

## TÜRKİYE’DEKİ ASMOLEN YAPILARIN DEPREM YETERLİLİĞİ KONUSUNDA BİR İRDELEME

C. Dönmez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Yardımcı Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir  
Email: cemalettindonmez@iyte.edu.tr

### ÖZET:

2011 Van-Erciş depreminde 1975 sonrası deprem şartnameleri kapsamında yapılmış bazı asmolen binalar ağır hasar görmüş veya göçmüştür. Yapılan gözlemler bu yapılardan bir kısmının Van-Erciş depreminin görece düşük talepleri altında dahi kuvvetli kolon zayıf kiriş davranışıyla oluşan mafsallaşma sonucu göçtüğünü göstermektedir. Bu çalışmada betonarme yapıların bir alt grubu olan asmolen yapıların neden bu şekilde göçtüklerinin sebepleri araştırılmıştır. Bu amaçla 2007 şartnamesine göre tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiş yedi adet asmolen bina ele alınmıştır. Bu yapıların taşıyıcı sistemleri tanımlanmış ve titreşim periyotları ile modal şekilleri hesaplanmıştır. Her bir yapının şartnamenin yeni bir yapı için gerekliliklerini sağladığı teyit edilmiş ve daha sonra tasarım depremi altında doğrusal olmayan ötelenme talepleri hesaplanmıştır. Yapıların taşıyıcı sistemlerinin yakından incelenmesi detayda deprem performansları açısından sorunlar arz eden kusurlara sahip olduklarını ve bu kusurların deprem şartnamesi tarafından filtrelenmediğini ortaya koymuştur. Diğer taraftan söz konusu kusurların olmadığı örnek bir asmolen yapı şartname sınırları içinde kalınarak ama yapı tasarımı yumuşak yönde teşvik ederek tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Söz konusu yapının, tasarım depremi talepleri altında kendisinden beklenen performansı göstermediği ortaya konulmuştur.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Asmolen yapılar, performans, yanal öteleme.

### 1. GİRİŞ

Betonarme yapılarda kirişlerin döşeme dışında dış yapmasını önlemek amacıyla alternatif bir yaklaşım olarak derinlikleri döşeme kalınlığına eşit kirişler oluşturulabilir. Buna mükabil yeterli eğilme kapasitesini sağlayabilmek amacıyla kirişlerin eni büyütülür. Söz konusu sistemde döşeme kalınlığı klasik çerçevelere göre daha büyüktür. Tabliyeler için bu kalınlık fazla olacağından döşeme içinde ana kiriş derinliğine sahip bir yöne uzanan kirişçikler (nervürler) ve aralarında ince bir tabliye oluşturulur. Tabliyelerin altına (kirişçiklerin arasına) kalıp imalatını kolaylaştırmak amacıyla dolgu konulur. Kullanılan dolgu adına referansla bu tip yapılara “asmolen” döşemeli sistem veya asmolen sistem denilir. Taşıyıcı sistemleri itibariyle bu sistemler betonarme çerçeveli sistemlerin bir alt grubu olarak sınıflandırılabilir. Özellikle mimari istemler sebebiyle asmolen sistemler ülkemizde gittikçe yaygınlaşmaktadır.

M<sub>w</sub> 7.1 2011, Van-Erciş depreminin merkez üssüne en yakın cihazın bulunduğu Muradiye ilçesinde yer ivmesi D-B yönünde 246 gal olarak kaydedilmiştir. Erciş’in merkez üssüne mesafesi Muradiye ile aynı olmak ile beraber gözlenen hasara bakılarak ilçenin daha büyük bir yer ivmesine maruz kaldığı sonucuna varılmıştır (İrfanoğlu ve diğ. 2012). Yine de ilçede gözlenen bazı hasarlar öngörülen yer hareketi talebinin ötesindedir, Şekil 1. Sahada yapılan incelemeler hasarlı yapıların tipik olarak yapısal yerleşim, detaylandırma ve malzeme dayanımları konularında sorunlu olduklarını göstermektedir. Buna rağmen asmolen yapılarda hasarların son deprem şartnamesi kapsamındaki görece genç yaşta yapılarda oluşması asmolen yapıların deprem yeterliliğinin irdelenmesi gerekliliğini ortaya koymuştur.



Şekil 1. Erçiş ilçesinde ağır hasar görmüş/göçmüş asmolen yapılar

Türk Deprem Şartnamelerinde asmolen yapılara özel kapsam bu tip yapılarda büyük kayıplara yol açan 1967 Adapazarı depremi ile başlamıştır. Bu yönetmelikte birlikte deprem riski yüksek bölgelerde asmolen bina yapımı yasaklanmıştır. 1975 şartnamesi ile belirli yüksekliklerin üstünde “deprem perdesi” kullanımı şartıyla tekrar izin verilmiştir. Daha sonra 1997 şartnamesinde asmolen binaların “süneklik düzeyi yüksek çerçeveler” olarak tasarlanması kaydı ile perde duvar şartı kaldırılmıştır. 2007 şartnamesinde değişmeyen bu tanımda genel sistemi tanımlayan şart haricinde standart betonarme çerçevelerden ayrı olarak özellikle asmolen yapıları ilgilendiren iki şart daha vardır. Bu şartlara göre kiriş gövde genişliği kiriş gövde yüksekliği ile kirişin birleştiği kolonunun kirişe dik genişliğinin toplamını geçmeyecektir ve kiriş yüksekliği 30 cm’den az olmayacaktır. Bu şartlar dışında asmolen yapılar standart betonarme çerçevelerin uymak zorunda olduğu diğer boyutlandırma ve detaylandırma şartlarını sağlamak zorundadır.

