

BA Yapılarda Konsol Kirişlere Aktarılan İlave Yükler

Sabahattin AYKAÇ*

Bengi AYKAÇ**

Yunus EKİNCİ***

ÖZ

Betonarme yapılarda, zemin kattan sonra kat alanını büyütme amacıyla yapının bir kısmının konsol kirişler üzerine oturtulması özellikle ülkemizde çok sık rastlanılan bir uygulamadır. Bu tür binaların birçoğunda en alt kat konsol kirişleri üzerinde bulunan dolgu duvarlarda zaman içinde değişik boyutlarda çatlaklar oluşabilmektedir. Bu çalışmada, oluşan bu çatlakların nedenleri araştırılmış ve konsollarda oluşan çatlakların nedenlerinden birinin de dolgu duvarlar aracılığı ile üst katlardaki konsol kirişlerden alt katlardaki konsol kirişlere iletilen fazladan yüklerin olduğu deneysel olarak ortaya konmuştur. Çalışmanın sonunda bir üst kattaki konsol kiriş yüklerinin yaklaşık %25'inin dolgu duvarlar aracılığı ile aşağıdaki konsol kirişe aktarıldığı ortaya koyulmuş ve uygulama için yararlı önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Konsol kiriş, dolgu duvar, çatlak, yük aktarımı.

ABSTRACT

Additional Loads Transferred to Cantilever Beams of RC-Buildings

It is a very common application, especially in Turkey, to place parts of a RC building on cantilever beams in order to increase the storey areas above the entrance level. In many of these buildings, cracks of various sizes within the infill walls above the lowest level cantilever beams may develop in time. In this study, the reasons for the development of these cracks are investigated. It is experimentally found out that, one of the reasons of these cracks are the additional loads that are transferred from the upper level cantilever beams to those at the lower levels through the infill walls. The results of the study suggest that about 25% of the upper cantilever beam loads are transferred to the cantilever beam below. Useful recommendations for practice are presented.

Keywords: Cantilever beam, infill wall, crack, load transfer.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 14.01.2010 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2011 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - saykac@gazi.edu.tr

** Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - baykac@gazi.edu.tr

*** yunus_ekinci@yahoo.com.tr

1. GİRİŞ

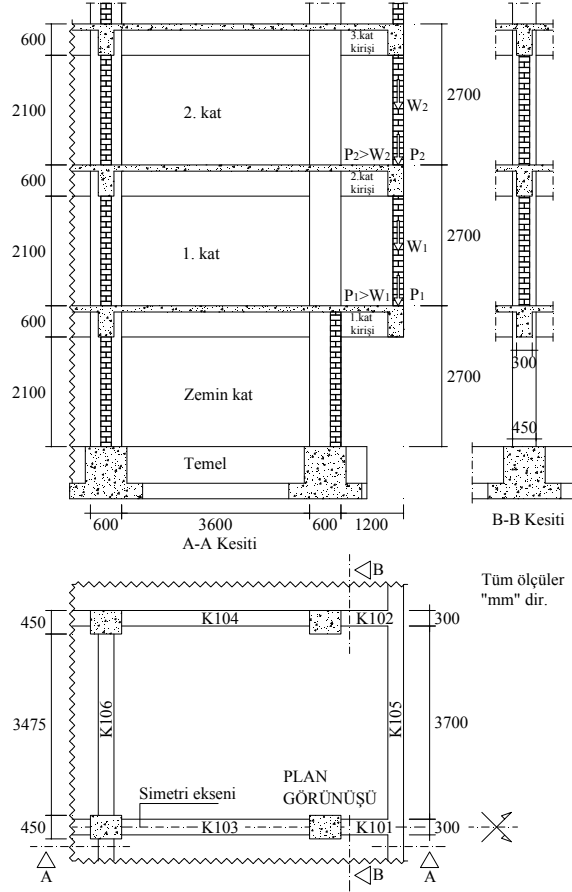
Ülkemizde çok sayıda bina, kat alanının büyütülmesi amacıyla, genellikle zemin kattan sonra konsol çıkmalar üzerine oturtulmaktadır, Şekil-1. Yapılan gözlemler sonucunda, bu türden binaların birçoğunda konsol kirişlerin sehim yapmasına bağlı olarak, kirişlere oturan duvarlarda zamanla büyük çatlaklar oluştuğu gözlenmiştir. Bu türden çatlaklar genellikle büyük bir tehlike oluşturmazlar. Buna rağmen yapıların bu kısımlarında kullanım sorunlarının (sehim, kapı veya pencere sıkışması vb.) yanı sıra oluşan çatlakların konuya uzak insanlar üzerinde yarattığı psikolojik etkiler, bina iç ve dış görünümünün bozulması gibi olumsuz durumlarla sık sık karşılaşmaktadır. Bu çatlaklar kolayca onarılabilmektedir. Ancak çatlak onarımından sonraki onarımlar da (yüzeylerin yeniden boyanması, sıkışan kapı ve pencerelerin onarımı, işçilik gibi giderler ile benzeri olay sayısının çokluğu) düşünüldüğünde önemli ekonomik kayıplar söz konusu olabilmektedir. Ayrıca yapılan onarımlardan sonra bu çatlaklar tekrar ortaya çıkabilmektedir. Ankara'nın 6 semtinde 400 civarında konsol çıkmalı bina incelenmiş ve bunların %58 inin dolgu duvarlarında çatlaklar olduğu görülmüştür. Şekil-2 de konsol kiriş üzerindeki duvarlarında çatlaklar oluşmuş iki bina gösterilmiştir. Daha da önemlisi sorun çok yaygın olmasına rağmen literatürde bu konu ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılmış olan çalışmaların büyük bir kısmı sorunun nedenleri yerine, sorun ortaya çıktıktan sonra yapılacak olan onarım/güçlendirme teknikleri üzerine yoğunlaşmıştır, [1-6]. İlk bakışta proje hatalarının bu hasarlara neden olabileceği akla gelmesine rağmen, bu türden birçok binanın projeleri incelenmiş ve genellikle sorunun proje hatasından kaynaklanmadığı belirlenmiştir. Yapılan ön çalışmalara dayanarak, konsol kiriş yüklerinin, teorik hesaplarda olduğu gibi, sadece üzerindeki ağırlıklardan oluşmadığı ve dolgu duvarlar aracılığı ile üst kat konsol kirişlerinden de bir miktar yük alabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle bu çalışmada üst kat konsol kirişlerinden alt kat konsol kirişlerine, dolgu duvarlar aracılığı ile aktarılan yük miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu hasarlara yol açan varsa başka nedenlerin belirlenmesi, davranışın belirlenmesi ve uygulamalara yönelik öneriler yapılması da çalışmanın diğer bir hedefleridir. Bu nedenle konunun deneysel olarak araştırılmasına karar verilmiştir.

