

Depremde Tasarım Faktörünün Rolü ve Yerel Malzemelerle Yapısal Yenileme: İran-Bam Kentindeki Büyük Depremde Kültürel Mekânların Kırılganlığı

Zeynep YAZICIOĞLU HALU ^{1*}, Sana BOZORGİ ², Parisa ALAHVERDİ ³

ORCID 1: 0000-0003-3783-954X ORCID 2: 0009-0007-0580-1287 ORCID 3: 0009-0003-9848-9763

¹ İstanbul Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 34116, İstanbul, Türkiye

²⁻³ İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, 34116, İstanbul, Türkiye

* e-mail: zeynep.yaziciogluhalu @istanbul.edu.tr

Öz

Günümüzde, doğal, biyolojik, teknolojik ve sosyal afetler, toplumların normal yaşam düzenini bozan ve onun uyum sağlama kapasitesini aşarak yardıma gereksinim duyan olaylardır. Toprak/hava/su kirliliği, salgın hastalıklar, nükleer/radyolojik/kimyasal kazalar, savaş, terör saldırıları ve göç gibi afetlerin bir kısmı direk insan kaynaklıdır. Bu değerlendirmeye deprem gibi doğal afetlerde, depremlerin ani ve beklenmeyen bir zamanda olmaları sebebiyle, insan faktörü az etkili görülmektedir. Ancak gerekli mühendislik ve mimarlık hizmeti almış yapılar depremlerle uyumlu davranış sergileyebilmektedir. Bu makalede depremde insan kaynaklı faktörlerin sebep olduğu yıkım, İran'ın Bam kenti bağlamında ele alınmıştır. UNESCO Dünya Mirası Listesi'nde yer alan Bam, önemli tarihi ve kültürel mekânlarıyla İran'ın öne çıkan şehirlerindedir. 2003 yılında meydana gelen 6.6 büyüklüğündeki deprem, kentteki dini ve tarihi yapıları yıkıcı bir şekilde etkilemiştir. Bu makalede kentin önemli yapıları arasındaki Arg-ı Bam (Bam Kalesi), Ulu Camii ve Hanasayi Fabrikası'nın insan kaynaklı tasarım faktörlerinden nasıl etkilendiği ve deprem dirençli hale getirilmeleri süreci, yapım tekniği ve kerpiç malzeme bağlamında açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Depremde insan kaynaklı faktörler, yenileme, kerpiç, Bam depremi, Arg-ı Bam.

The Impact of Design Factors and Structural Renovation Using Local Materials: The Vulnerability of Bam's Cultural Spaces in the Great Earthquake

Abstract

Natural, biological, technological, and social disasters disrupt societies' everyday lives today. Some disasters, such as pollution, epidemics, nuclear/radiological/chemical accidents, terrorist attacks, and migration, are directly human-induced. The human factor seems less effective in natural disasters like earthquakes since they are sudden and unexpected. However, structures that receive engineering and architectural design can exhibit behavior compatible with earthquakes. This article focuses on the destruction caused by man-made factors during the 2003 earthquake in Bam, Iran. In the UNESCO World Heritage List, Bam is one of the prominent cities of Iran with its historical and cultural sites. The 6.6 magnitude earthquake had a devastating effect on the religious and historical structures in the city. This article explains the earthquake-resistant construction techniques and adobe materials used for essential structures in the city, such as Arg-ı Bam (Bam Castle), Ulu Mosque, and Hanasayi Factory.

Keywords: Man-made factors, restoration solutions, adobe, Bam's earthquake, Arg-ı Bam.

Citation: Yazıcıoğlu Halu, Z., Bozorgi, S. & Alahverdi, P. (2023). The Impact of design factors and structural renovation using local materials: The vulnerability of Bam's Cultural Spaces in the great earthquake. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 8 (Special Issue), 471-486

DOI: <https://doi.org/10.30785/mbud.1335734>



1. Giriş

Doğal, biyolojik, teknolojik ve sosyal afetler günümüzde toplumların günlük yaşamlarını alt üst etmektedir. Kirlilik, salgın hastalıklar, nükleer/radyolojik/kimyasal kazalar, savaş, terör saldırıları ve göç gibi bazı felaketler doğrudan insan kaynaklıdır. Ancak deprem, yangın, sel ve heyelan gibi doğal ve ekolojik afetlerin genellikle salt doğa kaynaklı olduğu düşünülmekte ve bu şekilde ele alınma eğilimindedir. Bu değerlendirme ile özellikle depremin ani ve beklenmedik bir afet olması sebebiyle, insan faktörünün depremin yıkıcılığındaki etkisinin daha az olduğu düşünülmektedir. Ancak gerekli mühendislik ve mimari hizmetleri alan yapılar depreme uyumlu davranış sergileyebilmektedir. Dolayısıyla depremlerin yıkıcılığı üzerinde insan kaynaklı faktörlerin önemli bir etkisi vardır.

Bu bağlamda, kentlerin depremlere karşı savunmasızlığını etkileyen faktörler iki genel kategoriye ayrılabilir. Birincisini depremin doğasından kaynaklanan ve insan etkisinin olmadığı *doğal faktörler* oluşturur. Bu faktörler, depremin sismik dalga boyları, kentin fay hattına olan uzaklığı, depremin maksimum ivmesi ve süresi olarak sıralanabilir (Zangabadi, Varesi ve Derakhshan, 2010).

Kentleri depreme karşı savunmasız kılan ikinci grup etken ise *insan kaynaklı faktörlerdir*. Kentlerin deprem üretebilecek fay hatlarında veya yakınında kurulması; yerleşimin zemin yapısı ile kurduğu ilişki; zemin yapısı bağlamında yapıların depreme uygun malzeme, yapım tekniği ve yapım sürecini geçirmesi; kentin geçirdiği değişim ve dönüşüm süreci; kentin içerdiği yapılar topluluğunun deprem dirençli olması ve yaşayanların deprem bilincine sahip olması gibi faktörler doğrudan insan kaynaklı faktörlerdir (Zangabadi ve diğerleri, 2010). Yeni kurulacak kentlerde ve yerleşim alanlarında tüm bu insan kaynaklı faktörlere dikkat edilmesi ile deprem dirençli kentler oluşturulabilir. Kentlerin deprem gerçekleşmeden depreme dirençli hale getirilmesi hem can güvenliğinin sağlanması açısından çok önemlidir hem de kentlerin kimliğinin korunması ve devamlılığı için büyük önem taşımaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde tarihi kentlerin deprem dirençli hale getirilmesi ile kentin ruhunun korunması sağlanabilir. Her kentin dini ve kültürel mekânları, kent sakinlerinin kültür, inanç ve geleneklerini yansıtmada önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, bu binaların korunmasında ve restorasyonlarının yapımında insan kaynaklı faktörlerin göz önünde bulundurulması önemlidir. Deprem olmadan, tarihi yapıların envanterinin çıkarılması ve belgelenmesi gerekmektedir. Tarihi yapıların zemin etüdünün yapılması, gerekliyse zemin güçlendirmelerinin sağlanması, tarihi yapılarda kullanılan yerel ve özgün malzemeler göz önünde bulundurularak bu malzemelere uygun yapım teknikleri ve yapım süreçleri ile tarihi yapıların deprem dirençli hale getirilmesine çalışılmalıdır. Deprem olduktan sonra, deprem öncesinde yapılmış olan envanter çalışmalarının değerlendirilmesiyle, oluşan hasarların giderilmesi sağlanabilir. İnsan kaynaklı faktörler sebebiyle oluşmuş olan hasarların belirlenmesiyle tarihi yapılar yeniden inşa edilebilir.

