

## AĞIR YÜK ALTINDAKİ BETONARME PREFABRİK KİRİŞLİ BİR KÖPRÜNÜN DENEYSEL ve TEORİK YAPISAL DAVRANIŞI

<sup>1</sup>Ayhan NUHOĞLU, <sup>2</sup>Emre ERCAN, <sup>3</sup>Necati KAYA, <sup>4</sup>İlyas BULUT

<sup>1</sup>Ege Üniv. İnşaat Müh. Böl. İzmir E-mail: (ayhan.nuhoglu@ege.edu.tr / Tel: 232 311 19 25)

<sup>2</sup>Ege Üniv. İnşaat Müh. Böl. İzmir E-mail: (emre.ercan@ege.edu.tr / Tel: 232 311 15 86)

<sup>3</sup>Karayolları 2. Bölge Müdürlüğü İzmir

<sup>4</sup>Karayolları 14. Bölge Müdürlüğü Bursa

### Özet

Bu çalışmada, ağırlığı yaklaşık 423ton olan bir yükün, açıklığı 24m olan öngerilmeli prefabrik kirişlere sahip köprünün üzerinden geçişi sırasında, köprü kirişlerinin gösterdiği yapısal davranış ile aynı kirişlerin teorik yapısal davranışları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ağır yük geçişi sırasında yerinde yapılan ölçümler ile bir kısım köprü kirişlerinin açıklıklarında meydana gelen sehimler mekanik deplasman ölçerler vasıtalarıyla ölçülmüştür. Aynı zamanda sonlu elemanlar mikro modelleme yaklaşımı ile idealize edilen söz konusu öngerilmeli basit kirişler üzerinde farklı dış yükleme ve öngerilme değerleri için teorik analizler gerçekleştirilmiş ve deplasmanlar elde edilmiştir. Özellikle kirişlerde yükleme anında mevcut olan öngerilme düzeyinin tam olarak bilinmiyor olması nedeniyle sayısal analizler farklı öngerilme değerleri ve ağır yük geçişi sırasında tipik bir kirişe etki eden yük miktarının kesin olarak bilinmemesi nedeniyle farklı dış yükler için tekrarlanmıştır. Bu kapsamda gerçekleştirilen teorik sonuçlar ile yerinde yapılan ölçümler ile elde edilen sonuçların uyumu genel olarak değerlendirilmiştir.

### Giriş

Mevcut bir yapının dış yükler altındaki gerçek yapısal davranışının yapının taşıyıcı sisteminde gerçekleştirilebilecek çeşitli uygulamalar ile tespit edilmesi mümkündür. Bu kapsamda sıklıkla tercih edilen yöntemlerden biri söz konusu yapıya doğrudan etki ettirilen kontrollü yüklemeler uygulanmasıdır. Bu uygulama neticesinde taşıyıcı sistemde oluşan şekil değiştirmeler mevcut yapısal davranış hakkında önemli ve gerçekçi sonuçlar verirler. Özellikle yükleme gerekliliği değişen mevcut bir köprünün değişen yük durumunda, ki genellikle artan yük olarak karşımıza çıkmaktadır, yeterli olup olmayacağı hususunun belirlenmesi amacıyla yapılan teorik analizlerde elde edilen sonuçların doğrulanması açısından önemli katkılar sağlar.

Bu çalışmada, mevcut bir köprünün üzerinden geçen ve imalatına esas projesinde öngörülen yükten daha büyük bir yüke maruz kalan bir karayolu köprüsüne ait öngerilmeli prefabrik kirişlerin yapısal davranışı incelenmiştir. Ağır yük geçişi sırasında bir kısım kirişlerde meydana gelen sehimler ölçülmüş ve teorik analizlerde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Mühendisler bir çok mevcut köprü üzerinde, diğer bir deyişle gerçek yapı üzerinde, bire bir ölçekte tahribatsız ve pratik yöntemlerle araştırma yaparak yapının taşıyıcı sistemi hakkında bilgi edinmeye çalışmışlardır. Örneğin Richard ve arkadaşları (2010) 50 yıllık mevcut bir köprünün yük taşıma kapasitesini mevcut köprü üzerinde uygulanan yüklemeler yardımıyla belirlemişler ve nihayetinde köprünün güçlendirilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır. Manko ve Beben (2005) mevcut bir kemer köprünün performansını belirlerken ağır yüklü kamyon kullanmışlardır. Brenner ve arkadaşları bir çok mevcut köprünün kritik elemanlarını tahribatsız yöntemlerle belirlerken taşıyıcı sisteme kamyon yükü uygulamışlar ve elde ettikleri sonuçları sonlu elemanlar analizleri ile karşılaştırmışlardır. Wang ve diğ. (2011) yapısal olarak inceledikleri mevcut köprüler için yaptıkları teorik analiz sonuçlarını köprülere uyguladıkları yükleme testleri ile doğrulamışlardır. Fuchs ve arkadaşları (2004) mevcut köprülerin deformasyon davranışını tespit ederken ağır kamyon yüklerini kullanmışlardır. Bacinskas ve diğ, (2013) mevcut tren köprülerini incelerken yükleme testlerini iki adet lokomotif kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

### Materyal

Çalışmaya konu olan Azmak II köprüsü İzmir-Uşak Devlet Karayolu güzergahında Salihli İlçesi sınırları içerisinde Yenipazar Deresi üzerinde yer almaktadır. Şekil 1.'deki fotoğraflarda söz konusu üç açıklıklı köprünün genel görünümü ve 24m boyundaki köprü girişlerinin alttan görünüşleri mevcuttur.



