



PIEZO ELEKTRİKSEL ETKİ İLE AKTİVE EDİLEN DOKUNMATİK EKRANLARIN TİTREŞİM ANALİZLERİ

Gözde SARI¹, M. Bahattin AKGÜL², Ahmet Fatih AK³ ve Ahmet Alper AKIŞ⁴
^{1,2,3,4}Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa

ABSTRACT

An audiovisual feedback is used on touch screens in portable electronic devices. When these devices are used in noisy and distracting environments, suitable available feedback methods is severely inadequate and the availability of the device severely reduced. For this reason, the users need a new technology. The fingertip nerves are warned by the vibration of the touch screen. Tactile feedback is one of the issues that have recently gained importance in this sector. Piezo elements are used for the touch feedback mechanism. Piezo elements can change shape when the tension applied due to material properties. If this coercion is sinusoidal, the screen, which is the component of those connected by this activation, will also vibrate. All vibration functions can apply to piezo elements within mechanical working limits. Thus, all kinds of vibration functions such as heartbeat, explosion sound can be created on the touch screen. In this study, vibration mode structures of glasses with different design parameters are investigated. The results are obtained with software with COMSOL program. In this program, the material and electrical properties of the piezo elements are taken into account. The vibration analysis for different piezo numbers and different piezo locations were compared with the COMSOL program. As a result, a design that produces the best vibration function is determined.

ÖZET

Taşınabilir elektronik cihazlar üzerindeki dokunmatik ekranlarda genellikle görsel ve işitsel geri bildirimler kullanılmaktadır. Bu cihazlar, gürültülü ve dikkat dağıtıcı ortamlarda kullanıldığı zaman çoğunlukla mevcut geri bildirim yöntemleri yetersiz kalmakta ve cihazın kullanılabilirliği ciddi derecede azalmaktadır. Bu nedenle yeni bir teknolojiye ihtiyaç duyulmaktadır. Dokunmatik ekranlara hareket verilerek parmak uçlarındaki sinirlerin uyarılması ile oluşturulan dokunsal geri bildirimler son zamanlarda bu sektörde önem kazanmaya başlayan konulardan birisidir. Dokunmatik geri bildirim düzeneği için piezo elemanlar kullanılmaktadır. Piezo elemanlar malzeme özellikleri gereği üzerlerine gerilim uygulandığında şekil değiştirmektedirler. Eğer bu zorlama sinüzoidal ise bu aktivasyon ile bağlı oldukları eleman olan ekranı da titreştirmektedirler. Piezo elemanlara mekanik çalışma sınırları içerisinde tüm titreşim fonksiyonları uygulanabilmektedir. Böylelikle kalp atışı, patlama sesi gibi her çeşit titreşim fonksiyonu dokunmatik ekran üzerinde oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada sektörde kullanılan farklı tasarım parametrelerine sahip ekran camlarının titreşim mod yapıları incelenmiştir. Ekranın mod yapıları sonlu elemanlar mantığı (SEM) ile çalışan COMSOL programında elde edilmiştir. Bu programda piezo

elemanların malzeme ve elektriksel özellikleri dikkate alınmaktadır. Ekran üzerinde en iyi titreşim fonksiyonunu üretebilmek için farklı piezo sayısı ve farklı piezo yerleşimleri için titreşim analizleri COMSOL programı ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak en iyi titreşim fonksiyonunu üreten tasarım elde edilmiştir.

1. GİRİŞ

Dokunsal geri bildirim ekranları günümüzde mekanik olarak kullandığımız panellerin yerini almaktadır. Şimdilik beyaz eşyalarda, saatlerde, arabalarda, mobil cihazlarda olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır. Dokunsal geri bildirim sayesinde elektronik cihazın kolay kullanılabilirliği artmakta ve içerisindeki uygulamaların daha gerçekçi bir şekilde deneyimlenmesi sağlanmaktadır. Mevcut teknolojide dokunsal geri bildirim elektronik cihazlar içerisindeki titreşim motorları tarafından sağlanmaktadır. Son dönemlerde, doğrusal ve vektörel titreşim yaratabilen, kısa tepki süreli ve düşük maliyetli piezoelektrik titreştiriciler ile yüksek çözünürlükte dokunsal geri bildirim üretilmesi önem kazanmaya başlamıştır. Bu titreştiriciler tamamen ters piezoelektrik etki ile çalışmaktadırlar. Buna göre, piezoelektrik malzemeye bir gerilim uygulandığında malzemede şekil değişimi meydana gelir. Eğer uygulanan gerilim alternatif şekilde değişiyorsa bu şekil değiştirme hareketi periyodik titreşim hareketine döner.

