



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEPREMDE DÖŞEME DONATILARININ
BİRLEŞİM BÖLGELERİNDEKİ DAVRANIŞININ
DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK ARAŞTIRILMASI**

**YUNUS GENÇ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

DOKTORA TEZİ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Orhan DOĞAN**

KIRIKKALE-2023



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEPREMDE DÖŞEME DONATILARININ
BİRLEŞİM BÖLGELERİNDEKİ DAVRANIŞININ
DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK ARAŞTIRILMASI**

**YUNUS GENÇ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

DOKTORA TEZİ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Orhan DOĞAN**

KIRIKKALE-2023

Yunus GENÇ tarafından hazırlanan “**DEPREMDE DÖŞEME DONATILARININ BİRLEŞİM BÖLGELERİNDEKİ DAVRANIŞININ DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK ARAŞTIRILMASI**” adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Orhan DOĞAN
Yapı A.B.D., Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Başkan: Prof. Dr. İlhami DEMİR
Yapı Malzemesi A.B.D., Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Prof. Dr. Alper BÜYÜKKARAGÖZ
Yapı A.B.D., Gazi Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Prof. Dr. Baki ÖZTÜRK
Yapı A.B.D., Hacettepe Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Prof. Dr. Osman BİCAN
Mekanik A.B.D., Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi: .../.../2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Recep ÇALIN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



Aileme...

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Yunus GENÇ

27.09.2023

ÖZET

DEPREMDE DÖŞEME DONATILARININ BİRLEŞİM BÖLGELERİNDEKİ DAVRANIŞININ DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK ARAŞTIRILMASI

GENÇ, Yunus

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Orhan DOĞAN

Eylül 2023, 157 sayfa

Türkiye, üç büyük diri fay kuşağını içeren, dünyanın en sismik ve aktif bölgelerinden biridir. Ülkemizin konut stokunun yaklaşık %90'ını oluşturan betonarme binaların tasarımında, temel prensiplerden birisi taşıyıcı elemanlarda gevrek göçmenin olmaması, diğeri de kolonların moment taşıma kapasitesi bakımından kirişlerden %20 daha güçlü olmasıdır. Ancak, depremde yıkılan betonarme karkas binalar güçlü kolon-zayıf kiriş şartını (sistem mekanizmalanması) sağlayacak şekilde tasarlanmış olmasına rağmen hemen hemen tamamının kolonları göçtüğü için (kat mekanizmalanması) yıkıldığı görülmüştür.

Betonarme binanın kiriş dayanımı hesabında, açıklıkta kirişe döşeme betonunun katkı verdiği ancak, mesnetlerde komşu döşemelerin kirişe paralel donatılarının ihmal edildiği bilinmektedir. Birçok ülke yönetmeliklerinde, ihmal edilen bu donatıların dikkate alınması hususunda önerilerde bulunulurken, ulusal yönetmeliklerimizin dikkate almadığı görülmektedir. Mevcut şartnamelere ve yapılan çalışmalara bakıldığında, kirişin betonarme açıklık kesit hesabında etkili tabla genişliği kadar döşeme betonunun kiriş basınç bölgesine katkı verdiğiinden dolayı dikkate alındığı görülmektedir. Ancak, mesnetlerdeki kesit hesabında döşeme kirişin çekme bölgesinde kaldığı için döşemenin çatlamış olduğu kabul edildiğinden betonun dikkate alınmadığı bunun yanında, kiriş donatılarına paralel yakın mesafedeki döşeme donatılarının kirişin mesnet bölgesindeki eğilme momentine katkısının ihmal edildiği görülmektedir. Bu ihmalin, çekme bölgesindeki kirişin donatı oranını $0.85\rho_b$ 'nin üzerine taşıyarak kirişte gevrek göçmelere neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, kirişin moment taşıma kapasitesini %20'den çok daha fazla arttırarak kirişlerde mafsallaşmayı önceleyen güçlü kolon-zayıf kiriş yani sistem mekanizmalanması koşulunu riske attığı ve kat mekanizmalanmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, komşu döşemelerin kirişe paralel donatılarının kısmen/tamamen hesaba katılması güçlü kolon-zayıf kiriş koşulu bakımından büyük önem arz etmektedir.

Bu deneysel doktora çalışmasının birinci aşamasında, kiriş mesnet bölgesinde döşeme donatılarının eğilme momentine katkısı, ikinci aşamasında ise mesnetlerde toplam etkili tabla genişliği, döşeme donatılarının kirişten uzaklığına bağlı olarak

katkısındaki azalış ve bu genişlik içerisinde yer alan ve kirişe katkı veren donatıların % olarak eşdeğerlik oranı araştırılmıştır.

Bu deneysel çalışmanın sonucunda;

- Kiriş gövde yüzeyinden uzaklaştıkça döşeme donatısının katkısının parabolik bir şekilde azaldığı belirlenmiştir.
- Kiriş gövde yüzeyinden 120 cm'den ($2h$ =kiriş yüksekliğinin 2 katından) daha uzaktaki donatıların katkısının olmadığı belirlenmiştir.
- Negatif eğilme momenti hesabında döşeme donatısının kiriş ekseninden uzaklığına bağlı olarak, gerçek simetrik/asimetrik tablalı kirişlerin gerekli çekme donatı alanını veren bağıntılar belirlenmiştir.
- Kiriş gövde genişliğine, yüksekliğine ve tablanın simetrik durumuna bağlı olarak negatif eğilme bölgesindeki toplam etkili tabla genişliğini veren bağıntı belirlenmiştir.
- Etkili tabla genişliği içerisindeki kirişe paralel döşeme donatılarının yaklaşık %35'inin kiriş etriyesi içerisinde gibi kirişin taşıma kapasitesine katkı verdiği belirlenmiştir.
- Kuvvetli kolon-zayıf kiriş şartını sağlamak yani kirişlerin göçmesini önceleyen sistem mekanizmasını getirmek ve denge üstü donatıdan gevrek göçme riskini önlemek adına mesnette etkili tabla genişliği içerisindeki döşeme donatılarının %35'ini dikkate alarak kiriş çekme donatılarını azaltan bağıntı elde edilmiştir.

Ayrıca, kiriş donatılarındaki bu azaltmanın;

- Donatı miktarı ve beton-donatı işçilik maliyetini azaltacağı,
- Kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki beton dayanımını sağlayabilmek adına, beton yerleşimine katkı veren vibratör kullanımını (vibratörün donatı aralığından geçmesi) kolaylaştıracığı,
- Şantiyede bilinçsizce ihtiyaçtan fazla ilave edilen fazla suyun neden olduğu segregasyonun önleneyeceği,
- Ülke ekonomisine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Sistem ve kat mekanizması, güçlü kolon-zayıf kiriş birleşimi, eğilme momenti taşıma kapasitesi, donatı oranı, negatif eğilme momenti, etkili döşeme donatısı, mesnette etkili tabla genişliği, mesnette betonarme tablalı kiriş.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF SLAB REINFORCEMENTS IN JOINT AREAS DURING EARTHQUAKE

GENC, Yunus

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, Ph. D. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Orhan DOĞAN

September 2023, 157 pages

Turkiye is one of the most seismic and active regions in the world, containing three major active fault zones. In the design of reinforced concrete buildings, which constitute approximately 90% of the housing stock of our country, one of the basic principles is that there is no brittle failure in the structural elements, and the other is that the columns are 20% stronger than the beams in terms of moment carrying capacity. However, although the reinforced concrete buildings collapsed in the earthquake were designed to provide the strong column-weak beam (system mechanization), it was observed that almost all collapsed due to the collapse of the columns (storey mechanization).

It is known that the slab concrete contributes to the beam in the span in the calculation of the beam strength of the reinforced concrete building, but the reinforcements of the adjacent slabs parallel to the beam are neglected at the supports. In many country codes, suggestions are made to consider these neglected equipment, while it is seen that our national codes are neglected. When we look at the existing codes and studies, it is seen that the slab concrete contributes to the beam pressure zone as much as the effective slab width in the calculation of the reinforced concrete span section of the beam. However, in the section calculation on the supports, it is seen that the concrete is not taken into account since the slab remains in the tension zone of the beam and the slab is considered to be cracked. It is thought that this neglecting causes brittle failures in the beam by carrying the reinforcement ratio of the beam in the tension zone above $0.85\rho_b$. In addition, it is thought that by increasing the moment carrying capacity of the beam by more than 20%, it endangering the strong column-weak beam which means system mechanization condition that precedes the hinge in beams and causes storey mechanization. Therefore, full/partial consideration of the reinforcements of adjacent slabs parallel to the beam is of great importance in terms of strong column-weak beam condition.

In the first stage of this experimental PhD study, the contribution of the slab reinforcements to the bending moment in the beam-column conjunction, in the second stage, the total effective slab width, the decrease in the contribution of the slab reinforcements depending on the distance of the slab reinforcements from the

beam and the equivalence rate in % of the reinforcements located within this width and contributing to the beam were investigated.

As a result of this experimental study;

- It has been determined that the contribution of the slab reinforcement decreases as the reinforcement placed away from the web of the beam in a parabolic way.
- It has been determined that the reinforcements placed away from the web of the beam far from further than 120 cm ($2h$ =more than 2 times the beam height) do not contribute.
- It has been determined that in the negative bending moment calculation, depending on the distance of the slab reinforcement from the beam axis, the relations giving the required tensile reinforcement area of the real symmetrical/asymmetrical beams.
- Depending on the beam web width, height and the symmetrical condition of the slab, the relation giving the total effective slab width in the negative bending region was determined.
- It was determined that approximately 35% of the slab reinforcements parallel to the beam within the effective slab width contributed to the bearing capacity of the beam, as in the beam stirrup.
- In order to provide the strong column-weak beam condition, to bring the system mechanism that prioritizes the collapse of the beams and to prevent the risk of brittle collapse due to the over reinforcing, a relation that reduces the beam tension reinforcement has been obtained by taking into account 35% of the slab reinforcements within the effective slab width at the support.

In addition, it has been thought that this reduction in beam reinforcement will;

- Reduce the amount of reinforcement and the labor cost of concrete-reinforcement,
- Facilitate the use of vibrators (vibrator passing through the reinforcement gap) that contributes to the concrete settlement in order to provide concrete strength in the column-beam junction areas,
- Prevent segregation caused by the extra water unconsciously added at the site to the concrete more than need,
- Contribute to the country's economy.

Key words: System and storey mechanisms, strong column-weak beam joint, bending moment carrying capacity, reinforcement ratio, negative bending moment, effective slab reinforcement, effective slab width at support, reinforced concrete (RC) T-beam at support.

TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu araştırma için beni yönlendiren, değerli vaktini ayırarak bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, karşılaştığım zorlukları tecrübeleri ile aşmamda yardımcı olan fikirleri ile bana yeni bakış açısı kazandıran kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Orhan DOĞAN'a ve eşi Sayın Filiz DOĞAN'a hoşgörüsü ve emekleri için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez İzleme Komitesinde ve Doktora Tez Jürimde yer alarak kıymetli zaman ve değerli akademik deneyimlerini esirgemeyen hocalarım Sayın Prof. Dr. İlhami DEMİR ve Sayın Prof. Dr. Osman BİCAN'a, tezimde jüri üyesi olmayı kabul eden ve katkılarını esirgemeyen hocalarım Sayın Prof. Dr. Baki ÖZTÜRK ve Sayın Prof. Dr. Alper BÜYÜKKARAGÖZ'e çok teşekkür ederim.

2022/033 No`lu Proje ile tezime sağladığı destek için Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür eder, Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nün çok değerli akademik personeline saygılarımı sunarım.

Doktora çalışmalarımda bana destek olan arkadaşlarım Araş. Gör. Dr. Orhan Gazi ODACIOĞLU, Öğr. Gör. Dr. Melek AKGÜL, Yüksek İnşaat Mühendisleri Mehmet Ali KALAYLI, Fulya KALE ve Orkun ÇELİK'e yardım ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Deney numunelerinin oluşturulması, deneylerin yapılması sürecinde yardımlarını esirgemeyen başta Yük. İnş Müh. Nassirou BANDE olmak üzere İnşaat Mühendisleri Anılcan GÜLBİTTİ ve Kadir ALTUNKAYNAK'a, ofislerini bize açan ve desteklerini esirgemeyen Yük. İnş Müh. Ali Mert PELEN başta olmak üzere tüm Pelen Mühendislik çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, doktora eğitimi boyunca desteklerini esirgemeyen Orman Genel Müdürlüğü İnşaat ve İkmal Dairesi Başkanı İrfan FİLİK'e çok teşekkür ederim.

Haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim, beni büyüten ve zor şartlarda yetiştiren, en iyi seviyeye gelmem için desteğini hiçbir zaman esirgemeyen annem Döndü GENÇ'e, babam Nuri Dede GENÇ'e, kardeşlerim Naile GENÇ İPSİZ ve Miray AYAŞAR'a; tüm eğitim hayatım boyunca beni destekleyen, her zaman bana güç veren ve daima yanımda olarak başarıya ulaşmamı sağlayan eşim Safiye GENÇ'e, canımdan kıymetli evlatlarım kızım Gülce ve oğlum Görkem'e minnet ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kuvvetli Kolon-Zayıf Kiriş Prensibi	3
1.2. Sünek Kırılma ve Gevrek Göçme Davranışları	7
1.3. Segregasyon ve Korozyon Etkileri	8
1.4. Literatür Değerlendirmesi	9
1.5. Tezin Amaç ve Önemi	18
2. MATERYAL VE YÖNTEM	23
2.1. Deney Elemanlarının Geometrik Özellikleri ve İsimlendirilmeleri	25
2.1.1. 1/1 Ölçekli Kiriş Deneyi	25
2.1.2. 1/2 Ölçekli Kiriş Deneyi	31
2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması	34
2.2.1. 1/1 Ölçekli Kiriş Deneyi	34
2.2.1.1. Agrega	34
2.2.1.2. Çimento	36
2.2.1.3. Karışım Suyu	37
2.2.1.4. Katkı Malzemeleri	38
2.2.1.5. Betonarme Çeliği	38
2.2.1.6. Beton	39
2.2.2. 1/2 Ölçekli Kiriş Deneyi	44
2.2.2.1. Betonarme Çeliği	44
2.2.2.2. Beton	46
2.3. Deney Numunelerinin Üretilmesi	48
2.3.1. 1/1 Ölçekli Kiriş Deneyi	48
2.3.2. 1/2 Ölçekli Kiriş Deneyi	53

2.4. Deneyde Kullanılan Ekipmanlar ve Özellikleri	59
2.4.1. Yükleme Çerçevesi	59
2.4.2. Hidrolik Kriko	60
2.4.3. Mekanik Komparatör Saati	60
2.4.4. Portal Vinç ve Caraskal (Hareketli Palanga)	61
2.4.5. Hidrolik Lemko (Seyyar Vinç)	61
2.4.6. Destek Plakları ve Diğer Malzemeler	62
2.5. Deney Düzenekinin Kurulumu	62
2.6. Ölçüm Düzeni	66
3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	68
3.1. Betonarme Hesaplar	68
3.1.1. 1/1 Ölçekli Kiriş Deneyi	72
3.1.2. 1/2 Ölçekli Kiriş Deneyi	73
3.2. Gözlemsel Sonuçlar ve Değerlendirme	74
3.2.1. 1/1 Ölçekli Kiriş Deneyi	74
3.2.1.1. TK1 (Tablalı) Kiriş Numunesi	74
3.2.1.2. K2 (Döşeme Donatılı) Kiriş Numunesi	77
3.2.1.3. K3 (Referans) Kiriş Numunesi	79
3.2.2. 1/2 Ölçekli Kiriş Deneyi	81
3.2.2.1 B0-1 ve B0-2 (Referans) Kiriş Numuneleri	82
3.2.2.2 TB1-1 ve TB1-2 Kiriş Numuneleri	84
3.2.2.3 TB2-1 ve TB2-2 Kiriş Numuneleri	86
3.2.2.4 TB3-1 ve TB3-2 Kiriş Numuneleri	88
3.2.2.5 TB4-1 ve TB4-2 Kiriş Numuneleri	90
3.2.2.6 B1-1 ve B1-2 Kiriş Numuneleri	92
3.2.2.7 B2-1 ve B2-2 Kiriş Numuneleri	94
3.2.2.8 B3-1 ve B3-2 Kiriş Numuneleri	96
3.2.2.9 B4-1 ve B4-2 Kiriş Numuneleri	99
3.3. Rijitlik ve Süneklik Değerlerinin Belirlenmesi ve Değerlendirmesi ...	101
3.3.1. 1/1 Ölçekli Kiriş Deneyi	103
3.3.2. 1/2 Ölçekli Kiriş Deneyi	104
3.4. Enerji Tüketme Kapasitelerinin Belirlenmesi ve Değerlendirmesi	107
3.4.1. 1/1 Ölçekli Kiriş Deneyi	108
3.4.2. 1/2 Ölçekli Kiriş Deneyi	109
3.5. Yük-Sehim Grafiklerinin Belirlenmesi ve Değerlendirmesi	114

3.5.1. 1/1 Ölçekli Kiriş Deneyi	114
3.5.1.1. TK1 (Tablalı) Kiriş Numunesi	115
3.5.1.2. K2 (Döşeme Donatılı) Kiriş Numunesi	116
3.5.1.3. K3 (Referans) Kiriş Numunesi	117
3.5.1.4. Yük-Sehim Grafiklerinin Genel Değerlendirmesi	118
3.5.2. 1/2 Ölçekli Kiriş Deneyi	120
3.5.2.1 B0-1 ve B0-2 (Referans) Kiriş Numuneleri	122
3.5.2.2 B1-1 ve B1-2 ile TB1-1 ve TB1-2 Kiriş Numuneleri	123
3.5.2.3 B2-1 ve B2-2 ile TB2-1 ve TB2-2 Kiriş Numuneleri	124
3.5.2.4 B3-1 ve B3-2 ile TB3-1 ve TB3-2 Kiriş Numuneleri	125
3.5.2.5 B4-1 ve B4-2 ile TB4-1 ve TB4-2 Kiriş Numuneleri	127
3.5.2.6. Yük-Sehim Grafiklerinin Genel Değerlendirmesi	128
3.6.TS-500'e Göre Belirlenen Etkili Tabla Genişliğindeki Döşeme Donatısının Kirişlerin Eğilme Momentine Katkısının Belirlenmesi ...	131
3.7. Negatif Eğilmede Toplam Etkili Tabla Genişliğinin ve Döşeme Donatısının Katkı Oranının Belirlenmesi	133
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	141
4.1. Sonuçlar	141
4.2. Öneriler	149
KAYNAKLAR.....	150
ÖZGEÇMİŞ	156

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. 1/1 ölçekli deney numunelerinin isimlendirilmesi	31
2.2. 1/2 ölçekli deney numunelerinin isimlendirilmesi	33
2.3. Karışımda kullanılan ince ve iri agreganın fiziksel özellikleri	35
2.4. Karışımda kullanılan agreganın elek analizi sonuçları	36
2.5. CEM IV/B (P) 32,5 N-SR çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri (TS EN 197-1, 2012)	37
2.6. Donatılara ait mekanik özellikler (1/1 ölçekli deney)	38
2.7. Hesaplamalarda kullanılan donatı özellikleri (1/1 ölçekli deney)	39
2.8. Deney elemanlarında kullanılan 1 m ³ beton için karışım oranları	40
2.9. Beton silindir basınç dayanımları ve elastisite modülleri (1/1 ölçekli deney)	44
2.10. Donatılara ait mekanik özellikler (1/2 ölçekli deney)	45
2.11. Hesaplamalarda kullanılan donatı özellikleri (1/2 ölçekli deney)	46
2.12. Beton silindir basınç dayanımları ve elastisite modülü (1/2 ölçekli deney)	48
3.1. Deney numunelerinin betonarme hesap sonuçları (1/1 ölçekli deney)	73
3.2. Deney numunelerinin betonarme hesap sonuçları (1/2 ölçekli deney)	73
3.3. $\delta u=100$ mm deplasman için süneklik ve rijitlik değerleri (1/1 ölçekli deney)	103
3.4. $\delta u=50$ mm deplasman için süneklik ve rijitlik değerleri (1/2 ölçekli deney)	105
3.5. Kirişlerin l/240 ve 50 mm sehimlerde gerçekleşen enerji tüketme kapasiteleri (1/2 ölçekli deney)	112
3.6. Kiriş ortasındaki l/240 limit sehim için donatı oranlarına bağlı tablalı kiriş yükü (1/1 ölçekli deney)	132
3.7. Tablalı, tablasız ve referans kirişlerin paspayı çıkartılmış tabla genişlikleri ve 50 mm sehimde gerçekleşen ortalama yük kapasiteleri	134
3.8. Döşeme donatısının kiriş ekseninden uzaklığına bağlı katkı oranının belirlenmesi	136
3.9. Kiriş gövde yüzeyinden döşeme donatısının her 10 cm uzaklığına bağlı yüzdesel katkısı	137

