ÖHÜ Müh. Bilim. Derg. / OHU J. Eng. Sci.

ISSN: 2564-6605
doi: 10.28948/ngumuh.598235
Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 2, (2019), 1193-1203
Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences, Volume 8, Issue 2, (2019), 1193-1203

Araştırma / Research

BURSA, YENİŞEHİR SİNAN PAŞA KÜLLİYESİ İMARETİNİN SAYISAL MODELLENMESİ VE YAPISAL ANALİZİ

İlhan Okan YAZGAN[1] (ORCID: 0000-0002-0182-1826)[*]
Ali İhsan ÜNAY[1] (ORCID: 0000-0002-9510-0375)

[1]Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, Türkiye

Geliş / Received: *21.07.2018*
Kabul / Accepted: *14.02.2019*

ÖZ

Tarihi binalar özgün mimari özellikleri ile yapısal performanslarını genellikle doğal etkiler ve insan kaynaklı müdahaleler sonucunda yitirmektedir. Korunmalarını gerektiren değerleri ise, meydana gelen hasar ve değişimlere rağmen büyük oranda sürdürülmektedir. Yapısal davranış bağlamında karşılaştırıldığında yığma sistem, çağdaş inşa sistemlerinden çok daha karmaşıktır. Taşıyıcı sistemi etkileyen müdahale ve hasarlar söz konusu olduğunda ise yığma yapıların reaksiyonları bazen öngörülemez olmaktadır. 16. yüzyılın ikinci yarısına tarihlenen Sinan Paşa Külliyesi tipik Osmanlı Dönemi özellikleri taşımaktadır. Külliyeden günümüze ulaşan yapılardan tabhane ve imarete zamanla değişen mekansal ihtiyaçları karşılamak üzere müdahale ve eklentiler yapılmış, bu durum ciddi yapısal hasarlara sebep olmuştur. Çalışma kapsamında külliyenin imaret bölümü ele alınmış, insan kaynaklı müdahale ve eklentilerin yapısal performansa etkileri hedef yapının müdahale öncesi durumunu temsil eden sayısal model kullanılarak gerçekleştirilen analizlerle ortaya konmuştur. Örneklenen yapının herhangi bir müdahaleye maruz kalmaması halinde deprem etkisi ve diğer yüklere karşı oldukça dayanıklı olacakken, müdahale ve hasarlardan dolayı düşük kuvvetteki sismik hareketlerde dahi göçme riski ile karşı karşıya kalabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Tarihi yığma yapılar, sayısal model ve analiz, yapısal analiz, restorasyon

NUMERICAL MODELING AND STRUCTURAL ANALYSIS OF SINAN PASA KULLIYE'S IMARET IN YENISEHIR, BURSA

ABSTRACT

Historical buildings often experience decrease in their genuine structural performance and architectural functions due to natural impacts and man-made interventions. Even at their ruined and intervened state, they mostly maintain their values in need of protection. Masonry is much more complicated in the context of structural behavior, when compared with modern building techniques. Reactions of masonry sometimes becomes even more unpredictable due to interventions or damages effecting the structural system. Sinan Pasa Kulliye having the typical characteristics of Ottoman period, is dated back to the second half of 16th century. Imaret and inn sections that came up to modern days, exposed to some additions and interventions owing to the spatial needs varying over time, which caused some major structural damages. Within this study imaret section of kulliye is examined, effects of man-made interventions and additions on the structural performance are determined by conducting numerical model representing the original state of target structure. The imaret should be very resistant under earthquake effect or other kind of loads unless it was intervened, meanwhile because of interventions and damages, it encounters the risk of collapse even with a low seismic force.

Keywords: Historical masonry buildings, numerical model and analysis, structural analysis, restoration

[*]Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +905322544900; e-mail / e-posta: ilhanokanyazgan@hotmail.com

1. GİRİŞ

Gerek barınma, ticaret v.b. işlevlere sahip gerekse de anıtsal nitelikli olsun, yığma sistem ile inşa edilmiş tarihi yapılar, Anadolu'nun mimari mirası arasında önemli bir yere sahiptir. Antik çağdan başlayıp Cumhuriyet Dönemi'ne kadar farklı zamanlarda inşa edilmiş bu geniş yapı stoğu, yapım tekniği ve malzemeleri açısından da çeşitlilik göstermektedir. Bazıları UNESCO'nun (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization / Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Teşkilatı) dünya miras listesinde yar alan bu yapılar, ülkenin taşınmaz kültür varlığı envanterinin de önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.

Tarihi yığma yapıların gelecek nesillere aktarılarak sürekliliğin sağlanması, sadece çevre ve deprem gibi doğal etkilere karşı dayanımları ile değil, aynı zamanda var oluşları boyunca hangi koşullarda onarılıp korundukları ile de yakından ilişkilidir. Mimari miras niteliğindeki bir yapının kullanım sürekliliği, korunması açısından önemli bir faktördür. Tarihi yapıların varlıklarını yüzyıllar hatta binyıllar boyunca sürdürebilmeleri ve gelecek nesillere aktarılabilmeleri, ancak periyodik bakım ve onarımlarının sağlanması ile mümkün olmaktadır. Bu sebepledir ki uzun süre kullanılmayan, terk edilmiş yapılarda bakımsızlık sebebiyle zaman içerisinde ciddi hasarlar ortaya çıkabilmekte, hatta bazı durumlarda yapı bütünüyle yitirilmektedir. Yığma yapıların doğal veya fiziksel etkilere karşı yapısal dayanımlarını azaltan bir diğer önemli faktör de, yapının ömrü boyunca karşılaştığı insan kaynaklı müdahale ve eklentilerdir.

