

TARİHİ YAPILARIN YAPISAL ANALİZİNDE PERFORMANS TABANLI YAKLAŞIMLAR VE BİR ÖRNEK ÇALIŞMA PERFORMANCE BASED APPROACHES TO STRUCTURAL ANALYSIS OF HISTORICAL STRUCTURES & A CASE STUDY

Kerem PEKER¹

¹İnş. Yük.Müh., ERDEMLİ Proje ve Müşavirlik Ltd. , Beşiktaş, İstanbul.

ÖZ

Sanatsal ve kültürel önemleri itibari ile büyük değere sahip olan tarihi yapıların, yapısal analizinde izlenebilecek çeşitli yollar vardır. Bu çalışmada, yapının, hasar verebilecek dış zorlamalara ve özellikle de depreme karşı korunmasında, tanımlı bir güvenlik ortaya koyan, performans tabanlı inceleme metodolojisi kullanılmıştır. Gerçekleştirilen uygulama, uygulanan metodolojiyi anlatan örnek bir çalışma olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarihi yapılar, Deprem hasarları, Performans hedefleri

ABSTRACT

There are a number of methods, that can be utilized in the structural analysis process of historical structures, which have great artistic and cultural importance. Performance based analysis procedures are utilized in this study in order to have well defined performance targets, against forcing conditions and specially the earthquake condition. A case study is given to define the framework of the methodology followed.

Keywords: Historical structures, Earthquake damages, Performance targets

GİRİŞ

Tarihi yapılar toplum tarafından sanatsal yada kültürel önemleri sebebi ile saygı ve değer gören yapılardır.

Çoğu 20. yüzyıl öncesi döneme ait olan bu yapılar, gelecek nesillere taşınabilmeleri açısından korunmakta veya restore edilerek ömürleri uzatılmaktadır. Kimi zaman müze haline getirilen bu yapılar, kimi zaman kullanımda kalmakta ve geçmişten geleceğe bir köprü oluşturmakta ve kimi zamansa yeni bir kullanım şekli ile bir anlamda yeniden doğmaktadırlar.

Tarihi yapıların değerini veren zaman faktörü diğer taraftan savaşılmaması gereken bir düşmandır. Genel anlamda malzemenin zamanla eskimesi ve bozulması, orijinal tasarımın yetersizliği yada zamanla yetersiz kalmış olması, kullanım amacında zaman içerisinde meydana gelen değişiklikler sebebi ile oluşan hasarlar ve zorlanmalar ya da revizyonlar ve geçmiş büyük afetler sonrası oluşan hasarlar tarihi yapıların ortak problemleridir.

YAPISAL ANALİZ METODOLOJİSİ

Günümüzde bıraktıkları etkiler ve toplumsal değerleri açısından tüm tarihi yapıların farklı bir yeri ve önceliği vardır. Uzman kurum ve kişiler yardımı ile sınıflandırılmış olan bu tarihi miras farklı önceliklerle korunmakta ve yapılan incelemelerde olası zorlanmalar altında farklı performans beklentileri ile kontrol edilmektedirler.

Bir deprem ülkesi olan ve tarihi miras açısından oldukça zengin olan ülkemizde, mevcut tarihi mirasın tüm diğer zorlamaların yanında, olası deprem afetlerine karşı da korunması gerekmektedir.

Tarihi yapıların yeterliğinin incelenmesinde çeşitli tanımlı performans seviyeleri belirlenerek yapısal analiz ve kontrollerin bir metodoloji dahilinde yapılması sağlanabilir. Ancak önemli olan her bir yapı için, o yapının çeşitli dış etkenlere ve zorlamalara karşı beklenen performansının tarif edilmesidir.

Henüz yeni yerleşmekte olan bir kavram olan yapısal sistemlerin performans tabanlı olarak analizi yanında tarihi yapıların incelenmesinde benzer yaklaşımların kullanılması uygulamada oldukça nadir rastlanan bir durum olup konu ile ilgili küresel bilgi birikimi henüz oldukça kısıtlıdır. Ancak kısıtlı çalışmalarda rastlanan (Terenzi vd , 2002), ortak kullanılan terminoloji ve tanımlamalar dahilinde tanımlı performans seviyeleri aşağıda verilmiştir.