Bu makale, tarihi kentlerin deprem dirençli hale getirilmesinin önemi bağlamında kurgulanmıştır. Deprem olmadan önce gerekli yenileme ve restorasyon çalışmaları yapılmamış olan ve deprem olduktan sonra kültürel varlığında büyük kayıp yaşamış olan İran'ın Bam kenti vaka çalışması olarak seçilmiştir. 2003 yılında Bam'da gerçekleşmiş olan 6,6 büyüklüğündeki depremde kent büyük tahribat görmüş, kültürel ve dini mekânlarında büyük kayıplar yaşanmıştır. Fay hatları üzerinde kurulmuş olan kent, deprem öncesinde insan kaynaklı faktörlere dirençli hale getirilmemiştir. Ancak deprem sonrasında kent UNESCO Dünya Mirası Listesi'ne alınmış ve çeşitli restorasyon ve yenileme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmada, Bam'daki kültürel ve dini mekânların, deprem sonrasında yenilenmeleri sırasında yerel malzemelerin yenilikçi yöntemlerle kullanılmasına dair literatür, örnekler üzerinden incelenmekte ve sonuçları irdelenmektedir.

2. İran-Bam Kentindeki Büyük Depremde Kültürel Mekânların Kırılabilirliği

Kent kurgusundan, kentin barındırdığı yapıların yapısal durumuna kadar pek çok insan kaynaklı faktör, depremlerde meydana gelen tahribatın önemli bir etmenidir. İran'ın Bam kentindeki büyük depremde de insan kaynaklı faktörler sebebiyle, dini ve kültürel yapıların kırılabilirliği görülmüştür. Dünya genelinde tespit edilen 40 farklı afet türünden 30'unun İran'ı tehdit etmesi (Sistanehei, Rezapour, Mahmoudi, Tafreshi, Ahmadvand ve Zahabi, 2006) İran açısından kriz zamanlarında önlem alınması ve hazırlıklı olunması gerektiğini göstermektedir. Bu sebeple, sürdürülebilir kalkınma sağlamak için, toplumdaki yaşam çevresini iyileştirmek, konutların depremlere karşı güvenliğini sağlamak ve var olan

kültürel miras yapılarını güçlendirmek için geleneksel inşaat yöntemlerini depreme uyumlu hale getirerek yeni yapı teknolojileri standartlarını yakalamak gerekmektedir.

26 Aralık 2003'te meydana gelen 6.6 büyüklüğündeki Bam Depremi, kentteki yapıların konumu, yapı malzemelerinin kalitesi, yapıların tasarımı ve inşaat teknikleri gibi insan kaynaklı faktörlerdeki eksiklikler sebebiyle, büyük yıkıma sebep olmuştur. Bu felaket sonucunda, değerli kültürel ve tarihi miras olarak kabul edilen Arg-ı Bam neredeyse tamamen ortadan kalkmış ve kentin %80'den fazlası yerle bir olmuştur(Fallahi, 2007). Yüksek nüfus yoğunluğu ve bina kat sayıları, deprem sonrası barınma ve yardım sağlama hızını olumsuz etkileyerek insan kayıplarının sayısının artmasına sebep olmuştur. Yüksek kat sayılarına sahip binaların devrilerle yolların kapanmasına yol açması nedeniyle moloz ve enkazların kaldırılması da güçleşmiştir. Bu durum, acil yardım ve kurtarma çalışmalarının etkin bir şekilde yürütülmesini de engellemiştir.

Bam'daki depremde, deprem öncesinde yapılmış/yapılmamış olan insan kaynaklı faktörler, dini ve kültürel mekânların büyük zarar görmesine neden olmuştur. Bam'da deprem sonrasında, depremin etkilerinin en aza indirilmesi ve toplumun güvenliğinin sağlanması için hızlı bir şekilde yeniden imar çalışmalarına başlanmıştır, özellikle dini ve kültürel mekânların yeniden inşası için tedbirler alınmıştır. Restorasyon çözümleri, deprem sonrası tahrip olan dini ve kültürel mekânların onarılması ve korunması için büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple, kentin yeniden inşa sürecinde, depreme dayanıklı ve yüksek kalite standartlarına uygun inşaat malzemeleri tercih edilmiştir. Mukavemeti yüksek olan bu yapıların, gelecekte olası depremlere karşı daha dayanıklı olması amaçlanmıştır. Bam'daki restorasyon sürecinde, mimari detayların korunmasına özen gösterilmiş ve geleneksel yapı tekniklerinin yanında güncel teknolojilerin de kullanılması hedeflenmiştir.

Sonuç olarak, 26 Aralık 2003'teki deprem, Bam'ın depremlere karşı savunmasızlığını ortaya koymuştur. Yeniden imar çalışmalarında inşaat malzemelerinin kalitesi, nüfus yoğunluğu, bina ve kat sayısı gibi insan kaynaklı faktörler dikkate alınarak, gelecekteki olası depremlere karşı daha güvenli ve dayanıklı bir kent yapısı oluşturulmaya çalışılmıştır.

2.1. Bam kentinin İran'ın Tarihsel Sürecindeki Yeri ve Önemi

Bam, İran'ın güneydoğusundaki Kirman eyaletinde bulunan, tarihi ve kültürel yönlerinin yanında sanayi açısından da önemli bir kenttir. Bam (Şekil 1). İran'ın başkenti Tahran'a 1200 km mesafededir (Hoseynpour, 2015). Kent, sıcak ve kurak (Lut Çölü'ne yakınlığı nedeniyle) iklime sahiptir ve kış aylarında yağış almaktadır. Yıllık ortalama yağış miktarı 68 mm. dir(Hoseynpour, 2015). Bam'ın sıcak ve kurak iklimi nedeniyle kentin yakın çevresinde hurma ağacı yetişmektedir. Bam kentinin % 70'ini hurma yetiştirme alanları kaplamaktadır. Bam'dan 10 km uzaklıktaki Baravat kentinde de 4000 hektardan fazla alanda hurma yetiştirilmektedir. Bam bölgesindeki 19.000 hektar alanda 3.800.000 hurma ağacı bulunmaktadır(Hoseynpour, 2015). Bam'ın çöl iklimi, turizm açısından da önemlidir. Yaz aylarında yüksek olan sıcaklıklar kış aylarında ılıman bir iklim sunmaktadır.



Şekil 1. Bam şehri İran haritası üzerinde (Hoseynpour, 2015)



Bam'daki Tel Ateşin arkeolojik sit alanının bulgularına dayanarak, kentin yaşının 7 ila 9 bin yıl arasında olduğu tahmin edilmektedir (Ahmadi, 2008). Kent, tarih boyunca, Sasani İmparatorluğu, İslam

İmparatorluğu, Büyük Selçuklu İmparatorluğu ve Safevi İmparatorluğu gibi pek çok medeniyetin etkisi altında kalmıştır (Hasani, 2020). Orta Çağ'da özellikle tuz, kumaş ve ipek ticareti ile ünlü olan Bam, Orta Çağ boyunca İpek Yolu üzerinde önemli bir ticaret merkeziydi. Şehir, 16. yüzyılda Safevi İmparatorluğu döneminde savunma amaçlı büyük bir kale inşa edilerek güçlendirilmiştir. Bam şehrinin birincil çekirdeğini oluşturan bu büyük kale kompleksi, İran'ın güneydoğusuna açılan kapı olarak bilinmektedir ve Bam Kalesi (Arg-ı Bam) olarak adlandırılmaktadır (Hasani, 2020). Günümüzde, Bam'ın Afganistan sınırına yakın bir konumda bulunması, bölgedeki siyasi ve güvenlik konularında önemli bir rol oynamaktadır. Aynı zamanda İran'ın güneyinden ve Umman Denizi'nden, Kirman eyaletinin (Kirman eyaletinin ilk büyük şehri) kapısıdır.