Bu çalışmada zaman içerisinde önemli müdahale ve eklentilere maruz kalan Sinan Paşa Külliyesi imaret bölümünün ilk inşasında sahip olduğu yapısal özellikler, yapının özgün durumunu temsil eden sayısal model ile ortaya konmaktadır. Tarihi yapıda zaman içerisinde meydana gelen değişim ve hasarların özgün strüktürel performansa olan olumsuz etkisi analizden elde edilen sonuçlar ile irdelenmektedir. Çalışmada ele alınan sayısal modelleme ve analiz yönteminin, tarihi yapıların hasarlarının tespiti ile güçlendirme ve onarımlarına yönelik çalışmalara ön bilgi sağlanması açısından faydalı olabileceği değerlendirilmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Sinan Paşa Külliyesi ve İmaret Bölümü

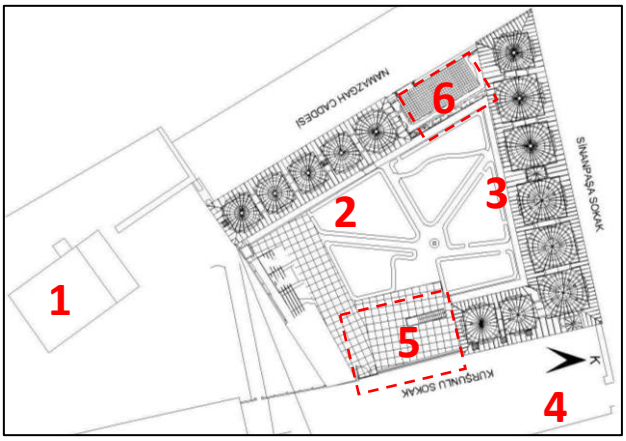
Çalışmanın konusu Sinan Paşa Külliyesi'nin Vakıf kayıtlarına göre; 980-81 H/1572-73 M. ile 990 H /1582 M. yılları arasında Koca Sinan Paşa tarafından dönemin hacı adaylarının ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla inşa ettirildiği değerlendirilmektedir. Yenişehir ilçe merkezinde, İznik, Bilecik, Bursa ve İnegöl yollarının kesiştiği eski kavşak üzerinde yer almaktadır [1]. Külliye özgün planlamada; cami, medrese, sıbyan mektebi, imaret, tabhane, fırın, han ve kervansaray bölümlerinden oluşmaktadır. Bu yapılardan günümüze; güney yönde özgünlüğünü büyük ölçüde koruyan cami (Şekil 1, no:1), kuzeyde tabhane ve imaret, kuzeydoğuda ise sadece temel kalıntıları izlenen arasta (Şekil 1, no:4) bölümleri ulaşmıştır. 1900'lerin ilk yarısına ait fotoğrafta arastanın (han) bir bölümü halen ayaktadır (Şekil 7).

Birbirine sivri kemerlerle bağlanan geniş hacimlerden oluşan imaretin (Şekil 1, no:3) bünyesinde ocaklar, bacalar ve çeşme bulunmakta iken, tabhane (Şekil 1, no:2) ise erkekler ve kadınlar için yan yana, kubbeli iki ayrı mekândan oluşmaktadır. Özgün yapıda birbirlerine kuzeybatı yönden iki adet yarı açık revak ile bağlı olan imaret ve tabhane bölümleri, zaman içerisinde ara revakların yıkılarak ortadan kalkması ile günümüzde birbirinden bağımsız kütleler haline dönüşmüşlerdir. Halihazırda bu iki kütleyi kuzeybatı yöndeki avlu duvarı (Şekil 1, no:6) ilişkilendirmektedir . Gerek tabhane ve imaret, gerekse de cami yapıları klasik dönem Osmanlı mimari özelliklerini taşımaktadır.

Cami yapısı kareye yakın planlı, tek kubbeli ve kuzey yöndeki 3 bölmeli son cemaat yeri ile özgün bir plan şemasına sahiptir (Şekil 2). Yapının diğer üç cephesi moloz ve kaba yonu taş ile inşa edilmiş haldeyken, kuzey cephesi ve son cemaat mahalli düzgün kesme taş işçiliğe sahiptir. Farklı malzeme ve inşa tekniğinden yola çıkılarak kuzey cephenin geç dönemde onarım gördüğü söylenebilir. Ana kütlenin kuzeybatı köşesinde yer alan minare ise taş ve tuğladan oluşan özenli bir örgüye sahiptir. Minare şerefesi testere dişi tuğla ile teşkil edilmiştir. Şerefenin hemen altındaki sınırlı bir bölümde ise İznik çinisi pano kalıntıları yer almaktadır. Çini ve kalem işi süslemeler caminin iç mekanında da bulunmaktadır.

Tabhane ve imaret bölümleri külliyeyi batı, kuzey ve kuzeydoğu yönlerden sarmalayarak güneydoğu köşesi açık olan bir iç avlu meydana getirmektedir (Şekil 1). Tabhane dikdörtgen bir plan üzerinde sıralı şekilde dizilmiş 5 adet kare planlı kubbe örtülü kütleden meydana gelmiştir. Tabhanenin yaklaşık ölçüleri; 8 x 33 m'dir. Kubbeli mekanlardan 2 adeti avlu cepheleri sivri bir kemer marifeti ile açık olan revaklar şeklinde iken, diğer 3 hacim kapalı kare plan özelliğindedir. Günümüzde mevcut olmayan imaret ile tabhane arasındaki revakların,

avluya bakan doğu cepheleri kemerli ve açık halde, kare planlı ve kubbeli iki eş mekandan ibaret oldukları öngörülmektedir (Şekil 4).