Hasarsızlık beklentisi (ND) : İhmal edilebilecek kadar az bir yapısal hasar oluşumuna müsaade edilebilir. Yapı sanatsal değerini kaybetmemeli ve hem yapısal elemanlarda hem de ihtiva edilen tarihi değerlerde ancak çok küçük ve ihmal edilebilir kayıp veya hasar oluşmalıdır. Özel durumlar hariç, bu performans beklentisi sık meydana gelen (50 yılda aşılması olasılığı 20-50%) depremlerde beklenmelidir.

Kültürel değer korunması (CVS) : Tamir edilebilir az miktar yapısal hasarlara izin verilir. Tamir genel güvenlik önlemleri almayı gerektirmemelidir. Bölgesel hasar kabul edilebilir ancak yapının tamamına dağılmış bir hasar durumu oluşmamalıdır. Yapının sanatsal değerinde ve ihtiva edilen tarihi değerlerde kayıp kabul edilebilir ancak bu kayıp yok olma boyutuna ulaşmamalıdır. Tamir edilebilmeli veya olduğu gibi kullanılmaya-sergilenmeye devam edilebilmelidir. Özel durumlar hariç, bu performans beklentisi orta sıklıkta meydana gelen (50 yılda aşılması olasılığı 10-20%) depremlerde beklenmelidir.

Göçmenin engellenmesi (CP) : Yapıda genel ya da bölgesel göçme durumu oluşmamalıdır. Yapı sanatsal değerini kaybedebilir ve hem yapısal elemanlarda hem de ihtiva edilen tarihi değerlerde kayıp veya hasar oluşabilir ancak yapı ayakta kalmalıdır. Özel durumlar hariç, bu performans beklentisi çok ender meydana gelen (50 yılda aşılması olasılığı 2-10%) depremlerde beklenmelidir.

Yapıların analizinde ve gerekli ise restorasyonunda yukarıda tanımlanan performans seviyelerine ulaşılabilmesi için malzeme ve zemin özelliklerinin olabildiğince iyi tanımlanması ve zayıflıkların belirlenerek rehabilitasyonun buna göre yapılması gerekmektedir.

BİR ÖRNEK ÇALIŞMA

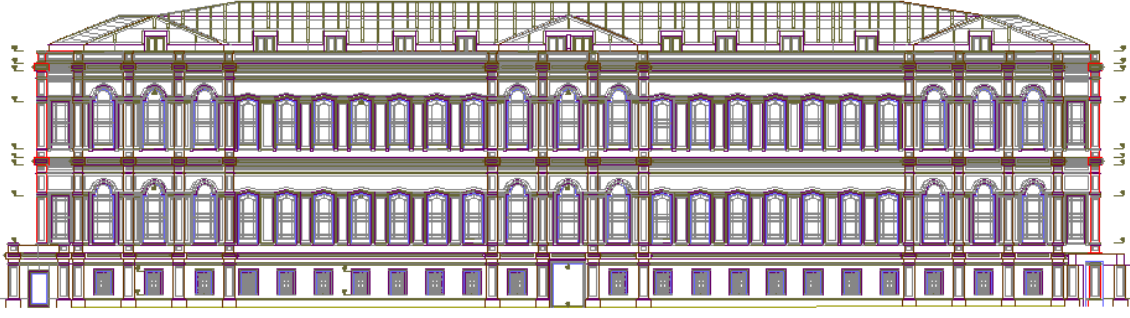
Yukarıda açıklanan kavramlar dahilinde yapılmış bir çalışma olan, İstanbul Ortaköy’de sahilde yer alan Atık Ali Paşa Yalısı’nın kullanım amacı değişimi ile otele dönüştürülmesi projesi ve detayları, izlenen metodolojinin detaylı açıklaması anlamında aşağıda verilmiştir. Proje kısaca 1890-1900 yılları arasında inşa edilmiş olan ve çeşitli yıllarda revizyon görmüş olan tarihi yalı binasının otel olarak kullanılması amacı ile restorasyonu işlerini içerir. Tüm araziye yayılacak diğer otel yapılarının yeni inşası haricinde mevcut tarihi yapının rehabilitasyonu ve tarihi değer ifade eden dış cephe duvarları korunarak kullanılabilir hale getirilmesi tasarım amacını oluşturmaktadır. Bu sebeple analiz aşamaları inşaat aşaması ve kullanım aşaması olmak üzere iki adım olarak belirlenmektedir.

