

Harita 1.2 - Van Deprem Bölgeleri Haritası [4]



Harita 1.3 - 23 Ekim 2011, Mw=7.0 Van - Merkez Depremi için Tahmin Edilen Sismik Şiddet Dağılımı [3]

Tablo 1.1 - Aletsel Dönemde Meydana Gelmiş Hasar Yapıcı Bazı Depremler [2]

Merkez Üstü	Yıl	Büyükölç
Çatak	1945	5.8
Van	1972	5.2
Çaldıran	1976	7.2
Erciş	1977	5.1

haftada büyüklükleri $M_I=4.0-4.9$ arasında değişen 114 artçı-şok, $M_I>5.0$ olan 7 artçı-şok kaydedilmiştir. Depremden sonraki bir aylık süreçte günlük ortalama artçı-şok sayısının 180 olduğu ve 9 Aralık 2011 tarihinde artçı-şok sayısının 6284 e ulaştığı yine AFAD [3] raporunda açıklanmıştır.

Van iline ait Deprem Bölgeleri Haritası ve 23 Ekim 2011 tarihli deprem için AFAD tarafından üretilen Sismik Şiddet Dağılımı Haritası aşağıda verilmiştir. Bu haritalara göre Van il merkezi 2. Derece deprem bölgesinde bulunmakta olup 23 Ekim depreminde oluşan Sismik Şiddet IX yani tahrip edici olarak değerlendirilmiştir [3].

2. Prefabrik Yapı Stoğu

Van il merkezi ve civarında yapılan incelemelerde bölgedeki betonarme prefabrik yapıların önemli ölçüde Van Organize Sanayi Bölgesinde yoğunlaştığı ve bu yapıların altta ankastre, üstte moment aktarmayan pim bağlantılı, eğik çatı kirişli modülasyonlardan (sanayi yapısı) oluştuğu görülmüştür. Organize Sanayi Bölgesinde bulunan 66 adet betonarme prefabrik yapının 3 tanesi kısmi ağır hasar görmüştür. Bunun yanında Van il merkezinde yerinde dökme betonarme perdelerle sahip bir adet betonarme prefabrik spor salonu da bulunmaktadır. Spor salonundaki bağlantılar da, sanayi yapılarında ol-

duğu gibi pimlidir ve yapıdaki hasar minimum seviyededir. İl merkezinde çok katlı betonarme prefabrik bir adet konut yapısı bulunmaktadır ve bu yapıda moment aktarabilen birleşimler ard germe tendonları ile oluşturulmuştur. Çok katlı yapının taşıyıcı sistemi tamamen hasarsızdır. Diğer taraftan bu yapının iç bölme duvarlarında kısmi olarak konfor limitlerinin ötesinde duvar hasarı gözlenmiştir.

Türkiye Prefabrik Birliği üyesi firmaların bölgede toplam 6 adet yapısı bulunmakta olup, bu yapıların tamamı hasarsız olarak raporlanmıştır.

Depremden kısa bir süre sonra bölgede saha incelemeleri yapılmış olup, betonarme prefabrik yapıların performansı ve karşılaşılan hasarlar ile bu hasarlara sebep olan hatalar bu yazıda özetlenmiştir.

3. Sanayi Yapılarının Değerlendirilmesi

Van ilinin en büyük sanayi yatırımlarının olduğu OSB, il merkezi ile Tabanlı köyü arasında ve Van Gölü kıyısında