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

Sayfa

1.1. Çerçeve kirişte şekil değişimi ve en kesitlerdeki donatı detayı (Genç ve Doğan, 2022)	2
1.2. Esas kiriş, enine kiriş ve döşeme tablası içeren strut-tie modeli	3
1.3. a) Betonarme yapıda oluşan hasar, b) Tablayı etkileyen çatlağın detayı (Santarsiero ve Masi, 2020)	3
1.4. Kiriş-kolon birleşim bölgelerinde oluşan momentler (TBDY, 2018)	4
1.5. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan depremlerinde kuvvetli kiriş-zayıf kolon tasarımından kaynaklı yıkımlar	5
1.6. Tablalı kesite sahip kirişin çekme donatısının yerleşimi (EN 1992-1-1, 2004; EN 1998-1, 2004)	10
1.7. Etkili tabla genişlikleri (b_{eff}).....	12
1.8. Negatif eğilme momenti etkisindeki tablalı kirişte beklenen iç kuvvetler (Genç ve Doğan, 2022)	19
1.9. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan donatı sıkışması (Yapısor, 2021a)	20
1.10. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan segregasyon (Yapısor, 2021b)	21
1.11. Birleşim bölgelerinde segregasyona bağlı oluşan donatı korozyonu (Turkchem, 2021)	21
1.12. Kuvvetli kiriş-zayıf kolon riski (Doğangün, Ural, Sezen, Güney ve Fırat, 2013)	22
2.1. Deney numunesi iç kiriş-kolon birleşimi (ölçüler cm)	23
2.2. Negatif eğilmede döşeme donatılarındaki değişken şekil değiştirme dağılımı için kullanılan birleşim modeli a) Kabul edilen mekanik model b) Şekil değiştirme sonrası şematik gösterim (Pantazopoulou vd., 1988)	24
2.3. Negatif eğilme etkisi altındaki betonarme kirişin döşeme donatılarındaki birim şekil değiştirme dağılımı	24
2.4. Eğilme momenti etkisinde tabla betonundaki basınç gerilmelerinin dağılımı (MacGregor ve Wight, 2005; Küçükarslan, 2010)	25
2.5. Simetrik ve simetrik olmayan kesitlerde etkili tabla genişliği (TS 500, 2000)	26
2.6. Sürekli bir kirişte moment diyagramı ve moment sıfır noktaları	26
2.7. 1/1 ölçekli çalışmada kullanılan kalıp planı	27
2.8. İç aks kiriş-kolon birleşimi (a) Plan; (b) A-A kesiti	27

2.9. Kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı (a/d) 3~7 olan kirişte eğik çatlakların oluşumu (Ersoy vd., 2019)	29
2.10. 1/1 ölçekli deneyde kullanılacak kirişlerin en kesitleri (ölçüler cm)	30
2.11. 1/1 ölçekli deneyde kullanılacak kirişlerin boy kesiti (ölçüler cm)	30
2.12. 1/2 ölçekli deneyde kullanılacak kirişlerin en kesitleri (ölçüler cm)	32
2.13. İnce ve iri agrega görünümü	35
2.14. Beton için belirlenen granülometri eğrisi	36
2.15. Çimento	37
2.16. Donatı numuneleri çekme deneyi	39
2.17. Beton karışımının hazırlanması	40
2.18. 1/1 ölçekli deneyde çökme (slump) deneyi	41
2.19. Prizini alması bekleyen ve kür havuzunda küre tabi tutulan küp numuneler	42
2.20. Tek eksenli basınç dayanım deneyi	42
2.21. 1/2 ölçekli deneyde çökme (slump) deneyi	46
2.22. Plywood kalıpların ölçülere uygun kesilmesi (1/1 ölçekli deney)	48
2.23. Kalıp planları (1/1 ölçekli deney)	49
2.24. Donatıların ölçülere uygun kesilmesi (1/1 ölçekli deney)	49
2.25. Kesilen donatıların ölçülerine göre ayrılması (1/1 ölçekli deney)	49
2.26. Etriyelerin hazırlanması (1/1 ölçekli deney)	50
2.27. Kiriş donatı kafeslerinin hazırlanması (1/1 ölçekli deney)	50
2.28. Deney numunelerin kalıbının hazırlanması (1/1 ölçekli deney)	51
2.29. Deney numunelerinin beton dökümüne hazır hale getirilmesi (1/1 ölçekli deney)	51
2.30. Deneyde kullanılan dalıcı vibratör	52
2.31. Deney numunelerinin beton dökümünün yapılması (1/1 ölçekli deney)	52
2.32. Deney numunelerine kür uygulanması (1/1 ölçekli deney)	53
2.33. Deney numunelerinin beyaz kirece boyanması (1/1 ölçekli deney)	53
2.34. Plywood kalıpların ölçülere uygun kesilmesi (1/2 ölçekli deney)	54
2.35. Kesilen donatıların ölçülerine göre ayrılması (1/2 ölçekli deney)	54
2.36. Kiriş donatı kafeslerinin hazırlanması (1/2 ölçekli deney)	55
2.37. Deney numunelerin kalıbının hazırlanması (1/2 ölçekli deney)	55
2.38. Deney numunelerinin beton dökümüne hazır hale getirilmesi-1 (1/2 ölçekli deney)	56

2.39. Deney numunelerinin beton dökümüne hazır hale getirilmesi-2 (1/2 ölçekli deney)	57
2.40. Deney numunelerinin beton dökümünün yapılması (1/2 ölçekli deney)	58
2.41. Deney numunelerine kür uygulanması (1/2 ölçekli deney)	59
2.42. Yükleme çerçevesi	59
2.43. El kontrollü hidrolik kriko	60
2.44. Manyetik ayaklı mekanik komperatör saati	60
2.45. Portal vinç ve caraskal (hareketli palanga)	61
2.46. Hidrolik lemko (seyyar vinç)	62
2.47. 1/1 ölçekli kiriş deney düzeneğinin hazırlanması (ölçüler cm)	63
2.48. 1/2 ölçekli kiriş deney düzeneğinin hazırlanması (ölçüler cm)	63
2.49. Sabit ve hareketli mesnetlerin oluşturulması	64
2.50. Kiriş numunesi ile mesnetteki kutu profil arasına elastomer kauçuk yerleştirilmesi	64
2.51. Deney numunelerinin yükleme çerçevesine alınması	65
2.52. Numune ile noktasal yük levhası arasındaki pürüzlerin giderilmesi	65
2.53. Kiriş numunesi ile kriko arasına hareketli mesnet yerleştirilmesi	66
2.54. 1/1 ölçekli kiriş deney düzeneğinin şematik gösterimi (ölçüler cm)	67
2.55. 1/2 ölçekli kiriş deney düzeneğinin şematik gösterimi (ölçüler cm)	67
3.1. Denge altı, basit donatılı dikdörtgen kesitte oluşan iç kuvvetlerin şematik gösterimi	69
3.2. Beton gerilme (σ_c)-birim kısalma (ϵ_c) eğrisi	69
3.3. Donatı çeliği gerilme (σ_s)-birim uzama (ϵ_s) eğrisi	71
3.4. TK1 (tablalı) kiriş numunesi	75
3.5. TK1 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	75
3.6. TK1 kirişinde oluşan ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları	76
3.7. TK1 kirişinin (tablalı) göçme şekli	76
3.8. K2 (döşeme donatılı) kiriş numunesi	77
3.9. K2 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	77
3.10. K2 kirişinde oluşan ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları	78
3.11. K2 kirişinin (döşeme donatılı) göçme şekli	78
3.12. K2 kirişinde (döşeme donatılı) çatlak ölçümü	79
3.13. K3 (referans) kiriş numunesi	79
3.14. K3 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	80
3.15. K3 kirişinde oluşan ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları	80

3.16. K3 kirişinin (referans) göçme şekli	81
3.17. B0-1 kiriş numunesi	82
3.18. B0-2 kiriş numunesi	82
3.19. B0-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	83
3.20. B0-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	83
3.21. TB1-1 kiriş numunesi	84
3.22. TB1-2 kiriş numunesi	84
3.23. TB1-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	85
3.24. TB1-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	85
3.25. TB1-1 kirişinin detaylı çatlak dağılımı	86
3.26. TB2-1 kiriş numunesi	86
3.27. TB2-2 kiriş numunesi	87
3.28. TB2-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	87
3.29. TB2-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	88
3.30. TB3-1 kiriş numunesi	88
3.31. TB3-2 kiriş numunesi	89
3.32. TB3-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	89
3.33. TB3-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	90
3.34. TB4-1 kiriş numunesi	90
3.35. TB4-2 kiriş numunesi	91
3.36. TB4-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	91
3.37. TB4-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	92
3.38. B1-1 kiriş numunesi	92
3.39. B1-2 kiriş numunesi	93
3.40. B1-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	93
3.41. B1-1 kirişinin detaylı çatlak dağılımı	94
3.42. B1-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	94
3.43. B1-2 kirişinin detaylı çatlak dağılımı	94
3.44. B2-1 kiriş numunesi	95
3.45. B2-2 kiriş numunesi	95
3.46. B2-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	96
3.47. B2-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	96
3.48. B3-1 kiriş numunesi	97
3.49. B3-2 kiriş numunesi	97
3.50. B3-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	98

3.51. B3-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	98
3.52. B4-1 kiriş numunesi	99
3.53. B4-2 kiriş numunesi	99
3.54. B4-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	100
3.55. B4-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli	100
3.56. İlk akma noktasına göre akma deplasmanının belirlenmesi	101
3.57. Eşdeğer elasto-plastik sistemin akma deplasmanının belirlenmesi	101
3.58. Gerçek sistemle aynı enerji tüketimine sahip eşdeğer elasto-plastik sistemin akma deplasmanının belirlenmesi	102
3.59. Azaltılmış rijitliğe sahip eşdeğer elasto-plastik sistemin akma deplasmanının belirlenmesi	102
3.60. Tablalı ve tablasız kirişlerde beklenen yük sehim grafiklerinin genel gösterimi	105
3.61. Kirişlerin enerji tüketme kapasitelerinin belirlenmesi	107
3.62. 1/1 ölçekli kirişlerin $l/240$ sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi.....	108
3.63. 1/1 ölçekli kirişlerin 100 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi	108
3.64. 1/2 ölçekli tablasız ve referans kirişlerinin $l/240$ sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi	110
3.65. 1/2 ölçekli tablasız ve referans kirişlerinin 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi	110
3.66. 1/2 ölçekli tablalı ve referans kirişlerinin $l/240$ sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi	111
3.67. 1/2 ölçekli tablalı ve referans kirişlerinin 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi	111
3.68. b_f 'ye göre $l/240$ sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesinin belirlenmesi	113
3.69. b_f 'ye göre 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesinin belirlenmesi	114
3.70. 1/1 ölçekli tablasız ve referans kirişlerin 100 mm sehimdeki sekant rijitliğine göre belirlenen akma yükü	115
3.71. TK1 (Tablalı) kirişi yük-sehim grafiği	116
3.72. K2 (tablasız döşeme donatılı) kirişi yük-sehim grafiği	117
3.73. K3 (referans) kirişi yük-sehim grafiği	118
3.74. 1/1 ölçekli kirişlerin yük-sehim grafiği	119
3.75. 1/1 ölçekli kirişlerin $l/240$ ($=11,60$ mm) sehim kontrol sınırında belirlenen yükleri	120

3.76. 1/1 ölçekli tablasız ve referans kirişlerin 50 mm sehimdeki sekant rijitliğine göre belirlenen akma yükü	120
3.77. 1/1 ölçekli tablalı ve referans kirişlerin 50 mm sehimdeki sekant rijitliğine göre belirlenen akma yükü	121
3.78. 1/1 ölçekli tablasız ve referans kirişlerin matematiksel ve 50 mm sehimdeki sekant rijitliğine göre belirlenen akma yükü	121
3.79. 1/1 ölçekli tablalı ve referans kirişlerin matematiksel ve 50 mm sehimdeki sekant rijitliğine göre belirlenen akma yükü	122
3.80. B0-1 ve B0-2 kirişlerinin yük-sehim grafiği	123
3.81. B0-1, B0-2, B1-1, B1-2, TB1-1 ve TB1-2 kirişlerinin yük-sehim grafiği	124
3.82. B0-1, B0-2, B2-1, B2-2, TB2-1 ve TB2-2 kirişlerinin yük-sehim grafiği	125
3.83. B0-1, B0-2, B3-1, B3-2, TB3-1 ve TB3-2 kirişlerinin yük-sehim grafiği	126
3.84. B0-1, B0-2, B4-1, B4-2, TB4-1 ve TB4-2 kirişlerinin yük-sehim grafiği	127
3.85. 1/2 ölçekli tablasız ve referans kirişlerin yük-sehim grafiği	129
3.86. 1/2 ölçekli tablalı ve referans kirişlerin yük-sehim grafiği	129
3.87. 1/2 ölçekli tablasız ve referans kirişlerin $l/240$ ($=8,12$ mm) sehim kontrol sınırında belirlenen yükleri	131
3.88. 1/2 ölçekli tablalı ve referans kirişlerin $l/240$ ($=8,12$ mm) sehim kontrol sınırında belirlenen yükleri	131
3.89. b'_f 'ye bağlı olarak 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi ile yük taşıma kapasitelerinin maksimum değerlerine oranları	133
3.90. 1/2 ölçekli tablalı ve referans kirişlerin b'_f 'ye bağlı olarak 50 mm sehimde gerçekleşen yük taşıma kapasiteleri	135
3.91. Döşeme donatısının kiriş ekseninden uzaklığına bağlı yüzdesel katkı oranı	136
3.92. Etkili (b_{eff}) ve toplam etkili tabla ($b_{t,eff}$) ile gerilme dağılımları	138

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER DİZİNİ

a	Kiriş kesme açıklığı
A_c	Basınç yükünün uygulandığı yüzeyin en kesit alanı
A_{env}	Kirişin enerji tüketme kapasitesi
$A_{env,i}$	i. numunenin enerji tüketme kapasitesi
$A_{env,max}$	Enerji tüketme kapasitesinin maksimumu
A_{lb}	Her tablada yer alan boyuna donatı alanı
a_n	Paralel kirişler arasındaki net uzaklık
A_s	Kiriş çekme donatısı kesit alanı
A'_s	Kiriş basınç donatısı kesit alanı
$A_{s,eff}$	Kirişin mesnet bölgesindeki toplam çekme donatı alanı
$A_{s,f}$	Etkili tabla genişliği içerisindeki döşeme donatı alanı
$A_{s,i}$	Kiriş gövde yüzeyinden i. döşeme donatı alanı
A_{sw}	Etriye düşey kollarının toplam kesit alanı
b	TS500 (2000)'de açıklık kesitinde kullanılan tabla genişliği
b_{eff}	Negatif eğilme bölgesindeki etkili tabla genişliği
b_f	Deney numunelerinin tabla genişliği
b'_f	Paspayı mesafesi çıkartılmış tabla genişliği
$b_{t,eff}$	Negatif eğilme bölgesindeki toplam etkili tabla genişliği
b_w	Kiriş gövde genişliği
d	Kiriş faydalı yüksekliği
d^*	Etkili kiriş derinliği
dA	Bir birimlik enerji tüketme kapasitesi
D_{max}	En büyük tane büyüklüğü
δ_d	Kirişin eksenini doğrultusundaki yer değiştirme
δ_u	Kirişte ulaşılabilecek toplam yer değiştirme
δ_y	Kirişin akma yer değiştirmesi
δ_1, δ_2	Kirişin 1. ve 2. noktadaki yer değiştirmesi
E_c	Beton elastisite modülü
E_s	Donatı elastisite modülü

$\mathcal{E}_c$	Betondaki birim kısalma
$\mathcal{E}_{cu}$	Betonun en çok zorlanan lifindeki birim kısalma
$\mathcal{E}_i$	i. döşeme donatısında eğilme doğrultusundaki birim uzama
$\mathcal{E}_{maks}$	Kiriş gövde kesitindeki çekme donatısı birim şekil değiştirme
$\mathcal{E}_s$	Donatının birim deformasyonu
$\mathcal{E}_{sd}$	Donatının akma anındaki birim deformasyonu
$\mathcal{E}_{su}$	Donatının kopma anında birim deformasyonu
F	Kırılma anında ulaşılan en büyük yük
F_c	Beton basınç bileşkesi
f_c	Küp numunenin basınç dayanımı
f_{cd}	Betonun tasarım silindir basınç dayanımı
f_{ck}	Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı
f_{ctd}	Betonun tasarım eksenel çekme dayanımı
F_s	Donatı çekme kuvveti bileşkesi
f_y	Donatının akma dayanımı
f_{yd}	Donatının tasarım akma dayanımı
f_{yk}	Donatının karakteristik akma dayanımı
$f_{yk,ort}$	Donatının karakteristik ortalama akma dayanımı
f_{ywk}	Etriye donatısının karakteristik akma dayanımı
f_u	Donatının nihai çekme dayanımı
$f_{u,ort}$	Donatının ortalama nihai çekme dayanımı
$\emptyset$	Demir donatı çapı veya dalıcı vibratör şişe çapı
h	Kiriş yüksekliği
K	Kirişin akma noktasındaki rijitliği
k_1	Basınç bloğu katsayısı
l	Kiriş hesap açıklığı
l_n	Kirişler arasında kalan uzaklık
l_p	Kirişin iki moment sıfır noktası arasında kalan uzaklık
M_r	Kiriş taşıma gücü momenti
M_{ra}	Kolonun alt taşıma gücü momenti
M_{rd}	Ana kirişin eğilme dayanımı
$M_{rd(FE)}$	Tablalı kirişin sonlu elemanlar ile bulunan eğilme dayanımı

M_{ri}, M_{rj}	Kirişlerin kolon yüzündeki taşıma gücü momenti
$M_{r\ddot{u}}$	Kolonun üst taşıma gücü momenti
M_w	Deprem moment büyüklüğü
μ	Süneklik
n	Etriye düşey kol sayısı
nt	Tablanın simetrik olup olmadığına bağlı katsayı
P	Kirişin akma yükü
$P_{l/240}$	$l/240$ sehim kontrol sınırındaki akma yükü
P_u	Kirişin nihai yükü
P_y	Kirişin akma yer değiştirmesine karşılık gelen akma yükü
$P_{0,75P_u}$	Azaltılmış rijitliğe sahip kirişin akma yükü
P_1, P_2	Kirişin 1. ve 2. noktadaki akma yükü
P_{50mm}	50 mm sehimdeki yük taşıma kapasitesi
$P_{50mm,i}$	50 mm sehimde i. numunenin yük taşıma kapasitesi
$P_{50mm,max}$	50 mm sehimdeki yük taşıma kapasitesinin maksimumu
$P_{50mm,ort}$	50 mm sehimdeki ortalama yük taşıma kapasitesi
ρ_b	Kirişte dengeli donatı oranı
ρ_f	Etkili tabla genişliği içerisindeki döşeme donatı oranı
ρ_{min}	Kirişte minimum donatı oranı
ρ_{max}	Kirişte maksimum donatı oranı
ρ_0	Kiriş etriyesi içerisine yerleştirilecek çekme donatısı oranı
ρ_s	Kirişte çekme donatısı oranı
ρ'_s	Kirişte basınç donatısı oranı
s	Döşeme boyuna donatı aralığı
s_k	Etriye aralığı
σ_c	Beton gerilme
σ_s	Donatı gerilme
t	Tabla kalınlığı
V_c	Beton kesme kuvveti kapasitesi
V_{cr}	Betonun kritik kesme kuvveti kapasitesi
$V_{kiriş}$	Kiriş kesme kuvveti
V_w	Etriye kesme kuvveti kapasitesi

KISALTMALAR DİZİNİ

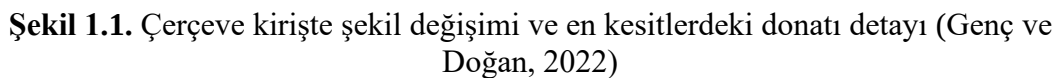
ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
C	Basınç
cm	santimetre
CSA	Kanada Standartları Birliği
C ₃ A	Trikalsiyum alüminat
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
dm ³	desimetreküp
EN	Avrupa Standardı
ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilatı
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
kg	kilogram
kN	kiloNewton
KO	Katkı Oranı
km ²	kilometrekare
m	metre
mm	milimetre
mm ²	milimetrekare
m ³	metreküp
MEB	Millî Eğitim Bakanlığı
MPa	MegaPaskal
N	Newton
NZS	Yeni Zelanda Standardı
SBB	Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı
T	Çekme
TBDY	Türk Bina Deprem Yönetmeliği
TBMM	Türkiye Büyük Millet Meclisi
THBB	Türkiye Hazır Beton Birliği
T.E.	Tarafsız Eksen
TS	Türk Standardları

1. GİRİŞ

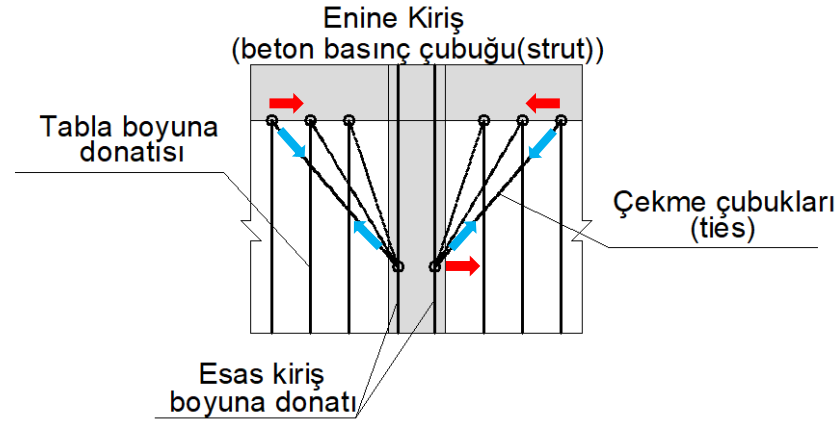
Yapı sistemlerinde yük aktarımlarının güvenli bir şekilde yapılabilmesi için taşıyıcı elemanlar kullanılmaktadır. Yapı sistemlerinin tasarımında, bu taşıyıcı sistem elemanlarının özellikleri önemli olmaktadır. Binanın taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların, deprem yüklerinin temel zeminine kadar sürekli ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek için, taşıyıcı elemanların yeterli rijitlik, kararlılık ve dayanım özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Ayrıca, binaya aktarılan deprem enerjisinin önemli bir bölümünün taşıyıcı sistemin sünek davranışı ile tüketilebilmesi için, sünek tasarım ilkelerine titizlikle uyulması gerekmektedir (TBDY, 2018). Olası bir depremten dolayı oluşacak hasar miktarının en düşük seviyede gerçekleşmesi için yapı sistemlerinin tasarımında bu ilkelerin sağlanması ve taşıyıcı elemana etkiyecek yük altında boyutlandırmanın doğru şekilde yapılması önem arz etmektedir (Işık, 2015).

