

## Şanlıurfa 2. Organize Sanayi Bölgesindeki Bir Prefabrik Yapının Göçme Nedenlerinin Araştırılması

Recep Kadir PEKGÖKGÖZ, Fatih AVCİL

Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa  
recepkadir@harran.edu.tr

(Geliş/Received:27.07.2016; Kabul/Accepted:30.10.2016)

### Özet

Şanlıurfa 2. Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan ve içerisinde prefabrik elemanların üretiminin yapıldığı bir prefabrik sanayi işletmesinin çatısı çökmüştür. Bu çökme sonucu can ve mal kaybı yaşanmıştır. Bu çalışmada prefabrik yapıda göçmeye neden olan muhtemel sebepler araştırılmıştır. İlk inceleme sonucunda yapının projesine göre tamamlanmadığı ve ağır bir imalat için yoğun bir şekilde kullanıldığı belirlenmiştir. Yapının kullanım süreci içerisinde kren (vinç) ve beton mikserlerinin oluşturduğu dinamik titreşimlerin, özensiz yapılan ve zayıf olan kolon-kiriş bağlantılarında aşırı yanal hareketlere neden olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucunda kirişlerden biri bağlantısından kurtularak beş kirişten oluşan çatı sisteminin aşamalı göçme mekanizmasıyla yıkıldığı kuvvetli olarak tahmin edilmektedir. Bu varsayımın doğruluğu, mevcut yapı ve bu yapının tamamlanmış hali sonlu elemanlar yöntemiyle incelenerek test edilmiştir. Mevcut yapı modelinde yer değiştirmelerin tamamlanmış yapı modeline göre oldukça büyük olması mevcut yapının dinamik dış yüklerle göre zayıf bir davranış sergilediğini göstermiştir. Elde edilen bu bulgu öngörülen varsayımı doğrulamıştır. Sonuç olarak, prefabrik yapıların projelendirildikleri hallerinden eksik bir durumda inşa edilip kullanılmalarının can ve mal güvenliği bakımından önemli bir risk oluşturduğu anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Prefabrik yapı, Dinamik dış yük, Rezonans, Sonlu elemanlar yöntemi

## Investigation of the Collapse Reason of a Prefabricated Industrial Plant at Şanlıurfa 2nd Industrial Estate

### Abstract

There is a roof collapse at an industrial plant that produces precast structural elements located at Şanlıurfa 2nd Industrial Estate. This collapse resulted in life and economic loss. In this study, possible causes that led to the collapse of this precast building were investigated. The structure has not been completed according to the project and it was determined that load carrying elements of this prefabricated plant intensively used for heavy manufacturing for an external purpose as a result of the first observation. Dynamic vibrations created by the crane and concrete mixers have determined the cause that excessive lateral movement in beam-column connections which is sloppy done and weak in the process of building usable. As a consequence, it is strongly estimated that one of the beams have been left the connection than the roof system consists of five beams have been collapsed by the gradually failure mechanism. The reliability of this assumption was tested by two finite element models. One of them is belong to current status of the in completed prefabricated structure other of them is belong to completed ideal prefabricated structure. Displacement in the current structure model is significantly larger than the complete version of the structure has shown poor behavior exhibits under dynamic external load. The obtained results confirmed the assumptions of this prediction. As a result, the uses of prefabricated buildings that are not in accordance with the project are understood to pose a significant risk in terms of life and property security.

**Keywords:** Precast building, Dynamic external load, Rezonans, Finite element method

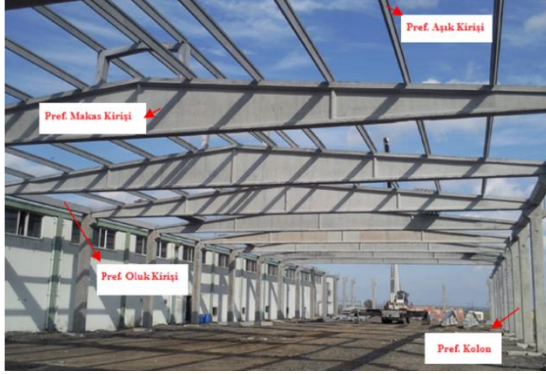
### 1. Giriş

Prefabrik yapı, projesine göre fabrika ortamında yapılan ve şantiyede monte edilen yapılara denir. İnşaat süresinin kısa olması,

elemanların istenilen kalitede ve boyutta yapılabilmesi başlıca tercih sebepleridir. Bu yapılar birçok betonarme elemanın birleşimi ile meydana getirilmektedir. Prefabrik elemanlar kolon, kiriş, döşeme, duvar ve merdiven gibi

