

550 Yıllık Bir Tarihi Camiinin Su Taşkını ve Deprem Risklerine Karşı Korunması

Suat Yıldırım¹, Ali Mahdavi¹, Alper İlki³, Barış Erkuş², Yüksel İ. Tonguç¹

¹*İnşaat Yük. Müh., PROMER Müş. Müh. AŞ.*

²*Dr. Öğr. Üyesi, İnşaat Müh. bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi*

³*Prof. Dr., İnşaat Müh. Bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi*

Email: syildirim@promerengineering.com.tr

Özet:

Bu bildiri Edirne’de Tunca Nehri kenarında bulunan ve 1478 yılında inşa edilmiş olan Merkez Evliya Kasımpaşa Camii yapısının su taşkını ve deprem risklerine yönelik olarak yapılan güçlendirme çalışmaları özetlenmiştir. Merkez Evliya Kasımpaşa Camii 60 yıldır kullanıma kapalıdır. Bunun sebebi Meriç ve Tunca nehrinde her yıl bir veya birkaç defa oluşan su taşkınları neticesinde caminin kısmen su altında kalıyor olmasıdır. Tarihi yapının kurtarılabilmesi için alternatif yöntemler değerlendirilmiş, yapının başka bir konuma taşınması, yalı camii özelliğini bozacağı için yerinde bütüncül olarak yükseltilmesi fikri benimsenmiştir. Deprem riskine karşı ise yükseltme yaklaşımı ile uyumlu olan deprem yalıtım teknolojisi kullanılmasına karar verilmiştir. Dünyada önemli bazı yapılara uygulanmış olan bütüncül yükseltme için ön tasarım neticesi hazırlanan mimari rölöve, restitüsyon ve restorasyon projelerinin Edirne Kültür Varlıklarını Koruma Kurulu tarafından onaylanmasını müteakiben harç ve tuğla malzemelerinden alınan örnekler üzerinde tek eksenli basınç deneyleri yapılmış, yerinde iç ve dış duvarlar üzerinde yapılan deneyler ile derzli duvarın elastisite modülü elde edilmiştir. Ayrıca zemin etütlerine ek olarak yer altı radar (GPR) araştırması yapılmış ve zemin altı hakkında bilgi edinmeye çalışılmıştır. Yükseltme projesinde temel prensip olarak yapının altında oluşturulacak kazıklı radye üzerinde yapıya bağlanacak ikinci bir radye oluşturulması öngörülmüştür. Kazıklı radye ile ikinci radye arasına yerleştirilecek hidrolik pistonlar ile yapının kazıklı radye üzerinde yükseltilmesi ve yapının taban yalıtımlı temel sistemi üzerine oturtulması planlanmıştır. Yapının sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş, mevcut durum ve güçlendirme sonrası durumlar için performans analizleri yapılmıştır. Yapılmış olan müdahale ile mevcut durumda yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapının kabul edilebilir bir güvenliğe ulaşması sağlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Tarihi yapı yükseltme, tarihi yapı güçlendirme, tarihi yapı, deprem yalıtımı

Giriş

Yaklaşık 550 yıllık taş duvar özellikli Kasımpaşa Camii 1960’lardan itibaren Meriç ve Tunca nehir taşkınları neticesi her yıl bir veya birden fazla defa kısmen su altında kalmaktadır (Şekil 1 ve 2). Bu nedenle, camii, bu yıllardan itibaren kullanılamaz duruma gelmiştir. Edirne Şehri yapılan 5-6 m yüksekliğinde set ile kısmen taşkınlardan korunmuştur. Ancak Yalı camii özelliği ile Tunca nehri kenarında olan Kasımpaşa Camii’nin sular altında kalmasına engel olunamamıştır. Yapının yerinden taşınması da Dünya’da ender görülen yalı camii özelliğini yitirmesine sebep olacağından dolayı tercih edilmemiştir. Gelişen teknoloji ve uygulama örnekleri ile tarihi yapının yerinde bütüncül olarak 3.5 m yükseltilmesi fikrine dayanan mimari proje Edirne Kültür Varlıklarını Koruma Kurulu tarafından 2018 yılında onaylanmıştır. Onaylı mimari projeye uygun olarak detaylı statik ve dinamik analizler yapılarak yükseltme projesi hazırlanmıştır.



Şekil 1. Kasımpaşa camii-tunca nehri-taşkın seddesi



Şekil 2. Tunca nehri taşkını (Aralık 2018)

Yapılan analizlerde üst yapıya minimum mühadale prensibine uyulmuştur. Mimari restorasyon ve statik güçlendirme tasarımında;