Fotoğraf 3.1 - Hasarsız Sanayi Yapısı



Fotoğraf 3.2 - Hasarsız Sanayi Yapısı (Şerif Güner Arşivi)

yer almaktadır. OSB genelinde hazırlanmış olan zemin etüdü raporlarında yaklaşık 20 m derinliğe kadar kum ve kil aralanmalarının varlığından bahsedilmektedir. Bölgede bulunan betonarme prefabrik yapıların tamamı tek katlı, çok açıklıklı ve çatı kotunda pim bağlantılıdır. Kolonlar, ankastre olan alt kotlarında yerinde dökme betonarme çanak temellere oturtulmaktadır. Kolon üst ucunda bulunan kısa konsoldan çıkan pimlere, dolu gövdeli eğik çatı kirişleri oturtulmakta, ve kirişte bırakılan silindirik pim rezervasyon boşluğunun etrafı harç ile doldurulmaktadır. Çerçeveler arasındaki bağlantı, aşıklar, oluk kirişleri ve kren kirişleri ile sağlanmaktadır. Aşıklar eğik çatı kirişlerine,

oluk kirişleri ve kren kirişleri de kolonlara pimlerle bağlıdır. Çatı seviyesinde yapısal elemanlar ile oluşturulan bir diyafram söz konusu değildir. Deprem etkisinde, bölgede faaliyet gösteren birçok fabrikada minimum seviyede hasar gözlenirken, özellikle yapımı devam eden binalarda kısmi ağır hasar ve kısmi göçmeler gözlenmiştir. Hasarın minimum seviyede olduğu fabrikalarda üretime devam edilmektedir (Fotoğraf 3.1 ve 3.2).

Hasar seviyesi değişen prefabrik yapıların kolon boyutlarının, kolon aks aralıklarının, çatı ve aşık kiriş boyutlarının ve bağlantı detaylarının benzer olmasına rağmen işletmede olan

fabrika yapılarındaki görece az hasar veya hasarsızlık, gerek üretim gerekse montajda uygulama kaynaklı hatalar ile standartlara aykırı donatı kullanımının yanında bu yapılarındaki mevcut çatı kaplamasının oluşturduğu diyafram etkisine ve yatay ötelenmeyi önemli ölçüde azaltan cephe duvarlarının varlığına bağlanabilir. Diğer taraftan kolon-çatı makası pimli bağlantılarının normlara uygun üretilmiş ve uygulanmış olması da hasarı azaltan sebeplerin en önemlilerinden birisidir. Tahmin edileceği gibi yatay ötelenmenin azaltılması, pimli bağlantılarda oluşacak açılmalarda talebinin azalmasına, bu sayede de pimlerde oluşacak çekme gerilmelerinin azalmasıyla birlikte herhangi bir sıyrılma ve hasar ihtimalinin ortadan kalkmasına sebep olmaktadır.

Bölgedeki betonarme prefabrik yapı stoğu içerisinde kısmi ağır hasar gören yapılar Fotoğraf 3.3, 3.4 ve 3.5 de verilmektedir. Her üç yapı sistemi de altta ankastre üstte pimli bağlantılı kolonlar ve eğik çatı kirişleri ile kren kirişlerinden oluşmaktadır. Her üç yapı da henüz kullanıma açılmadan depreme yakalanmıştır. Hasar gören (A) yapısı, tam olarak montaj anında depreme yakalanmıştır. Pim deliklerinde, ve çanak temellerinde şerbetleme yoktur ve yüksek yatay deformasyonlar eğik çatı kirişlerinin düşmesine sebep olmuştur. Hasarlı (B) yapısı ise daha önce başka bir alanda kullanılmış, sökülerek Van OSB de bulunan halihazır yerine getirilerek yeniden monte edilmiş bir yapıdır. Göçme şekli eğik çatı kirişlerinin pimlerinden kurtularak düşmesi ile oluşmuştur. Hasarlı (C) yapısı, çerçeve düzlemi içerisinde 19m lik iki açıklık, çerçeve düzlemine dik yönde 7.5m lik 10 açıklıktan oluşmuştur (Şekil 3.1). Bu yapının orjinal proje tasarımında oluşturulan bilgisayar modellerinde Deprem Yönetmeliği deplasman



