

## TBDY 2018'e GÖRE TARİHİ SİLLE AK CAMİNİN STATİK ANALİZİ

Mehmet KAMANLI<sup>1</sup>, Ejazul Haq JAIHOON<sup>2</sup>, Alptuğ ÜNAL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Konya Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya Türkiye

<sup>2</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya Türkiye

<sup>3</sup>Konya Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya Türkiye

mkamanli@ktun.edu.tr, ejazul.jaihoon@gmail.com, aunal@ktun.edu.tr

### Özet

Kültürün önemli bir parçası olan tarihi binaların deprem gibi doğal afetler ve insanoğlunun yıpratıcı etkilerine karşı korumak ve gelecek nesillere aktarmak çok önemlidir. Bu tür yapıları korumak için tarihi binaların yapısal davranışlarını iyi bilmek gerekir. Tarihi yapıların depreme karşı güvenli olup olmadığını anlamak için yapıların deprem performans analizi yapılmalıdır. Günümüzde sonlu elemanlar yöntemi, tarihi binaların karmaşık geometri sistemlerinin modellenmesinde ve yapısal analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışmaya örnek teşkil edecek tarihi yapı; Türk İslam Sanatı açısından önemli bir yere sahip olan Konya'daki Sille Ak Cami'dir. 1864 yılında inşa edilip 400 metrekarelik alanı ile Sille'nin en büyük camisidir. Tarihi Sille Ak Caminin TBDY 2018'e göre mevcut durumunun statik hesabı yapılmış ardından SAP 2000 programında yapısal analizi yapılmıştır. Bu çalışmada, yapının taşıyıcı sistemin durumu, kullanılan malzemelerin özellikleri, meydana gelen hasarların değerlendirilmesi, mevcut durumunun tespiti yapılarak gelecek nesillere taşınması, gerekli parametrelerin tartışılarak çözüm önerilerinin ortaya konması amaçlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Tarihi Yığıma Yapı, TBDY-2018'e Göre Analizi, Sille Ak Camii

## STATIC ANALYSIS OF HISTORICAL SİLLE AK MOSQUE ACCORDING TO TBDY-2018

### Abstract

It is very important to protect the historical buildings, which are an important part of the culture, against natural disasters such as earthquakes and the destructive effects of human beings and to pass them on to future generations. To protect such structures, it is necessary to know the structural behavior of historical buildings. Earthquake

performance analysis of the structures should be performed to see whether the historical buildings are safe from earthquakes. Today, the finite element method is widely used in the modeling and structural analysis of complex geometry systems of historical buildings. The historical structure that will serve as an example for the study; Sille Ak Mosque in Konya, which has an important place in Turkish Islamic Art. Built in 1864, it is the largest mosque in Sille with an area of 400 square meters. According to TBDY 2018, the structural analysis of SAP 2000 program was performed by manual static calculation according to the current situation of the historical Sille Ak Mosque. In this study, it is aimed that evaluate the condition of the structural system, the properties of the materials used, the evaluation of the damages occurring, the determination of the current state of the structure to transfer the next generations, and the solution of the necessary parameters by discussing

**Keywords:** Historical Masonry Building, Analysis According to TBDY-2018, Sille Ak Mosque

## 1. Giriş

İnsanoğlu tarih boyunca hakimiyetini sürdürdüğü topraklarında şehirler, köprüler, yollar, barajlar, medeniyetlerini geliştirmek için farklı çeşitte yapılar inşa etmiştir. Bu yapılar bir ülkenin çeşitliliğini ve kültür açısından zenginliğini gösteren en önemli parçalarındandır [1]. Bugüne kadar ayakta kalmış çok tarihi yapı o dönemin ait olduğu özelliklerini belirterek geçmişten bugüne ışık tutmaktadır. Dolayısıyla tarihi bir belge niteliğini gösteren binaların korunarak gelecek insanlara aktarılması en önemli görevimizdir [2]. Tarihi binaları sonraki insanlara aktarmak için korumak yeterli gelmemektedir. Özellikle yapısal açıdan tarih boyunca yıpratıcı etkilerine maruz kalan binalarda oluşan bozulmaların onarılması ve sürekli olarak bakımı yapıp farklı afet ve doğa etkenlerine karşı dayanıklı hale getirilmesi lazımdır. Bu uygulamayı yaparken tarihi dokusuna zarar vermeden orijinal hali gibi yapılması gerekmektedir. Tarihi yapıların çoğunluğu ortaya çıkan depremler, savaşlar, yangınlar, zeminden kaynaklı hasarlar ve sel felaketleri yüzünden zarara uğramış hatta yıkılma noktasına bile gelmiş veya yok olmuşlardır. Ayrıca, yapıda kullanılan malzemenin dayanımını yitirmesi, malzeme ve elemanlarında meydana gelen deformasyonlar, düzensiz

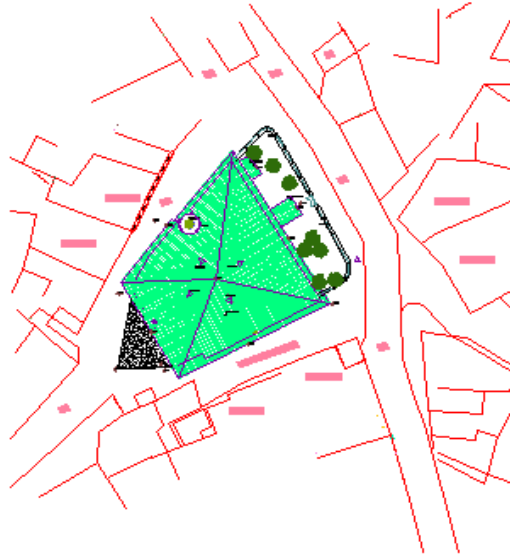
yüklemeler, yanlış restorasyon uygulamaları ve amacına uygun kullanılmamaları sonucunda, yapıların yıkılma noktasına gelmesinin önemli nedenleridir [3].

