

2. Oturum

YÜKSEK MUKAVEMETLİ BULONLARDA ETKİN SÜRTÜNME KATSAYISININ BELİRLENMESİ

B. Özden ÇAĞLAYAN

Yrd. Doç. Dr.
İTÜ İnşaat Fakültesi
İstanbul, Türkiye

Erdoğan UZGİDER

Prof. Dr.
İTÜ İnşaat Fakültesi
İstanbul, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, yüksek mukavemetli öngermeli bir bulonun, dökme çelik kumu püskürtme yöntemiyle yüzey hazırlığı yapılması halinde sürtünme katsayısının tespiti için bir deney düzeni ve uygulaması verilecektir. Bu çalışma önemli bir çelik yapının uygulaması için yapılmıştır.

GİRİŞ

Bu çalışmada, J.W.Fisher, J.H.A.Struik, “Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints” isimli kaynaktan yararlanılmıştır. Bu kaynakta bu tür testler için iki test düzeni söz konusu edilmiştir. Bunlardan ilki çekme numunesi kullanmaktadır. Numunenin büyük oluşu yük-deplasman değerlerinin takibini, bunun için yapılacak enstrümantasyonu zorlaştırmakta, kayma başlangıcının doğru şekilde tespitini güçleştirmektedir. Bu nedenle ikinci test düzeni, yani basınç numunesi kullanan düzen bu çalışma için seçilmiştir.

1. Basınç Numunesi Test Düzeni

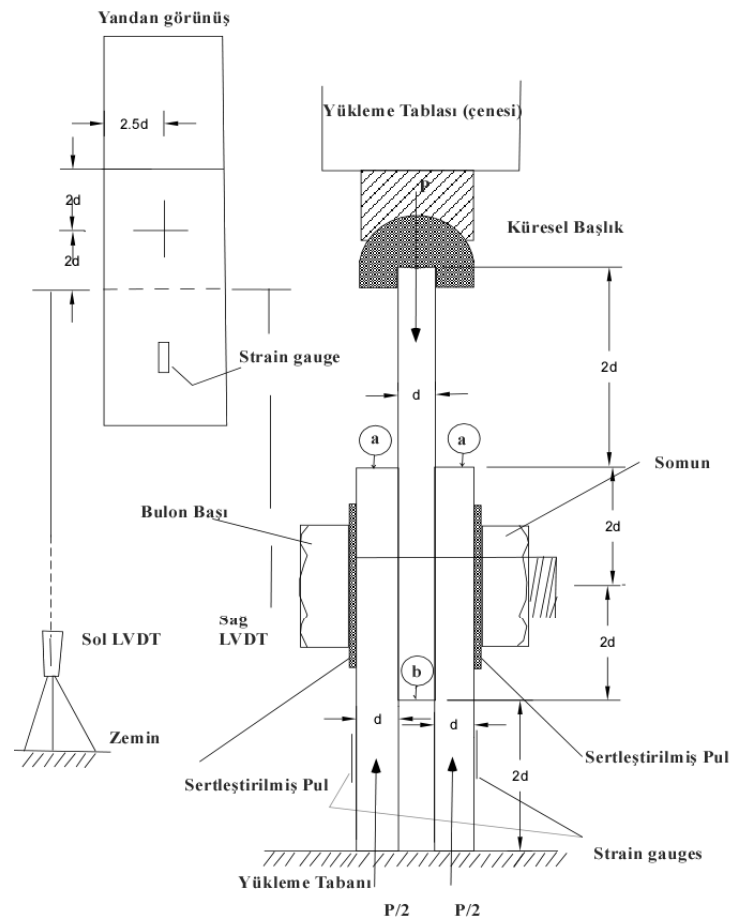
Test için kullanılan basınç numunesi Şekil 1, 2 ve 3’de görülmektedir. Test düzeni iki önemli parçadan oluşmaktadır. Bunlardan biri olan bulon, numunenin birleşim elemanlarına; somun başına uygulanan döndürme momenti sayesinde oluşturulan, bulon boyuna ekseninden etkiyen öngerme kuvveti sayesinde birleştirilen levhalara uygulanan kenetleme kuvvetidir. Diğeri ise numuneye, tariflenen bir hızla basınç kuvveti yüklemesi yapan sistemdir. Bu sistem, Şekil 1 ve 3’de görülen ELE Auto Test 3000’dir. Bu sistemin amaçlanan test için önemli özellikleri, istenen yükleme hızını gerçekleştirebilmesi ve birleştirilen levhalar arasında kayma oluşur oluşmaz yüklemeyi kesebilmesidir. Şekil 2’den de görüldüğü gibi yükleme çenesinin altında eksenel simetrik yüklemeyi gerçekleştirmek amacıyla bir küresel kafa kullanılmıştır.

Numuneye yüklenen basınç kuvveti levhalar arası relatif düşey deplasman (Bkz. Şekil 2’de a ve b noktaları arası) doğrudan basınç yükleme sisteminden okunabilmektedir. (Bkz. Şekil 1 ve 3). Ancak yüklemenin merkeziliğini kontrol için dış levhalara (Bkz. Şekil 2) strain gauge’ler yapıştırılarak, aynı zamanda yüklenen basınç kuvvetinin seviyesi de kontrol edilmiştir.

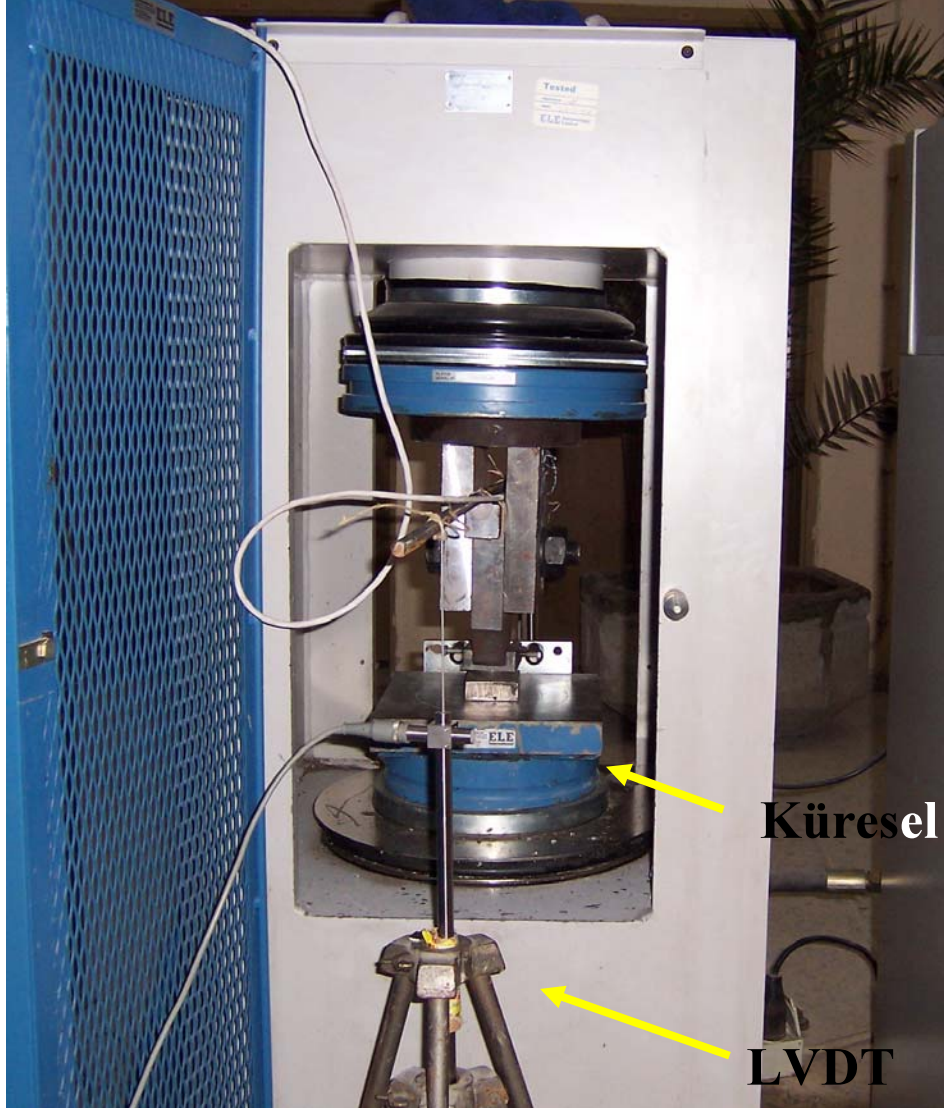
Numune üzerinde oluşturulan yatay kollara her iki taraftan Şekil 1 2 ve 3’de görüldüğü gibi LVDT’ ler bağlanmıştır. Bu suretle yükleme sisteminden okunan levhalar arası relatif düşey deplasman (Bkz. Şekil 2’de a ve b noktaları arası) değerleri de kontrol edilmiştir.



Şekil 1



Şekil 2



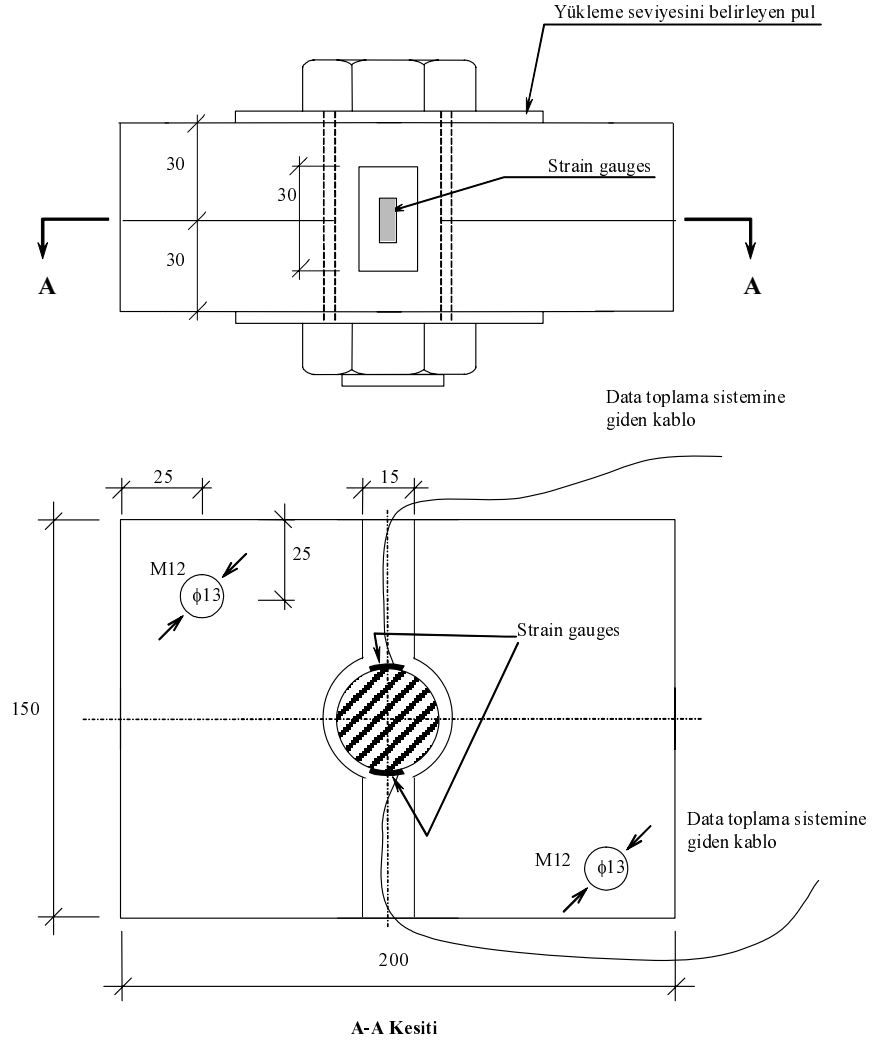
Şekil 3

2. Kenetleme Kuvveti Ölçme Sistemi

Kenetleme kuvveti kalibre edilmiş ayarlı anahtarla oluşturulmuştur. Bu metodda ayarlı anahtar belirli bir döndürme momenti değerine ayarlanır. Bu döndürme momentleri DIN 18800 Bölüm 7, Tablo 1' de yağlama sistemi ve bulon çapına bağlı olarak verilmiştir. Yağlama metodu iki türdür.

Bunlardan ilki MoS₂, yani molycod ile yaşlama, diğeri ise hafifçe yaşlamadır. Bu çalışmada hafifçe yaşlama türü uygulanmıştır. Ayrıca DIN 18800 Bölüm 7, Tablo 1’de herbir döndürme momenti değeri için karşı gelen öngerme kuvveti verilmiştir. Literatürde [1, 2, 3, 4 ve 5] verilen bir döndürme momenti değeri için oluşturulabilen öngerme kuvvetinin değeri, beklenen değerinden en fazla $\pm\%30$ kadar saptığı belirtilmiştir. Ortalama sapma $\pm\%10$ olarak ifade edilmiştir. Bu bulgulara dayanarak [5] geçerli standartların (AISC-Tablo 1, 2, 3, 5 veya DIN 18800 Bölüm 7, Tablo 1) tablolarında belirtilen değerlerin $\%5$ üstünde bulon öngerme değeri oluşturan bir döndürme momenti değerine sıkma anahtarlarının ayarlanmasını tavsiye etmektedir.

Bu durumu, bu test programında gözönüne alınan bulon çapları için kontrol etmek üzere şekil 4’deki düzen tasarlanmıştır. Bu düzende, 30 mm kalınlığında iki levha, test edilecek bulon gövdesi üzerine yaşıtırılan iki strain gauge’nin kablolarının dışarı alınması için yeterli kanallar açıldıktan sonra birbirine M12’ lik bulonlarla bağlanır. zerine strain gauge yaşıtırılarak kabloları levhalara açılan kanallardan dışarı alınan test edilecek bulonun somun başının altına, yükleme seviyesini belirleyen pul konur. Bu pul belirli dönme momenti seviyelerinde tırnakları ezilecek şekilde imal edilmiştir. Daha sonra somun başına kalibre edilmiş ayarlı anahtarla kademeli olarak döndürme momenti uygulanmıştır. Her döndürme momenti seviyesinde strain gauge ‘ lerden strain ölçülmüş, buradan gerilmeye daha sonra öngerme kuvvetine geçilmiştir. Yük seviyesi belirleyen pul, test edilen bulonun çapına ve hafifçe yaşlama sisteminin uygulanmış olmasına bağlı olarak DIN 18800 Bölüm 7, Tablo 1’ den seçilmiştir.



Şekil 4. Kenetlenme kuvveti ölçme test düzeneği



Şekil 5. Yükleme seviyesi belirleyen pul

4. Test Yöntemi

Numunenin üzerine, kaymanın okunabilmesi için deformasyon ölçerler bağlanmış ve kayma yüküne erişilinceye kadar numune Tablo 1 de verilen adımlar ile yüklenmiştir. Test, 1.3 mm veya daha büyük bir kayma görüldüğünde durdurulmuştur.

