

## TARİHİ YAPILARDA LOKAL GÜÇLENDİRMEYE BAĞLI LOKAL RİJİTLİK ARTIĞININ YAPIDAVRANI ÜZERİNE ETKİSİ

E. Alpaslan<sup>1</sup>, K. Hacıfendiolu<sup>2</sup>, F. Birinci<sup>3</sup>, M. Kurt<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ar. Gör., İnşaat Müh. Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Atakum, Samsun

<sup>2</sup>Doç. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Atakum, Samsun

<sup>3</sup>Yrd. Doç. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Atakum, Samsun

<sup>4</sup>Maksut Kurt, İnşaat Mühendisi, İkadım Belediyesi, İkadım, Samsun

Email: emre.alpaslan@omu.edu.tr, hckemal@omu.edu.tr, fbirinci@omu.edu.tr, maksukurt80@hotmail.com

### ÖZET:

Tarihi yapılar baki olmak üzere, betonarme ve çelik yapılar daki eserlerin tamirat, tadilat ve restorasyon çalı malarında yerel/lokal güçlendirme yapılması sık kar ıla ılan bir durumdur. Bu, bazen bir ta ıyıcı elemanın de i tirilmesi, bazen bir ta ıyıcı elemandaki bir kısmın veya parçanın de i tirilmesi ekinde olmaktadır. Duvarlar gibi ta ıyıcı elemanlarda da bazen büyük çatlakların doldurulması, diki yapılarak tamiri veya ta ıyıcı özelli ini kaybetmi parçaların yenileriyle de i tirilmesi ekinde ortaya çıkmaktadır. De i tirme veya malzeme ilavesiyle doldurma ekinde yapılan i lemlerde sonradan konulan yeni malzeme veya elemanlar ise çok yüksek olasılıkla var olan malzemeden daha yüksek dayanımlı olmaktadır. Özellikle ta ve ah ap yapılarda bozulmu elemanların de i tirilmesi lokal bir rijitlik artı ı olması anlamına gelmektedir. Bilgisayar üzerinde yapılan tanımlamalar sonucunda yapının genel davranı ı incelenmekle birlikte yeni malzeme bulunan lokal alanda bir inceleme yapılmamaktadır. Bu çalı mada, modellenen yapının mevcut durumu, lokal olarak bozulmu elemanlarda bozulma nedeniyle olu an rijitlik azalması ve restore edilmi olmalarını dikkate almak üzere lokal rijitlik artı ının (%30 ve %50 olmak üzere iki farklı durum), yapının genel ve dinamik davranı ına etkisi ara tırılmı ır. Yapılan çalı mada, özellikle dinamik analizde, bozulmu elemanların yük aktarımı nedeniyle yapı davranı ını olumsuz yönde etkiledi i anlaşılmı ır. Lokal rijitlik artı ının da genelde öngörülenin aksine, genel davranı ı olumsuz yönde ancak önemsiz miktarda etkiledi i, özellikle rijitlik artı ı olan bölgenin civarındaki (kom u) elemanlarda daha yüksek gerilmelere sebep oldu u gözlenmi ır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Restorasyon, Tarihi yapı, Lokal güçlendirme, Lokal rijitlik, Yapı davranı ı

### 1. GİRİŞ

Yeryüzünün çe itli bölgelerinde tarihi ve kültürel öneme sahip birçok yapı in a edilmi ır. Bu yapılar, geçmi ile günümüzü birbirine ba layan özelliklerinin yanında farklı kültürlerin deneyimlerini yansıtmaları açısından da buldukları ülke ve ehirlere için zenginlik göstergeleridir. Bu sebeple bu tür yapılar ülkeler açısından büyük önem ta ımaktadırlar. Yüzlerce/binlerce yıllık geçmi e sahip olan tarihi yapılar deprem, rüzgâr, patlama etkileri gibi yüklere maruz kaldı ından zamanla zarar görmekte, kısmen ya da tamamen yıkılmaktadırlar. Ayrıca, yapı malzemelerinin dayanımını yitirmesi, zamana ba lı deformasyonlar, yanlış kullanımın neden oldu u a ır ve düzensiz yükleme, zemin oturmaları, sel felaketleri, yangınlar gibi etkenler de tarihi yapıların zarar görmesinde ya da yıkılmasında rol oynayan di er nedenlerdir.

ekil 1’de yukarıda bahsedilen nedenlerden ötürü Portekiz’de bulunan tarihi bir yı ma köprüde meydana gelmi hasar durumları gösterilmektedir. ekilden de görüldü ü gibi köprünün temel aya ında kısmı çökmeler olu mu , hem köprü uzunlu u boyunca çatlaklar meydana gelmi , hem de malzeme dayanımında bozulmalar olu mu tur [5].



ekil 1. D. Zameiro Tarihi Köprüsünde oluşan hasarlar [5]

Bu çelik köprülerde meydana gelebilecek hasarları gösteren diğer bir örnekte ekil 2’de gösterilmiştir. Köprü Yıma kemer formunda olup, 1997’de meydana gelen Umbria Marche depremi sonrası merkez açıklığında büyük bir çökme meydana gelmiştir [7,8].



ekil 2. Köprüde meydana gelen hasar [7]

Tarihi köprüler gibi diğer yapılar da yukarıda da bahsedilen hasarların meydana geldiği durumlarda onarılması ve onarılma sırasında onarılan bölgenin yapının genel davranışına zararlı bir etkisi olmaması gerekmektedir. Diğer önemli nokta da, onarım amaçlı yapılan işlemin geri dönüşümünün mümkün olmasıdır. Tarihi yapılarında onarım-güçlendirme amacıyla kullanılan yöntemler başlıca; (a) Oluşmuş çatlaklara ya da boşluklara çimento harcı enjekte edilmesi, (b) Büyük çatlaklar ya da zayıf bölgeleri birleştirme amacıyla çelik lifler veya tüp elemanların kullanılması, (c) Yapı elemanının çekme gerilmesini ve kohezyonunu artırmak amacıyla donatılı harç yerleştirilmesi ve (d) Yapı elemanlarının tanımlanmasıyla bir sistem olarak davranış gösterebilmesi amacıyla bu elemanları çelik bağlantı elemanları kullanarak birbirlerine bağlamak, olarak özetlenebilmektedir [9].