2. KONUNUN ÖNEMİ

Söz konusu hasarlar Ülkemizde çok yaygın olmasına rağmen konu bugüne kadar kapsamlı bir biçimde ele alınmamıştır. Hatta bilimsel kaynaklarda doğrudan bu konu ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan ön çalışmalar sonrasında, konsol kirişlerin tasarımı ile ilgili olarak yönetmeliklerde verilen ölçütlerin, bu türden konsol kirişler için yetersiz olabileceği konusunda ciddi kuşkular doğmuştur. Benzer yaklaşımla tasarlanmış ve hasar oluşmuş birçok bina bulunması ve onarım maliyetlerine bağlı olarak oluşan ekonomik kayıplar göz önüne alındığında konunun önemi daha iyi anlaşılabilir. Bu nedenlerle yazarlar konun kapsamlı olarak araştırılması gerektiğine inanmışlardır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DENEY TEKNİĞİ

Araştırmada, planda simetri ekseninde bulunan, boyu 1.2 m ve kesit ölçüleri 300/600 mm olan bir konsol kiriş (K101) örnek olarak ele alınmış ve kat yüksekliğinin 2.7 m olduğu varsayılmıştır, Şekil-1.



Şekil 1. Ele alınan örnek yapının plan ve kesitleri



Şekil 2. Konsol kirişe oturan dolgu duvarlarda oluşmuş çataklar (iki ayrı bina)

Laboratuvar olanakları göz önünde bulundurularak, deney elemanlarının 1/3 ölçekli olmasına karar verilmiştir. Yine laboratuvar olanaklarından ötürü sadece konsol kiriş ve düzlemler içindeki yakın komşu taşıyıcı elemanlar ele alınabilmiş, daha uzaktaki elemanların ve döşemelerin etkisi ise ihmal edilmiştir. Deney elemanlarında konsol kiriş ve konsola komşu kolon boyuna donatı ve kesiti parametre olarak ele alınmış, uzak uçtaki kolon boyuna donatı ve kesiti ise sabit tutulmuştur. Oldukça önemli olmasına rağmen sünme etkileri sınırlı olarak ele alınabilmiştir. Olanaklar elvermediği için, konsol kirişe komşu iç kirişlere ve kolonlara yük uygulanamamıştır. Buna bağlı olarak da eksenel yükün, kolon eğilme rijitliği üzerindeki olumlu etkileri ihmal edilmiştir. Konsol kiriş üzerine oturan dolgu duvarlar ile bir üstteki konsol kirişin alt yüzü arasında boşluk olmadığı ve duvar eksenel deformasyonlarının sıfır olduğu varsayılmıştır.

3.1. Deney Elemanları

Toplam 10 adet deney elemanı hazırlanmıştır. Çizelge-1’de deney elemanlarının özellikleri özetlenmiştir. Deney elemanı ölçeğine bağlı olarak kolon ve kirişlerde 6 mm çapında düz yüzeyli boyuna donatılar kullanılmıştır. Boyuna donatının akma ve kopma dayanımları sırasıyla $f_y=413$ MPa ve $f_u=470$ MPa olarak belirlenmiştir. Ortalama beton dayanımlarının (f_c) 20-25 MPa arasında olduğu belirlenmiştir. Çizelge-1’de gösterilmeyen diğer özellikler, tüm elemanlar için aynı olup Şekil 3’de gösterilmiştir. Deney elemanları oluşturulurken olabildiğince uygulamadaki durumlar benzeştirilmeye çalışılmıştır. Ancak davranışın ön plana çıkartılabilmesi için, bazı elemanlarda durum abartılmıştır.

Çizelge 1. Deney elemanlarının özellikleri

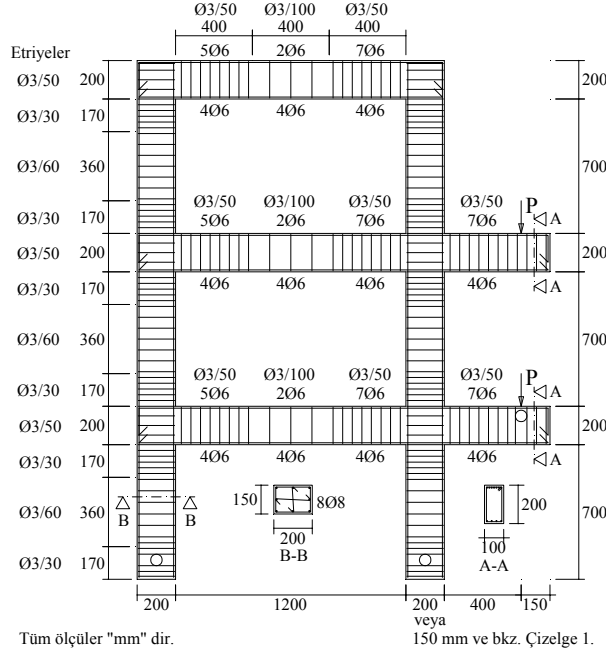
| Eleman adı | Ön kolonların özellikleri | | Konsol kirişlerin özellikleri | |
|------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | Kesit boyutları (mm) | Boyuna donatı miktarı | Kesit boyutları (mm) | Çekme donatısı miktarı (mm) |
| S1 | 150x200 | (0.01) ⁽¹⁾ 12φ6 | 100x200 | (0.01) ⁽¹⁾ 7φ6 |
| S2 | 150x200 | (0.02) 24φ6 | 100x200 | (0.01) 7φ6 |
| S3 | 150x150 | (0.01) 8φ6 | 100x200 | (0.006) 4φ6 |
| S4 | 150x150 | (0.02) 16φ6 | 100x200 | (0.006) 4φ6 |
| S5 | 150x200 | (0.01) 12φ6 | 100x200 | (0.006) 4φ6 |
| S6 | 150x200 | (0.02) 24φ6 | 100x200 | (0.006) 4φ6 |
| S7 | 150x200 | (0.008) 8φ6 | 100x200 | (0.008) 5φ6 |
| S8 | 150x150 | (0.01) 8φ6 | 100x200-250 ⁽²⁾ | (0.005) 4φ6-5φ6 ⁽³⁾ |
| S9 | 150x150 | (0.01) 8φ6 | 100x200 | (0.009) 6φ6 ⁽⁴⁾ |
| S10 | 150x150 | (0.01) 8φ6 | 100x200-300 ⁽²⁾ | (0.006) 6φ6 ⁽⁴⁾ |

