

## SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE TARİHİ ERZURUM LALA PAŞA CAMİ'NİN YAPISAL DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

### INVESTIGATION OF STRUCTURAL BEHAVIOUR OF HISTORICAL ERZURUM LALA PASHA MOSQUE USING FINITE ELEMENT METHOD

Burçin Şenol ŞEKER<sup>1</sup>, Ferit ÇAKIR<sup>2\*</sup>, Adem DOĞANGÜN<sup>3</sup>, Ahmet DURMUŞ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Bölümü, Merzifon Meslek Yüksekokulu, Amasya Üniversitesi, Amasya, Türkiye.  
senol.seker@amasya.edu.tr

<sup>2</sup>Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Amasya Üniversitesi, Amasya, Türkiye.  
ferit.cakir@amasya.edu.tr

<sup>3</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye.  
adogangun@uludag.edu.tr

<sup>4</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.  
durmus@ktu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 08.10.2013, Kabul Tarihi/Accepted: 26.12.2013

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2014.57441

Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Ülkemizdeki kültürel mirasın önemli değerlerinden olan camiler, mimari ve yapısal özelliklerinden dolayı İslam kültürünün en önemli eserleridir. Bu nedenle neredeyse tüm İslam şehirlerinin merkezinde bu tür eserlere rastlanmaktadır. Bu çalışmada, Erzurum şehir merkezinde yer alan ve Erzurum'un en önemli tarihi eserleri arasında olduğu kabul edilen Lala Paşa Cami ele alınmış ve caminin yapısal performansı statik ve dinamik açıdan sonlu elemanlar yöntemiyle araştırılmıştır. Yapının genel davranışı hakkında bilgi edinmek amacıyla, literatürde verilen malzeme özellikleri ve deprem yönetmeliğinde verilen formüllerin kullanılmasıyla analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çözümlere göre statik açıdan caminin kritik yerlerinin asıl kubbe ve kasnağı ile kubbeyi taşıyan askı kemer sisteminin mesnetleri olduğu, zaman tanım alanı yöntemiyle yapılan dinamik çözümlere göre ise caminin kritik yerlerinin asıl taşıyıcı ayakların alt kesitleri, pencere kenarları ve küçük kubbeler olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca son cemaat bölümünün depremde hasar görebilecek en önemli kısım olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Yığma camiler, Yapısal davranış, Sonlu elemanlar yöntemi, Mod birleştirme yöntemi, Zaman tanım alanı yöntemi

#### Abstract

The mosques are the most important pieces of Islamic culture in terms of their architectural and structural properties. The mosques and complexes are built in the center of living areas and constituted important structures in the surroundings in Islamic culture. Therefore, it is very common to observe the mosques in almost every city center. In this study, Lala Pasha Mosque, which is located in the city, center of Erzurum and which take an important part among Erzurum's historical monuments, is investigated by means of static and dynamic analyses by the use of finite element method. The material properties and formulas, given in the literature, have been considered in order to obtain the structural behavior of the structure. The results of the analyses show that the most critical parts of the mosque are the dome, pulley, and the supports of the main arch structures that carry the main dome. Additionally, the dynamic analyses prove that the most critical parts of the mosque are the sub-sections of the main columns, the window edges, and small domes. Moreover, the narthex section has been determined one of the most critical parts in terms of seismic loads.

**Keywords:** Masonry mosques, Structural behavior, Finite element method, Modal analysis, Time history analysis

## 1 Giriş

Türkiye topraklarının hemen hepsinin aktif deprem kuşağında olduğu ve insanlık tarihi boyunca bu kuşaklarda birçok depremin meydana geldiği bilinmektedir. Bu nedenle Türkiye her an deprem tehlikesi altındadır. Yapıları deprem etkilerinden korumak ve yapısal performanslarını artırmak için önce mevcut yapısal durumunun belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalar, tarihi yapıların depremlerde modern yapılara göre daha karmaşık davranışlar gösterdiği ve bu yapıların yapım yılları ve kullanım şekillerine göre depremden farklı şekillerde etkilendiğini ortaya koymuştur [1]-[4]. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesine paralel olarak tarihi camilerin modellerinin hazırlanması ve yapısal açıdan sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi giderek yaygınlaşmaktadır.

