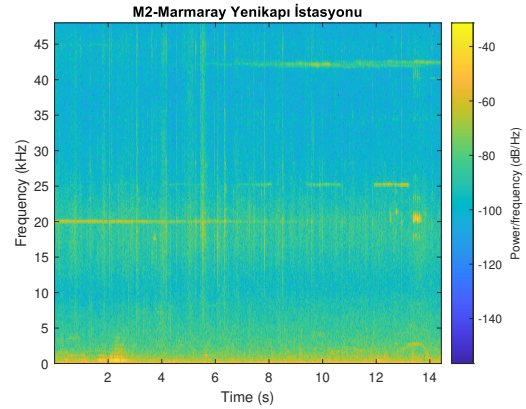
Ad	Frekans (kHz)	Min. SBS (dB)	Max. SBS (dB)	Ortalama SBS (dB)	Standart Sapma
M1 Metro	20.02	50.02	76.16	56.12	± 9.68
M2 Metro	19.87	43.83	77.85	62.03	± 11.85
M4 Metro	20.06	37.49	62.81	45.60	± 7.26
M5 Metro	22.12	43.84	43.73	43.78	± 0.07
Marmaray (Tünel)	25.12	51.87	72.04	59.22	± 11.14

Toplu ulaşımında alınan kayıtlar ulaşım araçlarının girişindeki sokak/cadde kısmından başlatılmış ve yolculuk bitinceye kadar geçen sürede alınmıştır. Farklı ulaşım araçları değişikliği bu kayıtlar esnasında yapılmış ve bu alanlarda da verilerde incelemeler gerçekleştirilmiştir. Yenikapı ve Üsküdar gibi farklı ulaşım hatlarının birleştiği ortak istasyonlarda turnikeler çevresindeki kayıtlarında, frekans spektrumu incelendiğinde birden fazla baskın ses ötesi frekans görülmektedir. Örneğin, Şekil-3'te M2 Metrosunun 20 kHz'de bulunan sinyali ile Marmaray'ın 25



Şekil 2: İstanbul'da alınan akustik kayıtların haritası. Konum işaretleri farklı ulaşım araçlarının istasyonlarının, özel hastane-nin ve AVM'nin konumlarını belirtmektedir.

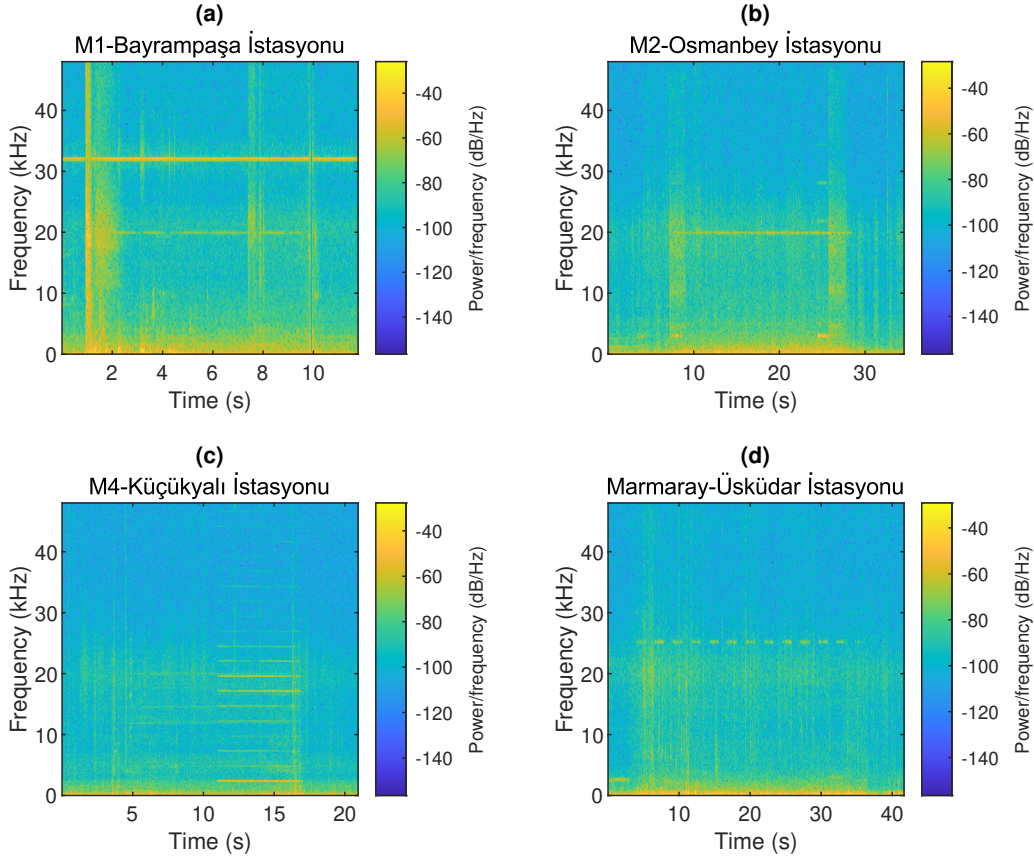
kHz'deki sinyalleri, 6. ve 10. saniye arasında birlikte gözlenmektedir.