⁽¹⁾ Boyuna donatı oranı.

⁽²⁾ Guseli kirişin konsol dibindeki yüksekliği.

⁽³⁾ Bu elemanda 1. ve 2. kat konsol kirişlerindeki çekme donatısı sırasıyla 4φ6 ve 5φ6 dır.

⁽⁴⁾ Bu elemanlarda hem 1. hem de 2. kat konsol kirişlerindeki çekme donatısı 6φ6 dır.



Şekil 3. Deney elemanlarının boyut ve donatısı

S1 deney elemanı:

Bu elemanın konsol kirişinde aşırı boyuna donatı kullanılmış ve aşırı donatılı durumun olağan duvar yükleri (10 kN) altındaki davranışı araştırılmıştır. Konsol kirişteki boyuna donatı oranı 0.01 olmasına rağmen donatı akma dayanımı ilgili yönetmelikteki [7] değer yaklaşık iki katıdır. Bu nedenle eleman aşırı donatılı olarak kabul edilmiştir. Bu elemanın ön kolunda minimum oranda (0.01) donatı kullanılmıştır.

S2 deney elemanı:

Bu elemanın konsolunda da S1 deki gibi aşırı donatı kullanılmıştır. Ön kolunda minimum donatının [8] iki katı kadar (0.02) donatı kullanılmıştır. Davranışı ön plana çıkartmak için bu elemanın konsol kiriş ucuna olağan duvar yüklerinin %70 fazlası (17 kN) yük olarak uygulanmıştır.

S3, S4, S5 ve S6 deney elemanları:

Bu elemanların kolon ve kirişlerinde yapısal analizin gerektirdiği ölçüde donatı kullanılmıştır. Elemanlarda kolon kesit ve boyuna donatılarının davranış üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

S7 deney elemanı:

Bundan önceki elemanlarda 2. kat konsoludan birinci kat konsoluna, aradaki duvar aracılığıyla, %25 civarında yük aktarımı olduğu görüldüğünden bu elemanın konsol kiriş boyuna donatısı %25 artırılmıştır.

S8 deney elemanı:

S7 elemanında bahsedilen %25 lik yük fazlasını karşılamak için bu elemanın 1. kat konsol kirişi guseli olarak üretilmiş ve konsol dibindeki kiriş yüksekliği %25 büyütülmüştür.

S9 deney elemanı:

S7 ve S8 deney elemanlarında kesit taşıma gücünün %25 büyütülmesinin deformasyonların küçültülmesinde yeterli olmadığı görülmüştür. Bu nedenle S9 elemanında kesit taşıma gücü, boyuna donatı artırılarak %50 oranında büyütülmüştür.

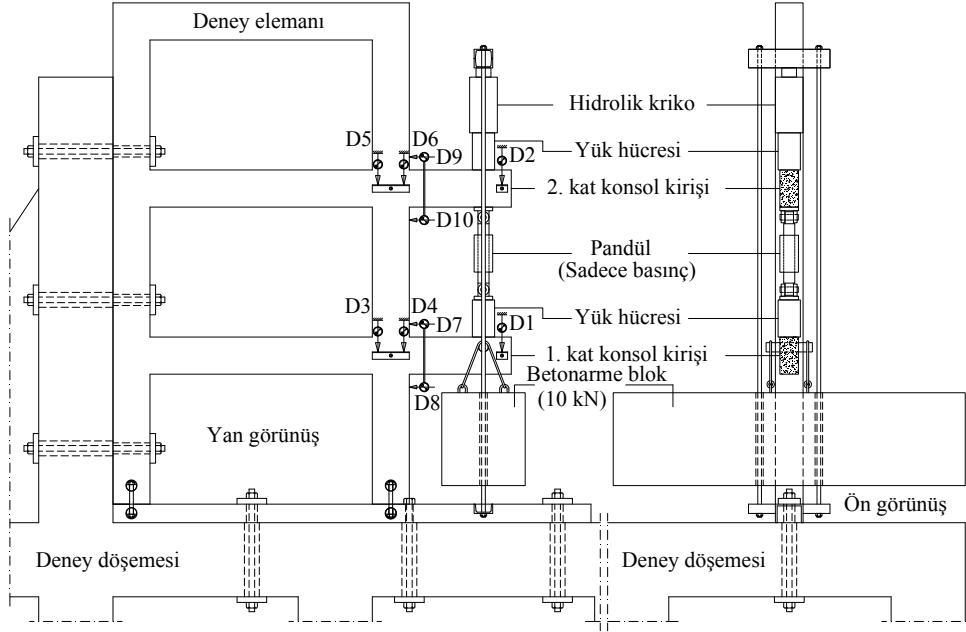
S10 deney elemanı:

S9 deney elemanında deformasyonların sınırlandırılması için tek başına donatının büyütülmesinin yeterli olmadığı görülmüş ve kesit taşıma gücü %100 büyütülmüştür. Taşıma gücündeki bu artımın yarısı boyuna donatı ile diğer yarısı ise 1. kat konsol kiriş kesitinin guseli olarak büyütülmesi ile elde edilmiştir.