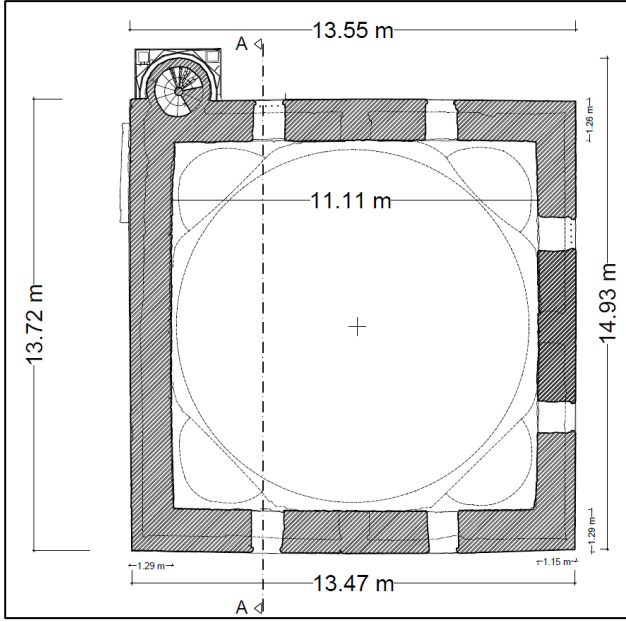
- Mevcut yapının taş, tuğla ve derz malzeme özelliklerini tespit amaçlı yerinde ve alınan numuneler üzerinde fiziksel ve kimyasal deneyler yapılmıştır.
- Mevcut yapı altında muhtemel oluşumların ve temel altı durumun tespiti amaçlı GPR yeraltı radarı araştırmaları yapılmıştır.
- Zaman ile çürümüş ahşap hatıllar yerine çelik hatıllar tasarlanmış, zarar görmüş ve hasarlı taşlar yenilenmiş; boşalmış derzler yenilenmiştir.
- Bir bölümü yıkılmış minarenin bir seviyeye kadar sökülerek yeniden aslına uygun kendi taşları ile tamamlanması öngörülmüştür.
- Zemin profilinde 5-6 m kadar zayıf zemin olmasına karşın bunun altında sağlam marn tabakası olduğu tespit edilmiştir. Bu sebep ile marn tabakasına ulaşacak kazık sistemi ile yapının yeni oluşturulacak kazıklı radye üzerine alınması ve üstte oluşturulacak ikinci bir radye ve hidrolik sistem yardımı ile 350 cm. yükseltilmesi öngörülmüştür.
- Yükseltilmiş yapıda oluşturulmuş olan iki betonarme radye temel arasında oluşan hacimde çelik bir taşıyıcı sistem tasarlanmıştır. Çelik taşıyıcı sistemin üst seviyesinde üst yapıda deprem etkilerini azaltacak bir taban yalıtım sistemi tasarlanmıştır.

Yapı Genel Bilgileri

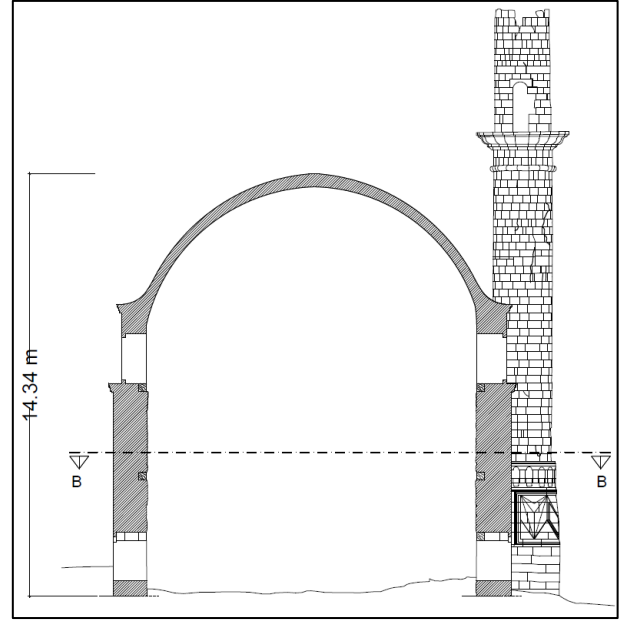
Yapı Genel Bilgileri Tablo 1’de özetlenmiştir. Genel plan ve kesit Şekil 3 ve Şekil 4’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kasımpaşa camii yapı genel bilgileri

İl / İlçe	Edime / Merkez
Yapı Adı	Evliya Kasımpaşa Camii
Yapım Yılı	1478
Kullanım Şekli	İbadethane
GPS Bilgileri	41°39'51.3612"K 26°33'37.1304"D
Yapı Cinsi	Taş Duvar, Tuğla Kubbe
Kar Yüğü	0,75 kN/m ²



Şekil 3. Camii plan görünüşü (B-B)



Şekil 4. Camii kesit (A-A)

Malzeme Testleri

Taşıyıcı duvarlar için izin verilen karakteristik gerilmelerinin (basınç, çatlama) tespiti için gerekli duvar dayanım deneyleri FSM Vakıf Üniversitesi KURAM (Vakıf Kültür Varlıklarını Koruma, Uygulama, ve Araştırma Merkezi) Restorasyon ve Konservasyon Laboratuvarı tarafınca yapılmıştır.

Taş duvarlar için 2 adet Yassı Kriko (Flat-Jack) test sonucunun (Şekil 5) ortalamasına göre elastisite modülü $E_{duv(ort)}=3300$ MPa olarak belirlenmiştir. TBDY-2018 Madde 11.2.13'e göre basınç dayanımı $f_k = E_{duv}/750 = 3300/750 = 4.4$ MPa olarak tespit edilmiştir. Ancak duvarın katmanlı olması sebebi ile (TBDY-2018 Madde 11.2.8 e göre) $f_k = 0.8 \times 4.4 = 3.5$ MPa olacak şekilde azaltılmıştır.

Tarihi Yapılar Kılavuzu Tablo 6.1'e göre ise bu tür duvarlar için $f_m = 2.0$ MPa ($f_m =$ basınç dayanımı) değerini önermektedir. Sonuç olarak taş duvar için basınç dayanımı 2.0 MPa olarak kabul edilmiştir. Buradan hareket ile $E_{duv} = 2.0 \times 750 = 1500$ MPa olarak kabul edilmiştir.