Şekil 1. Sinan Paşa Külliyesi rölöve vaziyet planı; 1- Cami, 2- Tabhane, 3- İmaret, 4- Arasta (Han ve Kervansaray) Kalıntıları, 5 ve 6- Muhdes mekan eklentileri [2]

Çalışmanın yapısal analiz bölümünde ele alınan ve günümüzde yapısal hasarların en çok görüldüğü imaret bölümü ise L formlu bir plan şemasına sahip olup, 4 adet mekandan meydana gelmiştir. İmaretin yaklaşık ölçüleri L planın uzun kolunda; 53 x 10 m, kısa kolda ise; 23,5 x 8,5 m'dir. İmaret, kuzeybatı köşede tek kubbeli, kuzeydoğu yöne doğru ise 2 ve 3 adet kubbe ile örtülü 2 farklı mekan ile, güneydoğu köşesinde yer alan 2 adet eş kubbe ile örtülü mekandan oluşmaktadır. İmareti oluşturan mahallerin tümü tabhaneden farklı olarak kapalı mekan niteliğindedir. Birden fazla kubbe ile örtülen mekanlar arasındaki geçiş sivri tuğla örgü kemerlerle sağlanmıştır. Kare planlı düşey taşıyıcılardan kubbeye dönüşümler ise çoğunlukla pandantif olmak üzere yer yer üçgen geçiş elemanları ile sağlanmaktadır.



Şekil 2. Kurşunlu Han Camisi olarak da bilinen Sinan Paşa Camisi

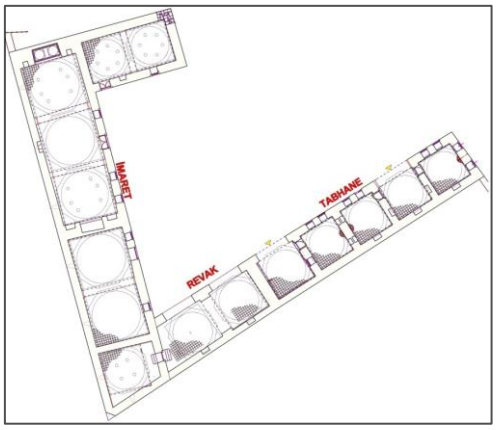


Şekil 3. Tabhane ve İmaretin cami şerefesinden görünüşü

Tabhane ve imaret bölümlerinde benzer malzeme ve yapım tekniği izlenmekte olup, düşey taşıyıcı duvarlar moloz ve tuğla elemanların kullanıldığı almaşık örgü ile inşa edilmiştir. Duvar örgüsü genel olarak iki sıra moloz ve kaba yonu taşı takiben bir sıra tuğla kullanılarak oluşturulmuştur. Kemerler, geçiş elemanları ve kubbeler ise tuğla malzeme ile inşa edilmiştir. Pencere ve kapı boşluklarının teşkilinde düzgün kesme blok taş söve ve lentolar kullanılmıştır. Saçak seviyesi ve kubbe kasnağının dış cephesinde kirpi saçak bulunan yapının pencere boşlukları üzerinde ise tuğla örgü, dolu sivri kemerler bulunmaktadır. Eski fotoğraflarında alaturka kiremit ile kaplı olduğu görülen çatı örtüsü günümüzde kurşun malzeme ile kaplıdır (Şekil 3 ve 7).

Mimari mirasın korunarak gelecek nesillere aktarılması sürecindeki temel sorunların başında; tarihi yapının özgün işlevinin ve yapıldığı döneme ait mekansal ihtiyaçların zamanla ortadan kalkması gelmektedir. Bu bağlamda, tarihi yapıların birçoğu özgün işlevlerini zaman içerisinde kaybetmekte, terk edilmişlik ve uzun süreli

bakımsızlıkla birlikte yapı malzemesinde meydana gelen olağan yıpranmanın harici etkilerle birleşmesi sonucunda yapıda önemli hasarlar meydana gelebilmekte, hatta bazıları tümüyle yitirilmektedir. Çoğunlukla kent ve yerleşim merkezlerinde yer alan bazı örnekler ise ilk yapımında belirlenen işlevi ortadan kalkmasına karşın, yapıda meydana getirilen bir takım değişiklik ve eklentiler sonucu kazandırılan yeni işlevleriyle kullanılmaktadır.



Şekil 4. Sinan Paşa Külliyesi, medrese bölümü restitüsyon vaziyet planı [2]



Şekil 5. İmaret bölümünün kuzeybatı yönden günümüzdeki sokak görünüşü



Şekil 6. İmaretin 1900'lerin ilk yarısına ait olduğu düşünülen fotoğrafta aynı açıdan görünüşü [3]



Şekil 7. Külliye'nin güney kesiminde bulunan Caminin şerefesinden tabhane ve imaretin görünüşü (1900'lerin ilk yarısı) [3]

Değişen ihtiyaçları karşılamak üzere gerçekleştirilen müdahaleler, özgün halde bile karmaşık ve hassas yapısal özellik gösteren tarihi yığma yapılarda ciddi hasar ve sorunlara neden olmaktadır. Sinan Paşa Külliyesi'nin imaret ve tabhane bölümleri de zaman içerisinde ilk yapımdaki işlevlerini yitirmiş, çağdaş dönem ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla taşıyıcı sistemlerini de etkileyen önemli müdahale ve eklentilere maruz bırakılmıştır. Bu durum başta imaretin kuzeydoğu kesimi olmak üzere, tarihi külliyenin günümüze ulaşabilen sınırlı bölümlerinde önemli yapısal hasarların ortaya çıkmasına, dolayısı ile yığma yapının statik ve dinamik yükler altındaki performansının azalmasına yol açmıştır.