3.2. Deney Tekniği

Deneyler rijit bir yatay döşeme ve güçlü bir düşey duvardan oluşan deney platformunda yapılmıştır, Şekil-4. Deney elemanları, platforma düşey olarak yerleştirilmiş, iç kolondan güçlü duvara, kolon alt uçlarından ise döşemeye bağlanmıştır. Burada iç kolonlar sadece tespit amaçlı kullanılmıştır. Bu nedenle bu elemanlardan gerçek yapıdaki gibi bir davranış beklenmemelidir. Ayrıca kolon alt uçlarındaki dönmeleri olabildiğince sınırlamak için kolon alt uçları döşeme üzerindeki çelik profile ard germeli bulonlarla sıkıca bağlanmıştır.

Konsol kiriş yüklerinin büyük bir kısmını, planda konsol ucuna dik yönde saplanan kirişin (K105, Bkz. Şek.1), konsol ucuna (K101'in ucuna, Bkz. Şek.1) ilettiği düşey reaksiyon kuvvetleri oluşturmaktadır. Bu reaksiyon kuvvetleri büyük ölçüde, dik yöndeki kirişin taşıdığı duvar ve döşeme yüklerinden oluşmakta ve konsol ucuna noktasal olarak iletilmektedir. Konsol kiriş ekseninde diğer yükler ise bu yüklerin yanında ihmal edilebilecek mertebededir. Bu nedenle konsol kiriş yüklerinin, sadece konsol ucuna düşey yönde etkiyen tekil bir kuvvetten oluştuğu varsayılmıştır. Yük katsayıları 1 alınarak bu kuvvetin model için 10 kN olduğu hesaplanmıştır. Bu kuvveti temsilen 1. kat konsol kirişine 10 kN ağırlığındaki betonarme bir blok oldukça yavaş bir şekilde asılmıştır. Bu amaçla 450x500x1900 mm boyutlarında betonarme bir kütle kullanılmıştır. Konsol kirişler arasında dolgu duvarlar aracılığı ile yük aktarımı oluşmaktadır. Bu yük iletimini sağlamak için 1. ve 2. kat konsol kirişleri arasında çelik bir pandül teget olarak yerleştirilmiştir. 1. kat kirişi üzerindeki duvar 2. kat kirişini aşağı doğru çekemeyeceği için, araya konan çelik pandül sadece yukarıdan aşağı yük aktarabilecek şekilde (sadece basınç kuvvetlerini aktarabilen fakat çekme kuvvetlerini iletmeyen) tasarlanmıştır. Son olarak 2. kat kirişi üzerine yerleştirilmiş olan krika ve yük hücresi ile 2. kat konsol ucuna 10 kN basınç yükü uygulanmıştır. Uygulanan bu yükün ne kadarının 1. kat konsol kirişine iletiildiği ise pandül altında yerleştirilen bir yük hücresinden okunmuştur. Deneyler sırasında çeşitli noktalardan deplasman ölçümleri alınmış ancak buradaki değerlendirmelerde bunlar kullanılmadığından ölçüm sisteminin ayrıntıları anlatılmamıştır. Deney sistemine ait bir fotoğraf Şekil-5'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Yük ve ölçüm sistemi



Şekil 5. Deney sisteminin yan görünüşü

4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

2. kat konsol kirişlerine uygulanan yük ile bu yükün 1. kat konsol kirişine, dolgu duvarlar aracılığı ile iletilen miktarlarının zamana bağlı değişimleri Şekil-6 - Şekil-15 de gösterilmiştir. Konsol kirişler arasında oluşan yük aktarım oranları da aynı şekiller üzerinde verilmiştir. Bu şekillerdeki yük aktarımları, S2 ve S10 hariç, olağan duvar yükleri altındaki değerlere karşı gelmektedir. Olağan duvar yükü ise gerçek yapılarda sıkça karşılaşılan duvar yükünün model için hesaplanmış olan değeridir. Duvar ağırlığını temsil eden bu değer model için 10 kN olarak hesaplandığı yukarıda belirtilmişti. Abartılı yüklerde davranışın ne şekilde olacağını anlayabilmek için S2 elemanında kat duvar yükü %70 büyütülmüştür. Dolayısıyla S2 için verilmiş olan şeklin 1. ve 2. katta, 17 kN luk duvar yüküne karşı geldiği unutulmamalıdır. Şansızlık eseri S10 deney elemanında başka bir çalışmaya ait ölçümleme katsayıları kullanılmıştır. Bu nedenle S10 elemanına ait şekil, ikinci kat konsolunda 20 kN luk, birinci kat konsolunda ise 10 kN luk duvar yüküne karşı gelmektedir.

S1 elemanı 20 gün boyunca sabit yükler altında bırakılmıştır. Bu elemanda ilk üç gün hemen hemen hiç yük aktarımı olmamıştır. 4. günde %25 civarında bir yük aktarımı olmuş ve arta kalan günlerde ortalama yük aktarımının %20 civarında olduğu görülmüştür, Şekil-6.

S2, her iki konsoluna 17 kN yük uygulanan aşırı yüklü deney elemanıdır. Bu elemanda ilk günkü yük aktarımı %20 olarak ölçülmüştür. Daha sonra 1. kat konsolunun, 2. kata göre daha büyük olan deformasyon hızına bağlı olarak aktarılan yük değeri 6. güne kadar doğrusal olarak azalmıştır. 6. günden sonra ise yük aktarımının %10 civarında sabit kaldığı görülmüştür, Şekil-7.

S3 deney elemanında da ilk günkü yük aktarımı %20 olarak ölçülmüştür. Daha sonraki günlerde yük aktarımı gittikçe azalmış ve %12 ye kadar düşmüştür, Şekil-10.