## Şanlıurfa 2. Organize Sanayi Bölgesindeki Bir Prefabrik Yapının Göçme Nedenlerinin Araştırılması

yapı elemanlarından oluşmaktadır. Türkiye’de inşa edilen prefabrik yapıların büyük bir bölümü sanayi yapıları olarak kullanılmakta ve büyük çoğunluğu tek katlı çerçeve sistemlerdir (Şekil 1).



Şekil 1. Tek katlı prefabrik sanayi yapısı.

Dünya'nın çeşitli bölgelerinde hızlı montaj ve istenilen kalitede üretilen prefabrik yapılar ülkemizde de kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu prefabrik yapı elemanları fabrika ortamında üretildiğinden dolayı yalnız başlarına dayanım güçleri yüksektir ve kaliteli malzemeye sahiptirler. Projeye uygun olarak yapıldığı takdirde büyük açıklıklar geçilebilmektedir. Fakat bu yapıları oluşturan elemanlarının bağlantı bölgelerindeki zayıflıklar nedeniyle deprem sonrası meydana gelen hasarlardan da anlaşılacağı üzere yatay etkileyen deprem yüklerinin karşılaması konusunda bazı sorunlar görülmektedir. Tasarımı düzgün olmayan yapılarda, özellikle deprem etkisinin yüksek olduğu yerlerde depremden kaynaklanan yanıl kuvvetlerin karşılanamaması yapıya büyük zarar verebilir. Ülkemizde hali hazırda özellikle fabrika yapılarında kullanılan prefabrik yapılar incelendiğinde bu yanıl kuvvetler altında, yapı elemanı birleşim bölgelerinin yeterli performansı göstermediği görülmektedir. 27 Haziran 1998 Ceyhan, 17 Ağustos 1999 Kocaeli ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinde prefabrik yapıların ciddi hasar gördüğü rapor edilmiş ve bu yapıların yatay yükler altındaki performansları sorgulanır hale gelmiştir [1, 2].

Bütün yapılarda olduğu gibi prefabrik yapılarda da birleşim bölgelerinin uygun tasarlanması, deprem etkisi başta olmak üzere yapıya etki eden tüm yatay ve düşey kuvvetlerin etkisi altında kolon ve kiriş gibi yapı elemanlarının kendisinden istenilen sünek

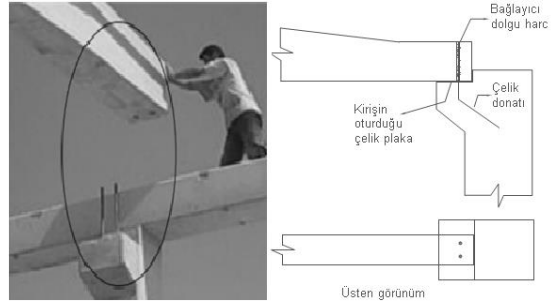
davranışı göstermesi açısından son derece önemlidir. Bu konu göz önüne alındığında prefabrik yapı elemanlarının birleşim noktalarının güçlendirilmesi veya yeni birleşim türlerinin geliştirilmesi gerekmektedir [3, 4, 5].

## 2. Prefabrik Yapıların İnşa Yöntemi

Türkiye’de genellikle sanayi yapılarında kullanılan prefabrik yapı sistemlerinde bulunan temel-kolon ve kolon-kiriş bağlantı şekilleri (Şekil 2) ve (Şekil 3) de gösterilmektedir. Prefabrik yapılarda ankrajlı temellerin kullanılmasına rağmen çoğunlukla soketli temeller tercih edilmektedir. Bu temellerde kolon yuvaları kolon boyutlarından 4-6 cm daha geniş yapılmaktadır. Kolon sokete yerleştirilip sabitlendikten sonra boşluklar çimento harçları veya epoksi reçinesi gibi özel yapıştırıcılar ile doldurulup birleşim tamamlanmaktadır. Türkiye’de sıklıkla kullanılan prefabrik kolon ve kiriş birleşimi pimlerle yapılmaktadır. Şekil 3’de görüldüğü gibi kolon üst ucunda inşa edilmiş konsolda bulunan pimlerle kirişlerle birleşim sağlanmaktadır [6].



