

## Yapı Çözümlemesinde Yeni Bir Devir: Yapım Aşaması

Ali KARAKAPLAN\*  
Alp CANER\*\*  
Özgür KURÇ\*\*\*  
Arman DOMANIÇ\*\*\*\*  
Andaç LÜLEÇ\*\*\*\*\*

### ÖZ

Tasarım için gerekli olan yapısal çözümleme yöntemleri zaman içerisinde bilgisayarın kullanımı ile büyük gelişmeler kaydetmiştir. Klasik yapı çözümlemelerinde yapının yapım aşamaları dikkate alınmadan sanki bir an içerisinde yapının tamamlandığı ve yüklendiği kabul edilir. Bu varsayım ile gerçekleştirilen çözümler her zaman için sağlıklı neticeler veremeyebilir. Çözümleme sırasında yapım aşaması dikkate alınmış yapılarda eleman yükleri yapısına göre klasik yapım aşamasız çözümleme sonuçlarından %10 ile %50 arasında farklılık gösterebilir. Yapım aşaması çözümlerinde zamana bağlı hem geometri değişimleri hem de malzeme dayanım değişimleri göz önüne alınabilir. Bu çalışma içerisinde bir yaya köprüsü, bir öngermeli karayolu köprüsü mesnet durumu ve birçok katlı binanın yapım çözümlemesi ile klasik çözümleme sonuçları arasındaki farklılıkları göstermek için örnek olarak sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** yapım aşaması, yapısal çözümleme

### ABSTRACT

#### A New Era in Structural Analysis: Construction Staging

Over the years, structural analysis techniques are improved by use of computers. In conventional structural analysis, the structure is assumed to be built in a second. However, this type of analysis does not always give the reliable and healthy solutions. When the results of the conventional analysis was compared to the construction staging analysis, the difference in results can vary from 10% to 50%. In construction staging analysis, the time

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 19.11.2007 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2009 gününe kadar tartışmaya açıktır.

- \* LARSA, New York, ABD - ali@larsausa.com
- \*\* Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Ankara - acaner@metu.edu.tr
- \*\*\* Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Ankara - kurc@metu.edu.tr
- \*\*\*\* Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Ankara - armandomanic@gmail.com
- \*\*\*\*\* Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Ankara - andaclulec@gmail.com

## *Yapı Çözümlemesinde Yeni Bir Devir: Yapım Aşaması*

dependent material strength variations and geometric variations are included in investigation. In this study, a cable supported pedestrian bridge, a standard prestressed precast I-girder highway bridge support condition and multi story building analysis was performed by construction staging to determine the differences from conventional analysis.

**Keywords:** construction staging, structural analysis

## **1. GİRİŞ**

Yapı tasarımları 1900'lerden önce genellikle bazı basit kabuller yapılarak yapılmaktaydı. Eski çağlarda bilgisayar teknolojisi kullanmadan yığma yapı türlerinden piramitler, kuleler, binalar ve köprüler yapılıyordu.

Bilgisayar destekli yapı çözümleme gelişiminin temelleri Fransız uzmanlar; Navier ve St. Venant; tarafından 1850 ve 1875 seneleri arasında atılmıştır [1]. 1875 ve 1920 seneleri arasında Timoshenko yapı mekaniği dalında önemli adımlar atmış ve makas ve çerçeve sistemlerinin yapısal çözümlere dâhil olmasını sağlamıştır. Beton ve çelik malzemesinin gelişmesi ve aynı zamanda matematik alanında önemli ilerlemeler kaydedilmesi sonucunda 20.yy başlarında birçok önemli yapının inşa edilmesi mümkün olmuştur. Bu yapılar arasında New York'da bulunan Brooklyn Asma Köprüsü ve Empire State gökdeleni sayılabilir. 1930'ların başında Hardy Cross tarafından geliştirilen moment dağıtma yöntemi yapısal çözümleme alanında çok önemli bir ilerleme sağlamış ve 25 sene boyunca birçok yapı bu yöntem kullanılarak tasarlanmıştır.

1950'lerden sonra ise özellikle bilgisayar çözümlerinin yaygınlaşması sayesinde klasik yapı tarzlarının yanı sıra daha önce yapımına cesaret edilemeyen geometrilere yapılar yapılmaya başlanmıştır. Bu tip yapılar arasında en çarpıcı örneklerden birisi New York'da bulunan Guggenheim müzesidir. Son yıllarda bilgisayar ve hesaplama teknolojilerindeki ilerlemeler ise yapıların sadece doğrusal elastik olarak çözümlenmesini değil, ihtiyaç duyulduğunda doğrusal olmayan özelliklerin de göz önüne alınarak incelenmesine olanak sağlamıştır..

Günümüzde bilgisayar destekli yapısal çözümleme tipleri ve kullanılan elemanlar geçmişe göre artmıştır. Yapısal çözümleme sırasında kullanılan çözüm elemanları arasında, klasik çerçeve ve çubuk elemanları, kablo, tendon, elastik ve plastik yay, sismik izolasyon ve mesnet elemanları, plastik çubuk elemanları, sönüm elemanları, üçgen plak, dörtgen plak ve üç boyutlu sonlu elemanları bulunur. Çözümleme tipleri arasında ise elastik ve plastik çözümleme, özdeğer ve modal çözümleme, zaman tanım alanı çözümlemesi, zamana bağlı yapım aşaması, hareketli yük çözümlerleri sayılabilir.