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, taşıyıcı sistem elemanlarının birbirleri ile boyut uyumu önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle betonarme yapılarda, kiriş-kolon birleşimleri herhangi bir birleşim aracı kullanılmadan elde edildiğinden dolayı kolon ve kirişin boyutları arasında bir ilişki bulunmalıdır (Işık ve Özdemir, 2016). Taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve olan bir yapıda, kiriş-kolon birleşim bölgelerinde yatay deprem yükleri ile gerilmeler daha da artmaktadır. Bu bölgelerde, kat mekanizmalanmalarının ve gevrek göçmelerin önlenmesi için enine ve boyuna donatı hesaplamalarının iyi yapılması ve önem verilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bu birleşim bölgelerinin, birleşen yapı elemanlarından daha güçlü olması da gerekmektedir (Celep ve Kumbasar, 2004). Betonarme çerçeve bir yapıda kat mekanizmalanması ile bir kolonda oluşan göçme, kirişte oluşan göçmeye kıyasla tüm yapıyı etkilemektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'ne göre, betonarme bina tasarımında güçlü kolon-zayıf kiriş prensibi ile sistemin sünek davranış göstermesi sağlanmakta ve yapının göçmesi önlenmektedir (TBDY, 2018).

Bir çerçeve kirişin döşeme tablası, pozitif moment bölgesinde (altta çekme üstte basınç durumu) basınç, negatif moment bölgesinde (altta basınç üstte çekme durumu) ise çekme etkisinde kalmaktadır. Betonarme çerçeve bir yapının iç kirişinde yüklemekten dolayı meydana gelen şekil değişimi ile mesnet ve orta açıklık kesitlerindeki donatı yerleşimi Şekil 1.1’de verilmiştir. B-B kesiti kirişin döşeme tablasının pozitif moment bölgesinde olduğunu, A-A ve C-C kesitleri ise kirişin negatif moment bölgesinde olduğunu göstermektedir.

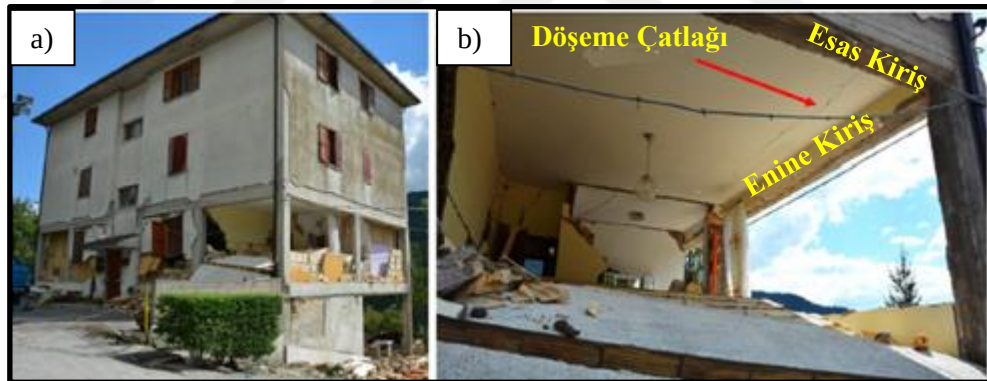


2



Şekil 1.2. Esas kiriş, enine kiriş ve döşeme tablası içeren strut-tie modeli

Ascoli Piceno ilinde dolgu duvarlarında büyük hasar olan ve ikinci kattaki döşemede belirgin bir çatlak bulunan hasarlı bir betonarme bina Şekil 1.3.a'da, ayrıca ana kiriş ve enine kiriş arasındaki fark ise Şekil 1.3.b'de gösterilmektedir. Bu hasar, çekme altında ana kiriş eksenine paralel yerleştirilmiş donatılar sayesinde, geniş bir tabla görevi gören döşemenin eğilme dayanımına katkısını vurgulamaktadır (Santarsiero ve Masi, 2020).



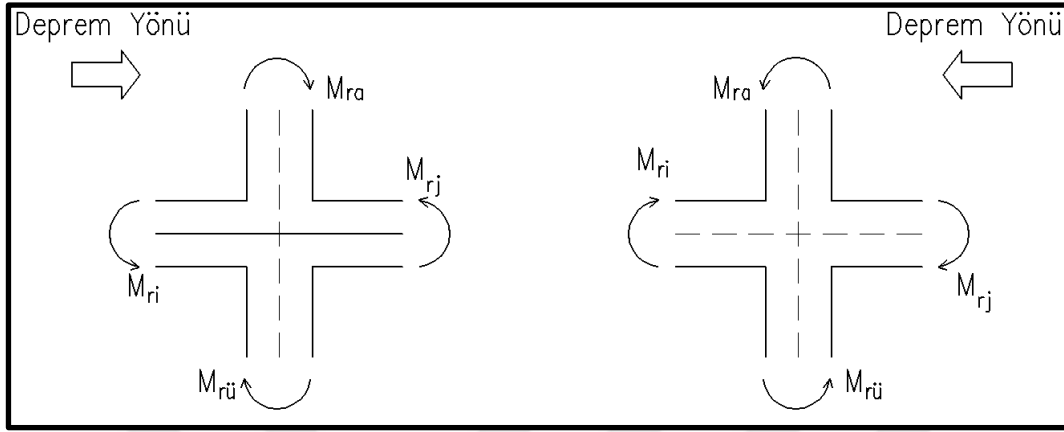
Şekil 1.3. a) Betonarme yapıda oluşan hasar, b) Tablayı etkileyen çatlağın detayı (Santarsiero ve Masi, 2020)

1.1. Kuvvetli Kolon-Zayıf Kiriş Prensibi

Kiriş-kolon birleşim bölgeleri için yönetmeliklerimizde bazı sınırlandırmalar yapılmıştır. TBDY (2018)'ye göre, çerçeve sistemden oluşan bir yapıda kolonların kirişlerden daha güçlü olma koşulunun sağlanması için, kiriş-kolon birleşim bölgelerinde yer alan ve Şekil 1.4'te gösterilen, kolonun alt ve üst taşıma gücü momentinin (M_{ra} , M_{ri}) toplamı, kolona birleşen kirişlerin kolon yüzündeki taşıma

gücü momentlerinin (M_{ri} , M_{rj}) toplamından en az %20 güçlü olması gerekmektedir (Denklem 1.1).

$$(M_{ra} + M_{r\ddot{u}}) \geq 1,2 (M_{ri} + M_{rj}) \quad 1.1$$



Şekil 1.4. Kiriş-kolon birleşim bölgelerinde oluşan momentler (TBDY, 2018)

Türkiye, üç büyük fay kuşağını (Kuzey Anadolu Fay Kuşağı, Doğu Anadolu Fay Kuşağı ve Batı Anadolu Fay Kuşağı) içeren ve diri fayların yer aldığı, dünyanın en sismik ve aktif bölgelerinden biridir (Genç, 2019). Ülkemizde jeolojik oluşumlar henüz tamamlanmadığı için, deprem felaketinin yaşanma olasılığı oldukça fazladır. Anadolu coğrafyasının son 2000 yıllık tarihçesinde 1668 Büyük Anadolu depremi ve 1939 Erzincan depreminden sonra meydana gelen en büyük üçüncü depremi olan 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Pazarcık ($M_w=7,7$) ve yine aynı gün Kahramanmaraş Elbistan ($M_w=7,6$) depremleri, yaklaşık 110.000 km² alanı içeren 11 ili etkilemiş ve on binlerce insanın hayatını kaybetmesine, yarım milyondan fazla binanın hasar görmesine ve çok büyük ekonomik kayıplara neden olmuştur (TBMM, 2023; SBB 2023). Bu depremler, Türkiye'de deprem riskinin ne derece büyük ve önemli olduğunu tekrar gözler önüne sermiştir.

Yaşanılan bu büyük depremlerde, deprem kuvvetlerine maruz kalan betonarme binaların çoğu önemli ölçüde hasara uğramış ya da göçmüşlerdir. Yıkılan binaların enkaz haline gelmesinin en belirgin nedenleri, kolonlar ve kirişlerin en kesit boyutlarının ve donatı miktarlarının yetersiz olması, temellerin oturduğu zeminlerin taşıma kapasitelerinin düşük olması ve taşıyıcı sistem elemanlarının inşa edildiği yıllarda yürürlükte olan yönetmeliklere uygun olarak inşa edilmemiş olmaları görülmüştür (İTÜ, 2023). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan depremlerinde yerinde yapılan incelemelerde, Şekil 1.5'te görüldüğü üzere yıkılan

binaların kayda değer kısmında, kuvvetli kiriş-zayıf kolon tasarımından kaynaklı hataların olduğu görölmüştür.



Şekil 1.5. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan depremlerinde kuvvetli kiriş-zayıf kolon tasarımından kaynaklı yıkımlar

Yapıdaki herhangi bir kolonun göçmeye maruz kalması tüm yapının dayanımını etkilerken, kirişlerin hasar görmesi ise yapıda kısmi hasara neden olmaktadır. Bu nedenle, bir yapının depremi daha az hasarla atlatabilmesi için kolonlardan önce

kirişlerin deformasyona uğraması gerekmektedir. Kirişlerin kolonlara göre daha sünek yapılması ile plastik mafsallaşmalar kolonlar yerine kirişlerde oluşacak ve binanın tamamen göçmesi önlenecektir. Bu sünekliğin sağlanabilmesi için, kolon ve kirişlerin doğru oranda boyutlandırılması ve yeterli miktarda donatılandırılması gerekmektedir (İnan ve Korkmaz, 2012; Doğangün, 2016).

Kirişler, betonarme yapıların döşemelerden sonra en hoşgörülü elemanları olmasına rağmen bazen; proje hataları, yapım hataları, yapının kullanım amacının değişmesi gibi nedenlerden ötürü kirişlerde taşıma gücü sorunları oluşabilmektedir (Aykaç, Tankut ve Can, 2011).

Türkiye'de son zamanlarda meydana gelen güçlü veya orta şiddetteki depremlerde birçok yapının yıkılmasına veya hasar görmesine, güçlü kolon yerine güçlü kiriş tasarımının yaygın bir şekilde kullanılması neden olmaktadır (Doğangün, 2004). Bu durumun başlıca nedenlerinden biri, betonarme binalarda geniş kullanım alanları yaratmak gibi çeşitli sebeplerden dolayı kolonların kirişlerden daha zayıf yapılmasıdır (Büyükkaragöz, 2009).

Taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlardan kolonların kapasitesi kirişlerin kapasitesinden en az %20 fazla olması gerekirken 19 Mayıs 2011 Simav Depreminde hasar gören bazı binalarda bunun tersine kirişlerin kolonlardan daha güçlü olduğu gözlenmiştir (Kocaman, Bayülke, Doğan ve Duran, 2011).

Eskişehir ilinde yapılan bina incelemeleri sonucunda, bazı binalarda kirişlerin kolonlara nazaran daha büyük kesitli ve daha kuvvetli donatıldığı, bu problemin kolonların büyük kesme kuvveti alarak ağır hasar görmesine ve kolonlardaki mafsallaşma nedeniyle binanın göçmesine neden olacağı belirtilmiş ve incelenen binaların %9'unda güçlü kiriş-zayıf kolon probleminin olduğu belirlenmiştir (Kaplan, Güney, Cengiz, Özçelikörs ve Topçu, 2015).

Depremsel olarak aktif bölgelerdeki betonarme çerçeve yapılar için, genellikle "kuvvetli kolon-zayıf kiriş" tasarımı olarak bilinen bir kapasite tasarımı yöntemi izlenmektedir. Kapasite tasarımının başarılı olabilmesi için, farklı yük kombinasyonları altında yapısal elemanların dayanımlarının değerlendirilmesi gerekir. Son deneyler (Bertero, Aktan, Charney ve Sause, 1984; Durrani ve Wight, 1982; Ehsani, 1982; French ve Boroojerdi, 1986; Kiureghian, 1983; Zerbe, 1985), eğer kirişler monolitik olarak dökülüyorsa kiriş dayanımının güvenilir bir şekilde

hesaplanamayacağını göstermiştir. Kirişlerin mesnetlerdeki eğilme dayanımı hesabında döşeme dikkate alınmadan yani mevcut analiz teknikleri kullanılarak kirişe paralel döşeme donatıları uygun bir şekilde belirlenemediği için, döşemenin de katkısıyla kirişler kolonlardan daha güçlü olmakta ve düğüm noktalarında güçlü kolon-zayıf kiriş tasarımı gerçekleştirilememektedir (Pantazopoulou, Moehle ve Shahrooz, 1988).

1.2. Sünek Kırılma ve Gevrek Göçme Davranışları

Betonarme kirişe yerleştirilen donatı miktarı, kiriş davranışını olumlu veya olumsuz etkilemektedir. Kirişlerde ne kadar çok donatı kullanılırsa, binanın da o kadar çok sağlam olacağı sanılmakta ve kirişlerde gerektiğinden fazla donatı kullanılarak dengeli donatı oranı aşılmaktadır. Böyle bir durumda hem kirişlerin sünek davranış göstermesi engellenmekte hem de kirişler kolonlara nazaran daha kuvvetli olmaktadır (Özdöner, 2011). Bu nedenle, kirişlerde gevrek kırılmanın önüne geçebilmek için dengeli donatı hesabının yapılması gerekmektedir. Dengeli donatı oranı, eğilme etkisi altındaki betonarme bir kiriş taşıma gücüne ulaştığında, çekme donatısının akması ve en dış basınç lifindeki betonun aynı anda ezilmesi durumunu sağlayan donatı oranıdır. Dengeli donatı oranı sünek kırılmaya ait donatı oranının üst sınırı olup, bu oranın aşılması durumunda donatı akmadan betonun basınç bölgesi ezilerek kırılma gerçekleşeceği için gevrek göçme ortaya çıkacaktır. Gevrek göçmeler istenmeyen bir göçme türü olup, donatı akmaya başlamadığı için ani ve nispeten küçük deplasmanlı olmaktadır.

TS 500 (2000)'e göre, sünek kırılmanın gerçekleşebilmesi için Denklem 1.2'de verilen koşulun sağlanması gerekmektedir. Denklem 1.2'de verilen kirişlerdeki çekme ve basınç donatı oranları farkı ($\rho_s - \rho'_s$), dengeli donatı oranının (ρ_b) 0,85 katından fazla olamaz (TS 500, 2000; TBDY, 2018).

$$(\rho_s - \rho'_s) \leq \rho_{max} = 0,85 \rho_b \quad 1.2$$

Ayrıca, çekme donatısı oranı (ρ_s), Denklem 1.3'te verilen sınırı geçemez (TS 500, 2000; TBDY, 2018).

$$\rho_s \leq 0,02 \quad 1.3$$

1.3. Segregasyon ve Korozyon Etkileri

Betonarme yapılar monolitik (yekpare) kabul edilmektedir. TBDY (2018)'de belirtildiği gibi tüm betonarme binalarda, bakımı yapılmış ve vibratörle yerleştirilmiş beton kullanılması zorunlu olup ihtiyaç duyulduğunda kendiliğinden yerleşen beton da kullanılabilir. Beton yerleştirme ve sıkılaştırma işlemleri için pratik yöntemlerden biri olan ve günümüzde sıkça kullanılan vibrasyon işlemi yapılmaktadır. Vibrasyon (sıkıştırma), kalıba dökülen betonun kalıbın her tarafına yayılmasını ve donatıları iyice sarmasını sağlamak, ayrıca hava boşluklarını dışarıya çıkararak doluluğu artırmak için yapılan işlem olarak tanımlanmıştır (MEB, 2011). Geleneksel betonarme yapılara en uygun ve en çok kullanılan vibrasyon çeşidi dalıcı vibrasyondur. Betonda oluşan ayrışmayı önlemek için, mümkün olduğunca dalıcı vibratör ucunun donatıya ve kalıba çarpmaması ve betona dik biçimde daldırılması gerekmektedir. Ayrıca, donatılar arasında betonun ve vibratör ucunun rahat bir şekilde geçebileceği şekilde aralık bırakılması gerekmektedir. TS 500 (2000)'e göre, kirişler ve kolonlarda beton yerleşiminin daha rahat yapılabilmesi ve segregasyonların önlenmesi için kirişlerdeki donatı çubukları arasında kalan net aralığın, donatı çapından, en büyük agrega boyutunun 4/3'ünden ve 20 mm'den az olmaması gerekmektedir. Fakat, TS 500 (2000)'de donatı çubukları arasındaki net aralığın belirlenmesinde, vibratörün şişe çapı ile ilgili bir sınırlama getirilmemiştir. Piyasada, dalıcı vibratörlerin şişe çaplarının genellikle Ø36 ile Ø75 arasında değişmesi ve donatı net aralığının da genelde vibratörün şişe çapından daha küçük olması nedeniyle taze betonun yerleştirilme aşamasında birtakım sıkıntılar ortaya çıkmaktadır (MakineMarka, 2023). Kolon-kiriş birleşim yerlerinde donatıların aşırı sıklaşması, buna bağlı olarak da vibratör ucunun yetersiz olan donatı aralığından geçememesi nedeniyle segregasyonların oluşması kaçınılmaz hale gelmektedir (THBB, 2012).

Segregasyon, betonun hazırlanması, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sırasında iri tanelerin ince tanelerden ayrışması olarak tanımlanmıştır (Bakırcı, 2011). Hatta, donatıların aşırı sıklaşmasından dolayı vibratörün kullanılamaması, denetimin yapılamadığı yerlerde kıvamı arttırmak amacıyla betona bilinçsizce su katılmasına sebebiyet vermekte, bunun sonucunda da betonun ayrışarak homojenliğini yitirmesinden dolayı segregasyonların oluşmasına, su/çimento oranını artırarak betonun dayanımının düşmesine ve mühendislik hesaplarının çoğunun boşa gitmesine neden olmaktadır. 1 m³ beton için ilaveten katılan her 10 litre su beton dayanımını

yaklaşık %8 oranında düşürmektedir (MEB, 2012). Kiriş-kolon birleşim bölgelerinde oluşan segregasyonlardan kaynaklı düşük beton dayanımı gevrek göçme riskini de ortaya çıkarmaktadır.