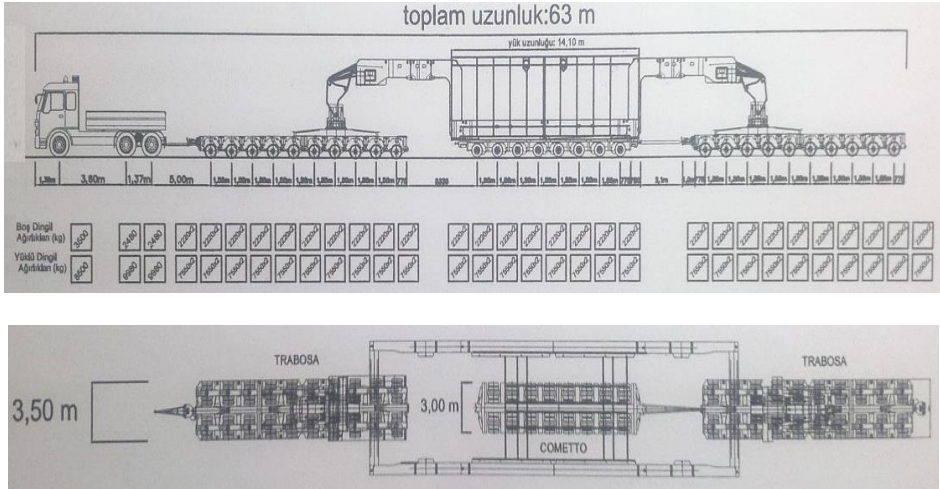
Şekil 1. AzmakII köprüsü ve L=24m tabliye girişleri.

İnceleme konusu köprü üzerinden geçen istisnai ağır yük ve taşıyıcı araç sistemi Şekil 2.'de görülmektedir. Yandan ve üstten şematik gösterimler ise Şekil 3.'de mevcuttur. Ağırlığı 290ton olan bir yük ve boş ağırlığı 133ton olan taşıma sistemi ile İzmir'den Uşak iline nakledilmiştir. Dolayısıyla köprüye etki eden toplam yük miktarı 423ton mertebelerindedir. Oluşan yük katarının

uzunluğu 63,0m, genişliği ise 3,5m dir. Önde bulunan çekici araç da dikkate alındığında tüm yük  $3+10+8+10 = 31$  adet dingil ile yola aktarılmaktadır. İncelenen üç açıklıklı karayolu köprüsünde ise 24m boyundaki I kirişler kullanılmıştır.



Şekil 2. İstisnai ağır yük ve taşıma sistemi.



Şekil 3. Yük taşıma sisteminin şematik görünüşleri.

## Yöntem

Bu çalışma esas olarak, mevcut bir köprü üzerinden geçen ağır yük sırasında nasıl bir deplasman (maksimum sehim) davranışı sergilediğinin belirlenmesi ve bu deplasman davranışının teorik analizlerle uyumunun değerlendirilmesi hususlarını içermektedir. Dolayısıyla çalışma yöntemi teorik ve uygulama olarak iki ana bölümde ele alınmıştır.

## Teorik Çalışmalar

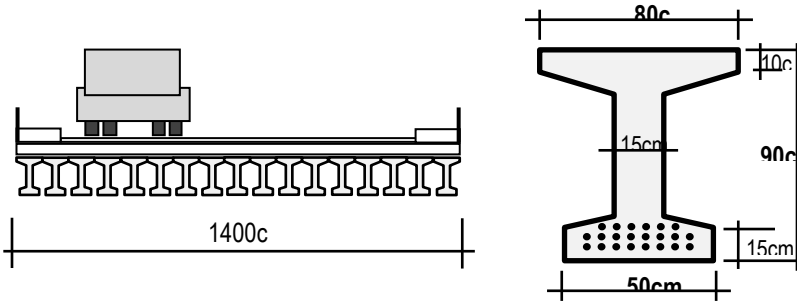
Üç açıklıklı köprü taşıyıcı sisteminde aynı özelliklere sahip önerilmeli prefabrik betonarme kirişler kullanılmıştır. Dolayısıyla teorik analizler tipik bir kiriş elemanı üzerinde

gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizler sonlu elemanlar deplasman metodu direkt rijitlik prosedürüne göre analiz yapan SAP2000 (V.14) programı ortamında kompozit mikro model yaklaşımı ile dizayn edilen matematik model üzerinde gerçekleştirilmiştir (Brocca ve Baz, 2001; Adajar ve diğ., 2004; Nuhoğlu ve Korkmaz, 2010; Adajar ve diğ.,2004). Teorik analizler sonucunda kirişin açıklık ortasında meydana gelen düşey deplasmanlar ile beton ve gerdirilmiş halat elemanlarında oluşan normal gerilmeler elde edilmiştir.