Tarihi yapıların yapısal davranışları geleneksel hesap yöntemleriyle incelenmektedir. Ancak, oldukça zor olan bu yaklaşım zaman alıcı da olmaktadır. Bu nedenle, büyük kütleli, karmaşık ve birçok farklı yapı malzemesinin bir arada kullanımı ile inşa edilen bu tür yığma yapıların modellerinin hazırlanması ve bu modellerin sayısal yöntemlerle çözümlenmesi daha uygun olmaktadır. Tarihi yapıların deprem davranışının doğru olarak belirlenmesinde günümüzde en çok tercih edilen yöntemlerden biri sonlu elemanlar yöntemidir. Bu çalışmada, depremselliği yüksek illerimizden biri olan Erzurum'un tarihi simge yapısı Lala Paşa Camisinin yapısal performansı sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmektedir. Taş ve tuğla gibi gevrek malzemelerden oluşan yapılar, çekme ve basınç altında gevrek davranış gösterirler. Bu nedenle taş ve tuğladan yapılan yığma yapılar çekme ve basınç etkisi altında plastik şekil değiştirme

yapmadan ani olarak göçmektedirler [5]. Diğer bir deyişle, taş ve tuğla gibi gevrek malzemelerle inşa edilen yığma yapılar, çekme dayanımlarının yetersiz olmasından dolayı çekme gerilmeleri altında genellikle önemli hasar görmekteyizdir. Bu çalışma kapsamında statik ve dinamik analizlerde özellikle çekme ve basınç gerilmeleri üzerinde durulmakta ve bu gerilme değerleri arasındaki farklar irdelenmektedir.

## 2 Erzurum Lala Paşa Cami

Doğu Anadolu Bölgesinin orta kısımlarında yer alan Erzurum, tarihi ve kültürel yapısıyla Türkiye'nin en önemli şehirlerinden biridir. Tarihi İpek Yolu üzerine kurulmuş olan bu şehir, birçok farklı medeniyete ev sahipliği yapmış ve birçok farklı kültürden etkilenmiştir. Bu nedenle, özellikle Erzurum şehir merkezinde farklı medeniyet ve kültürlerden kalmış çok sayıda tarihi esere rastlanmaktadır. Bu eserlerin en önemlilerinden biri de, Erzurum şehir merkezinde yer alan ve Osmanlı İmparatorluğu döneminin en güzel mimari örneklerinden biri olan tarihi Lala Paşa Camisidir (Şekil 1).



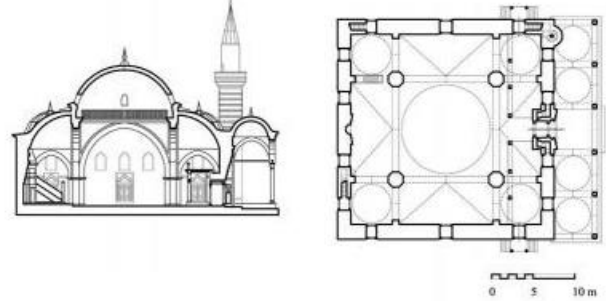
Şekil 1: Erzurum Lala Paşa Cami [8].

Lala Paşa Camisi, 1562 yılında Gürcistan ve Kıbrıs fatihi olarak bilinen Lala Mustafa Paşa tarafından Erzurum'da inşa edilmiştir. Bu cami, Mimar Sinan'ın Erzurum'daki tek eseri, Osmanlı İmparatorluğu'nun ise Erzurum'daki ilk camisi olması nedeniyle önemli bir eser olarak değerlendirilmektedir [6]. Cami, esas olarak bir külliye bünyesinde tasarlanmış ve külliye kapsamında camiyle birlikte saray, hamam, şadırvan ve mektep inşa edilmiştir. Ancak zaman içinde saray, şadırvan ve mektep yok olmuş ve günümüze sadece Lala Paşa Camisi ve hamamı ulaşabilmiştir [6].

Mimar Sinan'ın kalfalık eseri olan İstanbul Şehzade Cami'ne benzer yapısal özelliklere sahip olan Lala Paşa Cami merkezi kubbeli ve kare planlı camiler grubunda yer almaktadır. Caminin orta kısmında yer alan dört adet sekizgen taş kolon üzerine yerleştirilmiş asıl kubbe dört yandan yarım kubbeler ve payandalarla desteklenmiş ve yanlarda yer alan küçük kubbelerle simetrik bir halde inşa edilmiştir [7]. 24 m x 24 m boyutlarında kare plana sahip olan camide asıl kubbe yaklaşık 10 metre çapında ve 16 metre yüksekliğindedir (Şekil 2).

