

Nano Sensörlerin Farklı Gaz Ortamlarında Geçiş Pencerelerinin Hesaplanması

Calculating of Nano Sensor's Transmission Window According to the Different Gas Environments

Mustafa Alper AKKAŞ*

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 14280, Bolu

• Geliş tarihi / Received: 15.08.2017 • Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 15.01.2018 • Kabul tarihi / Accepted: 27.01.2018

Öz

Nano ve Terahertz terimlerini her geçen gün daha çok duymaktayız. Nano teknolojisi adından da anlaşılacağı gibi nano boyutta materyal yapımı ve tasarlanmasını inceler. Nano teknolojisi birçok sektörde devrim niteliğinde değişiklikler meydana getirmiştir. Bunlardan bir tanesi ise nano boyutta sensörlerin tasarlanıp kullanılmasıdır. Nano sensörlerin tasarlanması ve kullanılabilmesinde bazı noktalara dikkat edilmesi gerekmektedir. Nano ölçekli makineler boyutları itibariyle nano boyutlu antenlere ihtiyaç duyar, bu nedenledir ki nano boyutlu antenler Terahertz frekanslarında çalışır. Terahertz frekansları ortamı oluşturan atomların titreşimlerinden etkilenir. Terahertz frekansları titreşimlerin olduğu bölgelerden geçmekte zorlanır bunun için elektromanyetik dalgaların rahat geçebileceği geçiş pencereleri bulunmalıdır. Bu yüzden bu çalışmada farklı gazların geçiş pencerelerinin nasıl bulunduğunu anlatılacaktır.

Anahtar kelimeler: Elektromanyetik modelleme, Geçiş penceresi, Nano-sensör, Sensör tasarımı, Terahertz

Abstract

We hear the Terahertz and Nano term more every passing days. As we understood from its name nano technology investigates production and design of nano sized material. Nanotechnology has brought revolutionary changes in many sectors. One of these is designing and using nano sensors in nano dimensions. It should considered some points while designing and using nano sensors. Nano sensors need nano antennas because of their size limitations that is why nano sensors work on Terahertz frequencies. Terahertz frequencies affected from the environment's vibration atoms. Terahertz frequencies cannot pass from the vibration atom's environments that is why the transmission windows which the electromagnetic frequencies could easily pass need to be found. That is why in this paper it will be described that how the transmission windows would be founded in different gasses environments.

Keywords: Electromagnetic modelling, Nano sensor, Sensor design, Terahertz, Transmission window

*Mustafa Alper AKKAŞ; m_alperakkas82@yahoo.com; Tel: (0374) 254 10 00/4893; orcid.org/ 0000-0003-0185-0464

1. Giriş

Nano teknoloji terimi 1959 yılında Nobel ödüllü fizikçi Richard Feynman ‘Aşağıda Oldukça Fazla Yer Var!’ (There’s Plenty of Room at the Bottom!) başlıklı konuşmasında yer almıştır. Aslında Feynman bir cümle ile nano teknolojinin nasıl geniş bir alanda kullanılabileceğini ifade etmiştir. Feynman bu konuşması nano teknolojinin başlangıcı olarak kabul edilmektedir (Feynman, 1960). Feynman’ın bu konuşmasında çalışmayla ilgili önemli noktaları özetleyecek olursak: 24 ciltlik Brittanica Ansiklopedisini bir toplu iğne başına yazılabileceğini, küçük boyutu nasıl tanımlamamız gerektiğini, küçük boyuttaki bilgiyi nasıl analiz edebileceğimizi, atomları yeniden düzenleme, bilgisayarların minyatürleştirme gibi başlıklar altında toplanır.

Yıllar geçtikçe daha küçük bilgisayarlar ve birimleri yapılmaktadır. Bu küçülme ihtiyacı uygulamalara yöneliktir. Örneğin telsiz duyurga ağlarında, duyurga ağlarının nano boyutuna indirilme çalışmaları vücut içi haberleşme için gereklidir. Vücut içi haberleşmede, telsiz duyurga ağlarının, tıpkı yeryüzünde kullanıldıkları gibi, vücut içinde haberleşmede kullanmaları hedeflenmektedir. Uygulama alanı ise oldukça geniştir, tıpkı vücut hücreleri gibi savunma amaçlı kullanılması hedeflenmektedir. Bunlar birçok uygulama ile genişletilebilir. Sadece haberleşme teknolojisinde değil birçok alanda nano teknolojisi ve türevleri kullanılmaktadır (Akkaş, 2016; Akyildiz ve Jornet, 2010; Federici ve Lothar, 2010).