### Tipik Öngerilmeli I Köprü Kirişi:

24m boyundaki öngerilmeli prefabrik I kirişlerin kullanıldığı mevcut karayolu köprüsü 3x24m açıklığa sahiptir. Her hangi bir açıklığında 17 adet prefabrik I kirişin yan yana dizilmesi ile oluşan köprü tabliyesinin toplam genişliği 14m dir. Kiriş üst başlıklarına oturan betonarme tabliyenin kalınlığı 22cm ve bunun üzerindeki tecrit ve asfalt kaplamasının ortalama kalınlığı ise 5cm dir.

Maksimum açıklıkları geçen I kesitli köprü kirişlerinin tipik kesiti Şekil 4. de görülmektedir. Kiriş alt başlık genişliği 50cm, üst başlık genişliği 80cm ve kesit yüksekliği ise 90cm dir.



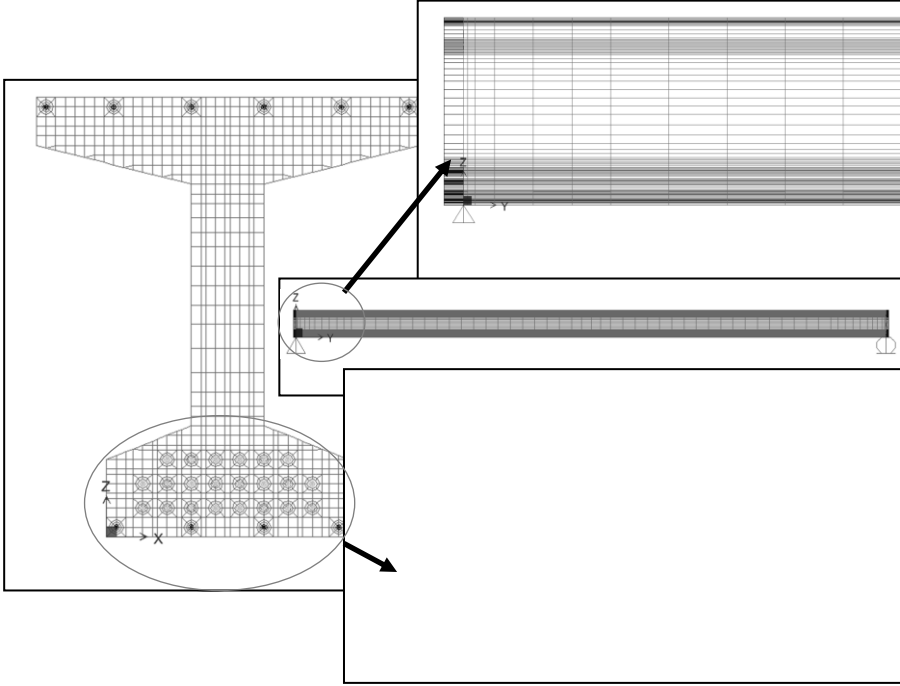
Şekil 4. Köprü tabliyesi ve tipik öngerilmeli prefabrik I kirişi kesitleri.

İmalatına esas uygulama projelerine göre H30-S24 yük sınıfına göre dizayn edilmiş olan basit kiriş özelliğindeki kirişlerde yapı malzemesi olarak C40 betonu, STIIIa donatı çeliği dikkate alınmıştır. Öngerilmeli kirişte cinsi 270K olan düşük gevşemeli 7 telli germe halatları kullanılmıştır. Buna göre her bir halatın çapı 0,5" (12.7mm), kesit alanı 98mm<sup>2</sup> dir. Germe halatlarından 6 adedi mesnetlere 360cm, 4 adedi ise 600cm mesafelerde kılıflanmıştır. İmalat aşamasında 1 adet halata uygulanan öngerilme kuvvetinin 12860kg olacağı öngörülmüştür. Germe halatlarının yanında kiriş kesitinde alt başlık alt seviyesinde 4φ16, üst başlık üst seviyesinde ise 4φ16+2φ12 STIIIa boyuna donatı çeliği mevcuttur.

### Kirişin Mikro Sonlu Elemanlar Modeli

Betonarme basit kiriş oluşturan beton ve boyuna donatılar (halatlar ve STIIIa çelikleri) solid elemanlarla modellenmiştir. Toplam 122178 adet solid sonlu eleman 125664 adet düğüm arasında teşkil edilmiştir.