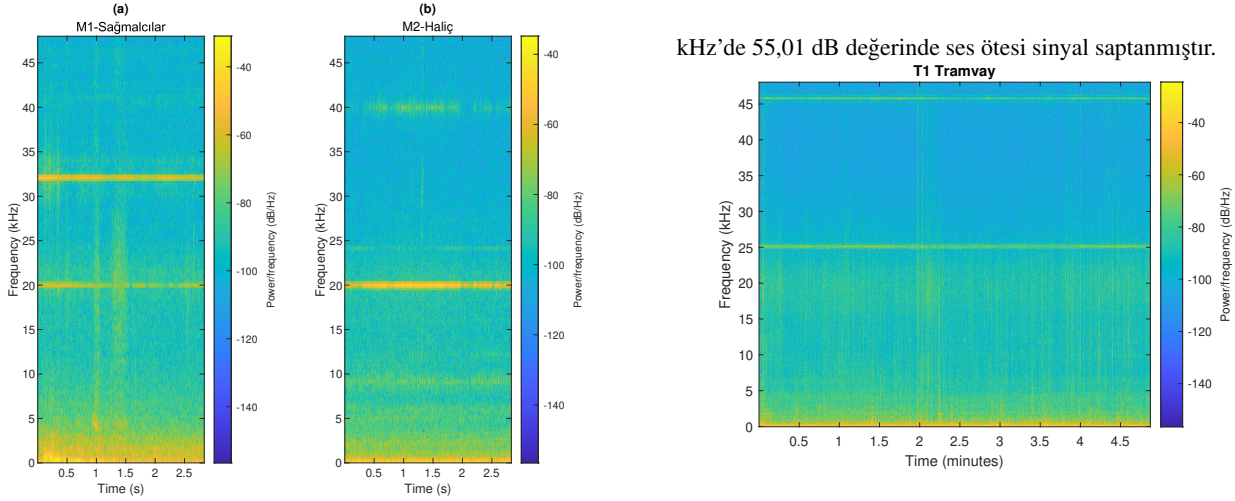
Şekil 3: Yenikapı istasyonunda M2 ve Marmaray'ın ses ötesi sinyallerinin aynı anda gözlenmesi

Verilerde dikkat çeken bir diğer durum ise ulaşım araçlarının içinde seyahat ederken tespit edilmiştir. Kapıların açık kaldığı i-) Şekil-4(a)'da 1. ve 10. saniyeler; ii-) Şekil-4(b)'de 9. ve 29. saniyeler; iii-) Şekil-4(c)'de 4. ve 16. saniyeler; iv-) Şekil-4(d)'de 18. ve 60. saniyeler arasındaki sinyallerin spektrogramları incelendiğinde baskın ses ötesi sinyal görülmektedir. Ancak tren içindeyken kapılar kapandığında ses ötesi sinyaller kaybolmaktadır.