Şekil 2. Kolon için hazırlanmış temel soketleri.



Şekil 3. Prefabrik kolon-kiriş birleşimi.

### 3. Prefabrik Yapıların Davranışı ve Oluşan Hasar Türleri

Fabrikasyon üretimi olan prefabrik yapı elemanları tek başlarına dayanımı oldukça yüksek olmasına rağmen, birleşim bölgelerindeki zayıflıklardan dolayı çeşitli kuvvetler altında dayanıklılığı istenilen seviyede değildir. Özellikle kolon-kiriş birleşim noktasında yatay yükler altında yeterli rijitliğin sağlanmadığı yapılan çalışmalardan anlaşılmıştır [7]. Prefabrik yapılarda deprem ve patlamalardan dolayı oluşan hasarlar aşağıda özetlenmiştir.

17 Ağustos 1999 tarihinde gerçekleşen Kocaeli/Gölcük merkezli Marmara depremleri sonrası binalar üzerinde yapılan incelemelerden prefabrik yapıların büyük kısmının depreme dayanıklı olmadığı görülmüştür [8]. Prefabrik yapılarda birleşim bölgelerinde oluşan hasar sebepleri incelendiğinde depremden kaynaklanan yatay yüklerin karşılanamamasının büyük bir sorun teşkil ettiği anlaşılmıştır [7, 9].

Prefabrik sanayi yapılarında deprem sırasında oluşan yatay yer değiştirmeler nedeniyle (Şekil 4)'de görüldüğü gibi makas kirişlerinin kolon uçlarında oturdukları konsol kısımlarından düşerek göçmelere neden olduğu, kolon ve kirişleri birbirlerine bağlayan ankrajların birleşimi sağlamada yetersiz kaldığı görülmüştür.



Şekil 4. Marmara depremi etkisine maruz kalan prefabrik yapı [10].

Kolon alt uçlarında plastik mafsal oluşumuna benzer çatlaklar oluştuğu ve kolonların bu bölgelerden kırılarak devrildikleri gözlenmiştir. Bu hasar türünün oluşmasından kesitlerin kayma ve eğilme dayanımlarının yetersiz olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Ankara OSTİM.

Prefabrik yapılar deprem gibi doğal afetler dışında başka nedenlerden de hasar görebilmektedir. 3 Şubat 2011 tarihinde Ankara Ortadoğu Sanayi ve Ticaret Merkezi (OSTİM)'de bulunan prefabrik yapıda meydana gelen patlama sonucu yapı elemanları birbirinden ayrılmış ve yapının bir kısmı çökmüştür (Şekil 5). Çökme sonucu 7 kişi hayatını kaybetmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda hasar nedeninin yetersiz dayanıma sahip kolon-kiriş ve kiriş-döşeme birleşimlerinin olduğu anlaşılmıştır.

### 4. Şanlıurfa 2. Organize Sanayi Bölgesinde Yıkılan Bir Prefabrik Yapının İncelenmesi

24 Haziran 2014 tarihinde Şanlıurfa 2. Organize Sanayi Bölgesinde bulunan bir prefabrik beton imalathanesinde meydana gelen çökme sonucu enkaz altında kalan iki kişi yaşamını yitirmiştir.