Bu yazıda asmolen (yatık kirişli) çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışına ait mevcut literatür irdelenecek, ülkemizde kullanılan tipik eleman boyutları ve uygulama ortaya konulacak ve deprem yeterliliği tartışılacaktır. Ayrıca şartnamede asmolen yapılar için mevcut gerekliliklerin tanımlı performans hedeflerine ulaşmadaki yeterliliği sınanacaktır.

Bu amaçla 7 adet mevcut asmolen yapı tipik oranlar ve ötelenme kapasite/taleplerini irdelemek amacıyla incelenmiştir. Mevcut şartname gereklilikleri ve tasarımcıların bu şartlara tasarım içinde nasıl cevap verdikleri şartnamenin tasarıma dolaylı etkisini ortaya koyabilmek için ayrıca tartışılmıştır.

## **2. YATIK KİRİŞLİ ÇERÇEVELERİN DÖNGÜSEL YATAY YÜK ALTINDAKİ PERFORMANSI**

Yatık kirişli çerçevelerin rijitliğinin düşük olması ve kirişlerin sığ olması kaynaklı donatı kenetlenmesindeki sorunlar sebebiyle literatürde bu konuda çeşitli araştırmalar mevcuttur. Söz konusu araştırmalar hakkında detaylı bir özet Benevent-Climent ve diğ. (2010) makalesinde verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda yatık kiriş tasarımı konusunda kritik olan konular üç ana başlıkta toplanmıştır: 1) Düğüm noktasında bağlanan elemanların ve düğüm noktasının geometrisi, 2) Kolon çekirdeğinin dışında kalan kiriş donatılarının kenetlenmesi (kolon çekirdeğinden kirişin bağlandığı yüzde kolonun en dıştaki boyuna donatıları arasında kalan bölge anlaşılmalıdır), 3) Kiriş ve kolon boyuna donatılarında düğüm bölgesinde sıyrılması.

Yatık kirişlerin moment direncinin kolon ile birleşim bölgesinde üç ana değişkenden etkilendiği ortaya konulmuştur (Benavent-Climent ve diğ. 2010; Gentry ve Wight 1994; Lafave 2001). Bunlar kiriş donatısında kolon çekirdeği içerisinde yer alan miktarın toplama oranı, kolon yakınında basınç çubuğu mekanizması oluşabilmesi ve kolona yatık kirişe dik yönde bağlanan kirişlerin burulma direncidir. Deney sonuçları kolon çekirdek bölgesi dışındaki boyuna donatıların kenetlenmelerinin dik kirişlerin burulma direnci sonucu oluştuğunu ortaya koymaktadır. Tasarlanan sistemde hem dayanım hem de rijitliğin korunması öngörülüyorsa dik kirişlerin burulma çatlama dayanımının kolon çekirdeği dışındaki yatık kiriş boyuna donatılarını kapasitelerine ulaştırarak kapasitede olması, sadece eğilme dayanımı önemliyse burulma donatısı ile ulaşılabilen burulma donatısının baz alınması gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır. Kolon yüzüne görece yakın olan boyuna kiriş donatılarının kapasitelerine basınç çubukları ile ulaşıldıkları rapor edilmiştir. Söz konusu yakınlık kolonun kiriş yönündeki boyutunun yarısı olarak tanımlanmıştır. Diğer taraftan bu mekanizmanın etkinliğini sağlamak için dik kirişlerde basınç çubuğunu dengeleyecek çekme donatısına ihtiyaç vardır (Benavent-Climent ve diğ.. 2010). Kolon ve kiriş boyuna donatıları için gerekli aderans boyu kiriş ve kolon derinliklerine bağlıdır. ACI 352-02 donatı sıyrılmasını engelleyebilmek amacıyla ilgili elemanın o yöndeki kalınlığının kiriş yada kolon boyuna donatı çapının en az 20 katı olmasını sağlık vermektedir.

Amerikan Beton Enstitüsü 1991'deki ACI-352 komite raporunda yatık kirişlerin yüksek sismik risk altındaki bölgelerde kullanılmamasını sağlık vermiştir. Daha sonra 2002'de tanımlı bir takım şartları sağlamak kaydıyla yatık kiriş kullanımına tekrar kapı açmıştır. Benzer şekilde Amerikan Beton Enstitüsü'nün Betonarme Yapıların Yapım Kurallarını tanımlayan ACI 318-11 (2011) sismik tehlikenin yüksek olduğu bölgelerde belirli şartları sağladıktan sonra yatık kirişli çerçeve tasarımına izin vermektedir. Sağlanması gereken şartlar yatık kiriş derinliğinin, kolonun kirişe dik yöndeki derinliğinin 1.5 katı ile kiriş derinliğinin toplamından az olması ve kirişin kolon çekirdek bölgesi dışındaki boyuna donatılarının enine donatılarla kuşatılmasıdır. Ayrıca ACI 352-02, deneysel tecrübenin tamamıyla eş merkezli kiriş-kolon bağlantılı çerçeveler kaynaklı olması sebebiyle dış merkezli yatık kiriş-kolon kullanımını tavsiye etmemektedir.