Mesnetlere yakın bir noktadaki mikro model eleman kesiti ve idealize edilmiş matematik modelde mevcut olan prizmatik bir solid sonlu elemanlar şeması Şekil 5. de gösterilmiştir. Kılıflanmış olan halatların beton malzemesi ile temasları kılıflanma boylarınca boşluk oluşturmak kaydı ile kaldırılmıştır.



Şekil 5. Prefabrik kirişin mikro sonlu elemanlar modeli.

Köprüde mevcut olan tipik bir öngerilmeli betonarme kirişte beton, halat ve donatı olmak üzere üç farklı malzemeden imal edilen elemanlar mevcuttur. Söz konusu elemanların mekanik özellikleri Tablo 1. de verilmiştir. Tabloda verilen C25 betonu ise kirişlerin üzerinde konvansiyonel yöntemle imal edilen tablyede kullanılmıştır.

Tablo 1. Malzemelerin mekanik özellikleri

Malzeme	Elastisite Modülü (kg/cm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Birim Hacim Ağırlığı (kg/cm <sup>3</sup> )	$\sigma_{maks}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Beton (tablye, C25)	300 000	0.3	0.0024	250
Beton (kiriş, C40)	340 000	0.3	0.0024	400
Halat (270K , 7 telli Düşük Gevşemeli, 1/2")	1 970 000	0.2	0.00785	18 600
Boyuna Donatı (STİlla)	2 000 000	0.2	0.00785	4 200

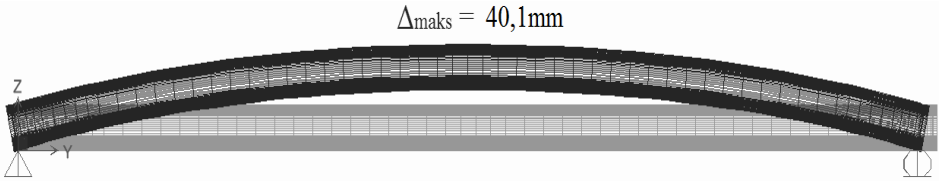
### Statik Analizler

Tipik bir kirişin teorik analizi üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada öngörülmiş halatlar ile birlikte imal edilen kirişin kendi ağırlığı etkisindeki statik analizi yapılmıştır. Bu aşamada halatlarda gerçekleşen öngerilme kuvvetleri halatlara eşdeğer düzgün sıcaklık yükü

uygulanarak oluşturulmuştur. Hangi mertebede düzgün sıcaklık değişimi uygulanacağı, kirişin mikro solid sonlu elemanlarla idealize edilmesi nedeniyle deneme yanılma yaklaşımı ile belirlenmiştir. Bilahare ikinci aşamada öngendirilmiş haldeki kiriş elemanının üst başlığına tabliye sistemi ilave edilmiştir. Dolayısıyla 20cm kalınlığında olan ve kirişlerin fabrikadaki imalatı sırasında üst başlıkta teşkil edilmiş olan donatılar ile bütünlük sağlayan betonarme tabliyenin prefabrik I kiriş ile birlikte yapısal davranış sergilediği dikkate alınmıştır. Bu esnada asfalt kaplamasının ağırlığı da dış yük olarak hesaplara dahil edilmiştir. Üçüncü ve son aşamada ise köprüden geçen ağır taşıt yükü düşey statik dış yük olarak tabliye üzerine uygulanmıştır.

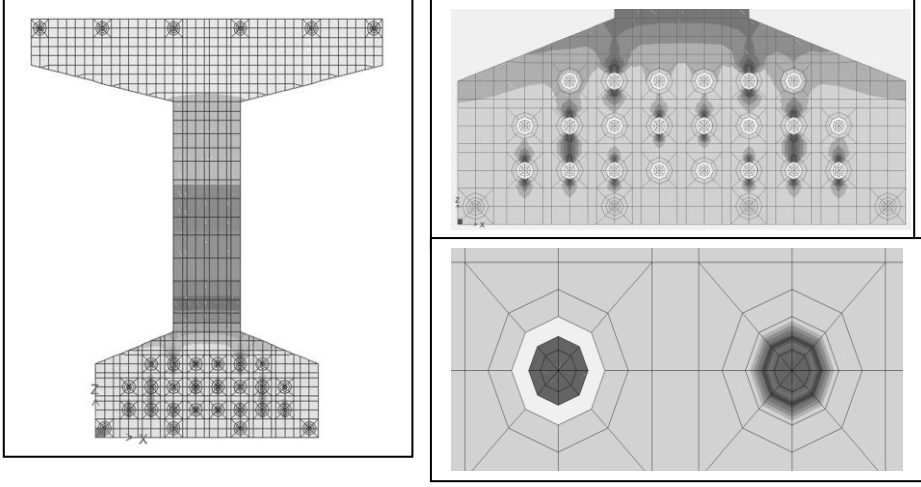
**Öngendirilmiş Prefabrik Kiriş:** Kirişin imalatına esas uygulama projeleri dikkate alındığında toplam 22 adet olan öngendirme halatlarının her birine 12860kg öngendirme kuvveti uygulanacağı anlaşılmaktadır. Her bir halat 7 adet düşük gevşemeli telden oluşmaktadır ve toplam en kesit alanı 98mm<sup>2</sup> dir. Halatlar ile beton arasındaki gerilme aktarımının C40 (400kg/cm<sup>2</sup>) sınıfında tasarlanan betonun en az %75 oranındaki dayanımına (300kg/cm<sup>2</sup>) ulaşıktan sonra yapılabileceği öngörülmüştür. Beton ile halat arasındaki ideal bir aderans davranışı mevcuttur. Halatlar için öngörülen 12860kg değerindeki çekme gerilmesinin oluşturulabilmesi için eşdeğer düzgün sıcaklık değişimi -340°C mertebelerinde uygulanmıştır.

