

Döşeme Donatısının Betonarme Tablalı Kirişlerin Eğilme Momentine Katkısı

Contribution of Slab Reinforcement to the Bending Moment of Beams with Reinforced Concrete Slabs

¹Yunus GENÇ , ²Orhan DOĞAN 

^{1,2}Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale, Türkiye

¹yunusgenc71@yandex.com.tr, ²odogan@kku.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 22 February 2022

Accepted : 9 May 2022

Keywords:

T-Beams, Negative Bending Moment, Slab Reinforcement, System and Floor Mechanization, Strong Column-Weak Beam

ABSTRACT

It is known that in the beam strength calculation of a reinforced concrete building, the slab concrete contributes to the beam in the span, but the slab reinforcement parallel to the beam is neglected at the supports. While many countries' codes suggest that these neglected reinforcement should be taken into account, there is no such statement in our national codes. It is of great importance that parallel slab reinforcements are partially/fully taken into account, as this neglect will put at risk the condition of strong column-weak beam, that is, system mechanization, which precedes hinging in beams. In this study, the contribution of slab reinforcements parallel to the beam, located within the effective table width in the beam support region, to the load carrying capacity of the beam was investigated. In this study, a total of 3 reinforced concrete beams, a fully scaled beam with a slab thickness of 10 cm and a width of 125 cm, with a beam size of 25x45 cm and two beams without slabs of the same dimensions, were produced and subjected to static three-point bending tests. As a result of this study, it is determined that almost all of the slab reinforcements within the effective table width determined in accordance with Turkish Standards-500 (2000) contribute to the moment carrying capacity as a beam reinforcement.

© 2022 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 22 Şubat 2022

Kabul : 9 Mayıs 2022

Anahtar Kelimeler:

Tablalı Kirişler, Negatif Eğilme Momenti, Döşeme Donatısı, Sistem ve Kat Mekanizması, Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş

ÖZET

Bir betonarme binanın kiriş dayanımı hesabında, açıklıkta kirişe döşeme betonunun katkı verdiği ancak, mesnetlerde kirişe paralel döşeme donatısının ihmal edildiği bilinmektedir. Birçok ülke yönetmeliklerinde, ihmal edilen bu donatıların dikkate alınması hususunda önerilerde bulunulurken, ulusal yönetmeliklerimizde böyle bir ifade bulunmamaktadır. Bu ihmalin kirişlerde mafsallaşmayı önceleyen güçlü kolon-zayıf kiriş yani sistem mekanizması koşulu riskte atacağından paralel döşeme donatılarının kısmen/tamamen hesaba katılması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışma ile kiriş mesnet bölgesinde etkili tabla genişliği içerisinde yer alan kirişe paralel döşeme donatılarının kirişin yük taşıma kapasitesine katkısı araştırılmıştır. Bu kapsamda, tabla kalınlığı 10 cm, genişliği 125 cm olan 25x45 cm boyutunda 1/1 ölçekli bir tablalı ve aynı ebatlarda iki tablasız olmak üzere toplam 3 adet betonarme kiriş üretilerek, statik üç noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan bu çalışma sonucunda, TS 500 (2000)'e uygunluğu belirlenen etkili tabla genişliği içerisindeki döşeme donatılarının neredeyse tamamının kiriş donatısı gibi moment taşıma kapasitesine katkı verdiği tespit edilmiştir.

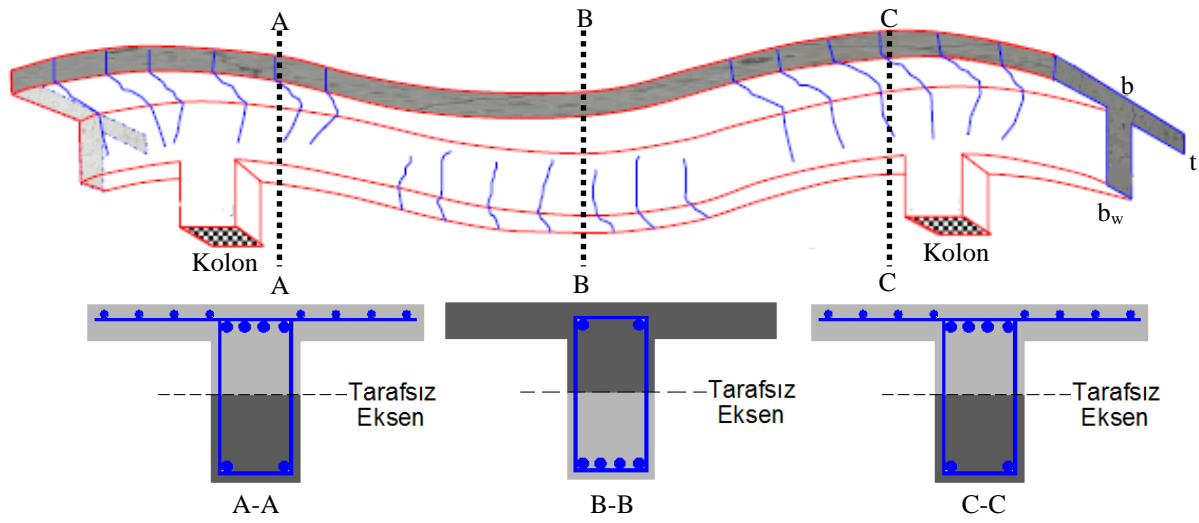
© 2022 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve olan bir yapıda, kiriş-kolon birleşim bölgelerinde yatay deprem yükleri ile mesnet gerilmeleri daha da artmaktadır. Taşıyıcı sistemin kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, kat mekanizmalamaşmalarının ve gevrek göçmelerin önlenmesi için enine ve boyuna donatı hesaplarının iyi yapılması gerekmektedir. Ayrıca, bu birleşim bölgelerinin, birleşen yapı elemanlarından daha güçlü olması gerekmektedir. Betonarme çerçeve bir yapıda kat mekanizmalamaşması ile bir kolonda oluşan göçme, kirişte oluşan göçmeye kıyasla tüm yapıyı etkilemektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'e göre, betonarme tasarımda güçlü kolon-zayıf kiriş prensibi ile sistemin sünek davranış göstermesi sağlanarak, yapının göçmesi önlenmektedir [1]. Bu koşulun sağlanabilmesi için, kolonun alt ve üst taşıma gücü momentinin toplamının, kolona birleşen kirişlerin kolon yüzündeki taşıma gücü momentlerinin toplamından en az %20 güçlü olması gerekmektedir.

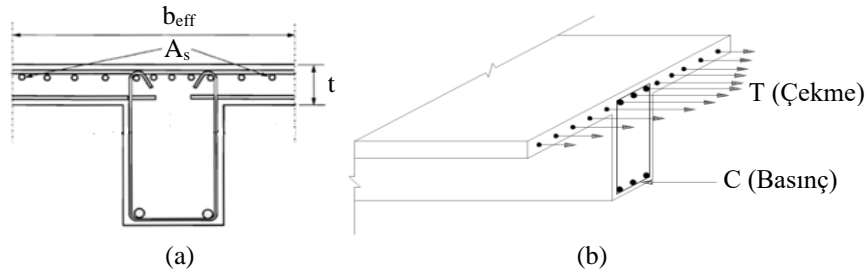
Deprem yönetmeliğinde tanımlanan ve kiriş mesnetinin plastik mafsallarda oluşabilecek en büyük eğilme momenti kapasitesi (M_p), betondaki sargı nedeni ile artan dayanım ve donatı çeliğindeki pekleşme dikkate alınarak hesaplanmaktadır [2]. Bu çalışmada, taşıma gücü momenti (M_r), TS 500 (2000)'de yer alan beton ve çeliğin karakteristik dayanımları (f_{ck} ve f_{yk}) baz alınarak hesaplanmıştır [3].

Betonarme tablalı kirişlerin döşeme ve kiriş betonları birlikte dökülür ve betonun dayanımını kazandıktan sonra monolitik bir davranış gösterirler. Her iki kenarında sürekli döşemesi bulunan orta kirişler "T", bir kenarında döşeme bulunan kirişler ise "L" kesitli tablalı kirişler olarak tanımlanır.