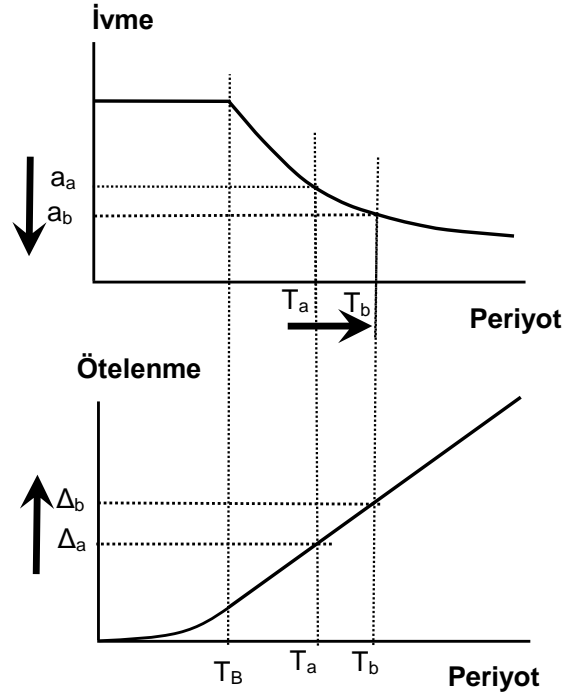
## **3. ASMOLEN YAPILARIN TERCİH EDİLME SEBEPLERİNİN İRDELENMESİ**

Asmolen yapıların popüler olmasını sağlayan kuvvetli hususlar vardır. Döşeme altında kiriş dişleri görünmediğinden duvar yerleşimlerini özgür bırakan bu sistem mimarlar açısından tercih sebebidir. Döşeme kalıbı düşünüldüğünde kiriş dişlerinin bulunmaması imalat açısından daha hesaplı bir sisteme yol açmaktadır. Tasarım mühendisi açısından düşük rijitliği sayesinde görece ufak yanal yüklerle tasarlanabilmesi ve doğal olarak kuvvetli-kolon zayıf-kiriş şartını sağlayabilmesi bir cazibe sebebi olmaktadır. Ne yazık ki tasarım mühendisi için cazibe yaratan sebep kuvvet tabanlı tasarım alışkanlığı kaynaklı bir yanılsama taşımaktadır. Boyutları gereği asmolen yapıların depreme karşı tasarımı tipik olarak eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapıldığından bu yöntemin varsayımlarını irdelemek olası sorunun kaynağını tespit etme yönünden faydalı olacaktır.

Eşdeğer deprem yükü yönteminin tasarıma esas olan ana varsayımlarını özetlenirse i) Dinamik yükler altında yapı temel olarak 1. modunda tepki verir, ii) Birinci mod tepkisini bozan ve taleplerin belirli bölgelere yoğunlaşmasına sebep olan düzensizlikler kontrol altındadır, iii) Yapının tasarımı azaltılmış yükler altında elastik sistem kabulü ile yapılmış analizler üzerinden gerçekleştirilebilir, iv) Tasarım esas olarak ivme spektrumu üzerinden yapılar ve ötelenme kontrolü azaltılmamış yükler altında elastik analiz ile kat arası ötelenme oranı vasıtasıyla sağlanır. Ötelenme kontrolü şartnamede 2.10.1.3 nolu madde ile azaltılmamış yatay yükler altında elastik analiz ile kat arası öteleme oranı %2'den az olma şartı ile kontrol edilir. Dolayısıyla şartnamede, kapalı bir biçimde, şart koşulan donatı detaylandırması sayesinde, kontrollü hasar (süneklik) ile birlikte ulaşılan ötelenme kapasitesinin ötelenme taleplerinin üzerinde olduğu kabul edilir.

Tasarım spektrumuna ivme yönünden değil de ötelenme açısından yaklaşıldığında yapıların artan periyot karşısında yatay yükteki düşüşe karşılık daha yüksek ötelenme değerleri sağlaması gerektiği gözlenir. Tasarım spektrumu üzerinden bu durum Şekil 2'de özetlenmiştir. Grafikte sunulduğu üzere ivme spektrumu üzerinde yapı periyodu  $T_a$ 'dan  $T_b$ 'ye arttırıldığında ivme ve dolayısıyla yük talebi düşerken, ötelenme spektrumu üzerinde  $T_a$ 'dan  $T_b$ 'ye gidildiğinde ötelenme talebi artar. İlişkinin kabaca şartnamedeki  $T_B$  karakteristik değerinden sonra doğrusal olduğu kabul edilebilir.

Asmolen yapı tasarımında yatık kirişli çerçeveler sebebiyle rijitlikteki düşme yüksek miktarlara ulaşırsa ötelenme talebindeki artışın karşılanamama riski bulunmaktadır. Şartnamemizde ötelenme ile ilgili tek kontrol doğrusal yükler altındaki %2 kat arası ötelenme limitidir.