Yapının kuzey bölümünde kemerlerle birbirine bağlanmış altı sütunun taşıdığı beş kubbeli son cemaat yeri bulunmaktadır. Son cemaat yerinde iki küçük mihrap ve mihraplar üzerlerine yerleştirilmiş vakfiye yazısı yer almaktadır. Caminin üç giriş kapısı olmasına rağmen asıl girişi kapısı, kuzey cephesinde yer alan ve mukarnas işlemeli olan cümle kapısıdır. Bu kapı yardımıyla caminin son cemaat yerinden harim kısmına

geçilir. Caminin kuzeybatı köşesinde yer alan bir minare ise tamamen kesme taştan yapılmış olup diğer cami minarelerine göre daha kısa olup bir şerefelidir. Caminin sağında bulunan bu minare kare planlı bir kaide üzerine yerleştirilmiş olup beyaz taş üzerine kırmızı taşlı bileziklerle bezenmiştir [7].



Şekil 2: Erzurum Lala Paşa Cami plan ve kesiti [9].

## 3 Yapının Sayısal Modeli ve Yapısal Analizler

### 3.1 Sayısal Model

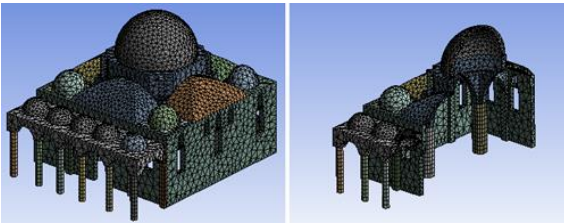
Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler yığma yapıların dinamik davranışlarının üç boyutlu ve sayısal olarak çözümlenmesi kolaylaştırmıştır. Matematiksel modelleme, yapının tamamının veya belli bir bölümünün çeşitli yükler veya fiziksel etkiler altında gerçek davranışının belirlenmesini sağlamaktadır. Bu nedenle karmaşık ve büyük bir geometriye sahip olan yığma yapıların sayısal ortamda modellenmesi ve modellenen sistemin statik ve dinamik yükler altındaki davranışının belirlenmesinde oldukça kullanışlı bir yöntemdir.

Cami gibi yığma yapıların sayısal olarak modellenmesi ve gerçek davranışlarının belirlenmesi oldukça zordur. Günümüzde gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde oldukça karmaşık olan camilerin modellenmesi yapılabilmektedir. Ancak bu tür yapıların taşıyıcı sistemlerinin geleneksel bina türü yapıların taşıyıcı sistemlerinden çok farklı olmaları nedeniyle ayrıntılar ve detaylar ön plana çıkmakta ve modellemeleri zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, yapıyı modellemek için birçok kabulün yapılması gerekmektedir. Hazırlanan sonlu elaman modelinde ve yapılan analizlerde ele alınan parametreler ve yapılan kabuller aşağıda sıralanmıştır:

- Erzurum Lala Paşa Cami üç boyutlu olarak 256320 düğüm noktası ve 146257 katı eleman yardımıyla modellenmiştir. Modelleme sırasında ANSYS [10] kütüphanesinde yer alan ve 20 düğüm noktalı ve her bir düğüm noktasında ötelenme olarak 3 serbestlik derecesine sahip Solid186 elemanı kullanılmıştır (Şekil 3),
- Sayısal modellemede ve analizlerde caminin minaresi ihmal edilmiş ve doğrusal-elastik malzeme kabulü yapılmıştır,
- Erzurum şehir merkezi yüksek rakım ve ağır mevsimsel şartlar nedeniyle oldukça yüksek oranda kar yağışı etkisi altındadır. Bu nedenle, statik analizlerde yapının kendi ağırlığına ilave olarak TS 498'de önerilen (1.55 kN/m<sup>2</sup>) kar yükü eklenmiştir,
- Modelde kullanılan malzemelerin mühendislik özellikleri, benzer yapılar üzerine yapılan incelemeler ve bilimsel çalışmalar göz önünde bulundurularak literatürde önerilen [3] değerlerden

seçilmiştir (Tablo 1). [3]'de yığma malzemeler için önerilen basınç mukavemeti değeri dikkate alınmış ve  $E = 200f_d$  formülü yardımıyla malzemelerin elastisite modülleri belirlenmiştir,

- Dinamik analizde 1992 Erzincan Depremi ivme kayıtlarının kuzey-güney (N-S) bileşeni dikkate alınarak zaman tanım alanı yöntemi kullanılmıştır. Literatürde benzer çalışmalar göz önünde bulundurularak [11]-[14] bölgede meydana gelmiş en büyük deprem kaydı dikkate alınmıştır,
- Elde edilen analiz sonuçlarının her bir düğüm noktasında ve her bir elemanda verilmesi oldukça zor olması nedeniyle elde edilen sonuçlar renkli gerilme dağılımları ve grafiklerle verilmiştir.