Tarihi yapıları kendi içinde malzeme yönünden mekanik ve fiziksel faktörler düşünülerek uygun teknik yöntemlerle onarılması ve güçlendirilmesi sahip olduğumuz değerlerimizi daha uzun süre yaşatılmasına katkı sağlayacaktır [4].

## **2. Yapının Genel Tanımı ve Özellikleri**

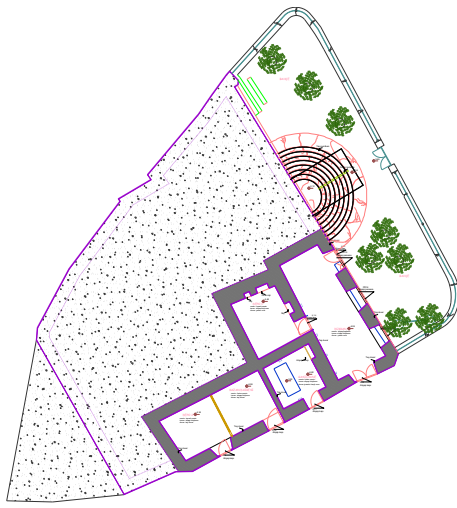
Ak Cami, Sille Ak mahallesindedir. Caminin güney cephesindeki kapı üzerindeki kitabesi bulunmaktadır. Bu kitabeye göre R.1280/M.1864 yılında Bektaşoğlu Mehmet usta ve oğlu Ahmet usta tarafından yapıldığı anlaşılmaktadır. Mimari ve süsleme özelliklerine bakıldığında 19.yy dönem özelliklerini göstermektedir. 400 m<sup>2</sup> alanı olup, avlusu ile 590 m<sup>2</sup>'lik yüz ölçümüne sahiptir. Sille'nin en büyük camisidir. Yamuk planlı cami kuzey güney doğrultusunda ve aynı zamanda doğu batı doğrultusunda eğimli bir arazi üzerine yapılmıştır (Şekil 1). Bu nedenle, cami güney cepheden 2 katlı görünüme sahiptir (Şekil 2 ve Şekil3). Dört tarafı yolla çevrili caminin avlusu doğudadır ve duvarla çevrili vaziyettedir. Üzeri ahşap hatıllara yükseltilmiş düz dam örtülü iken sonradan kiremitli bir çatıyla kapatılmıştır. Örtüyü içeride ahşap sütunlar taşır. Caminin, biri doğuda diğeri kuzeyde olmak üzere iki avlu kapısı vardır [5]. 19. yy geleneksel ahşap direkli camilerin tipik bir örneğidir. Harim yaklaşık olarak yamuk planlıdır. Yapının kuzey cephesindeki yol eğiminden dolayı bu duvarın köşesi pahlıdır. Boyuna düzenlenmiş dikdörtgen planlı cami boyuna düzenlenmiş 12 ahşap direk ile 4 sahnli olarak düzenlenmiş (bazilikal) plan şemasına sahiptir. Harimin giriş bölümü camekânla ayrılmıştır. Harimde mahfil altına yapılan imam odası dışında planda değişme olmamıştır. Son cemaat (yazlık bölüm) mihrabın olduğu seki üstü kısımla giriş önündeki taşlık camekânla bölünmüştür. Caminin bodrum katı dört ayrı mekân olarak tasarlanmıştır. Dükkan ve depo olarak değerlendirilen mekanlar yan yana sıralanmış ve bağımsız mekanlar halinde kullanılmışlardır Yapım malzemesi olarak taş ve ahşap malzemenin birlikte kullanıldığı görülmektedir. Caminin beden duvarları ve bahçe duvarları tamamen moloz taş malzemeyle yığma olarak örülmüştür. Duvarlar örülürken taşların arasında geleneksel Sille derz tekniği uygulanmıştır. Bu teknikte derzler taşların yüzeyinin büyük bir bölümünü kaplayarak derzler arasına malakari eğrisel çizgiler atılmıştır. Caminin minare kaide ve gövdesinde düzgün kesme taş malzeme

kullanılmıştır. Ahşap malzemeler ise hem taşıyıcı hem de süsleme öğesi olarak kullanılmıştır. Ahşap malzeme; üst örtüde çatı ve saçaklarda, caminin içinde kapı ve pencere doğramalarında, caminin içinde taşıyıcı direklerde, tavan kaplamasında, mihrap, kürsü, minber ve mahfilde, iç duvarda sonradan yapılan lambrielerde görülmektedir. İç kısımda direkler profilli yastıklara oturur ve kirişleme sistemi bu kolonlara oturtulmuştur. Kirişler çok düzgün hatlı değildir ve kiriş altı Sille'ye özgü "pardı" denilen, ince ağaç dallarıyla kaplanmıştır. Mihrap ve minberde ağırlıklı olarak ajur tekniğinde yapılmış uygulamalar dikkati çekmektedir. Bitkisel süslemeler maili kesim tekniğinde yapılmıştır. Alt kat pencere sisteminde korkuluklar dövme demirden yapılmıştır. Güney cephedeki depo ve kazan dairelerinin kapıları metalden yapılmıştır [6].