S4 elemanında ilk günkü yük aktarımı %25, son günkü yük aktarımı ise %20 civarındadır. Zamana bağlı olarak yük aktarımındaki kayıp oldukça azdır, Şekil-9.

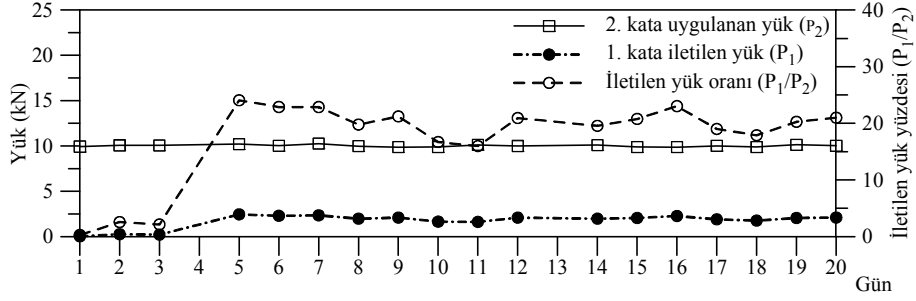
S5 'de deney boyunca ortalama %18 civarında sabit bir yük aktarımı olmuştur, Şekil-10.

S6 elemanında ilk günkü yük aktarımı %27 olup diğer günlerde %22 olmuştur, Şekil-11.

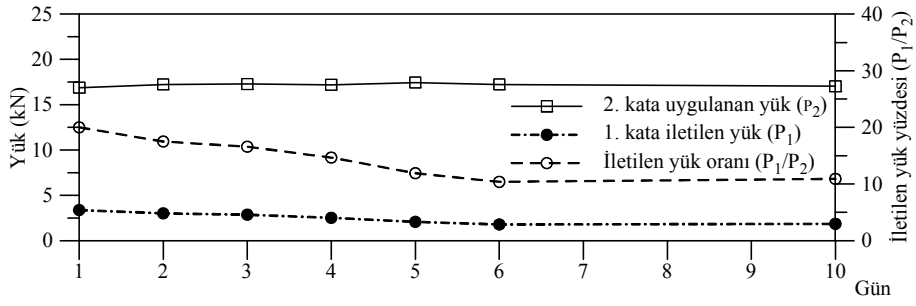
S7 elemanında ilk günkü yük aktarımı %18 olup diğer günlerde %14 olmuştur, Şekil-12.

S8 elemanının 1. kat konsolu guseli olarak üretilmiştir. Konsol mesnetindeki kesit yüksekliği üst kattaki konsola göre %25 daha fazladır. Buna bağlı olarak S8 elemanında yük aktarımı, bundan önceki elemanlara göre, beklendiği gibi daha fazla olmuştur. S8 elemanında deney boyunca ortalama % 32 lik sabit bir yük aktarımı olmuştur, Şekil-13.

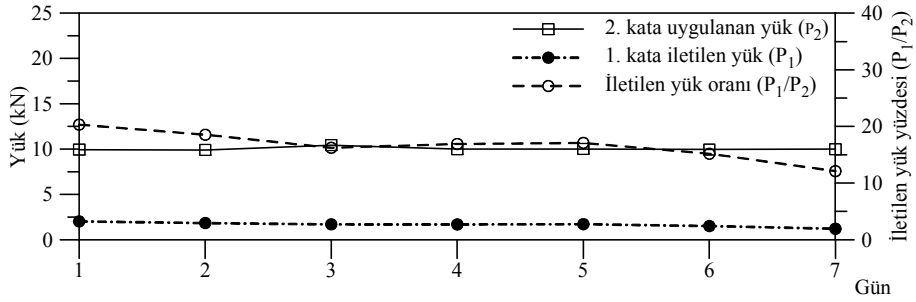
S9 elemanında ilk günkü yük aktarımı %29, son günkü yük aktarımı ise %25 civarındadır. Zamana bağlı olarak yük aktarımındaki kayıp oldukça azdır, Şekil-14.



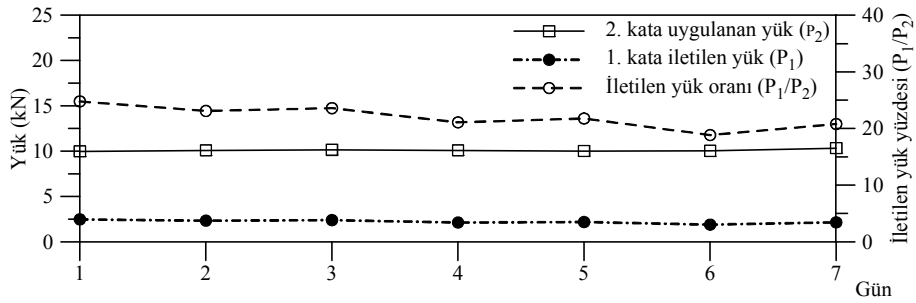
Şekil 6. S1-elemanına uygulanan ve iletilen yükler