Bu veriler dikkate alınarak gerçekleştirilen teorik analizlerde öngendirilmiş tipik bir kirişin yalnızca zati ağırlığı altındaki şekil değiştirmiş geometrisi Şekil 6.'de verilmiştir. Bu durumda kiriş açıklık ortasında oluşan maksimum ters sehim 40.1mm mertebelerindedir. Mesnetlere yakın bir noktadaki ve açıklık ortasındaki kesitlerde meydana gelen normal kuvvet gerilme dağılımları ise Şekil 7.'da görülmektedir.



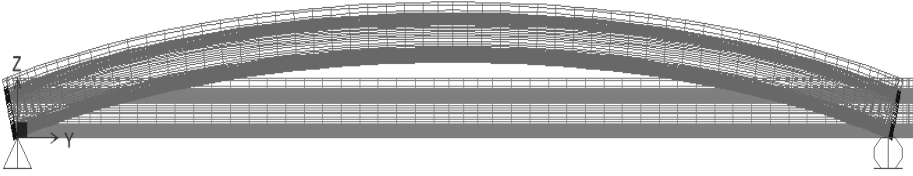
Şekil 6. Öngendirilmiş basit kirişte zati ağırlık altında şekil değiştirmiş geometri

**Öngendirilmiş Prefabrik Kirişler Üzerinde Yol Tabliyesi:** İkinci aşamada köprü ayakları üzerine yan yana yerleştirilmiş olan öngendirilmiş kirişlerin üzerine 22cm tabliye betonu ve 5cm asfalt kaplaması imal edilmesi durumu ele alınmıştır. Tabliye ile kirişler, kirişlerin üst başlıklarında teşkil edilmiş olan etriye donatısıyla yapısal olarak bütünlük sağladığı kabul edilmiştir. Dolayısıyla bu durumda I kiriş bir anlamda tablalı kiriş özelliğine sahip olmuştur. Hali hazırdaki mevcut durumu temsil eden bu konumda oluşan şekil değiştirmiş geometri Şekil 8.'de, mesnet bölgelerine yakın bir kesitteki normal gerilme dağılımı ise Şekil 9.'de verilmiştir.

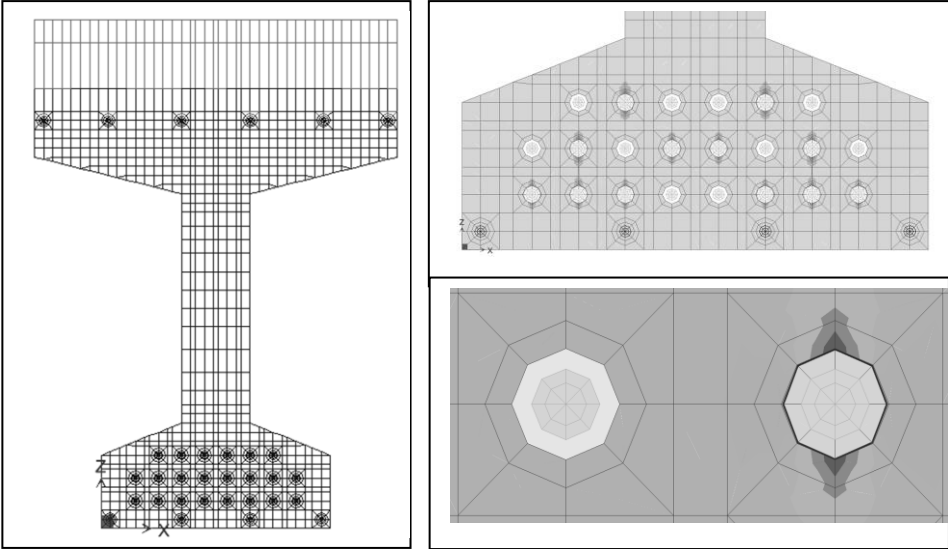


Şekil 7. Öngerdilmiş kirişte alt başlıkta mesnet bölgesinde normal gerilme dağılımı.