Şekil 1. Çerçeve kirişte şekil değişimi ve en kesitlerdeki donatı detayı.

Bir çerçeve kirişin, döşeme tablası pozitif moment bölgesinde basınç, negatif moment bölgesinde ise çekme etkisinde kalmaktadır (Şekil 1). ACI-318 (2019), CSA-A23.3 (2004) ve NZS 3101.1 (2006)'da güçlü kolon-zayıf kiriş koşulunun sağlanması koşulu için, kiriş nominal taşıma gücü momentinin hesaplanmasında kirişle tek parça olarak dökülen döşemelerin etkili tabla genişliği içerisinde yer alan kirişe paralel döşeme donatılarının dikkate alınmasının doğru olacağı belirtilirken, EN 1992-1-1 (2004) ve EN 1998-1 (2004)'de, sürekli kirişlerin mesnet bölgelerinde, çekme donatılarının Şekil 2(a)'da görüldüğü üzere öncelikle kiriş gövdesi içerisine yerleştirilmesi, bir kısmının da etkili tabla genişliği (b_{eff}) içerisinde gövdeye yakın dağıtılabileceği belirtilmiştir [4-8]. Ayrıca, NZS 3101.1 (2006)'da döşemenin kirişe paralel donatıları, dik dağıtma donatıları ile etkin bir şekilde bağlandığında, eğilme dayanımının katkısının, kirişin toplam dayanımının %15'ini aşmaması gerektiği belirtilmiştir [6].



Şekil 2. (a) Tablalı kesite sahip kirişin çekme donatısının yerleşimi [7-8], (b) Negatif moment etkisindeki tablalı kirişte beklenen donatı kuvvet dağılımı.

TS 500 (2000)'de negatif moment etkisinde kalan mesnet kesitlerinde, tabla betonu içerisinde bulunan kirişle paralel döşeme donatılarının katkısına yer verilmemektedir [3]. TBDY (2018)'de, mevcut bina ve sistemlerin değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi tasarımında, betonarme tablalı kirişlerin negatif plastik momentlerinin

hesabında tabla betonu ve içinde yer alan donatının hesaba katılabileceği ifade edilmiş fakat güçlü kolon-zayıf kiriş koşulunun ve elemanların kapasite tasarımının belirlenmesinde tabla betonun içerisinde yer alan dökme donatısının kısmen/tamamen hesaba katılması ile ilgili ifadeye yer verilmemiştir [1].

Betonarme çerçeve sistemlerin iç ve dış aks kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, tabla betonu içerisinde yer alan dökme donatılarının davranış etkilerini araştırmak için 1/2 ve 3/4 ölçekli yapılan deneysel çalışmalarda, dökme donatısının negatif eğilme etkisindeki kirişlerin taşıma gücünü artırdığı, şiddetli yanal yüklemeye maruz kalan çerçevelerde, aşırı kolon mafsallaşmasını önlemek için gerekli kolon dayanımlarının belirlenmesinde dökme donatısı katkısının dikkate alınması gerektiği belirlenmiştir [9-14].

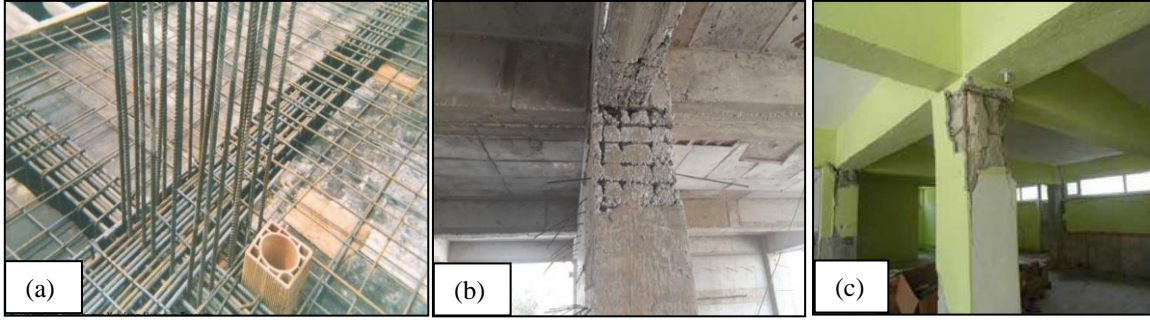
Durani ve Zerbe (1987) tarafından yapılan dökmenin dış aks kolon-kiriş birleşimi davranışına etkisinin incelendiği deneysel çalışmada, 6 adet 3/4 ölçekli tablalı kirişe simüle edilmiş deprem yükleri etki ettirilerek, dökme donatısının kirişlerin negatif eğilme momenti kapasitesini %70'e varan oranda artırdığı, dökme donatısı katkısının göz ardı edilmesinin kolonlarda mafsallaşmaya neden olabileceği belirtilmiştir [15]. Aydemir (2013), yaptığı analitik çalışmada, negatif eğilme etkisindeki tablalı kirişler için yapılan deneyler sonucunda bulunan deneysel moment kapasitesinin, dikdörtgen kesit kabulüyle tabla donatılarının ihmal edildiği varsayılarak belirlenen taşıma gücü moment kapasitesine oranının 1.62-3.78 aralığında arttığı sonucuna varmıştır [16]. Ahmed ve Gunasekaran (2014) deneysel çalışmada, yanal yükler altında biri tablalı biri tablasız olmak üzere toplam 2 adet 1/2 ölçekli iç aks kolon-kiriş birleşimlerinde, dökme donatısının dikkate alınması ile kirişin negatif eğilme momentinde %67.10 oranında önemli bir artış gösterdiği, kirişin moment kapasitesinin büyük olmasının kolonun daha büyük moment kapasitesine ihtiyaç duyacağı, dökme donatısının katkısının ihmal edilmesi halinde kat mekanizmasına sebep olabileceği belirtilmiştir [17].

Mevcut şartnamelere ve yapılan çalışmalara bakıldığında, kirişin açıklık kesiti hesabında etkili tabla genişliğinde yer alan dökme betonu basınç bölgesinde dikkate alınırken, mesnetlerde de tabla donatılarının dikkate alınması bilimsel gerçeklere daha uygun olacaktır. Şekil 2(b)'de görüldüğü üzere, negatif eğilme momenti etkisindeki tablalı kirişin, kirişe paralel dökme donatılarının, kiriş yüzeyinden uzaklaştıkça azalarak kirişe katkı vereceği düşünülmektedir. Dökemelerden gelen donatıların dikkate alınması durumunda, kirişin taşıma gücü gerçeğinden daha fazla çıkacak ve bu da istenmeyen kuvvetli kiriş-zayıf kolon davranışına sebep olacaktır.

Bu çalışmada 1/1 ölçekli, biri tablalı, ikisi tablasız olmak üzere toplam 3 adet betonarme kirişte eğilme deneyleri yapılarak, kiriş mesnet bölgesinde etkili tabla genişliği içerisinde yer alan kirişe paralel dökme donatılarının kirişin yük taşıma kapasitesine katkısı araştırılmıştır. Bu katkının dikkate alınması ile sık donatılı kiriş-kolon birleşim bölgelerinde donatıyı kalınlaştırmak veya çift sıra donatı yapmak yerine, etkili tabla genişliği içerisindeki donatının kısmen veya tamamen kiriş donatısından düşülmesiyle, kolonlardaki ve birleşim bölgelerindeki betonun iyi yerleşimi, vibratör kullanımı (vibratörün donatı aralığından geçememesi) ve beton işçiliği kolaylaşacağından, donatı miktarı ve beton-donatı işçilik maliyeti azalacak ve ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır.