Bu çalışma kapsamında yapı çözümlerinde yapım aşamalarının önemi vurgulanmıştır. Yapılan çeşitli örnek çalışmalar ile yapım aşamalı çözüm ile anlık klasik çözümlerinin farklılıkları gösterilmiştir.

## **2. YAPIM AŞAMASI ÇÖZÜMLEMESİNE BAKIŞ**

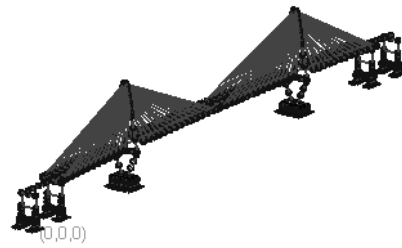
Yapım aşaması çözümlemesi, yapının bir anda inşa edilmesi ve yüklenmesi yerine sahada yüklenici firma yapıyı nasıl inşa ediyorsa, proje ofisinde bulunan mühendislerin bu yapım

*Ali KARAKAPLAN, Alp CANER, Özgür KURÇ, Arman DOMANIÇ, Andaç LÜLEÇ*

aşamalarını zamana bağlı olarak bilgisayar ortamında bir araya getirmeleri demektir. Bunu yapmaya çalışan proje mühendislerinin zamana bağlı malzeme değişimini göz önüne almaları gerekmektedir. Örnek vermek gerekir ise yeni dökülen bir beton yaştır ve sadece sisteme bir ağırlık getirir. Bu beton 7 günlük veya 28 günlük veya 1000 günlük iken dayanımı sürekli değişmektedir.

Betonun yaş durumundan yapının ekonomik zamanını tamamlamasına kadar olan değişimler yapım aşaması çözümlemesinin içerisine konabilir ve bu sayede gelecekte olabilecek hatalar engellenmeye çalışılabilir. Bir örnek olarak ard germeli dilimsel köprüler verilebilir. Bu tip köprüler için yapım aşaması ve yapım sonrası çözümlemelerinin doğru yapılmaması sonucunda zaman içerisinde orta açıklığının tehlikeli boyuta sabit sehim verebileceği bilinmektedir. Günümüzde bu tip hesaplamalar hala özel mühendislik gerektirse de çeşitli analiz programları sayesinde olası tehlikelerin ve sorunların en aza indirgenmesi mümkün olabilmektedir. Günümüzde birçok yapısal analiz programı da yapım aşamalarını göz önüne almaktadır (örneğin ADINA, ETABS, GT-STRUDL, LARSA 4D, LUSAS, MIDAS, RM2006 4D, SAP 2000 gibi). Ülkemizde yapım aşamalı analiz tekniğiyle analiz edilen ard germeli köprülerde her yapım aşamalı analiz programının sağlıklı neticeler vermediği gözlenmiş ve sadece zamana bağlı malzeme özelliği değişkenliğini ve ön germe kayıplarını kullanabilen yani 4D özelliği taşıyan programların tercih edildiği gözlenmiştir.

Yukarıda belirtildiği gibi yapım aşaması çözümlenmeleri özellikle ard germeli köprü sistemlerinde ve gergin eğik askılı köprü yapım ve tasarımlarında önemli hale gelmektedir. Uzun açıklıklı gergin eğik askılı köprü çözümlenmelerinde iki kuleyi inşa ettikten sonra üst yapı her kulenin iki tarafından kablo gergileri uygulanarak ilerler (Şekil 1). Üst yapı, yaklaşım açıklıklarında ankraj ayaklarına bağlandıktan sonra orta açıklıkta diğer kulenin üst yapısı ile birleştirileceği yerde yapım sırasında fazla hataya yer verilemez. Örnek olarak 500 metre açıklığı olan bir köprüde hata payı birleşme anında en fazla 1-2 cm olarak kabul edilebilir ki bu da çok küçük bir değerdir.



*Şekil 1. Cooper Nehri gergin eğik askılı köprü yapımı ve LARSA modeli*

Gergin eğik askılı köprüler gibi ard germeli dengeli konsol dilimsel kutu kesitli köprü inşalarında da üst yapıyı çok az bir hata ile orta noktada birleştirmek gerekmektedir. Birleştirdikten sonra da bu tip köprüler Türkiye'de örnekleri olduğu gibi aktif bir şekilde

### *Yapı Çözümlemesinde Yeni Bir Devir: Yapım Aşaması*

sabit yükler altında sehim vermemelidirler. Bunun içinde ard germe için kullanılan tendonlar içerisinde zamana bağlı kayıpların hesaplar içerisine katılması gerekmekte ve aynı zamanda sünme ve rötreinin de uluslararası normlara göre hesap edilmesi gerekmektedir.

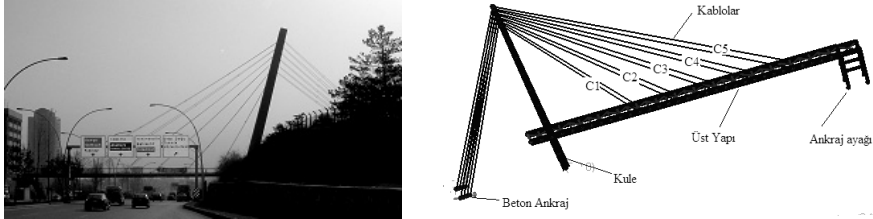
Ülkemizde yapılan uygulamalarda prefabrike yapılar için yapım aşamalı çözümler de gerçekleştirilmiştir [2]. Bu yapıların yapım aşamasına olan hasasiyeti belirgindir.