$$\Delta_{\text{maks}} = 28,5\text{mm}$$

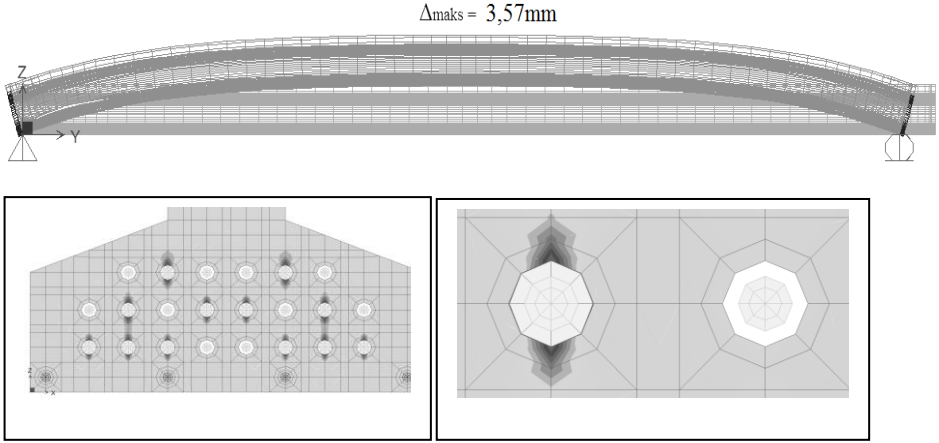


Şekil 8. Tabliye ve asfalt kaplaması etkisindeki kirişte şekil değiştirmiş geometri.



Şekil 9. Tabliye ve asfalt kaplaması etkisindeki kirişte normal gerilmeler.

**Ağır Yük Etkisindeki Kiriş:** Azmak II köprüsünün ağır yük tesirine maruz kalması durumunda tipik bir kiriş açıklığında oluşan maksimum sehim ve bu esnada kiriş kesitinde oluşan normal gerilmeler teorik olarak hesaplanmıştır. Ağır yükten dolayı bir adet köprü kirişine gelebilecek olan maksimum düşey statik yük hesaplanmış ve kirişin üzerinde yer alan betonarme tabliyeye lineer yayılı yük olarak uygulanmıştır. Bu kapsamda en elverişsiz durumda bir adet kirişe gelen ağır yük payı 30ton mertebelerinde olabileceği dikkate alınmıştır. Söz konusu yükleme durumunda kirişin deformasyon geometrisi ve germe halatlarının yer aldığı alt başlıkta oluşan normal gerilme dağılımına ait diyagramlar Şekil 10. da verilmiştir. Bu halde kirişte mevcut olan ters sehim 3,57mm mertebelerine inmiştir.



Şekil 10. Ağır yük etkisindeki kirişte şekil değiştirmiş geometri ve normal gerilmeler

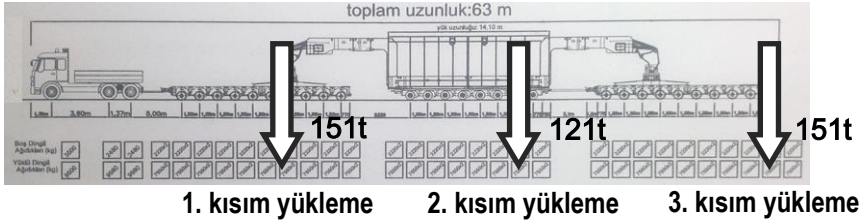
### Köprüde Yükleme Testi

Ağır yükün köprü üzerinde olduğu andaki fotoğraf Şekil 11.de görülmektedir. Taşınan yükün ağırlığı 290ton ve bu yükü taşıyan taşıma sisteminin boş ağırlığı 133ton olmak üzere köprüye aynı anda etki eden toplam yük miktarı 423ton mertebelerindedir. Söz konusu yük Şekil 3. de görüldüğü gibi toplam 31 adet dingile sahip yük taşıma sistemi ile yola aktarılmaktadır. Yük katarının toplam boyu 63m, genişliği ise 3.5m dir. Köprü kirişlerinin boyu 24m olduğundan bu kadar uzun bir yük katarının ancak bir kısmı bir açıklık boyunca sisteme etki ettiği dikkate alınabilmektedir. Yük katarı, deplasman ölçümü yapılan açıklıktaki kirişlere üç aşamalı olarak etki ettirilmiştir. Sırasıyla 1., 2. ve 3. kısım yükler (Şekil 12) ardı sıra tabliye üzerine getirilmiş ve her bir durum için sehim ölçümü yapılmıştır.



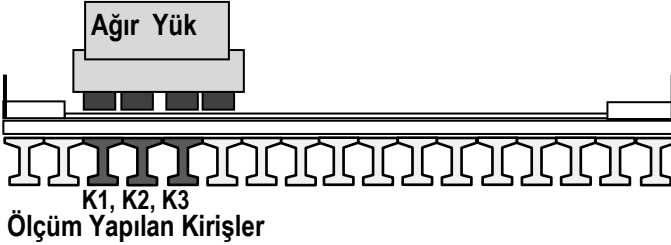


Şekil 11. Ağır yük etkisindeki köprü.