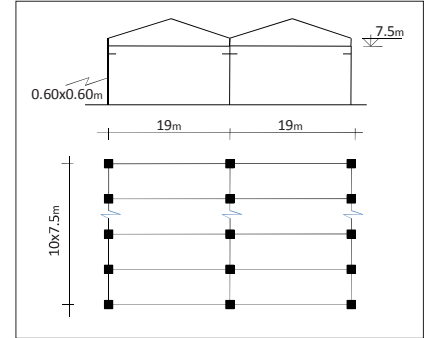
Fotoğraf 3.3 - Hasarlı Sanayi Yapısı (A)



Fotoğraf 3.4 - Hasarlı Sanayi Yapısı (B)



Fotoğraf 3.5 - Hasarlı Sanayi Yapısı (C)



Şekil 3.1 - (C) Yapısı Plan

kriterleri ile uyumlu kolon boyutunun 0.70x0.70m, kolon boy donatı oranının ise %1.35 olarak hesaplandığı görülmüştür.

Yapımı devam eden bu üç sanayi yapısında genel olarak kolonlar ayakta kalmış, dolu gövdeli eğik çatı kirişleri pimlerinden çıkararak/sıyrılarak devrilmiştir. Hasar gören yapıların bir kısmında pim yuvalarının henüz şerbetlenmediği ve göçmenin bu sebeple olduğu görülse dahi, şerbetlemesi bitmiş olan birleşimlerde de aynı tip göçmeler gözlemlenmektedir. Eğik çatı kirişi düşmüş olan yapılarda bu pimlerin uçlarına dış açılmış olmasına rağmen somun ve pul kullanılarak ikincil bir savunma hattı oluşturulmamıştır. Kolondan sıyrılıp düşen eğik çatı kirişinde kullanılan şerbetin olması gereken evsafa olmadığı, yalnızca bir miktar kum ve çimentonun karıştırılmasıyla oluşturulduğu, ve kiriş betonuna yapışmamış olduğu da saha gözlemlerinden tesbit edilmiştir (Fotoğraf 3.6)

Hasar gören (C) yapısında eğik çatı kirişlerinin tek tarafının düşmesi ve diğer taraftaki pimin kısmen sıyrılması neticesinde düşen eğik çatı kirişinin kolona getirdiği ilave yatay etki ile kolon tabanında mafsallaşma ve ezilmeler meydana gelmiştir (Fotoğraf 3.7). Bu kolonların bir kısmında boy donatılardaki uzama, akma platolarının ötesine geçmiş, pekleşme sonrası



Fotoğraf 3.6 (a, b, c) - Şerbetlemenin Yetersizliğini Gösteren Detaylar



Fotoğraf 3.7 - Kolon Tabanında Mafsallaşma ve Güç Tükenmesi

Tablo 3.1 - Alınan donatılarda "Karbon Eşleniği" değerleri

Numun	Fe (%)	C (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	Cu (%)	V (%)	Karbon Eşleniği (%)
1	97.8	0.321	0.703	0.102	0.0286	0.152	0.548	<0.0020	0.51
2	97.8	0.317	0.710	0.104	0.0293	0.161	0.556	<0.0020	0.51
3	98.3	0.238	0.597	0.0735	0.0278	0.0921	0.334	0.0025	0.39

$$\text{Karbon Eşleniği, } C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

Tablo 3.2 - Alınan donatılarda mekanik deney sonuçları (Rapordan olduğu gibi alınmıştır)

Numune Kod No	Numune ilk boyutları (mm)	Akma dayancı ($R_{p0,2}/R_{eH}$) (MPa)	Çekme Dayancı (R_m) (MPa)	** %Uzama (A)
1 - Φ 22	*Çap: 21,50	$R_{p0,2}=R_m$	691	9,8
2 - Φ 22	*Çap: 21,08	$R_{p0,2}=R_m$	730	8,2
3 - Φ 18	*Çap: 17,86	570	657	27,2
4 - Φ 18	*Çap: 17,63	626	703	***

Numune ortalama çapı ağırlık metoduyla hesaplanmıştır. $\text{ÇAP}=(\text{Ağırlık/Boy})^{1/2} \times 12,74$

*İlk ölçüm uzunluğu numune çapının yaklaşık 10 katı olarak alınmıştır.