Projede kullanılan 6 tip bulon test edilmiştir: M12, M16 M20, M24, M27, M30. Bütün bulonlar 10.9 kalitesindedir. Levha kalınlıkları, bulon çapına eşit veya mevcut en yakın bir üst levha kalınlığı olarak seçilmiştir. Delik çapları, M27 den küçük bulonlar için $d + 2$, M27 den büyük bulonlar için $d+3$ olarak belirlenmiştir. M27 ye eşit veya büyük bulonlarda bulon gövdesi delik merkezinde yerleştirmelidir. M27 den küçük bulonlar için, 1.3 mm kaymayı sağlayabilmek için bulon gövdesi orta levhanın üzrinde bulunan deliğin alt ucuna temas halinde olmalıdır. Numunelerin yüklenmesi sırasında, her bulon çapı için Tabol 1’de verilen yükleme adımları kullanılmıştır.

Test sonuçlarının değerlendirilmesi, bu değerlerin hesaplanacak ortalamadan %10 dan daha fazla sapmadığı sürece test edilmiş 3 numunenin ortalamasının alınması şeklinde olmuştur. %10 dan daha büyük bir sapmanın oluşması durumunda 2 adet daha numune test edilmiş, en düşük 3 numunenin sonuçlarının ortalaması sonuç değer olarak benimsenmiştir.

Yapılan testlerde levhalar, M27 den büyük bulonlarda HISTAR 460, M27 den küçük bulonlarda St52 çelik kalitesinde seçilmiştir

Her numune için test sonuçları Tablo 1 gibi oluşturulmuştur .

Birbirine temas eden yüzeyler arasındaki pürüzlük kontrol edilmiştir (Rugo test No 3 Standard 17 veya 18.)

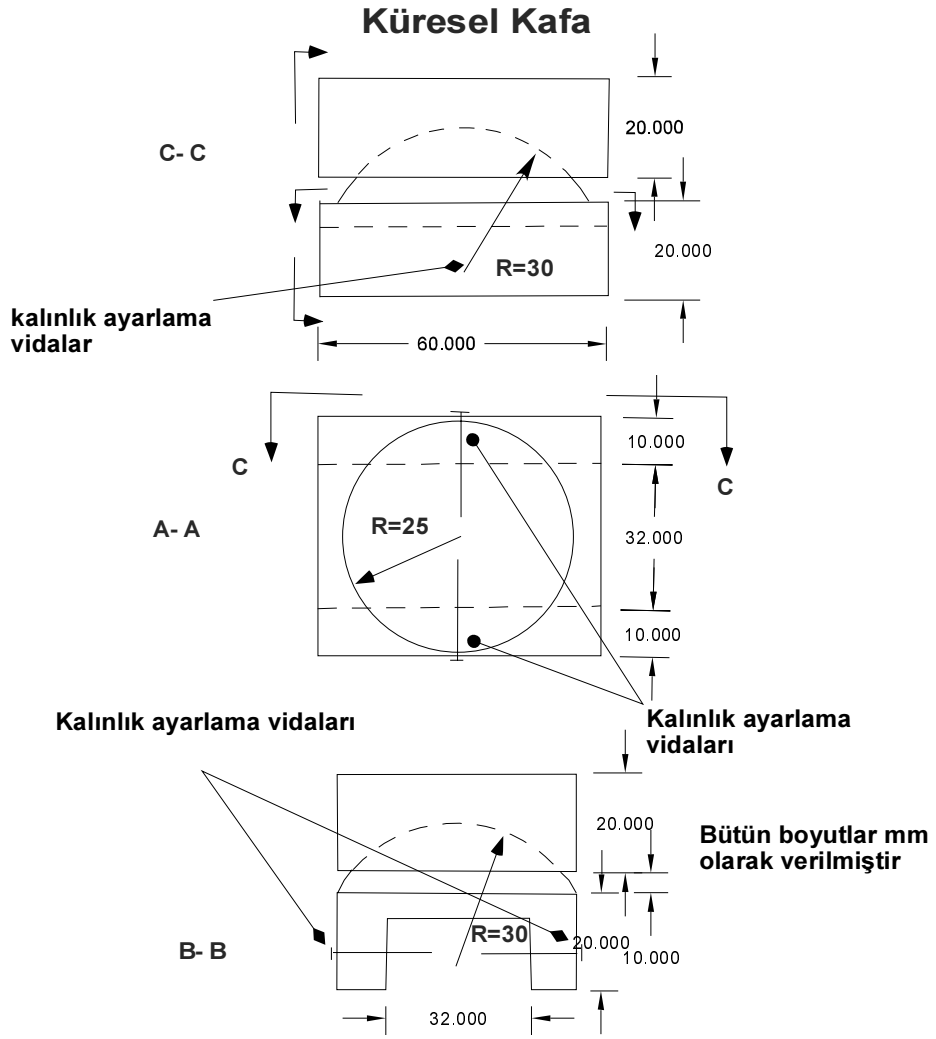
5. Test Numuneleri İçin Üretim Kılavuzu

İzleyen üretim kuralları, test numunelerinin imali sırasında dikkate alınmıştır.

Orta levhanın yükleme tablasına tam temas içerisinde oturmasını sağlayacak şekil. 2 ve 3 de görülen küresel kafa en az St.52 kalitesinde üretilmelidir. Küresel kafa, 30mm veya en yakın bir üst levha kalınlığı kavrayacak şekilde imal edilmiştir. Ancak, 30mm den daha az kalınlıklar için kalınlık ayar vidaları kullanılmıştır (Bkz Şekil 6). Şalimo ile kesime izin verilmemiştir. Levhalar yükleme tablasına tam temas için yeteri seviyede düz olmalıdır. Levhalarda çapak, oyuntu, girinti ve çıkıntı olmamalı, aksi halde doldurulmalı ve/veya frezeden geçirilerek yeteri seviyede düzleştirilmelidir.

Şekil 2, ve 3 de görülmekte olan test numunelerin üretiminde kullanılacak çelik kalitesi ve bulon çapı, bulon deliği ve verilecek tolerans bu bölüm 4' de yazıldığı gibi seçilmiş ve uygulanmıştır.

Test numunelerinin yüzey kalitesi, hesaplarda gözönüne alınan koşullarda olmalıdır (kum püskürtme). Diğer bir değişle, temas halindeki yüzeyler arasındaki pürüzlülük Rugo test No 3 ün “kaba” standard no 17 veya “iyi” standard No 18 ile uyum içerisinde olmalıdır. İstatistiki bir değerlendirme yapabilmek için aynı kaliteye sahip her tipten 5 adet numune üretilmelidir.



Şekil 6

6. Test Sonuçları

Bölüm 1 ve 4'e göre yapılmış sürtünme test sonuçlarından bir tanesi izleyen tabloda verilmiştir

Tablo 1

Tarih : 06.05.04 Gözlemci : Murat Alpay (Bureau Veritas) Numune : I Uygulanan Tork : 12kgm Bulon : M12 oda sıcaklığı : 11°C							
okuma adımları (kN)	Her bir bacadan okunan yük değeri		Strain gaugeler kullanılarak hesaplanan uygulanan yük (kN)	kayma miktarı		sürtünme katsayısı $k_s^{(**)}$	Kayma yükü $^{(*)}$ (kN)
	Sol strain gauge	Sağ strain gauge		Sol LVDT (mm)	Sağ LVDT (mm)		
0	0	0	0	0	0		
10	5.08104969	4.901757951	9.982807641	0	0		
20	10.2462899	9.701466789	19.94775669	0	0		
30	15.11103033	14.86541779	29.97644811	0.1	0.104		
40	20.08109048	19.90170851	39.98279899	0.15	0.149		
50	25.00624087	24.99243531	49.99867618	0.15	0.15		
51.3	25.79145965	25.47853376	51.26999341	1.16	1.161	0.52	51.3

^(*) Ani veya tedrici 1.3mm veya daha fazla kaymaya göre

^(**) k_s = kayma yükü / (2 * kenetlenme kuvveti)

7. Test Sonuçlarının Yorumlanması:

Test sonuçlarının yorumu ana hatlarıyla aşağıdaki adımlarda verilmiştir:

- i. St52 çelik kalitesinden imal edilmiş numunelerde ($\leq M27$ bulon) Sürtünme katsayısı k_s 0.46 ile 0.66 değerleri arasında bulunmuştur. Sonuç olarak, boyutlandırma sırasında k_s sürtünme katsayısının 0.46 olarak kullanılması tavsiye edilmiştir.
- ii. HISTAR 460 çelik kalitesinden imal edilmiş numunelerde ($\geq M27$ bolts), 0.356 ve 0.34 değerleri k_s sürtünme katsayısı olarak elde edilmiştir. HISTAR 460 çelik kalitesinden imal edilmiş test numunelerinden elde edilen sürtünme katsayısı k_s değerindeki bu ani düşüş, HISTAR 460 çeliğinin St 52 çeliği ile kıyaslandığında daha sert bir çelik cinsi olmasıyla açıklanabilir. Kum püskürtme, ısıtılarak ve tavlanarak sertleştirilmiş çeliğin daha yumuşak bir çeliğe nazaran sürtünme katsayısını daha az etkiler [5]. Sonuç olarak, boyutlandırma esnasında tavsiye edilen sürtünme katsayısı $k_s = 0.34$ dür.

KAYNAKLAR

1. Deren H., Uzgider E., Piroğlu F., “Çelik Yapılar”, Çağlayan Kitabevi , 2.baskı, 2005.
2. W.C. Stewart, “What Torque?”, Fasteners,1,4 (1944) 8-10
3. G.A. Maney, “Bolt measurements by electrical strain gauges”, Fasteners,2,1 (1945), 10-13
4. G.A. Maney, “Predicting Bolt Tension”, Fasteners,3, 5 (1946), 16-18
5. J.W.Fisher, J.H.A. Struik, “Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints”.

SUMMARY

The methods and procedures described herein were used to determine experimentally the slip coefficient (coefficient of friction) under short term static loading for high-strength bolted connections.

The test setup has two major loading components, one to apply a clamping force to the specimen plates and another to apply a compressive load to a specimen so that the load is transferred across the faying surface by friction.

The compression load has been measured during the test. This has been accomplished by direct reading from a compression testing machine and using strain measurements from four strain gauges mounted on outer plates of the specimens.

The relative displacement of the center plate and the two outside plates will be measured. This will be accomplished by using the average of two gages (LVDT) placed on two exposed edges of the specimen and by monitoring the movement of the loading head relative to the base.

Clamping force has been realized by employing calibrated wrench procedure. In this method, power wrenches adjusted to stall at a specified torque value which is given in DIN 18800 part 7 Table 1 for each bolt diameter depending on the lubrication procedure. In this study, as is cited in DIN 18800 Part 7 Table 1, lightly lubricated case is considered.

ODTÜ ÇELİK YAYA KÖPRÜSÜNÜN DİNAMİK TESTİ VE ÖLÇÜME DAYALI İZLENMESİ

Ahmet TÜRER

Yard. Doç. Dr.
İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
Ankara Türkiye

Taner ÖZERKAN

Yüksek Lisans Öğrencisi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
Ankara Türkiye

ÖZET

Ülkemizde bulunan köprülerin %1'den daha azı çelik tip köprülerdir. Çelik köprüleri dizayn ve inşa etmemekte, dolayısıyla da davranışları hakkında az bilgiye sahip olmaktayız. 2004 senesi içinde inşaatı tamamlanan Ankara ilinde, Eskişehir yolu üzerinde ve ODTÜ kampüsü önünde bulunan, halatlı 48,5 metre uzunluğundaki çelik yaya köprüsü, sıra dışı yapısal sistemi ve ülkemizde sıkça kullanılmayan çelik malzemesi ile ilgi uyandıran bir yapıdır. ODTÜ çelik yaya köprüsü, ulaşım ve montaj aşamalarında ölçüme dayalı izlenmiş ve okumalar alınmıştır. Dinamik testler yapılmış ve ölçümler analitik modellerle karşılaştırılmıştır. İlk doğal salınım frekansı 3,1 Hz. olarak ölçülen köprünün kurulma aşamasında 585 $\mu\epsilon$ 'e varan ve gerilmeler oluşmuştur.

GİRİŞ

2000 yılı KGM verilerine göre, ülkemizde bulunan toplam 4821 adet köprüden (186 km) sadece 37 tanesi (1.6 km) çelik tip köprüdür. Çoğunlukla çelik kiriş ve çelik kafes olarak bulunan çelik köprülerimizin davranış ve özellikleri betonarme köprülerimize oranla daha az bilinmektedir. 2004 senesi içinde inşaatı tamamlanan Eskişehir yolu üzerinde ve ODTÜ kampüsü önünde bulunan, halatlı 48,5 metre uzunluğundaki çelik yaya köprüsü, sıra dışı yapısal sistemi ve ülkemizde sıkça kullanılmayan çelik malzemesi ile ilgi uyandıran bir yapıdır.

AMAÇ

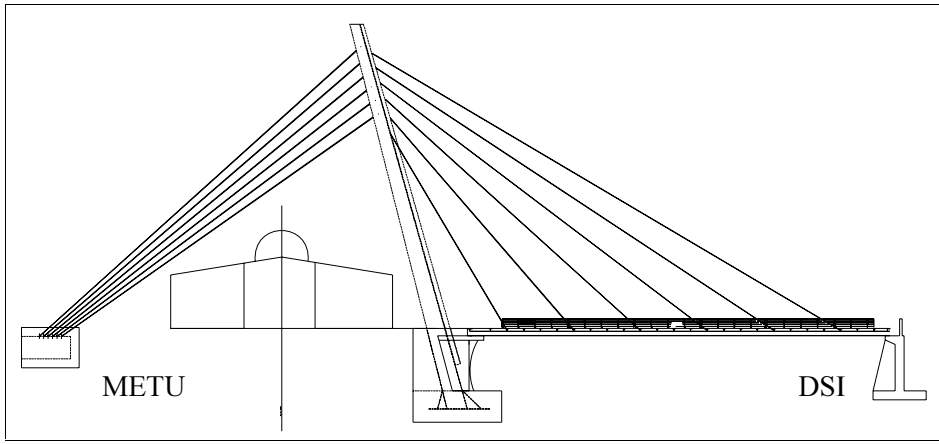
Çalışmanın amacı, az sayıda olan çelik köprülerimizden birisi olan ve ayrıca ilginç bir yapısal sisteme sahip ODTÜ köprüsünün kurulum aşamalarında ve servis süresinin ilk aylarında maruz kaldığı birim şekil değiştirme miktarlarını ölçmek ve yapısal testler uygulayarak köprü hakkında ölçüme dayalı durum tespiti yapmaktır. Ayrıca basit ve düşük maliyetli test metotlarının araştırılması ve uygulanması da amaçlar dahilindedir.