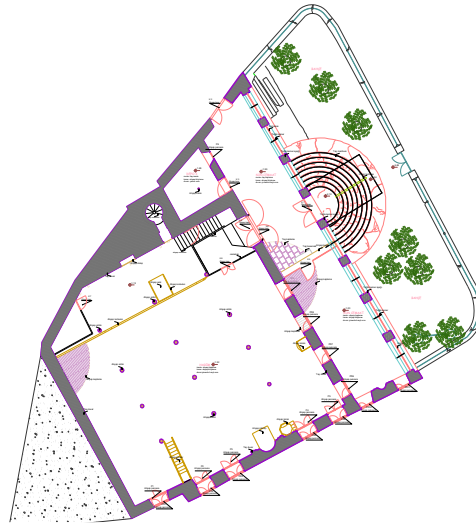


Şekil 1. Ak Camiinin yerleşim planı

Bahçe zemininde, giriş merdivenlerinde ve ön cephede belli bir seviyeye kadar beton kaplama görülür. Yapının iç ve dış duvarlarına çimento harçlı sıva yapılmıştır. Duvarların alt kısmında Sille derz tekniği kullanılarak örülmüş moloz taş duvar dikkati çekmektedir. Çatıda oluklu saç levha kaplaması yapılmıştır. Minare külahı ise kurşun kaplamadır [6].



Şekil 2. Bodrum kat planı



Şekil 3. Harim planı

Cami dört cephelidir. Kuzey cephe; sağır bırakılmıştır. Bu cephe sokağa göre şekillendiği için duvarlar düz bir hat izlemez. Cephenin solunda camiye girişi sağlayan iki kanatlı ahşap kapı mevcuttur. Duvarların alt seviyesi, moloz taş duvar ve yer yer ahşap hatıllar görülebilecek şekilde sıvasız bırakılmıştır. Cephenin ortasında minare kaidesi dikkati çeker. Kaide kesme taştan yapılmıştır. Bu cephenin en belirleyici unsuru minaresidir. Batı cephe; cepheye hareketlilik kazandıran tek önemli unsur pencerelerdir. Dikdörtgen formlu ahşap pencereler sekiz bölümlüdür ve demir parmaklıklıdır. Duvar yerden yaklaşık 130 cm yüksekliğe kadar derzli moloz taş örgülüdür. Güney Cephe; çok sayıda pencere ve kapı ile oldukça hareketli bir cephedir. Sokağa göre şekillenen cephenin batı tarafında duvar 70 cm girinti yapar. Doğu köşesi ise pahlanarak sokağa uyum sağlamıştır. Batı-doğu doğrultusunda eğime sahiptir. Ön Cephe (Doğu); camiye girişin bulunduğu bu cephe avluya bakmaktadır [6] (Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7).



Şekil 4. Caminin doğu cephesi



Şekil 5. Caminin batı cephesi



Şekil 6. Caminin kuzey cephesi



Şekil 7. Caminin güney cephesi

Minare; caminin kuzey duvarına bitişik olarak yapılmıştır. Kaide üzerindeki kitabesinde “HAYIR SAHİBİ MEHMET TUNÇER VE AHALİ MUHTEREME USTASI. ALİ YAPICI 1954” yazmaktadır. Minarenin bu tarihte onarım gördüğü ve yeniden yapıldığı söylenmektedir. Minare 2550 cm yüksekliğinde ve gövdesi 172 cm çapındadır ve tek şerefeli olarak yapılmıştır. Kürsü kesme taş kaplamadır. Minarenin gövdesi ve petek kısmı kesme taştan inşa edilmiştir. Şerefe altında kalınca bir silme gövdeyi çevrelemektedir. Şerefe altı süslemesi firuze renkli sırlı çini bordürle başlamaktadır. Şerefe altı; iç bükey ve dış bükey kavisli enli profiller üzerine, bitkisel motiflerin yapıldığı dört ayrı bordürle süslenmiştir. Motifler Geç döneminin özelliklerini yansıtır şekilde yüksek kabartma olarak yapılmıştır. Motifler kırmızı renge boyanmıştır ve zamanla motiflerde eksilmeler meydana gelmiştir. Şerefe korkulukları taş malzemenen ve ajur tekniğinde yapılmış, geometrik kompozisyonla süslenmiştir. Minarenin petek bölümü iki sıra halinde çini bordürüyle süslenerek son bulur. Minarenin külahı kurşun kaplamadır ve alemi metalden yapılmıştır [6] Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10).



Şekil 8. Minareye giriş



Şekil 9. Minare kaidesi



Şekil 10. Minareden görünüm

Harim on iki adet ahşap direğin meydana getirdiği boyuna düzenlenmiş sahin sistemine sahiptir. Dört 2. Sahını daha yüksek tutulmuştur. 540 cm uzunluğundaki ahşap direkler profilli ahşap yastıklara dayandırılmıştır. Bu yastıklar yan yana geldiğinde ortada Bursa kemerli bir açıklık meydana getirmektedir. Bazı direklerin arası ahşap gergi çubuklarıyla desteklenmiştir. Kirişler çokgene yakın yuvarlak formdadır. Kiriş altı kaplaması ince ağaç dallarıyla (pardı) kaplanmıştır. Sahınları ayıran kalın kirişler caminin ortasında hafif bombe yapacak şekilde düzenlenmiştir. Bunun düz damlı caminin damında yükselti yapma ihtiyacı olduğu sanılmaktadır. Harimin zemini ahşap kaplamadır ve duvarlar çimento harçlı sıva ile sıvanarak boyanmıştır. Harimi; doğu duvarda 4 güney duvarda altta ve üstte beşer, batı duvarda 3 adet pencere aydınlatmaktadır [6] (Şekil 11 ve Şekil 12).