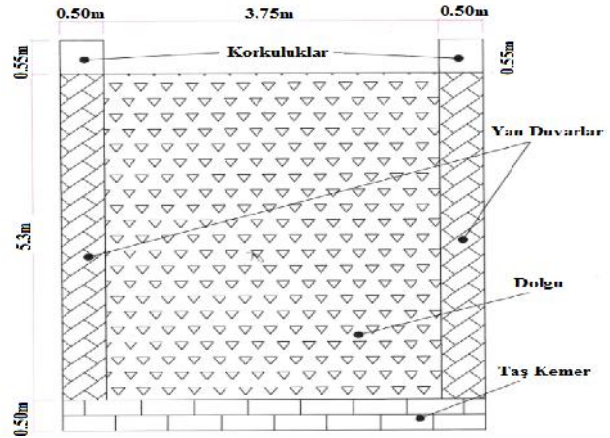
Literatürde bu gibi yöntemler kullanılarak tarihi yapıların güçlendirilmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır [2-4,10]. Fakat yapılan çalışmalara bakıldığında, genelde onarım-güçlendirme işlemlerinin yapının genel davranış üzerindeki etkilerinin araştırılması, iyileştirme yapılan bölgenin (lokal) kompozit elemanların davranışları üzerinde sebep olabileceği değişimlerin ise incelenmediği söylenebilir. Bu nedenle, sonuçlu elemanlar metodu kullanılarak modellenmiş bir tarihi köprünün hasarsız, hasarlı ve güçlendirme uygulanmış modelleri oluşturulmuştur. Her bir analizde yapının güçlendirme yapılması gereken ve yapılan bölgedeki elemanlar ve kompozit elemanları üzerinde oluşan gerilme dağılımları incelenerek, her bir durum birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, hasarlı ve güçlendirilmiş köprü modellerinde uygulanan güçlendirmenin yapının genel davranış üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMA

### 2.1 Tarihi Yıma Köprü

Bu çalışmada Ordu ili, Ordu-Ulubey yolunda Ordu’ya 33 km Ulubey’e 9 km mesafede, İhlar Köyünde, Sarpdere üzerinde, Osmanlı döneminin sonlarından (19.yüzyıl) kalan, 15,50 m uzunluğunda ve 4,75 m genişliğindeki Tarihi Sarpdere Köprüsü kullanılmıştır. Köprüsü’nün restorasyon çalışmaları Karayolları 7.Bölge Müdürlüğü’nün kontrollüğünde, 2012 yılında tamamlanmıştır. Köprü Kemerleri toplam 48 adet doğalta tan

olu maktadır ve ba layıcı eleman olarak horasan harcı kullanılmı tır. Köprünün yan duvarları kırma ta lardan ve gövde kısmı da toprak-saman karı ımından olu maktadır. ekil 3'de Tarihi Sarpdere Köprüsü ve kesit özellikler gösterilmektedir.



(a) Tarihi Sarpdere Köprüsü, (b) Köprü Kesiti

Tarihi yapılarda kullanılan malzeme özellikleri yapının statik ve dinamik davranı ının belirlenmesinde önemli rolü vardır. Fakat tarihi yapıların malzeme özelliklerinin belirlenmesi oldukça zordur. Yapılan bu çalı mada tarihi köprünün malzeme özelliklerinin belirlenmesinde, literatür taramasından elde edilen de erler kullanılmı tır. Tarihi köprü için ve güçlendirme elamanları için kullanılan malzeme özellikleri, birim hacim a ırlı ı, elastik modülü ve poisson oranı de erleri Tablo 1'de gösterilmi tir.

Tablo 1. Köprü modelinde kullanılan malzeme özellikleri

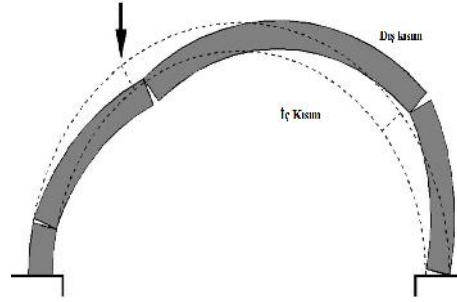
Malzeme	Birim Hacim A ırlı ı (g/cm <sup>3</sup> )	Elastik Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı
Yanduvuar	1.80	2500	0.20
Dolgu	1.36	1500	0.05
Ta Kemer	1.90	3000	0.20
Güçlendirme Elemanı (1)	1.90	4000	0.20
Güçlendirme Elemanı (2)	1.90	4500	0.20