YAPISAL ÖLÇÜM ÇALIŞMALARI

Birim şekil değiştirme ölçüm cihazlarının montajı

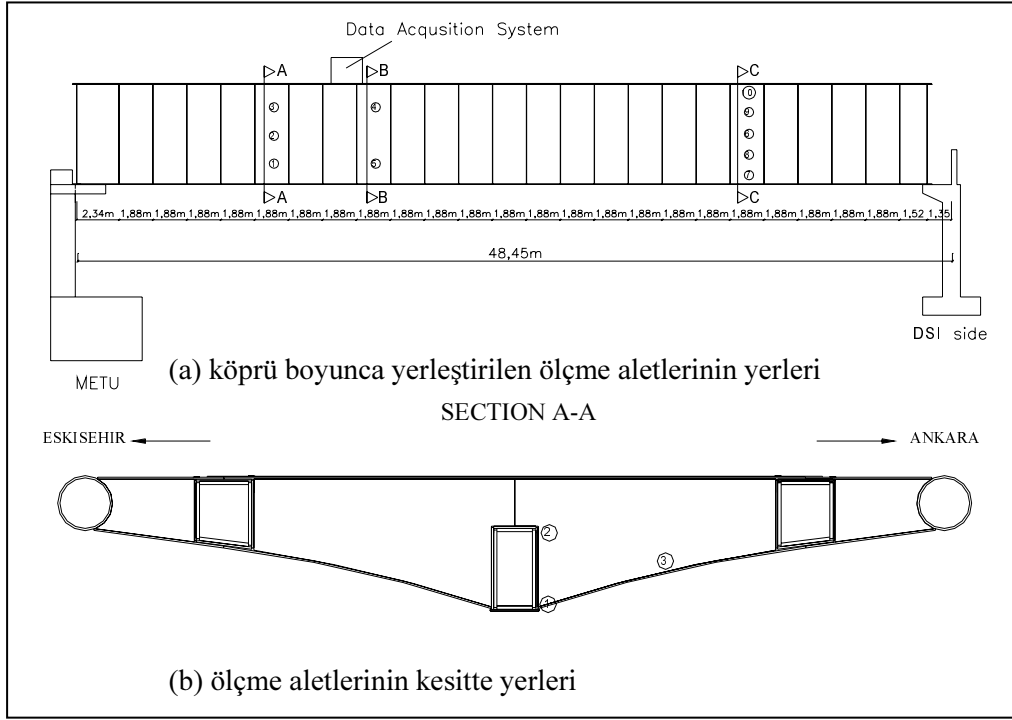
ODTÜ çelik yaya köprüsü 48,5 metre uzunluğunda ve halatlar ile taşınmaktadır (Şekil 1). İmalat aşamasında fabrikada iki parça olarak üretilen köprü, inşaat aşamasında sahada geçici orta ayak üzerine yerleştirilmiş, iki parça kaynak marifetiyle birbirine birleştirilmiştir. Halatlar gerildikten sonra geçici ayaklar kaldırılmış ve daha sonra döşeme, korkuluk ve bunun gibi işlemler tamamlanmıştır. Köprü, ODTÜ metro istasyonuna çok yakın mesafede bulunmakta ve işlek Eskişehir yolu üzerinden yüksek sayıda öğrencinin geçişine olanak sağlamaktadır.

İki parçadan oluşan ODTÜ çelik yaya köprüsü üzerine, fabrikada imalatı takiben her parçada 5'er ölçüm aleti olmak üzere, toplam 10 adet birim şekil değişim ölçer takılmıştır. Köprüyü oluşturacak iki parça ayrı ayrı taşınacak ve sahada monte edileceği için veri toplama sistemi ancak bir parça üzerine yerleştirilebilmiş ve ulaşım-montaj aşamasında sadece 5 adet ölçüm aletinden veri toplanabilmiştir. Köprü parçaları sahada birleştirildikten sonra kablolama işlemleri tamamlanmış ve 10 kanal üzerinden okumaların alınmasına devam edilmiştir.

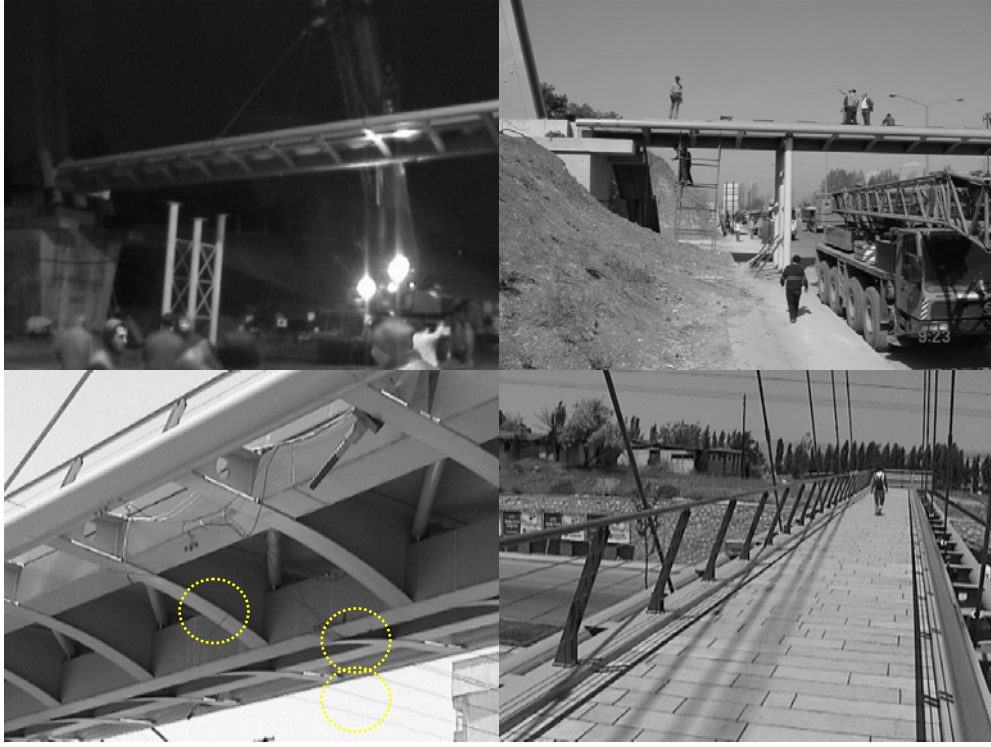


Şekil 1. Köprünün genel görünümü.

Montajı yapılan ölçüm aletleri, titreşen telli tiptir. Sıcaklık değişimlerinden etkilenmeyen ve hassas ölçümler yapabilen ($1 \mu\epsilon$ hassasiyet) cihazlardır. Gerilim sıcaklık ilişkisini belirleyebilmek için, her ölçme aletinin üzerinde ayrıca bir adet sıcaklık ölçer bulunmaktadır. Ulaşım ve montaj aşamalarından sonra yapılan, halat montajı ve gerdirilmesi, geçici ayakların kaldırılması, kaplama yapılması gibi aşamalarda okumalar alınmıştır.



Şekil 2. Gage locations and bridge cross section.



Şekil 3. Genel inşaat aşamaları ve köprüden görünümüler.

Yapısal titreşimlerin ölçülmesi için dinamik testlerin yapılması

Köprü üzerinde yapılan dinamik ölçümler üç amaçla yapılmıştır: 1) köprünün doğal salınım frekanslarının ölçülerek periyodların elde edilmesi, 2) kablolardaki doğal titreşim frekanslarının ölçülmesi ve her kablo üzerindeki eksenel yükün dolaylı olarak hesaplanması, ve 3) deneysel olarak elde edilen verilerin analitik modelle karşılaştırılması.

Yapılan dinamik testlerde CR10X veri toplama sistemi ve PCB 393C piezoelektrik tip ivme ölçer kullanılmıştır. Piezoelektrik ivme ölçerlerin kullanılması A/C eşleşme olduğu için ivmelerin sıfırlamaya gerek duyulmaması ve yer çekimi ivmesine dik yada yatay yönlerde kolaylıkla kullanılabilmesidir. Köprünün düşey yöndeki doğal salınım (mod) şekillerinin tam olarak elde edilebilmesi için daha kapsamlı bir ölçüm sistemi gerekmektedir. Halbuki, tek ivme ölçerle dahi olsa, ivme ölçerin

konulacağı bölge akıllıca seçilerek bazı mod şekillerinin tanımlanması mümkün olabilmektedir. Örneğin, burulma mod şeklinin salınım frekansını elde edebilmek için köprünün simetrik yapısından faydalanarak enine yönde köprünün ortasına yada yan tarafına yakın bir noktaya ivme ölçeri yerleştirip testi tekrarlamak yeterlidir. Merkezde bulunduğu zaman burulma modu görülmeyecek, kenara yakın olduğunda ise burulma modu frekans ekseninde görülebilecektir. Veriler saniyede 100 data noktası olacak şekilde (100 Hz) toplanmıştır.

Bir adet ivme ölçer, halatların köprüye yakın bölümlerine Şekil 5’de görüldüğü gibi monte edilmiş ve ölçümler alınmıştır. Halatlarda bulunan gerilme miktarları, Denklem 1 kullanılarak titreşim frekanslarına bağlı olarak hesaplanmıştır. Denklem 1’de, T değişkeni halattaki eksenel yükü, w halatın birim ağırlığını, f_n ölçülen n’inci modun salınım frekansını, L halatın toplam uzunluğunu, g yer çekimi ivmesini ve n ölçülen frekansın hangi mod şekline ait olduğunu göstermektedir.

$$T = \frac{4 * w * (f_n * L)^2}{n^2 * g} \quad (1)$$



Şekil 4. Kablo titreşim deneyleri.

ELDE EDİLEN ÖLÇÜM SONUÇLARI VE MODELLEME ÇALIŞMALARI

Birim şekil değiştirme sonuçları

Yaklaşık 3 ay süre ile birim şekil değiştirmeler izlenmiştir. En büyük değişimlerden birisi köprü parçalarının havaya montaj için kaldırıldığı sırada oluşmuştur. 16 Mart 2003 tarihinde yerleştirme sırasında kirişin alt bölgesinde (1 ve 4 numaralı bölgelerde) 381 $\mu\epsilon$ varan değerler okunmuştur (Tablo 1). Çeliğin akma sınırı 2000 $\mu\epsilon$ olarak kabul edilirse, değer in yaklaşık %20 civarında olduğu görülür. Kablolama esnasında okunan veriler ikinci büyüklüktedir. Yine 1 numaralı bölgeden halatların gerilmesi sırasında 273 $\mu\epsilon$ civarında değerler okunmuştur. 7 ve 8 numaralı ölçüm cihazlarının simetrik olarak yerleştirilmesine rağmen okumalar arasında %60'a varan farklılıklar okunması, köprünün kablolama sırasında enine yönde de eğildiğini düşündürmektedir. Geçici ayağın kaldırılması esnasında çok küçük farkların okunması, muhtemelen halat gerdirme işlemi sırasında köprünün geçici ayakla temasını kaybetmiş olmasına bağlanabilir.

Tablo 1. Ölçülen birim deformasyon seviyeleri.

Olay	Tarih	Kanalların sayıları ve birim şekil değiştirme ($\mu\epsilon$)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ulaşım	16/03/03	10.9	0	0	82.5	0	-	-	-	-	-
Vinçle kaldırma	16/03/03	381.80	21.10	28.90	348.00	88.80	-	-	-	-	-
Halat gerilmesi	03/05/03	273.00	36.00	41.00	103.00	124.00	168.30	97.10	61.20	51.00	43.00
Desteğin kaldırılması	12/05/03	8.30	14.00	8.60	8.40	7.90	8.20	5.50	6.80	5.20	5.10
Döşeme yapılması	20/05/03	14.8	8	14	19.4	10	2.63	1.5	4.1	1.7	4.1

Dinamik ölçüm sonuçları

Denklem 2'de verilen ilişki kullanılarak halatlar üzerinde bulunan eksenel kuvvet dolaylı olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan her n sayısı için eksenel yük benzerlik göstermekle beraber özellikle büyük n sayıları için değişmektedir. Büyük sayıya sahip mod şekillerinde halat fazla sayıda 's'

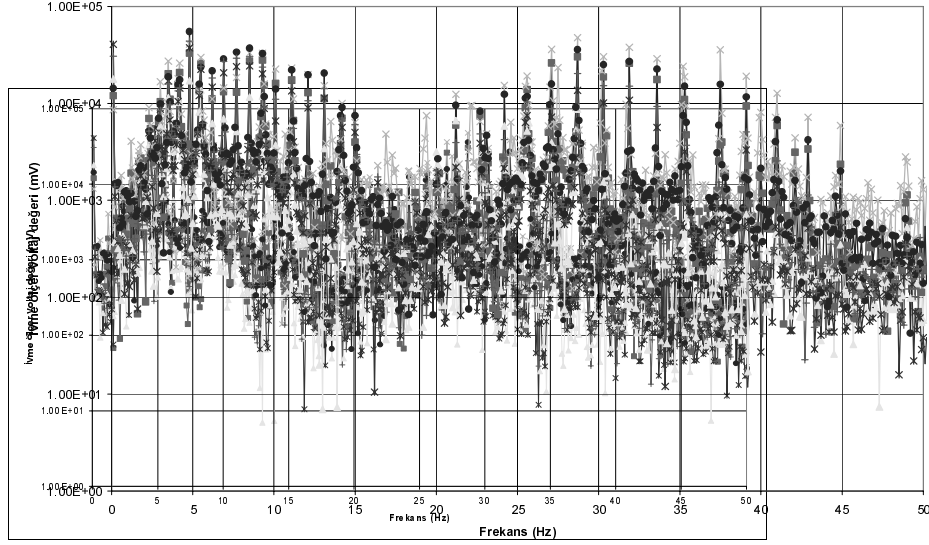
şekli yapmakta ve yaklaşık 5 cm çapında dolu malzemedan yapılmış olan halat, çok sayıda ‘s’ yapması durumunda kesit ataleti sebebiyle farklı sonuçlar vermekte ve Denklem 1’de yapılan varsayımlar ve elde edilen sonuçlarla örtüşmemektedir. Bu sebeple küçük n sayıları için Denklem 1’den elde edilen sonuçların daha doğru olduğu düşünülmektedir.

Sonuçlar simetrik kablolar için karşılaştırıldığında, 3 ve 4’üncü kablolarında 11,8 ve 9,1 ton olmak üzere %30’a varan farklar, 5 ve 6 arasında %40’a varan farklar olduğu görülmektedir. Hesaplamaların detayları Tablo 2’de, kullanılan frekanslara örnek bir kayıt ise Şekil 5’de verilemektedir.