Şekil 11. Caminin hariminden görünüşü



Şekil 12. Son cemaattan görünüm

### 3. Yapının Statik Analizi

#### 3.1. Tarihi yapının analitik statik analizi

Tarihi yapıların analitik statik analizi deprem bölgelerinde yapılacak olan, hem düşey hem yatay yükler için tüm taşıyıcı sistemi doğal veya yapay malzemeli taşıyıcı duvarlar ile oluşturulan yığma binaların genel kurallarına göre kontrolü yapılmalıdır [7]. Düşey gerilme hesabında tarihi yapının zati yükleri hesap edilmiştir. Düşey yönde zati yüklerin tarihi yapının yatay alanına oranıyla düşey gerilme kontrolü yapılmıştır. Kesme gerilme hesabında ise yapının taban kesme kuvveti bulunmuştur. Daha sonra tarihi yapının kütle merkezi ve rijitlik merkezi hesabı yapılmıştır. Taban kesme kuvvetinin oluşturduğu burulma moment değerleri hesap edilmiştir. Kesme kuvveti hesabında duvarlara ekti eden kesme gerilmeleri kontrolleri hesaplanmıştır. Tarihi yapının mevcut

yapısına dokunulmasına izin verilmediği için binanın karot, ultrasonik vb. tekniklerle malzeme özellikleri belirlenememiştir. Bu yüzden genel olarak o zamanda yapılan ve kullanılan malzemelerden yola çıkılarak birim hacim ağırlığı  $2400 \text{ kg/m}^3$  olarak alınmıştır. Duvarların serbest basınç emniyet gerilme değerleri için Tablo 1'den yararlanılmıştır [3].

Tablo 1. Serbest basınç dayanımı bilinmeyen duvarların basınç emniyet gerilmeleri [8].

Duvarda Kullanılan Kargir Birim Cinsi ve Harç	Duvar Basınç Emniyet Gerilmesi fem (MPa )
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35'den az, çimento takviyeli kireç harcı ile)	1.0
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35-45 arasında, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.8
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %45'den fazla, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.5
Dolu blok tuğla veya harman tuğlası (çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.8
<b>Taş duvar (çimento takviyeli kireç harcı ile)</b>	<b>0.3</b>
Gaz beton (tutkal ile)	0.6
Dolu beton briket (çimento harcı ile)	0.8

11.4.2 – Narinliğe bağlı  $\lambda$  kapasite azaltma katsayısı, narinlik (hk/t) oranının 6 ile 10 arasında olması durumunda 0.9 ve 10 ile 15 olması durumunda 0.75 alınacaktır. Yığma duvar için dayanım azaltma katsayısı  $\lambda_m$  11.2.11'e göre belirlenecektir (TBDY-2018). 11.2.11 – Duvarların tasarım dayanımları belirlenirken yığma malzemede  $\lambda_m$  ve donatıda  $\lambda_s$  malzeme katsayıları (dayanım azaltma katsayıları) kullanılacaktır.  $\lambda_s$  katsayısı 1.15 kabul edilecek, yığma malzeme katsayısı  $\lambda_m$  ise gazbeton malzemede 1.75, diğer malzemelerde 2.0 olarak kullanılacaktır [9]. Yapıda gazbeton kullanılmadığı için bu değer 2.0 olarak alınmıştır. Dolayısıyla duvarın basınç emniyet gerilmesi 0,6 MPa olarak belirlenecektir. Değerlendirmeler için kullanılacak basınç emniyet gerilmeleri tarihi yapının genel özelliklerinin bilgi düzeyine göre katsayı ile çarpılarak gerekli düzeltmeler yapılır. TBDY 2018'de belirtildiği üzere binalar için bilgi düzeyi katsayısı Tablo 2'den, duvarlar için çatlama emniyet gerilmesi Tablo 3'den alınmıştır. Ayrıca düşey emniyet gerilmesi Denklem 1, Kayma emniyet gerilmesi Denklem 2 ve Elastisite Modülü Denklem 3'ten hesaplanmıştır.



Tablo 2. Binalar için bilgi düzeyi katsayısı [9].

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
<b>Kapsamlı</b>	<b>1.00</b>

Tablo 3. Duvarların çatlama emniyet gerilmesi  $\tau_o$  [8].

Duvarda Kullanılan Kargir Birim Cinsi ve Harç	Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi $\tau_o$ (MPa)
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35'den az, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.25
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35- 45 arasında, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.12
Dolu blok tuğla veya harman tuğlası (çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.15
<b>Taş duvar (çimento takviyeli kireç harcı ile)</b>	<b>0.10</b>
Gaz beton (tutkal ile)	0.15
Dolu beton briket (çimento harcı ile)	0.20

$$\text{Düşey emniyet gerilmesi ; } \sigma = \frac{W}{A_w} \quad (1)$$

$$\text{Kayma emniyet gerilmesi ; } \tau_{em} = \tau_o + \mu\sigma \quad (2)$$

$$\text{Elastisite modülü ; } E_d = 200 \times f_d \text{ şeklinde hesaplanır.} \quad (3)$$

Düşey gerilme hesabında bodrum kat duvar detayları Tablo 4'te ve normal kat duvar detayları Tablo 5'te gösterilmiştir. Tarihi yığma yapıda her bir duvar kendi doğrultuda duvar kalınlıkları farklılık göstermektedir [10].

Tablo 4. Bodrum kat düşey gerilme hesap tablosu [11].

Duvar No	Uzunluk L (m)	Kalınlık t(m)	Yükseklik h (m)	Hacim (m <sup>3</sup> )	BHA (t/m <sup>3</sup> )	Ağırlık k (t)	A <sub>w</sub> (m <sup>2</sup> )
1	18,38	0,85	9,59	149,82	2,4	359,58	15,62
2	14,11	0,835	3,39	39,94	2,4	95,86	11,78
3	4,50	1,29	3,39	19,68	2,4	47,23	5,81
4	4,88	0,9	3,39	14,89	2,4	35,73	4,39
5	3,48	0,9	3,39	10,62	2,4	25,48	3,13
6	3,30	0,4	3,39	4,47	2,4	10,74	1,32

7	3,37	0,895	9,59	28,92	2,4	69,42	3,02
8	10,77	0,9	3,39	32,86	2,4	78,86	9,69
9	4,49	0,9	3,39	22,85	2,4	54,84	4,04
10	4,15	0,82	9,59	32,63	2,4	78,32	3,4
<b>Toplam</b>						<b>856,06</b>	<b>62,20</b>

Tablo 5. Normal kat düşey gerilme hesap tablosu [11].