Ulaşım araçlarında M2 metronun Halıç durağı ve M1 metronun Kocatepe ve Sağmalcılar gibi dış alan duraklarında sesin kılavuzlanarak yayılmasıyla, Şekil-5'te görüldüğü üzere yeraltındaki metro istasyonlarında tespit edilen ses ötesi değerlere benzer veriler mevcuttur. Diğer tünel içi ve dışı güzergaha sahip ulaşım aracı da Marmaray'dır. Tablo-2'de görüldüğü üzere



Şekil 4: (a) M1-Bayrampaşa, (b) M2-Osmanbey, (c) M4-Küçükyalı ve (d) Marmaray-Üsküdar istasyonlarında kapıların açıldığı ve kapandığı zaman aralığındaki ses ötesi sinyalleri göstermektedir.

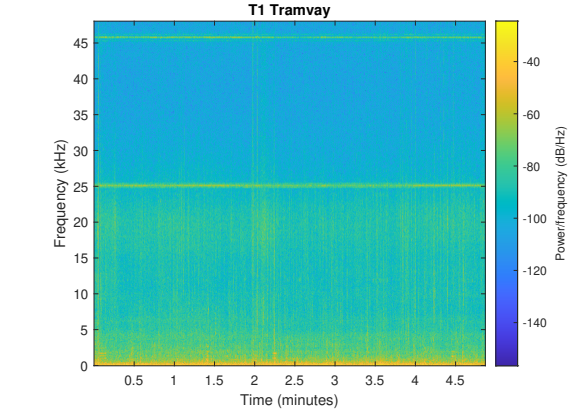


Şekil 5: Tünel dışı istasyonlarda sesin kılavuzlanma etkisi sonucu görülen sinyal.

Marmaray'da tünel içindeki istasyonlarda ses ötesi sinyal verilerinde metrolara oranla yüksek desibel değerlerine sahip sinyaller görülmüştür. Tünel dışında ise ses ötesi sinyal tespit edilmemiştir.

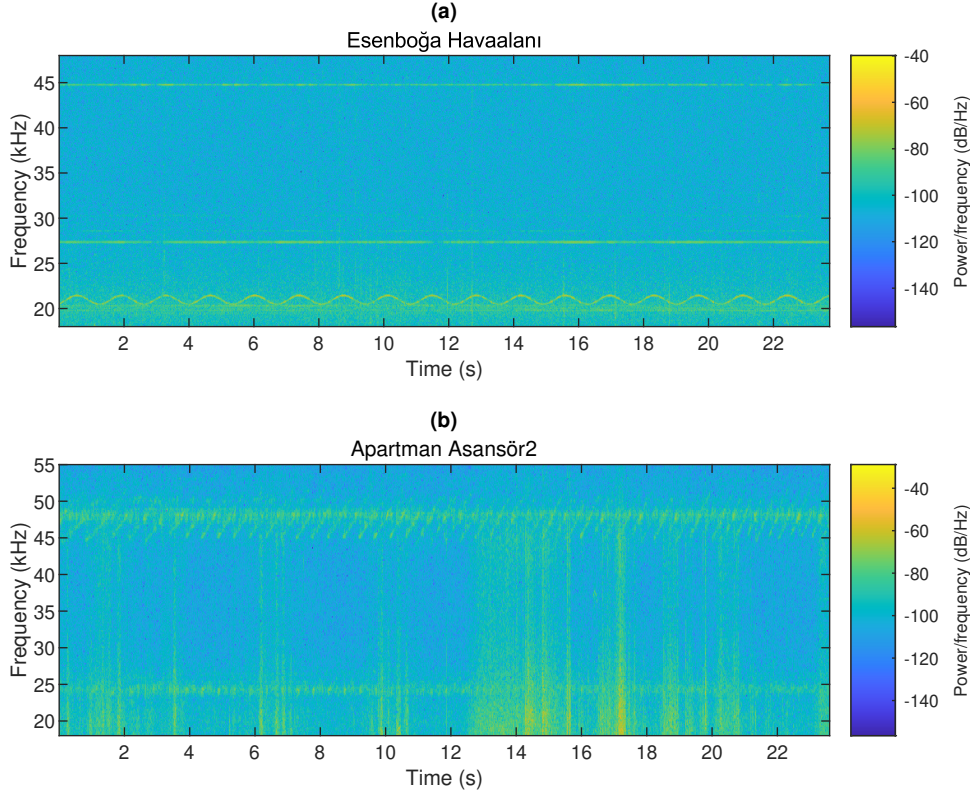
T1 Kabataş-Bağcılar tramvayında ise diğer ulaşım araçlarından farklı bir durum görülmüştür. Tramvay verisinin Şekil-6'daki spektrogram incelenmesi sonucu araç içinde 25,12