Nano sensörler tasarlanırken çalıştığı frekans ve kullanacağı haberleşme frekansı oldukça önemlidir. Terahertz (THz) frekansları ortama göre farklı davranırlar, bu yüzden iletişim mesafeleri değişir. Ortamı oluşturan atomlar THz ortamında farklı titreşimler gösterirler. Bu çalışmada nano sensörler tasarlanırken özellikle gaz ortamdan nasıl etkilenir ve frekans spektrumu açısından nelere dikkat edilmelidir konuları üzerinde durulacaktır (Akkaş ve Sokullu, 2015; Kutlu, 2012; Sullivan ve Murphy, 2012).

Literatürde farklı ortamların farklı frekanslarda elektromanyetik modellenmesi mevcuttur. Bunlardan bazıları listelenecek olursa: Toprak ortamını elektromanyetik dalga tabanlı inceleyen çalışmaların varlığı başta gelmektedir (Vuran ve Akyildiz, 2010). Bu çalışmalarda ise TDYA (Telsiz Duyurga Yeraltı Ağları)’da iletişim incelenmiştir. Ayrıca TDYA’larının toprak ortamı için yol kaybını ve BHO’ları incelenmiş ve geçiş

penceresi araştırılmıştır. THz bantlarında, benzer çalışmalardan bir tanesi ise Jornet ve Akyildiz (2013)’nin çalışmasıdır. Bu çalışmada 0,1 THz ile 10 THz bant aralığı incelenerek, bu aralığın vücut içi haberleşme tekniklerinde nasıl kullanılabileceği araştırılmıştır. Çalışmada THz bantlarının birçok uygulamalarda kullanılabileceği teorik olarak gösterilmiş ve elektromanyetik dalgaların vücut içerisinde nasıl modellenilebileceği anlatılmıştır.

Elrashidi vd. (2012) su ortamında yeraltı duyurga ağlarının davranışları 2.4 GHz’ de incelemiştir. Akkaş ve Sokullu (2015) ise yine su ortamını 300 ile 700 MHz bantları arasındaki soğurma özellikleri, grafik sonuçlarının daha az yol kaybına neden olduğunu, bu sebepten dolayı daha çok iletişim mesafesine sahip olduğunu göstermiştir.

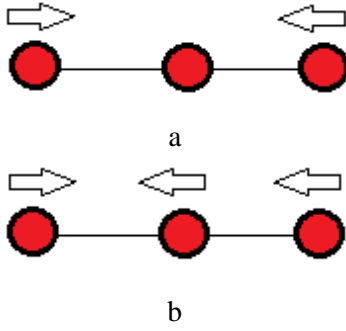
Makalede sırasıyla 2. bölümde THz dalgalarının ortama göre davranışının nasıl olduğu anlatılmakta, 3. bölümde ise THz dalgalarının nasıl teorik olarak modellendiği, 4. bölümde ise 3. bölümde elde edilen teorik sonuçlara göre grafiksel sonuçlar verilmiştir. En son bölümünde ise çalışma toparlanarak elde edilmesi gereken sonuç verilmiştir.

2. Terahertz Dalgalarının Ortama Göre Davranışı

THz dalgalarında atomlar farklı titreşimler gösterir. Örnek vermek gerekirse N atomlu kapalı halka oluşturan bir molekül, N-1 bağa sahiptir. Böyle bir molekülün 3N-6 titreşiminden N-1’i bağ gerilme titreşimi geri kalan 2N-5 tanesi ise açılı bükülme titreşimidir. Molekül titreşimlerini gerilme titreşimleri, açılı bükülme titreşimleri ve düzlem dışı açılı bükülme titreşimi olarak 3’e ayrılabilir (Yalçın ve Atış, 2015).