Tablo 2. Ölçülen kablo titreşim frekansları ve hesaplanan eksenel yükler.
(1 ton = 9.81 kN)

	Kablo #1		Kablo #2		Kablo #3		Kablo #4		Kablo #5		Kablo #6		Kablo #7		Kablo #8		Kablo #9		Kablo #10	
	L=62.22m		L=62.22m		L=54.75m		L=54.75m		L=47.48m		L=47.48m		L=39.22m		L=39.22m		L=32.63m		L=32.63m	
n	f (Hz)	T (ton)	f (Hz)	T (ton)	f (Hz)	T (ton)	f (Hz)	T (ton)	f (Hz)	T (ton)	f (Hz)	T (ton)	f (Hz)	T (ton)	f (Hz)	T (ton)	f (Hz)	T (ton)	f (Hz)	T (ton)
1	0.60	8.6	0.60	8.6	0.80	11.8	0.0	0.0	0.70	6.8	0.80	6.1	0.85	6.9	0.70	3.2	0.60	2.4		
2	1.20	8.6	1.20	8.6	1.60	11.8	1.40	9.1	0.0	1.40	6.8	1.60	6.1	1.80	7.7	1.20	2.4	1.40	3.2	
3	1.80	8.6	1.80	8.6	2.40	11.8	2.10	9.1	2.40	8.9	2.10	6.8	2.40	6.1	2.70	7.7	1.80	2.4	1.80	2.4
4	2.35	8.2	2.40	8.6	3.20	11.8	2.80	9.1	3.30	9.5	2.80	6.8	3.20	6.1	4.00	9.5	2.70	3.0	3.00	3.7
5	3.00	8.6	3.10	9.2	4.00	11.8	3.50	9.1	4.10	9.3	3.90	8.5	4.00	6.1	4.90	9.1	3.80	3.8	3.90	4.0
6	3.55	8.4	3.70	9.1	4.85	12.1	4.30	9.5	5.00	9.7	4.80	8.9	4.80	6.1	6.10	9.8	5.00	4.6	4.70	4.0
7	4.20	8.6	4.30	9.0	5.70	12.3	5.00	9.4	5.85	9.7	5.80	9.5	6.10	7.2	7.30	10.3	6.20	5.1	6.30	5.3
8	4.80	8.6	5.00	9.3	6.50	12.2	5.80	9.7	7.00	10.6	6.80	10.0	7.30	7.9	8.00	9.5	7.60	5.9	7.80	6.2
9	5.45	8.8	5.60	9.2	7.35	12.3	6.80	10.6	7.40	9.4	8.10	11.3	8.70	8.9	9.60	10.8	9.40	7.2	8.80	6.3
10	6.20	9.2	6.10	8.9	8.20	12.4	7.55	10.5	8.00	8.9	9.10	11.5	10.10	9.7	11.10	11.7	11.10	8.1	9.80	6.3
11	6.90	9.4	7.10	9.9	9.10	12.6	8.45	10.9	9.10	9.5	10.30	12.2	11.50	10.4	12.20	11.7	12.30	8.2	11.00	6.6
12	7.70	9.8	7.90	10.3	9.90	12.6	9.40	11.3	10.10	9.8	11.40	12.5	12.20	9.8	13.30	11.6	13.90	8.8	12.30	6.9
13	8.50	10.2	8.70	10.7	10.50	12.1	10.30	11.6	11.60	11.1	12.35	12.5	13.40	10.1	15.30	13.1	15.20	9.0	13.60	7.2
14	9.30	10.5	9.40	10.8	11.60	12.7	11.50	12.5	12.90	11.8	13.30	12.5	14.90	10.7	17.20	14.3	16.20	8.8	15.50	8.0
15	10.10	10.8	10.10	10.8	12.70	13.2	12.60	13.0	14.30	12.6	14.30	12.6	16.60	11.6	18.90	15.1	17.50	8.9	17.10	8.5

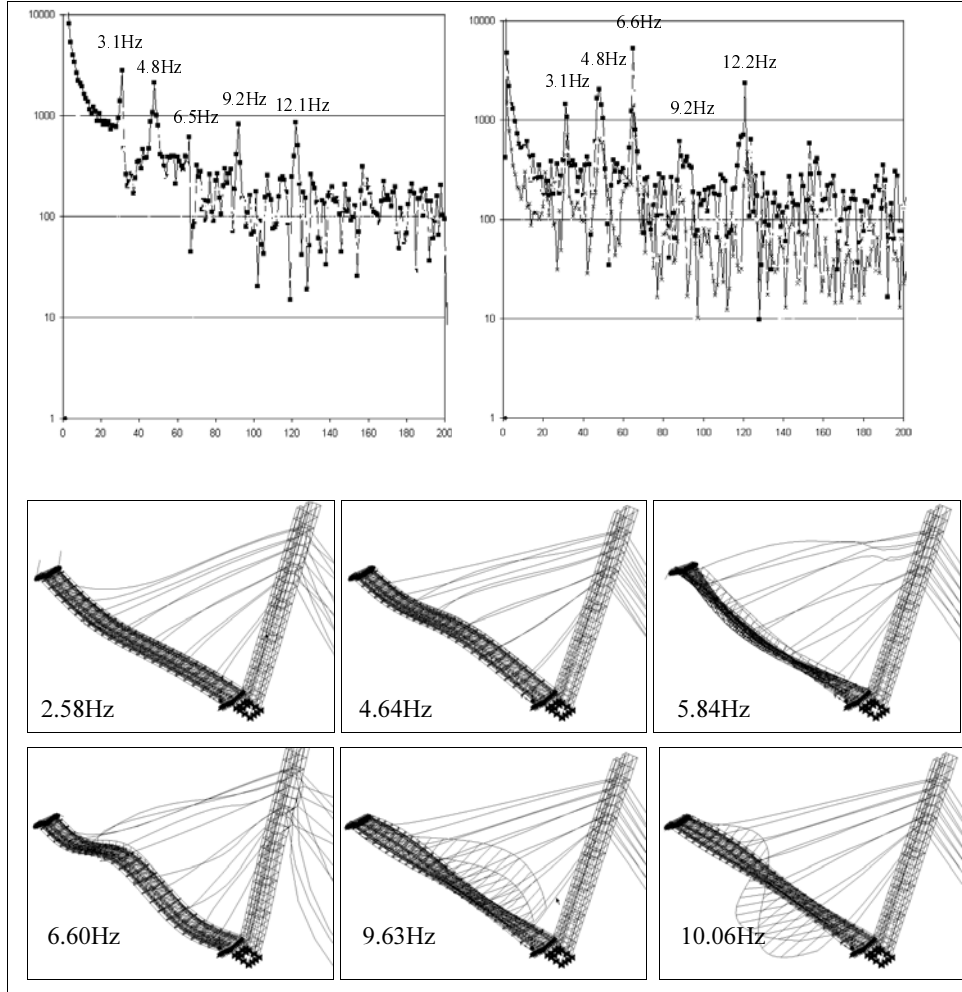
Cable weight (per unit length) w(kg/m) = 15.413 kg/m $T=4*m*(f_n*L)^2/(n^2*g)$ $m=w/g$ g: Gravity acceleration (m/sec²) =9.81m/sec² L : Cable length



Şekil 5. Ölçülen kablo titreşim frekansları (örnek: kablo #1).

Modelleme ile karşılaştırmalar

Köprünün üç boyutlu analitik modelinin oluşturulmasında toplam 1034 giriş elemanı, 3706 kabuk elemanı kullanılmıştır ve toplam 21 bin serbestlik seviyesi içeren bir model elde edilmiştir. Analitik model üzerinde yapılan dinamik analizler ve deneysel olarak elde edilen veriler karşılaştırıldığında (Şekil 6) frekansların benzerlik gösterdiği ve modelin deneysel ölçümlerle genel olarak bir uyum içinde olduğu söylenebilir. Analitik modelin parameterleri değiştirilerek deneysel sonuçlara daha yaklaşılmaları ve analitik modelde elde edilen sonuçlara göre köprünün yapısal tanımlamasının yapılması da mümkündür.



Şekil 6. Analitik ve deneysel olarak elde edilen frekansların karşılaştırılması.

SONUÇLAR

Amaçlar doğrultusunda ODTÜ köprüsü üzerinde yapılan deneysel ve analitik çalışmalar sonucunda yapısal bazı parametrelerin elde edilebildiği ve kurulum aşamasında köprünün yaşadığı yüklemeler ölçülebildiği görülmüştür.

Kurulma aşamasında 585 $\mu\epsilon$ 'e varan toplam etkiler ölçülmüş olup yaklaşık 3 ay kadar izlenmiş olan köprü verileri, sıcaklık değişimleri ile köprüde oluşan birim şekil değiştirmeler hakkında fikir vermiştir. İzleme süresince, köprü üzerinde -12 ile 49 C° arasında değişik sıcaklıklar oluşmuştur. Günlük sıcaklık değişimlerinden 100 $\mu\epsilon$ 'e varan birim şekil değiştirmeler ölçülmüştür. Özellikle kablo kuvvetlerinde, analitik olarak modellenen ile ölçümler arasında ve hatta simetrik kablolar arasında büyük farklar olduğu görülmüştür. Model kullanılarak köprünün doğal salınım frekansları yaklaşık olarak tahmin edilebilmiştir. Köprünün ilk üç düşey doğal salınım frekansları 3,1 Hz., 4,8 Hz. ve 6,6 Hz. olarak ölçülmüş, yaya yürüyüş frekansı olan yaklaşık 2 Hz ile çakışmadığı görülmüştür. Boyut ve malzeme özellikleri oldukça iyi bilinen çelik köprülerde dahi analitik model sonuçları ile ölçümler arasında fark olması ve köprünün kurulma aşamasında ölçülen yüksek birim şekil değiştirme verileri, dizayn aşamasında kullanacağımız emniyet katsayıları konusunda soru işaretleri oluşturmaktadır. Çelik köprüde dahi oluşan bu farklılıklar, betonarme köprülerimizin dizayn ve halihazırda bulunan gerçek köprünün durum değerlendirmesi konusunda büyük farklılıklar olabileceğinin sinyallerini vermektedir.

Yapısal olarak yüklerin yeniden dağıtılmasına olanak sağlayacak serbestliğe sahip, sünek, malzeme özellikleri doğrusal olan, betonarmeye oranla özellikleri ve davranışı daha iyi bilinen, daha yüksek dayanımlı, homojen ve hafif olan, çabuk inşa edilen çelik köprülerin, betonarme köprülere oranla tercih edileceği düşünülmektedir. Ülkemiz köprü stoğunun %1'inden daha azını çelik köprülerin oluşturmasının ana sebepleri arasında yüksek ön maliyet, bakım masrafları (boyama gibi), betonarme köprüler için oluşan dizayn ve inşaat alışkanlıkları sayılabilir. Ülkemizin gerçekleri ile karayolu ağının şartları, iklim kuşakları, taşıt-yük trafiği, malzeme-işçilik maliyetleri,

inşaat süresi beklentileri, bakım-onarım için ekip ve ekipman imkanları, ihale yasası, vb. parametreler göz önünde bulundurularak çelik köprü kullanımının betonarmeye oranla hangi şartlar altında daha üstün olduğu belirlenmeli ve bu şartlar oluştuğu takdirde köprülerde çelik kullanımı özendirilmelidir.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Araştırma Fonu Projesi (AFP-2001-03-03-08) kapsamında yapılmıştır.

KAYNAKLAR

Podolny,W.&Scalzi,J.B. 1986. *Construction and Design of Cable-Stayed Bridges*. Newyork (USA). Wiley, J. & Sons

Zui,H.& Shinke, T.&Namita,Y. Practical Formula for Estimation of Cable Tension by Vibration Method. *Journal of Structural Engineering*: 651-656.

Genişletilmiş zet:

2000 yılı KGM verilerine göre, ülkemizde bulunan toplam 4821 adet köprüden (186 km) sadece 37 tanesi (1.6 km) elik tip köprüdür. Çoğunlukla elik kiriş ve elik kafes olarak bulunan elik köprülerimizin davranış ve özellikleri betonarme kprlerimize oranla daha az bilinmektedir. 2004 senesi içinde inşaatı tamamlanan Eskişehir yolu üzerinde ve ODTÜ kampüsü önünde bulunan, halatlı 48,5 metre uzunluğundaki elik yaya köprüsü, sıra dışı yapısal sistemi ve ülkemizde sıkça kullanılmayan elik malzemesi ile ilgi uyandıran bir yapıdır. ODTÜ elik yaya köprüsünden, üzerine takılan 5 adet birim şekil değiştirme ölçüm cihazı ile ulaşım ve montaj aşamalarında okuma alınmıştır. İki parçadan oluşan köprünün, geçici ayaklar üzerine yerleştirildikten sonra bağlanan 5 adet ek ölçüm cihazı ile kablo çekme, geçici ayakların kaldırılması, kaplama yapılması gibi aşamalarda okumaları alınmıştır. Kurulma aşamasında 585 µε'e varan toplam etkiler ölçülmüş olup yaklaşık 3 ay kadar izlenmiş olan köprü verileri, sıcaklık değişimleri ile köprüde oluşan birim şekil değiştirmeler hakkında fikir vermiştir. İzleme süresince, köprü üzerinde -12 ile 49 C° arasında değişik sıcaklıklar oluşmuştur. Günlük sıcaklık değişimlerinden 100 µε'e varan birim şekil değiştirmeler llmştir. Kablolar zerindeki eksenel yükler titreşim frekansları ölçülerek dolaylı olarak elde edilmiş, elik köprü üzerinde yapılan dinamik testler ise analitik model analizlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Özellikle kablo kuvvetlerinde, analitik olarak modellenen ile ölçümler arasında ve simetrik kablolar arasında önemli farklar olduğu grlmştir. Model kullanılarak köprünün doğal salınım frekansları yaklaşık olarak tahmin edilebilmiştir. Köprünün ilk üç düşey doğal salınım frekansları 3,1 Hz., 4,8 Hz. ve 6,6 Hz. olarak ölçülmüş, yaya yürüyüş frekansı olan yaklaşık 2 Hz ile çakışmadığı grlmştir. Boyut ve malzeme özellikleri oldukça iyi bilinen elik köprülerde dahi analitik model sonuçları ile ölçümler arasında fark olması ve köprünün kurulma aşamasında ölçülen yüksek birim şekil değiştirme verileri, dizayn aşamasında kullanacağımız emniyet katsayıları konusunda soru işaretleri oluşurmaktadır. Yapısal olarak yüklerin yeniden dağıtılmasına olanak sağlayacak serbestliğe sahip, sünek, malzeme özellikleri doğrusal olan, betonarmeye oranla özellikleri ve davranışı daha

iyi bilinen, daha yüksek dayanımlı, homojen ve hafif olan, çabuk inşa edilen elik krlerin, betonarme krlere oranla tercih edileceği düşünülmektedir. Ülkemiz kr stoğunun %1'inden daha azını elik krlerin oluşturmasının ana sebepleri arasında yüksek n maliyet, bakım masrafları (boyama gibi), betonarme krler için oluşan dizayn ve inşaat alışkanlıkları sayılabilir. Ülkemizin gerçekleri ile karayolu ağının şartları, iklim kuşakları, taşıt-yk trafiği, malzeme-işçilik maliyetleri, inşaat süresi beklentileri, bakım-onarım için ekip ve ekipman imkanları, ihale yasası, vb. parametreler göz önünde bulundurularak elik kr kullanımının betonarmeye oranla hangi şartlar altında daha üstün olduğu belirlenmeli ve bu şartlar oluştuğu takdirde krlerde elik kullanımı özendirilmelidir. (398)

ABSTRACT

According to KGM year 2000 data, out of 4821 (186 km total length) bridges in Turkey only 37 are (1.6 km total length) steel type bridges. The behavior of steel bridges, which are dominantly steel girder or steel truss type, are not well known. The steel bridge located in front of METU campus over Eskischir highway is 48.5 meters long and was completed in 2004. The pedestrian bridge being made of steel and due to its extra ordinary shape attracts attention.

Strain measurements are recorded during transportation and lifting, using 5 strain gages located on half of the bridge. The bridge is formed by two pieces which are assembled over temporary supports at the construction site. After the two pieces are connected together, the remaining 5 strain gages on the other half are cabled to the data acquisition system and all 10 gages are recorded for the remaining phases such as temporary support removal and surface tiling. During construction stage, strains up to $585 \mu\epsilon$ are measured. Over the course of next three months, temperature variations between -12 and $49\text{ }^{\circ}\text{C}$ are recorded. Daily temperature changes caused around $100 \mu\epsilon$ strains.