Literatürde piezo elektrik malzemenin titreştirilmesi ve dokunmatik ekranlarda kullanımı ile ilgili yapılan birçok teorik ve deneysel çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları şöyledir: İnce piezo film tabakaların üretimi sayesinde piezo elektriksel aktivasyon mikro elektromekanik sistemlerin önemli uygulama alanı olmuştur. Bu sayede piezo filmler mikro zorlayıcılarda ve mikro sensörlerde kullanılabilir. Isarakorn ve diğ., PZT filmlerin geliştirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada epi-piezo olarak yeni geliştirilen malzeme mems zarların veya kirişlerin üzerine sabitlenmiştir. Piezo mems zarın statik modda düşük voltajda yüksek deplasman elde edilmesi üzerine mikro pompa ve valflerde, mikro aynalarda kullanılabileceği vurgulanmıştır. Piezo elektrik enerji üreteçleri de piezo malzemelerin önemli uygulama alanlarından birisidir. [1] Liu ve diğ. yaptıkları çalışmada piezo elektrik malzemesi kullanılarak enerji üreticinin verimini ve frekans esnekliğini arttırmışlardır. Ortam titreşimleri genellikle 1000 Hz'in altında olduğu için mikro üreteçlerin düşük frekansta çalışabilir olması gerekmektedir. Bu enerji üreteçleri, düşük frekanslı ortam titreşimlerini kullanarak enerjiye dönüştürülmesini sağlarlar. Deneysel sonuçlar göstermektedir ki bir dizi piezo film kaplı mikro kiriş kullanarak geliştirilen enerji üretim mekanizması düşük frekanslı ortam titreşimlerini daha iyi algılayabilmekte ve frekans bandı daha da genişlemektedir.[2]

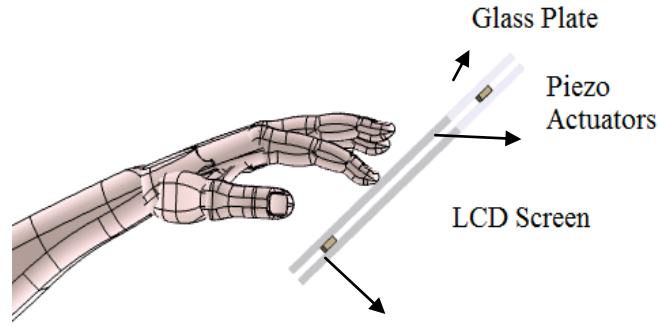
Piezo enerji üreteçleri bir ya da iki piezo elemana bağlı mikro ankastre kirişin ortam titreşimleri ile aktive olur ve bu sayede kiriş titreşmeye başlar ve kirişin titreşimi ile piezo elemanın üzerine gerilme uygulanmış olur. Sonuç olarak bu gerilmeler piezo eleman ile elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur. Ertürk ve Inman, yaptıkları çalışmada piezo enerji üreteçleri üzerine teorik model geliştirmişlerdir. [3] Altınsoy ve Merchel akım ve frekans ile dokunsal geri bildirim arasındaki ilişkiyi belirlemek için deneysel çalışmalar yürütmüşlerdir. Akım arttırıldıkça ve frekans düşürüldükçe pürüzlülük algısının arttığı sonucunu elde etmişlerdir.[4]