Yapının detaylı “yapıldığı gibi” projesinin hazırlanması :

Sahada yapılan çalışmalar ile tarihi cephenin ve duvarların tam bir dijital dokümantasyonu yapılmıştır. Yapımdan kaynaklanan hatalar ve geometri bozuklukları tespit edilmiştir ve mevcut yapıyı temsil edecek tasarım modelinin dayandırılacağı geometrik koşullar tam olarak yüksek bir hassasiyet ile tespit edilmiştir. Şekil-1 de yapının mevcut hali ve Şekil-2 de cephenin dijital hale getirilmiş bir rölevesi verilmiştir.



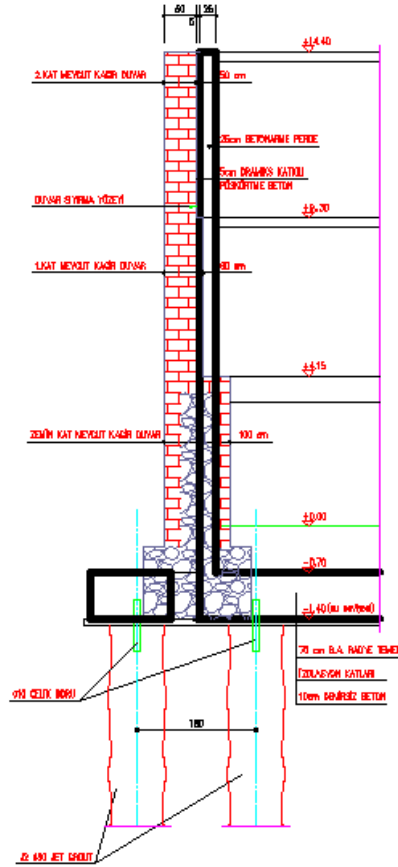
Şekil 1. Yapının Ön Cephe Görünüşü



Şekil 2. Yapının Ön Cephe Rölevesi

Duvar kalınlıkları ve zaman içerisinde yapıda yapılmış değişiklikler tespit edilmiş ve mevcut taşıyıcı sistemin detaylı bir dokümantasyonu sağlanmıştır. Duvara ait şematik kesit ve temel yapısı Şekil-3 de gösterilmiştir.

Malzeme değişimleri ve inşaat metodu değişiklikleri takip edilmiş ve yapım aşamasında yapılan hatalar veya kabuller takip edilerek orijinal yapının durumu bir rapor ile ortaya konmuştur. Bu raporda malzeme örneği alınması istenen yerler özellikle belirtilmiştir.

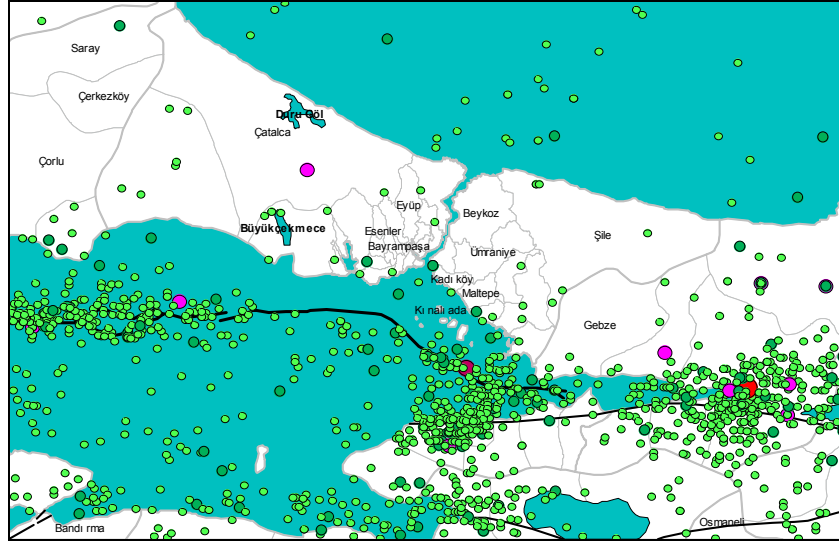


Şekil 3. Tipik Duvar Kesiti ve Temel Yapısı

Geoteknik ve sismoteknik incelemeler :