Cable tensile forces are indirectly measured by obtaining natural vibration frequencies of the cables. Dynamic tests on the bridge are compared against analytical model results. Especially the cable forces are found to be considerably different when analytical is compared against experimentally obtained cable forces and when symmetric cable forces are compared against each other. The natural vibration frequencies of the bridge are guessed successfully using the nominal analytical model. The first three vertical frequencies of the bridge are measured to be 3.1 Hz., 4.8 Hz., and 6.6 Hz which are not matching with the walking excitation frequency of 2 Hz. The differences between the analytical nominal models and measurements for even steel bridges that the material properties and geometric dimensions are well know, raises question marks about the safety coefficients that are used for design. Steel bridges that permit redistribution of forces, ductile, linear material properties, and better know behavior as

compared to concrete, have higher strength, homogenous, light weight, faster construction, are expected to be preferred compared to concrete bridges. The major reasons behind our steel bridges forming only less than 1% of our bridge stock are thought to be high initial cost, maintenance costs such as painting, and habit of design and construction using concrete. The facts of our country and the conditions of highways, climatic properties, vehicle load traffic, material and workmanship costs, construction duration expectations, maintenance and repair personnel and tools availability, adjudication law, and similar parameters should be evaluated and preference of steel bridge usage against concrete bridges under what circumstances should defined. The usage of steel for bridges should also be encouraged as those circumstances are met. (464)

ÇOK KATLI BİR YAPININ ÇELİK VE KOMPOZİT ÇÖZÜMÜNÜN KARŞILAŞTIRILMASI

Çiğdem AVCI

Araştırma Görevlisi

Trakya Üniv.Çorlu Müh.Fakültesi

İstanbul, TÜRKİYE

ÖZET

Bu çalışmada, çok katlı bir yapının çelik ve kompozit olarak tasarlanan taşıyıcı sistemlerinin analizi, metrajları, maliyet analizleri ve maliyet karşılaştırmaları yapılmıştır. Sunulan bu çalışmada amaç, taşıyıcı sistem elemanlarının kompozit olarak düzenlenmesinin, sadece çelik olarak düzenlemeye göre getireceği ekonomiyi göstermektir. Belirlenen 9 katlı binanın tasarımı 1998 yılı deprem yönetmeliğindeki kurallara uygun olarak statik ve dinamik analiz yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Çelik ve kompozit sistem çözümlerinde plastik hesap yöntemleri kullanılırken, çelik çözüm hesapları EC3, kompozit çözüm hesapları EC4'e göre kontrol edilmiştir. Karşılaştırmalar sonucunda kompozit taşıyıcı sistemli çözümün, çelik taşıyıcı sistemli çözüme nazaran kullanılan çelik malzeme, taşıyıcı sistemde kullanılan diğer tüm malzemeler ve işçilik dikkate alındığında, kompozit olarak tasarlanmasının daha ekonomik olduğu görülmüştür.

1.GİRİŞ

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI

İnşaat sektörü, bir ülkenin üretim kapasitesi ve gerçek büyüme hızı açısından, ekonomide çok etkin bir yer tutar. İnşaatın ilk adımı olan proje hazırlama aşamasında, sistem, malzeme ve yapım tekniği çok iyi incelenmeli, ülke gerek ve gerçekleriyle uyumlu çözümler amaçlanmalı ve araştırılmalıdır. Ülkemizde kullanılan taşıyıcı sistem malzemeleri kâgir, betonarme, ahşap ve çeliktir.

Yüksek yapılarda ekonomik çözüme yönelik yapı malzemesi olarak bazı hallerde çeliğin, bazı hallerde ise betonarmenin seçilmesiyle mümkün olabilir.

Çelik, karakteri gereği büyük açıklıkların aşılmasında, çürük zeminli yapılarda, hız isteyen işlerde, deprem ve benzeri dinamik etkileri karşılamada betonarmeye nazaran çok iyi sonuçlar verir. Ayrıca çeliğin büyük şekil değiştirme sığasına sahip olması plastik hesap yapabilme olanağını sağlamaktadır. Ancak yüksek sıcaklıklarda mukavemet düşüklüğü, paslanmaya dayanıksız olması, ses ve ısıyı iyi iletmesi çeliğin sakıncalı yanlarını oluşturmaktadır. Çeliğin ve betonun birlikte kullanılması ile elde edilen kompozit elemanlarda ise her iki malzemenin üstünlüklerinden yararlanma amacı vardır. Betonarme döşeme plaklarıyla çelik kirişlerin, yine betonarme döşeme plaklarıyla kalıcı kalıp olarak kullanılan çelik sacların ve örtü ya da iç dolgu niteliğindeki betonla da, çelik kolonların ortaklaşa çalıştırılması mümkündür. Böylece, betonun basıncı daha iyi karşılaması, çeliğin ise çekmeye olan dayanıklılığı sayesinde, kompozit kesitler yalın çelik kesitlere göre daha ekonomik değerler vermektedir. Ayrıca kompozit kesitlerin çelik kesitlere göre bir üstünlüğü de rijitlik artışından dolayı sehim değerlerinin daha küçük çıkmasıdır[16].

Çelik ve kompozit elemanlar, yeterli düktiliteye sahip oldukları için, yani elastik sınır gerilmelerine eşit sabit gerilmeler altında büyük şekil değiştirmeler yapabildikleri için, plastik davranışa dayanan taşıma gücü hesap ilkeleri kullanılabilir. Malzemenin düktil olması elastik bölge aşıldığında, sistemdeki iç kuvvetlerin yeniden dağıtımına izin vermektedir. Yükler arttığında, sistemin plastikleşmiş elemanları, sabit kesit zorları altında şekil değiştirmekte, ancak bu plastik şekil değiştirmeler sistemin henüz elastik kalan kısımları içinde bulunduklarından sınırlı kalmakta ve ek

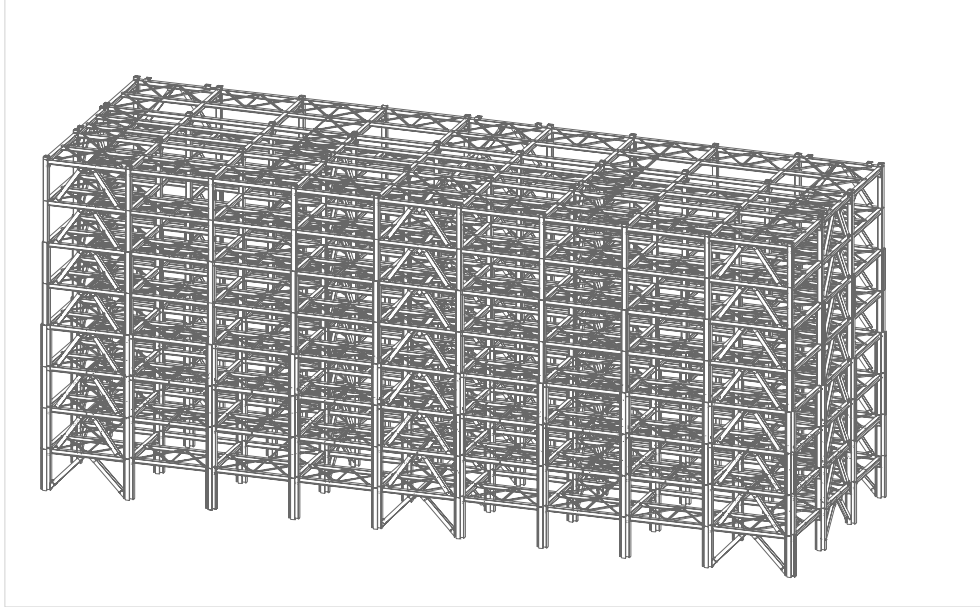
yükler bu elastik kısımlarca alınmaktadır. Yani plastikleşmiş kesit, üzerinde $M_{pl,Rd}$ plastikleşme momentinin değerine eşit sabit bir momentin etkili olduğu bir mafsal gibi hareket etmektedir. Yüklerdeki artma bir mekanizma oluşturmaya yeterli sayıda plastik mafsal oluşmasına kadar sürmekte ve böylece sistem taşıma gücüne, artık hiçbir ek yük taşımadığı duruma ulaşmaktadır.

Yapı yüksekliği arttıkça yüksekliğe uygun, deprem bölgelerinde gereken sünek davranışı gösterebilen, yapının mimari fonksiyonlarını aksatmayan hatta bu alanda geniş imkanlar sunan, imalatı kolay, ekonomik, uzun ömürlü, fazla özel ekipman gerektirmeyen, çevreye inşaat sırasında en az zarar veren, kontrol edilmesi zor olmayan, kısa sürede gelir getirmeye başlayan ve kendi maliyetini amorti eden en uygun malzemeyi belirlemek, yapım şeklini seçmek ve tasarımı yapmak gerekmektedir.

1.2. ÇALIŞMANIN KAPSAMI

Yukarıda açıklanan amaca uygun Çok katlı bir yapının çelik ve kompozit olarak tasarlanacak sistemlerinin metrajları, maliyet analizleri ve ekonomik karşılaştırmaları yapılmıştır.

Yapı, planda 54×18m boyutlarında olup 3,2m yüksekliğinde 9 kattan oluşmaktadır. Bina iş merkezi olarak tasarlanmıştır (bkz. Şekil 1.1).



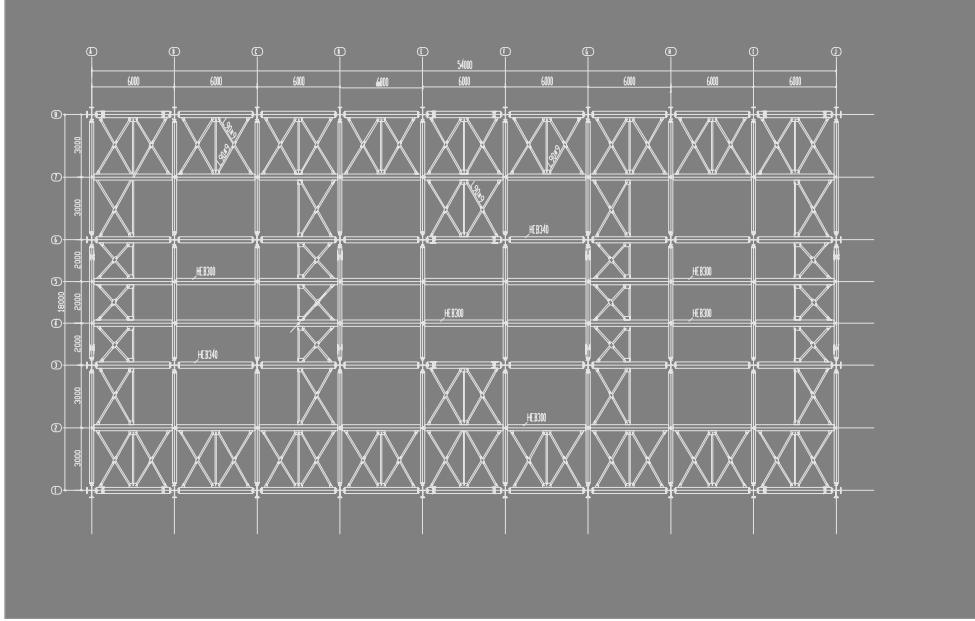
Şekil 1.1 Binanın 3 boyutlu görünüşü

2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ ve KULLANILAN BİLGİLER

Kıyaslamaya esas teşkil edecek bina önce geometrisiyle tanımlanmış, ardından çok katlı binaların stabilitesi göz önünde bulundurularak taşıyıcı sistemin nasıl belirlendiği açıklanmıştır. Yapı, planda 54×18m boyutlarında olup 3,2m yüksekliğinde 9 kattan oluşmaktadır. Bina iş merkezi olarak tasarlanmıştır. İncelenen sistem uzun doğrultu boyunca 9 açıklıklı olup toplam 54 m uzunluğunda, kısa doğrultu boyunca 3 açıklıklı olup toplam 18 m uzunluğundadır (bkz. Şekil 2.1). Her katın yüksekliği 3,2 m'dir. Yatay yükler altındaki dayanım düşey stabilite bağlantılarıyla sağlanmıştır. Çelik kalitesi Fe 360'dır.

Zemin sert kum ve çakıl olup yapı birinci derecede deprem bölgesindedir. Çözümünden elde edilen sonuçların nasıl elde edildiğine fikir olması açısından, bu bölümde bina analizinde kullanılan SAP2000 programı esaslarına da değinilmiştir.

Çelik ve kompozit sistem çözümlerinde plastik hesap yöntemleri kullanıldığı için, düşey yükler TS 4561 'de verilen 1,7 değerinde yük güvenlik katsayısı ile çarpılarak artırılmıştır[14]. Yapıda yatay yüklere karşı süneklilik düzeyi yüksek dışmerkez güçlendirilmiş çaprazlı çerçeveler kullanılmıştır[1,3,7]. Kesit Hesaplar EC3 ve EC4' göre kontrol edilmiştir[7,8,9,10,11].



Şekil 2.1 Çözümü Yapılan Binanın Plandaki Durumu

2.1. ÇELİK YAPI

2.1.1. MALZEME

Çelik yapıda malzeme olarak C25-30 beton ve S420 donatı kullanılmıştır. Yapısal çelik elemanlarda Fe360 malzeme kalitesinde profiller kullanılmıştır.

2.1.2. DÜŞEY TAŞIYICILAR

Kolonlar ve kirişler çelik, döşeme kompozit olarak modellenmiştir. Ana kirişler HEB 340'lık, tali kirişler HEB 300'lük çelik profillerinden seçilmiştir[15]. Döşeme için iki tip öneri verilecek, bunlardan zaman planlaması açısından en uygun olanı seçilmiştir.

Döşemeler : 1 mm kalınlıklı 5cm'lik trapez bükülmüş sac
: 1 mm kalınlıklı TRP200 çelik profil

Kolon kesitleri yükseklik boyunca değişken olup, 1., 2., 3. ve 4. Katlarda HAÇHEB 700'lük, 5. ve 6. katlarda HAÇHEB 500'lük, 7., 8. ve 9. Katlarda HAÇHEB 360'lık çelik kolon kesitleri kullanılmıştır. Kat kirişleri, uzun

doğrultu boyunca mafsallı, kısa doğrultu boyunca çerçeveye moment aktaracak biçimde ankastre bağlanmışlardır. Ara kirişler moment aktarmaz biçimde mafsallı bağlanmıştır. Döşeme hizasının hemen altında yatay çaprazlarla oluşturulan stabilite bağları ile kat hareketi sağlanmıştır.

2.1.3. YATAY TAŞIYICILAR

Yatay yüklerin taşınması amacıyla yapı yüksekliğince düşey çaprazlar tertip edilmiştir. Çaprazlar dışmerkez olup, uzun doğrultu boyunca deprem yüklerinin tamamının bu çaprazlı perdeler, kısa doğrultu boyunca perdelerle birlikte çerçeveler tarafından taşındığı kabul edilmiştir. Böylece yapı davranış katsayısı (R) değeri yüksek tutulmuştur. Yapının yatay yüklere göre analizinde, düşey çaprazlar hem basınç hem de çekme kuvvetine göre kesit kontrolü yapılmıştır. $\lambda \leq 100$ koşulu sağlanmıştır[6].