Şekil 6 a) Yapının genel görünümü b) 150 kN'luk kren

Çöken prefabrik işletme mahallinde çeşitli incelemeler yapılmıştır. Projede öngörülen beton sınıfının C30 olduğu tespit edilmiştir. Yapının farklı bölümlerinden alınan karot numunelerinin değerlendirilmesi sonucu beton basınç dayanımının projede öngörülen asgari dayanımı sağladığı görülmüştür. Bina prefabrik



## Şanlıurfa 2. Organize Sanayi Bölgesindeki Bir Prefabrik Yapının Göçme Nedenlerinin Araştırılması

betonarme olarak yapılmış, 25x64 m boyutlarında 7.8 m yüksekliğinde tek açıklıklı bir fabrika binası olduğu belirlenmiştir. Prefabrik yapının çatı kısmının ve duvarlarının tamamlanmamış olduğu, taşıyıcı ana kirişlerden bazılarının aşıklarla birlikte monte edildiği, geri kalan ve yaklaşık fabrikanın yarısına tekabül eden kısımda ise çatı makası kirişlerinin yapılmadığı anlaşılmıştır (Şekil 6a). Binanın ana kiriş ve aşıklarının bulunduğu çatı kısmı altındaki alanda ticari amaçlı prefabrik betonarme elemanların imalatı yapılmaktadır. Ticari amaçlı prefabrik betonarme kiriş ve diğer prefabrik elemanların üretimi için 150 kN'luk bir kren sisteminin bulunduğu görülmüştür (Şekil 6b). Büyük hasar meydana gelen prefabrik yapıda izlenen gözlem sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Yapının ana kirişlerinden beş tanesi, kolonlar üzerine, kolonlardan çıkan donatı filizlerinin kiriş uç kısımlarındaki montaj deliklerinden (yaklaşık 8 cm çaplı) geçirilerek oturtulduğu, fakat açılan bu deliklerin beton veya başka bir tutucu malzemeye doldurulmadığı ve sabitlenmediği veya ek bulonlama yapılmadığı görülmüştür (Şekil 7). Bu prefabrik yapıyı oluşturan elemanlarda kiriş kolon bağlantı kısımlarının hiçbirinde (beş ana kirişte de) yapılan montaj işlemi önceden bahsedildiği şekilde uygulanmamıştır.



**Şekil 7.** Çatı makası kirişinin düşerken eğdiği kolon donatıları, prefabrik kiriş ve parçalanmış bağlantı noktası

Çöken kısmı oluşturan ana kirişlerin çatı bölgesi altında yapılan imalat dolayısıyla, bu alana sürekli olarak farklı sıklıkla beton trans mikserlerinin giriş çıkış yaptığı tespit edilmiştir

(Şekil 8a). Trans mikserle gelen taze betonun harç kovası (vince asılı huni şeklinde konik metal aparat) vasıtası ile çelik kiriş kalıplarına döküldüğü ve bu iş için kolonlara monte edilmiş olan kren sisteminin kullanıldığı anlaşılmıştır (Şekil 8b). Kren sistemi, üretimi yapılmış prefabrik elemanların çatı kısmı tamamlanmamış alana taşınarak stoklanmasında da kullanılmaktadır. Çatı kısmı bulunmayan alandaki bağlantı kirişlerinde de diyagonal kesme çatlaklarına rastlanmıştır. Bu durum yapının tamamlanmayan bölümünün diğer tamamlanan kısma göre daha çok zorlandığının bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.



(a) (b)

**Şekil 8.** a) Prefabrik betonarme elemanların imalatı için hazır beton taşıyan trans mikser b) Beton döküm kovası.

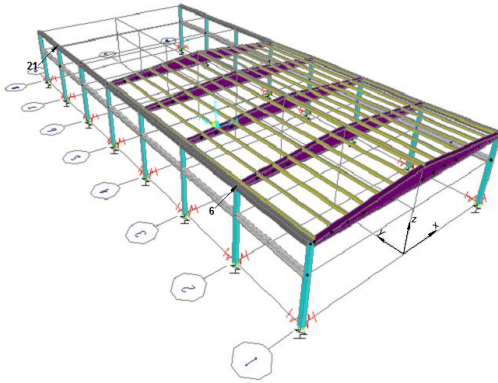
Hem vinç sisteminin kullanılması hem de taze beton mikserinin oluşturduğu dinamik etkiler, rezonans oluşturarak ek titreşimlere sebebiyet vermiş olabileceği düşünülmektedir. Binanın yukarıda açıklanan ve çok zayıf olan kiriş-kolon bağlantılarında bu titreşimlerin zamanla kirişlerin aşırı yanal hareketine sebebiyet verdiği ve kirişlerden birinin bağlantısından ayrılması sonucu beş kirişten oluşan çatı kısmının aşamalı göçme mekanizmasıyla göçtüğü kuvvetli bir ihtimal olduğu düşünülmektedir. Bundan sonraki bölümde prefabrik fabrika imalathanesinde ağır yüklerin taşınmasında kullanılan vincin taşıyıcı sisteme uyguladığı dinamik etki modellenerek, tamamlanmış yapı ile mevcut yapının bu yükleme etkisindeki durumları karşılaştırılmıştır.