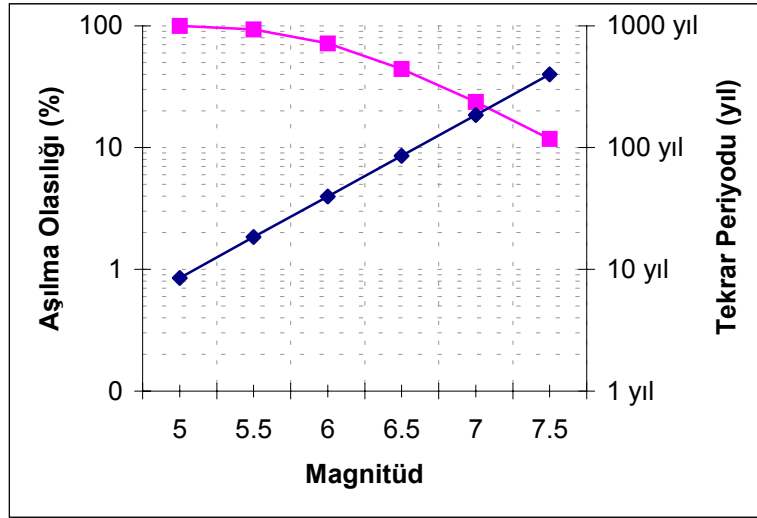
Tarihi yapının çeşitli yerlerinde ve çevresinde yapılan sondajlar ve muayene çukurları ile zemin durumu incelenmiş ve yerel zemin profili ve mevcut yapının temel sistemi ortaya konmuştur.

Mevcut zemin profili ve yapının bölgede yer alan faylara yakınlığı dikkate alınarak yapılan deprem tehlikesi analizi sonucu sahaya ait ve farklı performans beklentilerinin dayandırılacağı, sık, orta sık ve nadir deprem büyüklükleri belirlenmiştir. Bölge depremselliğini göstermek üzere Şekil-4 verilmiştir.

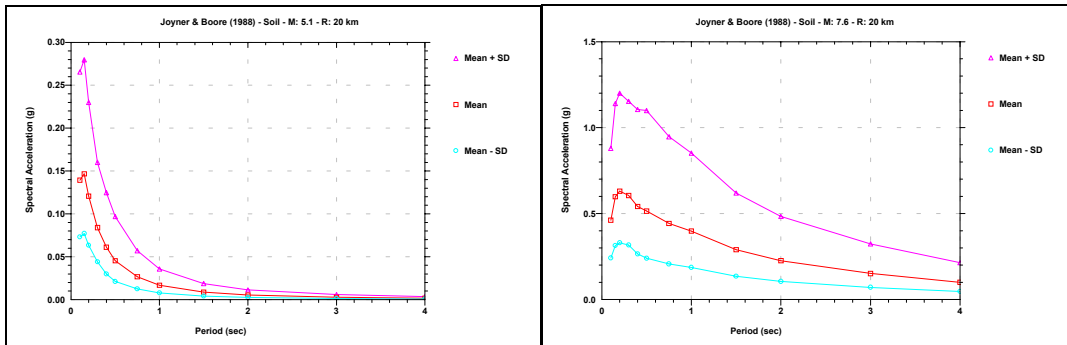


Şekil 4. Bölgenin 1900-2003 Arası $3 < M < 8$ Depremselliği

Tanımlanmış olasılık oranları ile belirlenmiş deprem büyüklükleri Şekil-5 olarak verilmiştir. Yerel zemin koşulları da dikkate alınarak analizlerde kullanılacak yerel tepki spektrumları elde edilmiş ve Şekil-6 da verilmiştir.