Tuğla malzeme için nokta yükleme deneylerinden tuğla ortalama basınç dayanımı $f_b = 7.79$ MPa ($f_b =$ kargir birim basınç dayanımı), ortalama-standart sapma = $7.79 - 0.72 = 7.07$ MPa olarak tespit edilmiştir. Tuğla arası harç için nokta yükleme deneyinden ortalama basınç dayanımı $f_b = 1.65$ MPa, ortalama-standart sapma = $1.65 - 0.33 = 1.32$ MPa olarak tespit edilmiştir. TBDY-2018 Tablo 11.2'ye göre kargir tuğla duvar için basınç dayanımı yaklaşık olarak 2.0MPa olarak verilmektedir. Buradan hareket ile tuğla ve harçtan oluşan elemanlar için $E_{duv} = 2.0 \times 750 = 1500$ MPa olarak kabul edilmiştir. Testler ve ilgili dökümanlarda verilen değerler dikkate alınarak, analizlerde kullanılmış olan yığma mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Taş duvar ve tuğla duvar için kabul edilen dayanım değerleri

Duvar Türü	Karakteristik Basınç Dayanımı f_k (MPa)	Elastik Modülü E (MPa)	Karakteristik kesme Dayanımı f_{vk} (MPa)	Kayma Modülü $G = 0.4E$ (MPa)
Taş	2.0	2625	0.16 - 0.2	600
Tuğla	2.0	1500	0.2	600



Şekil 5. Yassı kriko (Flat-Jack) test çalışmaları (FSM, KURAM)

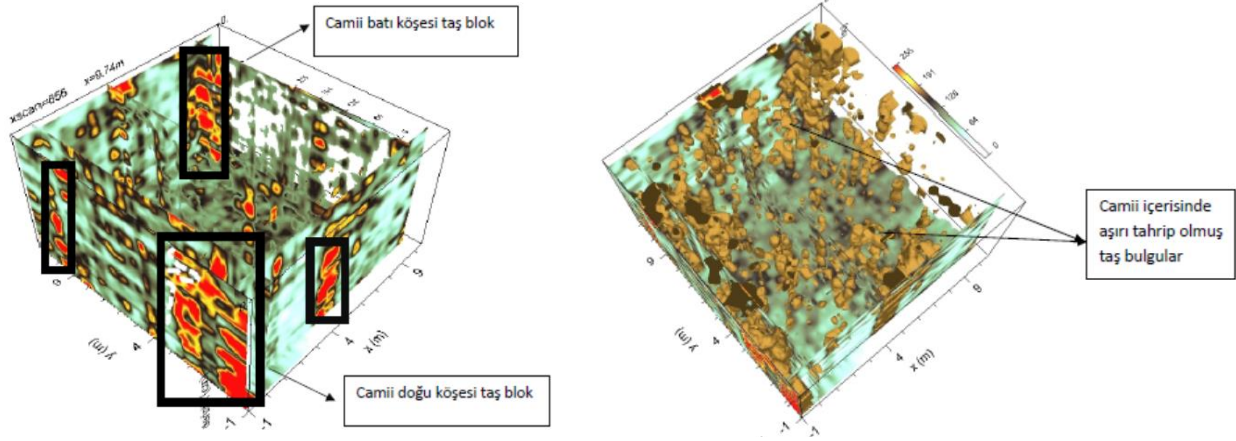
Yeraltı Radar Çalışmaları (GPR)

Muhtemel yer altı oluşumları ve temel altı durumun tespiti için 60-70 cm aralıklı toplam 104 kesitten oluşan GPR incelemesi yapılmıştır (Şekil 6).

GPR çalışma değerlendirmesinde cami altında 5.5-6.0 m'lik zayıf zemin bölgesinde halihazırda dağınık ve bozulmuş olsa da zemin iyileştirme amaçlı taş dolgular tespit edilmiştir (Şekil 7). Camii'nin zayıf zemin üzerinde ve su altında yaklaşık 550 yıldır ciddi bir zemin hasarı olmadan kalabilmesinin GPR incelemesinde görülen taş dolgu ile ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir. Taş dolgu özellikle duvar altları ve köşelerde yoğunlaşmıştır. Orta bölümlerde dağınık ve seyrek bir görüntü vermektedir.



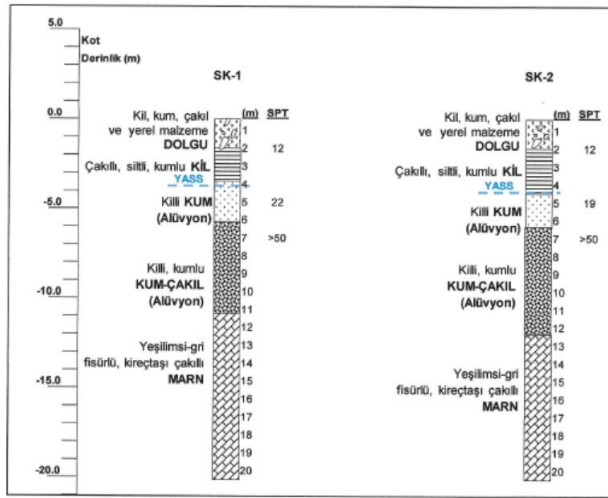
Şekil 6. Yeraltı radar (GPR) ve tarama çalışmaları



Şekil 7. Camii altı taş dolgu zemin iyileştirme izleri

Zemin Profili

Sondajlardan elde edilen zemin profili Şekil 8’de verilmiştir. Kazıklar için yapılacak hesap ve analizlerde düşey yatak katsayısı dolgu, killi ve kumlu birimleri için 2000 kN/m³ ve üstündeki kumlu, çakıllı killi birim için ise 80000 kN/m³ alınması uygun görülmüştür (İyisan 2000).