kHz'de 55,01 dB değerinde ses ötesi sinyal saptanmıştır.



Şekil 6: T1 Tramvay içinde yolculuk anındaki verinin spektrogramı.

Ulaşım araçları haricinde farklı ortamlardaki ölçümlerin sonuçları Tablo-3'te yer verilmiştir. Tablo-3'te Esenboğa havaalanındaki ve asansör içindeki kayıta birbirinden bağımsız iki farklı sinyal saptanmış ve bu sinyallerin spektrogram analizi Şekil-7'de gösterilmektedir. Tablo-3'te dikkat çeken bir diğer durum ise Şekil-8 ile Şekil-7(b)'de spektrogramları incelenen AVM'nin, konaklama tesislerinin, hastanenin ve apartman asansörlerinin havalandırmalarında aynı frekansta sinyaller tespit edilmiştir. Bu durum, havalandırma sistemlerinde aynı motor



Şekil 7: (a) Esenboğa Havaalanında ve (b) Bir binanın asansöründe tespit edilen iki farklı frekansa sahip ses-ötesi sinyaller. Bu frekansların ayrıntılı gösterimi için (a)'da sinyalin 18-48 kHz (b)'de sinyalin 18-55 kHz arası gösterilmiştir.

kontrol yöntem ve sistemlerinin kullanıldığı üzerine tahminleri arttırmaktadır.

Tablo 3: DİĞER SES ÖTESİ SINYAL SONUÇLARI

Yer	Frekans (kHz)	SBS (dB)
AVM	19,875	65,01
Konaklama Tesisi	19,875	78,96
Özel Hastane	19,875	49,37
Bina Asansörü	48,023	35,32
	23,085	37,52
Esenboğa Havaalanı	20,500-21,500	37
	27,375	35,96

3. Ses Ötesi Sinyal Kaynağı

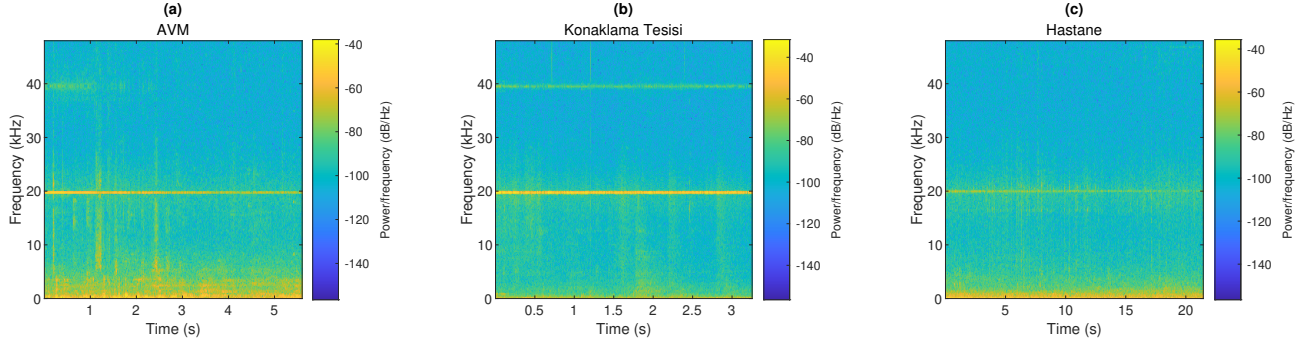
Farklı ortamlarda alınan kayıtlarda gözlenen sinyallerin havalandırma motorlarından kaynaklanabileceği çünkü bu lokasyonların tümünde kayıt esnasında havalandırma sistemlerinin çalıştırıldığı gözlenmiştir. Bu tespiti belirginleştirmek amacıyla çeşitli türlerde motorları gözlemek için de 3D yazıcılarda bulunan küçük boyutlu motorun civarında akustik kayıt alınmıştır. Şekil-9'da spektrogramı gösterilen 3D yazıcının baskın ses ötesi sinyali 35,62 kHz'de 62,79 dB saptanmıştır.