Duvar NO	Uzunluk L (m)	Kalınlık t (m)	Yükseklik h (m)	Hacim (m3)	BHA (t/m3)	Ağırlık (t)	A <sub>w</sub> (m <sup>2</sup> )
1	5,02	0,74	6,2	23,03	2,4	55,27	3,71
2	5,21	0,77	6,2	24,87	2,4	59,69	4,01
3	4,90	0,61	6,2	18,53	2,4	44,48	2,99
4	6,21	1,30	6,2	50,05	2,4	120,13	8,07
5	2,79	1,06	6,2	18,33	2,4	44	2,96
6	4,43	0,61	6,2	16,75	2,4	40,21	2,70
7	4,20	0,77	6,2	20,05	2,4	48,12	3,23
8	5,20	0,61	6,2	19,67	2,4	47,2	3,17
9	13,03	0,9	6,2	72,71	2,4	174,5	11,73
10	3,22	0,61	6,2	12,17	2,4	29,22	1,96
11	3,22	0,9	6,2	17,96	2,4	43,12	2,90
12	9,82	0,9	6,2	54,80	2,4	131,51	8,84
13	3,79	0,74	6,2	17,39	2,4	41,73	2,80
<b>Toplam</b>						<b>879,18</b>	<b>70,13</b>

Düşey gerilme hesap kontrolü yapılırken duvar ağırlıkları, minare ağırlığı ve bina kar yükü hesaplanarak düşey gerilme hesabı yapılmıştır. Binaya etki eden yükler hesaplanıp duvarların yüzey alanlarının toplamı bulunup gerilme hesabı yapılmıştır [11].

### 3.1.1. Düşey Gerilme Hesabı

Bodrum kat;

Duvar Ağırlığı: 856,06 ton

Döşeme Ağırlığı: 9,75 ton

Toplam Ağırlık ( W ) = 865,81 ton

$$A_w = \varepsilon_L \times t$$

$$\sigma = \frac{W}{A_w} = \frac{865,81}{62,20} = 13,92 \text{ t/m}^2 < 60 \text{ t/m}^2 \text{ düşey gerilme hesabı sağlamaktadır.}$$

Normal kat;

Minare Ağırlığı: 58,76 ton

Duvar Ağırlığı: 879,18 ton

Kar Yüğü: 0,925 x 0,1155 x 400 = 42,735 ton

Toplam Ağırlık ( W ) = 991,29 ton

$$A_w = \varepsilon_L \times t$$

$$\sigma = \frac{W}{A_w} = \frac{991,29}{70,13} = 14,13 \text{ t/m}^2 < 60 \text{ t/m}^2 \text{ düşey gerilme hesabı sağlamaktadır.}$$

Kesme gerilmelerinin hesaplanması ve kontrolü için Taban kesme kuvveti (Denklem 4) eşdeğer deprem yükü yöntemiyle bulunmuştur. Bu yöntem, binanın toplam ağırlığı ve yatay deprem etkisi altında azaltılmış tasarım ivme spektrumuna bağlı olarak hesaplanacaktır [12].

$$Vt = m SaR = m \times 0.185g = 0.185 W \quad (4)$$

Değerlendirmede kullanılacak kayma gerilmesi bilgi düzey katsayısı ile düzeltme yapılarak kayma emniyet gerilmesinin maksimum değeri hesaplanmıştır [11].

$$\tau_{em} = \tau_0 + \mu \times \sigma$$

$$\tau_{em} = 0,10 + 0,5 \times 0,1413 = 0,171 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{em,d} = 0,171 \times 1 = 0,171 \text{ Mpa}$$

Tarihi binanın kütle merkezi ve rijitlik merkezi hesabı yapılmıştır. Daha sonra binanın atalet moment değerleri hesaplanmıştır. Bina her iki doğrultuda da tam simetrik olmadığından kütle merkezi ile rijitlik merkezi farklı çıkmıştır. Bina genel anlamda yamuk şeklinde olduğundan dolayı bu hesaplanan merkezler arası mesafe yüksek değerlerdir. Bu nedenle oluşan burulma binayı belli bir oranda burulma etkisi yapmaktadır [10].

### 3.1.2. Kesme Gerilme Hesabı

$$V_{xi,yi} = \left( \frac{k_{xi,y}}{\sum k_{xi,yi}} V_{b \ xi,yi} \right) - \left( \frac{M_{x,y}}{J} \right) k_{xi,yi} (x, y_i - x, y_{cg}) \quad (5)$$

$$\tau_i = \frac{V_i}{A_i} \quad (6)$$

Bu denklemlerle (Denklem 5 ve Denklem 6) binanın kesme kuvveti ve kesme gerilmeleri hesaplanmıştır. Bodrum kat için Tablo 7, Tablo 8, Tablo 9 ve Tablo 10 ve normal kat için Tablo 11, Tablo 12, Tablo 13 ve Tablo 14’te gösterilmiştir [11].

Tablo 7. Kesme kuvveti ve gerilmeleri

X Yönü		
Duvar No	Vx.i	$\tau_i$ (Mpa)
1	65.06987728	0.083530009 ✓
2	32.81785115	0.083294038 ✓
3	40.17357641	0.083347669 ✓
4	69.49681542	0.086331448 ✓
5	33.09159359	0.086401028 ✓
6	62.78716685	0.090082018 ✓
7	40.11203886	0.090139413 ✓

Tablo 8. Kesme kuvveti ve gerilmeleri

X Yönü		
Duvar No	Vx.i	$\tau_i$ (Mpa)
1	-65.06987728	-0.083530009 ✓
2	-32.81785115	-0.083294038 ✓
3	-40.17357641	-0.083347669 ✓
4	-69.49681542	-0.086331448 ✓
5	-33.09159359	-0.086401028 ✓
6	-62.78716685	-0.090082018 ✓
7	-40.11203886	-0.090139413 ✓