Şekil 5. Deprem Büyüklükleri, Aşılma Olasılıkları ve Periyotları

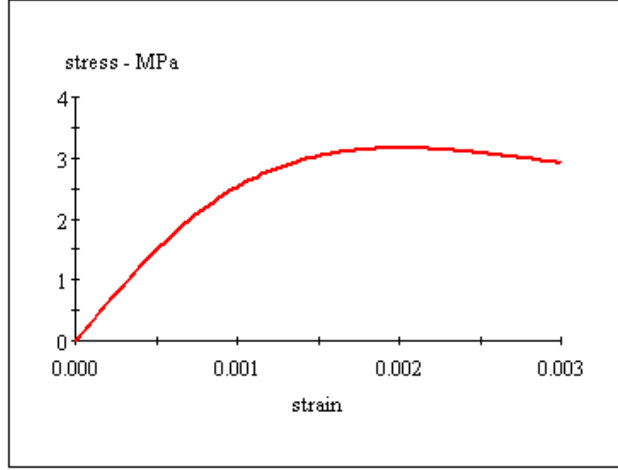


Şekil 6. Saha İçin Belirlenen Tasarım Spektrumları

Mevcut temel sisteminin yeterliği ve sahada zeminin yukarıda tanımlanan kuvvetli yer hareketleri etkisinde sıvılaşma potansiyeli incelenmiş ve taşıma gücü belirlenmiştir. Varılan sonuç gereği yüksek sıvılaşma riski taşıyan zeminin rehabilitasyonunun sağlanması amacıyla sahanın belirli aralıklarla enjeksiyon kolonlarla güçlendirilmesi planlanmış ve duvarda inşaat aşamasında hasar meydana gelmesinin engellenmesi amacıyla duvar altı temelini Şekil-3 de verilen detay ile güçlendirilmesi planlanmıştır.

Malzeme deneyleri :

Daha önceden belirlenen yerlerden alınan numuneler, yığma duvarı meydana getiren bileşenlerin karakteristik mekanik mukavemetlerini ve şekil değiştirme özelliklerini ortaya koyacak şekilde incelenmiş ve elde edilen değerler EC-6 yöntemi ile modellemede kullanılacak malzeme modelleri haline getirilmiştir. Makro modelleme tekniği ile duvar modeli oluştururken kullanılması için gerekli malzeme karakteristik değerleri yine EC-6 yöntemi ile belirlenmiştir. Kullanılan malzeme modeli Şekil-7 de verilmiştir.

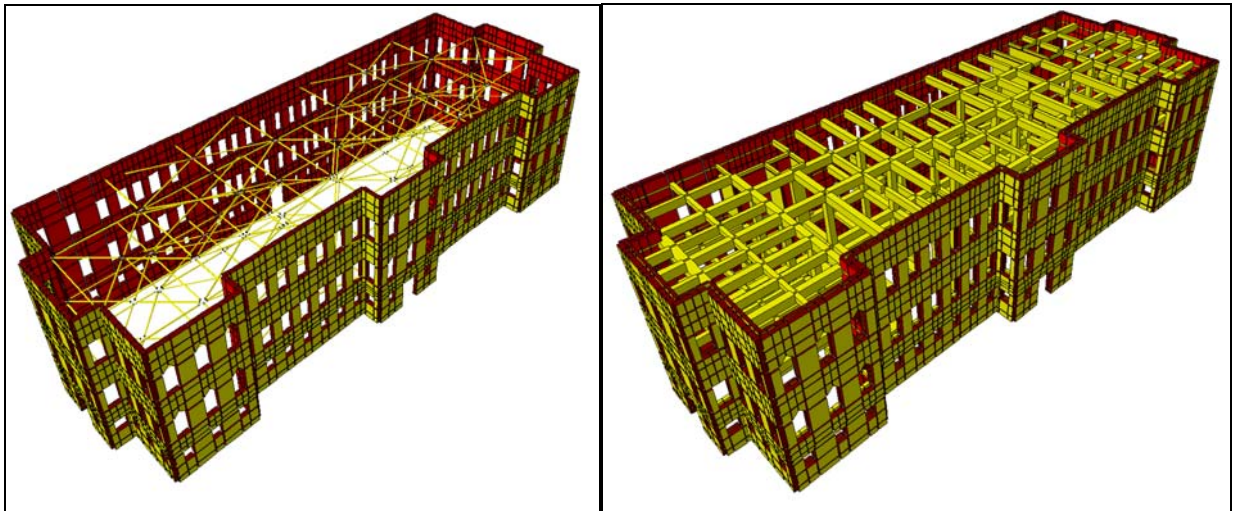


Şekil-7 Deneyler Sonucu Elde Edilen Karakteristik Deđerler ve EC-6 Yardımı İle Oluşturulan Malzeme Modeli

Malzeme değerlerinin yapıda büyük bir değişim göstermediği ancak bir iki sorunlu bölgede su yalıtımı sebebi ile malzemede bozulmalar meydana geldiği gözlenmiştir. Modellemede bu bölgelere ait malzeme modeli dikkate alınmıştır.