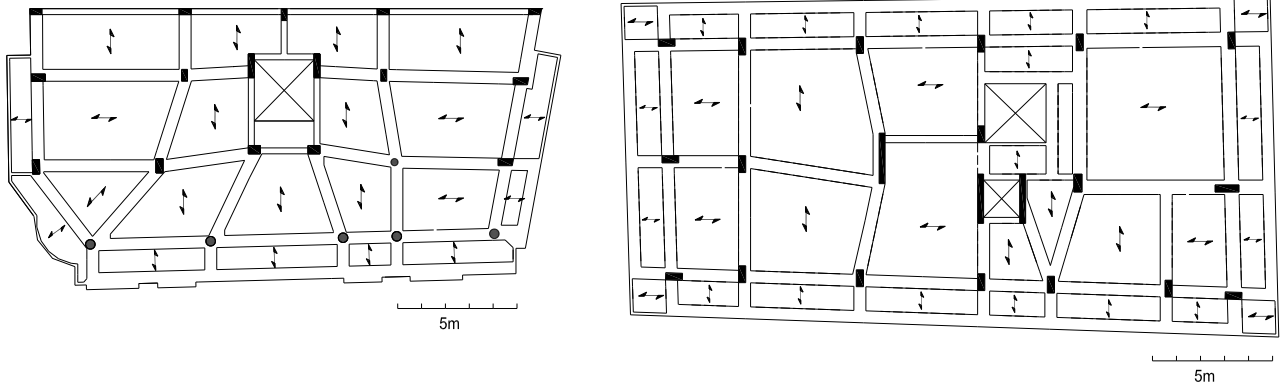


Şekil 2. İvme ve ötelenme tasarım spektrumları

#### 4. UYGULAMADA ASMOLEN YAPILAR

Düşük rijitlikleri sebebiyle asmolen yapılarda tasarım tipik olarak ötelenme limiti tarafından kontrol edilir. Çoğu durumda mimari tasarım tarafından tanımlanmış açıklıklar ve sınırlandırılmış kiriş derinliği sebebiyle tasarımcının elinde ötelenmeyi sınırlandırmak amacıyla kalan tek seçenek kolon boyutlarıdır. Kolon boyutlarının arttırılması yoluyla yeterli sınırlama sağlanmaması durumunda sınırlı miktarda perde kullanımı görülen bir uygulamadır. Burada söz konusu perdelerin davranışı kontrol etmekten çok ötelenmeyi sınırında tutabilmek amacıyla kullanıldığını belirtmekte fayda vardır.

Yatık kirişli yapıların plan boyutları standart betonarme yapılara çok benzer. Bu araştırmada incelenen 7 yapı üzerinden değerlendirilme yapılırsa, asmolen yapılar tipik olarak parsele uyum amacıyla dik açılı bozulmuş kabaca dikdörtgen olarak adlandırılabilir planlara sahiptirler. İncelenen örneklerde 16x33 metreye kadar plan büyüklükleri gözlenmiştir. Analizlerde kullanılan binalardan ikisinin plan ve yapısal eleman yerleşimi Şekil 3’de sunulmuştur. İncelenen yapıların kat yükseklikleri görece daha yüksek ilk kat hariç 2.7 ile 3.0 metre arasında değişmekte, ilk kat ise 4.6 metreye kadar ulaşabilmektedir. Yatık kiriş ve aynı zamanda toplam döşeme yüksekliği 30-32 cm arasında değişmekte, yatık kirişin eni açıklığa ve kirişe gelen yüke bağlı olarak 50 ila 90 cm arasında oynamaktadır. Döşeme dışları yatık kiriş ile aynı yükseklikte ve tipik olarak 10-12 cm enindedir. Dişler arasında uzanan döşemeler 7 ila 9 cm kalınlığa sahiptir. Dişler arası kalan boşluklar sisteme adını veren asmolen briketler, boşluklu kil tuğlalar veya son zamanlarda strafor bloklar ile doldurulmaktadır. Seçilen kiriş derinliğine bağlı olarak servis durumunun kontrolünde kiriş açıklıkları 7 metreye kadar ulaşabilmektedir. Türk şartnamelerinde kiriş-kolon birleşimlerinin merkezlenmesi konusunda bir kontrol olmadığından uygulamada dış merkezli kiriş-kolon bağlantısı çok yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Ayrıca kiriş-kolon aksları yaygın biçimde süreksiz, kesik ve açılı yerleştirilmektedir. Bu tip uygulamaya uç fakat nadir olmayan bir örnek olarak Şekil 4’te bir birleşim bölgesi sunulmuştur. Çerçeve süreksizliği ve kirişlerin yatık olması bir araya geldiğinde sistem rijitliği olağanüstü şekilde düşmekte buna karşılık ötelenme talepleri artmaktadır.



a) 4 kat,  $T_1=0.7s$

b) 4 kat,  $T_1=1.2s$

Şekil 3. Uygulamadan plan ve yapısal eleman yerleşim örnekleri

Mevcut uygulamalar incelendiğinde tasarımcıların yapının esnekliğini azaltma yönünde etkisi olduğu inancı ile döşeme dişlerinin yönünü değiştirme çabası içinde olduğu gözlenmektedir. Bu inancın etkin bir gerçekliği yoktur. Yapıların ağırlıklı olarak konut olması ve her katta birden çok ünite olmasından dolayı merkezi bir servis shaftı yaratılmak ihtiyacı doğmaktadır. Uygulamada söz konusu servis shaftına getirilen çözümlerin yapısal ızgarayı ağır bir biçimde bozduğu ve kesikli, eğri, süreksiz bir yapısal sisteme yol açtığı gözlenmektedir. Şekil 3’deki planların ızgara sistemleri bu konuya ilişkin tipik örneklerdir.

Türk şartnamelerinde kolon çekirdeği dışından geçen yatık kiriş donatılarına ve dik kirişlerin burulma kapasitelerine ilişkin herhangi bir gereklilik yoktur. Ayrıca elemanlar boyutlandırılırken donatıların sıyrılmasını önleme amaçlı bir kontrolde önerilmemektedir. ACI 352-11’de önerilen donatı çapının 20 katı referans alınırsa, kolon donatılarındaki sıyrılmaya engel olmak amacıyla kolonlarda kullanılacak en büyük donatı çapı 30 cm’lik bir kalınlık için 14mm’e karşılık gelmektedir.