** Numune ilk ölçüm uzunluğu dışından koptuğu için % uzama değeri hesaplanamamıştır.

kopma uzamalarına ulaşmıştır. Boy donatıları koparak göçen kolon kesitlerinde yapılan ölçümlerde kesit boyutlarının 0.60x0.60m olduğu boy donatı oranının da %0.60 ile %0.75 aralığında değiştiği (Fotoğraf 3.5 - Hasarlı Sanayi Yapısı (C)); mevcut projesini sağlamadığı gibi, minimum boy donatı oranı değerini de sağlamadığı görülmüştür.

Boy donatı oranlarının bu kadar düşük olduğu (C) yapısı kolonlarında plastik mafsallı boyutları alışılmışın dışında, yaklaşık kesit boyutunun 1.50 katına ulaşmıştır. Bu durum donatı kalitesi ile ilgili problemi de birlikte işaret etmektedir. Alınan donatı numuneleri üzerinde Türkiye Prefabrik Birliği tarafından Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarına yaptırılan kimyasal analiz neticeleri Tablo 3.1'de, mekanik deney sonuçları ise Tablo 3.2'de verilmiştir. Tablo 3.1'deki değerler incelendiğinde "karbon eşleniği" değerinin TS-708-2010 de verilen üst sınırdan geçtiği, "karbon oranı" değerinin ise aynı yönetmelikte tanımlanan limitinin üzerine çıkmış olduğu, dolayısıyla ilgili standarda uymadığı görülmektedir. Tablo 3.2'de verilen mekanik değerler incelendiğinde ise donatı çapı, donatı akma dayanımı, ve donatı kopma dayanımı değerlerinin Deprem Bölgelelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007'de tanımlanan değerlerle uyumsuz olduğu; bir kısmının akma ve kopma dayanımlarının aynı olması dolayısıyla sünek olmadıkları ve kopmadaki uzama değerlerinin de limitlerin altında kaldığı; kopmada uzama değerinin yüksek olduğu numunede ise yukarıda belirtildiği gibi akma ve kopma dayanımlarının Deprem Yönetmeliği ile uyumsuz olduğu görülmektedir. Kimyasal ve mekanik deneylerden hareketle hasar gören bu yapılardaki donatıların ilgili yönetmeliklerin şartlarını sağlamadığı anlaşılmaktadır.



(a)



(b)