Yapısal analiz ve performans kontrolleri :

Yapının eldeki dijital verileri ışığında plan geometrisi belirlenmiştir. Cephe geometrisinde ortaya çıkması muhtemel zayıflıkları yansıtmaları gereği dikkate alınarak ve sayısal analizi basitleştirmek hedeflenerek makro modelleme tekniği ile yapının 3D modeli oluşturulmuştur. Şekil-8 de yapının inşaat safhasına ait analiz modeli ve ise kullanım aşaması için revize edilen analiz modeli görülmektedir.

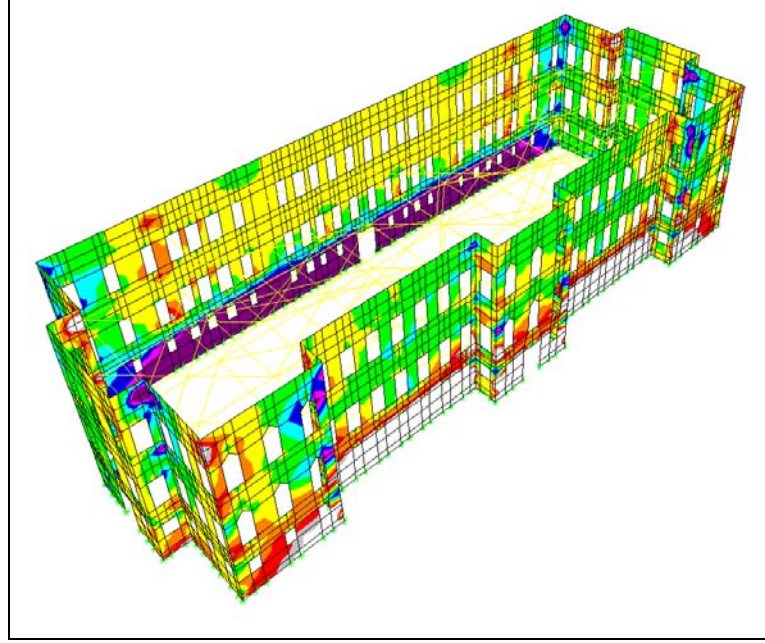


Şekil 8. Yapısal Analizde Kullanılan Hesap Modelleri

Tanımlanan malzeme modelleri ve yer hareketi parametrelerinden sonra yapının gösterdiği performans, ND ve CVS performans seviyeleri için deplasmanlar bazında (d_{lim}) tanımlı limitler kontrol edilerek, CP performans seviyesi için ise maksimum moment (M_u) yöntemi ile belirlenmiş ve kapasite tahkikleri yapılmıştır.

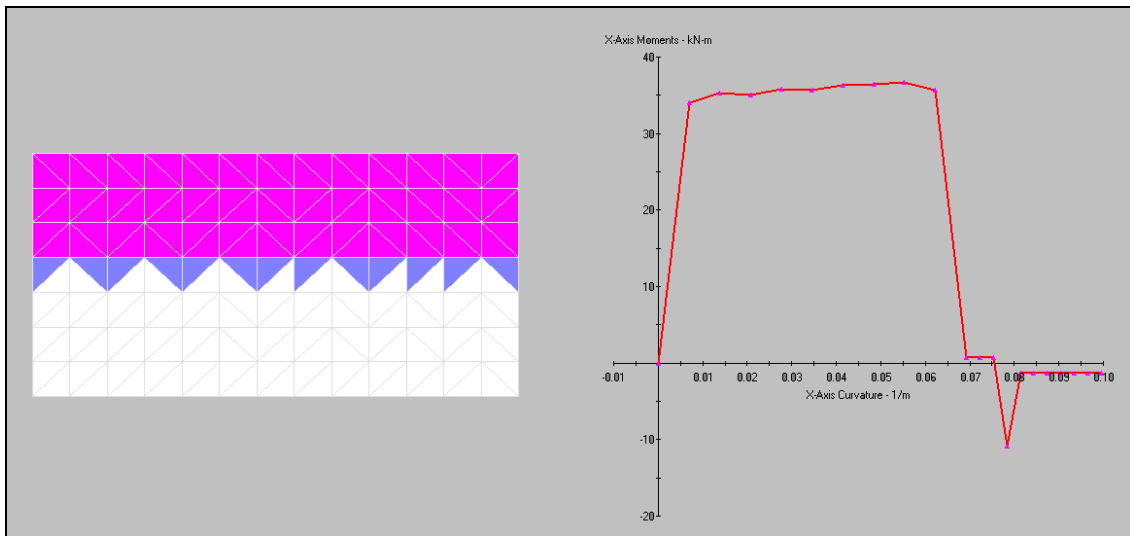
Deplasman limitleri (d/h) için kullanılan sınırlamalar uluslararası yayınlardan adapte edilerek; ND ve CVS performans seviyeleri için sırası ile 0.0005 ve 0.001 olarak seçilmiştir. CP performans seviyesi için ise (M_u) yöntemi ile belirlenen moment taşıma gücü, lineer ötesi deformasyon ve kesit sünekliği hakkında fikir sahibi olabilmek amacı ile daha gelişmiş bir yöntemle de kontrol edilmiş, yaklaşık aynı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Şekil-9 olarak inşaat aşamasına ait bir M_u dağılımı verilmiştir. Farklı yükleme durumlarındaki dağılımlar kontrol edilerek olası hasar bölgeleri seçilmiş ve güçlendirmeler önerilmiştir.