Şekil 4. Uygulamadan örnek bir kiriş-kolon birleşimi

## 5. İNCELENEN YAPILAR

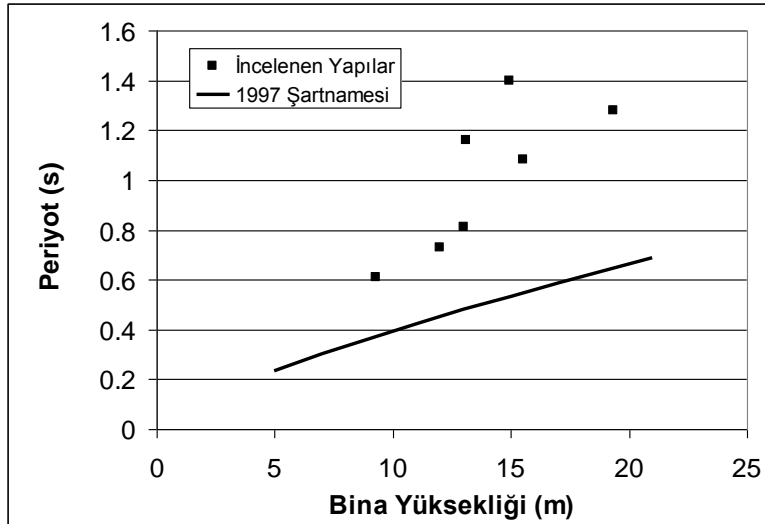
Çalışma kapsamında mevcut uygulamayı örnekleyen yedi adet yatık kirişli yapı incelenmiştir. Yapılar 2007 Deprem şartnamesine uygun olarak tasarlanmış yapılardır. Tamamı İzmir il sınırları içerisinde. Kat sayıları 3 ila 6 arasında değişmektedir. Nominal malzeme dayanımları beton için 25 MPa olan biri hariç 30 MPa, donatı için ise 420 MPa’dır. Döşeme alanları kat başına 220 ila 520 m<sup>2</sup> arasında değişmekte ve dört yapıda bodrum kat bulunmaktadır. Temeller mütemadi ya da radye temeldir. Kiriş açıklıkları 2 ila 7.5 m arasında değişmektedir. Kirişlerin büyük çoğunluğu 50x32 cm boyutlara sahip olmakla beraber 60x32 ve 70x32 kesitlerde mevcuttur. Yapılarda normal kiriş uygulamalarının da bulunması sistem seçiminin kalıp ilişkili veya yapı mühendisinin seçiminden çok mimari tercih olduğuna işaret etmektedir. Normal kirişler tipik olarak 25x50 cm kesite sahiptir. Birisi dışında zemin kat yüksekliği 1.1 ila 1.4 oranlarında üst katlardan fazladır. Tipik kat yüksekliği 3m’dir ve kolonlar dörtgen kesitlidir. Kolon kesitlerinde 25x50 cm, 25x60, 30x60 ve 30x70 boyutları baskındır. 2007 Türk Deprem Şartnamesine göre yapılardan iki tanesi Z3 sınıfı (TB = 0.6s) diğerleri Z2 sınıfı (TB = 0.4s) zemin üzerindedir.

İncelenen yapılardan ikisinin planı ve yapısal eleman yerleşimi Şekil 3’te sunulmuştur. Yapısal ızgaralardaki kesiklik, süreksizlik ve eğriliklerin yaygın olduğu gözlenmektedir. Şekil 3a’da sunulan planda kesintisiz ve birbirine paralel iki çerçeve yoktur. Şekil 3b’de ise kesintisiz ve birbirine paralel sadece üç çerçeve vardır. Yapılarda dikkat çeken diğer bir nokta yapı çerçevesinin neredeyse tamamını kaplayan çıkmalardır.

Söz konusu çökmeler sisteme ciddi miktarda kütle ekleyerek yapının periyodunun uzamasına ve ötelenme talebinin artmasına yol açmaktadır.

Yapılarda çerçeve akslarının kesintili ve açılı olmaları ve ayrıca mimari sebeplerle bazı kolon akslarının kiriş akslarından kaydırılması sonucu çok sayıda dış merkezli kiriş-kolon bağlantısı mevcuttur. Bu tip bağlantılar konusunda mevcut bir çalışma olmamasına rağmen mevcut çalışmalardan referansla mevcut detaylandırma ile söz konusu bağlantıların rijitliğini daha erken kaybedip, elemanlarını kapasitelerine ulaştırmayacağı aşikardır.

Seçilen yapıların sayısal modelleri vasıtasıyla çatlamamış ve çatlamış durumlardaki doğal titreşim periyotlarını ve modal şekillerini elde ederek Türk Deprem Şartnamesi'nin tanımladığı ötelenme talepleri bulunmuştur. Hesaplamalar beş yapıda burulma mod bileşenleri olduğunu göstermiştir. Burulma etkileri şartname sınırları içerisinde kaldığından yapıların tasarımında eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanımı mümkündür. Betonarme çerçeve yapılardan beklenen tipik periyot değerlerini elde edebilmek amacıyla 1997 deprem şartnamesinde betonarme yapılar için önerilen formülasyonu kullanılmış ( $T = 0.07H_N^{0.75}$ ,  $H_N$ : bina yüksekliği) ve yapıların hesaplanan çatlamamış periyot değerleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5'ten görüleceği üzere elde edilen değerler genel öngörü/beklentilerin çok üzerindedir.



Şekil 5. İncelenen yapıların bina yüksekliği periyot ilişkisinin 1997 deprem şartnamesi tanımı ile karşılaştırılması

Tablo 1. İncelenen yapıların en büyük kat arası ötelenme oranları

Bina No	Bina Yük.(m)	Kat Sayısı	$T_1$ (s)	$T_{\text{çatlamış}}$ (s)	Zemin Tipi ( $T_B$ , s)	En Büyük Kat Arası Öteleme Oranı, %
1	9.3	3	0.6	0.9	Z3 (0.6)	2.4
2	12.0	4	0.7	1.1	Z2 (0.4)	1.9
3	13.1	4	1.2	1.7	Z2 (0.4)	2.8
4	13.0	4	0.8	1.3	Z2 (0.4)	2.1
5	15.5	5	1.1	1.5	Z2 (0.4)	2.2
6	15.0	5	1.4	2.1	Z2 (0.4)	3.3
7	19.3	6	1.3	1.7	Z3 (0.6)	2.8

Yürürlükteki 2007 Deprem Şartnamesine göre yapıların doğrusallık dışına çıkmaları durumundaki ötelenme talebi eşdeğer ötelenme prensibi kullanılarak tanımlanır. Bu amaçla çatlamış elemanları hesaba katarak elde edilen periyot değeri kullanılır. İncelenen yapıların çatlamış durumdaki periyotları ve modal şekilleri kullanılarak elde edilen kat arası ötelenme talepleri Tablo 1’de sunulmuştur. Tablodan görüleceği üzere en büyük kat arası öteleme oranları %1.9 ila 3.3 arasında değişmektedir.