## 2.2 Hasarlı Modelin Olu turulması

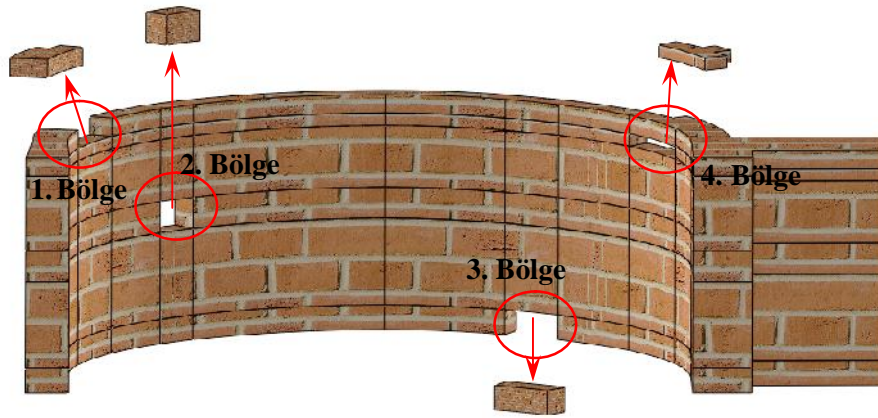
Tarihi köprülerde meydana gelebilecek hasarın onarılmasının dinamik etki altında hasar bölgesi çevresinde etkisinin ara tırılması için yapının kemer kısmına 4 bölgeden mevcut elemanlar ayrılarak hasarlar verilmi tir. Hasar bölgelerinin seçilmesinde literatürde yapılan bir çalı mada faydalanılmı tır [6]. Hasar bölgeleri ekil 4'de verilen bölgelere yakın yerlerden seçilmi tir. Verilen hasar yerleri ve geometrileri ekil 5'de gösterilmi tir. Daha sonra verilen bu hasarlı bölgelere aynı geometride daha rijit elemanlar yerle tirilerek, köprü modelinde güçlendirilme yapılmı bölgenin dinamik etki (deprem etkisi) altında gerilme da ılımları incelenmi tir.

## 2.3 Tarihi Köprünün Sonlu Elemanlar Modelinin Olu turulması

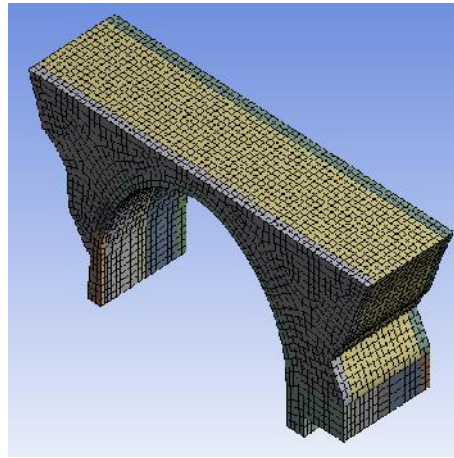
ANSYS [1] sonlu elemanlar programında Sarpdere Köprüsünün modeli olu turulmu ve 1999 Kocaeli depreminin "response spectrum" de erleri kullanılarak analizleri gerçekleştirilmi tir. Tarihi köprü modelinin hasarlı, hasarsız ve güçlendirilmi durumu için analizleri yapılmı, elde edilen bulgular birbirleri ile kar ıla tırılmı tir. Köprü modeli SOL D45 elemanları kullanılarak üç boyutlu modellenmi tir. Bu elemanda 8 adet dü üm noktası mevcuttur ve her dü üm noktası üç serbestlik derecesine sahiptir (x, y ve z yönlerinde ötelenme). ekil 6 Tarihi Sarpdere Y1 ma Köprüsünün sonlu elemanlar modelini göstermektedir.



ekil 4. Simetrik olmayan bir yükleme sonucu kemerde meydana gelebilecek tipik 4 düüm noktası kırılma mekanizması [6]