Şekil 7. S2-elemanına uygulanan ve iletilen yükler

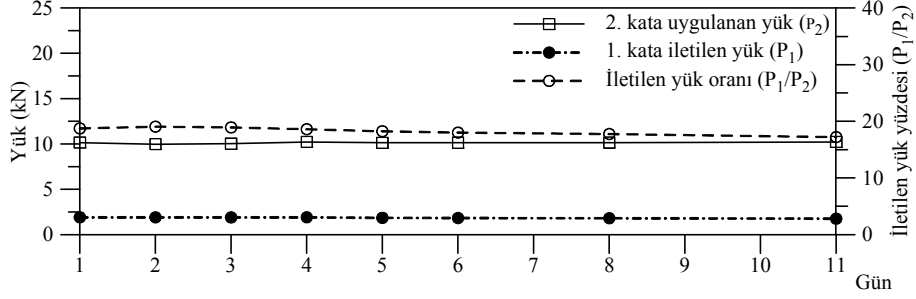


Şekil 8. S3-elemanına uygulanan ve iletilen yükler

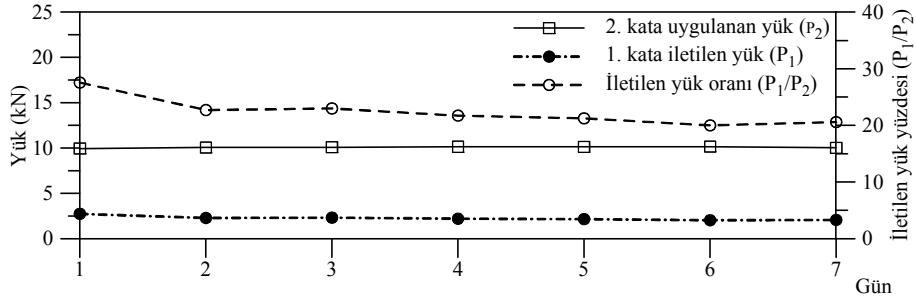


Şekil 9. S4-elemanına uygulanan ve iletilen yükler

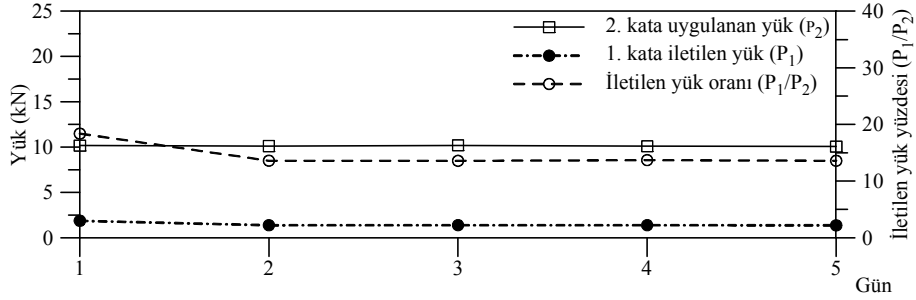
BA Yapılarda Konsol Kirişlere Aktarılan İlave Yükler



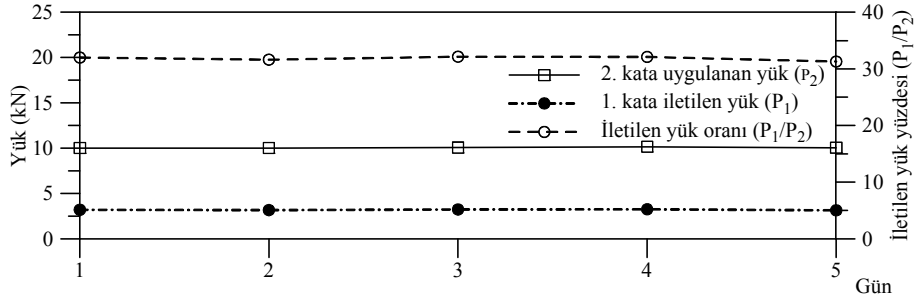
Şekil 10. S5-elemanına uygulanan ve iletilen yükler



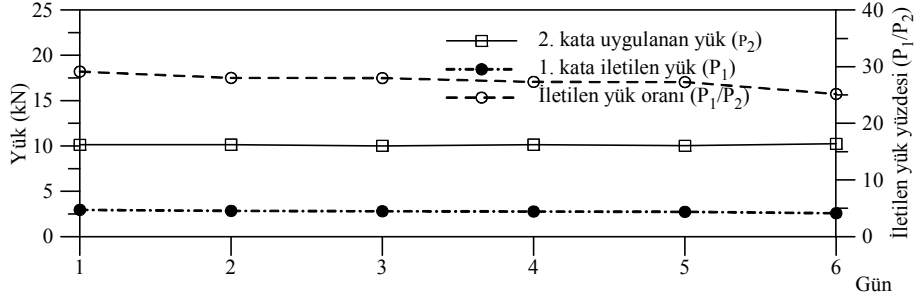
Şekil 11. S6-elemanına uygulanan ve iletilen yükler



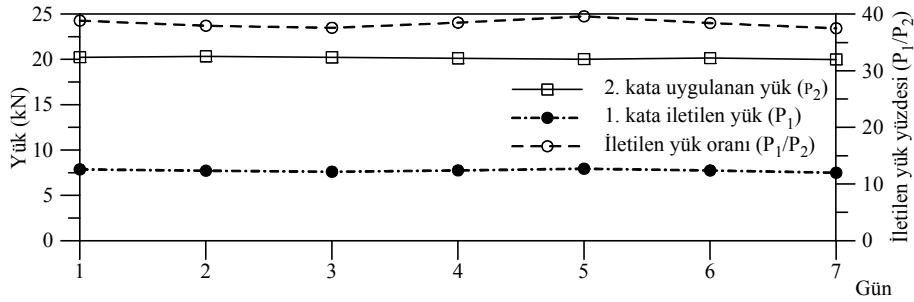
Şekil 12. S7-elemanına uygulanan ve iletilen yükler



Şekil 13. S8-elemanına uygulanan ve iletilen yükler



Şekil 14. S9-elemanına uygulanan ve iletilen yükler



Şekil 15. S10-elemanına uygulanan ve iletilen yükler

S10 elemanının da 1. kat konsolu guseli olarak üretilmiştir. Konsol mesnetindeki kesit yüksekliği üst kattaki konsola göre %50 daha fazladır. Bu elemanda ikinci kat konsol kirişine 10 kN yerine, farkında olunmadan, 20 kN yük uygulandığı unutulmamalıdır. Buna bağlı olarak en büyük yük aktarımı bu elemanda oluşmuş ve deney boyunca ortalama % 38 lik sabit bir yük aktarımı ölçülmüştür, Şekil-15. Ancak deneyin ilk günündeki yükleme sırasında 10 kN yük değerine karşı yük aktarım oranının %30 olduğu belirlenmiştir.