İnşaat aşamasında kapasitesi aşılacak elemanlar için geçici ve kalıcı güçlendirmeler öngörülmüş ve kullanım aşaması için ise duvarın, içerisine imal edilecek yapıya kayma elemanları ile tespit edilmesi tasarlanmış, ve gerekli güçlendirme ve bağlantı boyutları analiz edilmiştir.



Şekil 9. D-B Yönü Çok Ender Depremi, Yapı M_u Dağılımı

Şekil-7 de verilen malzeme gerilme-şekil değiştirme eğrisi kullanılarak, kesitin göçme mekanizması gerilme durumu ve kesit moment-eğrilik diyagramı elde edilmiş ve Şekil-10 olarak verilmiştir.



Şekil 10. Kesit Moment-Eğrilik Diyagramı ve Göçme Anı Gerilme Durumu

SONUÇ VE ÖNERİLER

Verilen örnek çalışmada yapı analizinde lineer sistem ve eleman çözümleri kullanılmış ve yığma duvarın lineer ötesi hareketi için basitleştirilmiş maksimum moment (M_u) yöntemi kullanılmıştır. Bu durum yüksek performans beklentilerine tam karşılık bulurken CP performans seviyesi için ise yapıda bazı noktalarda beklenenden farklı davranış elde edilmesine sebep olabilir. Bu sebeple zorlandığı tahmin edilen bölgelerde davranışı ifade etmek amacı ile çatlak oluşumu ve mekanizmalarını ifade edebilecek gelişmiş analiz elemanları kullanılması tavsiye edilir.

Yapıda lineer ötesi davranışta sönüm değerlerinin standart analizlerde kullanılan 5% değerinden çok daha yüksek olduğunu ve bu durumda yapıda hasar oluşması ve lineer ötesi davranışa geçildiği anda sönümün artması ile birlikte yapıya etki eden yatay yükünde azaldığı hatırlanmalıdır. Duvara ait tipik kesitin sünekliği hakkında bir fikir Şekil-9 da görülen, eğrilik sünekliği grafiğinden edinilebilir.

Yapılan çalışma sırasında her ne kadar olasılık yaklaşımları ile kullanılacak tasarım yer hareketleri belirlenmişse de toplumsal önemi veya sanatsal değeri çok yüksek olan tarihi yapılarda en kötü senaryo depremi yönteminin kullanılması ve performans beklentisinin yüksek tutulması gelecek nesillerin de bizim tanıdığı olduğumuz tarihi değerlere şahit olmasını sağlayacak ve olası afet durumlarında bu değerlerin korunmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Sorace, S., Terenzi, G. (2002). Seismic Evaluation and Retrofit of Historical Churches, SEI Volume4-12, 283-288

FEMA-356 (2000) Pre-standard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings

Mola, F., Vitaliani, R. (1997). Analysis, Diagnose and Preservation of Ancient Monuments, Structural Analysis of Historical Construction, Barcelona 1998

Conference Report, Structural Analysis of Historical Constructions II, Barcelona, 1998

Conference Report, Structural Analysis of Historical Constructions I, Barcelona, 1995

Report/UCB/EERC-95/04, Earthquake Hazard Reduction In Historical Buildings Using Seismic Isolation, 1995

EUROCODE-6 Design of masonry structures

<http://www.sayisalgrafik.com/deprem/index.html>. Depremler, Türkiye'nin depremselliği ve haritalar

XTRACT, User manual

SHAKE2000, User manuel