Günümüzde yaygın kullanılan havalandırma sistemlerindeki elektrik motorunun sabit bir gerilim ile beslenmesi durumunda motor hız ayarının gerilim kontrollü -örneğin Darbe Genişliği Modülasyonu (PWM) gibi- bir donanın vasıtasıyla sağlanmaktadır. PWM modülasyonu gerçekleyen ve motoru kont-

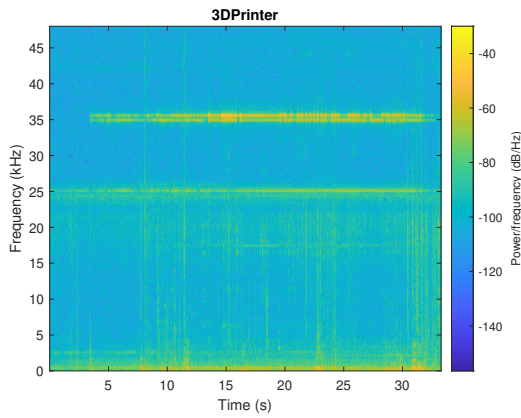
rol etmek için kullanılan güç elektroniği sistemlerinde endüktif elemanlar kullanıldığından, PWM sinyali ve motorun manyetik elemanlarının etkileşimi sonucunda motor titremesi meydana gelmekte, bu da duyulabilir seviyelerde akustik sinyal yayımlayabilmektedir [2]. Bu tür sinyallerin insanlar tarafından algılanmasını engellemek amacıyla üreticiler anahtarlama frekansı adı verilen kontrol sinyalinin 20 Hz - 20 kHz bandının üstüne ötelemektedir [3] [4] [5].

PWM sistemler muzdarip olduğu bu gürültüye rağmen daha düşük gürültü seviyesinde çalışan PFM gibi metotlara oranla yüksek performans bakımından daha verimlidir [6]. Bu sebeple,

- PWM invertörlerinde gerilim enjeksiyon yöntemi ile akım dalgalanmaları düzeltilerek gürültü şiddeti düşürülebilmesi [7];
 - Ses ötesi frekansta anahtarlama yapan izoleli kapılı bipolar transistörlerin (insulatedgate-bipolar-transistors-IGBT's) PWM doğrultucu-invertör sistemi kullanılarak motorun daha verimli çalışması ve gürültüyü azaltılması [8];
 - PWM kontrollü anahtarlama relüktans motorlarının (switched reluctance motor) 20 kHz anahtarlama frekansında sürülmesi ile elektromanyetik dalgalanmaların etkisiyle oluşan gürültüleri azaltılması [9]
- gibi çeşitli yöntemlerle gürültünün insan kulağının duyma üst sınırı olan ($> 20kHz$) seviyesine çıkarılabilecek şekilde tasarımlar yapılarak kullanılabileceği gösterilmiştir.