### **3. ÖRNEK ÇÖZÜMLELER**

Bu kısım içerisinde yapım aşamasının çok da önemli olmadığı düşünülen yapılarda anlık yapı çözümlerinde hesap edilen eleman yüklerinin yapım aşaması çözümlerinden elde edilen sonuçlarla nasıl bir farklılık gösterdiği irdelenmiştir. Bu yapılar ne dengeli konsol metodu ile inşa edilen ard germeli dilimsel kutu kesitli köprülerdir ne de uzun açıklıklı köprülerdir.

#### **3.1 Kablo Yaya Köprüsü**

Ankara'da birçok yaya köprüsü kablolu köprü olarak yapılmaya başlanmıştır. Bu köprülerin bazılarında kablolar yapısal olarak kullanılmış bazılarında ise sadece görsel amaç için kullanılmıştır. İlk önce köprü'nün kule kısmı yapılmış ve sonra karşı cephedeki ankraj ayağı inşa edildikten sonra üst yapı yerleştirilmiştir. Kablolar fonksiyon alması istendiği durumlarda gergi verilmiştir. Tipik bir yaya köprüsünün modeli Şekil 2 de gösterilmiştir.



*Şekil 2. Ankara kablo yaya köprüsü ve LARSA modeli*

Bu köprü'nün çözümlenmesi için dört değişik model kurulmuştur. Modellerin özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 2 ve 3'de köprü eleman yüklerinin ve yayaya bağlı titreşim özelliklerinin, yapım aşaması çözümlenmesi sonrasında ne derecede değiştiği gözler önüne serilmiştir. Yapım aşaması modelleri ile anlık çözüm modelleri arasında yüklerde büyük farklılıklar ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda değişik yapım aşaması modellerinde bile yükler önemli derecede değişmiştir.

Kalabalık bir yaya geçişi sırasında Avrupa şartnamelerinin [3] tasarım kriterleri incelenmiş ve yapım aşamalı Model 4'ün yapım için en uygun seçenek olduğu tespit edilmiştir. Model 1, 2, 3 ve 4 için sırası ile 0,139g, 0,034g, 0,055g ve 0,033g mertebelerinde titreşim

Ali KARAKAPLAN, Alp CANER, Özgür KURÇ, Arman DOMANIÇ, Andaç LÜLEÇ

hesaplanmıştır. Titreşimlerin yaya konforunu sağlaması açısından 0,04g'den az olması arzu edilir. Çizelge 3 de görüldüğü gibi sadece titreşimlerde değil yüklerde de modeller arası %50'yi geçen farklılıklar meydana gelmiştir.

Çizelge 1. Kablo yaya köprüsü modeli

Model	Açıklama
1	Bu modelde yapım aşaması dikkate alınmamıştır
2	Bu modelde arka kablolar 100 kN gerilmiş fakat ana kablolar çekilmemiştir. Arka ve ana kablolar üst yapı döşeme betonu konulmadan önce yerleştirilmiştir.
3	Bu modelde arka kablolar 100 kN gerilmiş. Döşeme betonu dökülmeden önce sırası ile kablo C1,C2,C3,C4 ve C5 çekilmiştir.
4	Bu modelde arka kablolar 100 kN gerilmiş. Döşeme betonu dökülmeden önce sırası ile kablo C1,C5,C3,C4 ve C2 çekilmiştir.

Çizelge 2. Kablo Gergilerinin Değişimi

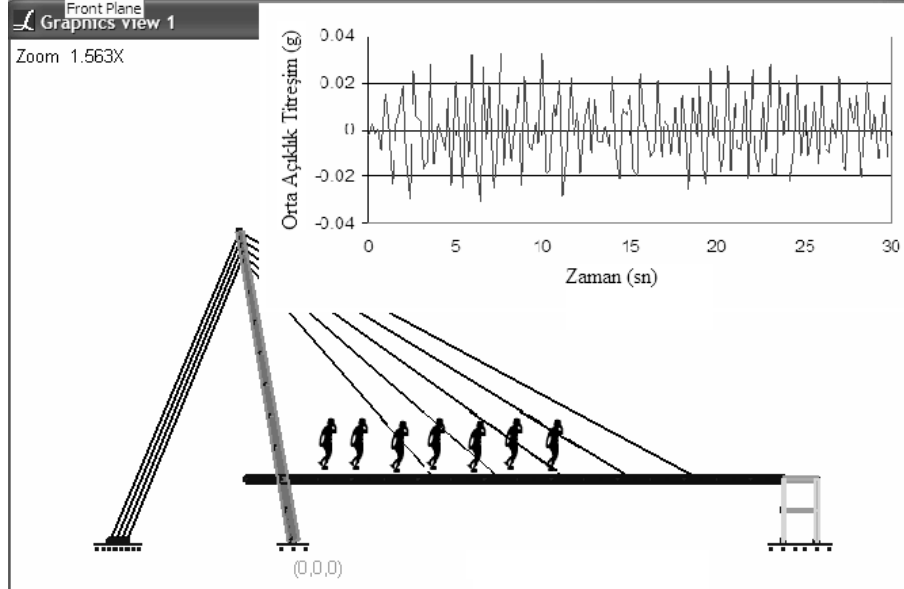
Model	Kablo Yükleri									
	C1		C2		C3		C4		C5	
	I* (kN)	F* (kN)	I (kN)	F* (kN)	I (kN)	F** (kN)	I (kN)	F** (kN)	I* (kN)	F** (kN)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	65	0	75	0	70	0	53	0	29
3	120	68	110	65	100	59	100	70	130	127
4	100	52	80	80	100	53	100	89	130	100