Fotoğraf 3.8 - Detay Yetersizliğinden Kaynaklanan Hasarlar

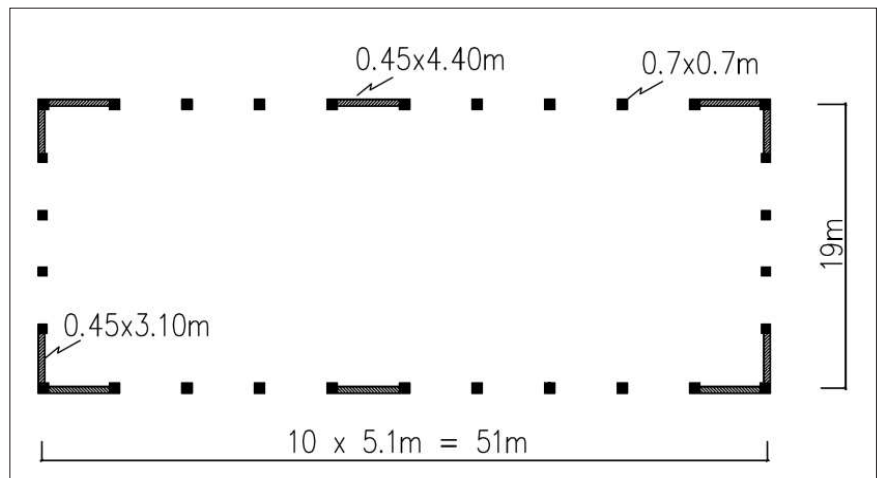
Genel hasar seviyesi minimum dahi olsa hemen hemen tüm yapıların kolon kiriş bağlantı bölgelerinde, kiriş uçlarında ve konsol betonunda ezilme ve çatlaklamalar gözlenmiştir. Bu yapıların hiçbirinde kolon-kiriş bağlantılarında elastomer mesnet kullanılmamıştır. Bu durum birleşim bölgelerindeki yatay ötelenme kaynaklı açısız dönmelerin ilk anından itibaren lokal basınç yığılmalarının oluşması ile açıklanabilir. Elastomer mesnetler düğüm bölgelerinde deprem veya düşey yük kaynaklı açısız dönmelerde birleşen elemanların doğrudan birbirleri ile çarpışmaması, dolayısıyla lokal ezilmelerin ertelenmesi konusunda etkindir. Yıkılan yapılardan hareketle, kolonlardaki özel deprem çirozlarında, bir uçta 135 derece, diğer uçta 90 derece olan kanca kıvrımları hem düşey hem de yatay doğrultuda şaşırtmalı olarak düzenlenmemiştir. Göçen yapıların bir kısmında kirişlerde bırakılan pim yuvalarının etrafında olası çekme gerilmelerini taşımak üzere gerekli donatı detayının bulunmadığı görülmüştür. Fotoğraf 3.8.a'da kirişin aksel çekme, pimlerin ise kesme etkisinde olması durumunda beton örtüsünün kapasite oluşturmakta yetersiz kaldı-

ğı, oluşan kuvvetlerin bu kirişin ucuna konulacak U-donatılar ile alınmasının ne denli önemli olduğu görülmektedir. Yıkılan bazı yapılarda ise yine kiriş pim deliklerinin bir kısmının imalat esnasında unutulmuş olduğu gözlenmiştir (Fotoğraf 3.8). İşaret edilen bu durumlar hasar gören üç yapıda da imalat aşamasının özensiz olduğunun önemli bir göstergesidir.

4. Spor Salonu Yapısının Değerlendirilmesi

23 Ekim 2011 tarihi itibarı ile deprem bölgesinde yapımı tamamlanmış ve

kullanımda olan iki katlı, tek açıklıklı spor salonu kullanım özelliği ve hasar seviyesinden dolayı depremden hemen sonra sektörün dikkatini çekmiştir. Yapı 19 x 51m plan boyutlarında olup, çerçeveler arası mesafesi 5.1m'dir. Bu yapı radye temelli olup +7m kotuna kadar kısa ve uzun doğrultularında yerinde dökme betonarme perdeler ile birlikte projelendirilmiştir. +7m kotundaki kiriş kolon birleşimi guseye oturan iki pimli kiriş şeklindedir. +7 ile +10m kotu arasında yalnızca betonarme prefabrik kolonlar bulunmakta olup bu kolonların eğik çatı



Şekil 4.1 –Spor Salonu Taşıyıcı Sistem Boyutları (boyutlar Şerif Güner'den alınmıştır)



Fotoğraf 4.1 - Spor Salonu zemin kat (Şerif Güner arşivi)



Fotoğraf 4.2 - Spor Salonu 1. normal kat (Şerif Güner arşivi)

kirişleri ile birleşimi sanayi yapılarında olduğu gibi iki pimlidir. Yapı taşıyıcı sistemi ve taşıyıcı olmayan sistemiyle birlikte tamamen hasarsızdır (Fotoğraf 4.1 ve 4.2). Yapıdaki kolon ve perde boyutları ile yerleşimleri Şekil 4.1’de verilmektedir.