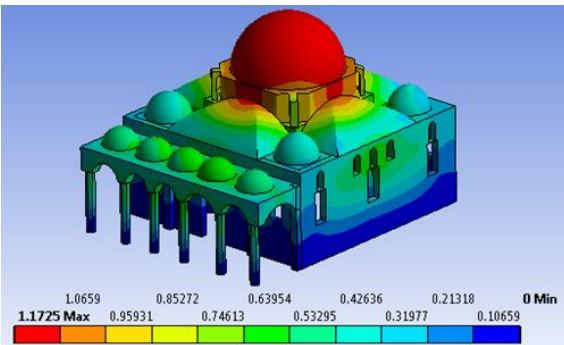
Şekil 3: Erzurum Lala Paşa Cami sonlu eleman modeli.

Tablo 1: Modelde kullanılan malzemelerin bazı mekanik özellikleri (1).

Yapısal Bölüm	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Birim Hacim Ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )
Duvarlar	8000	0.15	2500
Kemerler	8000	0.15	2500
Sütunlar	8000	0.15	2500
Kubbeler	3000	0.18	1750

### 3.2 Statik Analiz

Öncelikli olarak Erzurum Lala Paşa Camisinin kendi ağırlığı ve kar yükü altında statik analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analize göre maksimum yer değiştirmenin düşey yönde ve caminin tepe noktasında meydana geldiği ve maksimum yer değiştirme değerinin 1.17 mm'ye ulaştığı görülmektedir (Şekil 4).

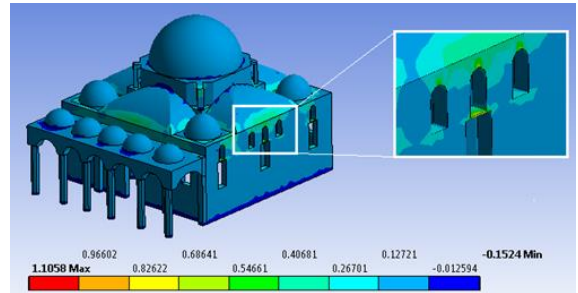


Şekil 4: Statik analiz sonucunda elde edilen düşey yer değiştirmeler (mm).

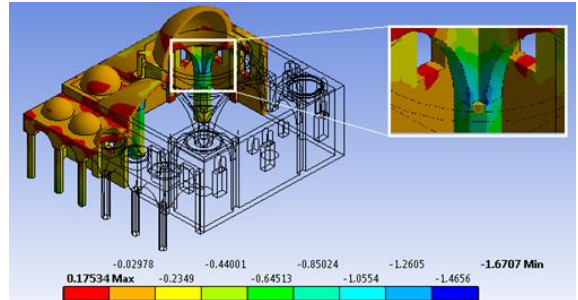
Cami taşıyıcı sisteminde meydana gelen asal gerilme değerleri incelendiğinde, 1. asal gerilmelerin pencere etrafında ve pencere üst kesimlerinde yoğunlaştığı ve çekme gerilmesi olarak maksimum 1.10 MPa değerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 5). 3. asal gerilmeler ise kubbeyi taşıyan ana kemer

sisteminin mesnet noktalarında ve taşıyıcı ayakların üst kısımlarında yoğunlaştığı ve maksimum basınç gerilmesinin 1.67 MPa değerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 6). Elde edilen gerilme değerleri, çalışmada seçilmiş olan 40 MPa basınç mukavemeti ve basınç mukavemetinin 1/10'u [3] olan çekme mukavemeti değerinden küçüktür. Bu nedenle statik durumda meydana gelen gerilmeler açısından yapı istenilen sınırlar altındadır.

Statik yapısal çözümlemeyle; elde edilen gerilmelerin düzgün bir dağılım gösterdiği ve gerilme yığılmalarının daha çok asıl kubbeyi taşıyan askı kemerlerin ayak noktalarında ve taşıyıcı kolonlar üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Diğer taraftan, statik durumda kubbe mesnetlerinde dar bir bölgede çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Bu durum birleşim bölgelerinin, tasarım sırasında çok önemli bölgeler olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 5: Statik analiz sonucunda elde edilen çekme gerilmeleri (MPa).



Şekil 6: Statik analiz sonucunda elde edilen basınç gerilmeleri (MPa).