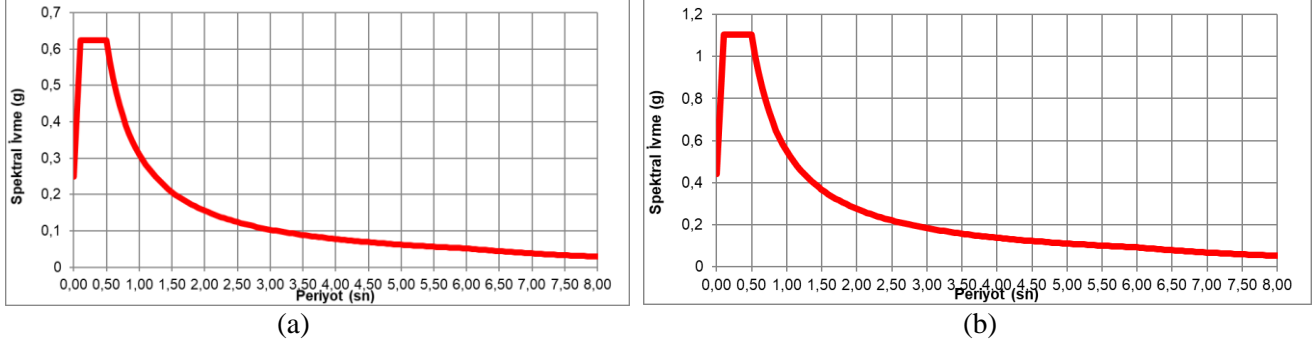


Şekil 8. Sondajlardan elde edilen tipik zemin kesiti (İyisan 2020)

Mevcut Durum Analizi

Tarihi Yapılar Kılavuzuna göre yapının niteliğine bağlı olarak farklı tasarım depremleri altında farklı performans hedefleri tanımlanmıştır. İnceleme konusu camii için;

- Yapının 50 yılda aşılma olasılığı yüzde 10 olan (DD-2) deprem etkisi altında sınırlı hasar düzeyi kriterlerini,
 - Yapının 50 yılda aşılma olasılığı yüzde 2 olan (DD-1) deprem etkisi altında kontrollü hasar düzeyi kriterlerini,
- sağlaması beklenmektedir. İlgili deprem spektrumları Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Deprem etkilerine ait ivme spektrumları (a): 50 Yılda aşılma olasılığı %10 (b): 50 Yılda aşılma olasılığı % 2 deprem için

Tablo 3. Performans analizi yük kombinasyonları

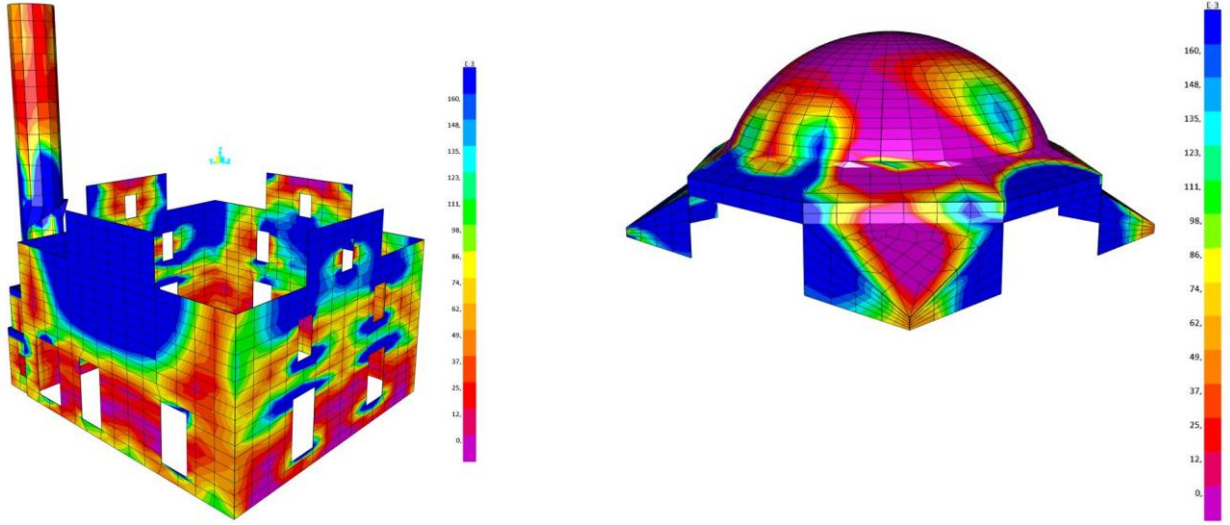
Kombinasyon	G	Q	EX (+)	EX (-)	EY (+)	EY (-)
G + Q + EX (+)	1	0.6	1	0	0	0
G + Q + EX (-)	1	0.6	0	1	0	0
G + Q + EY (+)	1	0.6	0	0	1	0
G + Q + EY (-)	1	0.6	0	0	0	1

Yapı, Sap 2000 analiz programında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kabuk elemanlar ile modellenmiş ve Tablo 3'te verilen yükleme kombinasyonları kullanılarak analiz edilmiştir. Doğrusal modal analiz kullanılarak yapılan analiz sonucunda tespit edilen yetersizlikler şu şekilde özetlenebilir:

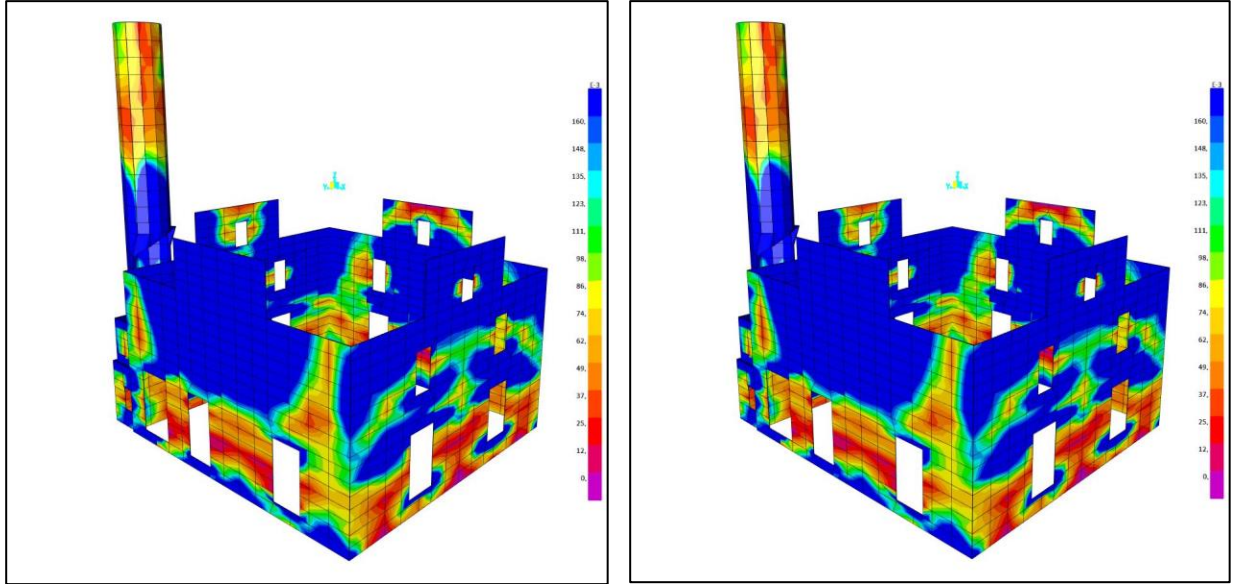
- Tablo 3'te verilen kombinasyonlar ile Sap2000 analiz programı kullanılarak yapılan performans analizlerinde depremlerle yüklemelerde özellikle yatay ve düşey çekme gerilmelerinin dayanım değerlerine ulaşması.
- Zaman ile boşalmış, çürümüş ahşap hatıllar.
- Zaman ve su taşkınları kaynaklı olarak bozulmuş taşlar, boşalmış derzler, ayrılmış duvar bölümleri.

Düşey yükler ve deprem yüklerinin etkisi altında oluşacak basınç ve kayma gerilmelerinin, taşıyıcı elemanlarda kullanılan malzeme cinsine kabul edilmiş olan basınç ve çekme dayanımlarını (Tablo 2) aşıp aşmadığı kontrol edilmiştir. Analiz sonucunda, cami taş duvarlarında kayma gerilmelerinin deprem etkisi altında 4 farklı kotta çekme dayanım değerlerini aştığı tespit edilmiştir (Şekil 10, 11 ve 12). Pencere altı, pencere üstü, duvar üst kotu ve kubbe alt kotu olmak üzere bu 4 kot Şekil 13'de gösterilmiştir.

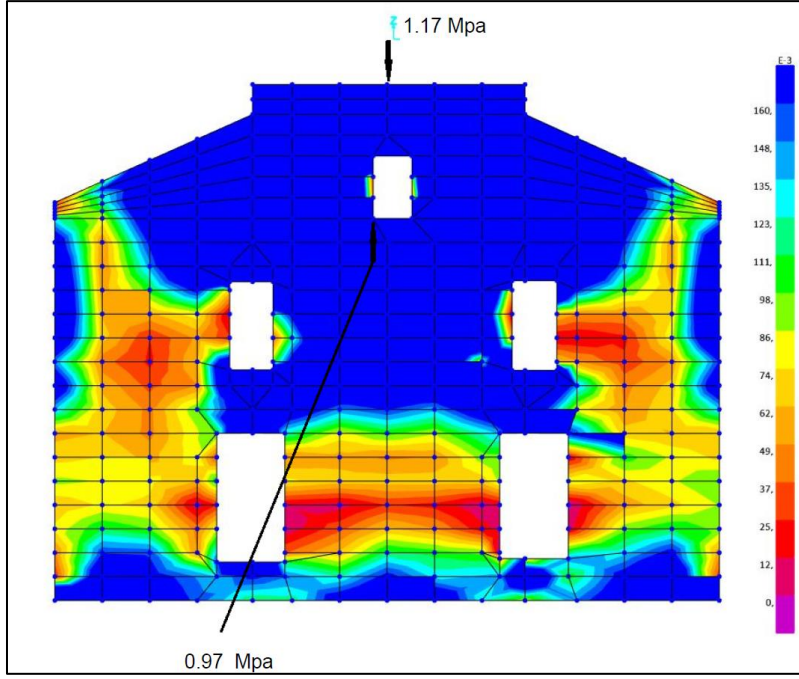
Tespit edilen yetersizlikler sebebi ile su altında kalma probleminin çözümü olarak 350 cm yükseltilecek yapı ilave olarak izolatörler üzerine yerleştirilecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 10. DD-2 deprem düzeyinde yatay kayma gerilmeleri-S11 (MPa)