Zhang ve diğ. piezo elektriksel olarak aktive edilen mikro kirişin titreşimlerini incelemişlerdir. Piezo elemanın sistemin tabi frekansına ve mod şekillerine etkileri incelenmiştir. Mikro kirişler piezo elemanlı ve piezo elemansız olarak modellenip doğal frekansları ve mod yapıları nümerik olarak bulunmuştur. Her iki modelin mod şekillerinin aynı olduğu ve doğal frekanslarının yakın olduğu bulunmuştur.[5] Kwon ve diğ. farklı malzeme ve boyuttaki piezo elemanların rezonans frekansı ve bant genişliğine etkisini

araştırmışlardır. Piezo elemanın uzunluğu ve genişliği arttıkça rezonans frekansı azalmaktadır. Kalınlığı arttırıldığında ise rezonans frekansı artmaktadır.[6] Winfried ve diğ. yüzey sürtünme etkisini değiştirerek doku hissini yaratmak için gerekli teori ve tasarımı tartışmışlardır. Bu çalışmada insan parmağı ile titreten bir plaka arasında sürtünmelerin azaldığı gösterilmektedir. Yüzey sürtünmesini değiştirmek için farklı frekans fonksiyonları elde edilmiştir. [7] Bernard ve diğ. en düşük enerji tüketimi ile çalışan dokunsal geri bildirim düzeneği için elektriksel ve mekanik parametre değerlerini belirlemişlerdir.[8] Casset ve diğ. sonlu elemanlar programı kullanarak piezo kirişleri dokunmatik ekran altına yerleştirerek frekans genlik analizi yapmışlardır. Değişken zorlama fonksiyonları için meydana gelen yüzey titreşim fonksiyonlarını elde etmişlerdir.[9] Buket Baylam ve diğ. ABAQUS programında sonlu elemanlar metodundan yararlanarak, ekrana birden fazla piezo titreştirici yerleştirerek, farklı yerleşim düzenlerinde simülasyonunu yaparak karşılaştırmışlardır. Bir insan için uygun koşulları belirleyerek en iyi titreşim fonksiyonunu elde etmişlerdir. [10] Bu çalışmada, dokunmatik ekranın titreşimi piezoelektrik elemanlar ile sağlanmaktadır. Piezo elemanlar camın altına yerleştirilerek titreşim genliklerine olan etkileri incelenmiştir. Dokunmatik ekran Piezo Titreştirici kullanılarak harekete geçirilmiştir ve Piezo titreştiricinin dokunmatik ekran üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yüksek titreşim genliği elde etmenin yolu voltajı arttırmaktır. Fakat voltajın artması enerji tüketimini arttırmaktadır. Enerjinin limitli olduğu cep telefonu ve tablet gibi elektronik cihazlar için enerji tüketiminin minimize edilmesi gerekmektedir. Enerji tüketimini minimize eden tasarımı belirleyebilmek için birçok deney yapılması gerekmektedir. Zaman ve maliyetten tasarruf etmek için en uygun tasarım sonlu elemanlar metodunu kullanarak belirlenecektir. Bu araştırmalar sırasında Ticari bir program olan COMSOL programından yararlanılmıştır. Araştırmalar sırasında kullanılacak olan ekran malzemesi için birden fazla malzeme incelenmiştir.