Şekil 12. Yük katarının kirişlere 3 kısımda yüklenmesi.

Sehim ölçümleri köprü altında oluşturulan bir iskeleye monte edilen mekanik deplasman ölçerler ile yapılmıştır (Şekil 13). Köprü kenarından itibaren 3., 4. ve 5. sıralarda yan yana yer alan üç adet kirişin (K1, K2, K3) açıklık ortasında yerleştirilen deplasman ölçerler ile her bir yükleme aşaması için sehim ölçümleri yapılmıştır. Burada ölçülen sehim değerleri kullanım halindeki köprüde mevcut olan kirişlerin, ki öngörilmeli kirişler bu anda hem kendi zati ağırlığını hem de betonarme tabliye+asfalt kaplamaların etkisindedir, istisnai ağır taşıt yükü etkisinde düşey yönde yapmış oldukları deplasmanları temsil etmektedir.



Şekil 13. Kirişlerin alt açıklıklarına yerleştirilen deplasman ölçerler.

Her bir kısım yükleme durumu gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilen sehim değerleri Tablo 2. de verilmiştir. Maksimum deplasman 3. kısım yükleme durumunda K3 kirişinde 20.6mm değerinde meydana gelmiştir. Şekil 13.'den görüldüğü gibi, 3. kısım yükleme yük kütlesi üzerinde olan katarın kirişe yüklenmesi durumunu temsil etmektedir.

Tablo 2. Yükleme testinde ölçülen sehimler (mm)

YÜKLEME TESTİ	TEORİK ANALİZLER		
	K1	K2	K3
1. kısım yükleme	15.4mm	16.4mm	<b>16.9mm</b>
2. kısım yükleme	17.3mm	18.2mm	<b>18.8mm</b>
3. kısım yükleme	18.6mm	19.8mm	<b>20.6mm</b>

### Bulgular ve Değerlendirme

Bu bölümde teorik analizlerden elde edilen sonuçlar ile yükleme testinde elde edilen sehimler karşılaştırmalı olarak Tablo 3. de verilmiştir. Ters sehimler - (negatif) işareti ile yazılmıştır. Öngörülen prefabrik betonarme kirişler öngörülen kayıpları olabileceği dikkate alınarak halatların farklı öngörülen değerleri için dikkate benzer teorik analizler tekrarlanmıştır. Bu tür düşük gevşemeli öngörme halatların kullanıldığı betonarme prefabrik kirişlerde öngörme kayıpları %20 mertebelerine ulaşabilmektedir. Bu husus esas alınarak öngörme kuvvetlerinin %10 ve %20 oranlarında azaltılarak iki farklı öngörme durumu daha oluşturulmuştur. Bununla birlikte tipik bir

kirişin payına düşen ağır yükün tam olarak belirlenemeyeceği de göz önünde bulundurulduğunda iki farklı istisnai ağır yük değerleri (P=30ton ve P=25ton) için de sayısal analizler tekrarlanmıştır.

Tablo 3. Tipik I kirişinde oluşan teorik ve deneysel sehimler (mm)

YÜKLEME	TİPİK I KİRİŞİ					
	%100 ÖNGERME		%90 ÖNGERME		%80 ÖNGERME	
	P=30t	P=25t	P=30t	P=25t	P=30t	P=25t
Öngerilmiş Kiriş Zati Yüğü	-40.05	-40.05	-33.34	-33.34	-26.62	-26.62
(Kiriş + Tabliye) Zati Yüğü	-28.01	-28.01	-22.86	-22.86	-17.71	-17.71
(Kiriş+Tabliye) Zati +Ağır Yüğü	-3.57	-7.55	2.65	-2.36	7.85	2.83
<b>Amaks , TEORİK ANALİZ</b>	<b>24.44</b>	<b>20.46</b>	<b>25.51</b>	<b>20.50</b>	<b>25.56</b>	<b>20.54</b>
<b>Amaks , YÜKLEME TESTİ</b>	<b>20.60mm</b>					

Teorik ve deneysel çalışmalardan elde edilen sehim değerlerine genel olarak bakıldığında birbirleriyle uyum içerisinde oldukları değerlendirilebilir. Köprü üzerinde istisnai ağır yük geçişi sırasında gerçekleştirilmiş olan ölçümlerde elde edilen sehim değerleri teorik analizlerde P=30t'luk ağır yük yükleme için elde edilmiş olan sehim değerlerinden bir miktar düşük kalmıştır. Esasen böyle bir kirişin teorik analizinde hesaplanan deplasman değerlerine etki edecek bir çok faktör öne sürülebilir. Elatisite modülü, halatlardaki öngerme düzeyi ve özellikle sisteme tesir eden dış yükün gerçekçi olarak hesaplara dahil edilmesi ile birlikte mevcut taşıyıcı sistemi sınır şartları ile birlikte temsil edebilecek matematik modelin oluşturulması hususu bunlardan başlıca olanlarıdır.