2.2. Bam Kentindeki Dini ve Kültürel Mekânlar

Bam şehri, tarihi ve kültürel açıdan oldukça zengin bir geçmişe sahiptir. Şehirde birçok dini ve kültürel mekân bulunmaktadır. Bu çalışmada Bam şehrinin üç önemli dini ve kültürel mekânı incelenmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Bam Şehrinin dini ve kültürel mekânlar

Dini ve Kültürel Mekanlar	Tanım	Resim
Arg-ı Bam(Bam Kalesi)	İran'daki en büyük ve en iyi korunmuş kalelerden biridir. Kale, tarihi ve kültürel açıdan oldukça önemlidir ve UNESCO Dünya Mirası Listesi'nde yer almaktadır.	
Arg-ı Bam'ın Ulu Camisi	Bu cami İslam'ın başlangıcında inşa edilmiş ve Kaçar dönemine kadar kullanılmıştır, Bu eser 2013 yılında İran millî eserlerinden biri olarak tescil edilmiştir.	
Hanasayi Fabrikası	İlk Pehlevi döneminde (1919) Bamlı bir tüccar tarafından yaptırılmıştır. Hanasayi Fabrikası kına üretimi için yapılmış bir fabrikadır. Bu yapının çatısı, Kerman'daki tarihi bir yapının en geniş çatısı sayılmakta olup, çatısı ısıcamlıdır. Günümüzde ise kına yapımını göstermek amacıyla müze olarak işlev görmektedir.	



Şekil 2. Arg-ı Bam depremden önce (üst fotoğraf) ve sonra (alt fotoğraf) (Nejati, 2008)

2.2.1. Arg-ı Bam (Bam Kalesi)

Orijinal işlevleri, mimari unsurları ve canlandırıcı manzarasıyla Arg-ı Bam (Bam Kalesi), İran antik kentlerinin ansiklopedisi olarak kabul edilebilir (Şekil 2). Arg-ı Bam, konut yapıları, camiler ve diğer dini merkezleri, okullar, hamam, spor salonu, kervansaray, çarşı, kahvehane, kışla, idari ofisler, geçitler ve yollar dâhil olmak üzere bir İran şehrinin tüm tipik alanlarını içermektedir (Şekil 3 ve 4).



Şekil 3. 1977'deki büyük onarımdan önce Arg-ı-Bam'dan hava fotoğrafı (Manafpour, 2004)



Şekil 4. Arg-ı Bam üst kalesi depremden önce (ön fotoğraf) ve depremden sonra (arka fotoğraf) (Mokhtari ve Shad, 2008)

Arg-ı Bam'de 2003 yılındaki depremin sebep olduğu yıkımın literatür taramasında tespit edilen nedenleri ile insan kaynaklı faktörler arasındaki ilişkiyi ve dini ve kültürel mekanların her birinin yıkım düzeyi üzerindeki etkisini incelediğimizde: İnşaat malzemelerinin yapıları gereği yeterli desteği sağlayamaması, yapıların mukavemetinin zamanla azalmış olması ve önceki restorasyonlarda uygun

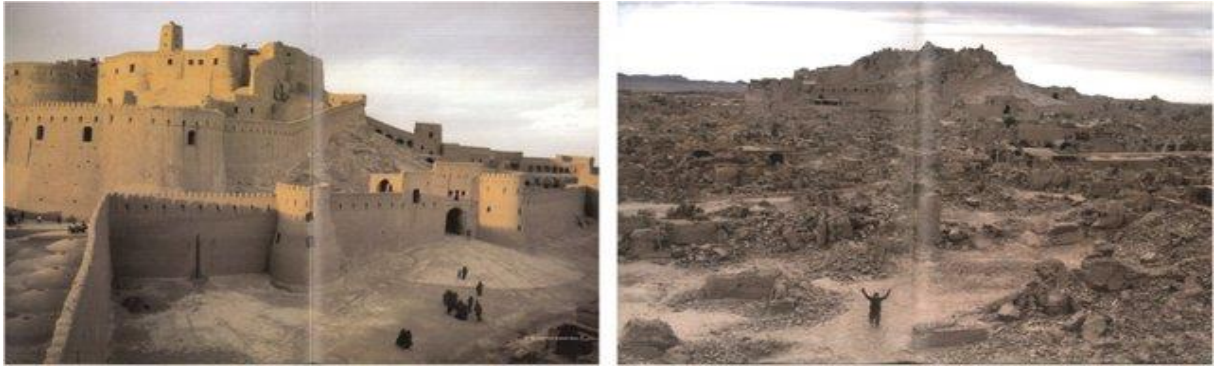
olmayan malzeme kullanımı, Bam kalesinin depremde büyük hasar görmesine neden olmuştur. Daha önce yapılan restorasyonlarda, bazı bölümler yetersiz desteklenmiş, yapılar sağlamlaştırılmamış ve uygun olmayan malzemeler kullanılmıştır (Şekil 5a, 5b). İnşaat kalitesi yönünden değerlendirildiğinde, asıl etkenin binanın uzun süre verimli bir koruma ve restorasyon programına dahil edilmeden kendi haline terk edilmiş olmasıdır (Şekil 6a, 6b). Nüfus yoğunluğu, kat sayısı ve bina yoğunluğu yönünden değerlendirildiğinde, bu yapının, diğer kentsel yapılardan uzakta bulunması sebebiyle, bu etkenlerin bu yapının depremdeki yıkım miktarını etkilemediği görülmektedir (Şekil 7a, 7b, 8, 9).



(a)

(b)

Şekil 5. (a) Arg-ı Bam Kalesi (depremden önce); (b) (depremden sonra) (Mokhtari ve Shad, 2008)



(a)

(b)

Şekil 6. (a) Arg-ı Bam Kalesi (depremden önce); (b) Arg-ı Bam Kalesi (depremden sonra) (Mokhtari ve Shad, 2008)



(a)

(b)

Şekil 7. (a) 2003 Bam depremi sırasında Bam Kalesi'nin ikinci kapısı ve çevresindeki kuleler; (b). Deprem sonrasında restorasyon aşamasında Bam Kalesi ve kuleleri, (Bam3DCG, 2016; Rouhi, 2017)



Şekil 8. Bam Kalesi'nin ikinci kapısı ve kulelerin deprem sonrasında restorasyon aşaması (Rouhi, 2017)

2.2.2. Arg-ı Bam'ın Ulu Camisi

Ulu Camii'de deprem ile insan kaynaklı faktörler arasındaki ilişkiyi ve bunların dini ve kültürel mekânların her birinin yıkım düzeyi üzerindeki etkisini incelediğimizde: İnşaat malzemeleri yönünden deprem öncesi restorasyon için iri samanlı kalitesiz kil kullanılması nedeniyle bu yapı yeterli dayanıma sahip olamamıştır ve yapının büyük bir bölümü depremde yıkılmıştır (Şekil 9a, 9b).