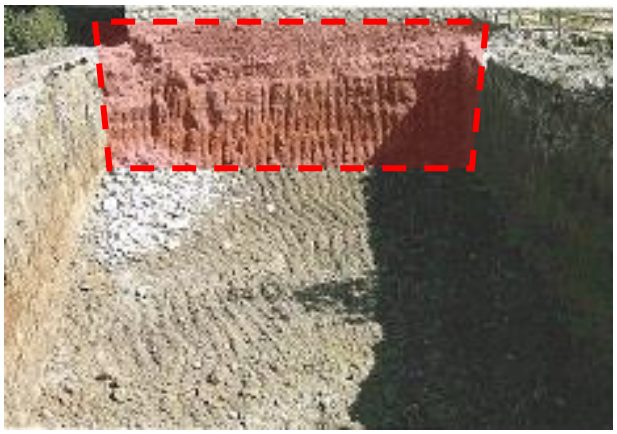
Şekil 8. Tabhane ve imaretin bir arada görülebildiği iç avlu fotoğrafı [2]



Şekil 9. İmaret bölümü [2]

Sinan Paşa Külliyesi Tabhane ve İmareti'nde meydana gelen müdahale ve değişikliklerin başlıcaları; iki kütle arasında yer alan 2 adet kubbeli revakın (Şekil 1, 6 numara ile işaretli alan) yıkılarak tümüyle ortadan kalkması, aynı zamanda düşey taşıyıcı sistemin bir parçası olan bazı duvarların mekan ihtiyaçlarının karşılanması için kısmen veya tamamen kaldırılması, yığma sistemlerde performansı doğrudan etkileyen pencere veya kapı gibi mimari boşluklardan bazılarının örülerek kapatılması, özgünde var olmayan bazı boşlukların ise sonradan açılması şeklinde sıralanabilir.

Son olarak 2012 yılında imaret bölümünün dış duvar sınırına, zemin seviyesi altına gömülü şekilde betonarme tuvalet ve depo mekanları inşa edilmiştir (Şekil 1, 5 numara ile işaretli alan, şekil 10 ve 11). Bu eklenti tarihi yapıda ciddi çatlak ve ayrılmalar ile zemin dengelerinde değişimlere sebep olmuştur (Şekil 12). Külliyenin tabhane ve imaret bölümleri 2012 yılında eklenen muhdes birimler ile birlikte yakın döneme kadar öğrenci yurdu olarak kullanılmış, 2016 yılında başlayan restorasyon çalışmaları ise yakın geçmişte tamamlanmıştır.



Şekil 10. İmaretin güneydoğu köşesine dıştan avlunun zemin kotu altında eklenen muhdes ıslak hacim birimine ait 2012 tarihli kazı çalışması sonucu ortaya çıkan temel duvarı [4]



Şekil 11. Muhdes betonarme eklentinin tarihi yapının imaret bölümü ile onarım öncesindeki ilişkisi



Şekil 12. İmaret bölümü yığma örgüsünde meydana gelen yapısal çatlak ve ayrışmalar

2.2. Sayısal Modelleme ve Analiz Yöntemi

Tarihi yapıların strüktürel performansları, yer çekimi ile ortaya çıkan yapının kendi statik ağırlığı, rüzgar, deprem, zemin hareketleri ile fiziksel çevreden kaynaklanan yük değişimleri sonucu yapıya etkiyen kullanım yükleri karşısında sergiledikleri davranışla ilişkilidir. Zaman içerisinde yapı malzemeleri ve strüktürel elemanlarında meydana gelen hasarlar ve insan kaynaklı müdahaleler ise tarihi yapıların strüktürel kapasitelerini doğrudan etkileyen unsurlardır. Bu yapıların korunması ve onarımına yönelik tedbirler, malzeme ve mimari eleman ölçeğindeki sorunların giderilmesinin yanı sıra, yapıyı ayakta tutan strüktürel sistemin onarılması veya gerektiğinde güçlendirilmesi uygulamalarını da kapsamaktadır.

Yapısal analiz yazılımlarında yakın dönemde meydana gelen yenilik ve gelişmeler, yığma yapıların sonlu elemanlar ile modellenerek daha hızlı ve doğru şekilde çözümlenmelerini mümkün kılmıştır. Yapı mekaniği alanında çalışan araştırmacılar, strüktürel güçlendirme ve onarıma yönelik müdahale ve imalatların tarihi yapılarda uygulanması öncesinde, yazılım aracılığı ile gerçeğe yakın şekilde modellenip analiz edilmesi yoluyla, fayda ve performansın uygulama öncesinde öngörülebilmesi üzerine odaklanmışlardır [5].

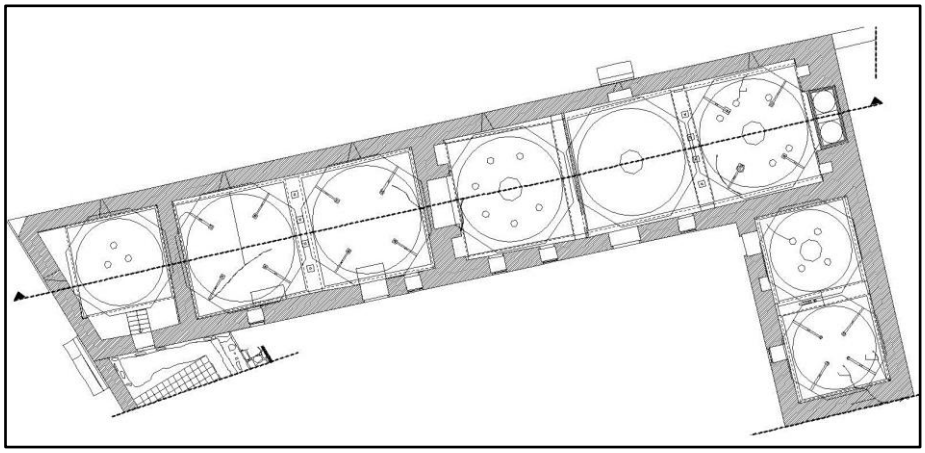
Tarihi binaların ve anıtların yapısal analizlerinin en önemli aşaması sayısal modellemedir. Sayısal modelleme, farklı malzemelerden üretilmiş ve değişken kesit geometrisine sahip taşıyıcı sistem elemanlarının, mekaniğin temel kurallarına göre doğru ve uyumlu bir şekilde matematiksel terimlere dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir [6]. Tarihi binaların ve anıtların yapısal analizi için genellikle sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılır. Bu hesap yöntemi, yapının tamamı ya da belirli bir bölümünün sayısal (matematiksel) modelinin hazırlanmasıyla başlar. Bu işleme yapının ayrıştırılması denir. Ayrıştırma sırasında yapı, hesap yönteminin amacına uygun şekilde ve sayıda elemanlara ayrılır. Bu aşamada yapıyı oluşturan taşıyıcı sistem elemanlarının da daha küçük parçalara ayrılarak tanımlanması gerekebilir. Yapının geometrik boyutlarını, mesnetlerin ve taşıyıcı sistem elemanlarının birleşim noktalarının hareket yeteneklerini ve serbestlik derecesini, yapı üzerine etki eden yükleri göz önüne alarak, yapının tanımlanması işlemine sayısal modelleme ya da matematiksel modelleme denir [7] [8].