## 5. Yapının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellemesi

Prefabrik sanayi yapısı  $x$  yönünde tek açıklıklı ve 25 m uzunluğundadır,  $y$  yönünde ise 8 aks'tan oluşmakta ve her bir aks açıklığı 8 m uzunluğundadır. Yapı kolonları 36x36 cm boyuta ve 7.8 m yüksekliğe sahiptir. Ayrıca, bu yapı farklı boyut ve en kesit alanına sahip makas kirişi, oluk kirişi, aşık kirişi ve 150 kN'luk kren yüklemesini taşıyabilecek kirişlerden oluşmaktadır. Kolonlar 2.5x2.5 m boyutlarında ve 40 cm yüksekliğinde kare şeklindeki tekil temellere oturmuştur. Zemin emniyet gerilmesi 0.237 MPa ve zemin yatak katsayısı 56880 kN/m<sup>3</sup>olarak değerlendirilmiştir. Kolonların tekil temeller ile etkileşimi eş değer elastik yaylarla modellenmiştir.

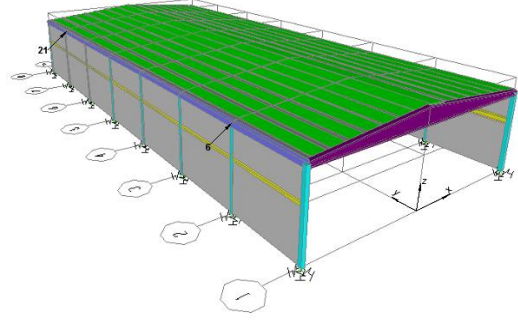
Prefabrik yapının mevcut durumunu temsil eden Yarım Tamamlanmış Yapı (YTY) ve aynı yapının tamamlanmış hali olan Tamamlanmış Yapı (TY) Sap2000 sonlu elemanlar programında modellenmiştir.

Yapımı tamamlanmamış prefabrik yapı modeli Şekil 9' da görülmektedir. Bu yapıda 5 adet makas ve aşık kirişleri tamamlanmamış, 3 adet makas kirişinin ve duvar ve çatı kaplamalarının yapılmamış olduğu belirlenmiştir. Bu yapının sonlu eleman modelinde 104 adet kiriş, 16 adet kolon ve 48 adet yay elemanı kullanılmıştır.



Şekil 9. Tamamlanmamış prefabrik yapının üç boyutlu modellemesi

Yapımı tamamlanmış prefabrik yapı modelinde makas ve aşık kirişleri tamamlanmış duvar ve çatı kaplaması yapılmıştır (Şekil 10). Duvar kaplaması için gaz beton panel ve çatı kaplaması için sandviç panel kullanılmıştır. Bu yapının sonlu eleman modelinde ise 158 adet kiriş, 16 adet kolon, 48 adet yay ve 126 adet kabuk (shell) elemanı kullanılmıştır.