2.1 Gerilme Titreşimi

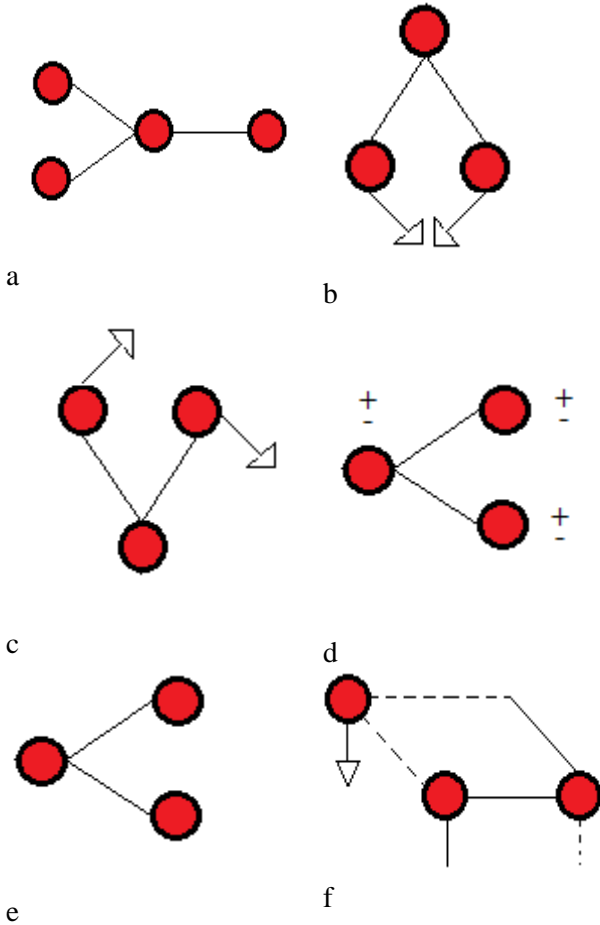
Gerilme titreşimi, molekül gruplarının yer değiştirmesidir. Vektörlerin uzunluğu bu yer değiştirmeye göre belirlenir. Bağların senkron olarak aynı anda hareket etmesine simetrik gerilme titreşimi, asenkron olarak hareket etmesine ise asimetrik titreşimi denir. Asimetrik titreşimli moleküller asenkron hareket ettiği için frekans artar. Frekans ile enerji ise doğru orantılıdır. Şekil 1 de gerilme titreşimleri çeşitleri olan simetrik ve asimetrik gerilme şekilleri verilmiştir (Takahashi, 2014).



Şekil 1. Gerilme titreşimi (a) Simetrik Gerilme. (b) Asimetrik Gerilme.

2.2 Açık Bükülme Titreşimi

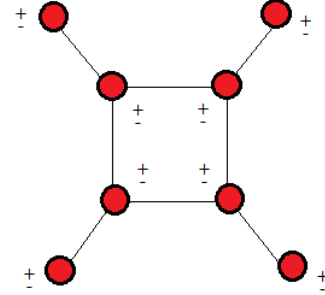
Açık bükülme titreşimleri, iki bağ arasındaki açının periyodik olarak değişim hareketidir. Yer değiştirme vektörleri bağ doğrultusuna diktir. Açık bükülmenin özel şekilleri ise: Makaslama, Sallanma, Dalgalanma, Kıvrılma, Burulma titreşimidir. Şekil 2’de açık bükülme, makaslama, sallanma, dalgalanma, kıvrılma ve burulma açık bükülme titreşim türleri verilmiştir (Takahashi, 2014).



Şekil 2. Açık bükülme titreşimi. (a) Açık Bükülme. (b) Makaslama. (c) Sallanma. (d) Dalgalanma. (e) Kıvrılma. (f) Burulma.

2.3 Düzlem Dışı Açık Bükülme Titreşimi

Hareket biçimi şemsiye şeklinde olan kapalı halka moleküllerinde oluşan titreşim şeklidir (Howard ve Schlegel, 2006). Şekil 3’te düzlem dışı açık bükülme şekli verilmiştir.



Şekil 3. Düzlem dışı açık bükülme titreşimi

Elektromanyetik dalgalar THz frekansında bir noktadan diğer bir noktaya hareket ederken, moleküllerin titreşimlerinden etkilenir. Tasarımcı THz frekanslarında elektromanyetik dalgaları iletmek istiyorsa, titreşimsiz bölgeleri tercih etmelidir. Bu çalışmada amaç, özellikle gaz ortamında çalışacak araştırmacılara titreşimlerin en az olduğu bölgeleri göstermektir. Örnek vermek gerekirse kalabalık bir ortamda bir noktadan başka bir noktaya gitmek ne kadar zor olacaksa, THz frekanslarda titreşimli bölgelerde elektromanyetik dalgalarını iletimi de o kadar zordur. Kalabalık olmayan ya da düzgün dizilmiş insanlar arasından yürümenin basit olduğu titreşimsiz bölgelerde elektromanyetik dalgalar daha basit hareket etmektedirler.