Deney elemanlarına genel olarak bakıldığında S3 ve aşırı yüklü S2 elemanları dışındaki tüm elemanlarda konsollar arası yük aktarımının deney boyunca yaklaşık sabit kaldığı görülmüştür. Deneyler sonunda konsollarda oluşan hasarların tek sorumlusunun konsollar arası yük aktarımı olmadığı çatlama dayanımı ve kullanılabilirlik sınır durumlarının da çok önemli olduğu anlaşılmıştır. Konsollarda oluşan hasarların tek başına dayanım ölçütleri sağlanarak önlenemeyeceği anlaşılmış ve deformasyon ölçütlerinin de sağlanması gerektiği anlaşılmıştır. Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları ile ilgili yönetmelikte (TS500) [7], konsol kiriş yüksekliğinin L/5 den büyük olduğu durumlar için sehim hesabı yapılmayabileceği belirtilmiştir. Amerikan şartnamesi ACI318-05 [8] de ise bu oran L/8 olarak verilmiştir. Ancak deney sonuçları, ele alınan örnek yapıda ve deney elemanlarında bu oran L/2 olmasına rağmen deformasyon kontrolünün yapılması gerektiğini göstermiştir. Ayrıca deneylerden elde edilen sonuçlardan, ACI318-05 ve TS500 de tanımlanan bu sınırlamaların, bir kısmı konsol kirişlere oturan binalardaki konsol kirişler için yetersiz kalabileceği konusunda ciddi kuşku doğmuştur.

S10 dışındaki tüm elemanlarda yük aktarımı, deformasyon ve çatlama dayanımlarına bağlı olarak konsollarda kullanılabilirlik sorunlarının ortaya çıktığı görülmüştür. Ayrıca konsol

kiriş boyuna donatılarının artırılmasının deformasyonları önlemede tek başına yeterli olamayacağı da görülmüştür. S10 elemanında ise uygulanan ve iletilen duvar yükü değerlerinin yaklaşık iki katı olmasına rağmen deformasyonların oldukça sınırlı kaldığı ve herhangi bir kullanım sorunu oluşmadığı görülmüştür. Yani S10 elemanı çok iyi bir davranış sergilemiştir.

Deneyisel çalışmada kolon kesit ve boyuna donatısının pek önemli olmadığı en güçlü kolonlara bağlı konsollarda bile sorular ortaya çıkabildiği görülmüştür.

Deneyler konsol kirişler arasında bir yük aktarımı olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Deney elemanlarının özelliklerine bağlı olarak, 10 kN yükte, aktarılan yük oranının %18 ile %32 arasında değiştiği belirlenmiştir. Deneyler sırasında her elemanda ulaşılan en büyük yük iletim oranlarının ortalaması yaklaşık %25 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bu değer konsol kiriş ve bu kirişe komşu kolonların boyut ve donatısının değişmesiyle pek değişmediği de görülmüştür. Bu nedene hesaplamalarda ardışık iki konsol arasındaki yük iletiminin basitçe %25 alınabileceği konusunda kanaat oluşmuştur. Bu oranın konsolun bağlı olduğu kolon kesit ve donatısı ile konsol boyuna donatısına pek bağlı olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, bir kısmı konsol kirişlere oturan binalarda, en alttaki konsol kiriş yükleri hesaplanırken sadece konsol üzerinde var olan yüklerle yetinmemeli üst kat konsollarından gelen yükler de göz önüne alınmalıdır. Böyle bir binanın düşey düzlem içinde bulunan konsol kirişleri aşağıdan yukarıya doğru numaralandırılacak olunursa, en alttaki 1. konsol kirişin ucuna etki edecek toplam noktasal yük (P) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilecektir.

$$P = \sum_{i=1}^n 0.25^{n-1} P_i \quad (1)$$

i : i . Konsol kirişin numarası

n : Düşey düzlemdaki toplam konsol kiriş sayısı

P_i : i . Kat konsol kirişinin üzerinde bulunan yük (üst katlardan iletilenler hariç)

Ara bir konsol kirişten en alttaki konsol kirişe iletilen yük hızla azalacağından, en alttaki konsol yükünün; üzerindeki birkaç katın konsol kiriş yükleri ile hesaplanmasının yeterli olacağı düşünülmektedir. Eğer tüm katlardaki konsol kiriş yükleri (P_i) eşit ve $n \geq 4$ ise bu durumda en alt kat konsol kirişi üzerindeki toplam yük (P), mevcut yükün 1/3 oranında büyütülmesi ile hesaplanabilecektir ($P=1.33P_i$). Doğal olarak en alt konsol kirişinin dayanım ve sehim hesapları büyütülmüş olan bu yük (P) ile yapılmalıdır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir kısmı konsol kirişlere oturan yapıların en alt konsol kirişleri üzerindeki duvarlarda oluşan çatlakların nedenleri araştırılmıştır. Yapılan ön çalışmalarda, konsol kiriş yüklerinin sadece üzerindeki ağırlıklardan oluşmadığı (teoride böyle olduğu varsayılır) ve dolgu duvarlar aracılığıyla üst kat konsol kirişlerinden de bir miktar yük alabileceği belirlenmiş ve konunun deneysel olarak araştırılmasına karar verilmiştir. Yapılmış olan sınırlı sayıdaki deneylerden elde edilen verilere dayanılarak ulaşılan başlıca sonuçlar

aşağıda özetlenmiştir. Doğal olarak bu sonuçların, yapılmış olan deneylerin özellikleri ve koşulları ile sınırlı olduğu unutulmamalıdır.

1) Çalışma sonunda düşey düzlemdeki komşu iki konsol kiriş arasında %25 civarında bir yük aktarımı olduğu belirlenmiştir. Bu oranın konsolun bağlı olduğu kolon kesit ve donatısı ile konsol boyuna donatısına pek bağlı olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, bir kısmı konsol kirişlere oturan binalarda, en alttaki konsol kiriş yükleri hesaplanırken sadece konsol üzerinde var olan yüklerle yetinmemeli üst kat konsollarından gelen yükler de göz önüne alınmalıdır. Arttırılmış bu yükün nasıl hesaplanması gerektiği bir önceki bölümde anlatılmıştır.