ekil 5. Köprü kemer kısmında hasar oluştu rulan bölgeler

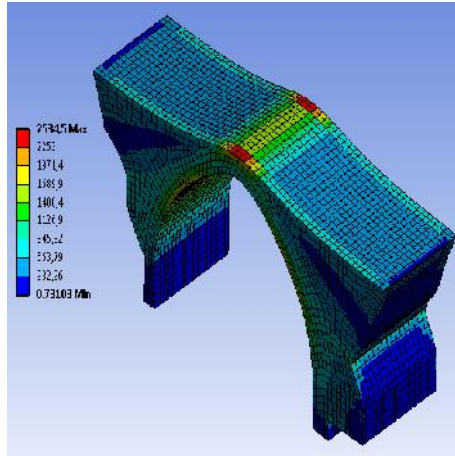


ekil 6. Tarihi Sarpedere Yı ma Köprüsü sonlu eleman modeli

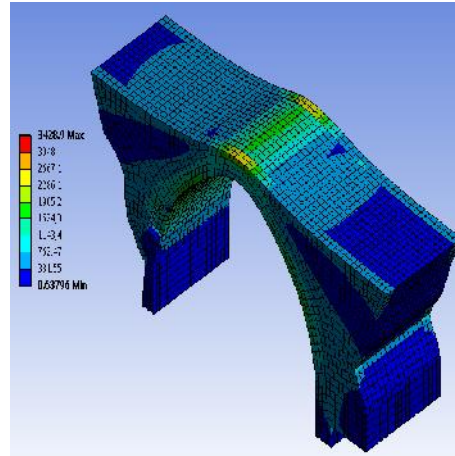
### 3. SONLU ELEMENLER ANALİZ BULGULARI

Sarpedere köprüsünün sonlu elemanlar model analizi hasarsız durum, hasarlı durum ve güçlendirilmiş durumlar (takviye elemanının rijitliğinin orijinal eleman rijitliğinden %30 ve %50 daha fazla) analizleri 1999 Kocaeli depreminin response spectrum de erleri kullanılarak, analizleri gerçekleştirilmiş ve yapının dinamik etkiler altında davranışını incelenmiştir. Her bir durum için yapının genelinde meydana gelen Von-Mises gerilme de erleri ve yapının uzunluğu boyunca orta aksında meydana gelen düşey yönde ötelenmeler elde edilmiştir ( ekil 7 ve 8). Ayrıca bütün durumlar için yukarıda bahsedilen hasar verimli bölgelerde, hem elemanlar için hem de elemanların komulu elemanları üzerinde meydana gelen Von-Mises gerilme de erleri bulunmuştur ( ekil

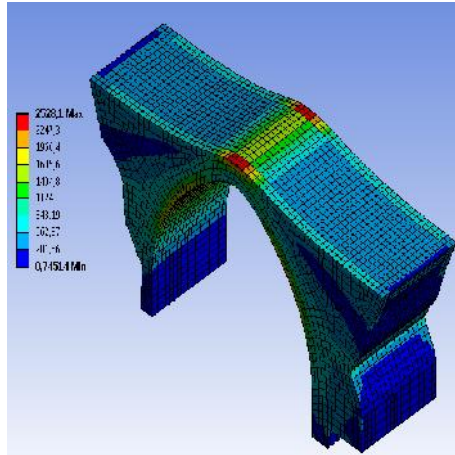
9 ve 10). Şekillerden de görüleceği gibi hasarlı durumda yapının Von-Mises gerilme değerleri önemli ölçüde artmaktadır. Buna karşın yapıda oluşan düey yöndeki yer değiştirmelerde elemlerinin hasarsız durumda çok büyük farklılıklar meydana getirmemiş görülmektedir. Hasarsız durum ve daha rijit eleman kullanılarak güçlendirilme yapılmış durum göz önüne alındığında, hem elemanlar bazında hem de bu elemanlara komşu elemanları bazında Von-Mises gerilme değerlerinde önemli ölçüde değişimler gözlemlenmiştir. Bunun aksine, yapının genel dinamik davranışının düey yönünde hasarsız durumda elde edilen Von-Mises gerilme değerlerinin güçlendirilme yapılmış durumda elde edilen değerlerden çok farklı olmadığı belirlenmiştir.



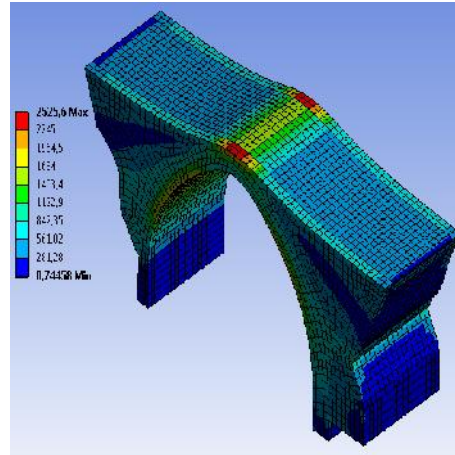
(a)



(b)

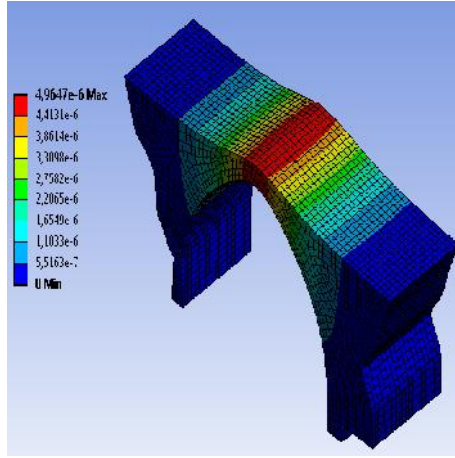


(c)

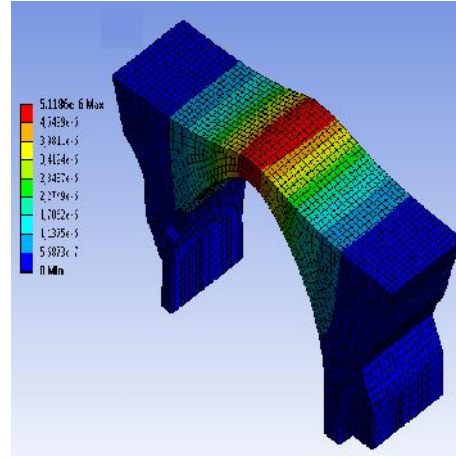


(d)

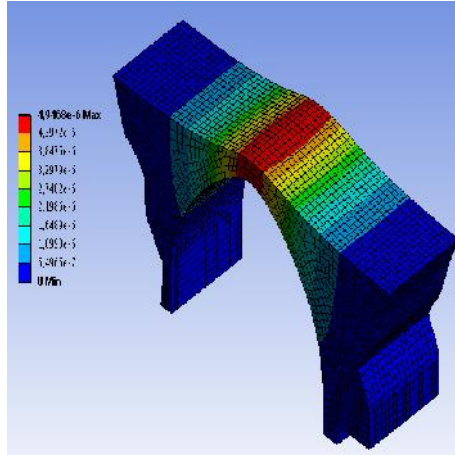
Şekil 7. Von-Mises gerilme dağılımları, (a) hasarsız durum, (b) hasarlı durum, (c) %30 daha rijit malzeme kullanılarak güçlendirme durumu, (d) %50 daha rijit malzeme kullanılarak güçlendirme durumu