İnşaat kalitesi bağlamında değerlendirdiğimizde yapım tarihi 17. yüzyıla kadar uzanan yapıya deprem olmadan önce, doğru ve nitelikli restorasyon yapılmaması nedeniyle yıkımının etkisi büyük olmuştur.

Nüfus yoğunluğu, kat sayısı ve bina yoğunluğu bağlamında değerlendirdiğimizde ise yapının kent merkezinden uzakta olması sebebiyle çevresine bu ölçütler bağlamında zarar vermediği görülmektedir.



(a)

(b)

Şekil 9 (a) Ulu Caminin deprem hasarlı kapısı; (b) Ulu Caminin kapısının restorasyon sonrası görünümü (UNESCO World Heritage Center, 2004; Rouhi 2017)

2.2.3. Hanasayi Fabrikası

2003 depreminde yapının yaklaşık %30'u ayakta kaldığı görülmüş olan yapı günümüzde restore edilmiş durumdadır (Şekil 10.) Hanasayi fabrikası ile insan kaynaklı faktörleri arasındaki ilişkiyi ve bunların dini ve kültürel mekânların her birinin yıkım düzeyi üzerindeki etkisini incelediğimizde:

İnşaat malzemesi yönünden, binanın ana gövdesi tuğla cephele ham kilden yapılmıştır. Sıkıştırılmış kilin kullanılması sebebiyle depremlere karşı görece yüksek dayanıma sahiptir.

İnşaat kalitesi bağlamında değerlendirdiğimizde, deprem öncesinde binaya olası hasarlara karşı eklenmiş olan dış arka duvar binanın deprem dayanıklılığını önemli ölçüde artırmıştır.

Nüfus yoğunluğu ve kat sayısı yönünden değerlendirildiğinde ise, yapının ana cadde ve ara caddeye komşu olması ve bir yanında ticari binaların, diğer yanında konutların olduğu bir mahalleye komşu olması nedeniyle nüfus yoğunluğu, barınma, hizmet ve yardım sağlama hızı yönünden deprem sonrasında yapının yıkımının çevreye olumsuz etkisi olmuştur. Ancak yapının tek katlı olması sayesinde enkazın yolların kapanmasına olumsuz bir etkisinin olmadığı görülmektedir.



Şekil 10. Hanasayi Fabrikasının Depremden Sonra Duvarlarının Güçlendirilmesi (Hasani, 2020)

2.3. 2003 Bam Depreminden Önce Arg-I Bam (Bam Kalesi), Ulu Cami ve Hanasayi Fabrikası'nın Koruma Süreçleri

Arg-ıBam'ın kerpiç binaları 20. yüzyılın başından itibaren terk edilmiş ve yavaş yavaş yıkılarak binaların duvarları ve çatıları harabeye dönüşmüştür. Ancak 1945'ten itibaren Arg-ı-Bam ulusal anıt olarak kabul edilmiş ve koruma altına alınmıştır. 1958 yılında başlayan ilk onarım faaliyetleri, 1973 yılında kapsamlı restorasyona dönüşmüştür. Ancak bu ilk restorasyon faaliyetleri daha çok cephe ve yüzeylerin onarılmasına odaklanmıştır. Torabizadeh ve Saffari'nin (2018) belirttiğine göre, onarımlar kil, harç ve sıva kullanılarak yapılmıştır. Restorasyonların son aşamasında Arg-ı Bam'deki yapıları samanla güçlendirilmiş bir çamur tabakası ile sıvanmıştır. Manafpour'e (2004) göre, depremden önce Bam Kalesi'ne yapılan müdahalelerin zayıflıkları, 4 madde halinde sıralanabilir:

1. Öncelikle, daha önceki koruma çalışmalarının temel sorunu, anıtların depreme karşı güçlendirilmesinin öngörülemediği olmasıdır. Restore edilen kısımlarda, orijinal kısımlar ile onarımlar arasında uygun yapısal bağlantıların kurulmamış olması ve kopukluk olması nedeniyle, çoğu zaman Arg-ı-Bam'ın yapısal bölümlerinin diğer kısımlarından çok daha fazla hasar gördüğü görülmektedir.
2. İran'daki bazı kerpiç yapılarda temel geometrik formlar, gelen şoklara karşı yeterli direnci gösterse de, Torabizadeh ve Saffari'nin (2018) belirttiği gibi Kale içinde daha önce yapılan bazı müdahaleler, orijinal planlarda değişikliklere yol açarak deprem yüklerinin yan etkilerini artırmıştır. Ayrıca, Bam Kalesi'ndeki duvarların yapım, onarım ve yeniden inşa aşamalarından kaynaklanan farklı yoğunluk ve kohezyon değerlerine sahip malzemelerden oluşması sebebiyle, her aşamanın farklı sismik tepkiyi temsil ettiğini ve daha fazla değişikliğe maruz kalmış olan yapısal elemanların daha fazla yıkıma uğradığını belirtmişlerdir (Torabizadeh ve Saffari, 2018).
3. Nem ve yağmura maruz kalan bodrum kat duvarları deprem öncesi restorasyonlarda ele alınmamıştır. Aynı zamanda çatıların bozulan kısımları tam olarak güçlendirilmemiştir. Cepheye yapılan müdahalelere rağmen bodrum ve çatıların yenilenmemiş olması, yapıların depreme karşı daha zayıf olmasına sebep olmuştur (Langenbach, 2011).
4. Langenbach'a göre (2011) önceki müdahalelerde cephelere eklenmiş saz kaplamalar, orijinal duvarlara zarar vermiştir. Bu sebeple deprem sırasında duvarlara aşırı yük binmiş ve duvarlardaki baskı artırmıştır. Bunun sonucunda müdahale görmüş cephelerde yıkım daha fazla olmuştur. Bu faktörün neden olduğu sismik davranışın çeşitliliği, İç Kale'nin çeşitli yerlerinde görülebilmektedir. Örneğin depremden önce tamamen harap olan ve herhangi bir özel onarım görmemiş olan Konari Mahallesi depremde çok daha az hasar görmüştür.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. 2003 Bam Depremi Sonrasında Arg-ı Bam'ın Yeniden Yapılanma Sürecinde Önerilen Yenilikçi Teknikler

12 saniye sürmüş olan Bam depremi, richter ölçeğine göre 6.6 büyüklüğünde olmuştur. İran'ın Erdebil ve Damğan depremlerinden sonra yaklaşık 41.000 kişinin ölümüyle İran tarihindeki en ölümcül üçüncü deprem olmuştur. Arg-ı Bam'ın da büyük bir bölümü yerle bir olmuştur (Taheri, Naserieh, Ghafoorian-Nasab, 2004). Böylesi büyük bir yıkımın ardından tarihi yerleşimin yeniden yapılanmasında yerel malzemelerin yenilikçi çözümler ile ele alınması amaçlanmıştır. Bu noktada şehrin 2004 yılında UNESCO Dünya Mirası Listesi'ne alınması ile yeniden yapılanmada kullanılacak teknikler uluslararası akademik çevrelere de ulaştırılmıştır (UNESCO, 2004).