THz teknolojisinin aynı zamanda görüntüleme teknolojisi, spektroskopi, MEMS (Mikro Elektrik-Mekanik Sistemler), iletişim sistemleri, Telsiz duyurğa ağları gibi farklı uygulama alanları vardır. Bu uygulama alanlarının hemen hemen hepsinde ilgili ortamın THz frekanslarında nasıl davrandıkları bilinmelidir. Bu çalışma, gaz ortamında ortamın nasıl modellendiği hakkında teorik bilgi vererek, farklı gaz ortamlarından örnekler vermiştir.

3. Terahertz Dalgalarının Teorik Modellemesi

Elektromanyetik dalgalar modellenirken başlangıçta genellikle Friss denklemi kullanılır. Friss denkleminin gürültü kaybı ve ortamdaki meydana gelen kaybı eklenmiş şekilde denklem (1)’de gösterilmiştir. Formül 1’de boşluk ortamında P_t verici antenin taşıma gücünü, d uzaklık, G_r ve G_t alıcı ve verici antenlerin kazancı, L_0 ise boş alan yol kaybı olan $L_0 = 32.4 + 20 \log$

(d) + 20log (f)'e eşittir. d uzaklığın birimi km ve frekans değeri ise MHz'dir.

$$P_r (dBm) = P_t (dBm) + G_r (dB) + G_t (dB) - L_0 (dB) - L_{gürültü} (dBm) - L_{ortam} (dB) \quad (1)$$

THz dalgalarının yayılımı her ortamda frekansa göre doğrusal değişmez ortama göre farklılıklar gösterir. THz dalgalarının değeri oldukça yüksek olduğu için yol kaybını büyük bir şekilde artırmaktadırlar. Zaten yüksek frekanstan dolayı artın toplam kayıp, ortam kaybının eklenmesiyle daha çok artar (Mao ve Anderson, 2007), (Rothman ve Gordon, 2008). Bu yüzden THz dalgalarının rahat geçtiği ortam kaybının minimize edildiği dalga aralıkları geçiş pencereleri hesaplanmalıdır. Bunu hesaplarken özellikle gazlarda HITRAN parametrelerinden faydalanılır (Rothman ve Rinslan, 1998). Ortamdan meydana gelen soğurma kaybı formülü açılacak olursa, denklem (2) elde edilmektedir.

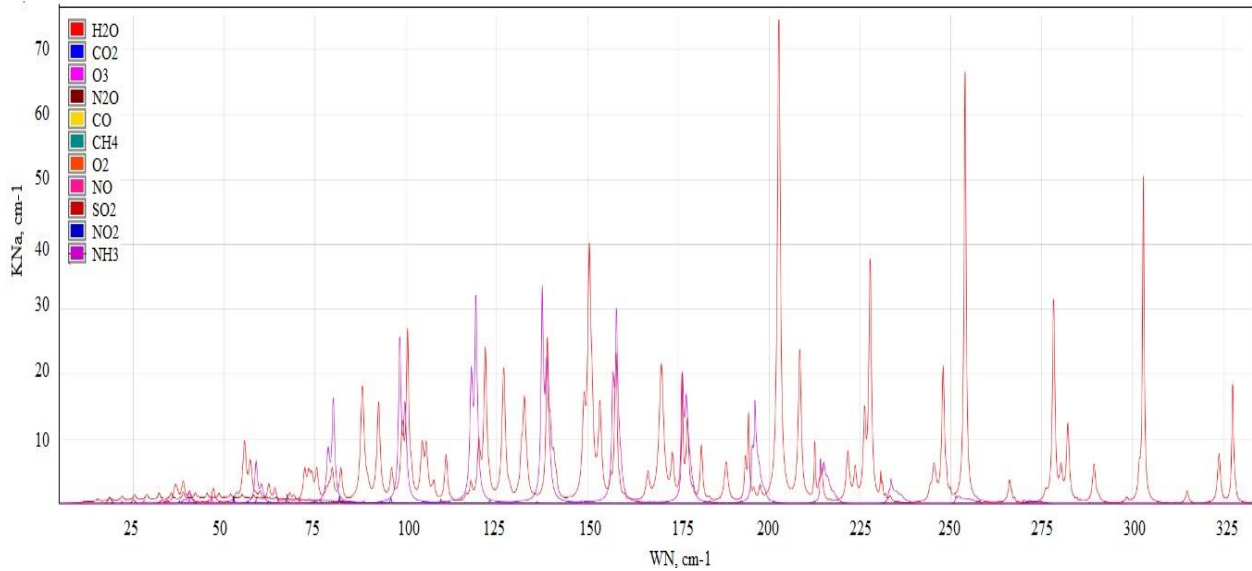
$$L_{ortam} (f,d) = k(f)_{gaz} * d * 10 * \log_{10} e \text{ (dB)} \quad (2)$$