Bu kazanımlara ek olarak gevrek göçme riski, kuvvetli kolon-zayıf kiriş şartına yönelik tehdit ve olası kat mekanizması gibi tasarım olumsuzluklarının da ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Betonarme yapılar monolitik (yekpare) kabul edilmektedir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde donatıların aşırı sıklaşması nedeniyle vibratör kullanılamaması ve betona bilinçsizce su katılması sonucunda oluşan segregasyonlar, bu kabulü yer yer boşa çıkarmaktadır (Şekil 3(a), 3(b)). "Bir zincirin gücü, en zayıf halkasının gücü kadardır." prensibi gereği, özellikle moment ve kesmenin maksimum değerlere ulaştığı kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan segregasyonlardan kaynaklı düşük beton dayanımı gevrek göçme riskini ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca, çekme bölgesinde bulunan kirişe paralel dökme donatılarının katkısı ile kirişlerdeki çekme ve basınç donatı oranları farkının ($\rho - \rho'$), dengeli donatı oranının %85'inden ($\rho_{max} > 0.85\rho_b$) büyük olmasına ve gevrek göçme riskine sebep olacaktır.

Deprem etkisi altında yer alan betonarme çerçeve bir yapıda, kuvvetli kolon-zayıf kiriş koşulu sağlandığı durumda kiriş uçlarında plastik mafsallar oluşacaktır [2]. Kiriş uç bölgelerinde betonun ezilmesi durumunda, alt donatılar kuvvet çifti oluşturarak, ortaya çıkan plastik momentler sayesinde sistem mekanizmasının oluşması sağlanacak ve sistemdeki ani göçmeler önlenmiş olacaktır. Betonarme hesaplamalarda ihmal edilen kirişe paralel etkili dökme donatılarının kirişin moment taşıma kapasitesinde %20'den fazla artışa sebep olması durumunda, kuvvetli kolon-zayıf kiriş kuralı ihlal edileceğinden Şekil 3(c)'de görülen kat mekanizması tehlikesi ortaya çıkacak ve sistemde ani göçmeler olacaktır.



Şekil 3. (a) Kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan donatı sıkışması [18], (b) Kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan segregasyon [19], (c) Kuvvetli kiriş-zayıf kolon riski [20].

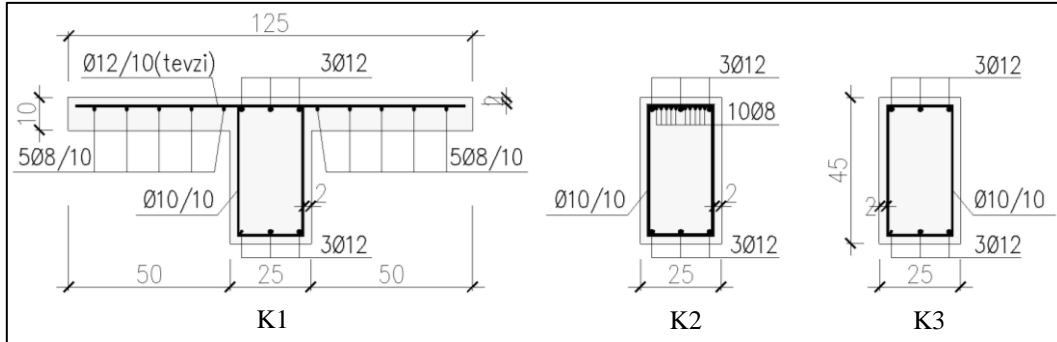
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Deney Numuneleri ve Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada tabla kalınlığı 10 cm, genişliği 125 cm olan 25x45 cm boyutunda bir tablalı ve aynı ebatlarda iki tablasız olmak üzere toplam 3 adet 1/1 ölçekte K1, K2 ve K3 isimli betonarme kiriş numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 4). Tablalı kirişler için yapılan kesit hesaplarında dikkate alınan etkili tabla genişliği (b), Denklem 1’de verilen bağıntıdan hesaplanmış olup b_w kiriş gövde genişliğini, l_p ise kirişin iki moment sıfır noktası arasında kalan uzaklığını ifade etmektedir. Daha kesin hesap yapılmayan durumlar için l_p , sürekli kiriş iç açıklığında 0.61 alınabilmektedir [3]. Burada bahsedilen l ise, kirişin hesap açıklığı olup kirişlerde mesnet ekseninden mesnet eksenine olan uzaklıktır.

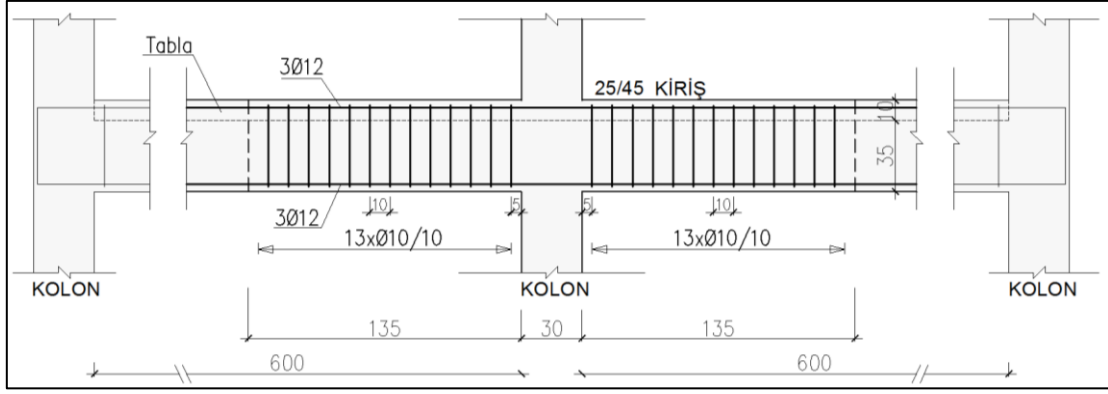
$$b = b_w + 0.2 l_p \quad (1)$$

Etkili tabla genişliği (b), kiriş hesap açıklığı (l) 600 cm olduğu varsayılarak, TS 500 (2000)’de sürekli kirişler için belirtilen T-kesiti gibi simetrik kesitler için Denklem 1 ile hesaplanmış ve 125 cm olarak belirlenmiştir [3]. Eğik çekme kırılmasının gerçekleşmesi ve kemerlenme oluşmaması için kiriş numunesinin toplam uzunluğu, kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı ($a/d=123.75/42.00$) yaklaşık 3 olacak şekilde, 300 cm olarak belirlenmiştir [21]. Ayrıca, erken kesme göçmesinin önlenmesi için sarılma bölgesinde sıklaştırma yapılarak $\emptyset 10/10$ etriye yerleştirilmiştir.



Şekil 4. Deneyde kullanılacak kirişlerin en kesitleri (ölçüler cm).

Etkili tablalı kesiti içerisinde yer alan döşeme donatılarının katkılarının araştırılması amacıyla kiriş üst yan yüzünden başlamak üzere sırayla her iki yöne 10 cm arayla $\emptyset 8$ çapında toplam 10 adet döşeme donatısı ilave edilerek K1 isimli numune oluşturulmuştur. K2 isimli numunede ise, çekme ve basınç bölgesinde 3Ø12 donatı bulunan dikdörtgen kesitli kirişin çekme bölgesine etkili tabla içerisinde yer alan 10Ø8 donatı ilave edilmiştir. K3 isimli referans numunede ise, negatif eğilme etkisinde dikdörtgen kesit kabulü yapılarak, çekme bölgesinde hesaplanan minimum donatı (3Ø12) basınç bölgesinde de kullanılmıştır. Negatif eğilme momenti etkisindeki tablalı kirişin boyuna donatı yerleşimi Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Negatif eğilme momenti etkisindeki tablalı kirişin boyuna donatı yerleşimi (ölçüler cm).

Tablalı ve tablasız deney numunelerinin kalıpları için plywood kalıp kullanılmıştır (Şekil 6). 8, 10 ve 12 mm çaplı donatılar ölçülerine uygun olarak kesilip, kalıp içerisine paspayı bırakılarak yerleştirilmiştir.



Şekil 6. K1, K2 ve K3 kirişlerinin kalıp ve donatılarının hazırlanması.