Özellikle Bam'de kurulmuş olan restorasyon şantiyeleri ve şantiye raporlarına dair RPBCH, (2008); Nejati, (2008); Mokhtari ve Shad (2008)'in yaptığı yayınlar başta olmak üzere Mokhtari, Nejati ve Said, (2008); Kannari, Karimi ve Poureydivand (2020); Fallahi, (2007); Aveta, Marino ve Rouhi (2017); Hasani (2020) restorasyon süreçlerini ve bu süreçlerde önerilen yenilikçi teknikleri saha gözlemlerine dayandırarak şu şekilde açıklamaktadır:

Sahada kullanılan ilk yöntemde harçların nasıl olması gerektiği üzerinde durulmakta ve yeni harç karışımları denenmektedir. Bu harçların doğru zamanda ve doğru enjeksiyon tekniği ile uygulanması amaçlanmaktadır. İkinci yöntemde ise, büyük çatlakların dikilmesi ve sabitlenmesi için germe elemanları ve enjeksiyon malzemelerinin kullanıldığı belirtilmektedir. Üçüncü yöntem, kerpiç duvarların dikey fiberglas çubuklarla güçlendirmesini içermektedir. Dikey olarak yerleştirilen fiberglas çubuklar zemine beton ankrajlarla bağlanır. Bu uygulamada, 100 cm ara ile 10 cm genişliğinde kazılar yapılmış olup, çukurların derinliği zemin seviyesinden 1,5 metre aşağıdadır. Sondaj delikleri kil süspansiyonu ile doldurulmuş ve duvarların en yüksek kısmına düşey ankrajlar bağlanmıştır. Dördüncü yöntem, kerpiç duvarların cam elyaf ağlarla yatay olarak kaplanmasıdır. Bu durumda, her 0,50 m yükseklikte, duvardaki yatay bağlantıya bir cam elyaf ağ tabakası yerleştirilmiştir. Buna ek olarak, dikey ankrajlara yatay bir fiberglas çubuk sabitlenmiştir (Şekil 11). Beşinci Yöntem, Kerpiç çatıların ve cephelerin cam elyafı ağlarla kaplanmasıdır. Kerpiç çatı ve cephelerin iç bütünlüğünün iyileştirilmesi için kerpiç cephe ve enine kemerler ile tonoz sectroidlerinde de aynı fiberglas file uygulanmış ve yatay derzlerde kullanılmıştır. Sonrasında, geleneksel kerpiç yüzey kaplaması kafesleri ile kaplanmıştır.



Şekil 11. (a) Kerpiç duvarların dikey olarak fiberglas çubuklarla güçlendirilmesi ve kerpiç duvarların yatay olarak fiberglas ağlarla kaplanması; (b ve c) kerpiç çatıların iç ve dış kısımlarının cam elyaf ağların döşenmesi yoluyla stabilizasyonu; (d) 1 No'lu Kule'nin cephesinin fiberglas ağlarla stabilize edilmiş hali. (Aveta, Marino ve Rouhi, 2017)

Altıncı yöntemde, zemin altına dairesel kesitte kirişler döşenerek ve polipropilen borular kullanılarak kil duvarların sismik direnci arttırılmaya çalışılmıştır. Kemerleri taşıyan kolonların yüksekliğinde altı fiberglas çubuktan bir halka kiriş yapılarak ve borular kemer yaylarına uyarlanarak kemerler desteklenmiştir. Bu yöntemde tuğlaları yapıştırmak için non-invasiv, yani daha az yıkıma ve müdahaleye ihtiyaç duyularak binaları ve yapıları onarmak, değiştirmek ve iyileştirmek için bir dizi yöntem ve teknolojiyi kullanılmıştır Böylelikle tuğlalara açılan küçük deliklere fiberglas bağlantılar yapılmış ve böylelikle yatay bağlantılarla yapı güçlendirilmiştir.



Şekil 12. (a) Arg-i-Bam 1 No'lu Kule'de bağlama ve ankraj işlemi ve (b) Bam Kalesi'ndeki Sistani Evi'nde bağlantı çubuklarının bağlanması ve ankraj ile duvar-çatının iç takviyesi (Aveta, Marino ve Rouhi, 2017).

3.2. Arg-ı- Bam'ın Yeniden Yapılanma Sürecinde Önerilen, Yerel Olarak Bulunabilen ve Modern Malzemeler

3.2.1. Kerpiç karışımına hurma lifleri eklenerek güçlendirilmiş kerpiç tuğla üretimi:

Deprem sonrasında restorasyon çalışmalarına dahil olan Dresden Teknik Üniversitesi'nden bir ekip, farklı malzemeler üzerinde bir dizi test yaptıktan sonra, kerpiç tuğlaların güçlendirilmesi için uygun yerel malzemenin, yakın çevrede kolayca bulunan, hurma lifleri olacağını önermiştir (Şekil 13 a, b, c). Yapılan testler sonrasında, palmye lifleri ile güçlendirilmiş kerpiç tuğlaların sıkıştırma ve çekme mukavemetinde önemli bir artış olduğu kanıtlanmıştır (Mokhtari ve Shad, 2008; Nejati, 2008).



Şekil 13. (a)(b)(c) Bam Kalesi'nin atölyesinde palmye lifleri ile güçlendirilmiş kerpiç üretim süreci (Mokhtari ve Shad, 2008)

3.2.2. Kerpiç duvarların hurma halatları ve bambularla dikey olarak güçlendirilmesi

Arg-ı Bam'de eğilme direncini artırmak için, yapının mevcut germe elemanlarına 'hurma ipi' yerleştirilerek zemine bağlanmıştır. Şekil 14 (a)'da 150 cm. derinlikte düşey elemanların yerleştirilmesi ile palmye halatlarının bu elemanlara bağlanması görülmektedir. Düşey elemanlar, ana duvarların ortasındaki zorunlu noktalarda aralıkları 60 cm'ye düşecek sıklıkta yerleştirilirken, maksimum aralıkları 110 cm. olacak şekilde belirli bir hat boyunca yerleştirilmiştir (Şekil 14 b).



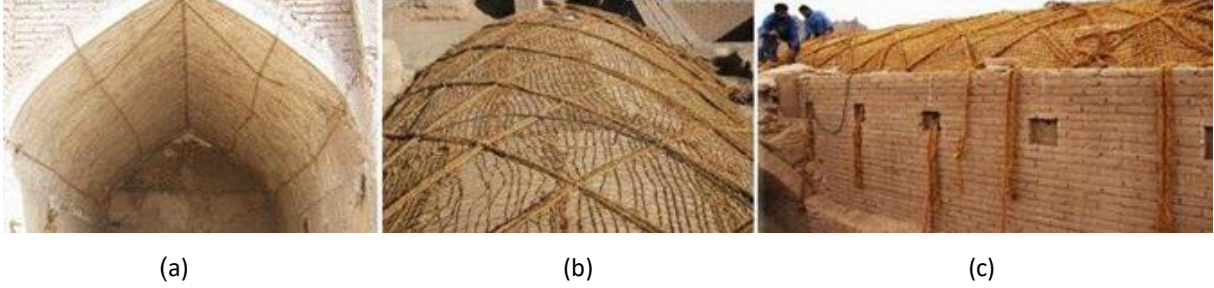
Şekil 14. (a) Hurma halatlarının yerleştirilmesi için kerpiç duvarın delinmesi ve halatların taşıyıcı duvarların içinden geçişi (b) Duvarların içine yerleştirilmiş bambu örnek modelleri (Rouhi, 2017).

3.2.3. Kerpiç duvarların hurma ağı ile yatay takviyesi

Bina içindeki kaymaya karşı direnç sağlamak amacıyla, yerel "hurma ağları" üreticileri tarafından üretilen hurma lifi esaslı doğal yatay elemanlar, duvarların üst kısımlarına doğru germe elemanı olarak yerleştirilmiş ve aralarında hurma ağları kullanılmıştır (Şekil 15a). Böylelikle, tuğlaların kalınlığı azaltılmıştır. Ayrıca kil tuğla sıralarının arasına da doğal lifler döşenmiştir (Aveta, Marino ve Rouhi, 2017).