2.2. KOMPOZİT YAPI

Öncelikle yapı elemanı olarak kompozit döşeme, kiriş ve kolon kullanılmasının avantajları üzerinde durulacaktır:

Çelik iskeletli bir yapının yerinde dökülen betonarme bir döşeme plağında, kalıp önemli bir sorundur. Bu nedenle özellikle son yıllarda kendini taşıyabilen katlanmış çelik sacların kalıcı kalıp olarak kullanılması zorunludur. Kalıcı çelik kalıp, ancak aynı zamanda donatı görevini üstlenmesi durumunda, yani plak karma çalışırsa, ekonomik bir anlam kazanır.

Betonarme döşeme plaklarıyla çelik döşeme kirişlerinin ya da köprü tabliyesiyle kirişlerinin ortak çalıştırılmasıyla ortaya çıkan karma (kompozit) kirişler, üzerlerine serbestçe oturan bir betonarme plağı yalnız başlarına taşımaya çalışan çelik kirişlere göre çok ekonomiktirler. Çünkü karma kirişte, eğilmeden ileri gelen kuvvet çiftinin çekme bileşeni çelik profil, basınç bileşeni ise ya yalnız betonarme plakça, ya da betonarme plak ve çelik profilin bir bölümünce ortak olarak taşınmaktadır. Dolayısıyla çelik profil, eğilmenin basınç bileşenini taşımaktan ya bütünüyle ya da büyük ölçüde kurtulmaktadır. Karma kirişlerin çelik kirişlere karşı gösterdikleri bu üstünlük, betonarme kirişlerle kıyaslanmalarında da ortaya çıkar. Bir betonarme kirişe göre her zaman daha hafif olan karma kiriş, konstrüksiyon yüksekliği açısından bir sınırlama mevcutsa, aynı yükseklikteki betonarme kirişten daha az çelik harcayabilir.

Kompozit kolonlar inşaat endüstrisindeki çeşitli uygulamalar için önemli yapısal ve ekonomik faydalar sağlarlar. Büyük düktiliteleri ve enerji yutma sığaları özellikle deprem bölgelerinde çekici kılmaktadır. Ayrıca büyük eğilme rijitlikleri kullanılmalarının bir diğer nedenidir[16].

Sunulan bu çalışmada; Kompozit yapı malzeme, döşeme ve yatay taşıyıcılar yönünden aynı olmakla birlikte düşey taşıyıcılar bakımından farklılık göstermektedir.

Kolonlar ve kirişler kompozit olarak modellenmiştir. Ana kirişler uzun doğrultu boyunca HEB 220'lik, kısa doğrultu boyunca HEB 240'lik, tali kirişler ise HEB 200'lük kompozit kirişlerdir. Kolon kesitleri yükseklik boyunca değişken olup, 1., 2., 3. ve 4. katlarda tam gömme HEB 600'lük, 5. ve 6. katlarda tam gömme HEB 400'lük, 7., 8. ve 9. katlarda tam gömme HEB 280'lik kompozit kolonlardır.

2.3. ANALİZ PROGRAMININ TANIMI

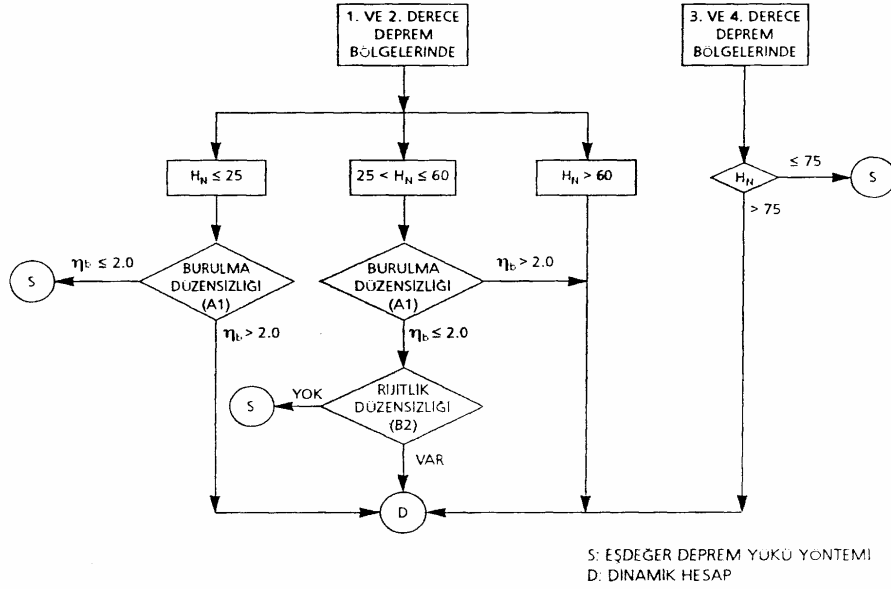
Yapı SAP2000 (STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAM) ile sonlu çubuk elemanlardan oluşan bir model olarak tasarlanıp çözülerek gerekli kesit tesirleri bulunduğundan sonra boyutlandırma yapılmıştır.

2.4. HESAP YÖNTEMİNİN SEÇİLMESİ

Yapıların taşıyıcı sisteminin, düşey yükler yanında, deprem etkisini de güvenle karşılaması beklenir. Bu etki genel olarak dinamik karakterde ve değişik yönlerde etkili olmasına rağmen, pek çok durumda eşdeğer statik yüklere indirgenerek göz önüne alınır.

1998 yılı yönetmeliğinde de, uygulamada karşılaşılan yapıların büyük çoğunluğu için Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılmasına izin verilmektedir. Deprem etkisinin önemli olduğu yüksek yapılarda ise, davranış Yapı Dinamiği'nin ilkelerini kullanarak daha ayrıntılı belirlenmelidir. Hesap yönteminin seçilmesi ile ilgili koşullar Şekil 2.2 'teki akış diyagramı üzerinde gösterilmiştir[2].

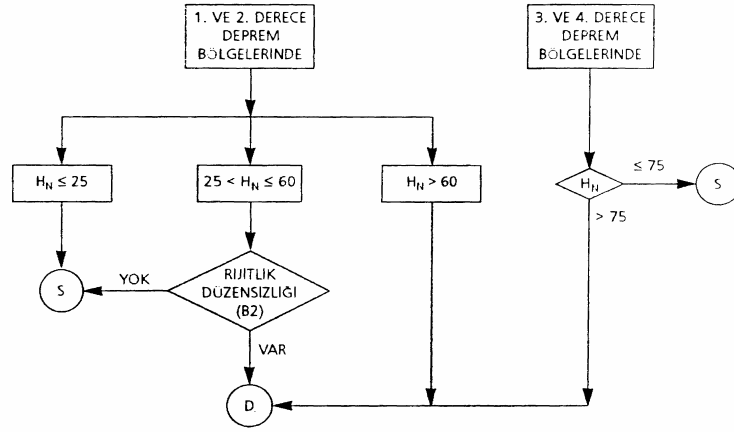
Şekil 2.2’te görüldüğü gibi, 1. ve 2. Derece deprem bölgeleri için hesap yönteminin seçilmesinde, toplam yapı yüksekliği (H_N) ile birlikte bazı



Şekil 2.2 Hesap yönteminin seçilmesi

düzensizlik durumları da belirleyici etken olmaktadır. Yeni deprem yönetmeliğinde depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken düzensizlikler içeren binaların tanımlanması ile ilgili olarak, planda ve düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren durumlar ayrıntılı bir biçimde yer almaktadır.

Çeşitli örnekler üzerinde yapılan incelemeler, η_b ile gösterilen burulma düzensizliği değerinin 2.00’den daha büyük olma olasılığının pek zayıf bir olasılık olduğunu göstermiştir. Bu durumda, uygulama açısından geçerli olan, yöntem seçimi akış diyagramı basitleşir ve Şekil 2.3’te gösterilen biçimi alır[2]. 1998 deprem yönetmeliği, deprem etkisinin daha rahat karşılanması bakımından, yapıda düzgün taşıyıcı sistem seçimini özendirici ve tersini caydırıcı hükümlere sahiptir. Belirtilen düzensizliklerden en az birinin bulunduğu binalar düzensiz olarak sınıflandırılır [5].



Şekil 2.3 Uygulamada hesap yönteminin seçilmesi

3. ÇELİK VE KOMPOZİT SİSTEMLERİN MALİYET ANALİZİ

3.1. MALİYETE ETKİ EDEN UNSURLAR

Yapı maliyetinin iyi şekilde belirlenebilmesi için öncelikle maliyete etkiyen unsurları maddeler halinde şu şekilde sıralanabilir;

- ✓ Betonarme betonu (B25) ✓ İnşaat demiri (BÇIII) ✓ Kalıp yapım ve sökümü (İskele dahil) ✓ Çelik profiller ✓ Kalıcı çelik trapez sac (Kalıp olarak) ✓ Çelik yapı elemanları (Levhalar ve bulonlar) ✓ Yangına karşı koruma malzemesi ve işçiliği ✓ Çelik montajı ✓ Zemin iyileştirilmesi ✓ Beton dökme ve demir işleme makineleri ✓ Vinçler ✓ Kompresörler

Bu unsurların maliyete etkileri ayrıca metraj sonuçları incelendikten sonra belirlenecektir. Her yapı türü için metrajlar ilgili bölümde verilmiştir. Burada sadece genel malzeme miktarları verilecektir.

Çelik Yapı

Toplam beton metrajı : 1093,5 m³

Toplam yapısal çelik metrajı :14220,2 kN

Toplam donatı metrajı : 656,1 kN

Kompozit Yapı

Toplam beton metraжі	: 1319.5m ³
Toplam yapısal çelik metraжі	: 8461.4 kN
Toplam donatı metraжі	: 743.1 kN
Toplam kalıp metraжі	: 73.6 m ²

Yukarıdaki metraj sonuçları yapının çıplak malzeme miktarlarıdır. Gerçeğe yakın bir maliyet analizi için kayıplar ve metraj safhasında dikkat çekmeyen fakat toplanınca yapı maliyetine ciddi etkileri olan kalemlerin ilavesi gerekir.

Beton hazır beton olduğundan ve kalıp sistemi de baştan mimari projeye göre seçildiğinden kayıp olmayacağı düşünülmüştür. Demir miktarında kesmeden ve projeden dolayı %10 kayıp olacağı, çelik miktarı da; katlardaki yatay stabilite bağlantıları, bağ levhaları, bayrak levhaları, kayma kamaları, kompozit döşeme levhası, berkitmeler, kesim ve imalat kayıpları düşünülerek %15 artırılarak hesaplanmıştır. Tüm bunlar eklenerek düzeltilmiş metrajlar için Tablo 3.1 oluşturulmuştur ve bu tablodaki birim fiyatlar için yapı maliyetleri çıkarılmıştır[18].

Fiyatlar güncel olan piyasa fiyatları ile kıyaslanabilmek amacı ile dolara endekslenmiştir.

3.2. BİRİM FİYAT TARİFELERİ VE MALİYETİN OLUŞUMU

<u>1 m³ beton</u>	Satın alınan ve pompasıyla basılan fabrikasyon (hazır beton).	
B25 (poz no: 16.059)		: \$75.00
<u>1 kN demir</u>	0-28 mm nervürlü beton çelik çubukların kesilmesi, bükülmesi ve terine konması (nervürlü).	
St III (poz no: 23.014)		: \$50.00
<u>1 m² kalıp</u>	Rendeli ve lamba zivanalı düz yüzeyli çıplak beton ve betonarme kalıbının alınması ve yerine yerleştirilmesi, yerleştirilirken gerekli düşey ve yatay elemanların, desteklerin, kilitlerin kullanılması.	
(poz no: 21.015)		: \$25.00

1 kN yapısal çelik konstrüksiyon

Her çeşit profil çubuk ve çelik

saclarla karkas inşaat yapılması, yerine tespiti

: \$106.327

Tablo 3.1 oluşturulurken Yapı işleri Birim Fiyat Tarifeleri dikkate alınmıştır. Tablo da görüldüğü üzere kompozit sistem, çelik sisteme göre % 37 daha ucuz olduğu görülmüştür.

Tablo 3.1 Çelik ve Kompozit Çözümlerin Karşılaştırılması

		ÇELİK SİSTEM			KOMPOZİT SİSTEM			ORAN
		BİRİM	\$ / BİRİM	\$	BİRİM	\$ / BİRİM	\$	
BETON (m ³)		1093,50	75,00	82012,50	1319,50	75,00	98962,50	1,21
	DÖŞEME	1093,50	75,00	82012,50	1093,50	75,00	82012,50	1,00
	KOLON	2	2	2	226,00	75,00	16950,00	2
PROFİL (kN)		14220,18	106,33	1511989,08	8461,40	106,33	899675,28	0,60
	DÖŞEME	686,00	106,33	72940,32	686,00	106,33	72940,32	1,00
	KİRİŞ	7050,24	106,33	749630,87	3929,50	106,33	417811,95	0,56
	KOLON	4515,84	106,33	480155,72	1877,80	106,33	199660,84	0,42
	ÇAPRAZ	1968,10	106,33	209262,17	1968,10	106,33	209262,17	1,00
DEMİR (kN)		656,10	50,00	32805,00	743,14	50,00	37157,00	1,13
	DÖŞEME	656,10	50,00	32805,00	656,10	50,00	32805,00	1,00
	KOLON	2	2	2	87,04	50,00	4352,00	2
KALIP + İSKELE (m ²)		2			73,60	25,00	1840,00	2
KAYIP		0,10		3280,50	0,10		3715,70	1,13
LEVHA		0,15		226798,36	0,15		134951,29	2
TOPLAM MALİYET		1850324,44			1168870,37			0,63

4. SONUÇLAR

Bir yapının taşıyıcı sistem malzemesinin belirlenmesindeki en büyük etkenlerden biri maliyettir. Ayrıca yapının mimarisi ve taşıyıcı sistemin biçimi de malzeme seçimindeki etkenlerdendir. Ülkemizde çok katlı yapılarda, çelik taşıyıcı sistem yok denilecek ölçüde az kullanılmaktadır. Oysa ülkemiz deprem kuşağında yer almaktadır ve çelik yapıların süneklikleri nedeniyle deprem yüklerinin karşılanmasında avantajları bilinmektedir. Ayrıca çeliğin yalnız başına taşıyıcı olarak kullanılmasının yanısıra, yapıda çeşitli sebeplerden dolayı zaten bulunması da mümkün olabilecek betonun, basınca olan dayanımından yararlanmak amacıyla, beton ve çeliğin karma taşıyıcı olarak birlikte ele alınması ve hesaplarda elastik hesap yöntemleri yerine, malzemenin gerçek taşıyıcı gücünü yansıtan plastik hesap yöntemlerinin kullanılması, yapının taşıyıcı sistem maliyetine önemli ölçüde azalma getirmektedir. Çok katlı bir yapının çelik ve kompozit taşıyıcı sistemli olarak seçilmesi arasındaki maliyet farkını belirlemek amacıyla, 9 katlı düzgün taşıyıcı sistemli bir yapı ele alınarak çelik ve kompozit taşıyıcı sistem olarak çözümleri plastik hesap esasları kullanılarak yapılmıştır.

Çalışma boyunca hesaplanan ve belirtilenlerden ortaya bu tür kıyaslamalarda bir ön hazırlık niteliği taşıyabilecek bazı sonuçlar çıkarılmış Tablo 3.1’de ayrıntıları olmak üzere, aşağıda temel karşılaştırmaları verilmiştir.

Her iki sistemin genel kıyaslaması yapılarak, çözüm sonucunda ortaya çıkan farklılıklar yorumlanmış, önerilerde bulunulmuştur.