Şekil 11. DD-1 deprem düzeyinde yatay kayma gerilmeleri-S11 (MPa)

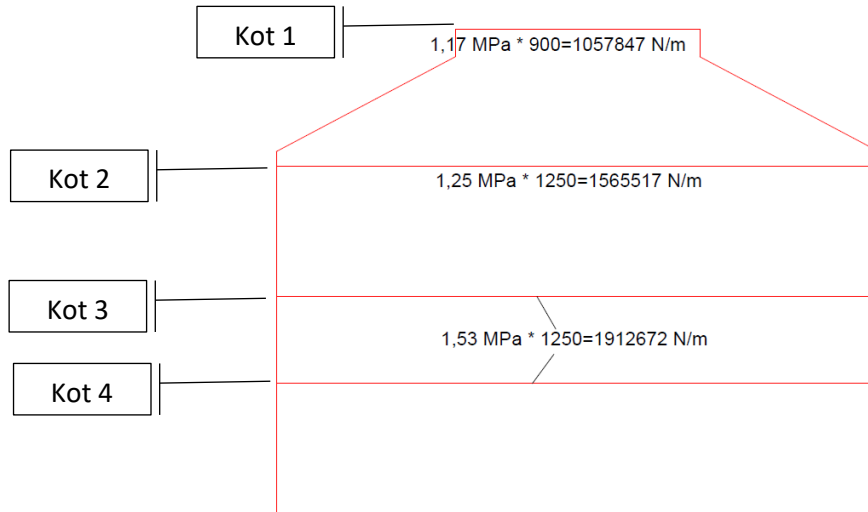


Şekil 12. DD1 deprem düzeyinde kot 1’de en büyük kayma gerilmeleri S11 (MPa)

Güçlendirme Çalışmaları

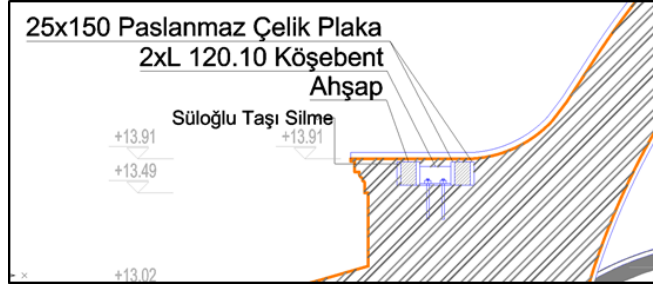
Üstyapı Güçlendirme Çalışmaları

Sap2000 modeli üzerinde yapılan analizler neticesi cami duvarlarında 4 farklı kot için (Şekil 13) kritik gerilme değerleri okunmuş ve güçlendirme eleman hesapları yapılmıştır. Kabuk eleman olarak modellenen cami yapısı için yapılan farklı yükleme kombinasyonları ile en kritik gerilme değerleri alınmış ve 4 farklı kot için takviye detayları tasarlanmıştır. Örnek olarak kot 1 için en büyük kayma gerilmesi (?) değeri S11, G+nQ+EQX-DD1 kombinasyonundan elde edilmiştir (Şekil 12).

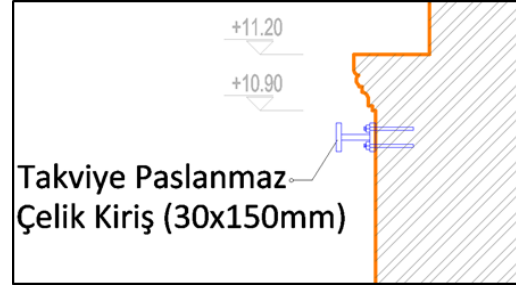


Şekil 13. 4 Farklı kot için elde edilmiş en kritik gerilme değerleri

Kot 1 ve kot 2 seviyesinde oluşan ve yapı üst kotlarını dışarı doğru açılmaya zorlayan gerilmelerin karşılanması için Şekil 14 ve Şekil 15'te görülen detaylar tasarlanmıştır. Esasen bu kotlarda orijinal yapıda ahşap hatıllar mevcut idi ancak zaman ile hatıllar çürüyerek yerleri başka malzemeler ile dolmuştur. Yapılan işlem orijinal yapı davranışını olabildiğince değiştirmemeyi hedeflemektedir.



Şekil 14. Kot 1 takviye detayı



Şekil 15. Kot 2 takviye detayı

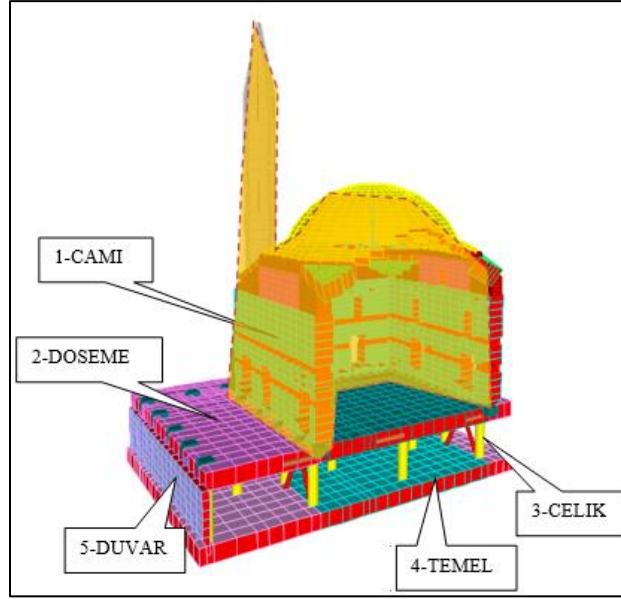
Kot 3 ve kot 4 seviyelerinde de orijinal yapıda mevcut olan ahşap hatıllar çürümüş ve yerleri boşalmıştır. Güçlendirme tasarımında özgün tasarıma bağlı kalınarak hatıl boşluklarına hidrolik esaslı yüksek dayanımlı (15 MPa) tamir harcı dolgusu içine gömülmüş çelik gergiler uygulanmıştır (Şekil 16). Metal gergiler esasen geç Osmanlı Camilerinde kullanılan bir tekniktir.