Kiriş-kolon birleşim bölgelerinde oluşan segregasyonlar, betonda dayanım düşüklüğünün yanı sıra, su, klor, sülfat gibi zararlı maddelerin betona nüfuz etmesi neticesinde donatı korozyonuna neden olmaktadır. Donatı korozyonu da donatı kesitinde daralmaya ve beton ile donatı arasındaki aderansın zayıflamasına sebebiyet vermektedir. Bu tesirlerin birleşmesi sonucunda da yapısal elemanın dayanımında kayda değer düşüşler meydana gelmektedir (Özdemir, Ay ve Yaylacı, 2022).

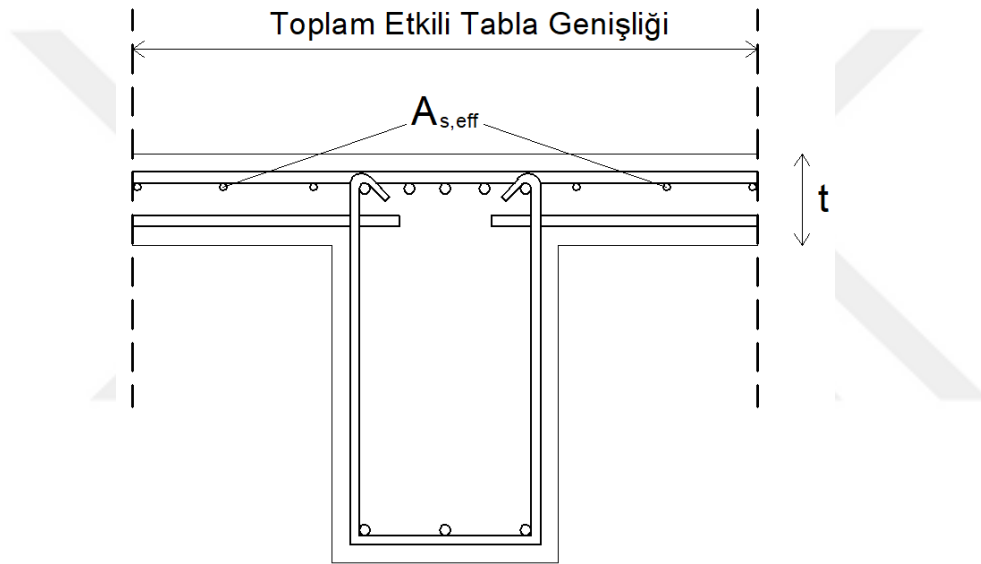
1.4. Literatür Değerlendirmesi

TS 500 (2000)'de negatif moment etkisinde kalan mesnet kesitlerinde, güçlü kolon-zayıf kiriş koşulunun ve kapasite tasarımının belirlenmesi için yapılan hesaplamalarda tabla betonu içerisinde bulunan kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının katkısına yer verilmemektedir. TBDY (2018)'de, deprem etkisi altında 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 betonu içerisinde yer alan döşeme donatısının kısmen/tamamen hesaba katılması ile ilgili bir ifadeye yer verilmemiştir.

Pozitif eğilme etkisinde (altta çekme üstte basınç durumu) kiriş kesitlerinin farklı basınç donatısı oranlarına (gövde kesiti basınç donatısı oranının çekme donatısına oranı 1 veya 1'den büyük olmak üzere) göre çift donatılı dikdörtgen kesit varsayımıyla yapılan kesit analizlerinden, basınç donatısındaki değişimin kiriş moment kapasitesi üzerindeki etkisinin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu söylenebilir (Ersoy, 1998). Bu durum, pozitif eğilme etkisinde basınca çalışacak döşeme donatılarının ihmal edilmesinin moment kapasitesi üzerinde sınırlı miktarda bir değişime neden olacağını göstermektedir (Aydemir, 2013).

ACI 318 (2019)'de güçlü kolon zayıf kiriş koşulunun sağlanması için, kiriş nominal taşıma gücü momentinin hesaplanmasında, kirişle tek parça olarak dökülen

EN 1992-1-1 (2004)'de, sürekli kirişlerin birleşim bölgelerinde, Şekil 1.6'da gösterilen tabla kesitli kirişlerdeki toplam çekme donatısı alanının ($A_{s,eff}$) kirişin toplam etkili tabla genişliği içerisinde dağıtılabileceği, bir kısmının kiriş gövdesinin içerisinde yoğunlaşabileceği belirtilmiştir. EN 1998-1 (2004)'de, etkili tabla genişliği içerisindeki kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının, kiriş eğilme kapasitesine katkıda bulunduğu, T ve L kesitli kirişlerin uç kesitlerinde, çekme donatısının öncelikle kiriş gövdesi içerisine yerleştirilmesi gerektiği, bir kısmının ise etkili tabla genişliği içerisinde kalması şartıyla gövdenin dışına yerleştirilebileceği belirtilmiştir.



Şekil 1.6. Tablalı kesite sahip kirişin çekme donatısının yerleşimi (EN 1992-1-1, 2004; EN 1998-1, 2004)

CSA A23.3 (2004)'te, kolonların kirişlerden güçlü olma koşulu için kiriş eğilme kapasitesinin hesaplanmasında, tablanın çekme bölgesinde kalması durumunda etkili tabla genişliği içerisindeki kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının, kiriş eğilme kapasitesine katkıda bulunduğu belirtilmiştir.

NZS 3101.1 (2006)'de yönetmelikte tanımlanan etkili tabla genişliğinde yer alan kirişe paralel döşeme donatılarının kirişin eğilme kapasitesine katkısının dikkate alınabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, eğilme kapasitesine katkıda bulunduğu varsayılan döşeme donatılarının, enine donatı ile kiriş gövdesine etkin bir şekilde bağlanması gerektiği, döşemenin kirişe paralel donatılarının dik dağıtma donatıları ile etkin bir

şekilde bağlandığında, eğilme dayanımının katkısının, kirişin toplam dayanımının %15'ini aşmaması gerektiği belirtilmiştir.

Geçmiş yıllarda betonarme T kesitli kirişler üzerine çok sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen, sürekli T kesitli kirişlerin negatif moment bölgeleri ile ilgili araştırmalara daha az rastlanılmaktadır. Betonarme çerçeve sistemlerin iç (simetrik) ve dış aks (asimetrik) kiriş-kolon birleşim bölgelerindeki, tabla betonu içerisinde yer alan kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının davranışa etkilerini araştırmak için yapılan deneysel ve analitik çalışmalarda, döşeme donatısının negatif eğilme etkisindeki kirişlerin taşıma gücünü artırdığı görülmektedir.

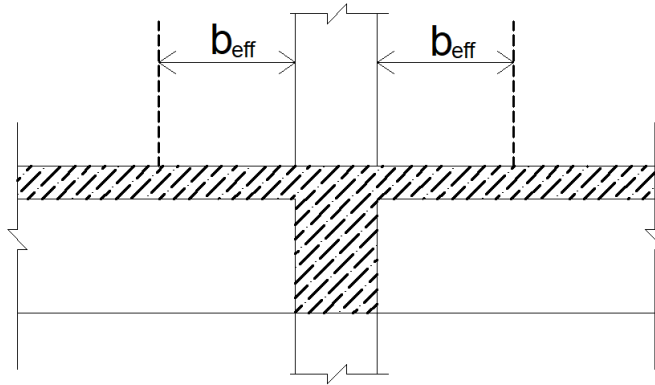
Ma, Bertero ve Popov (1976) tarafından yapılan, deprem yükleri etkisi altındaki dış aks kolon-kiriş birleşimlerinin incelendiği deneysel ve analitik çalışmalarda, 20 katlı sünek betonarme ofis binasının alt katındaki dış aks kolon-kiriş birleşimini temsil eden 9 adet konsol kiriş tasarlanmış ve negatif eğilme etkisi altındaki kirişlerde, kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının kiriş moment kapasitesini artırdığı belirlenmiştir.

Nakata (1983) tarafından yapılan, Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya yönetmelikleri çerçevesinde yanal yüklemeler altında iç ve dış aks kolon-kiriş birleşiminin incelendiği deneysel çalışmada, yedi katlı bir binanın ikinci katındaki iç ve dış aks kolon-kiriş birleşim bölgeleri ile en üst katın dış aks kolon kiriş birleşim bölgeleri için oluşturulan 1/2 geometrik ölçekli numunelerde, tablalı kirişlerin tablasız kirişlere göre çok farklı davranış gösterdiği ve döşeme donatısının kiriş moment kapasitesini etkilediği belirlenmiştir.

Durrani ve Zerbe (1987) tarafından yapılan, döşemenin dış aks kiriş-kolon birleşimi davranışına etkisinin incelendiği deneysel çalışmada, 6 adet 3/4 geometrik ölçekli tablalı kirişe, simüle edilmiş deprem yükleri etki ettirilerek, döşeme donatısının kirişlerin negatif eğilme momenti kapasitesini %70'e varan oranda artırdığı belirlenmiş, döşeme donatısı katkısının göz ardı edilmesinin kolonlarda mafsallaşmaya neden olabileceği belirtilmiştir.

Pantazopoulou vd. (1988), bir iç aks kiriş-kolon birleşim noktasında negatif eğilme altında döşemelerin kirişlerin dayanım ve rijitliğine katkısını hesaba katan basit analitik modeller önermişlerdir. Modellerde, döşemenin boyuna kiriş ve rijit enine kirişler arasına tutturulmuş bir membran elemanı gibi davrandığı varsayılmıştır.

Negatif eğilme momenti altında, kirişlerin eğilme momentine katkısı bulunan etkili tabla genişliğini belirlemiştirlerdir. Kirişin eğilme momenti kapasitesine katkıda bulunan tabla genişliği için, etkili kiriş derinliği, donatının malzeme özellikleri, mevcut maksimum tabla genişliği ve maksimum donatı gerilmesinden faydalanmışlardır. Ayrıca, deneysel sonuçlara dayanarak, birleşim noktasının inelastik davranışında döşemenin etkin olduğu genişliğin önemli ölçüde arttığını, elastik davranış durumunda ise azaldığını vurgulamışlardır. Önerilen analitik model kullanılarak bulunan davranışların, ölçülen davranışlarla iyi ilişkili olduğu belirlenmiştir. Deneysel verilerle uyumlu olarak, tablanın kirişlerin negatif moment kapasitesine önemli ölçüde katkı verdiği tespit edilmiştir. Kirişin her iki tarafındaki Şekil 1.7’de gösterilen etkili tabla genişliklerinin (b_{eff}), akmaya kadar 1,5 kiriş derinliği mertebesinde olduğu ve şiddetli deprem yüklemesinde beklenebilecek makul deformasyonlarda yaklaşık üç kiriş derinliğine çıktığı belirlenmiştir. Tablanın basınç bölgesinde kaldığı durumlar için ACI 318 (1983) yönetmeliğinde verilen etkin genişliğin önemli bir farkla aşıldığını tespit etmişlerdir.



Şekil 1.7. Etkili tabla genişlikleri (b_{eff})

French ve Boroojerdi (1989) tarafından yanal yüklemeler altında iç aks kiriş-kolon birleşiminin incelendiği deneysel çalışmada, eğilme doğrultusuna dik bulunan kirişlerin burulma rijitliğinin etkili tabla genişliğine etkisini araştırmak için oluşturulan 1/2 geometrik ölçekli 3 adet kolon-kiriş birleşimi modelinde, burulma rijitliği arttırılmış modellerin, negatif eğilme etkisi altındaki etkili tabla genişliğinin daha büyük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmada tabla içerisinde yer alan kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının kirişlerin eğilme kapasitesine katkısının göz ardı edilmesinin yapısal tasarımda farklı sorunlara yol açabileceği belirtilmiştir.

Cheung, Paulay ve Park (1989) tarafından simüle edilmiş deprem yükleri etkisi altındaki iç-dış aks kiriş-kolon birleşimlerinin incelendiği deneysel çalışmada, negatif eğilme etkisi altında bulunan döşeme donatısının kiriş moment kapasitesini önemli derecede artırdığı belirlenmiştir.

French ve Moehle (1991) yaptıkları deneysel çalışmada, yanal yükleme altındaki kolon-kiriş-döşeme birleşimlerinde gözlemlenen genel davranışı özetlemişlerdir. Kiriş taşıma gücü momentine tablanın katkısını ilave etmenin en kolay yolunun etkin tabla genişliği içerisindeki kiriş donatısına paralel tüm döşeme donatılarının kiriş donatıları gibi davrandığını varsaymak olduğu, yapılan deneysel testlerde etkili tabla genişliğinin ACI 318 (2019)'de verilen etkili tabla genişliğine eşit alınması durumunda, hesaplanan kiriş taşıma gücünün, kat yüksekliğinin yüzde 2'sine eşit kat yer değiştirmelerinde ölçülen kiriş dayanımını yaklaşık olarak vereceği, şiddetli yanal yüklemeye maruz kalan çerçevelerde aşırı kolon mafsallaşmasını önlemek için gerekli kolon dayanımlarının belirlenmesinde döşeme donatısı katkısının dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. Araştırmacılar, ayrıca döşeme katkısının birleşim tipi (iç veya dış) ve enine kirişin rijitliği gibi çeşitli parametrelere bağlı olduğunu da ifade etmişlerdir.

Qi ve Pantazopoulou (1991) yaptıkları deneysel çalışmada, California Üniversitesi, Berkeley'de kirişlerle yekpare olarak dökülmüş bir döşemeye sahip çeyrek ölçekli bir betonarme çerçeve, sarsma masası üzerinde deprem yükünü simüle eden statik yanal yük etkisi altında test edilmiştir. Betonarme çerçevenin yanal yük altında davranışı incelenmiş ve tablanın kirişin performansına etkisi belirlenmiştir. Tablanın, özellikle iç aks kirişlerinde kirişin rijitliğine önemli ölçüde katkı verdiği, negatif eğilme altındaki kirişin her iki tarafında yaklaşık iki kiriş derinliği kadar bir tabla genişliğinde tamamen etkili olduğu belirtilmiştir.

Paulay ve Priestley (1992), döşeme donatısı açısından ve elastik olmayan büyük talebin varlığında, döşemenin bir çekme tablası olarak işlev gören kısmının (b_{eff}), ana kirişin her bir yanındaki kiriş hesap açıklığının yaklaşık 1/4'ü kadar uzanan kısmı olduğunu belirlemişlerdir. Bu varsayım, negatif moment altında kirişlerin eğilme dayanımında döşemenin önemli bir katkısının olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, kapasite tasarım kurallarını uygularken, kiriş dayanımının hesaplanmasında etkili tabla genişliğindeki ana kirişe paralel döşeme donatısının dikkate alınmasını önermişlerdir.

Yakın zamana kadar, tablanın kirişin basınç bölgesinde yer aldığı durumlar dışında, kiriş rijitliğini ve dayanımını belirlerken tablanın varlığının göz ardı edilmesinin yerleşik bir tasarım uygulaması olduğu fakat yapılan deneysel çalışmaların, bu uygulamanın, varsayılan plastik mafsallarda kiriş eğilme dayanımının büyük ölçüde hafife alınmasına yol açtığını göstermiştir (Pantazopoulou ve French, 2001).

Ahmed, Gunasekaran ve MacRae (2011) tarafından iç aks kolon kiriş birleşim bölgelerinde eğilme doğrultusuna dik kirişlerin etkisinin incelendiği analitik ve deneysel çalışmada, eğilme doğrultusuna dik kirişlerden gelen rijitliğin döşemeye katkısının çok az olmasından dolayı kiriş-kolon birleşiminde eğilme doğrultusuna dik kirişlerin ihmal edilebileceği belirtilmiştir.

Ahmed, Gunasekaran ve MacRae (2012), döşemeli kiriş-kolon bağlantılarının çevrimsel davranışını döşemesiz benzer bir kontrol numunesine kıyasla değerlendirmişlerdir. Döşemenin varlığının, kiriş dayanımını pozitif yükleme yönünde yaklaşık %20 (alt kiriş donatılarında çekme durumu) ve negatif yönde (üst kiriş donatılarında çekme durumu) %50'den fazla artırdığını bulmuşlardır.

Aydemir (2013), yaptığı analitik çalışmada, negatif eğilme etkisindeki monolitik betonarme iç aks kirişlerinde moment kapasitelerinin moment-eğrilik ilişkileri yardımıyla belirlenebilmesi amacıyla deneysel sonuçlarla karşılaştırılan ve gerçekçi malzeme modellerine dayanan bir hesap yöntemi tanıtmıştır. Yapılan çalışma sonucunda bulunan moment-eğrilik analizlerinde, dikdörtgen kesit varsayımıyla döşeme donatılarının ihmal edilmesinin kiriş moment kapasitesinin olduğundan küçük belirlenmesine neden olduğu belirtilmiştir. Negatif eğilme etkisindeki tablalı kirişler için yapılan deneyler sonucunda bulunan deneysel moment kapasitesi ile dikdörtgen kesit kabulüyle döşeme donatılarının ihmal edildiği varsayılarak belirlenen taşıma gücü momenti oranlarının 1,62-3,78 arasında; deneysel sonuçlara yakın analitik moment-eğrilik analizleri ile bulunan kiriş moment kapasitesi ile dikdörtgen kesit kabulüyle taşıma gücü momenti oranlarının 1,37-6,39 arasında değiştiği sonucuna varmıştır.

Ning, Qu ve Zhu (2014), kolon-kiriş birleşim yerlerindeki diğer çalışmaların sonuçlarını doğrulamak için döşemeli ve döşemesiz 3 boyutlu ölçekli çerçeve yapılar üzerinde önemli bir deneysel çalışma yürütmüşlerdir. Yapının davranışına döşemenin büyük bir katılım sağladığı ve döşeme varlığında bir mekanizma değişikliği olduğunu

doğrulamışlardır. Döşemenin dikkate alınmaya başlanması ile “kuvvetli kolon-zayıf kiriş” prensibinin, “zayıf kolon-kuvvetli kiriş” olarak değiştiğini görmüşler, bu zayıf kolon-kuvvetli kiriş riskinin, dış düğüm noktaları için kirişlerin eğilme kapasitesinin %100’ü aşan önemli artışından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Ahmed ve Gunasekaran (2014), iç aks kolon-kiriş birleşimlerinde, yanal yükler altında biri tablalı biri tablasız olmak üzere toplam 2 adet 1/2 geometrik ölçekli numuneler üzerinde yaptığı deneysel çalışmasında, döşeme 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, döşeme donatısının katkısının ihmal edilmesi halinde kat mekanizmalarına sebep olabileceği belirtilmiştir.

1999’da Türkiye’de meydana gelen Kocaeli depreminde ve 2008’de Çin’de meydana gelen Wenchuan depreminde döşemenin etkisi açıkça görülmüştür. Bu depremlerde, yerinde dökme tablalı betonarme çerçevelerin sismik performansı kabul edilen göçme mekanizmalarından tamamen farklı bir davranış göstermiştir (Ahmed, Gunasekaran ve MacRae, 2015). Döşeme-kiriş-kolon birleşim yerlerinde daha önce yapılan deneysel çalışmalarda, döşemenin betonarme çerçevenin sismik davranışını önemli ölçüde etkilediği, hatta binanın çökme ihtimalini artıracak görülmüştür. Ahmed vd. (2015), döşemelerin etkisini araştırmak için analitik araştırmalar yapmışlar, sonlu elemanlar yazılımı olan Ruaumoko programından faydalanılarak basit bir kiriş-kolon bağlantı modeli geliştirmişlerdir.

Ning, Qu ve Ma (2016) tarafından yapılan deneysel çalışmada, iki adet 1/2,5 geometrik ölçekli bir tablalı bir de tablasız olmak üzere iki adet betonarme çerçeveden oluşan numuneler üzerinde yanal çevrimsel yükleme deneyleri yapılmış ve döşemelerin göçme modeli deneysel olarak incelenmiştir. Her iki çerçevenin x doğrultusu tek açıklıklı, y doğrultusu ise iki açıklıklıdır. Yapısal elemanların boyutları, kirişler için 10x20 cm, kolonlar için 16x16 cm, döşemeler içinse 5 cm’dir. Çalışma sonucunda, döşeme donatısının kirişlerin eğilme momentini arttırdığı, “kuvvetli kiriş-zayıf kolon” riskinin ana sebebinin de dikkate alınmayan döşeme donatısının olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, esas kirişin her iki tarafında döşeme bulunması durumunda, dış birleşim ve iç birleşim noktalarında toplam etkili tabla genişliğinin sırasıyla " $b_w + 6,4h$ " ve " $b_w + 5,4h$ " olabileceği ifade edilmiştir.