Hedef yapıyı meydana getiren malzemelere ilişkin fiziksel ve geometrik tanımların hassas ve doğru şekilde yapılması analiz sürecinin en önemli aşamalarından birisidir. İdeal olan, çalışma konusu yapının strüktürel bileşenlerinden alınacak malzeme örneklerinin çeşitli deneylere tabi tutulması, elde edilecek verilerin modelleme ve analizde kullanılmasıdır. Bu süreç zaman, özel ekipman, bütçe ve özellikle tarihi yapılar için uzun bürokratik süreçleri beraberinde getirmektedir. Bu sebeple çoğu zaman özgün yapı malzemelerinden örnek alınarak yapıya ilişkin strüktürel özelliklere ulaşılması mümkün olamamaktadır. Bu gibi durumlarda genellikle kabul gören yöntem; çalışma konusu yapının malzeme özelliklerinin, daha önce yapılan çalışmalara dayanılarak ön kabul ve tahminlerle belirlenmesidir [9].

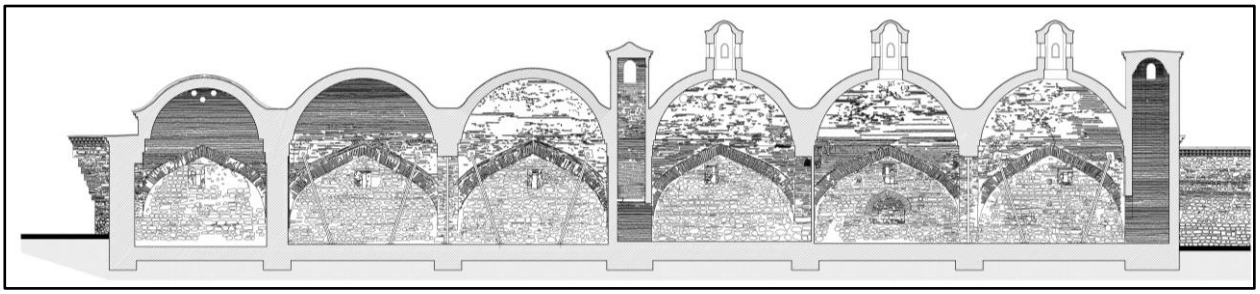
2.3. İmaretin Sayısal Modeli ve Hesap Parametreleri

Çalışmanın sayısal model ve analiz bölümünde, halihazırda barındırdığı birimlerin önemli bir kısmı yitirilmiş olan tarihi Sinan Paşa Külliyesi'nin ciddi yapısal hasarlara rağmen mekansal bütünlüğünü büyük ölçüde korumakta olan imaret bölümü ele alınmıştır. İmaretin olası bir deprem karşısında yapısal davranışının belirlenmesi ve deprem dayanımının saptanması için yapılan sonlu elemanlar modelinin parametreleri ile analiz sonuçları ortaya konmuştur.

İmaret yapısı; 48 m × 9 m boyutlarında, 'L' tipi dikdörtgen şeklinde bir plana sahiptir. İmaretin üzerini örten 8 adet kubbenin çapları; 4.6 m ile 6 m arasında değişmektedir. 0.6 m kalınlığındaki tuğla kubbe, 1.15 m kalınlığındaki tuğla ve taş almaşık örgü duvarlar tarafından taşınmaktadır. Kubbenin temel kotundan yüksekliği; 8 metreye ulaşmaktadır.

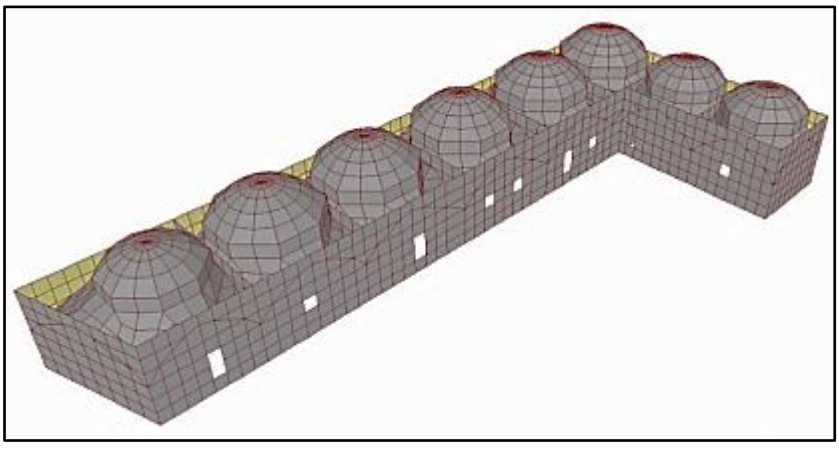


Şekil 13. İmaret bölümü rölöve planı [2]