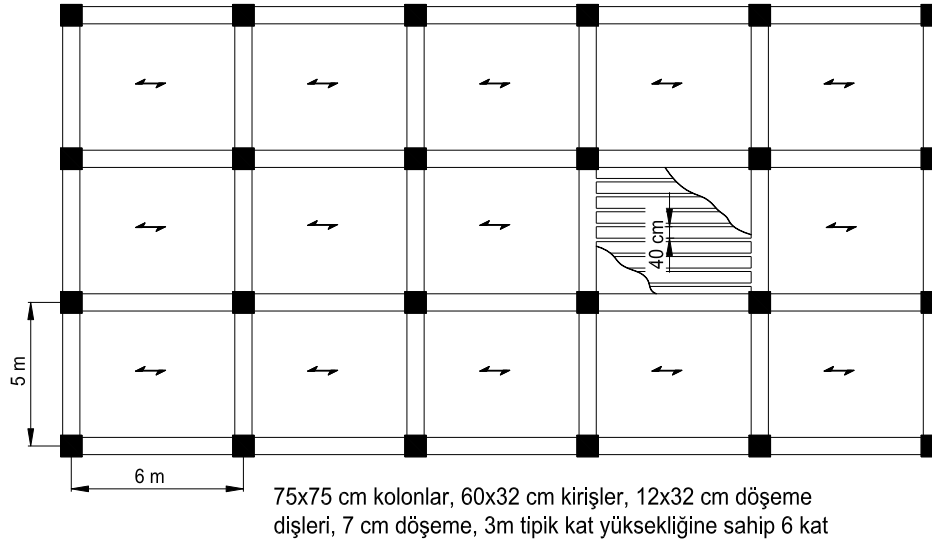
Bu noktada doğrusal olmayan davranış altındaki ötelenme taleplerinin hesap yöntemleri ile ilgili bir irdeleme faydalı olacaktır. Ötelenme taleplerinin oluşumunda zemin tipi, yapının doğrusal olmayan davranışı, deprem büyüklüğü ve frekans içeriği etken değişkenlerdir. Söz konusu değişkenlerin her biri kendi içerisinde güçlü belirsizlikler içerir. Şartnamelerde önerilen yöntemlerle hesaplanan değerler güçlü saçılımlara sahip verilerin ortalama değerleridir. Türk deprem şartnamesine benzer bir yaklaşıma sahip FEMA 273 (1997) ve FEMA 440 (2005) raporlarında tasarım mühendisine yapıların hesaplanan ötelenme taleplerinin %150 büyüklüğünde talepler altında güvenli olduklarının doğrulanması sağlık verilir. Bu sebeplerle hesaplanan ötelelenme talebi değerlerine temkinli yaklaşmakta fayda vardır.

Kat arası ötelenme oranlarının Tablo 1’de sunulduğu şekilde yüksek olması uygulamadaki yatık kirişli yapılarda bir zaafiyete işaret etmektedir. Ne yazık ki incelenen yapılarda performans analizi yapmak mümkün değildir. Yukarıdaki kısımlarda belirtildiği üzere eğik ve kesik çerçeve eksenleri, dış merkezli kiriş-kolon birleşimleri, sıyrılmaya namzet kolon boyuna donatıları ve bir kısmı kapasitesine ulaşamayacak şekilde detaylandırılmış yatık kiriş boyuna donatıları başarılı bir analiz yapılmasına izin vermeyecektir. Yine de 2007 Türk Deprem Şartnamesi yeterliliklerini belirtilen kusurlara sahip olmadan sağlayan yatık kirişli betonarme bir yapının performansını sınamak amacıyla bir tasarım yapılmıştır. Söz konusu yapıda şartnamenin sınırlarını zorlamak amacıyla olabildiğince uzun bir periyot hedeflenmiştir.

## 6. 2007 DEPREM ŞARTNAMESİNE GÖRE TASARLANMIŞ ÖRNEK YAPI

Kat yükseklikleri 3.0 m olan ve düzgün ızgaralı bir yerleşime sahip altı katlı bir yapı seçilmiştir. Bütün kat yükseklikleri aynıdır. Yapının birinci derece deprem bölgesinde ve Z3 tipi bir zemine oturduğu kabul edildiğinden etkin yer ivmesi  $0.4g$  ve  $T_B$  0.6 s’dir. Malzeme tipleri çelik için S420, beton için ise C30 olarak tanımlanmıştır. Döşeme sistemi boyut ve açıklıkları Türkiye’deki tipik uygulamaya benzer seçilmiş ve buna bağlı olarak kolon boyutları Türk Deprem Şartnamesi’nin ötelenme yeterliliğinin kontrolünde  $75 \times 75$  cm olmuştur. Yapının planı Şekil 6’da sunulmuştur. Çatlamamış elemanlar göz önüne alınarak yapılan analizde yapının doğal periyodu uzun yönde 1.1 s bulunmuştur. Analizlerde kirişler komşu döşeme etkinliği göz önüne alınacak şekilde T-kiriş olarak modellenmiştir. Deprem şartnamesine göre eşdeğer deprem yükü yönteminde taban kesme kuvveti yapının toplam ağırlığının %8’i olarak hesaplanmıştır. Bu yük altında yapıda doğrusal analiz sonucu en yüksek kat arası öteleme değeri %1.8 olarak hesaplanmıştır. Ötelenme değeri şartname talebini sağlamaktadır. Yapının elemanları yeterli kapasiteyi ve yüksek süneklik detaylarını karşılayacak biçimde donatılandırılmıştır.