Mevcut mevzuat hükümlerine bakıldığında, Avrupa'da ve özellikle İtalya'da, yeni yapılan betonarme çerçeve binaların depreme dayanıklı yapı tasarımı ve mevcut binaların değerlendirilmesi genellikle döşeme varlığı ve katkısı dikkate alınmadan gerçekleştirilir. Döşeme varlığının ihmal edilmesi, sismik yükler altında betonarme çerçeve binalar için tehlikeli olan güçlü kiriş-zayıf kolon davranışına yol açabilir (Santarsiero ve Masi, 2020). Santarsiero ve Masi (2020), tam geometrik ölçekli bir kiriş-kolon birleşim noktası üzerinde gerçekleştirilen geçmiş deneysel testlerin sonuçlarına dayalı olarak 3 boyutlu sonlu eleman modeli hazırlamışlardır. Döşeme donatısı arttıkça kirişin eğilme dayanımının da arttığını, incelenen tüm durumlarda pozitif momentin (alt kiriş donatılarında çekme gerilmeleri olması durumunda), döşemesiz numuneye kıyasla dayanımın %12-15 oranında arttığını, döşemenin varlığında kirişin taşıdığı negatif moment değerlerinde (döşeme çekme halindeyken), tek başına ana kiriş dikkate alınarak hesaplananlardan %83'ten %125'e kadar artışlar olduğunu belirlemişlerdir. Bu bulguların, geçmiş araştırmaların yanı sıra son deneysel çalışmalarla da uyumlu olduğu belirtilmiştir. Yapılan analizlerde, etkili tabla genişliğinin (b_{eff}), önceki çalışmalarda önerildiği gibi sadece geometrik parametrelerin değil, döşeme donatısı miktarını da içeren bir fonksiyon olduğunu belirlemişlerdir (Denklem 1.5). Ayrıca, döşeme donatısı miktarı arttığında, kirişin dayanımının çoğunun, kiriş kenarlarına yakın donatılar tarafından sağlandığını belirlemişlerdir.

$$M_{rd} + f_y \frac{2 b_{eff}}{s} A_{lb} d^* = M_{rd(FE)} \quad 1.4$$

Denklem 1.4'te; A_{lb} her bir tablada boyuna donatı alanını (mm^2), s döşeme boyuna donatı aralığını (mm), M_{rd} ana kirişin eğilme dayanımını, $M_{rd(FE)}$ sonlu elemanlar yöntemiyle bulunan tablalı kirişin eğilme dayanımını, d^* etkili kiriş derinliğini, f_y donatı akma dayanımını ifade etmektedir.

Abbas ve Fadala (2021) tarafından yapılan çalışmada, eğilme donatısının bir kısmı etkili tabla genişliği boyunca dağıtıldığında, tabla çekme durumundayken betonarme T-kirişin eğilme davranışı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmanın amaçlarına ulaşması için, deneysel olarak test edilmiş T-kiriş numunesi ile doğrulanan tablalı kiriş modellerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak sayısal analiz yapılmıştır. Çalışma sonucunda, çekme donatısının daha geniş tabla genişliği boyunca dağıtıldığında artan sehimle birlikte kirişin dayanımında azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Kiriş eğilme dayanımındaki bu azalmayı sınırlandırmak için, çekme

donatısının %33'ünden fazlasının $l_n/10$ 'dan daha geniş olmayan etkili tabla genişliğine dağıtılmamasını tavsiye etmişlerdir.

Abbas ve Fadala (2022) tarafından yapılan benzer bir çalışmada, eğilme donatısının bir kısmı etkili tabla genişliği boyunca dağıtıldığında, tabla çekme durumundayken betonarme L-kirişin eğilme davranışı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çekme donatılarının %33'ü $l_n/10$ 'dan küçük bir tabla genişliğine dağıtıldığında, kirişin eğilme davranışında yaklaşık %10'luk bir minimum değişim yüzdesi fark edilmiştir. Buna karşılık, çekme donatılarının %50'si $l_n/10$ 'dan daha geniş tabla genişliğine dağıtıldığında bu yüzde yaklaşık %37'ye kadar yükselmiştir. Kiriş eğilme dayanımındaki düşüşü sınırlamak için, çekme donatısının %33'ünden fazlasının $l_n/10$ 'dan daha geniş olmayan etkili bir tabla genişliği boyunca dağıtılmamasını tavsiye etmişlerdir.

Wang, Huang, Chang ve Lu (2022), döşemenin kolon-kiriş birleşim noktasına olan katkısını ve birleşim noktası üzerindeki etki mekanizmasını incelemek için yarı statik ve sabit eksenel yük altında, iki adet 1/2 geometrik ölçekli tablasız dış kiriş-kolon birleşim noktası ve üç adet 1/2 geometrik ölçekli tablalı dış kiriş-kolon birleşim noktası üzerinde deneysel çalışma yapmışlardır. Numuneler, deprem yükleri altında kiriş-kolon birleşimlerinin sismik tepkisini simüle etmek için çevrimsel bir yükleme sisteminde yüklenmiştir. Test edilen numuneler için oluşturulan sayısal sonlu elemanlar modelleri, deneysel gözlemle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Sonuç olarak, tablalı numunelerin, tablasız numunelere göre daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduğu, tablanın etkisinden dolayı artan kiriş mukavemetinin kolonun göçme olasılığını artırabileceğinden, birleşim noktasına ve betonarme çerçevenin yapısına zarar vereceğini belirtmiştir.

Ayrıca yapılan diğer çalışmalarda; tablanın çekme altındaki toplam etkili tabla genişliği ($b_{t,eff}$) şu şekilde belirlenmiştir (Ahmed, Gunasekaran ve MacRae, 2015).

- Ana kiriş genişliği ve iç kiriş-kolon birleşim yerlerinde ana kirişin her bir tarafından kiriş yüksekliğinin iki katının toplamı (Zerbe ve Durrani, 1990)
- Ana kiriş genişliği ve dış kiriş-kolon birleşim yerlerindeki ana kirişin her bir tarafından kiriş yüksekliğinin toplamı (Ehsani ve Wight, 1985; Zerbe ve Durrani, 1990)

- İç kenar kiriş-kolon birleşim yerlerinde kolon genişliği ve enine kiriş genişliğinin iki katının toplamı (Shin ve LaFave, 2004).

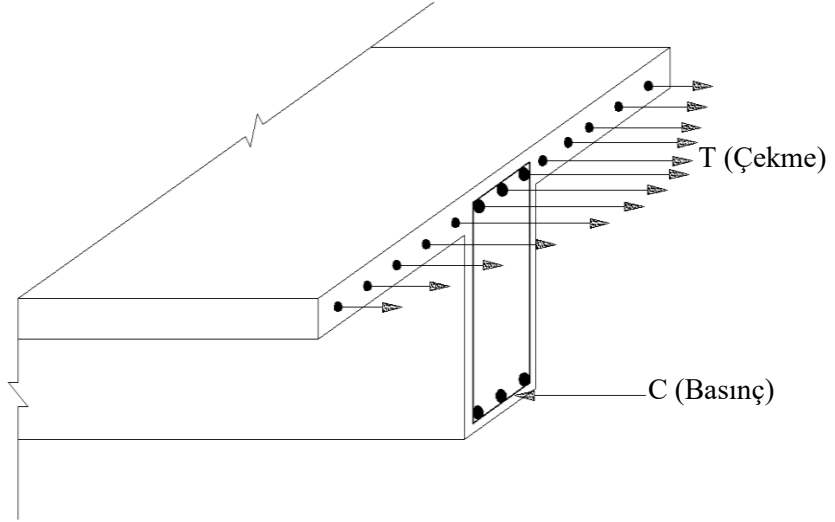
Literatürde yapılan diğer çalışmalarda da kiriş-kolon birleşim yerlerinin sismik performansında döşemenin önemli bir etkiye sahip olduğu, yerinde dökülen döşemenin kirişlerin moment kapasitesini artırabileceği belirtilmiştir (Leon ve Jirsa, 1986; Durrani ve Wight, 1987; Ma, Wang ve Smith, 2020).

1.5. Tezin Amaç ve Önemi

Betonarme çerçeve yapılarının sismik davranışı üzerine yapılan araştırmalar, inşaat mühendisliği alanında her zaman sıcak bir konu olmuştur. Betonarme çerçeve yapıların kapasite tasarımında, kiriş eğilme kapasitesinin doğru değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Mevcut şartnamelere ve yapılan çalışmalara bakıldığında, kirişin betonarme açıklık kesit hesabında, etkili tabla genişliği kadar döşeme betonunun kiriş basınç bölgesine katkı verdiğinden dolayı dikkate alındığı görülmektedir. Ancak, mesnetlerdeki kesit hesabında, döşeme kirişin çekme bölgesinde kaldığı için döşemenin çatlamış olduğu kabul edildiğinden döşeme betonu dikkate alınmamaktadır. Bunun yanında, kiriş donatılarına paralel yakın mesafedeki döşeme donatılarının da ihmal edildiği görülmektedir. Bu donatıların katkısının ihmal edilmesinin, kirişin çekme bölgesindeki donatı oranını $0,85\rho_b$ 'nin üzerine taşıyarak gevrek göçmelere neden olacağı bir gerçektir.

Şekil 1.8'de görüldüğü üzere, negatif eğilme momenti etkisindeki tablalı kirişin, kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının, kiriş yüzeyinden uzaklaştıkça azalarak kirişe katkı vereceği düşünülmektedir. Döşemelerden gelen donatıların dikkate alınması durumunda, kirişin taşıma gücü gerçeğinden daha fazla çıkacak ve yapının davranışına olumsuz etki edecektir.



Şekil 1.8. Negatif eğilme momenti etkisindeki tablalı kirişte beklenen iç kuvvetler (Genç ve Doğan, 2022)

TS 500 (2000) ve TBDY (2018)'ye göre kapasite tasarımında, kiriş mesnet bölgesinde bulunan çekme donatılarına, tabla betonu içerisinde yer alan kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının katkısından bahsedilmemiştir. Ancak, ACI 318 (2019)'de etkili tabla genişliği içerisindeki kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının negatif moment hesabında dikkate alınabileceği vurgulanırken, EN 1992-1-1 (2004)'de negatif moment bölgelerinde kiriş donatılarının etriyelerinden çıkarılabileceği ve tercihen kirişin yanından başlayarak etkili tabla genişliği içerisine dağıtılabileceği belirtilmektedir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, etkili tabla betonu içerisinde yer alan donatıların kiriş eğilme momentine katkısının olduğu belirlenmiş ve tabla betonu içerisinde yer alan kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının etkili olduğu tabla genişliğinin bulunmasına dair literatürde yapılan deneysel araştırmalarda farklı parametrelere bağlı olarak çeşitli çalışmalar bulunmuştur.

Bu kapsamda, çalışmanın birinci aşamasında 1/1 geometrik ölçekli, toplam 3 adet betonarme kirişte üç noktalı eğilme deneyleri yapılarak, negatif eğilme momenti etkisi altında kiriş mesnet bölgesinde TS 500 (2000)'e göre belirlenen etkili tabla genişliği içerisinde yer alan kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının kirişin yük taşıma kapasitesine katkısı özgün deney numuneleri ve deney düzeneği ile deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, boyutları 15x30 cm, tabla kalınlığı 10 cm, beton sınıfı, kiriş boyuna ve enine donatısı, mesnetlenmeler ve yükleme durumu sabit tutulurken, değişken olarak seçilen toplam tabla genişliği ve tabla donatısı 85 (2x3Ø8), 105 (2x4Ø8), 125 (2x5Ø8) ve 145 (2x6Ø8) cm olan tablalı

kirişlerden 2’şer adet olmak üzere 8 adet ve bu tablalı kirişler ile benzer donatı oranına sahip tablasız kirişlerden 2’şer adet olmak üzere 8 adet ve ayrıca referans olarak 2 adet tablasız kiriş olmak üzere toplamda 1/2 geometrik ölçekli 18 adet betonarme kiriş imal edilmiştir. Statik üç noktalı eğilme deneyleri yapılarak, hem ACI 318 (2019)’de belirtilen etkili tabla genişliğindeki donatılarının tamamının dikkate alınması gibi bir yaklaşıma netlik kazandırmak hem de EN 1992-1-1 (2004)’deki, kiriş donatılarının etriye dışına çıkarılması durumunda katkısının ne oranda azalacağına bir netlik kazandırmak adına negatif eğilme momenti etkisi altında kiriş mesnet bölgesinde bulunan çekme donatılarına, tabla betonu içerisinde yer alan kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının kirişten uzaklığına bağlı olarak kirişin eğilme momentine katkısı, toplam etkili tabla genişliğinin ($b_{t,eff}$) belirlenmesi ve bu genişlik içerisinde yer alan ve kirişe katkı veren donatıların % olarak eşdeğerlik oranı deneysel olarak özgün deney numuneleri ve düzeneği ile araştırılmıştır.

Bu çalışma ile gevrek göçme riski, güçlü kolon-zayıf kiriş şartına yönelik tehdit ve olası kat mekanizması gibi tasarım olumsuzluklarının ortadan kaldırılması amaçlanmıştır.



Şekil 1.9. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan donatı sıkışması (Yapısor, 2021a)

Betonarme yapılar TBDY (2018)’ye göre monolitik (yekpare) kabul edilmektedir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde Şekil 1.9’da görüldüğü gibi donatıların aşırı sıkışması nedeniyle vibratör kullanılamaması, maksimum agrega boyutunun donatı aralığından büyük olması ve betonu akışkanlaştırmak için betona bilinçsizce ihtiyaçtan fazla ilave edilen fazla suyun neden olduğu segregasyonlar, bu kabulü yer yer boşa çıkarmaktadır (Şekil 1.10; Şekil 1.11). “Bir zincirin gücü, en zayıf halkasının gücü

kadardır.” prensibi gereği, özellikle moment ve kesmenin maksimum değerlere ulaştığı kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan lokal segregasyonlardan kaynaklı düşük beton dayanımı gevrek göçme riskini ortaya çıkarmaktadır (Genç ve Doğan, 2022).



şekil 1.10. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan segregasyon (Yapısor, 2021b)

Birleşim bölgelerinde oluşan bu segregasyonlar, betonda dayanım düşüklüğünün yanı sıra, su, klor, sülfat gibi zararlı maddelerin betona nüfuz etmesi neticesinde donatı korozyonuna ve beton ile donatı arasındaki aderansın zayıflamasına neden olmaktadır (şekil 1.11).



şekil 1.11. Birleşim bölgelerinde segregasyona bağlı oluşan donatı korozyonu (Turkchem, 2021)

Ayrıca, ekme bölgesinde hesaplamalarda ihmal edilen kiriş donatısına paralel etkili döşeme donatılarının katkısı ile kirişlerdeki çekme ve basınç donatı oranları farkının

($\rho_s - \rho'_s$), dengeli donatı oranının %85'inden ($\rho_s - \rho'_s > 0,85\rho_b$) büyük olmasına ve gevrek göçme riskine sebep olabilecektir.

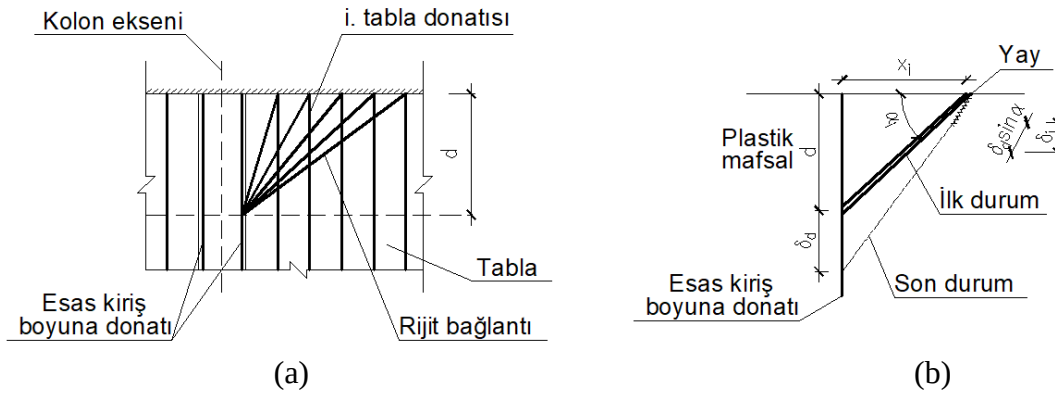
Deprem etkisi altında yer alan betonarme çerçeve bir yapıda, kuvvetli kolon-zayıf kiriş koşulu sağlandığı durumda kiriş uçlarında plastik mafsallar oluşacaktır (Ersoy, 1998). Kiriş uç bölgelerinde betonun ezilmesi durumunda, alt donatılar kuvvet çifti oluşturarak, ortaya çıkan plastik momentler sayesinde sistem mekanizmlaşmasının oluşması sağlanacak ve sistemdeki ani göçmeler önlenmiş olacaktır. Betonarme hesaplamalarda ihmal edilen kiriş donatısına paralel etkili döşeme donatılarının kirişin moment taşıma kapasitesinde %20'den fazla artışa sebep olması durumunda, kuvvetli kolon-zayıf kiriş kuralı ihlal edileceğinden Şekil 1.12'de görülen kat mekanizmlaşması tehlikesi ortaya çıkacak ve sistemde ani göçmeler olacaktır.



Şekil 1.12. Kuvvetli kiriş-zayıf kolon riski (Doğangün, Ural, Sezen, Güney ve Fırat, 2013)

Kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının kirişin yük taşıma kapasitesine katkısının dikkate alınması ile sık donatılı kiriş-kolon birleşim bölgelerinde donatıyı kalınlaştırmak veya çift sıra donatı yapmak yerine, döşeme donatısının etkili olduğu 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 maliyetinin azalacağı ve ülke ekonomisine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

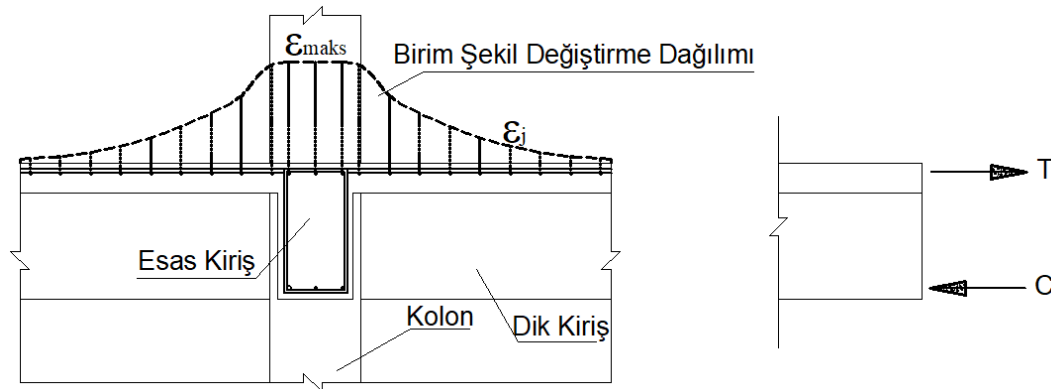
Denklem 2.1’de verilen bağıntıdan faydalanılarak bulunabilir (Pantazopoulou vd., 1988).