Şekil 16. Kot 3 ve kot 4 takviye detayı

Altyapı Güçlendirme Çalışmaları

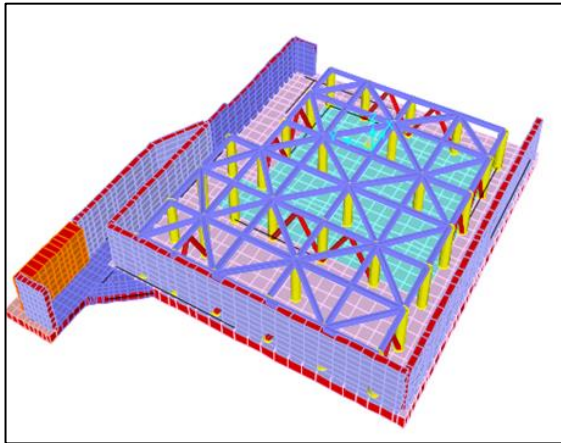
Üst yapı güçlendirme çalışmaları dışında yapının asıl problemi olan su taşkınlarından korunması amaçlı olduğu yerde bütüncül yükseltme amaçlı modelleme çalışması Sap2000 yazılımı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 17, 18). Yükseltme aşamaları esnasında yapının maruz kalacağı yüklem durumlarının temsil edilmesi amacı ile 10 ayrı model kullanılmıştır. Cami yapısı için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=2.5$, radye ve döşeme arası çelik yapı için $R=2$ ve dayanım fazlalığı katsayısı $D=2$ kullanılmıştır. Güçlendirilmiş yapı performans analizi ve tasarımda kullanılan kütleler ve yüklemeler Tablo 4'te verilmiştir.



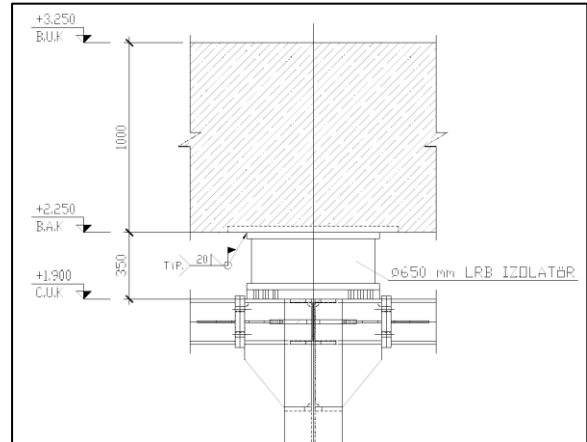
Şekil 17. Yükseltilmiş durum yapı modeli

Tablo 4. Analizde kullanılan yükler ve kütleler

		Zati Yükler (kN)	Kaplama Yükleri (kN)	Hareketli Yükler (kN)	Sismik Kütle G+0.6Q (kN)	Üst Yapı Deprem Yükü (kN)
1	Cami	14550	200	100	14810	7525
2	Döşeme	9450	4550	2200	16370	
3	Çelik	700	0	0	700	
4	Temel	11500	2300	2300		
5	Duvar	2500	0	0		
	Toplam				31880	



Şekil 18. Yükseltilmiş alan çelik taşıyıcı



Şekil 19. Taban izolasyonu

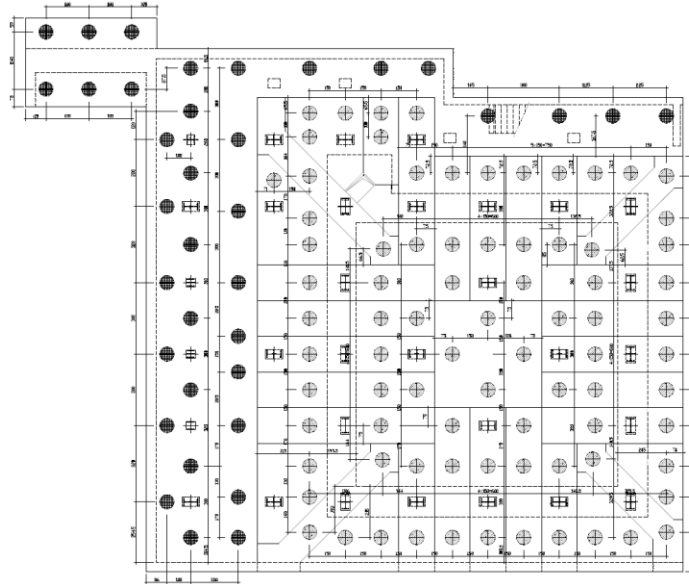
Deprem etkilerini azaltmak amaçlı cami döşeme altı ve çelik taşıyıcı sistemi arasında taban izolasyonu düzenlenmiştir. İzolasyon sistemi özellikleri: $T_{\text{eff-MCE}}=1.85s$, $D_{\text{max}}=0,26$ m Sönüm Oranı = % 19 (Şekil 19).