2) Yükteki bu artırım, altında kendi yükünü aktaracak bir duvarı olmayan, sadece en alt konsolu için yapılmalıdır. Birçok bina üzerinde yapılan gözlemler sonucunda, alt yüzden dolgu duvarlarla desteklenen konsol kirişlerin üzerindeki dolgu duvarlarda herhangi bir hasar bulgusuna rastlanmamıştır. Dolayısıyla diğer kat konsollarının yükünde böyle bir artırıma gerek olmadığı sonucuna varılmıştır.

3) En alt konsol kirişi için yapılan bu yük artımı, diğer taşıyıcı yapı elemanlarının kesit ve donatısını azaltıcı yönde olmamalıdır. Aksi durumda söz konusu diğer taşıyıcı yapı elemanların kesit ve donatı hesabı arttırılmamış konsol kiriş yükleri ile yapılmalıdır.

4) Çalışmanın sonunda, büyütülmüş yükler kullanılsa bile, sadece dayanım hesapları ile yetinilemeyeceği, aynı zamanda sehim kontrollerinin de yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. TS500'de [7] konsol kiriş yüksekliğinin L/5 den büyük olduğu durumlarda sehim kontrolünün yapılmayabileceği belirtilmiştir. Aynı oran ACI318-05'de [8] L/8 olarak verilmiştir. Deney elemanlarında bu oran L/2 olmasına rağmen, guseli elemanlar dışındaki konsollarda önemli ölçüde deformasyon problemleri gözlenmiştir. Dolayısıyla TS500 ve ACI318-05'de verilen oranların bu türden kirişlerin tasarımında oldukça yetersiz kalabileceği konusunda ciddi kuşku doğmuştur. Ancak h/L oranının en az $\frac{3}{4}$ olduğu durumlarda deformasyonların oldukça sınırlı kaldığı ve bu ölçütü sağlayan konsol kirişlerde deformasyon hesabı yapılmayabileceği görülmüştür. Bu durumda olası estetik problemlerden kaçınmak için guseli kiriş yapılması uygun bir çözüm olabilir. Her durumda dayanım hesaplarının büyütülmüş yüklerle yapılması gerektiği unutulmamalıdır. Madde 2 de belirtilen nedenlerden ötürü ve dolgu duvarların konsol kiriş deformasyonları üzerindeki azaltıcı etkilerinden dolayı diğer kat konsol kirişlerinin boyutlarında herhangi bir büyütme gerek olmadığı anlaşılmıştır.

5) Özellikle üst kat konsollarından gelen yük aktarımını önlemek amacıyla duvar üst yüzeyi ile kiriş alt yüzeyi arasında derz bırakmanın iyi fikir olmadığı anlaşılmıştır. Derz bırakılması durumunda ara kat konsollarındaki duvarlarda da aynı problemler çıkabileceği anlaşılmıştır. Duvarların, konsol altlarında sürekli bir mesnet oluşturarak, deformasyonları önemli ölçüde sınırladığı gözlenmiştir. Zaten en alt konsoluna oturan duvarlardaki çatlakların nedenlerinden birinin de, en alt konsolun altına boş olmasından kaynaklandığı belirlenmiştir.

6) Özellikle büyük deformasyonlarda konsol kiriş boyuna donatılarının her iki ucunda aderans çözümleri olabileceği görülmüştür. Bu nedenle hem güçlü bir aderans hem de çatlakların sınırlandırılması için mutlaka nervürlü donatı kullanılmalı ve mümkünse konsol donatısı iç kirişte kesilmmeden devam ettirilmelidir.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu-TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Proje kodu İNTAG-A039 ve proje numarası 103-I-023 dir. Değerli katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Semboller

| | |
|----------|---|
| D1,2... | = Deplasman ölçerinin adı |
| f_y | = Donatı akma dayanımı |
| f_u | = Donatı kopma dayanımı |
| f_c | = Betonun ortalama basınç dayanımı |
| i | = Aşağıdan itibaren i. konsol kiriş |
| K105 vb. | = Kiriş adı |
| L | = Konsol kirişin serbest boyu |
| n | = Düşey düzlemdeki toplam konsol kiriş sayısı |
| P | = En alttaki konsol kirişin ucuna etki eden toplam noktasal yük |
| P_i | = i. Konsol kiriş üzerinde bulunan mevcut yük (yukarıdan iletilenler hariç) |
| ϕ | = Donatı çapı |

Kaynaklar

- [1] Yang, D., Park S., Neale, W.K., "Flexural Behaviour of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Prestressed Carbon Composites," *Composite Structures*, 88, 2009, pp. 497–508.
- [2] Mukherjee, A., Rai, L.G., "Performance of Reinforced Concrete Beams Externally Prestressed with Fiber Composites," *Construction and Building Materials*, 23, 2009, pp. 822–828.
- [3] Li, L. J., Guo, Y. C., Liu, F., Bungey, J.H., "Test Analysis for FRC Beams Strengthened with Externally Bonded FRP Sheets," *Construction and Building Materials*, 23, 2008, pp. 315–323.
- [4] Bank, L. C., Arora, D., "Analysis of RC Beams Strengthened with Mechanically Fastened FRP (MF-FRP) Strips," *Composite Structures*, 79, 2007, pp. 180–191.
- [5] Toutanji, H., Zhao, L., Zhang, Y., "Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Externally Strengthened with CFRP Sheets Bonded with an Inorganic Matrix," *Engineering Structures*, 28, 2006, pp. 557–566.
- [6] Anania, L., Badala, A., Failla, G., "Increasing The Flexural Performance of RC Beams Strengthened with CFRP Materials," *Construction and Building Materials*, 19, 2005, pp. 55–61
- [7] Turkish Institute of Standards, "Requirements for Design and Construction of Reinforced Concrete Structures (TS500-02)," *Turkish Standards*, 2002, pp. 12, 24, 25, 63–64.
- [8] ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05)," *American Concrete Institute*, 20, 2005, pp. 111–112.