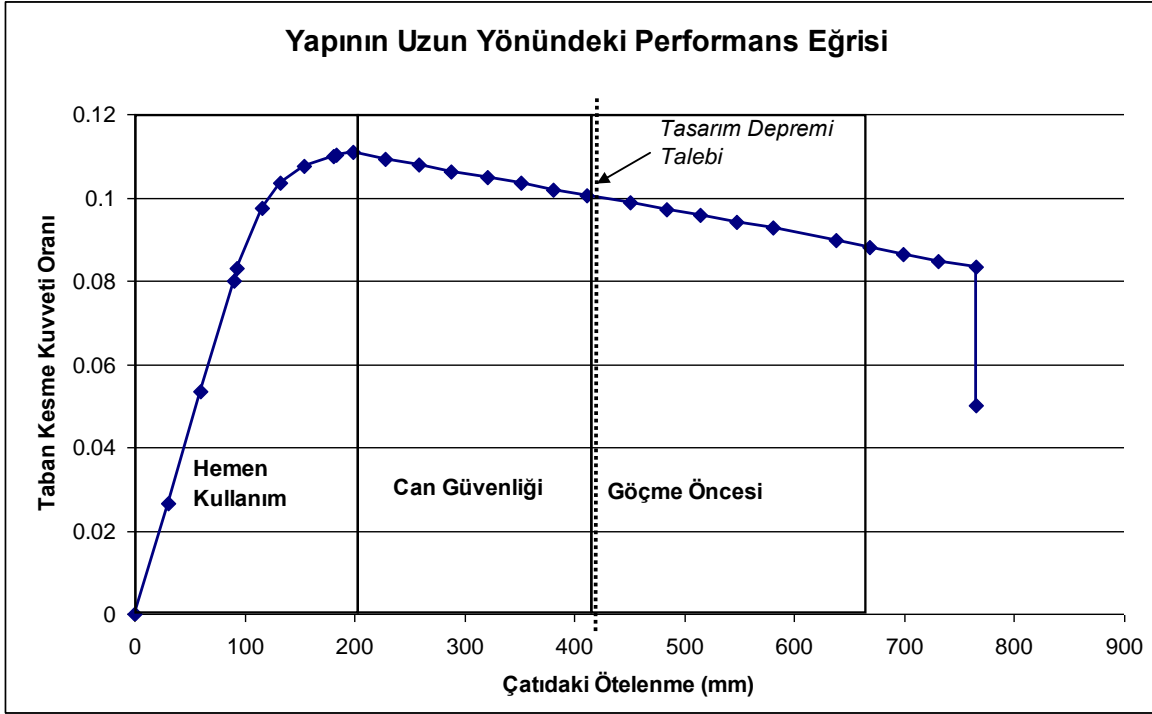


Şekil 6. Bilinen kusurları olmayan örnek yapının planı

Bilindiği üzere 2007 deprem şartnamesinin 7. kısmı mevcut bir yapının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi konularını ele alır. Tasarlanan yapı bu kısma göre değerlendirmeye tabii tutulmuştur. Yapıda kolon boyutlarının büyük olmasından dolayı yatık kiriş donatılarının tamamı kolon çekirdek bölgesinde kalmıştır. Ayrıca bütün kolon-kiriş birleşimleri eş merkezlidir. Donatı detayları şartname gerekliliklerini yerine getirdiğinden tasarlanan yapı elemanlarının şartnamede tanımlanan plastik dönme kapasitelerine ulaşacaktır. Tablo 2’de sunulduğu üzere yapının birinci periyodu çatlamış durumda 1.7s değerine sahiptir. Zemin tipi, maksimum ivme ve yapının modal şekli göz önüne alınarak deprem talebi altında doğrusal olmayan ötelenme değeri hesaplanmış ve çatı ötelenme değeri 42 cm olarak bulunmuştur. Bu öteleme değerinde en büyük kat arası öteleme oranı %3’tür. Plastik mafsallar kiriş ve kolon uçlarında tanımlanmıştır. Yeterli donatı detayı sağlandığından kesitler şartnamede tanımlı en yüksek birim uzama değerleri üzerinden kesit performans tanımları yapılmıştır. Birinci modu referans alan bir yük profili yapıya uygulanmış ve Şekil 6’da sunulan performans eğrisi elde edilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere yapı tasarım ötelemesi için “Göçme Öncesi” bölgesinin başlangıç kısmındadır. Deprem şartnamesine göre konut olarak tasarlanan söz konusu yapının “Can Güvenliği” performansını sağlaması gerekmektedir. Tasarım depremi ve ötelenme talebinin belirlenmesindeki belirsizlikler göz önüne alındığında yapının performansının başarısızlığı net olarak ortaya çıkmaktadır.

Tablo 2. Örnek yapı periyot ve öteleme değerleri

Bina No	Bina Yük. (m)	Kat Sayısı	$T_1$ (s)	$T_{\text{çatlamış}}$ (s)	Zemin Tipi ( $T_{B,s}$ )	En büyük Kat Arası Öteleme Oranı, %
N1	18	6	1.1	1.7	Z3(0.6)	3.0