Şekil 14. İmaret bölümü rölöve boy kesiti [2]

Külliye imaretinin sonlu elemanlar modeli SAP2000 programının [10] modelleme özellikleri ve kurallarına göre hazırlanmıştır. Yapının matematiksel modelinin oluşturulması için gerekli olan bütün geometrik boyutlar ve ölçüler, daha önce hazırlanmış olan rölöveler kullanılarak elde edilmiştir. Yapının büyük bölümü "genel kabuk elemanı" (shell) ile tanımlanmaya uygundur. Bu nedenle, kubbeler, kemerler, ana kütlenin duvarları ve diğer bütün duvarlar genel kabuk elemanları ile modellenmiştir. İmaret yapısının sonlu elemanlar modeli 2165 adet düğüm noktası ve 2334 adet kabuk elemanı kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 15. Sinan Paşa Külliyesi İmareti'ni temsil eden sonlu elemanlar modeli

Önceki başlıkta açıklanan gerekçelerle, Sinan Paşa Külliyesi imaret yapısından özgün malzeme örneği alınarak fiziksel ve geometrik özelliklerin tespit edilmesi imkanı olmamıştır. Bu sebeple sayısal model ve analizde kullanılan malzeme özellikleri, benzer yapı malzemelerine ilişkin bilimsel literatürde yer alan deney sonuçları ve Türk Deprem Yönetmeliği'nde [11] benzer özellikteki yığma yapılar için önerilen değerler dikkate alınarak belirlenmiştir. Sayısal modellemede kullanılan malzemelerin doğrusal elastik özellikte oldukları öngörülmüştür.

Tuğla veya taş yığma yapı elemanlarının, harç ile birlikte tek bir malzeme özelliği gösterdiği varsayılarak, elastisite modülü ve birim ağırlık kabulleri tuğla kubbe ve pandantiflerde; E= 1.200.000 kN/m^2, taş duvarlarda ise; E= 450.000 kN/m^2, her iki malzemenin birim ağırlığı ise; 24 kN/m^3 kabul edilmiştir. Hazırlanan hesap modeli üzerinde sabit yükler ve deprem yüklemeleri EQ_x ve EQ_y yüklemesi olmak üzere ayrı ayrı iki asal doğrultuda uygulanmıştır. Sonuçların kolaylıkla değerlendirilebilmesi için, G + EQ_x (Sabit yükler + x ekseni doğrultusundaki deprem yüklemesi) ve G + EQ_y (Sabit yükler + y ekseni doğrultusundaki deprem yüklemesi) olmak üzere iki ayrı yük bileşeni tanımlanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Sonlu Elemanlar Modeli Analizi Hesap Sonuçları

Türkiye'de yürürlükte olan Deprem Yönetmeliği'nde [11], tuğla yığma duvarlar için basınç emniyet gerilmesi f_{em}= 0.8 MPa, taş yığma duvarlar için basınç emniyet gerilmesi f_{em}= 0.3 MPa, olarak önerilmektedir. İmaretin sismik etkilere karşı dayanımı, yapılan hesap sonucunda ortaya çıkan gerilmelerin emniyet gerilmeleriyle karşılaştırılması ile yorumlanabilir. Sonlu elemanlar modelinin analizinden elde edilen kuvvetlerde herhangi bir azaltma yapılmamış (R=1), buna karşın deprem yönetmeliğindeki emniyet gerilmeleri 3 katsayısı ile büyütülmüş, çekme emniyet gerilmeleri ise basınç emniyet gerilmelerinin %15'i olarak kabul edilmiştir.

Bu yaklaşımla hesap sonuçlarının değerlendirilmesi sırasında tuğla kubbe ve pandantifler için basınç emniyet gerilmesi; f_{bas}= 2.4 MPa, çekme emniyet gerilmesi; $f_{çek}$=0.36 MPa, taş yığma duvarlar için basınç emniyet gerilmesi; f_{bas}=0.9 MPa çekme emniyet gerilmesi; $f_{çek}$= 0.135 MPa olarak kabul edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Çeşitli eleman grupları için kabul edilen emniyet gerilmeleri

Eleman Grubu	**Basınç Emniyet Gerilmesi** (MPa)	**Çekme Emniyet Gerilmesi** (MPa)
Tuğla Kubbe ve Pandantifler	2.4	0.36
Taş Duvarlar	0.9	0.135

İmaretin yapısal hesabı yukarıda belirtilen yük bileşenlerine göre SAP2000 sonlu eleman programı ile gerçekleştirilmiştir. Yapının toplam ağırlığı; 46698 kN, doğu-batı (modele göre x yönü) doğrultusunda uygulanan deprem etkisi altında meyana gelen, toplam taban kesme kuvveti; 12857 kN, kuzey-güney (modele göre y yönü) doğrultusunda uygulanan deprem etkisi altındaki toplam taban kesme kuvveti; 12763 kN olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre yapının maruz kaldığı taban kesme kuvvetinin, x yönünde ve y yönünde toplam ağırlığın %28'ine karşılık geldiği görülmektedir.

X yönündeki deprem yüklemesi sonucunda bu yöndeki en büyük ötelenme; Δ_x=3.8 mm, y yönündeki deprem yüklemesi sonucunda bu yöndeki en büyük ötelenme ise; Δ_y=8 mm'dir. Yer değiştirme değerinin tespiti için modelin en üst kotu ölçülmüştür.