Şekil 10. Yapımı tamamlanmış üç boyutlu prefabrik yapı modellemesi

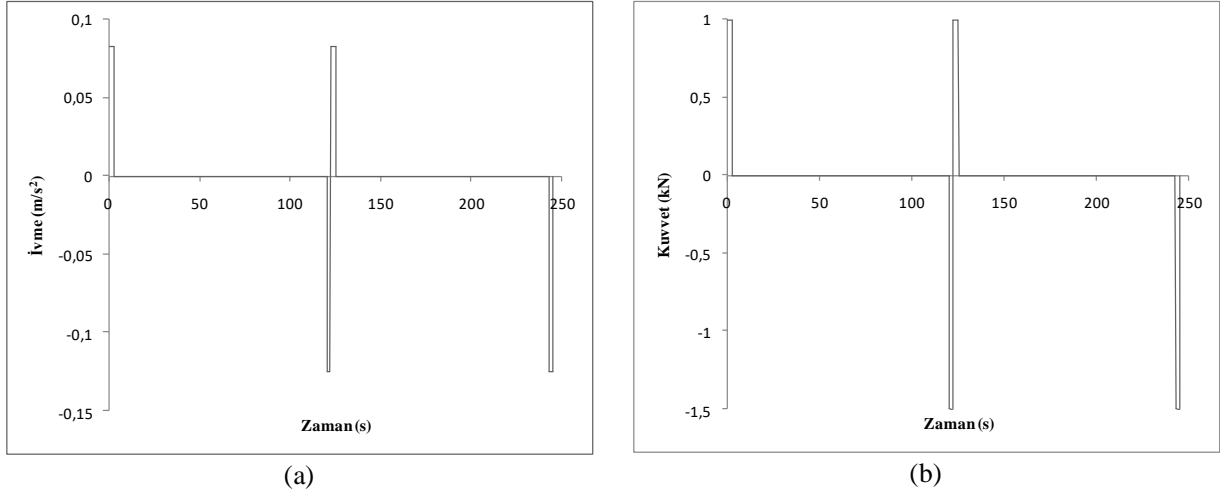
Her iki yapı modeli için modal analiz gerçekleştirilmiş,  $x$  ve  $y$  doğrultularındaki 1. Doğal periyot değerleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. TY ve YTY modellerinin ilk moduna ait periyot değerleri

Model	$T_1$ (s) $x$ doğrultusu	$T_1$ (s) $y$ doğrultusu
TY	1.243	0.304
YTY	1.269	0.807

Bu tablonun incelenmesinden YTY'nın yatay rijitliğinin özellikle  $y$  doğrultusunda TY göre küçük olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum YTY'nın yatay dış yükler etkisinde TY göre zayıf kaldığını göstermektedir.

Fabrikada üretilen prefabrik yapı elemanları 150 kN'luk yük kapasitesine sahip olan kren vasıtasıyla kren kirişine yerleştirilen raylar üzerinde hareket ederek taşınmaktadır. Fabrikanın bir ucundan diğer ucuna gidip gelebilen kren (Şekil 11 a) da gösterilen grafikten anlaşılacağı üzere 0.083 m/s<sup>2</sup>'lik bir ivme ile hızlanmakta, 0.25 m/s sabit hıza ulaşmakta ve 0.125 m/s<sup>2</sup>'lik bir ivme ile durabilmektedir.



Şekil 11. a) Kren vincinin hareketi sırasında yapıya uyguladığı ivme b) Kuvvet değerleri

Krenin 120 kN'luk bir yükü bulunduğu noktadan alarak 30 m ileri doğru hareket ettiği ve sonra aynı yükü başlangıç noktasına geri döndüğü kabul edilerek dinamik bir yükleme senaryosu tasarlanmıştır. Bu yükün taşınması sırasında sisteme (Şekil 11 b) da gösterilen dinamik bir yük uygulanmaktadır.

Her iki modelde önceden belirlenen biri 2 aksı kolon üst ucu (6 numaralı düğüm noktası) ve diğeri 7 aksı kolon ucunda (21 numaralı düğüm noktası) yukarıda bahsedilen dinamik yüklemeden dolayı oluşan yer değiştirmeler (Tablo 2) de gösterilmiştir. Ayrıca 21'nolu düğüm noktasının YTY'da makas kirişleriyle bağlanmamış olduğuna dikkat edilmelidir.