3.2.4. Kerpiç çatıların hurma teli ile güçlendirilmesi ve hurma ipi ile dikilmesi

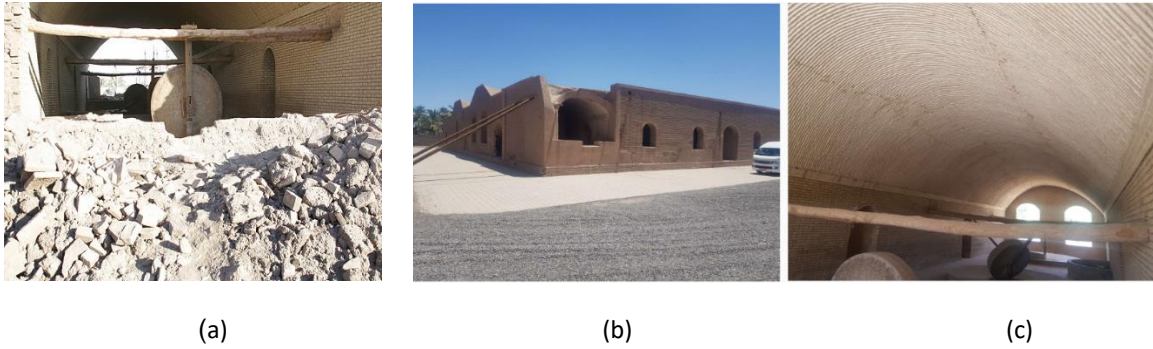
Çatının bütünlüğünü korumak ve güçlendirmek için, çatı hurma filesi ile sarılmıştır. Bu esnada, hurma ve bambu esaslı dikmelerle yan duvarların desteklenmesiyle çatı da desteklenmiştir. Son olarak hurma ağları geleneksel kil ve saman harçlı sıva (Kah-gel) ile kaplanmıştır (Şekil 15 b).



Şekil 15. Arg-ı-Bam'de (a), (b) kerpiç çatıların hurma ağları ile güçlendirilmesi; (c) çatı duvarlarının hurma halatları ile bağlanması (Mokhtari ve Shad, 2008)

3.2.5. Kerpiç duvarların dikey olarak ahşap çubuklarla dıştan güçlendirilmesi

Hanasayi Fabrikası'nın batı duvarında, yıkılan duvarın restore edilmesinde rekonstrüksiyon tekniği kullanılmış ve bu çalışmanın yapının kimliğini olabildiğince bozmayacak şekilde uygulanmasına özen gösterilmiştir. Ahşap kirişler yardımıyla desteklenen ana mekan, dışardan 330 cm. yüksekliğindeki dikmelerle de desteklenmiştir (Şekil 16. a, b, c).



Şekil 16. (a) Hanasayi Fabrikası batı duvarı restorasyondan önce; (b), (c) sonra (Hasani, 2020)

4. Sonuç ve Öneriler

Depremlerden, kültürel ve dini yapılar da dahil, bir çok yapı insan kaynaklı faktörlere bağlı olarak etkilenmektedir. Binaların konumu, yerleşimin ve mahallenin konumu ve malzeme kalitesi gibi faktörlerin yanı sıra kullanım, kat sayısı ve bina yoğunluğu gibi etmenler de zararların artmasına sebep olabilmektedir. Bu çalışmada söz konusu kültürel ve dini yapıların da insan kaynaklı faktörlerden etkilendiği ve deprem öncesinde alınmayan tedbirler sonucunda kapsamlı restorasyon gerektirecek duruma geldikleri belirtilmektedir. Deprem sonrasında insan kaynaklı faktörlerin etkisiyle kültürel ve dini mekanlarda gerçekleşen zararların onarılmasında yerel malzemelerin yapısal tasarım elemanı olarak kullanılması ile yenileme yapılması, binaların kırılabilirliğinin azaltılmasında kullanılabilecek bir yöntemdir. Bu çalışmada, bu kapsamda İran, Bam kentinde, 2003 depremi ve sonrasında yapılan yenilemeler ve bu yenilemelerde kullanılan yerel malzemeler ve yenilikçi teknikler alan çalışması olarak sunulmaktadır.

Depremden önce Arg-ı Bam'a yapılmış olan hatalı müdaleler sonucunda depremin zararının daha büyük olduğu görülmüştür. Deprem öncesinde binaların tasarımlarına dair yapılmış olan ve yapıların görsel niteliklerini korumayı amaçlayan restorasyon çalışmaları, yapılarıdaki yıkımı artırmıştır. Bu sebeple 2003 depremi sonrasında yapılan yenileme çalışmaları daha çok yapısal yenilemeye odaklanmıştır. Bu yenilemelerde yerel malzemeler yenilikçi tekniklerle beraber kullanılmıştır. Bam depreminden çıkarılan dersler sonrasında kültürel ve dini mekanların korunmasında dikkat edilmesi gereken ilkeler şu şekilde sıralanabilir: Tarihi yapıların korunmasında da yapısal tasarımlarına dair bilgi ve bulgulara yer verilmesi gerektiği; envanter çalışmalarının mekanın mimari niteliklerini yapısal tasarım unsurlarını da içerecek

şekilde yapılmasının gerektiği; inşai hatalara izin verilmemesinin gerekliliği; kaliteli ve belirli standartları sağlayan malzemeler ile yenileme ve restorasyonların yapılmasının gerekliliği; malzemelerin deprem yüklerine karşı dayanıklılığının test edilmesinin önemi; binaların yapısal bütünlüğünü, döşeme, duvar ve çatı olarak koruyan restorasyon çalışmalarının önemi üzerinde durulmalıdır. Tarihi ve kültürel yapıların korunması, toplumsal ve tarihi değerlerimizi sürdürmek adına büyük öneme sahiptir; bu sebeple var olan kültür varlığı yapıların depreme karşı bu ilkelerle güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Depremlerin, toplumsal ve psikolojik boyutlarda da yıkıma yol açtığı bilinci ile tarihi ve kültürel yapıların deprem sonrasında da varlıklarını devam ettirmelerinin toplumların motivasyon gücünü artıracak göz önünde bulundurulmalı ve bu yapıların yenileme ve restorasyonlarına gereken önem verilmelidir. Binaların konumu, mahalle düzeni, kullanılan malzemeler ve teknikler, binaların kullanım amacı, kat sayısı ve bina yoğunluğu mekanların depreme dayanıklılığını etkileyen insan kaynaklı faktörlerdir. Yeni tasarlanan mekanlarda veya tarihi ve kültürel yapıların çevrelerinde konumlanan yeni yapılarda bu faktörlere dikkat edilmesi ile olası yıkımların önüne geçilebilir. Bam depreminde yaşananların değerlendirilmesi ile ortaya konan bu ilkeler, ülkemiz de dahil olmak üzere dünyadaki farklı kentlerdeki tarihi ve kültürel mekanların korunması veya yenilenmesinde kullanılabilir. Özellikle bu çalışma kapsamında sunulan kerpiç yapıların yenilenmesine dair yenilikçi yöntemler ve malzemelerin, ülkemizde de kullanılmakta olan kerpiç yapıların yenilenmesinde geliştirilecek yeni yaklaşımlara ışık tutabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda, bu çalışmanın, kerpiç yapı gerecinin yapı elemanı performansını da analiz edecek başka çalışmalara kapı aralayabileceği düşünülmektedir. Sonuç olarak, tarihi ve kültürel mekanların depreme karşı dayanıklı hale getirilmesi için bütünsel bir yaklaşım benimsenmeli ve deprem sonrası mekanların tasarımında insan faktörlerinin etkisi ve mevcut tarihi çevrenin koruma prensipleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu şekilde, toplumsal ve tarihi değerlerimizin korunması sağlanabilir ve gelecek nesillere aktarılabilir.