\* - İlk çekim / \*\* - Son hali

Çizelge 3. Düşey yükler altında eleman yükleri

Model	Üst Yapı Kenar Kiriş Kule Bağlantı Moment (kN-m)	Üst Yapı Kenar Kiriş Orta Açıklık Moment (kN-m)	Kule – Üst Yapı Altı Momenti (kN-m)	Kule Temel Momenti (kN-m)	Kule Eksenel Yük (kN)
1	2496	2796	109	2252	505
2	724	524	164	1208	1062
3	676	356	306	1736	1336
4	615	292	279	1593	1206

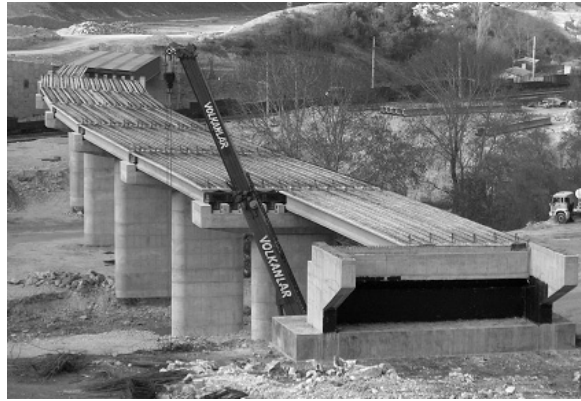
### Yapı Çözümlemesinde Yeni Bir Devir: Yapım Aşaması



Şekil 3. LARSA yaya geçişi titreşim modeli

### 3.2 Standart Öngerilmeli Beton Kirişli Karayolu Köprüsü Mesnet Durumu

Standard öngerilmeli beton kirişli köprülerde, köprü ayakları ve başlık kirişleri inşa edildikten sonra hazır öngerilmeli betonarme kirişler köprü ayağı başlık kirişinin üstündeki mesnetlere oturtulur (Şekil 4). Köprü döşemesi daha sonra dökülür.



Şekil 4. Standard köprü inşası, Mekece

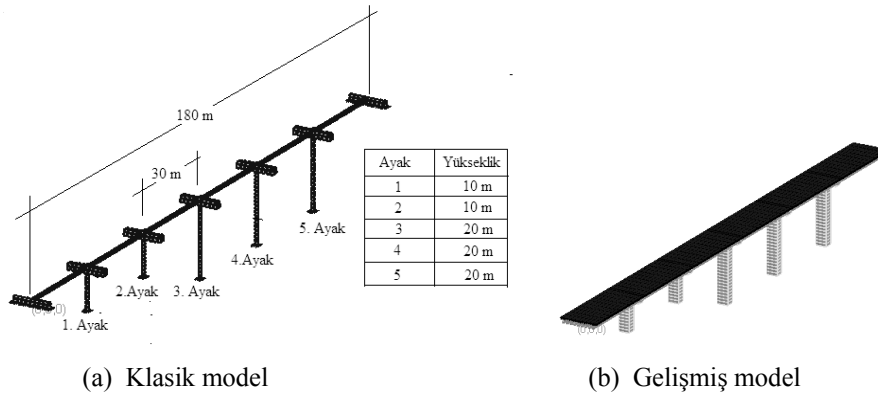
Bu tip standart köprüler için esasen deprem hesaplamaları hariç bilgisayar desteğine pek ihtiyaç duyulmaz ve belli kabuller yapılarak tasarım yapılır. Deprem hesapları için ise,

Ali KARAKAPLAN, Alp CANER, Özgür KURÇ, Arman DOMANIÇ, Andaç LÜLEÇ

işlemleri zaman ve veri miktarı açısından olabildiğince ekonomik hale getirmek amacıyla, genellikle tüm üstyapının basitleştirilerek tek bir çubuk eleman ile idealize edildiği bilgisayar modelleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, yapım aşamalarının ve yapının bilgisayar ortamında idealize edilmesinde yapılan kabullerin mesnetlerde oluşan kuvvetlere olan etkisini incelemek amacı ile dört değişik hesap modeli kullanılmıştır (Çizelge 4 ve Şekil 5).

Çizelge 4. Modellerin Tanımı

Model	Açıklamalar
1	Klasik model – Başlık kirişi normal
2	Klasik model – Başlık kirişi olması gerekenden rijit
3	Gelişmiş model
4	Gelişmiş model – yapım aşaması analizi dâhil