Yaklaşık 970 m² oturumu olan spor salonu yapısında uzun doğrultudaki

perde boyut ve adetlerinden hareketle hesaplanan perde indisi (incelenen yönde bulunan perde kesit alanları toplamının bina oturum alanına oranı) yaklaşık %1.2 seviyesindedir. Aynı indisin kısa doğrultudaki değeri ise yaklaşık %0.6 seviyesindedir. Etrafındaki hemen hemen tüm konvansiyonel betonarme binalarda orta hasar- göçme hasarı arasında hasar oluşurken,

bölgede ve tamamen hasarsız olan bu yapıda kullanılan yaklaşık “yüzde-yarım” “perde indisi” değerinin ve ara katta oluşturulan “rijit diyaframın” ileride bu tür yapıların tasarımında dikkatle alınması gerektiği kanaati oluşmuştur.

5. Çok Katlı Konut Yapısının Değerlendirilmesi

Van il merkezindeki çok katlı konut yapısı yedi katlı ve düğümleri moment aktarabilen ard-germeli birleşim detayına sahiptir (oturma alanı yaklaşık 380m²). Yedi kat yüksekliğindeki kolonlar fabrikada tek parça olarak üretilmiş ve inşaat sahasında daha önce tamamlanmış temel üzerine montajı yapılmıştır.

Bu yapıda inceltilmiş uçlu öngermeli kirişler, kolonlarda bulunan gizli guselelere oturmaktadır ve moment aktaran kolon-kiriş birleşimlerinde kısmi ardgerme işlemi uygulanmış, kısmi ardgermeli birleşim ile doğrudan moment aktarımı sağlanmıştır. Yekpare olarak üretilen kolonlar 0.75*0.70 ebatlarındadır (Şekil 5.1). Deprem sonrası binada yapılan incelemede prefabrik elemanlarda, ard germe tendonlarının oturduğu yuvalarda ve birleşim bölgelerinde herhangi bir yapısal hasar gözlenmemiştir. Ayrıca kolon-temel birleşimlerinde de herhangi bir maf-sallaşma veya eğilme çatlağı görülmemiştir. Sonuç olarak çerçeve yapının deprem performansı tamamen hasarsız olarak tanımlanabilir. Diğer taraftan yapıda bulunan ve taşıyıcılığı olmayan dış duvarlarda minimal seviyede, iç bölme duvarlarda ise kısmi olarak yatayla yaklaşık 45 derece eğime sahip çift yönlü çatlaklar gözlenmiştir. Bu durum, çerçevenin maruz kaldığı yer değiştirme geçmişinin, bölme duvarların yer değiştirme kapasitesini aştığını göstermektedir. Yapı taşıyıcı sistemi depremden sonra hemen kullanım



(a) Ard Germeli Birleşime Sahip Prefabrik İskelet



(b) Yapının Genel Görünüşü



(c) Cephe Duvarlarında Gözlenen Çatlaklar



(d) Ard Germeli Düğüm Noktaları

Fotoğraf 5.1 – Ard Germeli Birleşime Sahip 7 Katlı Konut Yapısı

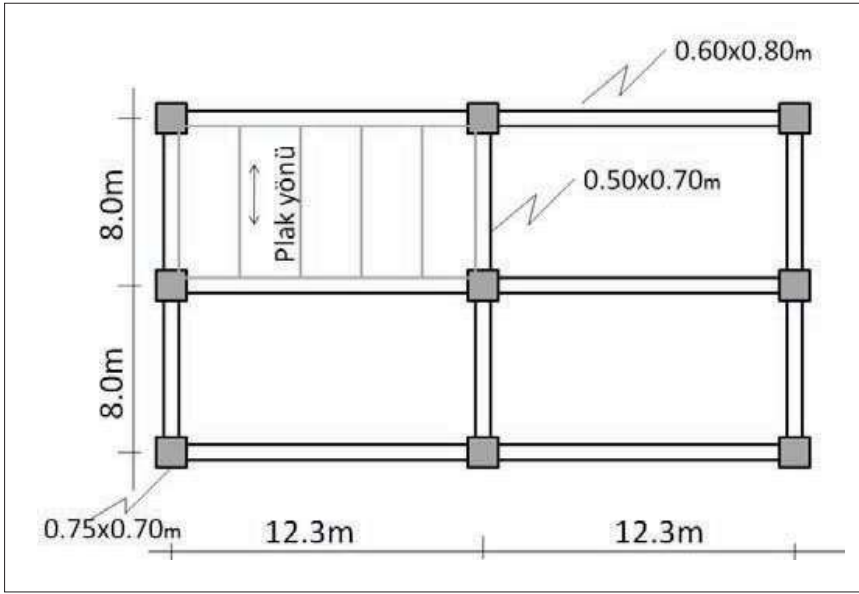
limitinde olan bu yapının, tasarım deplasman limitlerinin azaltılması ile yapısal olmayan hasarlarının da azaltılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca desteklenmemiş duvar açıklıklarının ve duvar-tavan birleşimlerinin duvar ha-