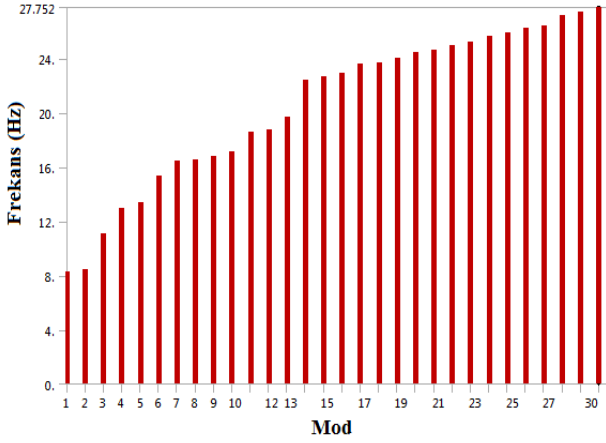
### 3.3 Modal Analiz

Lala Mustafa Paşa Camisinin dinamik yapısal çözümlemelerinde öncelikle modal analiz sonucunda elde edilen mod şekilleri ve titreşim periyotları belirlenmiştir. Çözümlemeler 30 modda yapılmış ve ilk dört mod üzerinde durulmuştur. Aşağıdaki Tablo 2'de ilk dört moda ait frekans ve kütle katılım oranları, Şekil 7'de tüm modlara ait frekans değerleri ve Şekil 8'de ilk dört moda ait deformasyonlar gösterilmektedir.

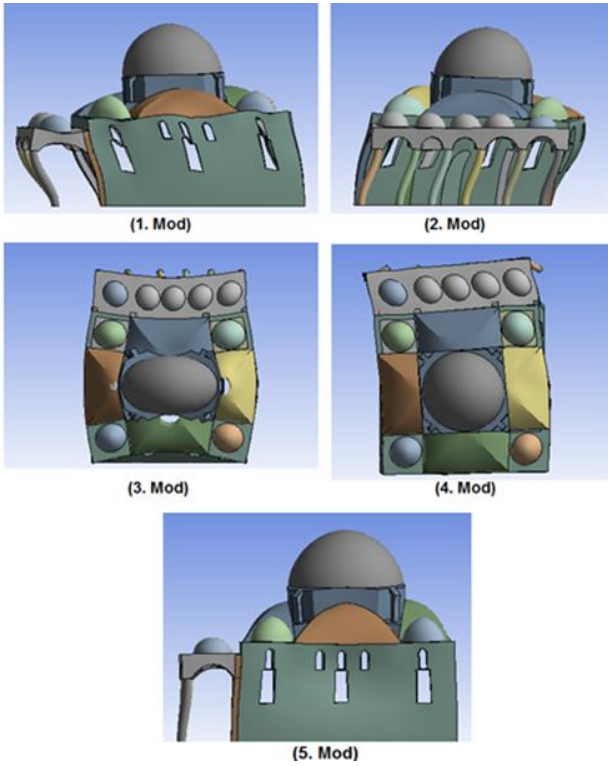
Tablo 2: İlk dört moda ait frekans değerleri ve kütle katılım oranları.

Mod	Periyot (sn)	Küt. Kat. Oranı (X doğ.)	Küt. Kat. Oranı (Y doğ.)	Küt. Kat. Oranı (Z doğ.)
1	<b>0.121</b>	0.0017	0.77E-4	0.7065
2	<b>0.118</b>	0.7115	0.18E-5	0.20E-2
3	<b>0.090</b>	0.99E-3	0.18E-3	0.18E-3
4	<b>0.077</b>	0.15E-1	0.14E-2	0.14E-2
5	<b>0.074</b>	0.45E-4	0.2506	0.18E-6





Şekil 7: Tüm modlara ait frekans değerleri.



Şekil 8: İlk beş moda ait deformasyon şekilleri.

Mod şekillerindeki deformasyonlar göz önüne alındığında, deprem sırasında son cemaat mahalinin ve ana kubbenin zorlanacağı söylenebilir. Ayrıca doğu-batı doğrultusundaki dış duvarlar ve son cemaat yerinin bağlandığı giriş duvarları düzlem dışı harekete zorlandığından, bu bölgelerde deformasyonlar beklenebilir.

### 3.4 Dinamik Analiz

Erzurum ve çevresi insanlık tarihi boyunca birçok yıkıcı depreme maruz kalmış ve bu depremlerden önemli derecede etkilenmiştir. Gerçekten Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre, Erzurum 1., 2. ve 3. derece deprem bölgeleri etkisi altındadır (Şekil 9). Bu durum, Erzurum ve çevresinin önemli deprem riski altında olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, dinamik yüklerin Lala Paşa Camisi üzerindeki etkilerini daha iyi belirleyebilmek için caminin zaman tanım alanı yöntemiyle dinamik analizi yapılmıştır.