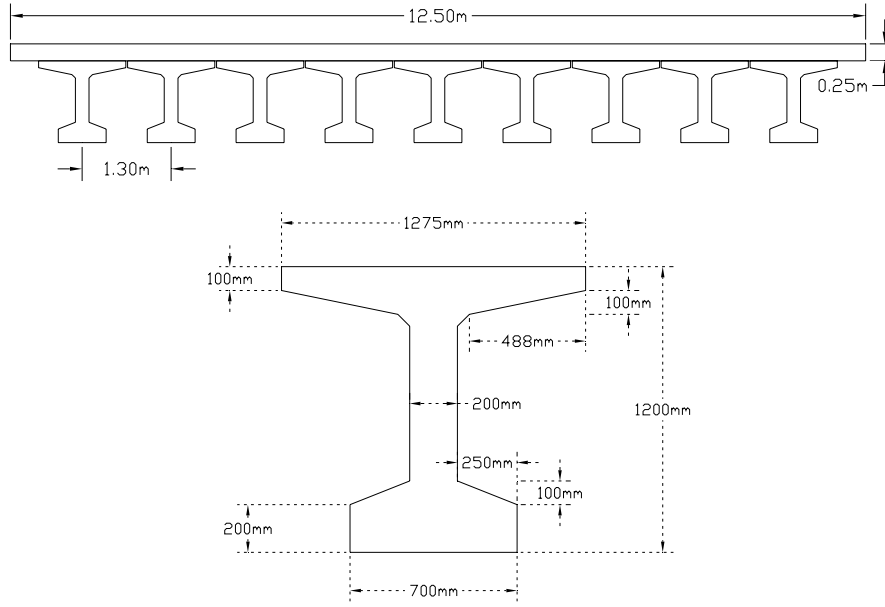
Şekil 5. Bilgisayar Modelleri

Çizelge 4 de bahsedilen klasik modellerde (model 1 ve model 2), üst yapının tümü geleneksel olarak yapıldığı gibi eşdeğer çubuk elemanlarla modellenerek basitleştirilmiş, mesnet sayıları aynen korunmuş ve yapım aşamaları dikkate alınmamıştır. Model 1’de başlık kirişi gerçek enkesit özellikleri ile modele katılmıştır. Model 2’de ise başlık kirişinin rijitliği herhangi bir sayısal dengesizlik yaratmayacak ölçüde artırılmıştır. Gelişmiş modellerde (model 3 ve model 4), kirişler ve döşeme ayrıntılarıyla modellenmiş ve beraber çalışmaları için birbirlerine fiktif rijit elemanlarla bağlanmıştır. Model 4’de yapım aşamaları simüle edilmiş, model 3’de ise dikkate alınmamıştır. Bütün modeller kendi öz-ağırlıkları ve yüksek derecede deprem etkisi altında incelenmiştir. Deprem yüklemeleri etki spektrumu çözümü yöntemi (Response Spectrum Analysis) kullanılarak köprü boyuna ve enine yönü için çözülmüş ve sonuçlar yük birleşimi ile toplanmıştır. Kullanılan deprem

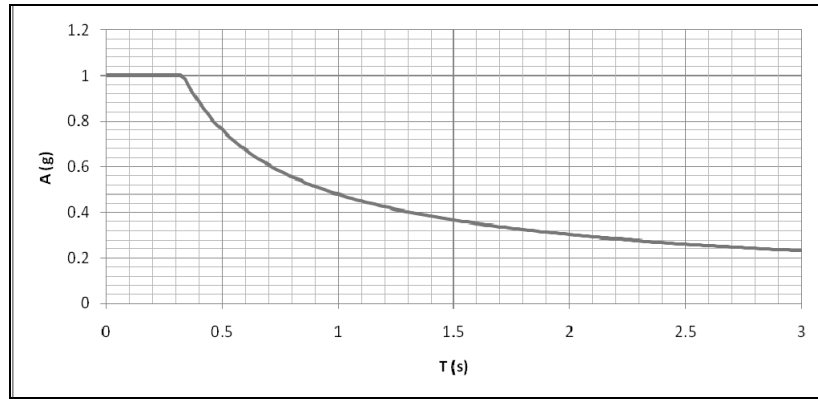
*Yapı Çözümlemesinde Yeni Bir Devir: Yapım Aşaması*

ivme spektrumu Amerikan şartnamesine göre hazırlanmış olup [4] (Şekil 7), deprem yük kombinasyonlarından mesnet kuvvetlerini en çok etkileyen birleşim aynı şartnameye göre aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

1.0X + 0.3Y (X: Köprü boyuna yönü, Y: Köprü enine yönü):