- Yapının kirişler, kolonlar ve diyagonallerinden oluşan taşıyıcı sistemin bir bütün olarak ele alındığında, çelik çözümde 14220.18 kN, kompozit çözümde 8461.40 kN çelik profil kullanılmıştır. Kompozit yapı, çelik yapıya göre çelik malzeme yönünden daha hafiftir.
- Kompozit yapıda kesitler oldukça küçüldüğü için kullanılabilir alan artmıştır. Bu da yüksek yapının yapılış amacı olan alandan tasarruf prensibine daha uygundur.

- Çelik sistemde çelik profil maliyeti \$1.511.989,08, kompozit sistemde \$899.675,28'dır. Kompozit sistemin çelik sisteme göre, çelik malzeme açısından %40 daha ekonomik olduğu görülmüştür.
- Bu çalışmada elde edilen sonuçlarda, kompozit sistemin çelik sisteme nazaran maliyet açısından %37 daha ekonomik olduğu görülmüştür.

Karşılaştırmalar sonucunda kompozit taşıyıcı sistemli çözümün, çelik taşıyıcı sistemli çözüme nazaran kullanılan çelik malzeme, taşıyıcı sistemde kullanılan tüm malzemeler ve işçilik dikkate alındığında daha ekonomik olduğu görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- [1] **Deren, H., Uzgider, E., Piroğlu, F.,** Çelik Yapılar, Çağlayan Kitabevi, 2003, İstanbul
- [2] **Özmen, G.,** 1999, 1997 Türkiye Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarım Uygulamaları, Türkiye Deprem Vakfı Teknik Raporu, TDV / TR 018 – 32.
- [3] **Uluğ, T., N.,** Çelik Yapılar, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 1977, İstanbul.
- [4] **Arda, T. S.,** Yapıların Yangın Güvenliği Ve Buna İlişkin Yapısal Önlemler
- [5] **Celep, Z., Kumbasar, N.,** 1992, Deprem Mühendisliğine Giriş Ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [6] **İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Eğitim Merkezi,** 1998, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No:25.
- [7] **Eurocode 3 Part 1.1,** 1992, Desing of Steel Structures
- [8] **Eurocode 4 Part 1.1,** 1992, Desing of Composite Steel and Concrete Structures
- [9] **Eurocode 4 Part 1.2,** 1993, Desing of Composite Steel and Concrete Structures
- [10] **ECCS NO:87,** 1995, Desing Manual for Composite Slabs

- [11] **ECCS NO:72**, 1993, Composite Beams and Columns to Eurocode 4
- [12] **TS 498**, 1987, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü
- [13] **TS 648**, 1980, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü
- [14] **TS 4561**, 1985, Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü
- [15] **ARBED Profil Tabloları**, 1997
- [16] **Arda, T. S.**, Çelik Yapıda Karma Elemanların Plastik Hesabı, Kurtiş Matbaası, 1991, İstanbul
- [17] **Deren, H.**, Çelik Yapılar, İnşaat Fakültesi Matbaası, 1995
- [18] **Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, 2000, Birim Fiyat Tarifeleri Listesi

ODTÜ ÇELİK YAYA KÖPRÜSÜNÜN DİNAMİK TESTİ VE ÖLÇÜME DAYALI İZLENMESİ

Ahmet TÜRER

Yard. Doç. Dr.
İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
Ankara Türkiye

Taner ÖZERKAN

Yüksek Lisans Öğrencisi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
Ankara Türkiye

ÖZET

Ülkemizde bulunan köprülerin %1'den daha azı çelik tip köprülerdir. Çelik köprüleri dizayn ve inşa etmemekte, dolayısıyla da davranışları hakkında az bilgiye sahip olmaktayız. 2004 senesi içinde inşaatı tamamlanan Ankara ilinde, Eskişehir yolu üzerinde ve ODTÜ kampüsü önünde bulunan, halatlı 48,5 metre uzunluğundaki çelik yaya köprüsü, sıra dışı yapısal sistemi ve ülkemizde sıkça kullanılmayan çelik malzemesi ile ilgi uyandıran bir yapıdır. ODTÜ çelik yaya köprüsü, ulaşım ve montaj aşamalarında ölçüme dayalı izlenmiş ve okumalar alınmıştır. Dinamik testler yapılmış ve ölçümler analitik modellerle karşılaştırılmıştır. İlk doğal salınım frekansı 3,1 Hz. olarak ölçülen köprünün kurulma aşamasında 585 $\mu\epsilon$ 'e varan ve gerilmeler oluşmuştur.

BETONARME VE ÇELİK PERDE-ÇERÇEVE TAŞIYICI SİSTEMLERİN DAVRANIŞ BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Ayla Peruze AMİL

Yrd. Doç. Dr.
Atatürk Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Erzurum, Türkiye

A. Kadir KAN

Öğr. Gör.
Atatürk Üniversitesi
Meslek Yüksekokulu
Erzurum, Türkiye

Elif KARABÜYÜK

Öğr. Gör.
Atatürk Üniversitesi
Meslek Yüksek Okulu
Erzurum, Türkiye

Meral OLTULU

Arş. Gör.
Atatürk Üniversitesi
Meslek Yüksekokulu
Erzurum, Türkiye

ÖZET

Yapı taşıyıcı sistemlerinin tasarım ve boyutlandırılmasında yaygın kullanılan yapı malzemesi betonarme olmakla birlikte, özellikle deprem gibi tekrarlı yükler altında çelik taşıyıcı sistemlerin kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Gerçekte de dayanımı yüksek ve sünek bir malzeme olan çelik, küçük enkesitler gerektirdiğinden daha hafif yapıların gerçekleştirilmesine olanak sağlayan kontrollü üretimi ile güvenli bir yapı malzemesidir.

Bu çalışmada, daha yaygın kullanım alanı bulan betonarme perde-çerçeve sistem taşıyıcılarda farklı perde düzenlemelerinin taşıyıcı sisteme etkileri araştırılırken, aynı taşıyıcı sistemin çelik malzeme kullanılması halinde göstereceği davranış değişimlerinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Böylece, üretiminin önemli bir kısmı fabrika ve atölyede gerçekleştirilen, güvenilirliği yüksek, çelik taşıyıcı sistemlerin sanıldığı kadar aksine ağırlık ve maliyetleri bakımından betonarme taşıyıcılara bir alternatif olarak kullanılabilir ve yaygınlaştırılması için gerekli özelliklere sahip olduğu görülmektedir.

GİRİŞ

Topraklarının %95 'i etkili deprem kuşağı altında bulunan, yaklaşık 2-3 yıl aralıklarla şiddetli depremleri ve bunun sonucu önemli can ve mal kaybını yaşayan Türkiye'de depreme dayanıklı yapı tasarımının önemi tartışılmaz bir gerçektir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında, dayanım ile ekonomi arasındaki ilişki, dünya ülkelerinin benimsemiş olduğu felsefeye benzer şekilde ülkemiz afet yönetmeliğinde de mevcuttur [1].

Yapının taşıyıcı sisteminin tasarımın ve boyutlandırılmasında uygun yapı malzemesinin seçimi önemli bir adımdır. Ülkemizde yaygın alışkanlık ise betonarme yapılar tarafındadır. Yapı çeliği, özellikle, betonarme ile karşılaştırıldığında tercih edilmesini gerektiren bazı temel niteliklere sahiptir.

Çeliğin sınırsız şekil alma özelliği tasarımda estetik olanaklar sağlar. Yüksek dayanımlı ve sünek malzeme oluşu büyük açıklıkların geçilmesinde ve deprem yükleri gibi tersinir tekrarlanır yüklemelerde önemli seviyede enerji sönümleme sağladığından tercih edilmesini gerektiren özellikleridir.

Yine yüksek dayanımı sonucu betonarme yapılara göre çok daha küçük enkesitler gerektirmesi malzeme ve yapı kullanım alanı bakımından önemli ekonomi sağlar [2].

Ülkelerin ekonomisinde önemli etkenlerden birisi olan sürdürülebilirlik ve dönüşüm dikkate alındığında çelik yapı malzemesi kaçınılmaz görünmektedir. Çelik sorunsuz ve sınırsız 100% geri dönüşümlü olup dünyanın en çok ve tam olarak geri dönüştürülen malzemesidir. Çelik hurda %100 çeliğe dönüşür ve doğru yapılırsa kalite ve güvenilirlik kaybı olmaz. Yapılarda çelik kullanmak tasarımcılar için çevre bilinci fırsatı ve çevreye karşı sorumluluklarını yerine getirme olanağı sağlar. Yapıların kırılmadan sökülebilmesi, yeniden kurulabilmesi de yapının ve yapı malzemelerinin geri dönüşümünden önce yeniden kazanımını ve kullanımını bakımından çelik geri dönüştürülebilir olması tercih edilen özelliklerinden bir diğeridir [3].

Avrupa ülkelerinin 2001 yılında yapısal çelik üretim ortalaması yaklaşık 432 000 ton seviyelerinde iken Türkiye’de 195 000 000 ton seviyelerindedir. Kişi başına düşen çelik üretimi Avrupa ülkelerinde ortalama 0,033 ton/kişi iken ülkemizde ise 0,003 ton/kişidir. Bu da bize Türkiye’de çelik üretim ve inşaat sektöründe kullanım oranının ne kadar düşük olduğunu göstermektedir [4].

AMAÇ

Bu çalışmanın amacı öncelikle, ülkemizde ve dünyada yaygın kullanılan çerçeve-perde türü taşıyıcı sistemlerde farklı düzenlenmiş perdelerin betonarme ve çelik taşıyıcı malzeme kullanılması halinde ortaya çıkan davranış değişikliklerini karşılaştırmalı olarak incelemektir. Bu amaçla farklı düzenlenmiş perdelerin betonarme çerçevelerin davranışına etkileri incelenmektedir. Bu incelemede yerdeğiştirmeler ve kesit etkileri bakımından en uygun çözümün, çelik malzeme kullanılması halinde elde edilen sonuçları ile karşılaştırılması ve davranış değişimlerinin incelenmesi gerçekleştirilmektedir.

Çalışmanın Yöntemi

Çerçeve taşıyıcı sistemlerde yatay yerdeğiştirmelerin yönetmeliğin öngördüğü sınırlar içerisinde kalmasını sağlamak üzere betonarme perdeler kullanılması pek çok araştırmacı tarafından, çeşitli yönleriyle incelenmiştir [5, 6, 7, 8]. Betonarme ve çelik çerçevelerin rijitleştirilmesinde çelik eğik ya da çapraz elemanlar kullanılması da literatürde ve uygulamada mevcut diğer bir yöntemdir [9, 10].

Bu çalışmada 3x5 açıklıklı, 10 katlı 6 adet betonarme ve çelik çerçeve taşıyıcı sistemin farklı açıklıklarına, tüm özellikleri aynı olan 6 adet perde yerleştirilmesi halinde oluşacak davranış değişimlerinin karşılaştırılması gerçekleştirilmektedir.

İncelenen sistemlerin çözümlemesinde SAP2000 Yapısal Çözümleme Programı kullanılmakta, yatay dinamik yük olarak 1999 Kocaeli depremine ait Spektral ivme kayıtlarının Doğu-Batı bileşenine ait değerler

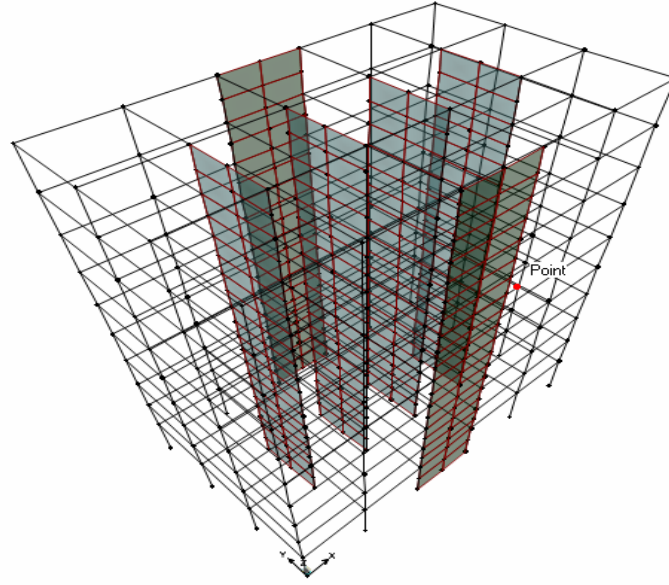
alınmaktadır. Dinamik çözümleme yöntemi olarak Modların Birleştirilmesi Yöntemi uygulanmakta, %5'lik sönüm oranı için ilk 7 modu esas alınmakta ve çerçeveden elde edilen çıktıların ilk 3 mod için hesaplanan değerlerin karşılaştırılmalı davranışları belirlenmektedir. Elde edilen sonuçlar her bir çerçevede enbüyük yerdeğiştirme ve meydana gelen enbüyük kesit etkileri bakımından karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmektedir.

Betonarme perdelerle yanal rijitliği arttırılan çerçevelerden davranış bakımından uygun çözüm olarak belirlenen durumdaki yerdeğiştirmeler ve kesit etkileri, aynı taşıyıcı sistemin çelik malzeme ile aynı deprem yükleri altında, diğer tüm parametreler aynı kalmak üzere ve aynı yapısal çözümleme programı kullanılarak gerçekleştirilen optimum tasarımından elde edilen yerdeğiştirmeler ve kesit etkileriyle karşılaştırılmaktadır.

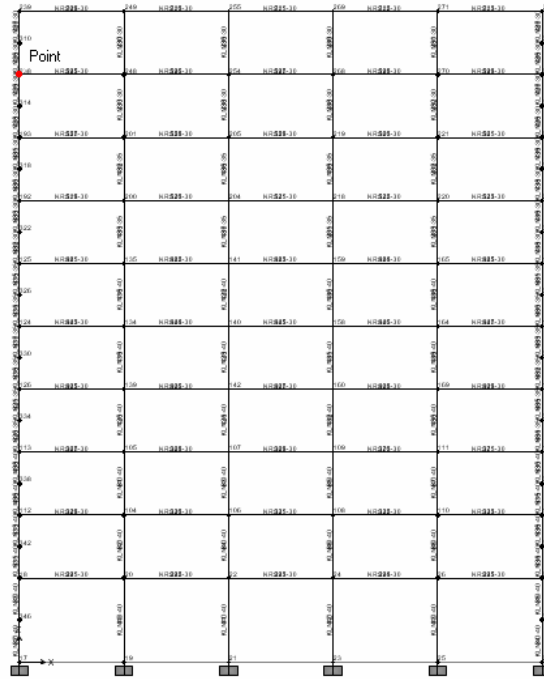
İnceleme konusu olan başlıca sistemler kolon ve kirişlerden oluşan ve farklı açıklıkları perde taşıyıcılarla rijitleştirilen 6 adet 10 katlı 3x5 açıklıklı çerçeveden oluşmaktadır. Her iki doğrultuda çerçeve açıklıkları 5 m., kat yükseklikleri 3 m olarak kabul edilmiştir. Seçilen çerçevelerin modelleri ve enkesit değerleri şekil 1'de verilmektedir. Seçilen modellerin dinamik karakteristikleri ve malzeme dayanımları aynıdır. Bu enkesit boyutlarının belirlenmesinde ilgili yönetmeliklerde verilen sınır değerler dikkate alınmıştır. İncelenen çelik sistemler, optimum çözümü veren enkesit değerleri esas alınarak düzenlenmiştir.