Teşekkür ve Bilgi Notu

Makalede ulusal ve uluslararası araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Çalışmada etik kurul izni gerekmemiştir.

Yazar Katkısı ve Çıkar Çatışması Beyan Bilgisi

Makalede tüm yazarlar aynı oranda katkıda bulunmuştur. Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Abdi, K. (2001). Nationalism, politics, and the development of archaeology in Iran, *American Journal of Archaeology AJA*, 105(1):51-76. Erişim Adresi (08.06.2023): <https://doi.org/10.2307/507326>
- Ahmadi, N. (2008). Summary of the archaeological studies and activities in the Bam project. *Annual report of Arg-e Bam research foundation*. Tehran: Resaneh Pardaz-Paygah-e Pazhooheshi-e Bam, 53- 63.
- Aveta, A., Marino, G, B., Rouh, J. (2017). Tangible/Intangible: Destruction and Reconstruction of the Iranian Site of Arg-E Bam (Bam Citadel). *World Heritage and Disaster Knowledge, Culture and Representation*. Naples.
- Bam3DCG. (2016). *Virtual 3D Reconstruction of Bam Citadel*. Retrieved from <http://dsr.nii.ac.jp/Bam3DCG>
- Einifar, A. ve Eshreti, P. (2017). Kültürel manzarada "kültür ve doğa arasındaki ilişkiye" bütüncül bir yaklaşım (vaka çalışması: Bam). *Güzel Sanatlar Dergisi -Mimarlık ve Şehircilik*, 22 (4), 81-92.
- Fallahi, A. ve Aslani F. (2013). 2003 Bam depremi sonrası Bazar mahallesinin toplumsal hafıza yaklaşımıyla yeniden inşası, *Güzel Sanatlar Dergisi-Mimarlık ve Şehircilik*, 20 (4), 45-58.
- Fallahi, A. (2007). Lessons learned from the housing reconstruction following the Bam Earthquake in Iran. *The Australian Journal of Emergency Management*, 22(1), 26-33.

- Hasani, A. (2020). Kirman eyaletindeki Hanasayi Bam Fabrikasına bir bakış. *El Sanatlarını Geliştirme Fonu, El Dokuması Halı ve Canlandırma, Tarihi ve Kültürel Mekanların İşletilmesi Dergisi*. Kültürel Miras, El Sanatları ve Turizm Bakanlığı, 10, 8-11.
- Hoseynpour, M. (2015). Bam depreminin riskini ve 2003 depreminden sonra şehrin yeniden inşa sürecini araştırmak (Yüksek lisans tezi). Sistan ve Belucistan Üniversitesi, İran.
- Kannari, I., Karimi, A., Poureydivand, N. (2020). 2003 depreminden sonra Arg-ı Bam Camii'nin cephesinin yeni özellikleri. *İran Mimarlık Çalışmaları*, 16, 30-33.
- Langenbach, R. (2011). Soil dynamics and the earthquake destruction of the earthen architecture of the Arg-E Bam. *Jsee, Iranian Journal of Seismology and Earthquake Engineering: Bam Earthquake Issue*.
- Manafpour, A. R. (2004): 26 Aralık 2003 İran Bam depremi. *Saha İnceleme Raporu*. Halcrow-EEFIT Raporu: 59.
- Manafpour, A. R. (2008). Bam Earthquake, Iran: Lessons On the Seismic Behaviour of Building Structures. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, October 12-17, 2008, Beijing, China.
- Mokhtari, E., Nejati, M. ve Said, S. (2008). The Restoration of Bam Citadel, Iran-new approaches: Lehm 2008, *the 5th International Conference on Building with Earth*. Weimar: Dachverband Lehm e.V., 163-169.
- Mokhtari, E. ve Shad, S. (2008). Rapor, *Comprehensive State of Conservation Report for the World Heritage property of Bam and its Cultural Landscape*, RPBCH, İran.
- Nejati, M. (2008), Rapor, Technical and Engineering Activities in RPBCH, International Scientific Committee for Analysis and Restoration of the Structural Heritage, ICOMOS Charter, İran.
- Parsizadeh, F. Ibrion, M. Mokhtari, M. Lein, H. ve Nadim, F. (2015). Bam 2003 earthquake disaster: On the earthquake risk perception, resilience and earthquake culture-Cultural landscape of Qanats, gardens of Khorma trees and Arg-e Bam. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14 (4), 457-469.
- Rouhi, J. (2017). Conservation and Restoration of Adobe Architectural Heritage of Bam Citadel (Iran), Affected by the 26 December 2003 Bam Earthquake: Problems and Issues, Università Degli Studi Di Napoli Federico II Diarc - Dipartimento Di Architettura.
- Sistanehei, F., Rezapour, R., Mahmoudi, A., Tafreshi, M., Ahmadvand, H., Zahabi, M. (2006). Kaza ve öngörülemez olaylarda hemşehrilik (4-7). Tehran: Arvij.
- Taheri, S. J., Naserieh, S., Ghafoorian-Nasab, A. H. (2004). The 2003 Bam, Iran, Earthquake: An Interpretation of the Strong Motion Records. SSA 2004 At Southern California Earthquake Center, California, USA Volume: SRL, 75 (2), 219.
- Torabizadeh, M., Saffari, H. (2018). Bam'daki çelik karkas yapıların hasarlarının araştırılması ve depremde hasar gören yapıların güçlendirme yöntemlerinin sınıflandırılması. *14. İran İnşaat Mühendisliği Konferansı*, 14-15.
- UNESCO World Heritage Center. (2004). Bam and its Cultural Landscape. Erişim Adresi (08.06.2023): whc.unesco.org/uploads/nominations/1208bis.pdf
- Zangabadi, A., Varesi, H., Derakhshan, H. (2010). Şehrin depremlere karşı savunmasızlığı faktörlerinin analizi ve değerlendirilmesi - vaka örneği: Tahran'ın 4. Bölgesi. *Bilimsel Araştırma Üç Aylık Yardım ve Kurtarma*, 3, 8-10.