Denklem (2)'deki k(f) katsayısı gaz ortamının frekansa göre değişen soğurma katsayısını vermektedir. Bu soğurma katsayısının değeri ise HITRAN parametrelerinden elde edilmiştir. k(f) katsayısı modellenecek ortama göre değişmekte ve modellenecek ortamın bileşenleri ne ise o değeri almaktadır. Şekil 4'de çalışmada kullanılan gazların HITRAN parametrelerine göre k(f) katsayısını vermektedir (<http://hitran.iao.ru/>).

HITRAN parametrelerinde k(f) soğurma katsayısının büyüklüğü denklem 3'te gösterilmiştir.

$$k(\omega) = N(p,T) \sum_{i=1}^q n^{(i)} \sum_{j=1}^{s(i)} I^{(ij)}(T) \Phi(\omega, \omega^{(ij)} - \omega, \omega^{(ij)} + \omega; p, T) \quad (3)$$

Denklem (3)'te $\omega = 2\pi f$ dir. $I_{(ij)}$ ise i_{th} izotop türlerinin j_{th} çizgisine göre integralidir. $\Phi_{(ij)}$ ise j_{th} çizgisinin çizgi şeklidir. N ise gaz moleküllerinin p basıncı ve T sıcaklığı altında hacim yoğunluğudur. Bu çalışmada 1 atm, T ise 296 Kelvin alınmıştır. $N(p,t) = p/(kT)$ eşittir, k ise Boltzmann sabitidir. N(i), i_{th} izotop türlerinin karışım oranıdır. $\Omega(i,j)$ ise j_{th} çizgisinin orta noktasıdır (Rothman ve Gordon, 2008; Rothman ve Rinslan, 1998)

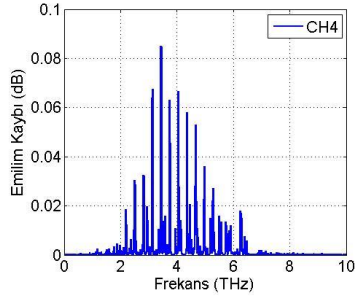
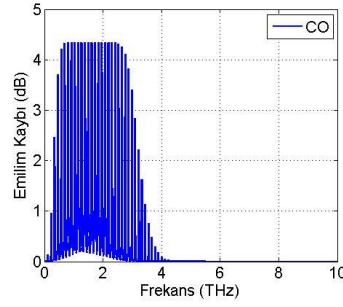


Şekil 4. HITRAN parametrelerine göre k(f) soğurma katsayısı değerleri (<http://hitran.iao.ru/>)

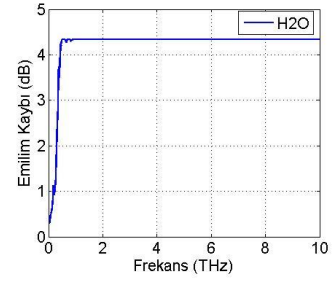
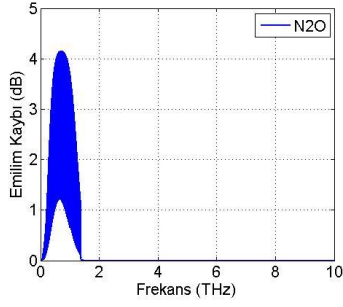
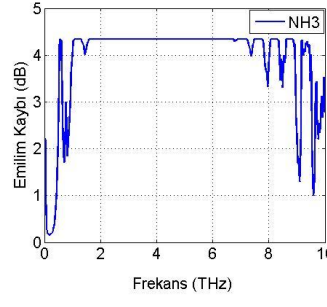
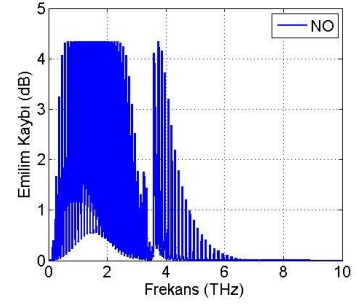
4. Grafikselle Sonuçlar

Şekil 5'de 0.01 THz ile 10 THz aralığında farklı gazların soğurma kaybı büyüklükleri verilmiştir. X eğrisi frekans olarak 0.01 THz – 10 THz aralığını, Y eğrisi dB cinsinden 1 cm genişliğindeki soğurma kaybını vermektedir. Grafikteki soğurma kayıpları denklem 2'den elde