Yapısal çözümlemede kullanılan beton malzemenin özellikleri olarak birim ağırlığı 2.5 t/m^3 Elastisite modülü $E=2.85 \times 10^6 \text{ t/m}^2$, Kayma modülü $G=1,18 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ ve poisson oranı 0.2, çelik için birim ağırlığı 7.85 t/m^3 , Elastisite modülü $E=2.05 \times 10^7 \text{ t/m}^2$, Akma dayanım 2.4 t/m^2 , min. Çekme dayanımı 4.0 t/m^2 ve poisson oranı 0.3 değerleri alınmıştır.

Yapısal çözümleme programı Sap2000 karaktesirtiklerine uygun olarak herbir çubuk tek bir sonlu eleman olarak alınmış, her kata ait perde elemanlar ise 4 adet sonlu eleman ağına ayrılmıştır [11].



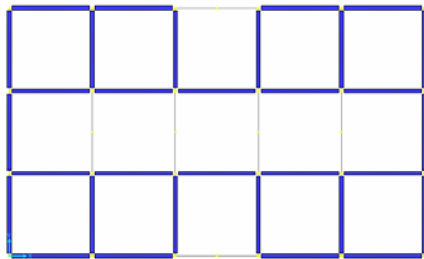
Şekil 1. Yapısal çözümlemesi gerçekleştirilen betonarme perde-çerçeve sistem modeli



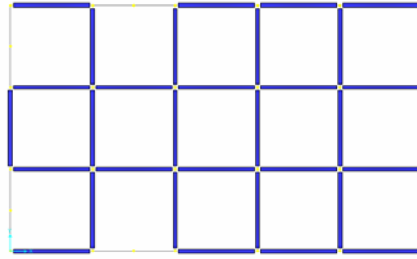
Şekil 2. x-z düzleminde bir aksa ait çerçeve modeli

Çalışmada kullanılan betonarme çerçevelerde tüm kiriş enkesitleri 25*30cm, kolon enkesitleri 1. kat kolonları 40*40cm, 2. ve 3.kat dış kolonlar 35*40cm, iç kolonlar 40*40 cm., 4, 5 ve 6. kat dış kolonlar 35*35cm, iç kolonlar 35*40 cm, 7 ve 8. kat dış kolonlar 30*35cm, iç kolonlar 35*35cm, 9 ve 10.kat dış kolonlar 25*30cm, iç kolonlar 30*30cm. dir. Tüm perdeler 20 cm kalınlıklı seçilmiştir. Çelik taşıyıcı sistem elemanları ülkemizde mevcut I profil olarak atanan gruplar arasından Sap2000 programınca optimize edilerek belirlenmektedir. Çelik perde düzenlemesinde kullanılan eğik elemanlar çerçeve açıklıklarında köşegen konumunda ve deprem yükleri dikkate alındığında her doğrultuda simetrik olarak düzenlenmiştir.

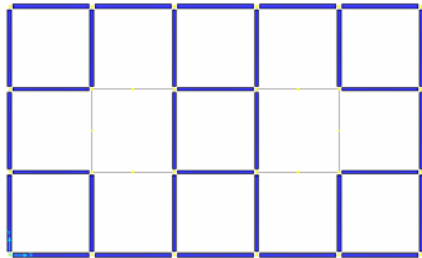
Farklı açıklıklara yerleştirilecek perdelerin konumu depreme dayanıklı yapı tasarımı temel ilkeleri doğrultusunda belirlenmiştir. Bu amaçla, açıklıklara yerleştirilecek perdelerin aks sistemine uygun olması, aks aralığının birbirine yakın yada eşit olması, planda her iki doğrultuda eşite yakın sayıda olması, her iki doğrultuda kirişlerle birbirine bağlanması ilkelerine dikkat edilmiştir [12]. Şekil 3'te perdelerin düzenleme şekilleri planda akslarda görülen boşluklarla ifade edilmektedir.



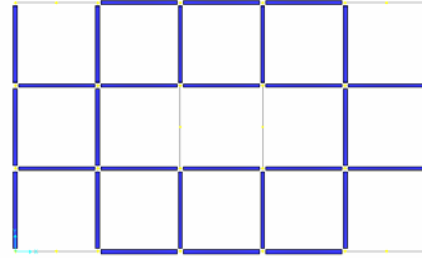
Model 1 (MB1)



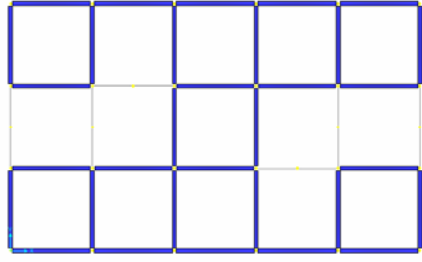
Model 2 (MB2)



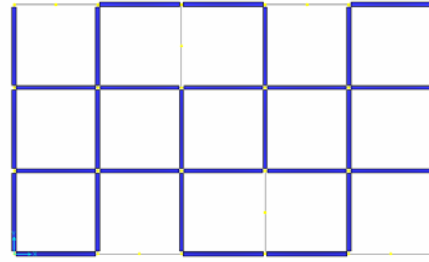
Model 3 (MB3)



Model 4 (MB4)



Model 5 (MB 5)



Model 6 (MB 6)

Şekil 3. Farklı açıklıkta perde düzenlemesi yapılan model çerçeveler

Bulgular

Yapıların davranışı üzerinde önemli etkisi olan deprem kuvvetlerinin dikkate alınması yapı tasarımı için zorunlu olduğu gibi, taşıyıcı sistem çözümünün ekonomik olması da mühendisliğin gereğidir. Deprem kuvvetlerinin yapı ağırlığı ile orantılı olduğu, hafif yapılara gelen kuvvetlerin kütle x deprem ivmesi kuralı gereği daha az olacağı açıktır. Bu durumda tasarımın bir optimizasyon problemi olduğu görülmektedir.

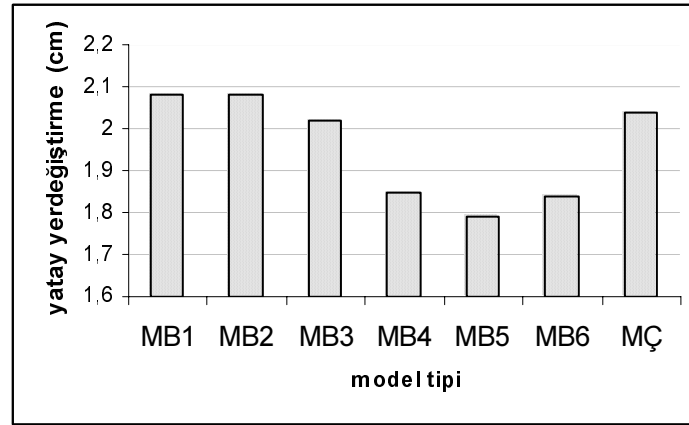
Çalışmanın ilk adımında 3x5 açıklıklı 10 katlı perde-çerçeve sistem betonarme yapının 6 adet betonarme perdenin farklı açıklıklarda tasarlanması ve birbirine dik iki doğrultuda deprem kuvvetleri etkisine bırakılması, davranış değişimlerinin karşılaştırılması sonucu ile elde edilen bulguların literatürde mevcut tasarım ilkeleri ile karşılaştırılması gerçekleştirilmektedir.

Çalışmaya konu olan çerçeve-perde sistemlerin betonarme olarak düzenlenmesi ve çözümlenmesi sonucunda tasarım ilkeleri gözönüne alınarak yapılan bu düzenlemelerde elde edilen enbüyük yerdeğiştirme değerleri Şekil 4'te, kesit etkilerinden eğilme momenti değerleri Şekil 5'te, normal kuvvet değerleri Şekil 6'da ve kesme kuvveti değerleri Şekil 7'de çelik model taşıyıcı sistemle karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Burada perde uygulanan çelik taşıyıcı model davranış bakımından uygun seçilen MB2'nin malzeme bakımından yeniden düzenlenmesi ile elde edilmiştir.

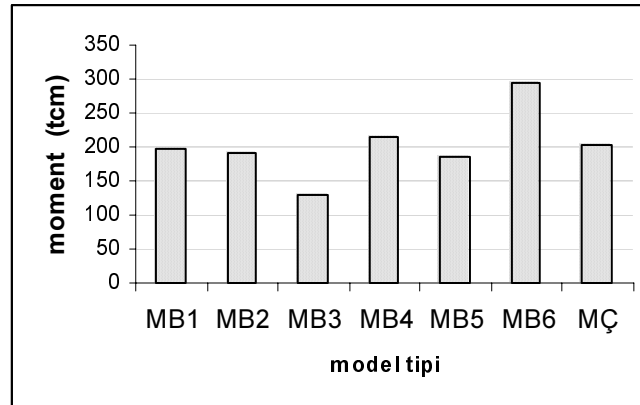
Karşılaştırma sonucu elde edilen en uygun çözüm olan iki doğrultuda simetrik, ağırlık ve rijitlik merkezleri arasında farklılığın en az olduğu, burulma yaratmayan düzenleme tarzı esas alınmaktadır. Bu çözümün bir kez

de betonarme malzeme yerine çelik malzeme kullanılmak suretiyle, aynı yükler altında davranışının incelenip, bu düzenlemenin yönetmeliğin öngördüğü güvenlik ve yanal öteleme sınırlaması koşullarını yerine getiren uygun bir çözüm olabileceğinin belirlenmesidir.

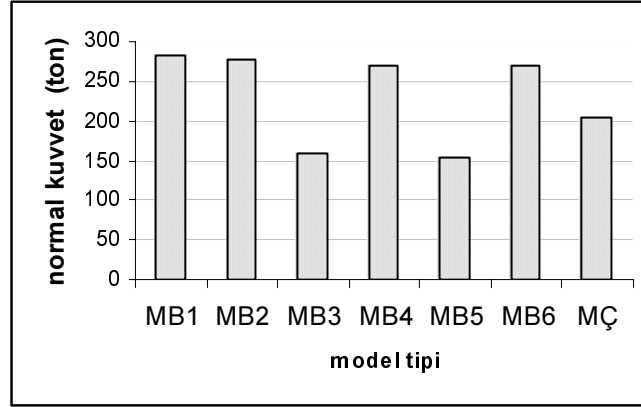
Betonarme ve çelik sistemlerin davranış, ağırlık ve maliyet bakımından karşılaştırılması amacıyla farklı açıklık, yükseklik ve kat sayısı bulunan çok sayıda model ve gerçek çerçeveler üzerinde tasarım ve çözümlerin gerçekleştirilmesi, özellikle çelik taşıyıcı sistemlerin yaygınlaştırılması, konu ile ilgili ihtiyaç bulunan yönetmelik hükümlerinin geliştirilmesi bir ihtiyaç olarak görülmektedir.



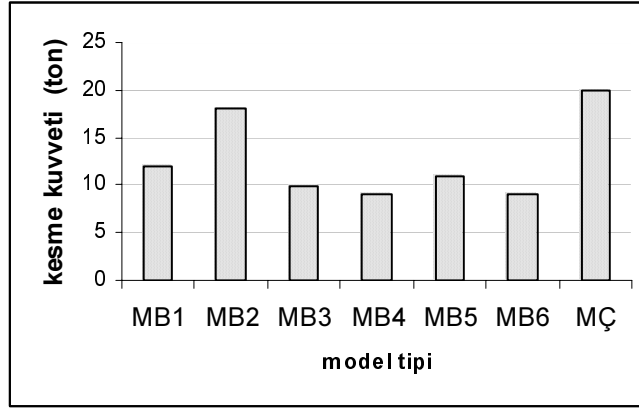
Şekil 4. Enbüyük yatay yerdeğiştirme değerinin model tipi ile değişimi



Şekil 5. Enbüyük eğilme momentinin model tipi ile değişimi



Şekil 6. Enbüyük normal kuvvet değerinin model tipi ile değişimi



Şekil 7. Enbüyük kesme kuvveti değerinin model tipi ile değişimi

SONUÇ

Elde edilen verilerin incelenmesinden anlaşılabacağı gibi, yapı taşıyıcı malzemesi olarak betonarme yerine çelik kullanılması halinde yerdeğiştirmeler ve kesit etkileri bakımından, ilgili yönetmelik koşullarını karşılayan, önemli farklılıklar söz konusu olmamaktadır. Bu da betonarme olarak tasarlanan bir yapının taşıma gücü bakımından eşdeğeri olan çelik yapının her zaman gerçekleştirilebileceğini, çeliğin sünek ve kolay şekil verilebilir, güvenli üretim koşullarına sahip, dayanımı yüksek bir malzeme olarak tercih edilmesi önerilebilir. Bu çalışmanın ağırlık ve maliyet sehaplarını da kapsayacak şekilde genişletilmesi yazarların gelecekteki çalışma planlarını içermektedir.

KAYNAKLAR

1. “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 1998.
2. Özkan. N., Çelik taşıyıcı sistemlerin üstünlükleri. 2005,www.yapitr.com.
3. Özkan. N., “Yapısal Çeliğin Avantajları” 2001, <http://www.tucsa.org.tr>
4. Yıllık Rapor, Demir Çelik Üreticileri Derneği, 2002, Ankara.
5. Çakıroğlu. A., "Yatay Yükleri Taşıyan Yapı Elemanları", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, Aralık, 1989.
6. Kumbasar. N., ve Celep, Z., "Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", Sema Matbaacılık, İstanbul 1992.
7. Bilyap. S., "Betonarme Yüksek Yapılarda Perde - Çerçeve Sistemlerin Yatay Kuvvetlere Göre Hesabı ", Ege Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yayınları, No: 2, İzmir, 1979.
8. Axley. J. W., and Bertero, V. V., " Infill Panels : Their Influence on Seismic Response of Buildings ", EERC, Report No. 79-28, University of California, Berkeley, September, 1979.
9. Popov. E. P., Eccentric Seismic Bracing of Steel Frames, Proc. WCEE, İstanbul, 1980.
10. Fujiwara. T., Seismic Behavior of Inelastic Members of Braced Frame Structures, Procc. WCEE, İstanbul, 1980.
11. SAP2000. Integrated Structural Analysis and Software, Computer and Structures Inc., Berkeley, California, 1997.
12. Tuna. M. E., Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı , Tuna Eğitim ve Kültür Vakfı Ankara 2000.
13. Türk Standartları, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS 500), TSE 2000, 75 Sayfa
14. Türk Standartları, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS 648), TSE, 1980, 45 Sayfa

SUMMARY

Though reinforced concrete is the most commonly used building material in the design and analysis of bearing systems, using steel bearing systems are getting more widespread especially under repetitious loads like earthquakes. Because the steel, high strength and ductile material, needs to less cross section area, it is used for make light weight structure. Steel is reliable construction material. Steel is strong, versatile, durable and provides good economic value, making it an excellent building product.

Composite system, consist of frame element and shear wall, is common used in the world. The aim in this study, in the composite systems, the change of the distinct designed shearwall's when it consist of reinforced concrete and steel behavior is investigated by comparative.

Thus, weight and construction cost structural steel system, high reliability and great part of product in fabric, are more less than reinforced concrete bearing systems.