TS 802 (2016) şartnamesine uygun olarak deneyin yapılacağı laboratuvar ortamında hazırlanan toplam 1.30 m³ beton karışımı, betonda ezilmenin olmaması için C20/25 beton sınıfı hedeflenerek 3 grup halinde dökülmüştür [22]. Betonda kullanılan agrega, TS 706 EN 12620+A1 (2009) şartnamesine uygun olarak doğal kayadan işlenmiş kırma taştan oluşmaktadır [23]. Donatının sık olduğu yerlerdeki betonun yerleşimini sağlayabilmek için maksimum 10 mm'lik agrega boyutu ve S3 sınıfı içerisinde yeralan 120 mm çökme (slump) değeri kullanılmıştır. Beton dökümü sırasında dalıcı vibratör kullanılarak daha az boşuklu beton elde edilmeye çalışılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Betonun hazırlanması.

Deney numuneleri üzerinde test işlemine başlamadan önce, betonarmeyi oluşturan beton ve çeliğin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla, beton dökümü sırasında her deney numunesinden 6 adet olmak üzere toplamda 18 adet 150x150x150 mm beton küp numunesi TS EN 12390-2 (2019)'a uygun olarak hazırlanmıştır

[24]. Bunlardan 3'er adedi beton sertleştikten sonra 28 gün boyunca kür havuzunda küre tabii tutulmuş, diğer küp numuneler ise test gününe kadar deney numunelerinin yanında aynı koşullarda bekletilmiştir. 28 günlük beton dayanımları sonucu, hedeflenen C20/25 beton sağlanmadığı için, kalan küp numunelerinin ve deney numunelerin üzerine jüt kumaş serilerek ve ıslatılarak kürlendirilmiştir. Ayrıca, kirişte gevrek göçmenin olmaması için N-Schmidt beton test çekici ile deney numunelerin basınç dayanımları C20/25 beton sınıfına ulaşıncaya kadar kürlendirilmeye devam edilmiştir. Küp numunelerinin basınç dayanım testleri, TS EN 12390-3 (2019) yönergeleri izlenerek gerçekleştirilmiştir [25]. Betonun 28 günlük ve test günündeki küp numunelerin dayanımları baz alınarak hesaplanan karakteristik silindirik basınç dayanımları (f_{ck}) ile elastisite modülü Tablo 1'de verilmiştir. Küp numuneleri basınç dayanımının silindirik dayanımına dönüştürülmesinde TS EN 206+A2 (2021) standardından faydalanılmış, C20/25 ve daha düşük dayanımlı betonlarda kullanılan 0.80 katsayısı ile karakteristik silindirik dayanımları hesaplanmıştır [26]. Elastisite modülü (E_c), betonun karakteristik silindirik dayanımına bağlı olarak Denklem 2'ye göre belirlenmiştir [3].

$$E_c = 3250 \sqrt{f_{ck}} + 14000 \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

Tablo 1. Beton basınç dayanımları ve elastisite modülleri.

Deney Numunesi	Basınç Dayanımı, f_{ck} (MPa)		Elastisite Modülü, E_c (MPa)
	28 günlük	Deney günü	
K1	14.43	19.10 (153. gün)	28203
K2	15.76	21.43 (165. gün)	29045
K3	19.46	26.50 (172. gün)	30730

Donatı olarak 8, 10 ve 12 mm çaplarına sahip 9 adet nervürlü B500C çelik çubuk, TS EN ISO 6892-1 (2020)'ye uygun olarak çekme testlerine tabi tutulmuş [27] ve ortalama akma dayanımı (f_{yk}), ortalama nihai çekme dayanımı (f_u) ve ortalama kopma uzaması (%) belirlenmiştir. Çeliğin elastisite modülü (E_s) 200000 MPa alınmış olup, deney numunelerinde kullanılan 8, 10 ve 12 mm çapındaki donatılara ait mekanik özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

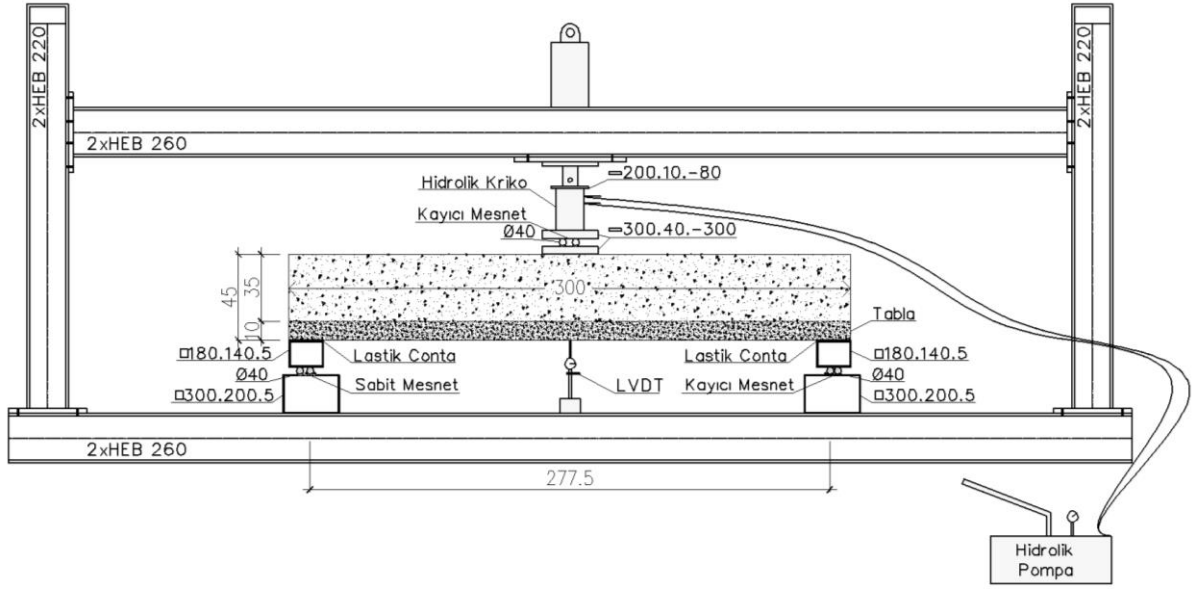
Tablo 2. Donatı özellikleri.

Çap, \varnothing (mm)	Donatı Alanı, A_s (mm ²)	Ortalama Akma Dayanımı, f_{yk} (MPa)	Ortalama Çekme Dayanımı, f_u (MPa)	Ort. Çekme Dayanımı/ Ort. Akma Dayanımı	Ortalama Kopma Uzaması (%)
Ø8	50.24	522.17	641.92	1.23	20.00
Ø10	78.50	518.11	645.24	1.24	20.20
Ø12	113.04	504.42	655.52	1.30	20.56

TS 708 (2016)'ya göre, sünek davranışın sağlanabilmesi için B500C donatılarda, minimum kopma uzamasının %12'den az olamayacağı, deneysel akma dayanımının karakteristik akma dayanımına oranının 1.30'dan büyük olamayacağı, deneysel çekme dayanımının deneysel akma dayanımına oranının 1.15'den küçük veya 1.35'den büyük olamayacağı belirtilmiştir. Yapılan çekme testlerine göre, kopma uzaması %17.50-%22.50, deneysel akma dayanımının karakteristik akma dayanımına oranı 1.16-1.27, deneysel çekme dayanımının deneysel akma dayanımına oranı 1.18-1.32 hesaplanmış ve TS 708 (2016)'ya uygun olduğu tespit edilmiştir [28].