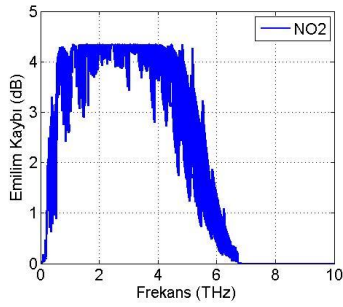
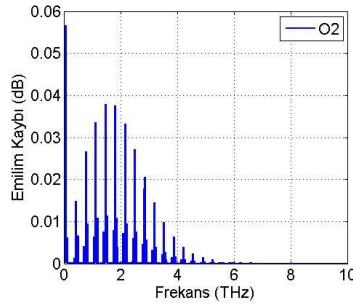
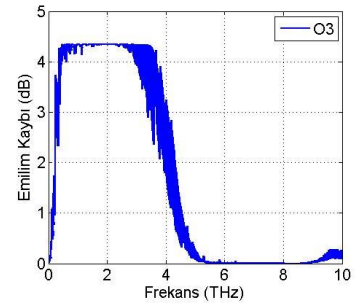
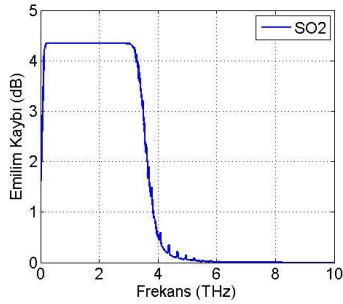
edilmiştir. k(f) soğurma katsayısının büyüklüğü HITRAN parametrelerinden elde edilmiştir. k(f) katsayısı denklem 3'ten elde edilmiştir. Gazların basıncı 1 atm, sıcaklığı ise 296 Kelvin olarak alınmıştır. Şekil 4'den de anlaşılacağı gibi her gaz bileşiği THz ortamında farklı davranışlar sergilemektedir.

a) CH₄'ün frekansa göre emilim kaybı

b) CO'nun frekansa göre emilim kaybı

c) H₂O'nun frekansa göre emilim kaybıd) N₂O'nun frekansa göre emilim kaybıe) NH₃'ün frekansa göre emilim kaybı

f) NO'nun frekansa göre emilim kaybı

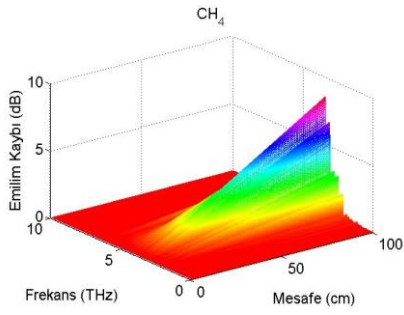
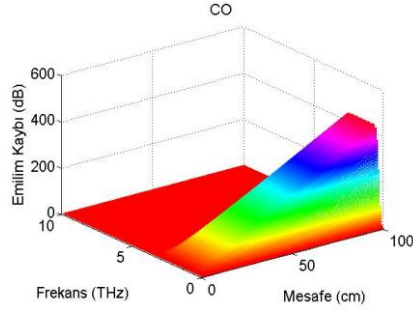
g) NO₂'nin frekansa göre emilim kaybıh) O₂'nin frekansa göre emilim kaybıI) O₃'ün frekansa göre emilim kaybıi) SO₂'nin frekansa göre emilim kaybı