Tüm köprü sisteminin çalışmada kullanılan yaklaşım ile idealize edilmesi durumunda çok sayıda sonlu eleman söz konusu olacağından bu aşamada böyle bir yapısal analiz yapılabilmesi mümkün olmamıştır. Yüksek kapasiteli bir sayısal işlemci ve yazılımın kullanılması halinde daha belirgin sonuçların elde edilebileceği değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında yalnızca tipik bir kiriş üzerinde bilgisayar ortamında gerçekleştirilen teorik analizlerde özellikle istisnai ağır yükten dolayı o kirişe gelecek olan yük payı sonuçlara önemli oranda tesir etmektedir. Ağır yükün toplam değeri bilinmesine karşılık, nakliye sisteminin bu yükü tekerleklerine nasıl paylaştığı tahmin edilebilmekte fakat tam olarak bilinmemektedir. Yazarlar tarafından yapılan genel ve makul olduğu değerlendirilen yaklaşımlar sonucunda, böyle bir yük etkisinde bir kirişe tesir edebilecek yük payı 25-30ton mertebelerinde olabileceği dikkate alınmıştır.

30t değerindeki yük payına ait teorik analizlerde elde edilen sehimler yerinde ölçülen sehimlerden %10-15 mertebelerinde büyük iken, 25ton için yapılan teorik analizlerle bulunan sehim değerleri yük testi sonuçları iyi bir uyum sergilemiştir. Özellikle gergi halatlarında öngerme kayıplarının olduğu dikkate alındığında bu uyum daha da belirgin hale gelmiştir.

## Sonuç

İzmir - Uşak Devlet karayolu üzerinde mevcut olan L=24m öngerilmeli betonarme prefabrik I kirişli bir köprü üzerinde, taşıma sistemi ile birlikte toplam 423t olan istisnai ağır yükün geçişi esnasında sehim ölçümleri yapılmıştır. Söz konusu kirişlerin ağır tesirindeki teorik analizlerinden

elde edilen sehim değerleri ile köprü üzerinde ölçülen sehim değerlerinin uyumu araştırılmıştır. Teorik analizler, uygulamaya esas imalat projeleri kapsamında, sonlu elemanlar deplasman metodu mikro modelleme yaklaşımı ile kompozit eleman olarak idealize edilen tipik bir önerilmeli prefabrik betonarme kiriş üzerinde gerçekleştirilmiştir. Köprü tabliyesinde durdurulan yük katarı formundaki ağır yükün, altında yer alan ve köprü açıklığını geçen bir kirişe uyguladığı yük payı tam olarak belirlenememiştir. Böyle bir durumda bir yük aralığı dikkate alınarak sayısal yapıldığında, teorik analizler ile yüklem testi sonuçlarının yeterli düzeyde uyum içerisinde oldukları görülmüştür.

## Kaynaklar

1. Adajar J. C., Kanakubo T., Nonogami M., Kayashima N., (2004) "An Analysis Of The Behavior Of Hybrid Steel Beam – Rc Column Connection", 13th World Conference On Earthquake Engineering ,Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 2398
2. Bacinskas D., Kamaitis Z., Jatulis D., Kilikevicius A., (2013), "Load Testing and Model Updating of a Single Span Composite Steel-Concrete Railway Bridge", 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2013
3. Brenner B., Bell E. S., Sanayei M., Pfeifer E., Durack W., (2010), "Structural Modeling, Instrumentation, and Load Testing of the Tobin Memorial Bridge in Boston, Massachusetts", Structures Congress , ACE
4. Brocca M., Baz Z., (2001) "Size Effect in Concrete Columns: Finite-Element Analysis with Microplane Model" ASCE Journal Of Structural Engineering, Vol. 127, No. 12
5. Fuchs P. A., Washer G. A., Chase S. B., Moore M., (2004), "Laser-Based Instrumentation for Bridge Load Testing", Journal Of Performance Of Constructed Facilities V.18: p.213-219
6. Manko P.E., Beben P.E., 2005, Static Load Tests of a Road Bridge with a Flexible Structure Made from Super Cor Type Steel Corrugated Plates, Journal of Bridge Eng. V.10, p.604-621
7. Nuhoglu A., Korkmaz K. A.(2010) " Micro-Modeling Finite Element (MMFE) Analysis of Composite Frames", 9th International Congress on Advances in Civil Engineering, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey
8. Richard B., Epailard S., Cremona S., Elfgren L., Adelaide L., 2010, Nonlinear Finite Element Analysis of a 50 Years Old Reinforced Concrete Trough Bridge, Engineering Structures, V.32, p.3899-3910
9. SAP2000, (2005) Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.
10. Wang N., Malley C. O., Bruce R. Ellingwood B. R., (2011), "Bridge Rating Using System Reliability Assessment. I: Assessment and Verification by Load Testing", Journal of Bridge Engineering, Vol. 16, No. 6, p.854-862

**Anahtar Sözcükler:** Öngerilmeli Kiriş, Köprü Kirişi, Mikro Model, Ağır Yük, Deplasman Davranışı.