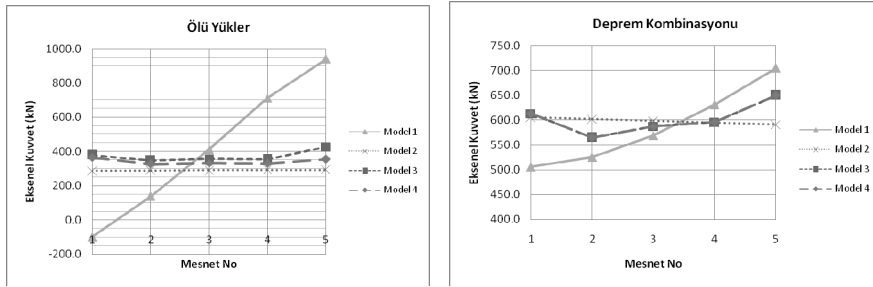
*Şekil 6. Üstyapının enkesit ölçüleri*



*Şekil 7. Deprem ivme spektrumu*

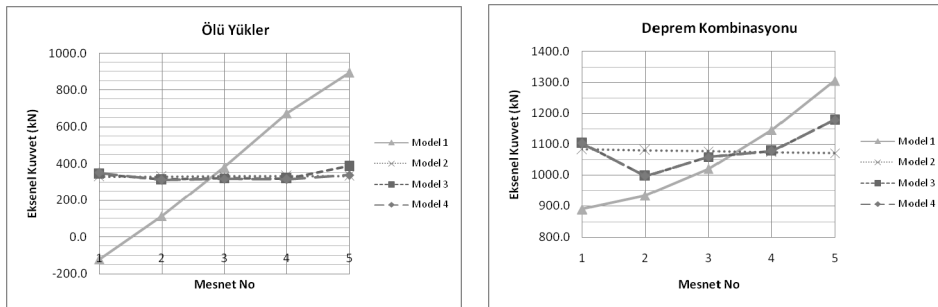


Şekil 8 ve 9’ da sırasıyla ölü yüklemeye ve deprem kombinasyonu için 1. ve 3. ayaklar üzerindeki mesnetlerde oluşan aksel kuvvetler verilmiştir. Bu şekillerde yatay eksen, en dış mesnetten orta mesnede doğru mesnet numarasını göstermekte olup, dikey eksen ise mesnette meydana gelen aksel kuvveti belirtmektedir. Toplam 9 kirişli olan bu köprünün modellerinde, simetriden dolayı orta mesnet dâhil olmak üzere kenardan başlayarak 5 adet mesnetin sonuçlarının incelenmesi yeterli olmuştur.



Şekil 8. Birinci ayak üzerindeki mesnet aksel kuvvetleri

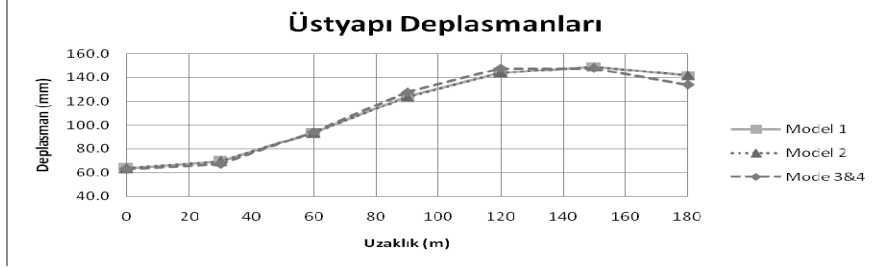
Sonuçlardan görüldüğü üzere, başlık kirişinin gerçek enkesit özellikleri ile modele katıldığı klasik model (Model 1), özellikle deprem yüklemesi altında gerçekçi mesnet aksel kuvvetleri vermemektedir. Buna karşın, başlık kirişinin rijitliğinin yapay olarak arttırıldığı klasik model (Model 2), gelişmiş modellerle  $\pm\%10$  mertebesinde uyum içerisindedir. Gelişmiş modeller içerisinde de, yapım aşamalarının dikkate alınmadığı modelin (Model 3) sonuçları bu aşamaların katıldığı model (Model 4) ile ortalama  $\pm\%10$  civarında uyum içerisindedir.



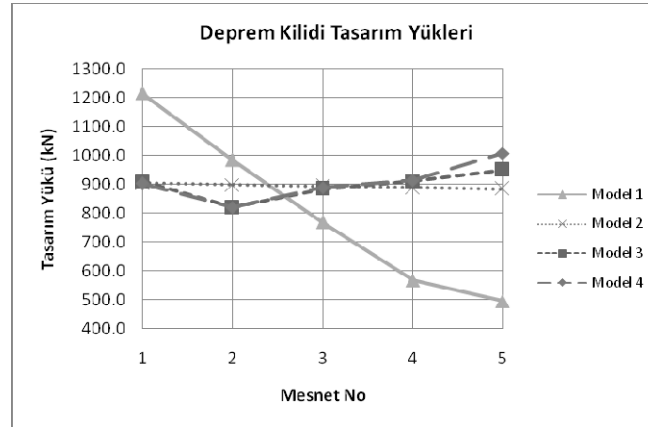
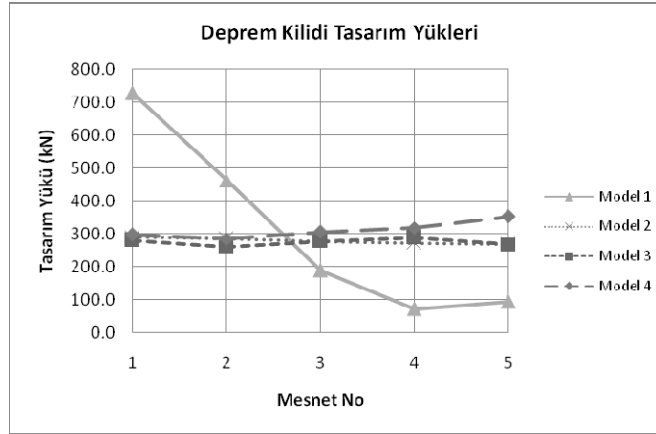
Şekil 9. Üçüncü ayak üzerindeki mesnet aksel kuvvetleri

Aşağıda Şekil 10’da gösterildiği gibi, tüm modellerin köprünün enine deprem yükü altındaki üstü yapı yer değiştirmeleri  $\pm\%5$  civarında uyum içerisindedir. Bu sonuçlar incelendiğinde, beklendiği gibi tüm sistemin rijitliğinin ve deprem davranışının idealizasyon kabullerinden etkilenmediği görülmektedir.

Yapı Çözümlemesinde Yeni Bir Devir: Yapım Aşaması



Şekil 10. Enine yön deprem yüklemesi altında üstyapı yer değiştirmeleri



Şekil 11. 1. ve 3. ayaklar üzerindeki mesnetlerde deprem kilidi tasarım yükleri

Bu çalışmada son olarak, deprem yüklemesi sonucunda köprü mesnetlerinde ortaya çıkan düşey deprem kilidi ihtiyacı araştırılmıştır. Deprem kilidi, üst yapının deprem sırasında

*Ali KARAKAPLAN, Alp CANER, Özgür KURÇ, Arman DOMANIÇ, Andaç LÜLEÇ*

mesnetler ile ilişkisinin kaybolmasını, diğer bir deyişle havalanmasını engelleyen mekanizma olarak tanımlanmaktadır.