Radye altı kazıkların modellemesinde, 3 farklı zemin katmanı için eşdeğer yay rijitlikleri geoteknik ekip tarafından belirlenmiştir. $D=600$ mm çap ve 10 m kazık boyu için tasarım moment kapasitesi 200 kNm olarak hesaplanmıştır. Segmentler halinde oluşturulacak radye betonu içine bırakılacak kazık başlıkları ile yapıya bağlanan sürme tipi kazıklar yapıya hiçbir titreşim vermeden kazıklı bir temel oluşumu sağlayacaktır. Gerekli döşeme kalınlığı 90 cm ve radye kalınlığı 100 cm olarak tespit edilmiştir.

Çelik eleman tasarımı Sap2000 programında AISC 360 şartnamesine göre yapılmıştır. Kritik elemanların kontrolü ise Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına göre kontrol edilmiştir. Kazık ve radye segment planı Şekil 20'de verilmiştir.

Tablo 5. Kazıklara gelen tasarım tesirleri

Kazık tasarım kesme kuvvetleri (kN)	Kazık tasarım çekme kuvvetleri (kN)	Kazık tasarım basma kuvvetleri (kN)	Kazık adedi
105 (1E) 119 (2E)	+78 (ÇekmeYoktur)	+952	117
✔	✔	✔	

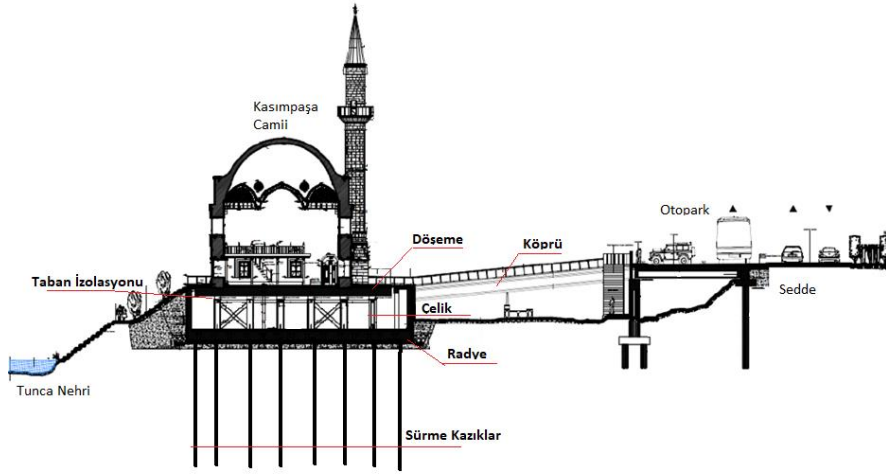


Şekil 20. Kazık ve segmentler planı

Sonuç

1478 tarihinde inşa edilmiş, Tunca nehri kenarında ulaşımı nehirlerden olan yalı camii özelliği taşıyan ender tarihi eserlerden olan Edirne Merkez Evliya Kasımpaşa Camii için, su taşkını ve deprem risklerine karşı güncel

yönetmelik kriterlerini karşılayacak şekilde güçlendirme tasarımı yapılmıştır. Öncelikle tarihi yapının zaman ile yıpranmış ahşap hatılları, çelik gergi hatılları ile yenilenmiş ve gerekli yerlere ilave gergi hatılları tasarlanmıştır. Yıpranmış duvarlar ve kubbe bölümleri için onarım/takviye, aşırı yıpranmış bölümler yenileme önerilmiştir. Tarihi yapıyı taşkın ve depremlerden korumak üzere, yapı bütüncül olarak 350 cm yükseltilerek taban yalıtım sistemi ile birlikte, yeni radye temel üzerinde oluşturulan çelik konstrüksiyon üzerine yerleştirilmiştir. Yükseltme amaçlı mevcut yapı altına segmental (parçalı) bir plan ile betonarme radye ve üzerinde betonarme döşeme oluşturulmuştur. Alt radyede sürme tipi özellikle tarihi yapılarda kullanılan çelik çekirdekli beton yerinde dökme beton çerçeveli kompozit kazık sistemi ve üst döşeme ile birlikte yapıyı yükseltecek hidrolik sistem tasarlanmıştır. Sonuç olarak, atıl durumda olan caminin kullanılabilir olmasına yönelik olarak, yapının taşkınlardan korunması ve depreme karşı performansının iyileştirilmesi için sıradışı bir projelendirme çalışması yapılmıştır (Şekil 21).



Şekil 21. Kasımpaşa camii yükseltilmiş durum

Referanslar

ACI 318 (2008) Building Code Requirements For Structural Concrete, American Concrete Institute

AISC 360-10 Specification for structural steel buildings American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA.

ASCE 41-17 Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, Published by The American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, p. 20191-4382, USA.

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği (2016) , Ankara, Türkiye

Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, Vakıflar Genel Müdürlüğü, Türkiye.

TBDY 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Resmi Gazete, Tarih: 18 Mart 2018, Sayı: 30364

TS 498 (1997) Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS500 (2000) Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara

TS708 Çelik-Betonarme İçin – Donatı Çeliği, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TSEN13791 (2010) Basınç Dayanımının Yapılar ve Ön dökümlü Beton Bileşenlerde Yerinde Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.