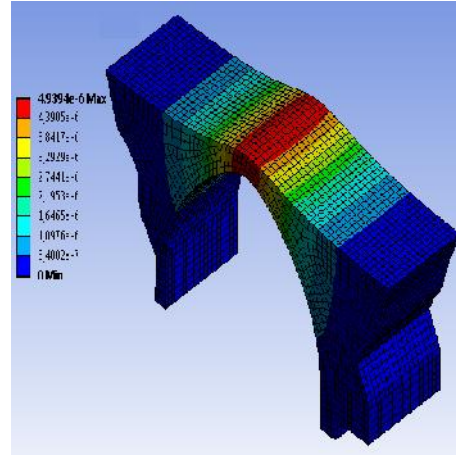
(a)



(b)



(c)



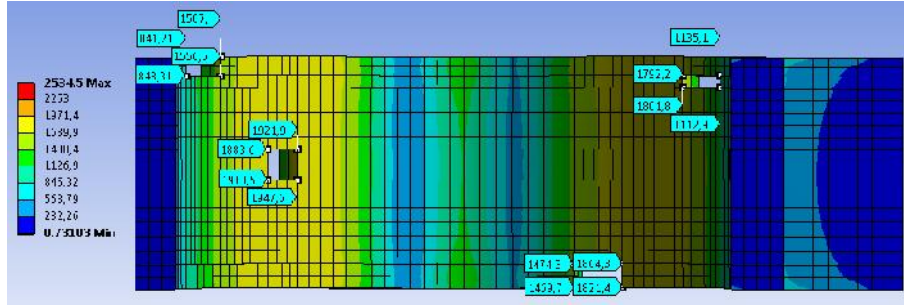
(d)

ekil 8. Köprü uzunluğuna orta aksı boyunca yer de i tirme da ılımları, (a) hasarsız durum, (b) hasarlı durum, (c) %30 daha rijit malzeme kullanılarak güçlendirme durumu, (d) %50 daha rijit malzeme kullanılarak güçlendirme durumu

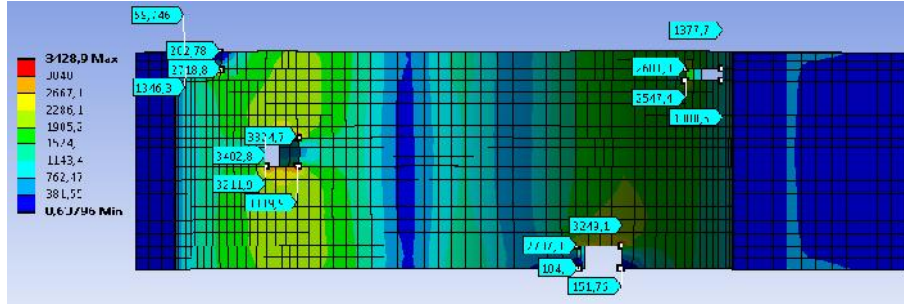
#### 4. BULGULARIN KARILAŞTIRILMASI

Bu kısımda bütün durumlar için köprü model analizinde elde edilmiş de gerilimlerin birbirleri ile karşılaştırılması yapıldı, de gerilimlerin grafiksel olarak sunulması ve anlamlarının gösterilmesi amaçlanmaktadır. Yapının kemer kısmında belirlenen bölgelerin hasarsız, hasarlı ve güçlendirilme uygulanmış durumları için elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Yukarıda da belirtildiği gibi, yapının bu çalışmada belirlenen bölgelerinde hasar oluşumu olması durumunda yapının geneline bakıldığında Von-Mises gerilmelerde önemli ölçüde artış gözlemlenmiştir. Bu gerilme artışı, hasarlı durumun hasarsız ve güçlendirilmiş durumları arasındaki farkta yaklaşık %40 kadardır. Bunun aksine hasarsız ve güçlendirilme uygulanmış modeller incelendiğinde Von-Mises gerilim de gerilimlerinde önemli bir değişim olmadığı belirlenmiştir.

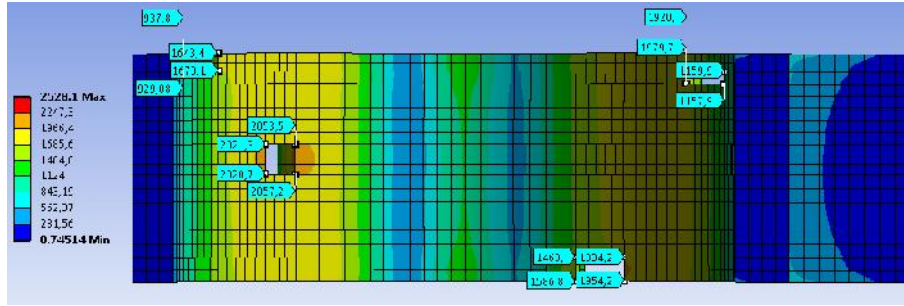
Buna ilaveten yapının yer de i tirme de gerilimleri incelendiğinde, hasarlı durum için elde edilen en büyük yer de i tirme de geriliminin hasarsız ve güçlendirilme uygulanmış durumlar için elde edilen sonuçlardan azda olsa daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Bu farkın az olması verilen hasarın büyüklüğünün yer de i tirme de gerilimlerini önemli ölçüde de i tirebilecek kadar büyük olmadığını düşündürmektedir.