Yapının taşıyıcı sistem elemanları; kubbeler, pandantifler ve duvarlar olmak üzere 3 ayrı kategoride, G + EQ_x ve G + EQ_y yük bileşenleri için S22 (düşey doğrultu) gerilmelerine göre ayrıntılı incelenmiştir. Tablo 2'de her bir grup eleman için en büyük basınç ve çekme gerilmeleri, kabuk elemanların en üst ve en alt yüzeyleri için ayrı ayrı gösterilmektedir.

Tablo 2. Çeşitli eleman gruplarında düşey doğrultuda (S22) elde edilen en büyük gerilmeler

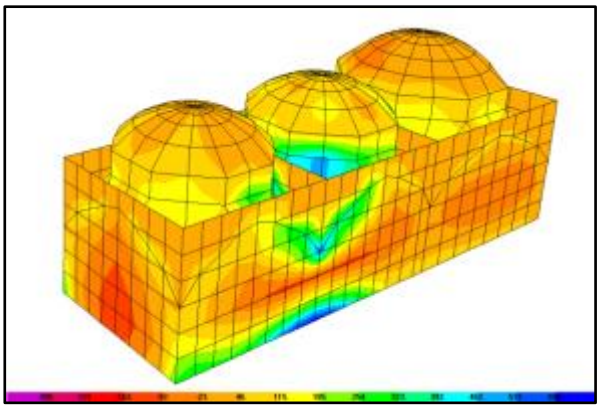
Eleman Grubu			**G + EQ$_x$ Yüklemesi** (MPa)	**G + EQ$_y$ Yüklemesi** (MPa)
Kubbeler	Üst Yüzey	Basınç	-2.1	-2.3
		Çekme	0.5	0.6
	Alt Yüzey	Basınç	-1.4	-0.9
		Çekme	0.4	0.3
Pandantifler	Üst Yüzey	Basınç	-2.2	-2.5
		Çekme	0.9	1.1
	Alt Yüzey	Basınç	-2.3	-2.0
		Çekme	0,8	0.7
Duvarlar	Üst Yüzey	Basınç	-0.7	-0.8
		Çekme	0.3	0.4
	Alt Yüzey	Basınç	-0.6	-0.7
		Çekme	0.2	0.1

3.2. Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi

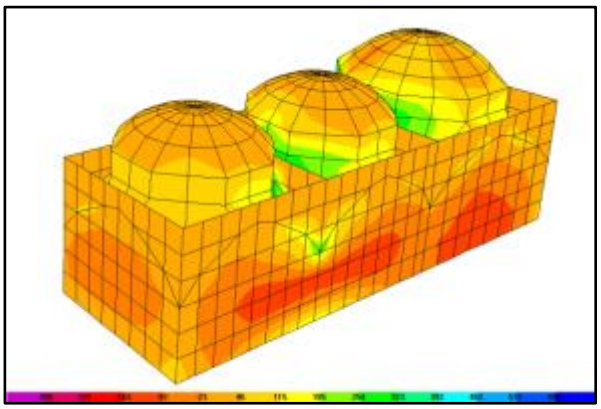
Yapılan hesaplar sonucunda Sinan Paşa Külliyesi İmareti'nin olası bir deprem sırasındaki davranışı ve taşıyıcı elemanlarının dayanımı ile ilgili şu gözlemler yapılmıştır;

- İmaretin güçlü (rijit) bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Deprem etkisine göre yapılan analizler sonucunda elde edilen en büyük ötelenme değerleri kubbenin en üst x yönünde yaklaşık; 4 mm, y yönünde ise; 8 mm'dir. Bu noktanın yere göre yüksekliğinin; 8 m olduğu göz önüne alındığında yer değiştirme oranı göreli; 0.001 değerine karşılık gelmektedir. Bu göreli yer değiştirme sırasında, yapıldıkları malzemeye bağlı olarak duvarlarda çatlamanın ortaya çıkması beklenebilir ise de yıkılmanın uzak bir ihtimal olduğu ifade edilebilir. Dolayısı ile bulunan göreli yer değiştirme değeri kabul edilebilir sınırların içinde kalmaktadır.
- Yapısal analizler sonucunda elde edilen etkilerin incelenmesinde, imaretin taşıyıcı elemanlarında, Türk Deprem Yönetmeliği'nde [11] yığma yapılar için önerilen basınç gerilmesi değerlerinin aşılmadığı gözlenmiştir.
- Çekme gerilmelerinin ise sadece boşluk köşeleri ve duvar alt köşe bölgelerindeki sınırlı alanlarda aşıldığı gözlenmiştir. Kullanılan elemanların ağ yapısı ve mesnet şartları gereği yatay yüklemelerde bu gerilmelerin oluşması kabul edilebilir düzeydedir.

Yukarıda elde edilen sonuç ve bulgular bir arada değerlendirildiğinde, kabul edilen hesap ilkelerine göre Sinan Paşa Külliyesi imaret bölümünün müdahale edilmemiş, hasarsız halinin depreme karşı dayanımının yeterli olacağı söylenebilir. Ancak müdahale ve eklentiler sonucu halihazırda ciddi yapısal çatlaklar ile yığma örgüde ayrışmalar (Şekil 11, 12) gözlenen yapının, düşük kuvvetteki dinamik yüklere karşı dahi oldukça savunmasız ve hassas durumda olduğu rahatlıkla söylenebilir.



Şekil 16. EQ$_x$ yüklemesi sonucunda imaretin kuzeydoğu mekanlarında meydana gelen basınç ve çekme gerilmeleri



Şekil 17. EQ$_y$ yüklemesi sonucunda imaretin kuzeydoğu mekanlarında meydana gelen basınç ve çekme gerilmeleri

4. SONUÇLAR

Özellikle dinamik ve yatay yüklere karşı hassas oldukları bilinen tarihi yığma yapıların ilk inşa edildiklerinde sahip oldukları strüktürel performans ve deprem dayanımları, zaman içerisinde meydana gelen çevresel ve insan kaynaklı etkiler ile yapı malzemesindeki doğal yıpranma sonucunda önemli oranda azalabilmektedir.