Tablo 9. Kesme kuvveti ve gerilmeleri

Y Yönü		
Duvar No	Vy.i	$\tau_i$ (Mpa)
1	29.4307977	0.094028108 ✓
2	16.85687469	0.127703596 ✓
3	51.23896856	0.143526523 ✓
4	140.1068576	0.163104607 ✓
5	51.65786222	0.127865996 ✓
6	54.31143071	0.145217729 ✓

Tablo 10. Kesme kuvveti ve gerilmeleri

Y Yönü		
Duvar No	Vy.i	$\tau_i$ (Mpa)
1	-29.4307977	-0.094028108 ✓
2	-16.85687469	-0.127703596 ✓
3	-51.23896856	-0.143526523 ✓
4	-140.1068576	-0.163104607 ✓
5	-51.65786222	-0.127865996 ✓
6	-54.31143071	-0.145217729 ✓

Tablo 11. Kesme kuvveti ve gerilmeleri

X Yönü		
Duvar No	Vx.i	$\tau_i$ (Mpa)
1	29.69833618	0.080049424 ✓
2	84.23089717	0.079538147 ✓
3	30.04727911	0.079701006 ✓
4	25.31485612	0.084665071 ✓
5	69.20720004	0.085758612 ✓
6	25.85437811	0.087345872 ✓
7	21.77877987	0.080662148 ✓
8	25.61407399	0.079300539 ✓
9	25.12149565	0.07924762 ✓

Tablo 12. Kesme kuvveti ve gerilmeleri

X Yönü		
Duvar No	Vx.i	$\tau_i$ (Mpa)
1	-29.69833618	-0.080049424 ✓
2	-84.23089717	-0.079538147 ✓
3	-30.04727911	-0.079701006 ✓
4	-25.31485612	-0.084665071 ✓
5	-69.20720004	-0.085758612 ✓
6	-25.85437811	-0.087345872 ✓
7	-21.77877987	-0.080662148 ✓
8	-25.61407399	-0.079300539 ✓
9	-25.12149565	-0.07924762 ✓

Tablo 13. Kesme kuvveti ve gerilmeleri

Tablo 14. Kesme kuvveti ve gerilmeleri

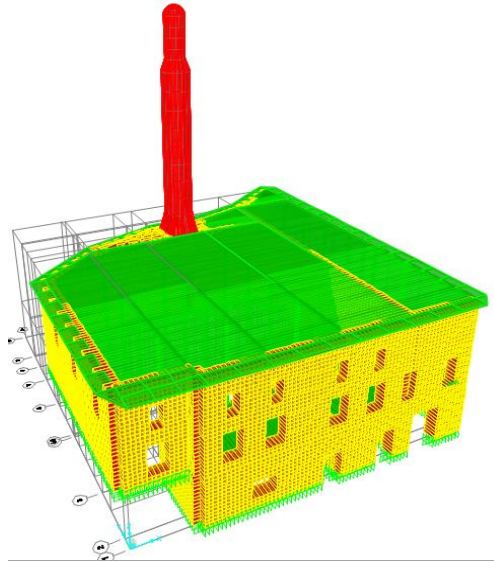
Y Yönü			Y Yönü		
Duvar No	V <sub>y,i</sub>	σ <sub>i</sub> (Mpa)	Duvar No	V <sub>y,i</sub>	σ <sub>i</sub> (Mpa)
1	92.53424448	0.120801886 ✓	1	-92.53424448	-0.120801886 ✓
2	30.7600413	0.130893793 ✓	2	-30.7600413	-0.130893793 ✓
3	31.24240756	0.132946415 ✓	3	-31.24240756	-0.132946415 ✓
4	161.7830285	0.138276093 ✓	4	-161.7830285	-0.138276093 ✓
5	27.24766797	0.138313035 ✓	5	-27.24766797	-0.138313035 ✓

Tüm bulunan gerilme değerleri emniyet gerilme değerinin çok altında hesaplanmıştır [11].

$$\tau_{em,d} = 0,171 \times 1 = 0,171 \text{ Mpa}$$

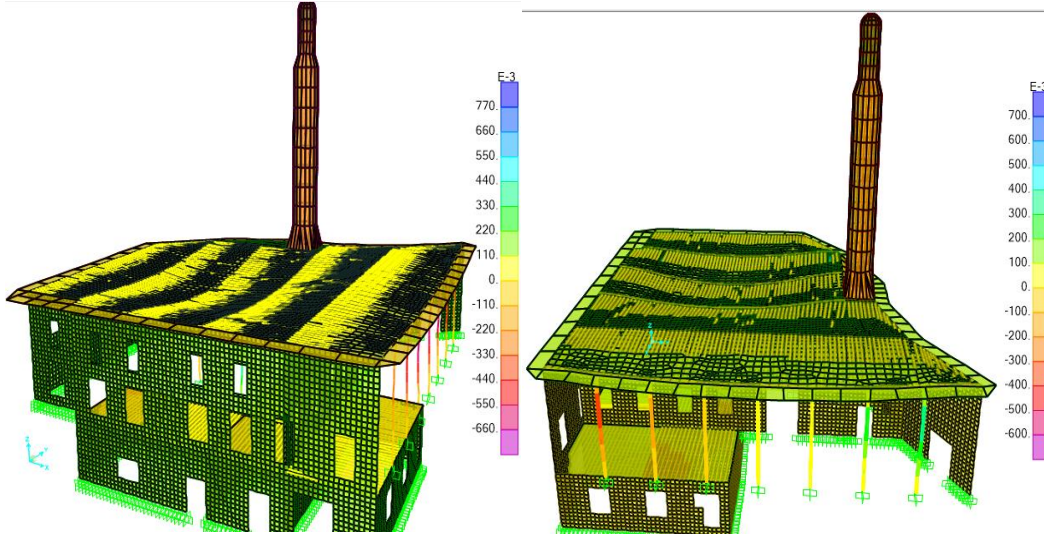
### 3.2. Yapının sap 2000 ile TBDY-2018' e göre statik analizi

Tarihi Ak camii SAP2000 programı ile V20.2.0 sürümünde yapının mevcut durumu sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiştir. Modelleme oluşturulurken 19246 nokta, 18088 kabuk (Shell) elemanı, 1136 kesit (Frame) olarak boyutlandırılmıştır. Minare ve duvarlar kabuk elemanı olarak, ahşap döşemesi kesit olarak modellenmiştir. Toplamda 12 farklı mod da çözümlenmiştir Tarihi ak caminin üç boyutlu modeli şekil 13.'de gösterilmiştir [11,13].