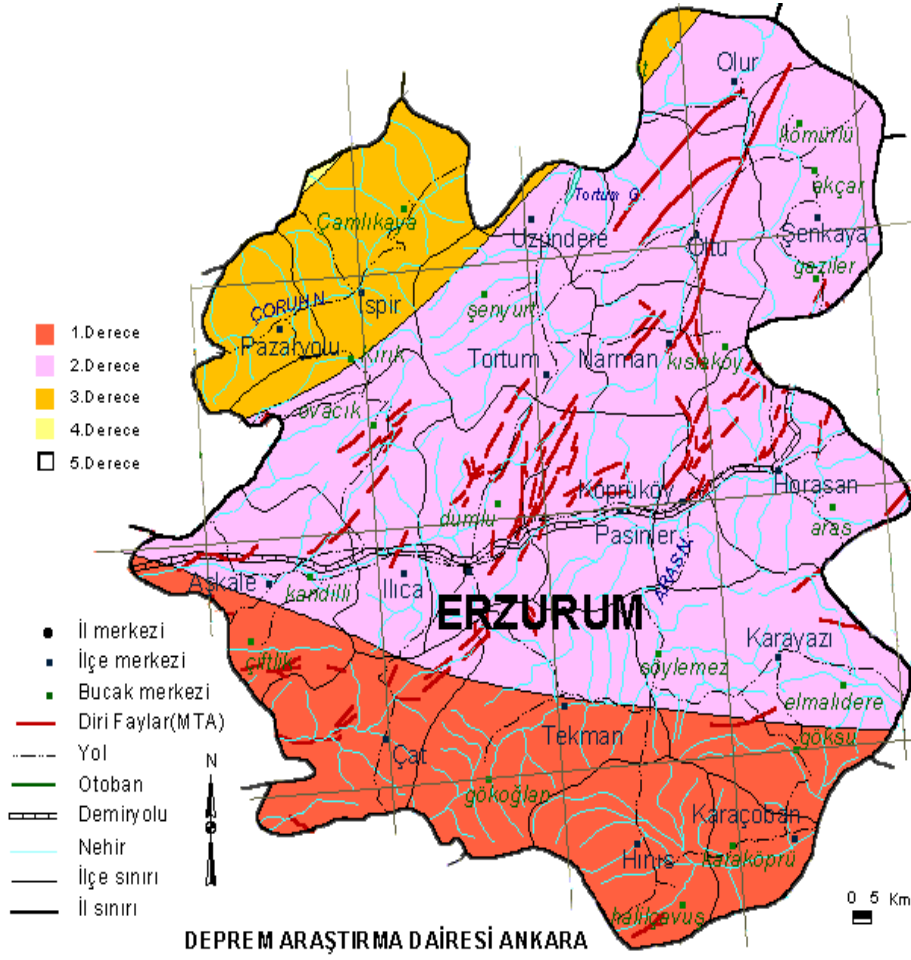
Zaman tanım alanında hesap yöntemi, zamanla değişen yükler altında yapının dinamik davranışını inceleyen bir yapısal çözümleme şeklidir. Bu çalışmada Lala Paşa Camisinin dinamik çözümlemesi zaman tanım alanı yöntemiyle, 13 Mart 1992 tarihinde Erzincan'da meydana gelen 6.8 büyüklüğündeki depremin kuzey-güney ivme bileşeni (Şekil 10) dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çözümlemelerden elde edilen bulgular maksimum yatay yer değiştirmelerin ön cemaat bölümü kubbelerinde ve ön cemaat bölümünün giriş kapısı üst kısımlarında meydana geldiğini ve bu yer değiştirmenin maksimum 3.05 mm değerine ulaştığını göstermektedir (Şekil 11).