Şekil 8: (a) AVM, (b) Konaklama tesisi ve (c) Özel Hastanede tespit edilen ses ötesi sinyaller.



Şekil 9: 3D yazıcı etrafında alınan akustik verinin spektrogramı.

4. Sonuçlar

Bu bildirde, farklı ortamlarda alınan kayıtlarda ses ötesi 20- 40 kHz sinyallerinin tespitine ilişkin çalışmalar sunulmuştur. Kayıt alınan ortamlar; ses ötesi sinyallerin zaman-frekans analizleri; ses basınç seviyesi ölçümleri ve verilerde dikkat çeken hususlar irdelenmiştir. Ses ötesi sinyallerin, havalandırma motorlarından kaynaklandığı ve havalandırma boru ve kanallarında kılavuzlanarak ortama yayıldıkları gözlemlenmiştir. Motorların PWM gibi motor kontrol sürücü devrelerinin elektromanyetik dalgalanmaların etkisiyle motorun fiziksel yapısındaki titreşime sebep olduğu literatürde yer almaktadır. Bu çalışmalarda motor kontrol sistemlerinde ses ötesi frekans kullanımının insan duyma eşliğinin üstüne çıkarılarak duyulabilir gürültüyü azaltmak amacıyla yapıldığı yer almaktadır. İleriki aşamalarda, cihazların özelliklerinin belirlenmesi, farklı cihazlara ait verilerin kontrollü toplanması ve etiketlenen verilerle motor tespit ve sınıflandırmasına yönelik yeni ve özgün çalışmaların yapılması hedeflenmektedir.

5. Teşekkür

Katkılarından dolayı Dr. Emrah Çoraman'a ve verilerin toplanmasında emeği geçen Ata Shaker'a teşekkür ederiz.

6. Kaynakça

- [1] Andrew P. Hill, Peter Prince, Jake L. Snaddon, C. Patrick Doncaster, and Alex Rogers, "Audiomoth: A low-cost acoustic device for monitoring biodiversity and the environment," *HardwareX*, vol. 6, pp. e00073, 2019.
- [2] Hanna Amlinger, Ines Lopez Arteaga, and Siv Leth, "Impact of pwm switching frequency on the radiated acoustic noise from a traction motor," in *2017 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, 2017, pp. 1–6.
- [3] Jean Le Besnerais, Vincent Lanfranchi, Michel Hecquet, and Pascal Brochet, "Characterization and reduction of audible magnetic noise due to pwm supply in induction machines," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 4, pp. 1288–1295, 2010.
- [4] Stefan Schmitt, "Acoustic noise of sheeted electrical steel inductors in pwm operation — causes and mitigation," in *2009 13th European Conference on Power Electronics and Applications*, 2009, pp. 1–8.
- [5] Jonas Miihlethaler, Manuel Schubiger, Uwe Badstübner, and Johann W. Kolar, "Acoustic noise in inductive power components," in *2013 15th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE)*, 2013, pp. 1–8.
- [6] H.B. Ertan and N.B. Simsir, "Comparison of pwm and pfm induction drives regarding audible noise and vibration for household applications," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 40, no. 6, pp. 1621–1628, 2004.
- [7] Jung-Ik Ha, "Voltage injection method for three-phase current reconstruction in pwm inverters using a single sensor," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 24, no. 3, pp. 767–775, 2009.
- [8] K. Thiyagarajah, V. T. Ranganathan, and B. S. Ramakrishna Iyengar, "A high switching frequency igbt pwm rectifier/inverter system for ac motor drives operating from single phase supply," *21st Annual IEEE Conference on Power Electronics Specialists*, pp. 663–671, 1990.
- [9] Xiaoyan Wang and Jih-Sheng Lai, "Small-signal modeling and control for pwm control of switched reluctance motor drives," in *2002 IEEE 33rd Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference. Proceedings (Cat. No.02CH37289)*, 2002, vol. 2, pp. 546–551 vol.2.