Şekil 6. Tasarlanan binanın performans eğrisi

## 7. ÖZET VE SONUÇLAR

Yatık kirişler ile ilgili araştırmalar yatık kiriş donatılarının özellikle kolon çekirdek bölgesinde olmayanlarının kapasitelerine ulaşamamaları ve/veya kirişe dik yönde kolona bağlanan kirişlerin burulma dayanımlarının yetersizliği sebebiyle yatık kirişlerin erken rijitlik ve dayanım kaybına uğradıklarını göstermektedir. Yapılan çalışmalarda söz konusu kayıpları telafi etmek için yatık kiriş boyutları ve birleşim bölgesi detaylandırması üzerinde yeni şartlar ortaya konulmuştur. Diğer taraftan söz konusu araştırmalar eş merkezli kiriş-kolon bağlantıları üzerine olup dış merkezli birleşimler konusunda bir araştırma tarafımızdan tespit edilememiştir. Amerikan Beton Enstitüsü sismik riskin yüksek olduğu bölgelerde dış merkezli yatık kiriş birleşimleri önermemektedir. Ülkemizde uygulamada herhangi bir kısıtlama olmaması sebebi ile eğik çerçeve eksenleri ve dış merkezli birleşimler çok yaygındır. Sonuç olarak mevcut araştırma sonuçları ülkemizdeki uygulamanın performansı hakkında bilgi sağlamamaktadır. Diğer taraftan eğik ve/veya dış merkezli birleşimlerin zayıf performans sergileyeceği aşikardır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan bu tip birleşimlerin davranışları hakkında yeterli deneysel veri elde edilene kadar kullanımlarının kısıtlanması yerinde olacaktır.

Eğik eksenli ve dış merkezli kiriş-kolon birleşimlerinin gerçekçi davranışı bilinmediğinden bu tip birleşimlerin egemen olduğu asmolen yapılara mevcut yöntemlerle performans analizi yapılması gerçekçi olmayacaktır.

Asmolen yapılarda yaygın biçimde bulunan ağır çıkmalar, yumuşak katlar ve süreksiz, kaymış ve eğik çerçeve aksları yapıları zayıflatmakta ve periyotlarını uzatmaktadır. Kuvvet tabanlı yaklaşımlar periyot uzaması sonucu oluşan ötelenme talebi artışlarını izleyebilmekte pek başarılı olmamaktadır. Ayrıca mevcut yapısal analiz programları kayık aksların birleştiği bölgeleri modellemekte yetersizdir. Bu gibi durumlarda birleşim rijit bir bağlantı olarak modellenmekte veya akstaki kayıklık hiç dikkate alınmamaktadır.

Mevcut deprem şartnamesi, asmolen yapıların süneklik düzeyi yüksek betonarme moment çerçeveleri olarak tasarımına olanak vermektedir. Kirişlerin minimum kalınlığı ve maksimum eni dışında başka herhangi bir sınırlama yoktur. Bu çalışma kapsamında incelenen yedi bina depreme karşı tasarımda eşdeğer deprem yükü yönteminin egemen olduğunu ortaya koymuştur. Bu şartlar altında tasarımı şartname kanalı ile kontrol eden ana değişken doğrusal analizdeki %2 kat arası öteleme sınırlamasıdır.

Değerlendirilen binaların deprem talepleri altında doğrusal olmayan ötelenme değerleri hesaplandığında yapıların performanslarını yüksek ötelenme değerleri için sürdürmeleri gerektiği ortaya çıkmıştır. Yukarıda anlatıldığı üzere mevcut yapıların gerçekçi performans analizleri yapılamadığından, kusurları olmayan yatık kirişli bir çerçevenin söz konusu ötelenme değerlerinde nasıl bir performans göstereceğini incelemek amacıyla bir yapı tasarlanmıştır. Yapıda ağır çıkmalar ve yumuşak kat yoktur. Yapı şartnamenin yeni bina tasarım kriterlerine göre tasarlanmış ve daha sonra yedinci kısımdaki mevcut yapıları değerlendirme kısmına göre değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda yapı performansı göçme öncesi başlangıç bölgesinde çıkmıştır. Yapılan bu egzersiz 2007 deprem şartnamesi dahilinde çelişkili sonuç elde edilebileceği sonucunu ortaya koymuştur.

Asmolen yapılar mevcut tasarım ve uygulama kaynaklı sorunlar sebebiyle öngörülenden daha küçük ötelenme kapasitelerine sahiptir. Daha detaylı araştırmalar yapıp gerekli tasarım ve uygulama kriterleri ortaya konulana kadar bu tip yapılara yaklaşımda ötelenme talebini azaltıcı yönde hareket edilmesi faydalı olacaktır. Bu amaçla yapı periyotlarının düşmesi gerekmektedir. Çerçeve akslarının sürekliliğinin sağlanıp, kiriş aks açıklıklarının düşürülmesi faydalı olacaktır. Bu yaklaşım yeterli olmadığında düzgün yerleştirilmiş perdeler devreye girmelidir. Dış merkezli kiriş-kolon bağlantıları diğer önemli bir husustur. Bu tip birleşimlerin sayısının azaltılması, zorunlu olarak kullanılması durumunda ise kiriş uçlarında bir mafsal varmış gibi modellenmesi doğru yönde atılacak adımlar olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Benavent-Climent, A., Cahis, X., and Vico, J. M. (2010). "Interior wide beam-column connections in existing RC frames subjected to lateral earthquake loading." *Bulletin of Earthquake Engineering*, **8(2)**, 401-420.
- FEMA273 (1997). "NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings." Federal Emergency Management Agency.
- FEMA440 (2005). "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures ", Department of Homeland Security Federal Emergency Management Agency.
- Gentry, T. R., and Wight, J. K. (1994). "Wide Beam-Column Connections under Earthquake-Type Loading." *Earthq Spectra*, **10(4)**, 675-703.
- Irfanoglu, A., Dönmez, C., Rafael, A., and Rafael, H. (2012). "The Mw 7.1 Erciş-Van, Turkey Earthquake of October 23, 2011." EERI Newsletter.
- Lafave, J. M., Wight J.K. (2001). "Reinforced Concrete Wider-beam Construction vs. Conventional Construction: Resistance to Lateral Earthquake Loads." *Earthq Spectra*, **17(3)**, 479-505.