2.2. Deney Düzenine Kurulumu

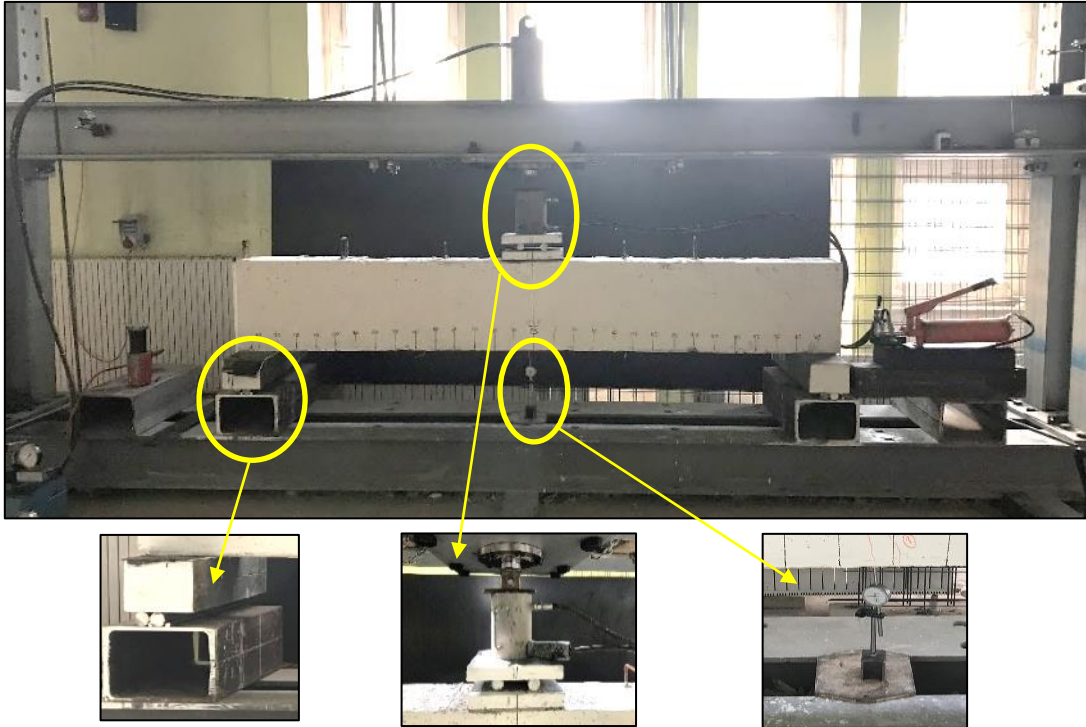
Araştırma konusu kapsamında, laboratuvarında mevcut olan ekip ve ekipmanlar ile deney düzenine çerçeve sistemi kullanılarak, eksik olan mekanik teçhizatlar ve sarf malzemeler ise temin edilerek Şekil 8'de şematik gösterimi verilen deney düzeni hazırlanmıştır. Tablalı giriş ve benzer şekilde diğerlerinin deney düzenine yerleştirilmesi, desteklenmesi ve deneydeki kolaylıklar göz önünde bulundurulmuş ve Şekil 4'te verilen donatı yerleşimi alt-üst şeklinde yapılarak hazırlanmış ve deney yüklemeleri de ters uygulanmıştır.



Şekil 8. Deneysel düzeneğin şematik gösterimi (ölçüler cm).

Hidrolik pompa, hidrolik kriko, deplasman ölçer (mekanik komparatör saati) vb. donanımlar ile sabit ve kayıcı mesnetler deneysel düzeneğine yerleştirilmiştir. Üç noktalı eğilme deneyinde, 400 kN kapasiteli el kontrollü hidrolik kriko yardımıyla betonarme kirişin ortasına eğilme yükü tek noktadan uygulanmıştır. Genel olarak, maksimum göçme yüküne kadar, her 10 kN yük artışı sonrasında 100 mm kapasiteye sahip mekanik komparatör saati yardımı ile kirişin ortasında oluşan sehimler okunmuştur (Şekil 9). Mesnetlerde kullanılan çelik kutu profillerin oldukça rijit ve giriş ile mesnet kutu profili ara yüzeyinde kullanılan lastik contaların kalınlığının 2 mm olmasından dolayı, 277.50 cm açıklıklı kirişin ortasındaki sehime kıyasla mesnetlerdeki yer değiştirmeler oldukça küçük olacağından mesnet yer değiştirmeleri ihmal edilmiştir.

Deneysel numuneleri, gerektiği gibi kesme donatısı ile donatlandırılmış olup, sünek eğilme davranışı sergilemesi beklenen kirişlerdir. Deneysel numunelerinin, artan yükleme etkisi altında açıklık ortasında yaptığı büyük düşey deplasman sonucu, ana çekme donatısının akma dayanımına ulaşması ve betonun basınç bölgesinde ezilmeden sünek bir eğilme davranışı sergileyerek göçmesi beklenmiştir.



Şekil 9. Deneysel düzeneğin hazırlanması.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME

3.1. Betonarme Hesaplar

Negatif moment etkisi altında kalan kiriş kesitinin taşıma gücü hesabı, basit donatılı dikdörtgen kesite ve basınç donatısının da katkısını alan çift donatılı dikdörtgen kesite göre denge ve uygunluk denklemleri kullanılarak ayrı ayrı yapılmıştır. Beton ve donatı arasında tam aderansın olduğu varsayılarak betonun çekme dayanımı ihmal edilmiştir. Donatı çeliğinin ise gerilme-birim deformasyon ilişkisi elasto-plastik olarak alınmıştır.

Deney numunelerinin tasarımında, TS 500 (2000) ve TBDY (2018)'de çekme donatısı için konulan üst sınırları ($\rho_{\max}=0.02$ veya $\rho_{\max}=0.85\rho_b$) aşmaması ve sünek davranış göstermesi ($\epsilon_c < \epsilon_{cu}$ için $\epsilon_s \geq \epsilon_{sy}$) gibi kurallara dikkat edilmiştir. Taşıma gücü ile ilgili yapılan hesaplamalara uygun olarak normal dayanımlı betonlar için en dış basınç lifindeki birim kısalmaya (ϵ_{cu}) 0.003, betonun basınç bloğu katsayısı (k_1) 0.85 alınmış ve basınç bölgesinde TS 500 (2000)'de tanımlanan eşdeğer dikdörtgen gerilme dağılımı kullanılmıştır. Taşıma gücü momenti (M_r), TS 500 (2000)'de yer alan beton ve çeliğin karakteristik dayanımları (f_{ck} ve f_{yk}) baz alınarak hesaplanmıştır [1,3].

Tablo 3. Deney numunelerinin betonarme hesap sonuçları.

Deney Numunesi	Basit Donatılı Hesap			Çift Donatılı Hesap			Beton Kesme Kap. V_c (kN)	Etriye Kesme Kap. V_w (kN)
	Maks. Yük, P (kN)	Taş. Gücü Momenti M_r (kN.m)	Kiriş Kesme Kuvveti $V_{kiriş}$ (kN)	Maks. Yük, P (kN)	Taş. Gücü Momenti M_r (kN.m)	Kiriş Kesme Kuvveti, $V_{kiriş}$ (kN)		
K1	256.90	158.96	128.45	269.92	167.01	134.96	83.52	339.78
K2	260.97	161.48	130.49	271.47	167.97	135.73	88.47	339.78
K3	111.97	69.28	55.98	111.94	69.26	55.97	98.37	332.78

Tablo 3'te verilen etriye kesme kapasitesi (V_w) Denklem 3 ile beton kesme kapasitesi (V_c) ise betonun kritik kesme kuvveti kapasitesine (V_{cr}) bağlı olarak Denklem 4 ve Denklem 5 ile karakteristik dayanımlar baz alınarak hesaplanmış olup, denklemlerde yer alan n etriye düşey kol sayısını, A_{sw} etriye düşey kollarının toplam kesit alanını, f_{yw} etriye donatısının karakteristik akma dayanımını, d kirişin faydalı yüksekliğini, s_k etriye aralığını, f_{ctk} betonun karakteristik eksenel çekme dayanımını, b_w ise kiriş gövde genişliğini ifade etmektedir [29].

$$V_w = (n A_{sw} f_{yw} d) / s_k \quad (3)$$

$$V_c = 0.8 V_{cr} \quad (4)$$

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctk} b_w d \quad (5)$$

Deney numunelerinin geleneksel teorik betonarme hesap sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Deney esnasında K1, K2 ve K3 kirişlerinde beklenen kesme kapasitesi sırasıyla 134.96, 135.73 ve 55.97 kN, betonun kesme kapasitesi 83.52, 88.47 ve 98.37 kN, etriyelerin kesme kapasitesi ise 339.78, 339.78 ve 332.78 kN olarak hesaplanmıştır. Kirişlerde ilk çatlağın, kiriş ortasından alttan yukarı doğru eğilme çatlağı, yükün artmasına bağlı olarak, kesmenin artması ile mesnetlere doğru sıralı ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları beklenmiştir. Ayrıca, etriyelerin kesme kapasitesi yüksek tasarlanarak gevrek kesme göçmesi engellenmiştir. Maksimum eğilme yükü yaklaşık 271 kN olduğundan, deney düzeneğinde 400 kN kapasiteli el kontrollü hidrolik kriko tercih edilmiştir.