Şekil 2.2. Negatif eğilmede döşeme donatılarındaki değişken şekil değiştirme dağılımı için kullanılan birleşim modeli a) Kabul edilen mekanik model b) Şekil değiştirme sonrası şematik gösterim (Pantazopoulou vd., 1988)

$$\epsilon_i = \epsilon_{maks} \times \sin^2 \alpha_i \quad 2.1$$

Denklem 2.1’de yer alan ϵ_i , yanal kirişe bağlı i. döşeme donatısında eğilme doğrultusundaki birim uzamayı, ϵ_{maks} kiriş boyuna donatısının birim uzamasını ifade etmektedir. Betonarme iç aks kiriş-kolon birleşiminde, Denklem 2.1’den faydalanılarak negatif eğilme etkisi altındaki betonarme kirişin döşeme donatılarındaki birim şekil değiştirme dağılımları Şekil 2.3’te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Negatif eğilme etkisi altındaki betonarme kirişin döşeme donatılarındaki birim şekil değiştirme dağılımı

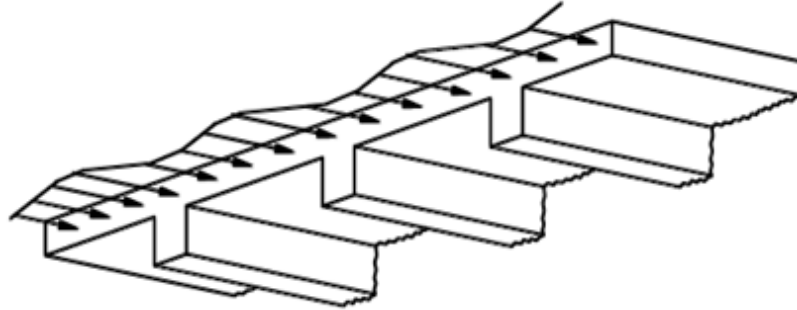
Çalışmanın ikinci aşamasında ise, 1/2 geometrik ölçekli, sekizi tablalı, onu tablasız olmak üzere toplam 18 adet betonarme kirişte üç noktalı eğilme deneyleri yapılarak, negatif eğilme momenti etkisi altında kiriş mesnet bölgesinde bulunan çekme donatılarına, tabla betonu içerisinde yer alan kiriş donatısına paralel döşeme

donatılarının kirişten uzaklığına bağlı olarak kirişin eğilme momentine katkısı, toplam etkili tabla genişliğinin ($b_{t,eff}$) belirlenmesi ve bu genişlik içerisinde yer alan ve kirişe katkı veren donatıların % olarak eşdeğerlik oranı deneysel olarak araştırılmıştır. Test edilecek deney numuneleri, TS 500 (2000) ve TBDY (2018)'ye uygun olarak betonarme çerçeve bir binanın iç kolon-kiriş birleşim bölgelerini temsil edecek şekilde seçilmiştir. Kolon-kiriş birleşim bölgesine dik doğrultuda mesnetlenen diğer kirişler dikkate alınmamıştır.

2.1. Deney Elemanlarının Geometrik Özellikleri ve İsimlendirilmeleri

2.1.1. 1/1 Ölçekli Kiriş Deneyi

Kiriş açıklığında basınç bölgesinde yer alan tabla üzerindeki gerilmelerin tabla boyunca değişken olmasından dolayı gerçek gerilme değerlerinin hesaplanması oldukça zor ve karışıktır (Şekil 2.4). Bu nedenle, TS 500 (2000)'de kiriş açıklığındaki etkili tabla genişliğinde bir gerilme dağılımı alınacak şekilde basit bir yöntem geliştirilmiştir.

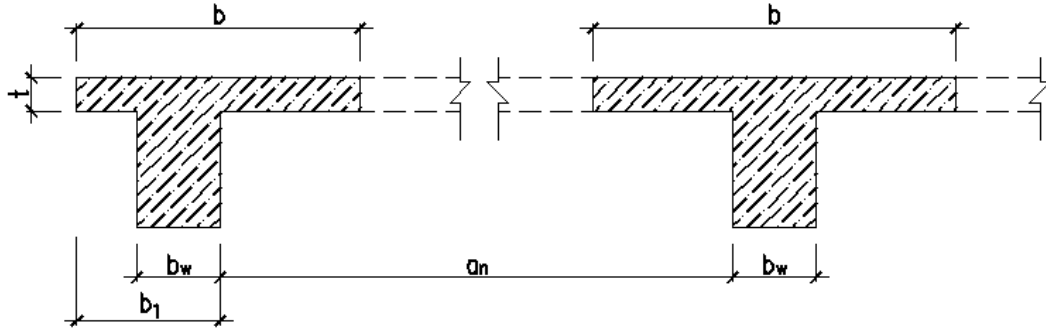


Şekil 2.4. Eğilme momenti etkisinde tabla betonundaki basınç gerilmelerinin dağılımı (MacGregor ve Wight, 2005; Küçükarslan, 2010)

Tablalı kirişler için yapılan kesit hesaplarında, yapısal çözümleme ve şekil değiştirme hesapları için gerekli olan eylemsizlik momentinin bulunmasında dikkate alınacak tabla genişliği (b), Şekil 2.5'ten faydalanılarak T-kesiti gibi simetrik kesitler için Denklem 2.2 ve L-kesiti gibi simetrik olmayan kesitler için Denklem 2.3'te verilen bağıntıdan hesaplanmaktadır.

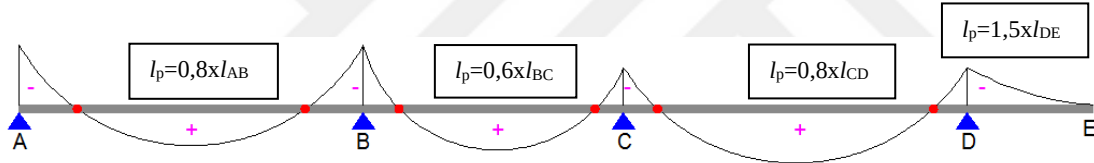
$$\text{T-kesiti gibi simetrik kesitler için,} \quad b = b_w + 0,2l_p \quad 2.2$$

$$\text{L-kesiti gibi simetrik olmayan kesitler için,} \quad b = b_1 + 0,1l_p \quad 2.3$$



Şekil 2.5. Simetrik ve simetrik olmayan kesitlerde etkili tabla genişliği (TS 500, 2000)

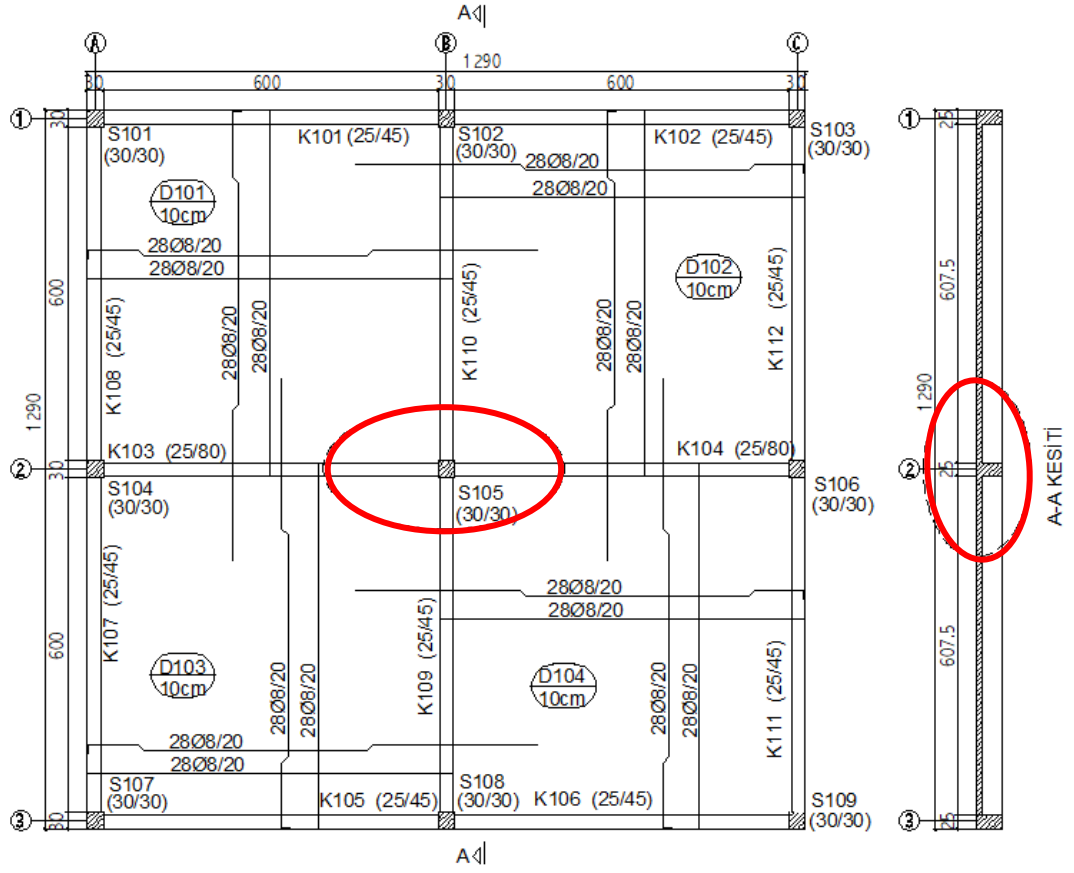
Denklem 2.2 ve Denklem 2.3'te verilen bağıntıda kullanılan b_w kiriş gövde genişliğini, b açıklıkta kiriş tabla genişliğini, t tabla kalınlığını, a_n paralel kirişler arasındaki net uzaklığı, l_p ise kirişin iki moment sıfır noktası arasında kalan uzaklığı ifade etmektedir. Daha kesin hesap yapılmayan durumlar için l_p , tek açıklıklı basit mesnetli kirişte $1,0l$, sürekli kiriş kenar açıklığında $0,8l$, sürekli kiriş iç açıklığında $0,6l$, konsol kirişte $1,5l$ alınabilmektedir (Şekil 2.6). Burada bahsedilen l , kirişin hesap açıklığı olup kirişlerde mesnet ekseninden mesnet eksenine olan uzaklıktır.



Şekil 2.6. Sürekli bir kirişte moment diyagramı ve moment sıfır noktaları

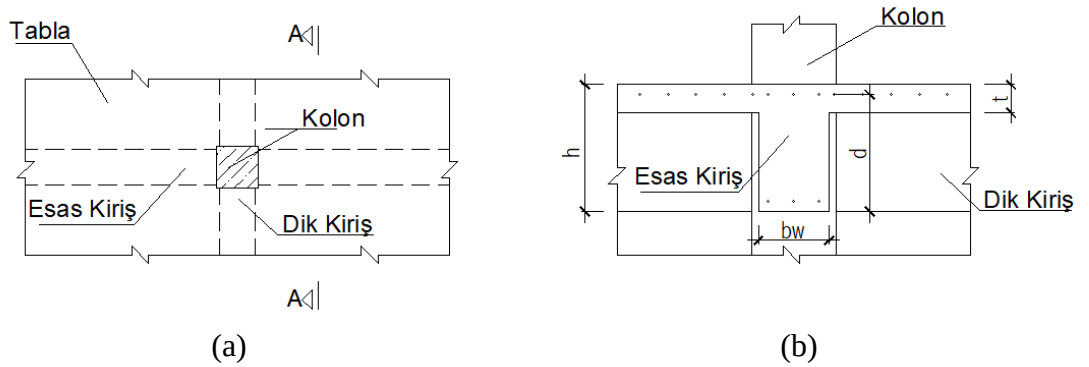
Ayrıca, kirişin bir tarafındaki gövde dışına taşan tabla genişliği, döşeme kalınlığının 6 katından ve paralel kirişler arasındaki net uzaklığın yarısından fazla olmaması gerekmektedir.

Test edilecek deney numuneleri, betonarme çerçeve bir binanın iç kolon-kiriş birleşim bölgesini temsil edecek şekilde, Şekil 2.7'de verilen kalıp planından faydalanılarak belirlenmiştir.



Şekil 2.7. 1/1 ölçekli çalışmada kullanılan kalıp planı

Şekil 2.8’de, etkili tabla genişliğine ait plan ve en kesit detayı verilmiştir. Kiriş-kolon birleşim bölgesinde, eğilme doğrultusundaki kirişler “esas kiriş”, bu doğrultuya dik olanlar ise “dik kiriş” olarak adlandırılmıştır. Kiriş-kolon birleşim bölgesine dik doğrultuda mesnetlenen bu dik kirişler çalışmada dikkate alınmamıştır.



Şekil 2.8. İç aks kiriş-kolon birleşimi (a) Plan; (b) A-A kesiti

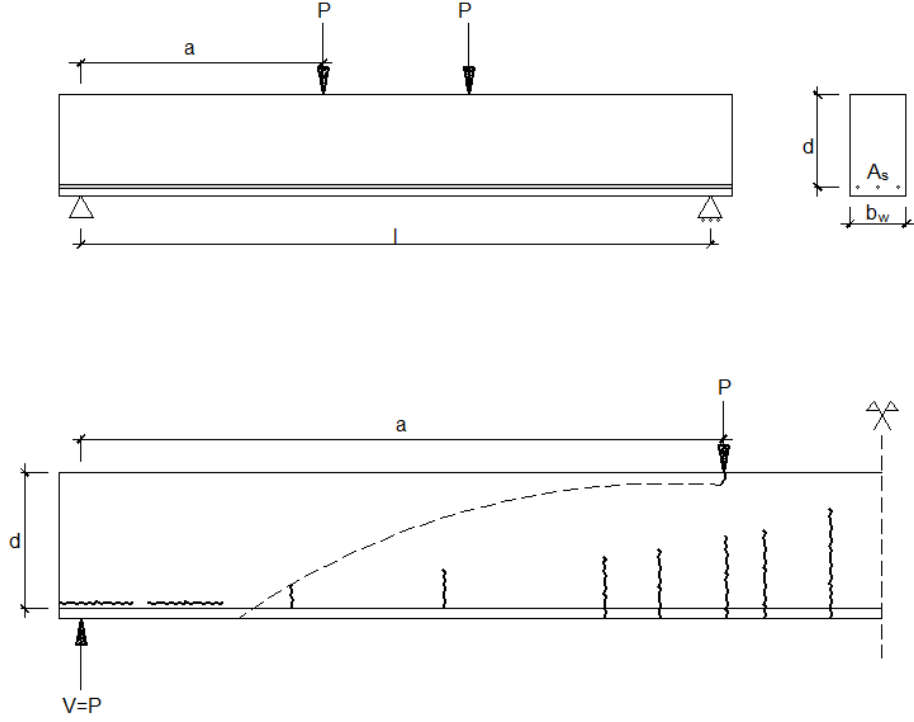
Kiriş mesnetlerinde çekme bölgesindeki döşeme donatısının katkısını belirlemek amacıyla kiriş açıklığında basınç bölgesinde yer alan etkili tabla genişliği (b) formülünden faydalanılmıştır. Kiriş hesap açıklığı (l) 600 cm ve kirişin iki moment

sıfır noktası arasında kalan uzaklığı 0,6l olduğu varsayılarak, TS 500 (2000)'de sürekli kirişler için belirtilen T-kesiti gibi simetrik kesitler için Denklem 2.2 ile hesaplanmış ve 125 cm olarak belirlenmiştir.

Ersoy, Özcebe ve Canbay (2019), basit mesnetli, kesme donatısı bulunmayan kirişlerin kesme etkisindeki davranışını, mesnet orta bölgesine simetrik yerleştirilen iki tekil yük altında incelemiş olup kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranının (a/d) 3~7 arasında olduğu durumlarda, literatürde gerçek eğik çekme kırılması olarak adlandırılan Şekil 2.9'da görülen kırılmanın gerçekleşeceğini belirlemişlerdir.

Eğik çekme kırılmasının gerçekleşmesi ve kemerlenme davranışının oluşmaması için kiriş numunesinin toplam uzunluğu, Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarındaki imkanlarımız ve etriyelerin de kesme kuvvetini karşılayacağı göz önünde bulundurularak kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı ($a/d=123,75/42,00$) yaklaşık 3 olacak şekilde, 300 cm olarak belirlenmiştir (Ersoy vd, 2019). İç açıklık kirişleri içerisinde yer alan pilyelerin kıvrılma noktaları, eğilme momentinin yaklaşık sıfır olduğu kabul edilen kiriş hesap açıklığının $l/4$ noktasından yapıldığı için söz konusu pilyenin bulunduğu bu bölge kirişin çekme etkisi içerisinde kalmaktadır. Bu nedenle, kirişin hesap açıklığı 600 cm olduğu varsayıldığından pilyenin kıvrılma noktası yaklaşık 150 cm ($=600/4$), buna göre toplam çekme bölgesi içerisinde kalan alan ise 325 cm ($=150+150+25$) olmaktadır. Buna istinaden, deneylerde seçilen kirişin boyu 300 cm olduğundan numunelerin tamamı çekme bölgesi içerisinde yer almaktadır (Anonim, 2023).

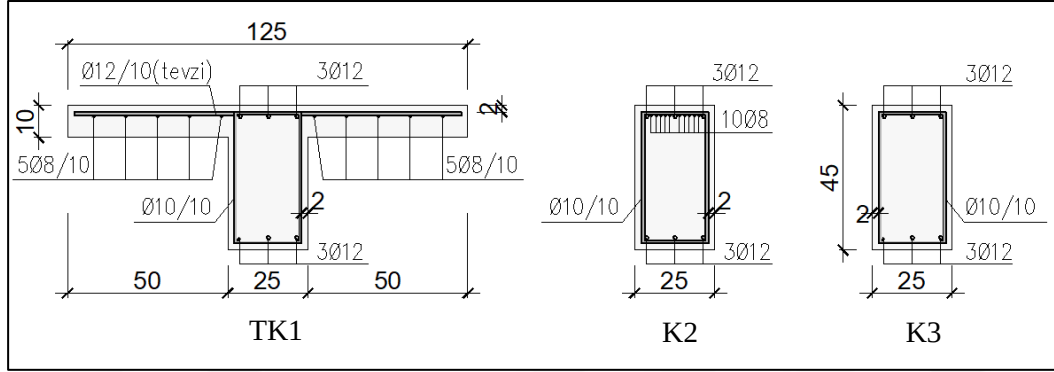
Erken kesme göçmesinin önlenmesi ve kirişlerin, kolon yüzünden itibaren kiriş yüksekliğinin iki katı kadar uzunluğundaki sarılma bölgesinde etriye sıklaştırması yapıldığı için, deney numunelerinin enine donatı çapı Ø10 seçilmiş, etriye aralıkları da 10 cm olarak dikkate alınmıştır (TBDY, 2018).



Şekil 2.9. Kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı (a/d) 3~7 olan kirişte eğik çatlakların oluşumu (Ersoy vd., 2019)

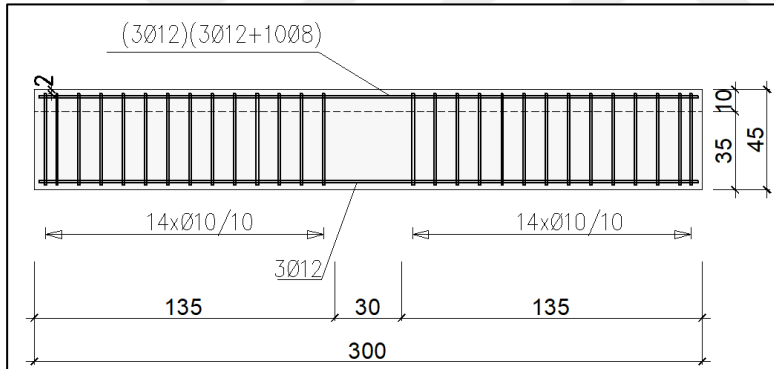
Betonarme yapı elemanlarının donatı seçimi TS 500 (2000) ve TBDY (2018)'ye uygun olarak belirlenmektedir. Genellikle, donatı zayıflığını azaltmak için kiriş donatıları minimum donatı çapında ($\varnothing 12$) veya minimum donatı çapına yakın seçilmektedir. Aynı çaptaki kiriş donatılarının artması durumunda, diğer kirişlerde kullanılabilmesi mümkün iken, kısmen çapı büyük donatı kullanılması durumunda farklı kirişlerde kullanılması pek mümkün olamamaktadır. Ayrıca, kirişlerde çok çeşitli donatı çapının kullanılması durumunda da sipariş, temin ve nakliyesinde ekstra maliyetlere ve işçiliğin artmasına yol açacaktır. Bununla beraber, donatı kesme işlemlerinde 12 mm ve altındaki küçük çaplı donatılar için el makası kullanabilmekte iken daha kalın olan donatılarda ise kollu çelik makasları kullanılmaktadır. Donatı çapının küçük seçilmesi kesim, pilye ve gönyeleme işçiliğini kolaylaştırmakla beraber aderans yüzeyini de artırmaktadır. Ayrıca, ince donatılarda aderans yüzeyinin kalın donatılara oranla fazla olması nedeniyle donatı sıyrılması ve buna bağlı olarak çatlak oluşumu ve aşırı sehimler önlenecektir. Bu sebeplerden dolayı, deneysel çalışmada kirişin çekme ve basınç bölgesinde genellikle uygulama mühendisleri tarafından yaygın şekilde kullanılan ve TS 500 (2000) ve TBDY (2018)'ye uygun minimum donatı çapı olan 12 mm tercih edilmiştir.