Şekil 13. Yapının modeli

Modal analizde yapının maksimum x ve y doğrultusundaki yer değiştirmeleri Şekil 14. ve Şekil 15.' de gösterilmiştir. Gösterilen değerler (cm x 10<sup>-3</sup>) cinsindedir [11,13].

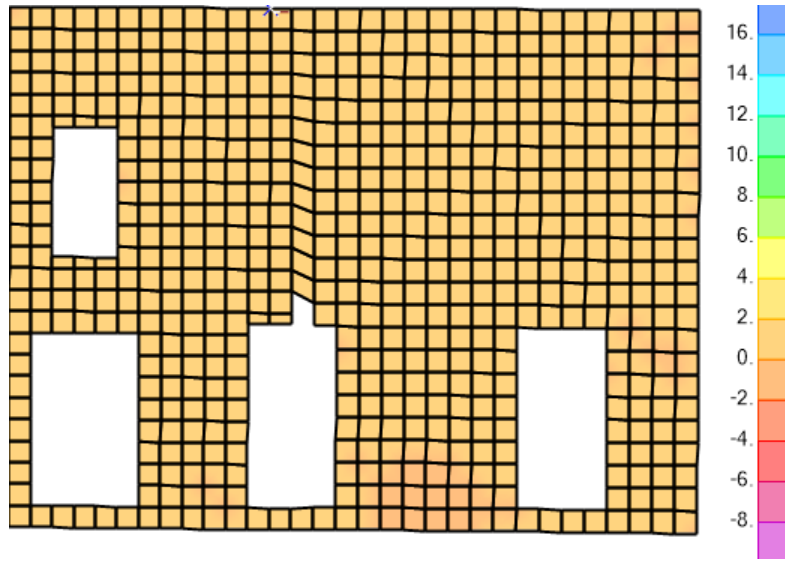


Şekil 14. X yönündeki maksimum yer değiştirme Şekil 15. Y yönündeki maksimum yer değiştirme

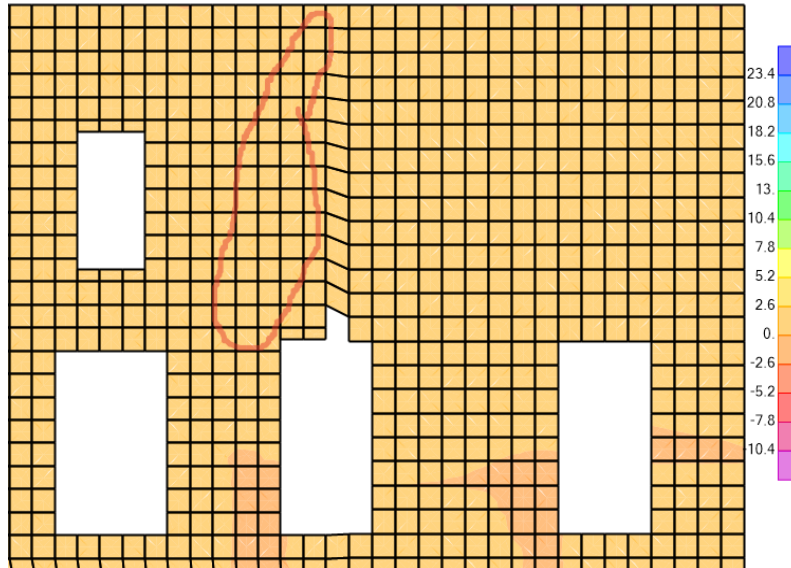
Yapının 12 farklı mod da çözümünden en yüksek periyot değeri 0,37612 ve frekans değeri 2,6587 değeri elde edilmiştir. Yapının güney cephesindeki duvarında, pencere boşluğunun üstünde Şekil 16’da görüldüğü gibi düşey bir çatlak gözlenir. Bu duvarın S11 maksimum kayma gerilmesi ve S22 maksimum eksenel gerilmesi Şekil 17. ve Şekil 18.’ de verilmiştir [11,13].



Şekil 16. Güney cephesindeki duvarda mevcut oluşan çatlak



Şekil 17. Güney cephesindeki S11 gerilme yığılımları (N/mm<sup>2</sup>)



Şekil 18. Güney cephesindeki S22 gerilme yığılımları (N/mm<sup>2</sup>)

Sille Ak Cami duvar malzemesi olarak taş duvar kullanılmıştır. Çalışmada duvar birimleri üzerinde deney yapılmadığı için malzemenin basınç dayanımı belirlenememiştir. Bu nedenle, yönetmelikte taş duvar için verilen basınç emniyet gerilmesi (0,6 Mpa) değeri kullanılmıştır. Bodrum katın doğu ve batı duvarında oluşan maksimum aksenal gerilmesi, yönetmelikte verilen değeri (0,6 MPa) aşmadığı için güvenli, güney duvarları ise, güvensizdir Normal katın duvarlarında oluşan maksimum aksenal gerilmeler; tüm duvarlarda güvensizdir. Duvarlarda meydana gelen bu gerilmeler, genelde pencere boşluğunun üst kısmın, duvarların birleşim yeri ve duvarların döşeme ile birleştiği yerlerdedir [11].