1. DOKUNMATİK EKРАНLARIN NÜMERİK ANALİZİ

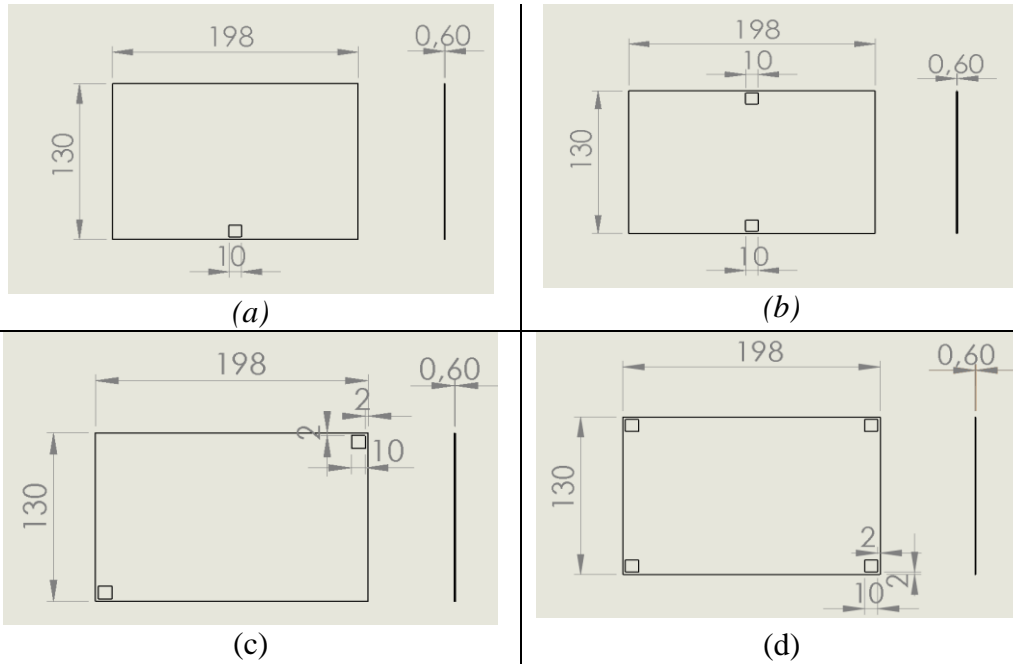
Dokunmatik geri bildirim sağlayan örnek bir ekran ve piezo titreştirici düzeneği Şekil 1’de gösterilmiştir. Piezo titreştiriciler ekranın altına yerleştirilmiştir. Kullanıcılar parmağını dokunmatik ekranda hareket ettirdikleri zaman dokunmatik ekran yüzeyinde piezo zorlayıcı tarafından üretilen titreşim fonksiyonunu hissetmektedirler. İyi bir geri bildirim fonksiyonu üretebilmek için öncelikle **yüksek genlikte titreşim üretebilen ekran malzemesi araştırıldı**. Sektörde dokunmatik ekran malzemesi olarak kullanılan; “Sapphire”, “Gorilla cam” malzemeleri için özellikler Tablo 1’de yazılmıştır. Sonlu elaman analizlerinde ekran şartları dört kenar için de sabit alınmıştır. Analiz parametrelerimiz ise piezo malzeme çeşidi, piezo malzemenin ekran alındaki yerleşimi ve aktif piezo eleman sayısıdır. Kapasitif ekran altına yerleştirilen piezo eleman yerleşim düzenleri Şekil 2’de göstermiştir. Dokunmatik ekran tasarımları piezo elemanların ekrana 4 farklı şekilde yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Analizlerde dikkate aldığımız ekran boyutları Şekil 3’te görüldüğü gibidir. Zorlayıcı olarak elektriksel özellikleri farklı olan PZT5A ve PZT5H piezo elemanları kullanılmıştır.



Şekil 1. Örnek bir ekran ve piezo titreştirici düzeneği

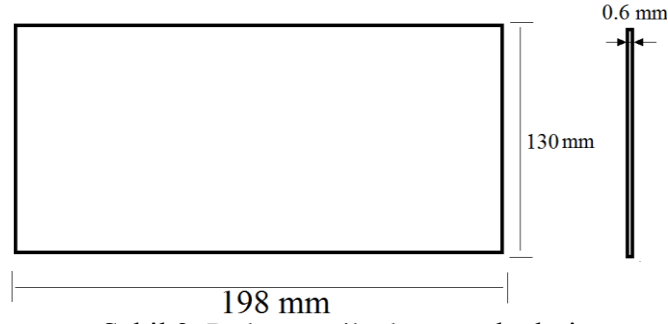
Tablo 1. Kapasitif ekranın malzeme özellikleri

Fiziksel Özellikler	Birimler	Safir	Gorilla Cam
Yoğunluk	g/cm ³	3.97 ¹	2.42 ³
Elastisite Modülü	GPa	345 ¹	71.5 ³
Esneklik Mukavemeti	MPa	895 ¹	-
Kayma Modülü	GPa	145 ¹	29.6 ³
Kırılma Tokluğu	MPam ^{1/2}	2.3 ¹	0.68 ³



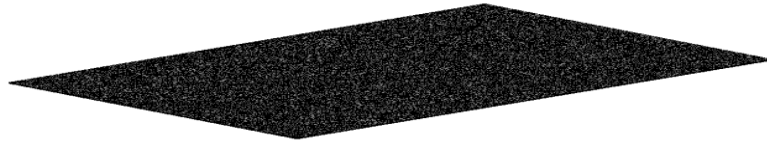
Şekil 2. Analizlerde kullanılacak piezo elemanların yerleşim düzenleri

- (a) Tek piezo eleman yerleştirilmiş düzen, b) Ekranın uzun kenarlarının ortasına karşılıklı iki piezo eleman yerleştirilmiş düzen, c) Ekranın karşılıklı köşelerine iki piezo eleman yerleştirilmiş düzen, d) Ekranın köşelerine dört piezo eleman yerleştirilmiş düzen