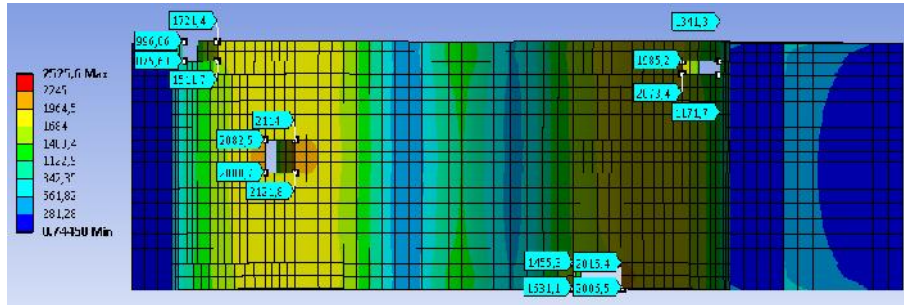
(a)



(b)

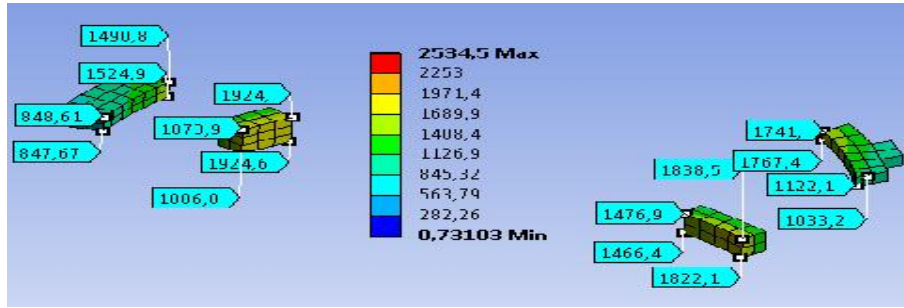


(c)

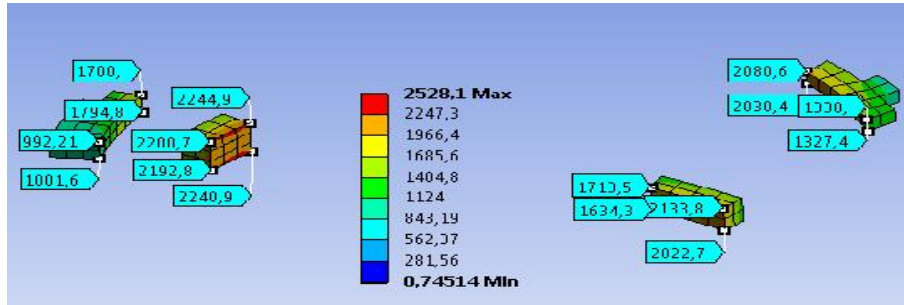


(d)

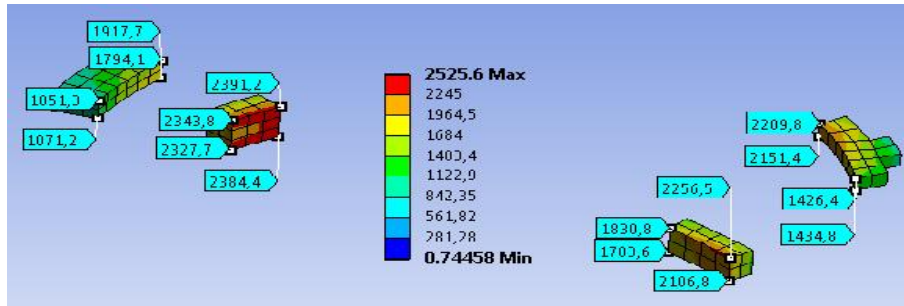
ekil 9. Köprü kemer kısmında ilgili bölgeler için Von-Mises gerilme dağılımları a) hasarsız durum, (b) hasarlı durum, (c) %30 daha rijit malzeme kullanılarak güçlendirme durumu, (d) %50 daha rijit malzeme kullanılarak güçlendirme durumu



(a)



(b)



(c)

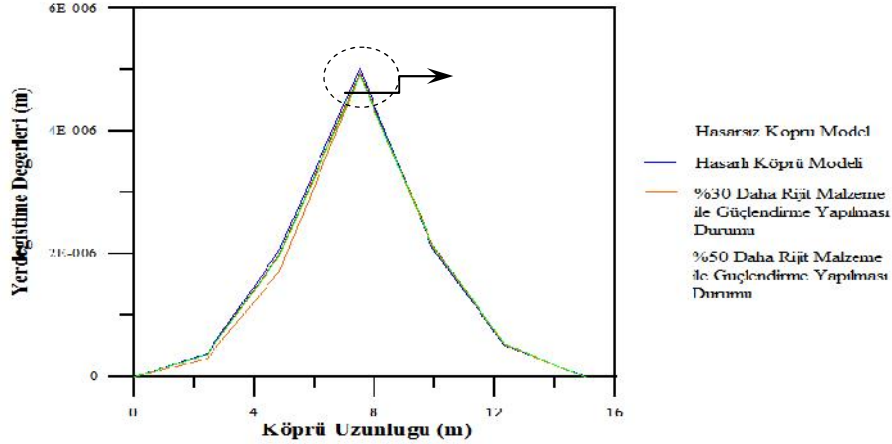
ekil 10. İlgili bölgede elemanları üzerinde oluşan Von-Mises gerilme dağılımları, a) hasarsız durum, (b) %30 daha rijit malzeme kullanılarak güçlendirme durumu, (c) %50 daha rijit malzeme kullanılarak güçlendirme durumu

ekil 11 de yapının üst gövde bölgesinde orta aksı uzunluğuna boyunca elde edilen düzlemsel yer deformasyonları grafiksel olarak sunulmuştur. Ekilde de görüleceği üzere her 4 durum için yapıda meydana gelen en büyük yer deformasyonları yapının ortasında yan açıklıkta meydana gelmektedir. Hasarlı köprü modelinden elde edilen en büyük yer deformasyonları hasarsız ve güçlendirilmiş durum göz önüne alındığında %2 daha büyük olmaktadır.