Şekil 5. 1 cm genişliğinde ki gazların frekansa göre emilim kaybı

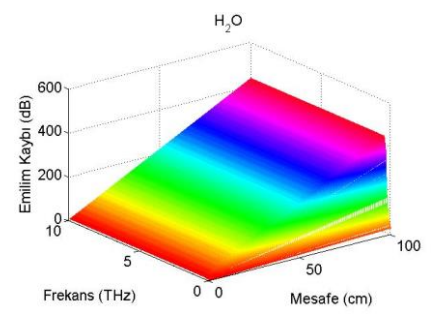
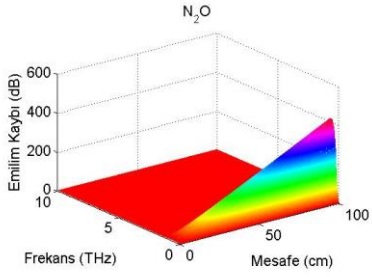
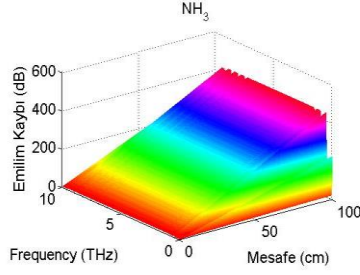
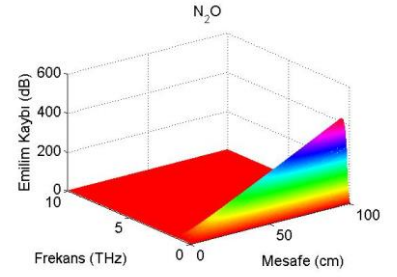
Örneğin CH₄ bileşeni 6 THz'den sonra titreşimler azalırken CO'de 4 THz den sonra titreşimler durmuştur. CO₂'de ise 0.01 THz ile 10 THz aralığında hiçbir titreşim olmadığı için grafiği verilmemiştir. Bu çalışmada üzerinde durulan nokta budur. Örneğin sadece CO'ü algılayacak ya da CO ortamında haberleşecek sensörler tasarlanırken ve de haberleşirken, THz ortamındaki grafikleri dikkate alınmalıdır. Yine CO bileşiği olarak düşünürsek CO ortamı için en ideal

haberleşme aralığı 4 THz den sonra başlar. THz ortamında CO bileşiği sensörü tasarlanmak için ise 0.01 THz – 4 THz aralığı emilimin en fazla olduğu bölgeyi gösterir.

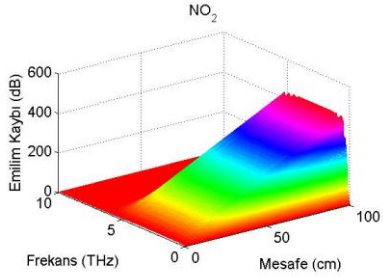
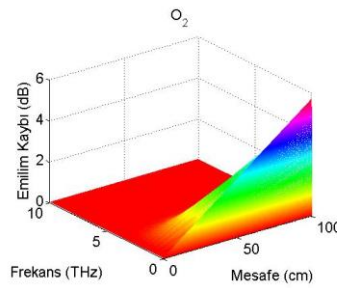
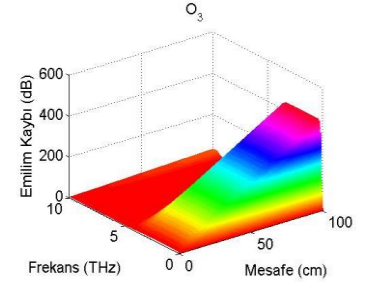
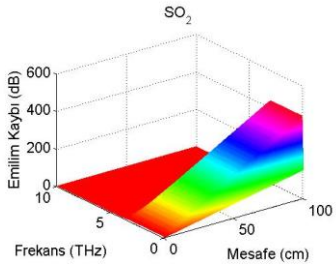
Şekil 6 te ise 100 cm'ye kadar 0.01 THz 10 THz frekans aralığında Şekil 5'de 2 boyutlu gösterilmiş olan grafiklerin mesafede eklenerek 3 boyutlu gösterilmiş halleri verilmektedir.

a) CH₄'ün frekansa ve mesafeye göre emilim kaybı

b) CO'nun frekansa ve mesafeye göre emilim kaybı

c) H₂O'nun frekansa ve mesafeye göre emilim kaybıd) N₂O'nun frekansa ve mesafeye göre emilim kaybıe) NH₃'ün frekansa ve mesafeye göre emilim kaybı

f) NO'nun frekansa ve mesafeye göre emilim kaybı

g) NO₂'nin frekansa ve mesafeye göre emilim kaybıh) O₂'nin frekansa ve mesafeye göre emilim kaybıI) O₃'ün frekansa ve mesafeye göre emilim kaybıi) SO₂'nin frekansa ve mesafeye göre emilim kaybı

Şekil 6. Gazların frekans ve mesafeye göre emilim kaybı

X eğrisi 0.01 THz – 10 THz aralığını, Y eğrisi dB cinsinden soğurma kaybını, z eğrisi ise 100 cm'ye kadar olan mesafeyi gstermektedir. Mesafe arttıka kayıpta artmaktadır. Bazı gazlarda emilim

kaybı 500 dB'ye kadar çıkmaktadır. 100 cm 'de emilim kaybının bu derece artması geçiş pencerelerinin ne kadar önemli olduğunu bir kez daha vurgulamaktadır.