Şekil 3. Dokunmatik ekranın ölçüleri

Dokunmatik ekranın titreşim modları sonlu elemanlar metodunu temel alan COMSOL programı ile elde edilmiştir. Şekil 4'te COMSOL programında modellenen ekranın mesh görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 4. COMSOL programından alınmış mesh görüntüsü

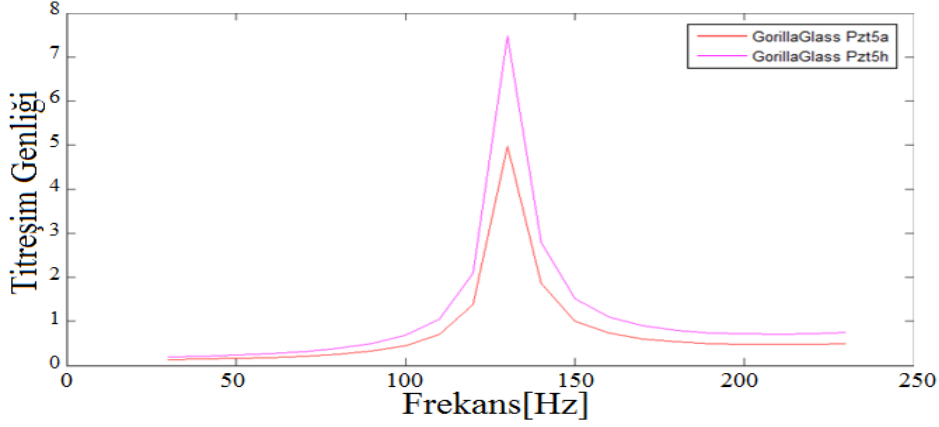
2. ANALİZ SONUÇLARI

Dokunmatik ekran camı üzerinde en iyi genliği elde edebilmek için 3 boyutlu titreşim analizleri yapıldı. Tasarım parametreleri belirlendi ve parametrelere bağlı karşılaştırmalar yapıldı. İki farklı ekran malzemesi için mod yapılarına ait rezonans frekansları Tablo 2'de yazılmıştır. Piezo zorlayıcı malzemesi; PZT-5A ve PZT-5H için genlik grafikleri Gorilla Cam ve Safir için elde edilmiştir. Şekil 5 ve Şekil 6'da yapılan karşılaştırmalı grafiklerde PZT-5H piezo elemanın PZT-5A'ya göre daha yüksek genlikler üretebildiği görülmüştür. Şekil 7'de ekran malzemesine bağlı olarak frekans genlik grafikleri elde edilmiştir. Gorilla cam kullanıldığında daha alçak frekanslarda daha yüksek genlik değeri elde edilmektedir. Bu nedenle ekran malzemesi olarak gorilla cam seçilmiştir.

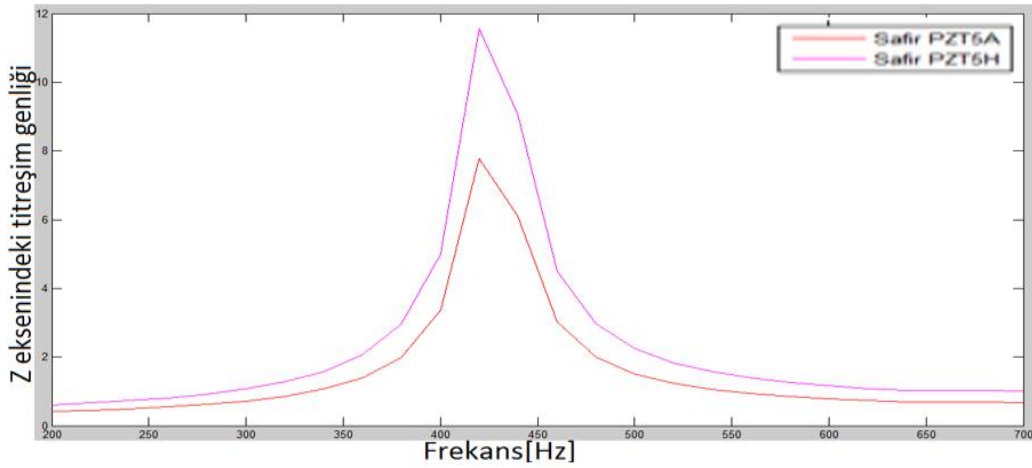
Şekil 8'de, Gorilla cama yerleştirilen dört farklı piezo eleman yerleşimi için titreşim grafikleri görülmektedir. Yerleşim düzeni ve piezo zorlayıcı sayısı; ekranın mod yapısı ve maksimum genliklerini etkilemektedir. Mod yapısı ve genlik değerlerini değiştirmek, kullanıcılar için kapasitif ekranda farklı dokunsal geri besleme işlevleri elde etmeyi sağlamaktadır. PZT-5H zorlayıcı eleman kullanılarak dört farklı yerleşim düzeni için elde edilen mod yapıları Şekil 9'da gösterilmektedir. Piezo eleman sayısı artırıldıkça genlik değerleri artmaktadır ve piezo yerleşime bağlı olarak yüzeyde farklı mod yapıları aktif hale gelmektedir.