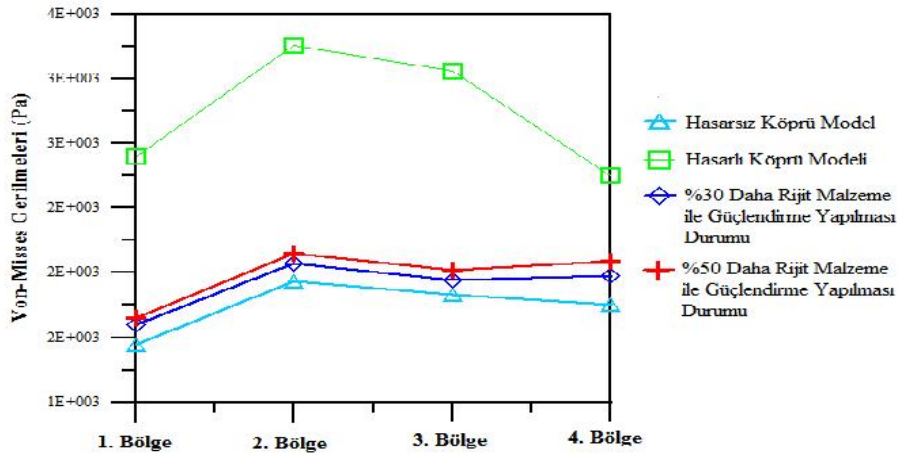
Yapının genel davranışının aksine belirlenen bölgelerdeki Von-Mises gerilme dağılımları hasarsız, hasarlı ve güçlendirilmiş uygulamaları için çok farklılık göstermektedir (ekil 12). Hasarlı durum ile diğer üç durum karşılaştırıldığında elde edilen Von-Mises gerilmesinin hasarsız durumda önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Hasarlı durum ile hasarsız durum karşılaştırıldığında belirlenen bölgeler etrafında en büyük gerilmelerde meydana gelen artış 1., 2. ve 3. bölgelerde yaklaşık %75, 4. bölgede ise yaklaşık %45 olarak elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmanın en önemli noktalarından biri de güçlendirilmiş yapıların hasar bölgesinin etrafında meydana gelen Von-Mises gerilmesinin hasarsız köprü modelinden elde edilen gerilme değerlerinden daha yüksek olmasıdır. Hasarsız durum ile %30 daha rijit eleman kullanılarak yapılan güçlendirilmiş durumu karşılaştırıldığında her bölge için ortalama yaklaşık %8 daha yüksek gerilme değerleri elde edilmiştir. Hasarsız durum ve %50 daha rijit eleman kullanılarak yapılan güçlendirilmiş durumu



karşılaştırıldığında gerilme değerleri bu 4 bölge için ortalama yaklaşık %12 değerlerine gelmektedir. Bu durum güçlendirme yapılan elemanın rijitliğinin yapıdaki orijinal elemanlara göre daha yüksek olması durumunda hasar bölgelerinin komşu elemanlarında gerilme değerlerinde artış olacağını göstermektedir.

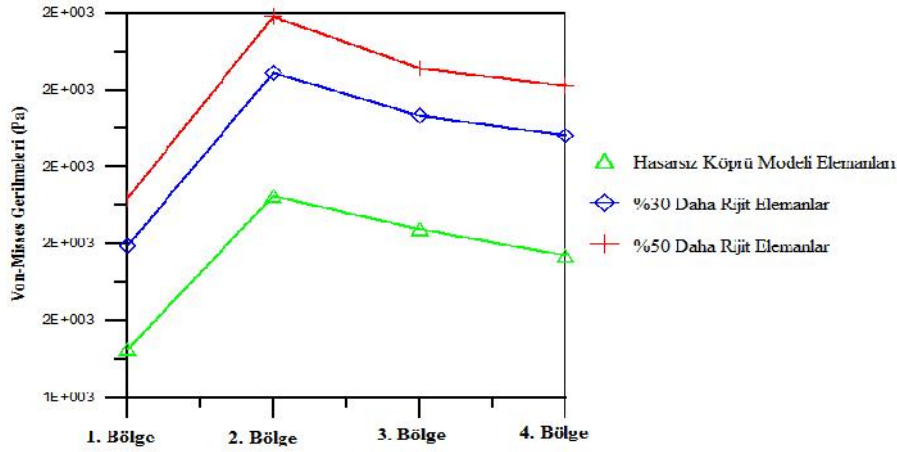


ekil 11. Yapının uzunluğu boyunca elde edilen düşey yönde yer deyişimleri



ekil 12. Seçilen bölgelerdeki komşu elemanlarda oluşan Von-Mises gerilme değerleri