Yapılan bu deneysel çalışmada tabla kalınlığı 10 cm, etkili tabla genişliği 125 cm olan 25x45 cm boyutunda bir tablalı ve aynı ebatlarda iki tablasız olmak üzere toplam 3 adet 1/1 ölçekte TK1, K2 ve K3 isimli betonarme kiriş numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 2.10). Net beton örtüsü 2 cm olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.10. 1/1 ölçekli deneyde kullanılacak kirişlerin en kesitleri (ölçüler cm)

Negatif eğilme momenti etkisindeki tablalı kirişin boyuna donatı yerleşimi Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11. 1/1 ölçekli deneyde kullanılacak kirişlerin boy kesiti (ölçüler cm)

Boyutları TBDY (2018)’ye uygun seçilen 25x45 cm dikdörtgen kesitli kirişin, negatif eğilme etkisinde çekme bölgesinde hesaplanan minimum donatısı (3Ø12) basınç bölgesinde de kullanılmıştır. Bu deney numunesi K3 olarak isimlendirilmiş ve referans deney numunesi olarak belirlenmiştir. Etkili tablalı kesiti içerisinde yer alan kiriş donatısının paralel döşeme donatılarının katkılarının araştırılması amacıyla çekme ve basınç bölgesinde 3Ø12 donatı bulunan kirişin (referans deney numunesi), tabla ile birleştiği üst kısımdan başlamak üzere sırayla her iki yöne 10 cm arayla Ø8 çapında toplam 10 adet döşeme donatısı ilave edilerek TK1 isimli deney numunesi oluşturulmuştur. Tevzi donatısı olarak 10 cm arayla Ø12 donatı kullanılmıştır. K2 isimli deney numunesinde ise, çekme ve basınç bölgesinde 3Ø12 donatı bulunan

dikdörtgen kesitli kirişin çekme bölgesine TK1 isimli deney numunesinin etkili tabla içerisinde yer alan 10Ø8 donatı ilave edilmiştir. Çizelge 2.1’de kiriş kesiti, donatının konumu, alanı ve sayısına göre toplam 3 adet numunenin isimlendirilmesi gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. 1/1 ölçekli deney numunelerinin isimlendirilmesi

Numune İsmi	Kiriş Kesiti	Donatı Konumu	Donatı Sayısı	Donatı Alanı (mm ²)
TK1	Tablalı	Gövde Üst (Çekme), A_s	3Ø12	339,29
		Gövde Alt (Basınç), A'_s	3Ø12	339,29
		Tabla (Çekme)	10Ø8	502,66
		Etriye	Ø10/10	
		Tevzi	Ø12/10	
K2	Dikdörtgen	Gövde Üst (Çekme), A_s	3Ø12 + 10Ø8	841,95
		Gövde Alt (Basınç), A'_s	3Ø12	339,29
		Etriye	Ø10/10	
K3 (Referans Numune)	Dikdörtgen	Gövde Üst (Çekme), A_s	3Ø12	339,29
		Gövde Alt (Basınç), A'_s	3Ø12	339,29
		Etriye	Ø10/10	

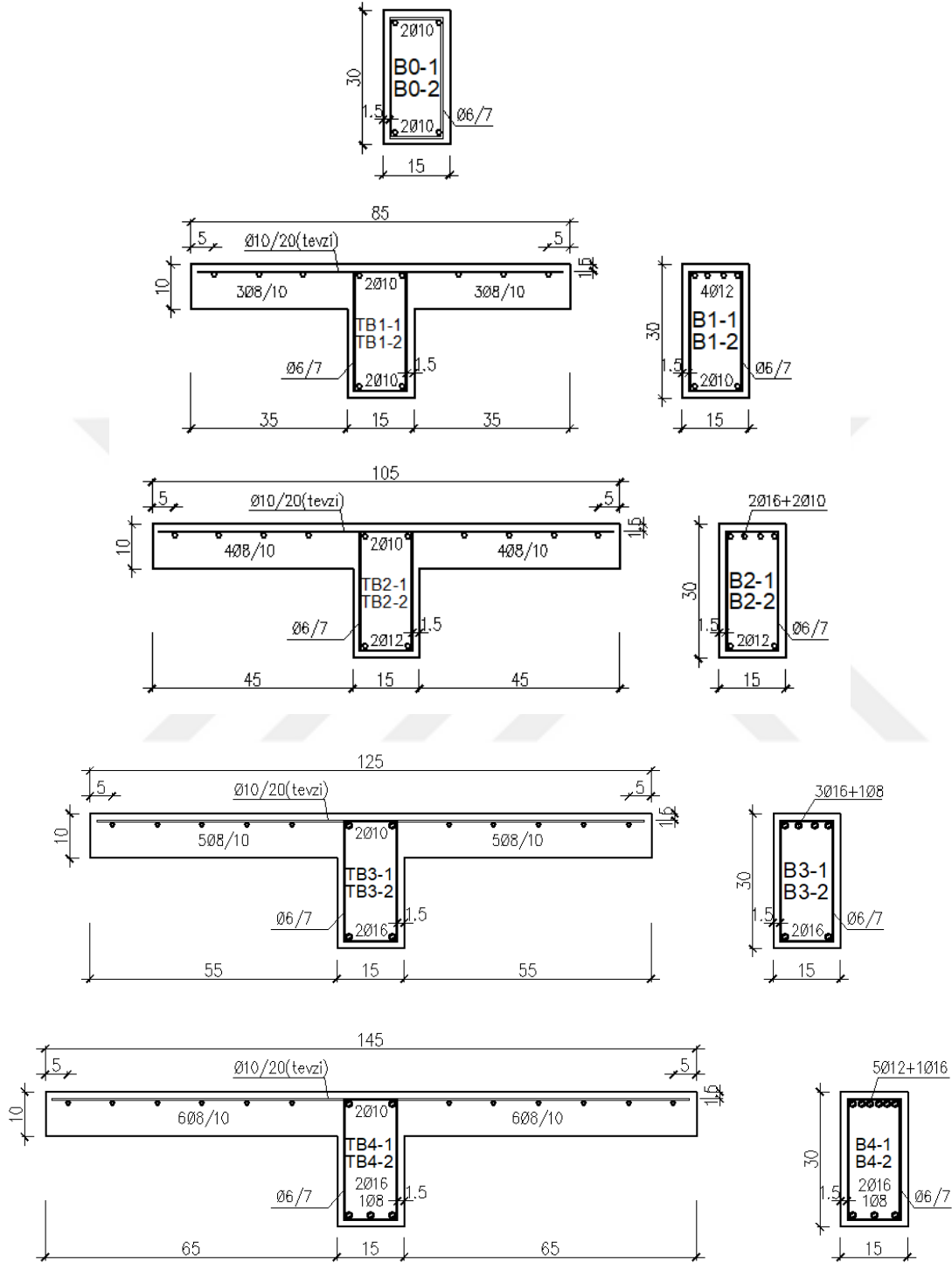
2.1.2. 1/2 Ölçekli Kiriş Deneyi

Eğik çekme kırılmasının gerçekleşmesi ve kemerlenme davranışının oluşmaması için kiriş numunesinin toplam uzunluğu, Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarındaki imkanlarımız ve etriyelerin de kesme kuvvetini karşılayacağı göz önünde bulundurularak kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı ($a/d=90/27,90$) yaklaşık 3 olacak şekilde, kirişin çekme bölgesinde yer aldığı varsayılarak 205 cm olarak belirlenmiştir (Ersoy vd., 2019).

Erken kesme göçmesinin önlenmesi ve kirişlerin, kolon yüzünden itibaren kiriş yüksekliğinin iki katı kadar uzunluğundaki sarılma bölgesinde etriye sıklaştırması yapıldığı için, deney numunelerinin enine donatı çapı Ø6 seçilmiş, etriye aralıkları da 7 cm olarak dikkate alınmıştır (TBDY, 2018).

Yapılan bu deneysel çalışmada 8 adedi tablalı ve 10 adedi tablasız olmak üzere toplamda 18 adet 1/2 geometrik ölçekli betonarme kiriş üretilmiştir. Boyutları 15x30 cm, tabla kalınlığı 10 cm, tabla genişliği (b_f) 85, 105, 125 ve 145 cm olan tablalı kirişlerden 2’şer adet, tablalı kirişler ile benzer donatı oranına sahip tablasız kirişlerden

2'şer adet, referans olarak da 2 adet tablasız kiriş hazırlanmıştır (Şekil 2.12). Net beton örtüsü 1,50 cm olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.12. 1/2 ölçekli deneyde kullanılacak kirişlerin en kesitleri (ölçüler cm)

Çizelge 2.2. 1/2 ölçekli deney numunelerinin isimlendirilmesi

Numune İsmi	Kiriş Kesiti	Tabla Genişliği, b_f (cm)	Donatı Konumu	Donatı Sayısı	Donatı Alanı (mm ²)
TB1-1 TB1-2	Tablalı	85	Gövde Üst (Çekme), A_s	2Ø10	157,08
			Gövde Alt (Basınç), A'_s	2Ø10	157,08
			Tabla (Çekme)	6Ø8	301,59
			Etriye	Ø6/7	
			Tevzi	Ø10/20	
TB2-1 TB2-2	Tablalı	105	Gövde Üst (Çekme), A_s	2Ø10	157,08
			Gövde Alt (Basınç), A'_s	2Ø12	226,20
			Tabla (Çekme)	8Ø8	402,12
			Etriye	Ø6/7	
			Tevzi	Ø10/20	
TB3-1 TB3-2	Tablalı	125	Gövde Üst (Çekme), A_s	2Ø10	157,08
			Gövde Alt (Basınç), A'_s	2Ø16	402,12
			Tabla (Çekme)	10Ø8	502,65
			Etriye	Ø6/7	
			Tevzi	Ø10/20	
TB4-1 TB4-2	Tablalı	145	Gövde Üst (Çekme), A_s	2Ø10	157,08
			Gövde Alt (Basınç), A'_s	2Ø16 + 1Ø8	452,38
			Tabla (Çekme)	12Ø8	603,19
			Etriye	Ø6/7	
			Tevzi	Ø10/20	
B0-1 B0-2	Dikdörtgen	15	Gövde Üst (Çekme), A_s	2Ø10	157,08
			Gövde Alt (Basınç), A'_s	2Ø10	157,08
			Etriye	Ø6/7	
B1-1 B1-2	Dikdörtgen	15	Gövde Üst (Çekme), A_s	4Ø12	452,39
			Gövde Alt (Basınç), A'_s	2Ø10	157,08
			Etriye	Ø6/7	
B2-1 B2-2	Dikdörtgen	15	Gövde Üst (Çekme), A_s	2Ø16 + 2Ø10	559,20
			Gövde Alt (Basınç), A'_s	2Ø12	226,20
			Etriye	Ø6/7	
B3-1 B3-2	Dikdörtgen	15	Gövde Üst (Çekme), A_s	3Ø16 + 1Ø8	653,45
			Gövde Alt (Basınç), A'_s	2Ø16	402,12
			Etriye	Ø6/7	
B4-1 B4-2	Dikdörtgen	15	Gövde Üst (Çekme), A_s	5Ø12 + 1Ø16	766,55
			Gövde Alt (Basınç), A'_s	2Ø16 + 1Ø8	452,38
			Etriye	Ø6/7	

Boyutları TBDY (2018)'ye uygun seçilen 1/2 geometrik ölçekli 15x30 cm dikdörtgen kesitli kirişin, negatif eğilme etkisinde çekme bölgesinde hesaplanan minimum donatısı (2Ø10) basınç bölgesinde de kullanılmıştır. Bu deney numunesi B0-1 ve B0-2 olarak isimlendirilmiş ve referans deney numuneleri olarak belirlenmiştir. Tabla betonu içerisinde yer alan kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının kirişten uzaklığına bağlı olarak kirişin eğilme momentine katkısı ve toplam etkili tabla genişliğinin belirlenmesi amacıyla çekme bölgesinde 2Ø10 donatı bulunan kirişin (referans deney numunesi), tabla ile birleştiği üst kısmından başlamak üzere sırayla her iki yöne 10 cm arayla Ø8 çapında döşeme donatısı ilave edilerek 85, 105, 125 ve 145 cm tabla genişliğine sahip 8 adet deney numunesi oluşturulmuştur. Tevzi donatısı olarak 10 cm arayla Ø10 donatı kullanılmıştır. Ayrıca, tablalı kirişlerin kıyaslamasını yapabilmek için gövde kesiti ve tabla içerisinde yer alan donatıların oranı kadar donatı miktarı tablasız numunelerin çekme bölgelerine yerleştirilerek 8 adet de dikdörtgen kesitli numuneler oluşturulmuştur. Bununla beraber gevrek göçmenin önlenmesi adına, çekme donatısı oranının artışına göre basınç donatısında da artış yapılmıştır. Çizelge 2.2'de kiriş kesiti, tabla genişliği, donatının konumu, alanı ve sayısına göre toplam 18 adet numunenin isimlendirilmesi gösterilmiştir.

2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

2.2.1. 1/1 Ölçekli Kiriş Deneyi

2.2.1.1. Agrega

Beton karışımlarında kullanılan agrega, TS 706 EN 12620+A1 (2009) şartnamesine uygun olarak doğal kayadan işlenmiş kırma taştan oluşmaktadır. Şekil 2.13'te görüldüğü üzere Kırıkkale ilinin Yahşıhan ilçesinde bulunan taş ocaklarından temin edilen tane büyüklüğü 0,00-4,00 mm olan ince agrega ve 4,00-10,00 mm olan iri agrega kullanılmıştır.



Şekil 2.13. İnce ve iri agregaların görünümü

Beton karışımında kullanılan agregaların şartnamelere uygunluğunun kontrolü için, agregalar üzerinde tane büyüklüğü dağılımı, gevşek-sıkışık birim ağırlık tayini, özgül ağırlık tayini, su emme oranı tayini ve organik kökenli madde tayini deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları neticesinde ince ve iri agreganın elde edilen fiziksel özellikleri Çizelge 2.3'te, elek analizi sonrası elekten geçen malzemelerin yığışım yüzdesi Çizelge 2.4'te verilmiştir (TS EN 933-1, 2012; TS EN 1097-3, 1999; TS EN 1744-1+A1, 2013; TS EN 1097-6, 2022)

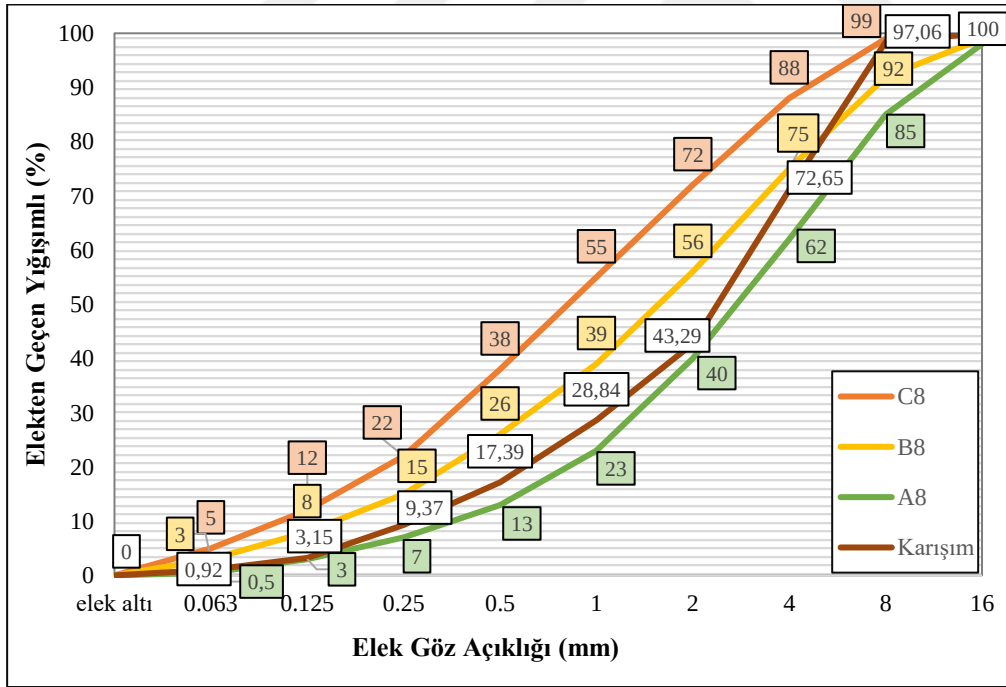
Çizelge 2.3. Karışımında kullanılan ince ve iri agreganın fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler		İnce Agregası (0-4 mm)	İri Agregası (4-10 mm)
Birim Ağırlık (kg/dm ³)	Gevşek	1,59	1,43
	Sıkışık	1,78	1,57
Özgöl Ağırlık (kg/dm ³)		2,48	2,60
Su Emme Oranı (%)		4,50	0,90
Organik Kökenli Madde		Yok	Yok

En az boşluklu beton elde edilebilmesi amacıyla ince agregası %70, iri agregası ise %30 oranında kullanılarak agregası karışımı hazırlanmıştır (TS EN 933-1, 2012). Agregası en büyük tane büyüklüğü 10,00 mm olan beton için belirlenen agregası tane büyüklüğü dağılımı (granülometri) eğrisi TS 802 (2016)'ye uygun olarak Şekil 2.14'te gösterilmiştir (TS EN 933-1, 2012). Şekil 2.14'te görülen A₈ eğrisi kalınlık sınırı, B₈ eğrisi ideal granülometri, C₈ eğrisi ise incelik sınırı olup A₈ ve B₈ arasında kalan bölge uygun granülometri alanını göstermektedir. Elde edilen karışım agregasının, granülometri eğrisinin A₈ ve B₈ granülometri eğrilerinin arasında kalması sağlanmıştır.

Çizelge 2.4 Karışımında kullanılan agreganın elek analizi sonuçları

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen % (Yığışım)	
	İnce Agrega (0-4 mm)	İri Agrega (4-10 mm)
16,00	100,00	100,00
8,00	100,00	90,20
4,00	99,57	9,85
2,00	60,55	3,01
1,00	40,60	1,40
0,50	24,22	1,46
0,25	12,88	1,18
0,125	4,17	0,77
0,063	1,23	0,18
Toplama Kabı	0,00	0,00



Şekil 2.14. Beton için belirlenen granülometri eğrisi

2.2.1.2. Çimento

Deney numuneleri için hazırlanan beton karışımlarında Kırıkkale Baştaş Çimento Fabrikası'ndan temin edilen TS EN 197-1 (2012)'e uygun üretilmiş CEM IV/B (P) 32,5 N-SR sülfata dayanıklı pozolanik çimento kullanılmıştır (Şekil 2.15). TS EN 197-

1 (2012)'de tanımlanmış kütlece %45-56 oranında portland çimentosu klinkerinin, %36-55 oranında puzolan ve/veya silissi uçucu kül gibi katkı maddesi, priz düzenleyici olarak alçı taşı ve %0-5 oranında minör ilave bileşen (kalker) ile birlikte öğütülmesiyle elde edilen katkılı bir çimento tipidir. Bu çimento tipleri puzolanik özelliğinden dolayı, sülfatlı ve asitli sulara oldukça dayanıklıdır.



Şekil 2.15. Çimento

Fabrikadan çimentoya ait veriler temin edilemediği için, TS EN 197-1 (2012)'e uygun olarak üretilen çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerine dair TS EN 197-1 (2012)'deki sınır verileri Çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.5. CEM IV/B (P) 32,5 N-SR çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri (TS EN 197-1, 2012)

Kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler	Sülfat miktarı (SO ₃)	≤ %3,50
	Klorür muhtevası (Cl ⁻)	≤ %0,10
	Klinkerin C ₃ A içeriği	≤ 9,00
	Puzolanik özellik	Deneyi sağlar
	Priz başlama süresi (dakika)	≥ 75
	Genleşme (mm)	≤ 10,00
	2 günlük basınç dayanımı (MPa)	-
	7 günlük basınç dayanımı (MPa)	≥ 16,00
	28 günlük basınç dayanımı (MPa)	32,50-52,50

2.2.1.3. Karışım Suyu

Çalışmada, beton karışım suyu olarak Kırıkkale Üniversitesi şebeke suyu kullanılmıştır.

2.2.1.4. Katkı Malzemeleri

Beton karışımı içerisinde herhangi bir katkı malzemesi kullanılmamıştır.