Çalışma kapsamında ele alınan Koca Sinan Paşa Külliyesi, ilk yapımında farklı işlevlere sahip birden çok yapıyı barındırmasına karşın, günümüze bu yapılardan aralarında çalışmanın yapısal modelleme ve analiz başlığı altında incelenen imaret bölümünün de bulunduğu sadece 3 birim ulaşabilmiştir.

Tarihi yapıların strüktürel davranış ve performanslarının belirlenmesi için en elverişli yöntem sonlu elemanlar hesabıdır. Çalışma kapsamında halihazırda çoğunluğu insan kaynaklı müdahale ve muhdes yapı eklentileri sebebiyle yığma örgüsünde ciddi hasarlar izlenen imaret bölümünün, hasarsız ve müdahale edilmemiş durumunu temsil eden sayısal model geliştirilmiştir. Modelin başta deprem yükü olmak üzere, statik ve dinamik yükler altındaki performansı, yapılan analizler sonucu ortaya konabilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre; külliyenin imaret yapısı, herhangi bir müdahale ve eklentiye maruz kalmaması halinde deprem ve diğer yüklere karşı oldukça dayanıklı bir yapı olmasına karşın, günümüzde izlenen hasarlarından dolayı düşük kuvvetteki bir sismik harekette dahi kısmen veya tamamen göçme riski ile karşı karşıyadır. Yapının strüktürel olarak bu denli hassas hale gelmesinin temel sebebinin, imaret bölümüne dışarıdan, zemin kotu altında eklenen betonarme ıslak hacim mekanlarının, yapının zemin ve düşey yük dengesini bozması olduğu açıktır.

Zemin dengesi bozulmuş ve sismik etkilere karşı hassas durumdaki imaretin yapısal performansının artırılması amacıyla; yığma yapının temel seviyesinde yapılacak yeni bir pabuç ile desteklenmesi, yapının kubbe, pandantif, kemer ve duvar gibi yük aktaran bölümlerindeki yapısal çatlakların uygun yöntemlerle onarılması, özelliğini yitirmiş derzlerin sökülerek örgünün yeni derz dolgusu ve harç enjeksiyonu ile sağlamlaştırılması, kubbe kasnaklarının çelik kuşak ile desteklenmesi, ayrılma izlenen beden duvarlarının dıştan dışa çalışacak çelik gergi çubukları ile bağlanması, yığma duvarların iç yüzlerine yeni sıva katmanı öncesinde sismik performansı artırmak amacıyla güçlendirme tekstili uygulanması, zemin ve çevre suyunun uzaklaştırılması için yapı çevresinde drenaj hattı oluşturulması önerilebilir [4].

Tüm insanlığın ortak mirası olan taşınmaz kültür varlıklarının korunarak gelecek nesillere aktarılmasının temelinde; mimari varlıkların strüktürel yapısını etkileyecek müdahale ve eklentilerden kaçınılarak özgün strüktürel ve tasarım özelliklerinin sürdürülmesi yatmaktadır. Mekansal kapasitelerine uygun işlevlerle kullanılacak mimari mirasın, periyodik bakımları da yapılarak, varlıklarını uzun yıllar sürdürecek strüktürel performansı sağlayabilecekleri görülmektedir. Uygun koşulların sağlanması halinde taşınmaz kültür varlıklarının gelecek nesillere aktarılması çok daha kolay olacaktır.

TEŞEKKÜR

Çalışmaya katkılarından dolayı Yüksek Mimar Murat Eyüp Coşkun'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

[1] YAVAŞ, D., Sinan Paşa Külliyesi Sanat Tarihi Raporu, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2016.

[2] ATABEY, A.K., ATABEY, A., Yenişehir Sinan Paşa Külliyesi Güncel Rölöve Projesi, Bursa, Türkiye, 2016.

[3] MEFAİL, H., Osmanlı Klasik Döneminde Bursa Medreseleri, İz Yayıncılık, İstanbul, Türkiye, 1998.

[4] EYÜPGİLLER, K.K., ÜSTÜNDAĞ, C., Bursa İli, Yenişehir İlçesi 46 Pafta, 214 Ada, 2 Parselde Yer Alan Sinan Paşa Medresesi Taşıyıcı Sisteminin Mevcut Durumu Hakkında Teknik Rapor, T.C. İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlüğü, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü Müdürlüğü, İstanbul, Türkiye, 2016.

[5] KUCUKDOGAN, B., KUBİN, J., ÜNAY, A.İ., 'Seismic Assessement of Monastery of Stoudios (Imrahor Mosque) in İstanbul', Advanced Materials Research, 133-134, 721-726, 2010.

[6] CAN, H., ÜNAY, A.İ., 'Tarihi Yapıların Deprem Davranışını Belirlemek İçin Sayısal Analiz Yöntemleri', Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27(1), 211-217, 2012.

[7] ROCA, P., CERVERA, M., GARIUP, G., PELA, L., 'Structural Analysis of Masonry Historical Constructions Classical and Advanced Approaches', Archives of Computational Methods in Engineering, 17(3), 299-325, 2010.

[8] ÖZMEN, C., AKAN, A.E., ÜNAY, A.İ., 'Analysis of a Historical House', Gradevinar, 63(5), 449-458, 2011.

[9] ÜNAY, A.İ., A Method for the Evaluation of the Ultimate Safety of Historical Masonry Structures, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1997.

[10] SAP2000, Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual, Computer and Structres Inc., Berkeley, California, USA, 2000.

[11] ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara, Türkiye, 2007.