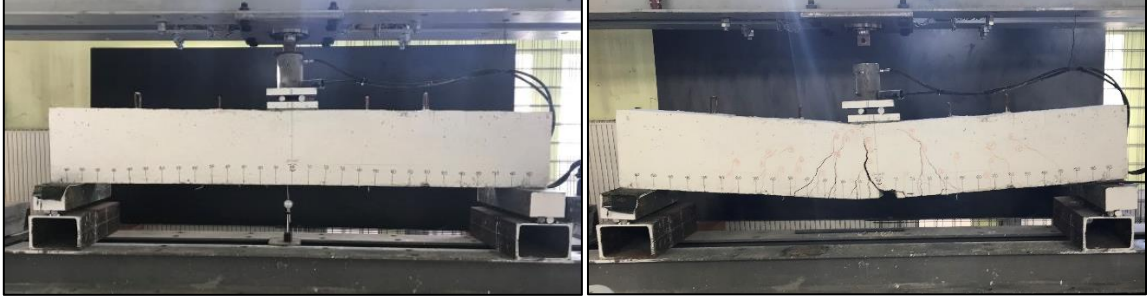
3.2. Gözlemsel Sonuçlar

Çalışma kapsamında, 1/1 ölçekli, biri tablalı, ikisi tablasız olmak üzere toplam 3 adet betonarme kirişte yapılan eğilme deneyleri sürecinde, kirişin sol kenarındaki sabit mesnetin, sağ kenarındaki ve maksimum yük altındaki kayıcı mesnetlerin beklenen düzeyde performans gösterdiği ve üç nokta yüklemeli, tek açıklıklı basit kiriş davranışı sergilediği görülmüştür.

Eğilme deneyleri sonucunda, tablalı K1 kirişinin göçme şekli Şekil 10'da, döşeme donatılı tablasız K2 kirişinin göçme şekli Şekil 11'de, referans numune K3 kirişinin göçme şekli ise Şekil 12'de verilmiştir. Kirişlerin denge altı sünek davranışını gözlemek amacıyla, TS 500 (2000)'de bölme duvarlı çatı ve normal kat elemanları için belirtilen, kiriş serbest açıklığının 240'a bölünmesiyle elde edilen kiriş ortasındaki kullanılabilirlik sehim limitinin ($277.50/240=1.16$ cm) üzerine çıkılarak, sehim 10 cm oluncaya kadar deneye devam edilmiştir. Deney numunelerinin göçme şekillerine ve çatlaklara bakıldığında, basınç bölgesinde betonda ezilme olmaması ile betonun basınç mukavemetinin yeterli olduğu, kesme göçmesinin olmaması ile etriyelerin güçlü tasarlandığı anlaşılabilirlikte, beklenildiği üzere kemerlenme etkisi oluşmamıştır.



Şekil 10. K1 kirişi ve göçme şekli.



Şekil 11. K2 kirişi (10Ø8 döşeme donatılı) ve göçme şekli.

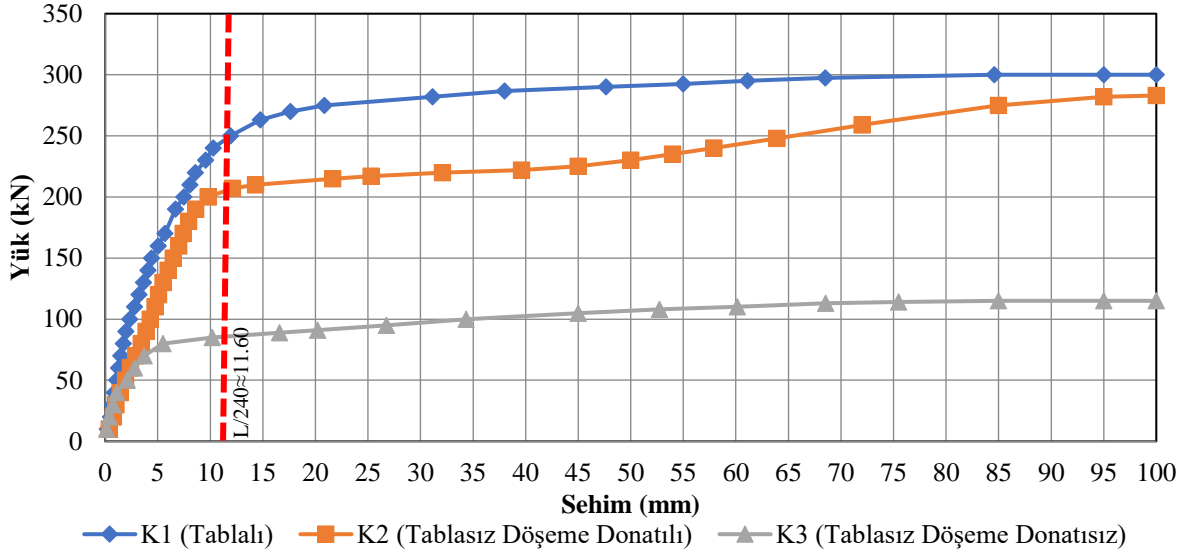


Şekil 12. K3 kirişi (döşeme donatısız) ve göçme şekli.

Kirişlerde ilk çatlak, kiriş ortasından alttan yukarı doğru düşey eğilme çatlakları şeklinde başlamış, yükün artmasına bağlı olarak, daha sonra mesnetlere doğru sıralı ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları şeklinde devam etmiştir. Deneyin ilerleyen sürecinde, oluşan bu çatlakların boyu ve genişliği artmış ve maksimum yüke ulaşıldığında kiriş ortasındaki çatlak genişliği 11.00 mm'ye ulaşmıştır. Kiriş ortasındaki sehim 10 cm'ye ulaşmaya kadar yükleme yapılmış, yük tamamen kaldırıldığında da K1 ve K2 kirişinde 8.50 cm, K3 kirişinde ise 6.70 cm kalıcı sehim görülmüştür.

3.3. Deneysel Sonuçlar

Yapılan tasarıma uygun olarak sünek eğilme davranışı gösteren kiriş numunelerin, üç noktalı yükleme deneyi sonucu ölçülen yük-sehim grafiği Şekil 13'te verilmiştir. Çift donatılı dikdörtgen kesit dikkate alınarak yapılan geleneksel teorik betonarme hesap sonuçlarına göre, tablalı K1 kirişinin maksimum taşıma gücü momenti 167.01 kN.m, maksimum yük 269.92 kN, tablasız döşeme donatılı K2 kirişinin maksimum taşıma gücü momenti 167.97 kN.m, maksimum yük 271.47 kN, tablasız döşeme donatısız K3 referans numunesinin ise maksimum taşıma gücü momenti 69.26 kN.m, maksimum yük 111.94 kN olacak şekilde tasarımları yapılmıştır (Tablo 3).



Şekil 13. Yük-sehim grafiği.

Tablalı K1 kirişinin, betonarme hesaplara uygun olarak 269.92 kN'da akmaya başladığı, kiriş ortasındaki sehim 10 cm'ye ulaştığında ise taşıdığı maksimum yükün 300.00 kN olduğu görülmüştür. Tablasız döşeme donatılı K2 kirişi, betonarme hesaba göre 271.47 kN'da akmaya başlaması gerekirken yaklaşık 207.00 kN'da akmaya başladığı, kiriş ortasındaki sehim 10 cm'ye ulaştığında ise taşıdığı maksimum yükün 283.00 kN olduğu görülmüştür. Referans numunesi olan tablasız döşeme donatısız K3 kirişi, betonarme hesaba göre 111.94 kN'da akmaya başlaması gerekirken, daha erken yaklaşık 80.00 kN'da akmanın başladığı, kiriş ortasındaki sehim 10 cm'ye ulaştığında ise taşıdığı maksimum yükün 115.00 kN olduğu görülmüştür.