sarına sebep olmayacak şekilde revize edilmesi uygun olacaktır.

6. Sonuç ve Değerlendirme

1998 Ceyhan, 1999 Gölçük ve Düzce depremleri sonrasında yapılan saha

incelemelerinde tek katlı sanayi yapılarında gözlenen hasarlar, sistematik olarak 23 Ekim 2011 Van depreminde de tekrarlanmıştır. Yerinde yapılan incelemelerde göze çarpan en önemli nokta, birleşim bölgelerine hem imalat



Şekil 5.1 - Ard - Germeli Yapıda Kolon ve Kiriş Boyutları

hem de montaj aşamalarında gerekli özenin gösterilmemesidir. Bağlantılarda, pim deliklerinin çevresinde donatı olmaması, delik içi dolgu harcının kalitesinin yetersizliği, delik içi yüzey alanının aderansının iyi olmaması, dolgu harcı ile birlikte (aynı zamanda korozyon etkisinin önlenmesi amacıyla) montaj güvenliğini sağlayacak pul-somun ve kaynak detaylarının uygulanmamış olması, elastomer mesnet kullanılmamış olması, kullanılan donatıların karbon ve karbon eşleniği değerleri yanında mekanik özelliklerinin sünek yapı oluşturmaya imkan vermeyecek seviyede olması, hasar ve göçmelerin önemli nedenlerini oluşturmuştur.

Tüm saha incelemeleri, sanayi yapılarındaki pimli birleşimlerde pim sıyrılmasının engellenmesi ve çatı seviyesinde kaplamadan dolayı bir diyaframın oluşturulmasının hasar seviyesini azaltıcı yönde etki gösterdiği, spor salonunda her iki doğrultuda kullanılan yerinde dökme betonarme perdelerin kat arası ötelenmeleri azalttığı dolayısıyla düğümlerdeki dönme talebini azaltarak göçme oluşumunu engellediği, ayrıca kullanılan çift pimli bağlanılar ile eğik çatı kirişlerinde düzlem dışı devrilmenin engellendiği sonuçlarını desteklemektedir. Buna paralel olarak, yapı sistemlerinin oluşan kesit tesirlerini taşısa bile, tasarı-

mında mutlaka bölme duvar hasarını azaltıcı önlemlerin alınması önerilmektedir. Bu önlemler tasarım deplasman limitlerinin küçültülmesi, veya duvar bağlantı detaylarının iyileştirilmesi şeklinde olabilir.

Referanslar

- [1] "23 Ekim 2011 Van Depremi (Mw= 7.2) Değerlendirme Raporu", Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/Depremler/onemliler/23Ekim2011_VanDepremiDuyuru_vt08112011.pdf
- [2] "23 Ekim 2011 Tarihli Van Depreminde Gözlenen Yapı Hasarları", Ş. Özden, E. Akpınar, H. M. Atalay, http://laboratuvar.kocaeli.edu.tr/yapilab/diger/yapilab19.12.2011_17.30.56diger.pdf
- [3] "23 Ekim 2011 Van Depremi Raporu", Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Bşk.lığı, Aralık 2011, <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/WebBelge.aspx?param=105>
- [4] Van İli Deprem Bölgeleri Haritası, Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Bşk.lığı, <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/depbolge/van.gif>