Amerikan köprü [4] şartnamesine göre, deprem yük kombinasyonlarından dolayı mesnetlerde oluşan çekme kuvvetleri, ölü yükler altındaki mesnet eksenel kuvvetinin yarısından büyük olur ise, deprem kilidi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Deprem kilidi tasarım yükleri yine bu şartnameye [3] göre aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$F = \text{maximum [1.2(E-D), 0.1D]} \quad (E>D)$$

$$F = 0.1D \quad (D>E>0.5D)$$

D: Ölü yükler altındaki mesnet eksenel kuvveti

E: Deprem kombinasyonu sonucunda ortaya çıkan mesnet çekme kuvvetleri

Aşağıda Şekil 11'de 1. ve 3. ayaklar üzerindeki mesnetlerde ortaya çıkan deprem kilidi tasarım yükleri verilmektedir.

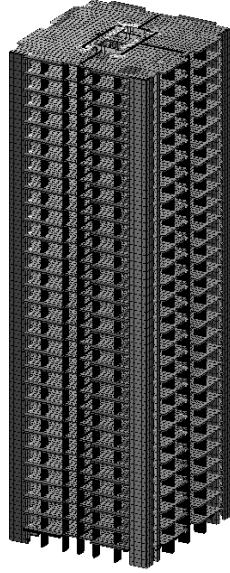
Sonuçlar incelendiği zaman, başlık kirişinin gerçek enkesit özellikleri ile modele katıldığı klasik model (Model 1), tasarım yüklerini  $\pm 75\%$ 'ye varan oranlarda farklı hesaplayabildiği görülmektedir. Başlık kirişinin rijitliğinin fiktif olarak arttırıldığı klasik model (Model 2) ise, diğer gelişmiş modellerle  $\pm 10\%$  mertebesinde uyum içerisindedir. Gelişmiş modeller içerisinde de, yapım aşamalarının dikkate alınmadığı modelin (Model 3) tasarım kuvvetleri, bu aşamaların katıldığı model (Model 4) ile bazı istisnaların dışında yine ortalama  $\pm 10\%$  civarında uyum içerisindedir.

### **3.3 Çokkatlı Betonarme Binalarda Kolon Eksenel Yükleri**

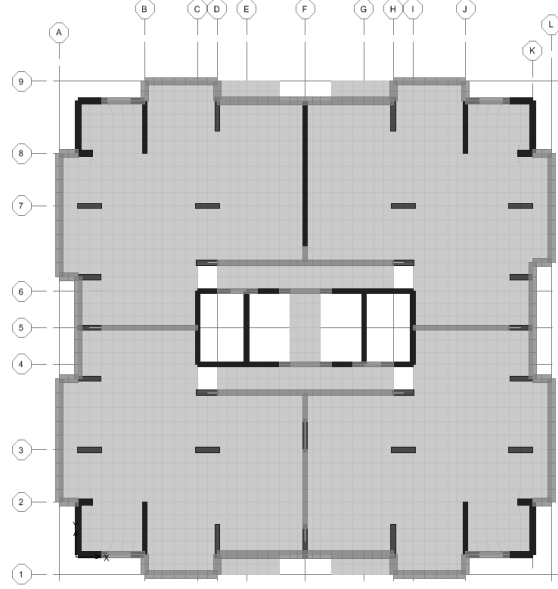
Çokkatlı betonarme binalarda kolon ve perdelerle aktarılan eksenel yükün hesaplanması aslında sünme, rötre, betonarmenin doğrusal olmayan davranışı vb. etkiler gözönüne alındığı zaman çok detaylı ve karmaşık bir çözümleme gerektirmektedir. Bu sebepten dolayı bu tip yapıların tasarımı aşamasındaki genel yaklaşım kimi zaman doğrusal elastik çözümleme sonuçları kullanılsa da eş yüklü alan yöntemi (tributary area) kullanarak kolon eksenel yüklerinin hesaplanması şeklindedir [5]. Eş yüklü alan yöntemi basit olmasının yanı sıra uzun vadede herhangi bir kolona gelebilecek eksenel kuvveti güvenli tarafta hesaplamasından dolayı tercih edilmektedir.

Aşağıdaki örnek çalışmada Ankara'da inşa edilecek olan 37 katlı çokkatlı bir betonarme bina planları kullanılarak, farklı çözümleme yaklaşımlarının kolon eksenel yükü hesabındaki başarımları irdelenmiştir. Bu amaçla sadece Şekil 12b'de görülen binanın tip katı kullanılarak 30 katlı (Şekil 12a) bir bina modeli oluşturulmuş ve elastik doğrusal, yapım aşaması ve eş yüklü alan yöntemleri kullanılarak her kattan kolonlara aktarılan eksenel yükler hesaplanmıştır. Bina modelinde döşemeler ve perde duvarlar dörtgen sonlu elemanlarla, kolonlar ve kirişler ise çubuk elemanlarıyla modellenmiştir. Betonarme döşeme 22 cm kalınlığında olup bütün katlar ek 3.4 kN/m<sup>2</sup> ölü yüküyle yüklenmiştir. Üç farklı çözümleme yönteminden elde edilen sonuçlar, sırasıyla C-3 ve A.2-5 akslarındaki kolonlar için Şekil 13'de gösterilmiştir. Şekil 13 kolonlara her kattan aktarılan eksenel yükü göstermektedir.