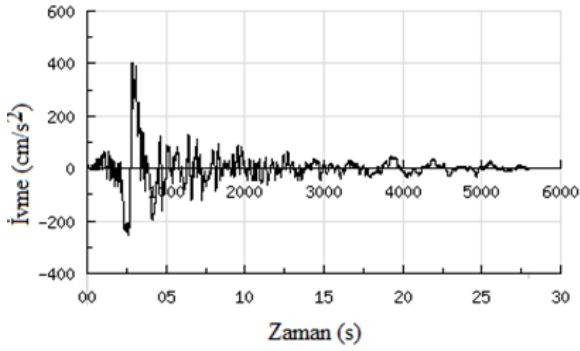
Bu yöntemle elde edilen kritik gerilmelerin ise, asıl kubbeyi taşıyan askı kemerinin mesnetlerinde ve bu kubbe etrafındaki küçük kubbelerde ve pencere boşlukları etrafında yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Özellikle asıl kubbeyi taşıyan askı kemer sisteminin mesnetlerinde ve asıl taşıyıcı ayakların alt kesitlerinde çekme gerilmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. Asıl gerilmelerinin dağılımları incelendiğinde, 1. asal gerilmelerin asıl kemer mesnetlerinde ve pencere kenarlarının alt kısımlarında çekme gerilmesi olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Bu gerilmeler maksimum 4.43 MPa değerine ulaşmaktadır (Şekil 12). Bu bölgede elde edilen çekme gerilmeleri, çalışma için kabul edilen limit değer (4 MPa) üzerindedir. Bu nedenle, yapının bu bölümlerinin deprem açısından riske taşıdığı ve bu bölgelerde deprem sırasında hasar meydana gelebileceği düşünülmektedir. 3. asal gerilmeler ise basınç gerilmesi olarak ortaya çıkmakta ve bunlar asıl taşıyıcı ayakların alt ve üst kesitlerinde yoğunlaşmaktadır. Bu kesitlerdeki basınç gerilmeleri 3.42 MPa değerine ulaşmaktadır (Şekil 13).

## 4 Sonuçlar

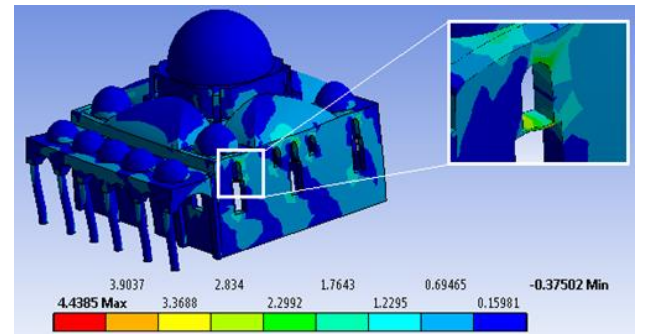
Bu çalışma kapsamında farklı rijitlik ve mühendislik özelliklerine sahip malzemelerle inşa edilen Erzurum Lala Paşa Camisinin statik ve dinamik analizleri yapılarak caminin yapısal performansı araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, caminin statik durumda en çok zorlanan bölümlerinin pencere ve kapı kenarları olduğu ve ana kubbenin mesnet noktalarında gerilme artışlarının yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca, statik analiz sonucunda yer değiştirmelerin ve gerilmelerin oldukça küçük değerlerde kaldığı ve statik açıdan yapının oldukça iyi durumda olduğu anlaşılmaktadır. Dinamik etkiler sonucunda ise, camide meydana gelen maksimum yer değiştirmelerin ve gerilmelerin daha çok son cemaat bölümünün kubbe kısımlarında ve giriş kapısının üst bölümlerinde meydana geldiği ve bu bölümlerin sismik davranışlar açısından dikkat edilmesi gereken bölümler olduğu anlaşılmaktadır. Elde edilen bütün analiz sonuçları, yığma camiler üzerine daha önceden yapılan bilimsel çalışmalarla [1],[12],[14] paralellik göstermiş olup caminin son cemaat bölümü, pencere ve kapı kenarları ile ana gövde arasındaki geçiş bölgelerinin deprem açısından riskli bölgeler olduğu belirlenmiştir. Caminin iç kesimlerinde ise ana kubbeyi taşıyan kemerlerin mesnet bölümlerinin yapının performansı açısından en çok dikkat edilmesi gereken alanlar olduğunu tespit edilmiştir. Ayrıca, çalışma kapsamında yapılan analizler ve elde edilen analiz sonuçları ileride yapılacak çalışmalara ışık tutacağı ve değişik yapı malzemeleri ile değişik taşıyıcı sistem formlarına sahip tarihi yapılarda da benzer çalışmaların yapılmasının oldukça önemli ve gerekli olduğu düşünülmektedir.



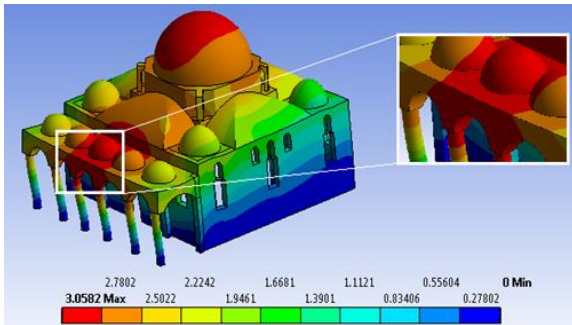
Şekil 9: Erzurum ili deprem haritası [15].