Bodrum ve normal kat duvarlarında oluşan maksimum kayma gerilmeler TBDY-2018’de belirtilen formüle hesaplanan maksimum kayma gerilmesi (0,171 MPa) değerini aştığından tüm duvarlar güvensizdir. Duvarlarda meydana gelen bu gerilmeler, genelde pencere boşluğunun üst kısmı, duvarların birleşim yeri ve duvarların döşeme ile birleştiği yerlerdedir [11].

### **3. Sonuçlar**

Tarihi yapılar, kullanım amaçları, taşıyıcı sistemi ve kullanılan malzemeleri bakımından medeniyetlerin en popüler taşınmazları ve güç simgeleridir. Taşıyıcı sistem ve malzemelerin seçiminde özen gösterildiğinden, birçoğu şimdi ayakta ve kullanıma açıktır. Ancak, çeşitli faktörler bu eserlerin yıkılmasına ve yok olmasına neden olmaktadır. Bu faktörlerin belirlenmesi ve ortadan kaldırılması zamanında ve doğru bir teknik müdahale ile mümkündür. Bu amaçla, tarihi yapıların taşıyıcı elemanlarının özellikleri bilinmeli, yapı hasarları belirgin bir şekilde tespit edilmeli, koruma bilinciyle yaklaşılarak bakım ve onarımı yapılmalı, hasarları ortadan kaldırmak için çalışılmalı, gerekli durumlarda uygun teknik seçilerek güçlendirilmeli ve kültürel miras niteliğindeki bu yapılar gelecek nesillere aktarılmalıdır.

Bu çalışma kapsamında, yığma yapıım tekniğini ile inşa edilen Tarihi Sille Ak Camii binasının statik analizi yapılarak performans analizi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, binanın statik durumunda en çok zorlanan kısımlarının kapı ve pencere boşluklarının kenarları, duvarların birleşim bölgesi ve duvarların döşeme ile birleştiği yerler olduğu tespit edilmiştir.

Sille Ak Camii’nin üzerinde yapılan statik analizde, yapı duvarlarında oluşan basınç gerilmeleri, duvar malzemesi için verilen basınç emniyet gerilmesini aşmadığı için basınç gerilmesi yönünden güvenlidir. Bunun yanında, duvarlar kayma gerilmesi yönünden de güvenli çıkmıştır.

Tarihi Ak Camisinin mevcut yapı durumu sap 2000 programı ile modellenip yapının TBDY-2018 ve TDY-2007’ ye göre statik analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde, duvarların döşemeyle birleştiği yerlerde basınç ve kayma gerilmelerine karşı dayanımında sorun bulunmaktadır. Bunun dışında, duvarların diğer kalan bölgelerde basınç ve kesme gerilmesine karşı herhangi bir sorun yoktur. Yapının sonlu elemanlar modelinde çıkan yüksek gerilmelere rağmen, minaresinde, beden



duvarlarında, birleşim bölgelerinde ve pencere, kapı boşluklarında büyük ve riskli çatlaklara rastlanmamıştır. Bu durum, yapının hala stabilitesini koruduğu yönünde yorumlanabilir. Yığma yapılardaki genel sorunlar zemin oturmaları ve kullanılan malzemenin gevrek olmasıdır. Ak Camisinde görülen çatlağın, binanın temelindeki oturmadan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Yapının güney cephesindeki duvarında, pencere boşluğunun üstünde düşey bir çatlak gözlenir. Yapının eğimli bir zeminin üzerinde inşa edildiğinden, yapı altındaki zeminin yanlara doğru kaçması sonucu, yapının kenar bölgesinin üst kısmında oturmasından dolayı düşey yönlü çekme çatlağı meydana gelmiştir. Çatlağın oluştuğu yerde maksimum aksenal gerilmesi 0,2 MPa'dır. Bu yüzden, binanın temeli ile ilgili önlem alınmasının uygun olacağı düşünülmektedir [11].

### **Not**

Bu çalışma, Prof. Dr. Mehmet Kamanlı danışmanlığında, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü yüksek lisans öğrencisi Ejazul Haq Jaihoon'un tezinden faydalanarak türetilmiştir.

### **Kaynaklar**

- [1] Mahberel, H. A., 2006, Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.
- [2] Gedik, Y. H., 2008, Analysis, Repair And Strengthening Of Historical Masonry Structures; Case Study: Mehmet Aga Mosque, Master Thesis, *İstanbul Technical University Institute Of Science And Technology*, İstanbul.
- [3] Aşık, F. M., 2018, 'Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar İçin Onarım ve Güçlendirme Teknikleri, Zenburi Mescidi'nin Model Analizi', Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya.
- [4] Kara, H. G., 2009, Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisan Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.
- [5] Sarıköse, B., 2008, 'Osmanlı Döneminde Sille', Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Konya.

- [6] Konya Büyükşehir Belediyesi, 2010, Konya İl Merkezi Taşınmaz Kültürve Tabiat Varlıkları Envanteri, Konya.
- [7] Şişik, Ö., 2017, Edirne’de Bulunan 15.yy ve 16.yy’da İnşaa Edilmiş Tarihi Cami ve Türbelerin Taşıyıcı Sistem Analizi ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- [8] DBYBHY 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.
- [9] TBDY 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.
- [10] Kamanlı, M., 2017, ‘Kare Planlı 13 Yy. Anadolu Selçuklu Yapısı Konya Zenburi Mescidinin Statik Analizi’ Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, 2-4 Kasım, Trabzon.
- [11] Jaihoon, E. H., 2019, ‘TBDY 2018’ e Göre Tarihi Yiğma Yapıların Analizi ve Bir Örnek Sille Ak Camii’ Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya.
- [12] <https://tdth.afad.gov.tr/>
- [13] Sap 2000, 2019, V20.2.0 Integrated structural analysis and design software, Computer and Structures Inc., Berkeley, California.
- [14] TS498 1997, Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.