5. Sonuçlar

THz dağlarının iletimi frekans aralığına göre farklılık gösterir THz dalgalarının bu davranışı oldukça önemlidir. THz dalga aralığında çalışacak olan sensör yâda haberleşme ortamı THz dalgaların davranışlarından etkilenirler bu yüzden ortama göre THz dalgalarının nasıl davrandığı hesaplanmalıdır. Bu çalışma, THz dalgalarının teorik olarak nasıl hesaplandığını göstermektedir. Hesaplama metodu dışında farklı moleküllerin soğurma grafikleri örnek olarak verilmiştir. En son olarak da birden fazla bileşenin olması durumunda soğurma kaybının nasıl hesaplanması gerektiği anlatılmıştır. Çalışma, nano teknolojinin kılavuzlarından olan nano sensörlerin tasarlanmasını ve nano telsiz duyurga ağlarının haberleşmesi için geçiş pencerelerinin nasıl hesaplandığını göstermektedir. Bu sayede, bu çalışma nano sensör tasarımında ve nano telsiz duyurga haberleşmesinde bir kılavuz niteliğindedir.

Kaynaklar

Akkaş, M.A. ve Sokullu, R., 2015. Wireless underground sensor networks: channel modeling and operation analysis in the terahertz band. *International Journal of Antennas and Propagation*, 1-12.

Akkaş, M. A., 2016. Terahertz channel modelling of wireless ultra-compact sensor networks using electromagnetic waves. *IET Communications*, 10(13), 1665-1672.

Akyildiz, I. F. ve Jornet, J. M., 2010. Electromagnetic wireless nanosensor networks. *Nano Communication Networks*, Cilt 1.1, 3-19.

Elrashidi, A., Elleithy, A., Albogame, M. ve Elleithy, K., 2012. Underwater wireless sensor network communication using electromagnetic waves at resonance frequency 2.4 GHz. In *Proceedings of the 15th Communications and Networking Simulation Symposium*, Society for Computer Simulation International. p. 13.

Federici, J. ve Lothar, M., 2010. Review of terahertz and subterahertz wireless communications. *Journal of Applied Physics*, Cilt 107.11, 111101.

Feynman, R. P., 1960. There's plenty of room at the bottom. *Engineering and science*, 23(5), 22-36.

Howard, S. L., Schlegel, C. ve Iniewski, K., 2006. Error control coding in low-power wireless sensor networks: When is ECC energy-efficient?. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, (2), 29-29.

Jornet, J. M. ve Akyildiz, I. F., 2013. Fundamentals of electromagnetic nanonetworks in the terahertz band. *Foundations and Trends® in Networking*, Now Publishers Inc, 7(2-3), 77-233.

Kutlu, N., 2012. 4-Amino-1H-Benzo [4, 5] İmidazo [1, 2, α] Primidin-2-One Bileşiğinin Koordinasyon Modları ve Titreşim Frekanslarının Gaussian 03 ile İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 61s.

Mao, G., Anderson, B. D. ve Fidan, B., 2007. Path loss exponent estimation for wireless sensor network localization. *Computer Networks*, 51(10), 2467-2483.

O'Sullivan C.M.M. ve Murphy J. A., 2012. Field guide to terahertz sources, detectors, and optics. SPIE Press, Bellingham, Washington.

Rothman, L. S., Gordon, I. E., Barbe, A., Benner, D. C., Bernath, P. F., Birk, M. ve Chance, K., 2009. The HITRAN 2008 molecular spectroscopic database. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 110(9), 533-572.

Rothman, L. S., Rinsland, C. P., Goldman, A., Massie, S. T., Edwards, D. P., Flaud, J. M. ve Schroeder, J. , 1998. The HITRAN molecular spectroscopic database and HAWKS (HITRAN Atmospheric Workstation): 1996 edition. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 60(5), 665-710.

Takahashi, M. 2014. Terahertz Vibrations and Hydrogen-Bonded Networks in Crystals. *Crystals*, 4(2), 74-103.

Vuran, M. C. ve Akyıldız, I. F., 2010. Channel model and analysis for wireless underground sensor networks in soil medium. *Physical Communication*, 3(4), 245-254.

spektrumlarının deneysel ve teorik yöntemlerle incelenmesi. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir, 65s.

Yalçın, Y., ve Atış, M., 2015. 4-(Metilsülfanil) fenilboronik asit molekülünün titreşim

URL-1, <http://hitran.iao.ru/> erişim tarihi: 18.07.17