Tablalı K1 ve tablasız döşeme donatılı K2 kirişlerinin kiriş ortasındaki sehim 10 cm'ye ulaştığında taşıma kapasitelerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Ancak, tablalı K1 kirişinde döşeme donatısının etriyenin dışında kalması nedeniyle daha düşük bir akma ve taşıma kapasitesi beklenirken, 25.00 cm genişliğindeki tablasız K2 kirişindeki donatı aralıklarının (3Ø12+10Ø8) TS 500 (2000)'e göre (donatı çapından, 4/3 D_{max} ve 20 mm den az olamaz) çok düşük olmasından kaynaklı aderans tam sağlanamadığından yaklaşık %30 oranında akma dayanımı kaybına neden olmuştur. Kirişin hızlı aderans kaybına bağlı oluşan yaklaşık 50 mm'lik sehiminden sonra, kiriş ortasından başlayan aderans kaybının kenarlara doğru devam ettiği ancak, çekme donatısının uçlarından gönyeli olarak ankrajlanmış olması nedeniyle, donatıların germe halatı gibi davranarak, K1 kirişinin taşıma kapasitesine yakın bir kapasiteye yükselttiği görülmüştür. Minimum donatı oranına yakın donatılandırılmış K3 referans kirişinin akma dayanımı, beklenildiği üzere diğer kirişlere kıyasla yaklaşık 1/3 oranında gerçekleşmiştir. Donatının sık olması nedeniyle erken aderans kaybına bağlı olarak, 225.00 kN yük altında K1 kirişindeki sehim yaklaşık 10 mm olurken, K2 kirişinde bu sehim yaklaşık 5 katı (50 mm) olarak gerçekleşmiştir. Erken aderans kaybı neticesinde, K1 kirişine kıyasla K2 kirişinde sehimin hızlı bir şekilde arttığı ve çatlakların daha erken ve daha büyük oluşmasına neden olduğu ancak, kiriş ortasındaki sehim 10 cm'ye ulaştığında taşıma kapasitesine olan negatif etkisinin ise beklenenden az olduğu görülmüştür.

Kiriş ortasındaki sehim $L/240$ limitine (1.16 cm) ulaştığında, tablalı K1 kirişine kıyasla tablasız döşeme donatılı K2 kirişinin sık donatılı olmasından kaynaklı aderans kaybindan dolayı taşıma kapasitesi kaybı yaklaşık %17'lik bir oranla 43.00 kN (250.00-207.00 kN) olduğu görülmüştür. Kiriş ortasındaki sehim 10 cm'ye ulaştığında, tablalı K1 kirişine kıyasla tablasız döşeme donatılı K2 kirişinin sık donatılı olmasından kaynaklı aderans kaybindan dolayı taşıma kapasitesi kaybı yaklaşık %6'lık bir oranla 17.00 kN (300.00-283.00 kN) olduğu görülmüştür (Şekil 13). Kiriş ortasındaki sehim $L/240$ limitine ulaştığında, donatı oranı 0.0032 olan 3Ø12 donatılı kiriş 87.20 kN yük taşıırken, 0.0080 donatı oranına sahip 10Ø8+3Ø12 donatılı kirişin 207.00 kN yük taşıdığı, 10Ø8 donatının kiriş katkısının yaklaşık 119.80 kN (207.00-87.20 kN) olduğu görülmüştür. Aderans kaybı dikkate alınmaksızın, etkili tabla genişliği içerisine yerleştirilecek 10Ø8 donatının kirişe %57.87 oranında katkı vererek, kirişin 326.80 kN yüke ulaşacağı hesaplanmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Kiriş ortasındaki $L/240$ limit sehim için donatı oranlarına bağlı tablalı kiriş yükü.

Donatı Oranı	Tablasız Kiriş Yükü (kN)	Tablalı Kiriş Yükü (kN)	Tablanın Katkısı (%)
ρ_{min} 0.0024	87.00	206.80	137.70
ρ (3Ø12) 0.0032	87.20*	207.00	137.39
ρ (3Ø12+10Ø8) 0.0080	207.00*	326.80	57.87
$\rho_{max}=0.85\rho_b$ 0.0123	433.50	553.30	27.64

*Deneyde elde edilen kiriş yüküdür.

Kiriş ortasındaki sehim L/240 limitine ulaşıldığında, donatı oranlarına bağlı olarak yapılan ekstrapolasyon hesapları sonucunda, aderans kaybı dikkate alınmaksızın, ρ_{min} 'e sahip tablasız kirişin 87.00 kN yük taşıyacağı, 1008 donatılı tablanın eklenmesi ile yaklaşık 1.5 katı olan (%137.70 oranı ile) 206.80 kN bir yükü taşıyabileceği görülmektedir. Benzer şekilde, donatı oranlarına bağlı olarak yapılan ekstrapolasyon hesapları sonucunda, aderans kaybı dikkate alınmaksızın, ρ_{max} 'a sahip tablasız kirişin 433.50 kN yük taşıyacağı, 1008 donatılı tablanın eklenmesi ile yaklaşık %27.64 oranında bir artışla 553.30 kN bir yükü taşıyabileceği görülmektedir.

Kiriş ortasındaki sehim L/240 limitine ulaşıldığında, zayıf donatılı bir kirişin taşıma kapasitesine dökme donatısının katkısı %137'lerde olurken, en güçlü donatılı kirişte bile bu katkının %27.64 olabileceği yapılan ekstrapolasyon ile görülmüştür. Betonarme çerçeve sistemlerin analizinde kiriş-kolon birleşim yerlerinde kirişlerin mafsallaşmasının öncelendiği sistem mekanizmalanması temel prensibini sağlayabilmek için, kuvvetli kolon-zayıf kiriş yaklaşımında kolonların kirişlerden %20 daha güçlü olması beklenirken, dökme donatısının en az katkı vereceği, en güçlü donatılı kirişlerde dahi aderans kaybı da dikkate alındığında dökme donatısı katkı oranının (%27.64-20) %7'nin üzerinde olabileceği görülmüştür. Sonuç olarak, bu bulgular dikkate alındığında, analizlerde etkili tabla genişliği içerisindeki dökme donatısının ihmal ediliyor olması, uygulamada kuvvetli kolon-zayıf kiriş şartının ihlal edildiğini göstermektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 1/1 ölçekli, biri tablalı, ikisi tablasız olmak üzere toplam 3 adet betonarme kirişte üç noktalı yükleme eğilme deneyleri yapılarak, kiriş mesnet bölgesinde etkili tabla genişliği içerisinde yeralan kirişe paralel dökme donatılarının kirişin yük taşıma kapasitesine katkısı araştırılmıştır.

TS 500 (2000)'e uygun belirlenen etkili tabla genişliği içerisinde yeralan dökme donatılarının neredeyse tamamının kiriş etriyesi içerisine yerleştirilen donatı gibi taşıma kapasitesine katkı verdiği tespit edilmiştir. Yapılan deneyler neticesinde, betonarme kolon-kiriş çerçeve sistemlerin tasarım ve hesabında mesnetlerde yeralan etkili tabla genişliği içerisindeki dökme donatılarının dikkate alınması ile elde edilebilecek kazanımlar ve önenebilecek riskler aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Dökme donatılarının dikkate alınması ile mesnetlerde kiriş üst donatılarının azaltılması düşük oranda da olsa bir ekonomi sağlayacaktır.
- Sık donatılı kiriş-kolon birleşim bölgelerinde donatı aralığını artırmak adına donatıyı kalınlaştırmak veya çift sıra donatı yapmak bir çözüm olsa da uygulamada donatı işçiliğini artırmakta ve zorlaştırmaktadır. Kiriş donatılarında yapılacak bu azalma neticesinde, kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki betonun yerleşimi, beton işçiliği ve vibratör kullanımı (vibratörün donatı aralığından geçmesi) kolaylaşacaktır.
- Kirişlerde donatının denge üstü kullanılmasına dayalı gevrek göçmenin önlenmesi adına, maksimum donatı oranını (ρ_{max}) hesabında, kirişin etkili tabla genişliği içerisinde yeralan dökme donatılarını da dikkate alan Denklem 6'nın kullanılması daha sağlıklı olacaktır. Denklem 6'da yer alan, ρ_b dengeli donatı oranını, $A_{s,dökme}$ etkili tabla içerisindeki kirişe paralel dökme donatılarının alanını, b_w kiriş gövde genişliğini, d ise kirişin faydalı yüksekliğini ifade etmektedir.