Tablo 2. Ekran malzemeleri için rezonans frekansı değerleri

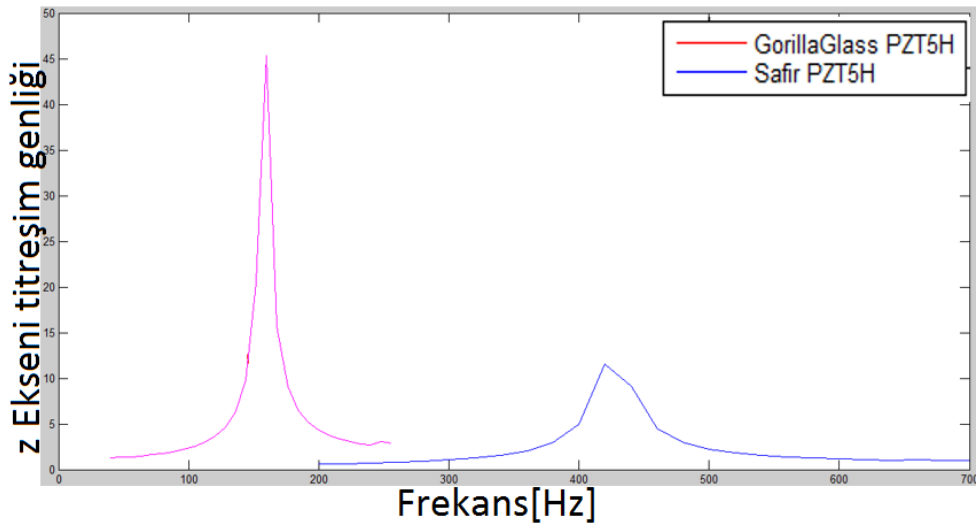
Malzeme	Boyutlar	1.mod frekansı	2. mod frekansı	3. mod frekansı
Safir	198x130x0,6	426,722686	651,9711375	1033,57872
Gorilla Cam	198x130x0,6	241,657712	369,262836	585,44155