The Impact of Design Factors and Structural Renovation Using Local Materials: The Vulnerability of Bam's Cultural Spaces in the Great Earthquake

Summary

1. Introduction

This study discusses retrofitting historic cities to protect against earthquakes and the impact of natural disasters like earthquakes on modern societies due to human mistakes. Earthquakes are one of the natural disasters that threaten many towns, and multiple factors contribute to a city's vulnerability to earthquakes, such as seismic event parameters, soil properties and conditions, proximity to fault lines, and other biological factors. Human-made factors also play a crucial role, such as building in earthquake-prone areas, using inadequate earthquake-resistant materials, and using improper construction techniques. It is critical to strengthen cities against earthquakes to ensure the safety of residents and maintain the identity of these cities. Retrofitting historical cities is especially important as these cities' cultural and religious sites reflect their inhabitants' beliefs, traditions, and culture. Preserving and restoring these monuments due to artificial factors is vital to protect this rich heritage. For a case study, Bam City in Iran was selected. Bam is an essential city in the Kerman province of Iran and is historically, culturally, and industrially important. The city is in southeastern Iran and has a hot and dry climate. Palm trees grow around the city due to the warm weather and the broad areas of date cultivation. Also, the desert climate of Bam has tourist attractions and offers high temperatures in summer and temperate weather in winter. The city needed the necessary measures to retrofit after the 6.6 magnitude earthquake in 2003, and many historical monuments and cultural and religious sites were damaged. However, after the earthquake, the city was placed on the UNESCO World Heritage List with the implementation of restoration works and the use of indigenous materials and proper techniques. The restoration was completed. This study highlights the unique methods and materials used to restore a UNESCO World Heritage Listed City, providing a blueprint for other historical cities.

2. Material and Method

This case study shows that using indigenous materials and novel methods to restore cultural and religious places can effectively retrofit historical cities against earthquakes. Man-made factors play an essential role in the destruction of earthquakes. The Bam earthquake in Iran showed that Iran needs to take precautions and readiness in times of crisis. To ensure sustainable development, there is a need to harmonise traditional methods and anti-earthquake and innovative technologies in construction. The Bam earthquake destroyed religious and cultural buildings, and reconstruction was carried out using earthquake-resistant materials. This reconstruction aimed to preserve architectural detail and increase the buildings' resilience against future earthquakes. This experience showed that due to man-made factors, it is possible to create safe and earthquake-resistant structures.

Bam has a rich cultural history, and the city has many religious and cultural places. In this study, we examine three important religious and cultural sites of Bam city, including the Bam Citadel (Arg-ı Bam), the Jame Mosque of the Arg of Bam, and the Hanassai Factory, and how human-made factors have caused destruction and damage to religious and cultural sites during natural disasters and have been refurbished using new technologies and indigenous materials.

As an ancient city of Iran, the Citadel of Bam has a special place in Iran's history and culture. This ancient city is known not only as the encyclopedia and history of ancient cities of Iran but also for its unique architecture and beautiful and refreshing landscapes, which express the citadel's role in Iranian culture. This ancient city includes residential buildings, passages, mosques and religious centres, schools, Turkish baths, gymnasiums, caravansaries, markets, coffee houses, barracks, administrative offices, and other diverse buildings in a typical Iranian city.

Various human factors have impacted the Citadel of Bam and its religious and cultural sites. Using inappropriate materials, ignoring the importance of building materials, and reducing the strength of structures have all contributed to damage during an earthquake. Certain building parts needed to be

adequately supported, and the construction materials required to be more suitable. The primary factor leading to the building's collapse was the lack of maintenance and restoration over time. This highlights the importance of proper care for ancient structures. The population density, number of floors, and building density had little impact on the Citadel of Bam's destruction because it is far from other urban structures. Also, the effect of human factors on the destruction of the Jame Mosque of Arg Bam is examined. The building materials used for restoration before the earthquake could have been of better quality, with coarse straw and clay, making the structure weaker and leading to a large percentage of the system being destroyed. The construction quality also played a significant role in the extent of destruction, as it dates back to the 17th century and lacked proper restoration and quality. However, population density, number of floors, and building density did not affect the demolition as the structure is far from other urban systems. Lastly, the Hanassai Factory was conducted on the impact of human factors. The building's main structure is constructed using raw brick with a brick façade that provides good earthquake resistance. The construction quality has been significantly improved, and various measures have been taken to prevent potential damages such as floods and earthquakes. These measures include timely building construction and adding an exterior rear wall. The site's population density and the number of floors have reduced due to its location between commercial and residential buildings and near primary and secondary streets. Since the building has only one floor, there is no possibility of road blockages from the building's rubble.

3. Findings and Discussion

Following the earthquake, the Citadel of Bam suffered erosion and structural damage. Researchers have identified four main reasons for problems in the previously implemented protective measures. *Lack of earthquake resistance:* Protective actions taken before the earthquake should have considered the resistance of buildings against earthquakes. The proper connection and structural rupture between the original parts and repairs were not in the reconstructed parts, and due to these defects, more damage was done to the building. *Changes in the plan of the buildings:* Some previous interventions caused changes to the original plans and increased the side effects of earthquake loads. These plan changes caused a different seismic reaction in the building, and parts that have changed over their lifetimes experienced more destruction. *Burnout Important Parts:* The worn parts of the basement walls and ceilings must be fully fortified. Replacing these worn parts with new ones did not restore the old strength and increased the structure load. *Thatched cladding:* The thatched cladding added to the facades had devastating effects on the main walls, overloading them during an earthquake. Due to this factor, various seismic behaviours were observed in other parts of the citadel.

Researchers proposed six methods with innovative techniques to reconstruct Bam Citadel after the 2003 Bam Earthquake. Their primary way was using various mortars and injecting at the right time. The second method uses stretching elements and injectable materials to suture and remove large cracks. The third method is supporting the brick walls with vertical fiberglass rods. The fourth method is the horizontal coating of brick walls with fibreglass mesh. The fifth method covers the ceiling and the facades with fibreglass mesh. In the sixth method, the seismic resistance of the clay walls was increased by placing circular beams under the floors and using polypropylene pipes as belts.

After reviewing the proposed innovative techniques in the process of rebuilding the Bam Citadel, the locally available and modern materials presented in the process of rebuilding the Bam Citadel can be discussed as follows: Production of reinforced bricks by adding palm fibres to adobe mixtures, vertical reinforcement of the brick walls with palm and bamboo rope, horizontal reinforcement of adobe walls with palm netting, support of clay ceilings with palm wire and sewing with date rope, external support of brick walls with vertical wooden bars.

4. Conclusion and Recommendations

In the design or reconstruction of post-earthquake spaces, it is essential to pay attention to human factors, especially in the case of religious and cultural monuments that can be affected by these factors. Basic elements such as the location of buildings, neighbourhoods, and quality of materials, as well as factors such as usage, number of floors, and density of the building, should be considered to reduce damage. The Bam earthquake showed that buildings built according to design regulations

remained intact. Therefore, avoiding mistakes in construction is one of the most critical aspects of insuring buildings against earthquakes. Quality and standard materials play an essential role in creating resistance and stability against imposed forces, and the rigidity and integrity of the roof are also significant. In addition, experiences from the Bam earthquake show that preserving religious and cultural monuments is crucial in maintaining social and historical values. Earthquakes can cause physical damage to religious and cultural structures and significant social and psychological damage. Therefore, in the design and reconstruction of post-earthquake spaces, special attention should be paid to human factors and the protection of cultural heritage. Also, factors such as the location of the buildings, the layout of the neighbourhood, and the materials and techniques used are of great importance, and the observance of all human factors and conservation principles is necessary and of particular significance to preserve architectural details. These principles, which were put forward by evaluating what happened in the Bam earthquake, can be used to protect or renew historical and cultural places in different cities worldwide, including our country. The innovative methods and materials for renovating adobe buildings, especially presented within the scope of this study, may shed light on new approaches to be developed in the renovation of adobe buildings used in our country. At the same time, this study may open the door to other studies that will analyse the structural element performance of adobe building materials. As a result, a holistic approach should be adopted to make historical and cultural places resistant to earthquakes, and the effect of human factors and the principles of protection of the existing historical environment should be taken into account in the design of post-earthquake places. This helps protect social and historical values and pass them on to future generations.