$$\rho_{max} = 0.85 \rho_b - (A_{s,dökme} / (b_w d)) \quad (6)$$

- Mesnet üst donatılarındaki azaltmaya bağlı olarak, sık donatılı kirişlerde brüt beton ve akışkanlaştırıcı kullanımı yerine, normal betonlarda vibratörün etkili kullanılmamasından veya betona bilinçsizce ekstra su katılmasından kaynaklı ortaya çıkabilecek segregasyon nedeniyle beton dayanımındaki düşüşe bağlı olarak olası gevrek göçmenin de önüne geçilecektir.
- Kiriş ortasındaki sehim L/240 limitine (1.16 cm) ulaşıldığında, tablalı K1 kirişine kıyasla tablasız dökme donatılı K2 kirişinin sık donatılı olmasından dolayı aderans kaybından kaynaklı, yük taşıma kapasitesinde yaklaşık %17'lik bir oranda kayba neden olduğu, donatının ρ_{max} 'a yakın kullanılması halinde bu oranın daha da artacağı görülmüştür.
- Kirişlerde donatının sık olması, erken aderans kaybı nedeniyle kirişlerde sehimin hızlı bir şekilde artmasına, çatlakların daha erken ve daha büyük olmasına dolayısıyla, kirişlerin kullanılabilirlik limitinin erken aşılmasına neden olduğu görülmüştür. Ancak, kiriş ortasındaki sehim 10 cm'ye ulaşıldığında donatının sık olmasının, kirişin taşıma kapasitesine negatif etkisinin ihmal edilecek düzeyde olduğu tespit edilmiştir.
- Kiriş ortasındaki sehim L/240 limitine ulaşıldığında, zayıf donatılı bir kirişin taşıma kapasitesine dökme donatısının katkısı %137'lerde olurken, en güçlü donatılı kirişte bile bu katkının %27.64 olabileceği yapılan ekstrapolasyon ile görülmüştür.
- Büyük depremler sonrasında yerinde yapılan incelemelerde sıklıkla rastlanan kolonlardaki mafsallaşmadan kaynaklı göçmelerin en büyük nedenlerinden biri kuvvetli kolon-zayıf kiriş şartının ihlal edilmesidir. Bu çalışmalar, etkili tabla genişliği içerisindeki dökme donatılarının da kiriş kesit analizlerinde dikkate alınması gerektiğini, aksi halde kolonların göçmesini önceleyen kat mekanizmalanmasına neden olabileceğini göstermiştir.

Bu çalışmada, TS 500 (2000)'e uygun seçilen tabla genişliği içerisindeki donatılarının neredeyse tamamının kiriş donatısı gibi katkı vermesinden dolayı, kirişlerin mesnetlerdeki gerçek etkili tabla genişliği ve kirişten uzaklaştıkça

donatılardaki yük dağılımındaki değişkenliği belirlenerek, bu çalışmanın ek deneylerle genişletilmesi düşünülmektedir.

Yazar Katkıları

Yunus GENÇ: Deneyleri ve hesapları yapmış ve makaleyi yazmıştır. (%50)

Orhan DOĞAN: Fikrin ortaya çıkmasını sağlamış, deney ve hesapların yapılmasında ve makale yazımında yardımcı olmuştur. (%50)

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKÇA

- [1] TBDY, “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.
- [2] U. Ersoy, “Betonarme giriş ve kolonların moment kapasitelerinin saptanması”, Teknik Dergi, vol. 9, no. 4, pp. 1781-1797, 1998.
- [3] TS 500, “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [4] ACI-318, “Building Code Requirements for Structural Concrete”, American Concrete Institute, Farmington Hills, 2019.
- [5] CSA-A23.3, “Design of concrete structures”, Canadian Standards Association, Canada, 2004.
- [6] NZS 3101.1, “Concrete structures standard - Part 1: The Design of Concrete Structures”, New Zealand Standard, New Zealand, 2006.
- [7] EN 1992-1-1, “Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings”, European Committee for Standardization, Brussels, 2004.
- [8] EN 1998-1, “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings”, European Committee for Standardization, Brussels, 2004.
- [9] S. Y. M. Ma, V. V. Bertero, and E. P. Popov, “Experimental and analytical studies on the hysteretic behavior of reinforced concrete rectangular and T-beams”, Report EERC, vol. 76, no. 2, 1976.
- [10] S. Nakata, “Tests of Reinforced Concrete Beam-Column Assemblages”, Building Research Institute Research U.S.-Japan Cooperative Research Program, no.99, 1983.
- [11] C. W. French, and A. Boroojerdi, “Contribution of R/C floor slabs in resisting lateral loads”, Journal of Structural Engineering, vol. 115, no. 1, pp. 1-18, 1989.
- [12] P. C. Cheung, T. Paulay, and R. Park, “interior and exterior reinforced concrete beam-column joints of a prototype two-way with floor slab designed for earthquake resistance”, Report University of Canterbury, Christchurch, vol. 89, no. 2, 1989.
- [13] C. W. French, and J. P. Moehle, “Effect of Floor Slab on Behavior of Slab-Beam-Column Connections”, Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance, American Concrete Institute Special Publication 123, Farmington Hills, 1991.
- [14] S. M. Ahmed, U. Gunasekaran, and G. A. MacRae, “Effect of slab and transverse beam on R.C. beam column joint” International Conference on Earthquake Analysis and Design of Structures (EQADS 2011), India, 2011.
- [15] A. J. Durrani, and H. E. Zerbe, “Seismic resistance of R/C exterior connections with floor slab”, Journal of Structural Engineering, vol. 113, no. 8, pp. 1850-1864, 1987.
- [16] C. Aydemir, “Döşeme donatılarının iç aks girişlerinin negatif moment kapasitesi üzerine etkisi”, Teknik Dergi, vol. 24, no. 1, pp. 6279-6306, 2013.
- [17] S. M. Ahmed, and U. Gunasekaran, “Testing and evaluation of reinforced concrete beam-column-slab joint”, Gadevinar, vol. 66, no. 1, pp. 21-36, 2014.
- [18] URL-1, <https://yapisor.com/16585/kolon-kiris-birlesim-bolgesi>, (Erişim Tarihi: 05.03.2021).
- [19] URL-2, <https://yapisor.com/11700/vibrator-kullanmamanin-yol-actigi-soruna-cozum>, (Erişim Tarihi: 05.03.2021).
- [20] A. Doğangün, A. Ural, H. Sezen, Y. Güney, and F. K. Fırat, “The 2011 Earthquake in Simav, Turkey and Seismic Damage to Reinforced Concrete Buildings”, Buildings, vol. 3, no. 1, pp. 173-190, 2013.
- [21] U. Ersoy, G. Özcebe, and E. Canbay, “Betonarme Cilt 1 – Davranış ve Hesap İlkeleri”, Evrim Yayınevi (9. Basım), 2019.
- [22] TS 802, “Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları” Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2016.
- [23] TS 706 EN 12620+A1, “Beton Agregaları”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [24] TS EN 12390-2, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2019.
- [25] TS EN 12390-3, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Dayanım Deneylerinde Basınç Dayanımının Tayini”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2019.
- [26] TS EN 206+A2, “Beton-Özellik, performans, imalat ve uygunluk”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2021.
- [27] TS EN ISO 6892-1, “Metalik malzemeler - Çekme deneyi - Bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney yöntemi”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2020.

- [28] TS 708, “Çelik-Betonarme için-Donatı çeliği”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2016.
- [29] A. Doğangün, “Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı”, Birsen Yayınevi, (17. Basım), 2020.