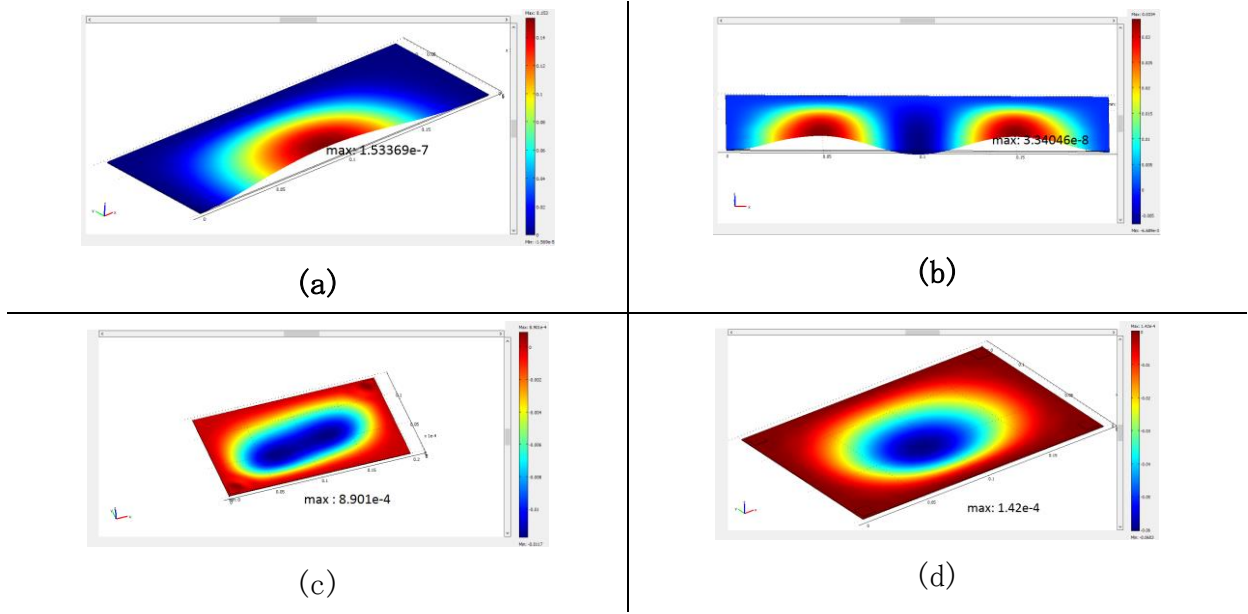
Şekil 5. Farklı piezo eleman kullanılarak Gorilla Cam üzerinde oluşan genlik grafiği (PZT5A ve PZT5H karşılaştırması)



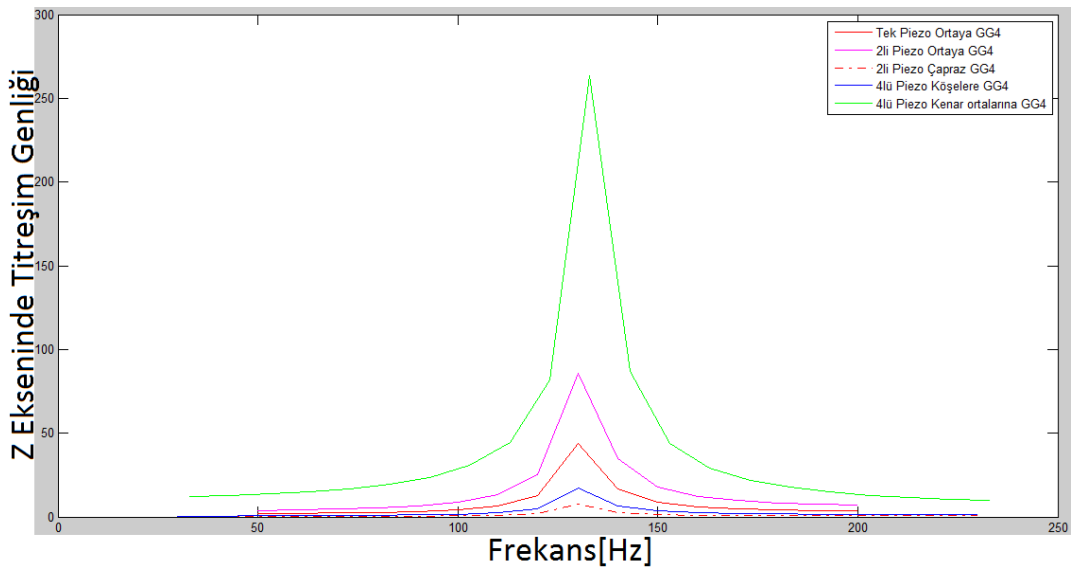
Şekil 6. . Farklı piezo eleman kullanılarak Safir cam ekran üzerinde oluşan genlik grafiği (PZT5A ve PZT5H karşılaştırması)



Şekil 7. Gorilla Cam ve Safir'in frekans tepki grafikleri

Şekil 8. “Pzt5H” piezo eleman ile zorlanan “Gorilla Glass” dokunmatik ekranın $t=0.05$ 'inci saniyede farklı yerleşim düzenleri için mod yapıları

- (a) Tek piezo eleman yerleştirilmiş düzen, b) Ekranın uzun kenarlarının ortasına karşılıklı iki piezo eleman yerleştirilmiş düzen, c) Ekranın karşılıklı köşelerine iki piezo eleman yerleştirilmiş düzen, d) Ekranın köşelerine dört piezo eleman yerleştirilmiş düzen



Şekil 9. Yerleşim düzeni ve piezo sayısına göre değişen genliklerin tek grafik üzerinde incelenmesi.

4. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada farklı ekran malzemeleri için mod yapıları elde edilmiştir. Frekans tepki grafikleri incelendiğinde geri bildirim için en uygun malzemenin gorilla cam olduğu belirlenmiştir. Amaç ekran yüzeyinde yüksek genlikli titreşim oluşturmaktır. Böylelikle kullanıcı parmağını ekran üzerinde gezdirdiğinde daha hissedilebilir geri bildirim alabilecektir. Diğer bir parametre ise piezo eleman malzemesidir. Yapılan analizler sonucunda daha yüksek elektriksel özelliklere sahip olan PZT-5H için daha yüksek genlik değerleri elde edilmiştir. Ekran üzerine yerleştirilen piezo eleman sayısı ve lokalizasyonu da titreşim modları üzerinde önemli rol oynamaktadır. Piezo eleman sayısı arttırıldıkça genlik değerleri artmaktadır ve piezo yerleşime bağlı olarak yüzeyde farklı mod yapıları aktif hale gelmektedir. Dokunmatik ekran tasarımında bu analizlerin dikkate alınması hızla büyümekte olan bu sektör için faydalı olacaktır. Gelecekte; bu çalışmada yaptığımız simülasyon çalışmalarını geliştirmeyi ve deneysel olarak da yeni tasarımlar yapmayı hedefliyoruz.

5. KAYNAKLAR

- [1] D. Isarakorn, A. Sambri, P. Janphuang, D. Briand, S. Gariglio, J-M. Triscone, F. Guy, J. W. Reiner, C. H. Ahn and N. F. Rooij, Epitaxial piezoelectric MEMS on silicon, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 20 (2010) 055008.
- [2] J.Q. Liu, H.B. Fang, Y.X. Zheng, X.H. Mao, X.C. Shen, D. Chen, H. Liao, B.C. Cai, A MEMS-based piezoelectric power generator array for vibration energy harvesting, *Microelectronics Journal* 39 (2008), 802–806.
- [3] A. Ertürk and D. J. Inman, Issues in mathematical modeling of piezoelectric energy harvesters, *Smart Materials and Structures*, 17 (2008) 065016.
- [4] M. Altınsoy and S. Merchel, Electrotactile Feedback for Handheld Devices with Touch Screen and Simulation of Roughness, *IEEE Transactions on Haptics*, 5 (2012) 1, January-March.
- [5] W. Zhang, G. Meng, H. Li, Adaptive vibration control of micro-cantilever beam with piezoelectric actuator in MEMS, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28 (2006) 321–327.
- [6] O.D. Kwon, J.S. Yoo, Y.J. Yun, J.S. Lee, S. H. Kangl, K.J. Lim, A Research on the Piezoelectric Vibration Actuator for Mobile Phone, *Proceedings of 2005 International Symposium on Electrical Insulating Materials*, June 5-9, 2005, Kitakyushu, Japan.
- [7] L. Winfield, J. Glassmire, J.E. Colgate, M. Peshkin, T-PaD: Tactile Pattern Display through Variable Friction Reduction, *Second Joint Euro Haptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Tele operator Systems*, 2007.
- [8] F. Bernard, M. Gorisse, F. Casset, C. Chappaz, S. Basrour, Design, Fabrication and Characterization of a Tactile Display Based on AlN Transducers, *Procedia Engineering* 87 (2014), 1310-1313.

[9] F. Casset, J.S. Danel, C. Chappaz, Y. Civet, M. Amberg, M. Gorisse, C. Dieppedale, G.L.Rhun, S. Basrour, P. Renaux, E. Defay, A. Devos, B. Semail, P. Ancey, S. Fanget, Low Voltage Actuated Plate For Haptic Applications with Pzt Thin-Film, *Transducers 2013*, Barcelona, SPAIN, 16-20.

[10] B. Baylan, U. Aridogan, and C. Basdogan, Finite Element Modeling of a Vibrating Touch Screen, *EuroHaptics Part I*, LNCS 7282 (2012) 47-57.