Tablo 2. TY ve YTY modellerinin kritik noktalardaki yer değiştirmeler

Model	6'nolu düğüm noktası.			21'nolu düğüm noktası		
	$U_x$ (mm)	$U_y$ (mm)	$U_z$ (mm)	$U_x$ (mm)	$U_y$ (mm)	$U_z$ (mm)
TY	$0.68 \times 10^3$	2.24	5.60	$0.72 \times 10^3$	2.20	5.58
YTY	$2.80 \times 10^3$	13.20	7.11	$64.4 \times 10^3$	13.20	7.20

Tablo 2'nin incelenmesinden YTY'daki yer değiştirmelerin genel olarak TY'ya göre büyük olduğu görülmektedir. Özellikle YTY'nın y doğrultusundaki (uzun doğrultu) 6'nolu düğüm noktası ve 21'nolu düğüm noktasının x ve y doğrultularındaki yer değiştirmelerin belirgin bir şekilde TY göre büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç YTY'nın kullanım süreci içerisinde kolon-kiriş birleşim noktalarının tasarlandığından daha fazla zorlandığını göstermektedir. Kolonlara oturan makas

kirişlerinin bir tanesinin oturduğu yerden serbest kalarak düşmesi sonucu bile, aşık kirişleriyle birbirine bağlı olan makas kirişlerinin aşamalı olarak düşmesine neden olmuş olabilir.

## 6. Sonuçlar

Prefabrik betonarme yapıların yatay yükler altındaki davranışı incelendiğinde birleşim bölgelerindeki zayıflıklar dikkat çekmektedir. İncelediğimiz çöken yapıda olduğu gibi yapının inşasının eksik bırakılması veya özensiz yapılması dinamik yükler altında zayıf bir davranış sergileyen birleşim bölgesinin dayanımını daha da düşürmektedir. Öngörülen dinamik yük altında her iki farklı model için yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır. YTY'daki yer değiştirmeler duvar ve kaplamaları yapılmış olan TY'nın yer değiştirmelerine nazaran oldukça büyük çıkmıştır. Modal analiz ve dinamik kren yüklemesinde elde edilen sonuçlar prefabrik yapıların tasarlandıkları projelerden eksik olarak inşa edilmeleri durumunda kullanılmalarnın can ve mal güvenliği açısından son derece sakıncalı olduğunu ortaya koymuştur.

## 7. Kaynaklar

- Ataköy, H., (2000). 17 Ağustos Marmara depremi ve TPB üyelerince yapılan prefabrike yapılar, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, **2**, 52-53.
- Yılmaz, S., Kuyucular, A., Şenel, Ş.M., İnel, M. (2007). Betonarme prefabrik yapıların deprem dayanımı: Makas kirişinin devrilmesi, *İMO Teknik Dergi*, **274**, 4157-4160.

3. Ersoy, U., Özcebe, G. ve Tankut, T., (2000). 1999 Marmara ve Düzce depremlerinde gözlenen ön üretimli yapı hasarları, *10. Prefabrikasyon Sempozyum Bildirileri Kitabı, Deprem ve Prefabrikasyon*, (Nisan 2000), İstanbul, 1.
4. Özden, Ş. ve Meydanlı, H. (2003). Seismic response of precast industrial buildings during 1999 Kocaeli Earthquake SE-40EEE. *Skopje Earthquake 40 Years of European Earthquake Engineering*, Skopje, (21-31 Mayıs 2003), Macedonia.
5. Posada, M. ve Wood, S.L., (2001). Seismic performance of precast industrial buildings in Turkey, [http://ccee.oregonstate.edu/workshops/tubitak/reports/posada\\_evaluation\\_of\\_seismic.pdf](http://ccee.oregonstate.edu/workshops/tubitak/reports/posada_evaluation_of_seismic.pdf).
6. TOPÇU, A., (2014).Yapılarda patlama hasarını azaltıcı yöntemler, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*, Mayıs 2006-Eylül 2014, <http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/>
7. Metelli, G. and Riva, P., (2008). Behaviour of a beam to column dry joint for precast concrete elements. *The 14th World Conference on EarthquakeEngineering*, (October 12-17 2008), Beijing, China.
8. Kaya, M. and Arslan, A. (2009). Analytical modeling of post-tensioned precast beam-to-column connections. *Materials & Design*, **30**, 2302–3811.
9. Choi, H. K.,Choi, Y.C., Choi, C.S., (2013). Development andtesting of precast concrete beam-to-column connections. *Engineering Structures*, **56**, 1820–1835.
10. Arslan, M.H.,Korkmaz, H.H., Gulay, F.G., (2006). Damage and failure pattern of prefabricated structures after major earthquakes in Turkey and short falls of theTurkish Earthquake code. *Engineering Failure Analysis*, **13**, 537–557.