Seçilen bölgelerdeki komşu elemanlarda meydana gelen gerilme değerlerindeki değişim hasarsız durumda seçilen bölgelerdeki güçlendirilme yapılacak daha rijit elemanlar ile karşılaştırıldığında yukarıda belirtilen bilgilerle paralellik gösterdiği görülmektedir. ekil 13'de hasarsız yapıdaki seçilen bölgelerdeki elemanlar ile güçlendirilme yapılacak olan daha rijit elemanlarda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri gösterilmektedir. ekilden de anlaşılacağı üzere hasarsız modelde seçilen bölgelerde meydana gelen gerilme değerleri diğer durumlara kıyasla daha düşük olmaktadır. Hasarsız modeldeki elemanlar üzerine gelen gerilmelerle %30 daha rijit elemanlar üzerine gelen gerilmeler karşılaştırıldığında ortalama yaklaşık %17 gerilme artışı gözlemlenmektedir. Bu durumun %50 daha rijit elemanlar üzerine gelen gerilmeler incelendiğinde %25 gerilme artışı belirlenmiştir.



ekil 13. Seçilen bölgelerdeki elemanlarda oluşan Von-Mises gerilme değerleri

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada tarihi yapı bir köprünün hasarsız, hasarlı ve hasar bölgelerine daha rijit malzeme kullanılarak güçlendirilme uygulanması yapılmıştır. Durumları göz önüne alınarak 1999 Kocaeli deprem ivme kayıtlarının response spectrum değerleri kullanılarak dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarında her bir durum için yapının genelinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri ile yer deformasyonları elde edilmiştir. Ayrıca yapının bahsedilen her durum için hasar bölgesinde hem eleman bazında hem de komşu (lokal) elemanlar bazında Von-Mises gerilme değerlerindeki değişimler incelenmiştir.

Yapılan bu çalışmada, yapıda tarihi köprülerde meydana gelebilecek bir hasarın, yapının genel davranışını olumsuz yönde etkilediği ortaya çıkmaktadır. Bunun aksine bu çalışmada bahsedilen şekilde yapılacak güçlendirme çalışmasının yapının genel davranışını üzerinde olumsuz etkisi önemsenmeyecek kadar az olduğu ortaya çıkmaktadır.

Analiz sonuçlarına bakıldığında, şimdiye kadar yapılan güçlendirme çalışmalarında göz ardı edilen daha rijit bir malzeme ile iyileştirme yapılan lokal bölgelerdeki (bölge civarında) gerilme dağınıklarında hasarsız duruma göre önemli ölçüde artış olduğu görülmektedir. Bu gerilme artışı, hem güçlendirilme için kullanılacak elemanlar üzerinde hem de bu elemanlara komşu elemanlar üzerinde meydana gelmektedir. Meydana gelen bu gerilme artışı, güçlendirme elemanlarının daha rijit olmasından dolayı karılabilir. Fakat iyileştirme yapılan bölgelerin yakınındaki hasarsız ve orijinal elemanlarda (lokal güçlü bölgeye komşu elemanlar) bu gerilme artışı, daha az mukavemete sahip elemanlar tarafından tahmin edilemez anlamına geldiğinden, yapısal dayanım için önemli bir olumsuzluk olacaktır. Bundan dolayı özellikle bulunduğu ülkenin tarihi dokusunu yansıtan ve kültür mirası olan tarihi yapı yapılarında yapılacak güçlendirme çalışmalarında, yapının genel davranışını üzerindeki etkisinin araştırılması yanında, güçlendirme yapılan bölgenin de hassas bir şekilde incelenmesinin gerektiği sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] ANSYS, Swanson Analysis System., Canonsburg, PA: Ansys, Inc., 2013.
- [2] Borri A., Casadei P., Castori G., Hammond J. (2009). Strengthening of brick masonry arches with externally bonded steel reinforced composites. *Journal of Composites for Construction* 13:468-475.
- [3] Foraboschi P. Strengthening of Masonry Arches with Fiber-Reinforced Polymer Strips (2004). *Journal of Composites for Construction* 8:191-202.
- [4] Gago A. S., Proença J. M., Villar M.(2012). Seismic strengthening of masonry buildings with reinforced concrete floor slabs. *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Portugal*.
- [5] Oliveira D. V., Costa V.M., Sousa J.F., Lourenço P.B. (2010). Diagnosis and repair of a historic stone masonry arch bridge. *6th Int. Conf. Arch Bridg. China* 817–823.
- [6] Oliveira D.V., Basilio I., Lourenço P. B. (2010). Experimental behavior of FRP strengthened masonry arches. *Journal of Composites for Construction* 14:312-322.
- [7] Resemini S. (2003). Vulnerabilità sismica di ponti ad arco in muratura di pietrame (in Italian), Università degli Studi di Genova
- [8] Resemini S., Lagomarsino S. (204). Vulnerabilità Sismica dei Ponti Ferroviari ad Arco in Muratura, in: XI Congr. Naz., L'ingegneria sismica in Italia, [http://books.google.com.tr/books/about/Vulnerabilit%C3%A0\\_sismica\\_dei\\_ponti\\_ferrov.html?id=OULsoAEA CAAJ&pgis=1](http://books.google.com.tr/books/about/Vulnerabilit%C3%A0_sismica_dei_ponti_ferrov.html?id=OULsoAEA CAAJ&pgis=1)
- [9] Triantafillou T .C ., Fardis M. N. (1997). Strengthening of historical masonry structures with composite materials. *Materials and Structures* 30:486-496
- [10] Ural A. (2005). Tarihi kemer köprülerin sonlu eleman metoduyla analizi. *Deprem sempozyumu, Kocaeli*