*Yapı Çözümlemesinde Yeni Bir Devir: Yapım Aşaması*

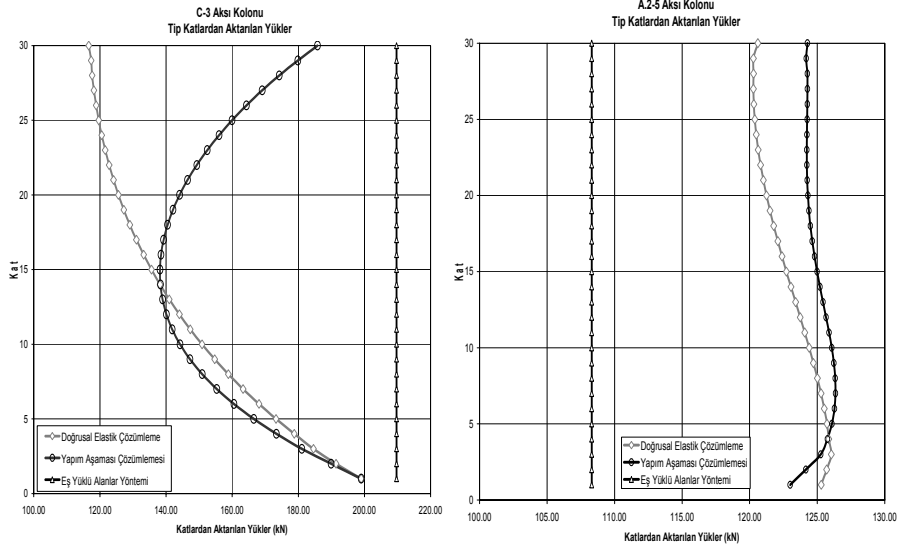


(a) LARSA Üç boyutlu model



(b) Tip kat planı

*Şekil 12. Yüksek Bina Modeli*



*Şekil 13. Tıp Kattan Kolonlara Aktarılan Yükler*

Şekil 13'deki sonuçlardan da görüleceği gibi üç farklı yöntemle hesaplanan kolon eksenel yükleri arasında ciddi farklılıklar vardır. Doğrusal elastik çözümleme sonuçları incelendiğinde C-3 aksındaki kolona tip katlardan aktarılan yükler üst katlara çıkıldıkça azalmaktadır. Elastik çözümleme sonuçlarına göre birinci katta C-3 kolonuna yaklaşık 200 kN'luk bir yük aktarılırken bu değer 30.katta düşey elemanlar arasındaki göreceli eksenel deformasyonlar nedeniyle 116,6 kN'a kadar düşmektedir. Oysa ki yapım aşaması çözümlemesi yeni katların deforme olmuş alt katların üzerine inşaa edileceği gerçeğini göz önünde bulundurduğu için düşey elemanların göreceli eksenel deformasyonlarının etkisi farklı olmuş ve 30. katta C-3 kolonuna aktarılan yük 185,8 kN olarak hesaplanmıştır. Göreceli deformasyonların tamamen gözardı edildiği eş yüklü alan yöntemiyle ise tip kattan C-3 kolonuna aktarılan yük 209,71 kN olarak hesaplanmıştır. Eş yüklü alan yöntemi genelde güvenli tarafta sonuç vermesine rağmen Şekil 13'den de görülebileceği gibi herhangi bir kolonun çevresinde düzensiz rijitlik söz konusu olduğu zamanlarda (Örneğin A.2-5 ve C-5 aksındaki ikincil giriş) kolon eksenel yükünün olması gerektiğinden daha az hesaplanması mümkün olabilmektedir.

Sonuç olarak çokkatlı betonarme binalarda kolon ve perde eksenel yüklerinin hesaplanması için en güvenilir yöntem yapım aşaması çözümlemesidir. Ancak bu yaklaşımda kolon eksenel yükleri hesaplandıktan sonra sünme ve rötrenin etkileri de ayrıca incelenmelidir.

#### 4. SONUÇLAR

Yapım aşaması çözümlemelerinin mutlak kullanılması gereken yapılar ardgermeli dengeli konsol köprüler ve uzun açıklıklı gergin eğik askılı köprülerdir. Sonuç olarak bilgisayar destekli yapım aşaması analizleri hiç umulmadık yapılarda bile anlık analizlerden %10 ile %50 arası farklılıklar göstermiştir. Bu yapılar arasında kablo yaya köprüleri, standart öngermeli girişli köprüler ve çokkatlı betonarme binalar sayılabilir.

#### Kaynaklar

- [1] W. McGuire, R. H. Gallagher, R. D. Ziemian, 2000, *Matrix Structural Analysis*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, ABD.
- [2] Özmen, G. 2007, "Prefabrike Yapılarda Aşamalı Yapım", *Beton Prefabrikasyon*, Nisan, 20 (82).
- [3] TS EN 1990, 2002, *Eurocode-Basis of Structural Design*, Ankara
- [4] AASHTO, 1996, "Standard Specifications for Highway Bridges", 16 th Edition, Washington DC, ABD
- [5] Smith B. S., and Coull A., 1991 "Tall Building Structures: Analysis and Design", New York: John Wiley and Sons, Inc., ABD