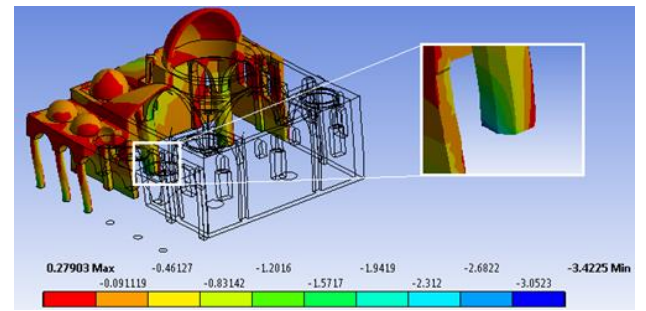
Şekil 10: Erzincan depremi kuzey-güney (N-S) bileşeni [15].



Şekil 12: Dinamik analiz sonucunda elde edilen çekme gerilmeleri (MPa).



Şekil 11: Dinamik analiz sonucunda elde edilen yatay yer değiştirmeler (mm).



Şekil 13: Dinamik analiz sonucunda elde edilen basınç gerilmeleri (MPa).

## 5 Teşekkür

Bu makalenin elektronik ortamda düzeltilmesinde yardımcı olan Dr. Hasan Tahsin ÖZTÜRK'e ve Lala Paşa Cami hakkındaki tarihi bilgilendirmelerinden dolayı araştırmacı tarihçi Şahset KAVUTLAR'a yardımlarından dolayı teşekkür ederiz.

## 6 Kaynaklar

- [1] Şeker BŞ. Mimar Sinan Camilerinin Statik ve Dinamik Yükler Etkisinde Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2011.
- [2] Dogangun A, Acar R, Sezen H, Livaoglu R. "Investigation of Dynamic Response of Masonry Minaret Structures". *Bull Earthquake Engineering*, 6(3), 505-517, 2008.
- [3] Çamlıbel N. Sinan Mimarlığında Yapı Strüktürünün Analitik İncelenmesi. Doçentlik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1998.
- [4] Sezen H, Acar R, Dogangun A, Livaoglu R. "Dynamic Analysis and Seismic Performance of Reinforced Concrete Minarets". *Engineering Structures*, 30(8), 2253-2264, 2008.
- [5] Çırak İF. "Yığma Yapılarda Oluşan Hasarlar, Nedenleri ve Öneriler". *SDU International Technologic Science*, 3(2), 55-60, 2011.
- [6] Gündoğdu H. *Erzurum Tarih ve Medeniyet, Erzurum Tarihi Eserler Albümü*. Erzurum 2011 Serisi-1, Ankara, Türkiye, Yazarlar Birliği Vakfı, 2011.
- [7] Konyalı İH. *Abideleri ve Kitabeleri ile Erzurum Tarihi*. İkinci Cilt. İstanbul, Türkiye, Ercan Matbaası, 1960.
- [8] Anonim. "En Güzel Erzurum Lala Paşa Camii Resimleri". <http://www.sehirler.net/resim-erzurum-resimleri-21-lala-pasa-camii-3302.htm> (10.01.2013).
- [9] Anonim. "Mimar Sinan Eserleri / Erzurum Lala Paşa Camii". [http://www.mimarsinaneserleri.com/mimari-cizimler/Erzurum Lala Mustafa Pasa Camii/index.html](http://www.mimarsinaneserleri.com/mimari-cizimler/Erzurum%20Lala%20Mustafa%20Pasa%20Camii/index.html) (10.01.2013).
- [10] ANSYS, Finite Element Analysis Program, USA.
- [11] Altunışık AC. "Dynamic Response of Masonry Minarets Strengthened With Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 2011-2019, 2011.
- [12] Casolo S, Sanjust Carlo A. "Seismic Analysis and Strengthening Design of a Masonry Monument by a Rigid Body Spring Model: The "Maniace Castle" of Syracuse". *Engineering Structures*, 31(7), 1447-1459, 2009.
- [13] Uysal H, Çakır F. "Tarihi Erzurum Saat Kulesi'nin Statik ve Dinamik Analizleri". *TAÇ Vakfı, Türkiye Anıt Çevre Turizm Değerlerini Koruma Vakfı Dergisi*, 1, 72-80, 2013.
- [14] Şeker BŞ, Doğangün A, Çakır F. "Merzifonlu Kara Mustafa Paşa Cami Taşıyıcı Sistemi Üzerine İrdeleme". *SDÜ Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 5(1), 112-120, 2013.
- [15] T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı. "Sayısal Veriler". <http://kyh.deprem.gov.tr/ftpt.htm> (30.01.2013).