2.2.1.5. Betonarme Çeliği

Deney elemanlarında kullanılan nervürlü çelik çubuklar bir seferde aynı fabrikadan temin edilmiştir. Donatı olarak kullanılan 8, 10 ve 12 mm çaplarına sahip nervürlü çelik çubuklardan üçer adet toplamda ise 9 adet çelik çubuk, TS EN ISO 6892-1 (2020)'e uygun olarak çekme testlerine tabi tutulmuştur (Şekil 2.16).

Donatılara ait kesit alanı, akma dayanımı (f_{yk}), nihai çekme dayanımı (f_u), nihai çekme dayanımının akma dayanımına oranı, deneysel akma dayanımının karakteristik akma dayanımına oranı ve kopma uzaması (%) belirlenmiştir. Deney elemanlarında kullanılan 8, 10 ve 12 mm çapındaki donatılara ait mekanik özellikler Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Donatılara ait mekanik özellikler (1/1 ölçekli deney)

Çap, Ø (mm)	Kesit Alanı, (mm ²)	Akma Dayanımı, f_{yk} (MPa)	Nihai Çekme Dayanımı, f_u (MPa)	Çekme Dayanımı/ Akma Dayanımı	Deneysel. Akma Dayanımı/ Karak. Akma Dayanımı (B420C)	Deneysel. Akma Dayanımı/ Karak. Akma Dayanımı (B500C)	Kopma Uzaması (%)
Ø8	50,24	511,53	675,75	1,31	1,23	1,02	22,50
	50,24	522,54	616,04	1,18	1,25	1,05	20,00
	50,24	532,45	633,96	1,19	1,27	1,07	17,50
Ø10	78,50	514,88	654,20	1,27	1,23	1,03	19,00
	78,50	517,33	627,70	1,21	1,23	1,04	21,60
	78,50	522,12	653,82	1,25	1,24	1,04	20,00
Ø12	113,04	519,71	671,09	1,29	1,24	1,04	20,00
	113,04	488,33	643,75	1,32	1,16	0,98	21,67
	113,04	505,23	651,72	1,29	1,20	1,01	20,00

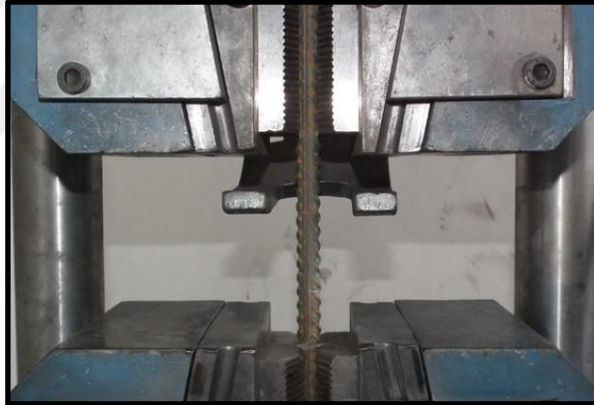
TS 708 (2016)'e göre, sünek davranışın sağlanabilmesi için B420C ve B500C sınıf donatılarda, minimum kopma uzamasının %12'den az olamayacağı, deneysel akma dayanımının karakteristik akma dayanımına oranının 1,30'dan büyük olamayacağı, deneysel çekme dayanımının deneysel akma dayanımına oranının 1,15'ten küçük veya

1,35'ten büyük olamayacağı belirtilmiştir. Yapılan çekme testlerine göre, kopma uzaması %17,50-22,50, deneysel akma dayanımının karakteristik akma dayanımına oranı B420C sınıfı donatılarda 1,16-1,27, B500C sınıfı donatılarda 0,98-1,07, deneysel çekme dayanımının deneysel akma dayanımına oranı 1,18-1,32 hesaplanmış ve TS 708 (2016)'e uygun olduğu tespit edilmiştir.

Hesaplamalarda 8, 10 ve 12 mm çaplarına sahip nervürlü donatılar için Çizelge 2.7'de verilen ortalama akma dayanımı ($f_{yk,ort}$) ve ortalama nihai çekme dayanımı ($f_{u,ort}$) dikkate alınmıştır.

Çizelge 2.7. Hesaplamalarda kullanılan donatı özellikleri (1/1 ölçekli deney)

Çap, Ø (mm)	Ortalama Akma Dayanımı, $f_{yk,ort}$ (MPa)	Ortalama Çekme Dayanımı, $f_{u,ort}$ (MPa)
Ø8	522,17	641,92
Ø10	518,11	645,24
Ø12	504,42	655,52



Şekil 2.16. Donatı numuneleri çekme deneyi

2.2.1.6. Beton

Deney elemanlarının betonları Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında hazırlanarak kalıplara dökümü yapılmıştır. Donatının sık olduğu yerlerdeki betonun yerleşimini sağlayabilmek ve betonun işlenebilirliği için en büyük tane büyüklüğü $D_{max}=10$ mm olarak belirlenmiş, beton karışımında 0-4 mm ve 4-10 mm tane büyüklüğünde iki grup agrega kullanılmıştır. Betonda ezilmenin gerçekleşmemesi için C20/25 beton sınıfını hedeflenmiş ve Çizelge 2.4'te verilen elek analizi sonuçlarına göre 0-4 mm tane büyüklüğündeki ince agregadan %70 oranında,

4-10 mm tane büyüklüğündeki iri agregadan %30 oranında katılması gerektiği hesaplanmıştır.

Deney elemanlarında çimento olarak Çizelge 2.5'te özellikleri verilen Baştaş CEM IV/B (P) 32,5 N-SR sülfata dayanıklı puzolanik çimento kullanılmıştır. Beton karışımı içerisinde herhangi bir katkı malzemesi kullanılmamıştır. Su/çimento oranı 0,54 olup 1 m³ beton üretiminde 465 kg çimento kullanılmıştır. Hava miktarı TS 802 (2016)'ye göre %2,50 alınmıştır. 1 m³ betonun hazırlanması için gerekli olan ağırlıkça karışım oranları Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Deney elemanlarında kullanılan 1 m³ beton için karışım oranları

Betonda Kullanılan Malzemeler	Ağırlık (kg)	Oranı (%)
Çimento (CEM IV/B (P) 32,5 N-SR)	465,00	20,74
İnce Agregat (0,00-4,00 mm)	1076,00	47,99
İri Agregat (4,00-10,00 mm)	451,00	20,12
Su	250,00	11,15
Toplam	2242,00	100,00

Beton üretiminde kullanılan ince ve iri agregalar, çimento ve su hassas terazide tartılarak hazırlanmıştır (Şekil 2.17). İlk aşamada, agregalar nemlendirilmiş eğik eksenli betonyere katılmış ardından su ilave edilerek üç dakika karıştırılmış, hemen sonra çimento eklenerek üç dakika daha karıştırıldıktan sonra su ilave edilmiş ve üç dakika daha karıştırılarak betonlar elde edilmiştir.



Şekil 2.17. Beton karışımının hazırlanması

Hazırlanan beton karışımının kıvamını belirlemek amacıyla TS EN 12350-2 (2019)'ye göre yapılan ve Şekil 2.18'de görülen çökme (slump) deneyinde, S3 çökme sınıfı içerisinde yer alan 120 mm çökme (slump) değeri hesaplanmıştır.



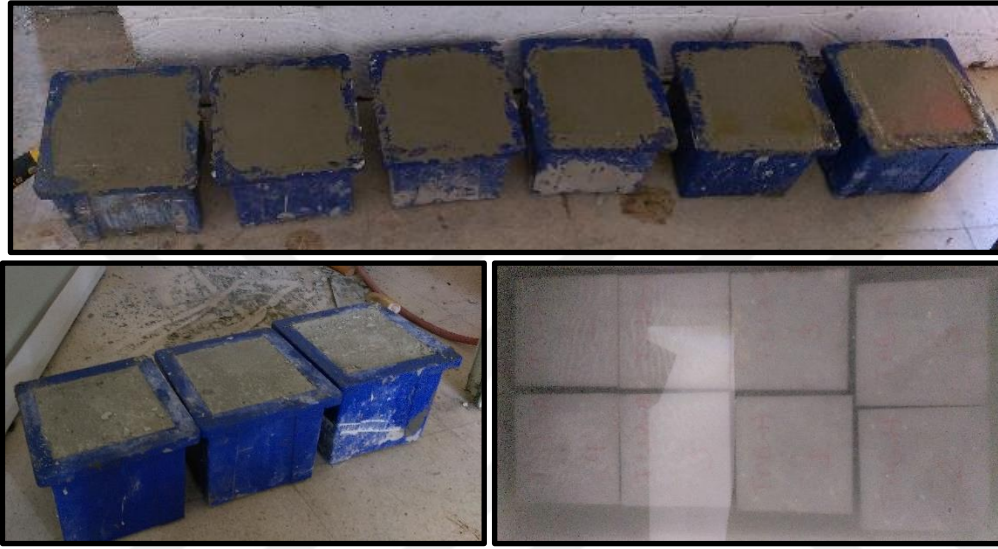
Şekil 2.18. 1/1 ölçekli deneyde çökme (slump) deneyi

TS 802 (2016) şartnamesine uygun olarak deneyin yapılacağı Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında C20/25 beton sınıfı hedeflenerek hazırlanan toplam 1,30 m³ beton karışımı, toplam 3 grup halinde hazırlanmıştır.

Hedeflenen beton sınıfının 28 günlük ve deney günündeki ortalama basınç dayanımları her farklı beton üretimi sırasında alınan altışar adet küp numunesinin test edilmesi ile bulunmuştur. 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)'ye uygun olarak hazırlanmıştır.

Alınan bu numunelerin prizini alması için, numunelerin alındığı bölgede bir gün boyunca bekletilmiştir. Bunlardan 3'er adedi üretiminden bir gün sonra kalıplarından çıkarılmış ve 28 gün boyunca 20 ± 2 °C kür havuzunda küre tabii tutulmuş, diğer küp numuneler ise test gününe kadar deney numunelerinin yanında numuneler ile aynı koşullarda bekletilmiştir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Prizini alması bekleyen ve kür havuzunda küre tabii tutulan küp numuneler

28. günün sonunda kür havuzundan çıkarılan numunelerin kuruması tamamlandıktan sonra TS EN 12390-3 (2019) yönergeleri izlenerek Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarında Şekil 2.20'de gösterilen 300 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü pres yardımıyla sabit yükleme altında tek eksenli basınç dayanım testleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.20. Tek eksenli basınç dayanım deneyi

Beton küp numunelerinin basınç dayanım değerleri (f_c), Denklem 2.4 yardımıyla hesaplanmıştır (TS EN 12390-3, 2019).

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad 2.4$$

Denklem 2.4'te yer alan;

f_c : Küp numunenin basınç dayanımını (N/mm²),

F : Kırılma anında ulaşılan en büyük yükü (N),

A_c : Basınç yükünün uygulandığı yüzeyin en kesit alanını (mm²),

ifade etmektedir.

Küplerin 28 günlük beton dayanım sonuçları, hedeflenen C20/25 betonu sağlamadığı için, kalan küp numunelerinin ve deney numunelerin üzerine jüt kumaş serilerek ve ıslatılarak kürleme yapılmıştır. Ayrıca, kırışte gevrek göçmenin olmaması için N-Schmidt beton test çekici ile deney numunelerin basınç dayanımları C20/25 beton sınıfına ulaşıncaya kadar kürleme yapılmaya devam edilmiştir. Beton karışımında kullanılan CEM IV/B (P) 32,5 N-SR sülfata dayanıklı puzolanik çimentonun CEM I 42,5 R'ye göre daha geç dayanım kazanması ve erken dayanımının düşük olması ile agrega tane büyüklüğünün küçük seçilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Betonun 28 günlük ve test günündeki küp numunelerin dayanımları baz alınarak hesaplanan karakteristik silindir basınç dayanımları (f_{ck}) ile deney günü basınç dayanımlarına ait elastisite modülleri Çizelge 2.9'da verilmiştir. Küp numunelerinin basınç dayanımının silindir basınç dayanımına dönüştürülmesinde TS EN 206+A2 (2021) standardından faydalanılmış, C20/25 ve daha düşük dayanımlı betonlarda kullanılan 0,80 katsayısı ile karakteristik silindir dayanımları hesaplanmıştır.

Yapılan deney sonuçlarına bakıldığında, deney gününe ait beton numunelere ait silindir basınç dayanımlarının ortalaması TK1, K2 ve K3 için sırasıyla 19,10; 21,43 ve 26,50 MPa olarak bulunmuştur. Bu sonuç ile üretilen numunelerin yaklaşık olarak hedeflenen basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Betonun elastisite modülü (E_c), betonun karakteristik silindir dayanımına (f_{ck}) bağlı olarak Denklem 2.5'e göre belirlenmiştir (TS 500, 2000).

$$E_c = 3250 \sqrt{f_{ck}} + 14000 \quad (MPa) \quad 2.5$$

Çizelge 2.9. Beton silindir basınç dayanımları ve elastisite modülleri (1/1 ölçekli deney)

Deney Numunesi	Basınç Dayanımı, f_{ck} , (MPa)				Deney Günü Elastisite Modülü, E_c (MPa)
	28 günlük	28 günlük (Ortalama)	Deney günü	Deney günü (Ortalama)	
TK1	13,83	14,43	20,13 (153. gün)	19,10 (153. gün)	28203
	14,64		18,09 (153. gün)		
	14,82		19,08 (153. gün)		
K2	16,86	15,76	21,33 (165. gün)	21,43 (165. gün)	29045
	14,43		21,86 (165. gün)		
	15,98		21,09 (165. gün)		
K3	18,58	19,46	26,50 (172. gün)	26,50 (172. gün)	30730
	20,12		26,20 (172. gün)		
	19,69		26,81 (172. gün)		

2.2.2. 1/2 Ölçekli Kiriş Deneyi

2.2.2.1. Betonarme Çeliği

Deney elemanlarında kullanılan nervürlü çelik çubuklar bir seferde aynı fabrikadan temin edilmiştir. Donatı olarak kullanılan 8, 10, 12 ve 16 mm çaplarına sahip nervürlü çelik çubuklardan üçer adet toplamda ise 12 adet çelik çubuk, TS EN ISO 6892-1 (2020)'e uygun olarak çekme testlerine tabi tutulmuştur. Etriye olarak kullanılan 6 mm çapındaki nervürlü donatılar ise Q188/188 tipindeki hasır çelikteki donatılardan temin edilmiştir.

Donatılara ait kesit alanı, akma dayanımı (f_{yk}), nihai çekme dayanımı (f_u), nihai çekme dayanımının akma dayanımına oranı, deneysel akma dayanımının karakteristik akma dayanımına oranı ve kopma uzaması (%) belirlenmiştir. Deney elemanlarında kullanılan 8, 10, 12 ve 16 mm çapındaki donatılara ait mekanik özellikler Çizelge 2.10'da verilmiştir.

Çizelge 2.10. Donatılara ait mekanik özellikler (1/2 ölçekli deney)

Çap, Ø (mm)	Kesit Alanı, (mm ²)	Akma Dayanımı, f_{yk} (MPa)	Nihai Çekme Dayanımı, f_u (MPa)	Çekme Dayanımı/ Akma Dayanımı	Deneysel. Akma Dayanımı/ Karakt. Akma Dayanımı (B420C)	Deneysel. Akma Dayanımı/ Karakt. Akma Dayanımı (B500C)	Kopma Uzaması (%)
Ø8	50,24	511,53	675,75	1,31	1,23	1,02	22,50
	50,24	522,54	616,04	1,18	1,25	1,05	20,00
	50,24	532,45	633,96	1,19	1,27	1,07	17,50
Ø10	78,50	514,88	654,20	1,27	1,23	1,03	19,00
	78,50	517,33	627,70	1,21	1,23	1,04	21,60
	78,50	522,12	653,82	1,25	1,24	1,04	20,00
Ø12	113,04	519,71	671,09	1,29	1,24	1,04	20,00
	113,04	488,33	643,75	1,32	1,16	0,98	21,67
	113,04	505,23	651,72	1,29	1,20	1,01	20,00
Ø 16	200,96	492,24	594,15	1,21	1,17	0,99	20,00
	200,96	493,38	598,38	1,21	1,17	0,99	20,00
	200,96	486,27	593,00	1,22	1,16	0,97	20,00

TS 708 (2016)'e göre, sünek davranışın sağlanabilmesi için B420C ve B500C sınıf 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'ten küçük veya 1,35'ten büyük olamayacağı belirtilmiştir. Yapılan çekme testlerine göre, kopma uzaması %17,50-22,50, deneysel akma dayanımının karakteristik akma dayanımına oranı B420C sınıfı donatılarda 1,16-1,27, B500C sınıfı donatılarda 0,97-1,07, deneysel çekme dayanımının deneysel akma dayanımına oranı 1,18-1,32 hesaplanmış ve TS 708 (2016)'e uygun olduğu tespit edilmiştir.

Hesaplamalarda 8, 10, 12 ve 16 mm çaplarına sahip nervürlü donatılar için Çizelge 2.11'de verilen ortalama akma dayanımı ($f_{yk,ort}$) ve ortalama nihai çekme dayanımı ($f_{u,ort}$) dikkate alınmıştır.

Çizelge 2.11. Hesaplamalarda kullanılan donatı özellikleri (1/2 ölçekli deney)

Çap, Ø (mm)	Ortalama Akma Dayanımı, $f_{yk,ort}$ (MPa)	Ortalama Çekme Dayanımı, $f_{u,ort}$ (MPa)
Ø8	522,17	641,92
Ø10	518,11	645,24
Ø12	504,42	655,52
Ø16	490,63	595,18

2.2.2.2. Beton

Donatının sık olduğu yerlerdeki betonun yerleşimini sağlayabilmek ve betonun işlenebilirliği için tercih edilen brüt beton, Kırıkkale ilinde bulunan hazır beton fabrikasından temin edilmiştir. Betonda ezilmenin gerçekleşmemesi için C25/30 beton sınıfı hedeflenmiştir. Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarına getirilen transmikserden alınan toplam 3,30 m³ betonun, el arabaları ile kalıplara dökümü yapılmıştır.

Hazırlanan beton karışımının kıvamını belirlemek amacıyla TS EN 12350-2 (2019) 'ye göre yapılan ve Şekil 2.21'de görülen çökme (slump) deneyinde, S3 çökme sınıfı içerisinde yer alan 135 mm çökme (slump) değeri hesaplanmıştır.



Şekil 2.21. 1/2 ölçekli deneyde çökme (slump) deneyi

Hedeflenen beton sınıfının 28 günlük ve deney günündeki ortalama basınç dayanımları alınan küp numunelerinin test edilmesi ile bulunmuştur. Bu amaçla, beton dökümü sırasında toplam 6 adet 150x150x150 mm beton küp numunesi TS EN 12390-2 (2019)'ye uygun olarak hazırlanmıştır.

Alınan bu numunelerin prizini alması için, numunelerin alındığı bölgede bir gün boyunca bekletilmiştir. Bunlardan 3 adedi üretiminden bir gün sonra kalıplarından çıkarılmış ve 28 gün boyunca 20 ± 2 °C kür havuzunda küre tabii tutulmuş, diğer küp numuneler ise test gününe kadar deney numunelerinin yanında numuneler ile aynı koşullarda bekletilmiştir. Kalan küp numunelerinin ve deney numunelerin üzerine jüt kumaş serilerek ve ıslatılarak kürlenmiştir.

28. günün sonunda kür havuzundan çıkarılan numunelerin kuruması tamamlandıktan sonra TS EN 12390-3 (2019) yönergeleri izlenerek Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarında 300 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü pres yardımıyla sabit yükleme altında tek eksenli basınç dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. Beton küp numunelerinin basınç dayanım değerleri (f_c), Denklem 2.4 yardımıyla hesaplanmıştır (TS EN 12390-3, 2019).

Betonun 28 günlük ve test günündeki küp numunelerin dayanımları baz alınarak hesaplanan karakteristik silindir basınç dayanımları (f_{ck}) ile deney günü basınç dayanımlarına ait elastisite modülü Çizelge 2.12'de verilmiştir. Küp numunelerinin basınç dayanımının silindir basınç dayanımına dönüştürülmesinde TS EN 206+A2 (2021) standardından faydalanılmış, C25/30 dayanımlı betonlarda kullanılan 0,85 katsayısı ile karakteristik silindir dayanımları hesaplanmıştır.

Yapılan deney sonuçlarına bakıldığında, deney gününe ait beton numunelere ait silindir basınç dayanımlarının ortalaması 27,13 MPa olarak bulunmuştur. Bu sonuç ile üretilen numunelerin yaklaşık olarak hedeflenen basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Elastisite modülü (E_c), betonun karakteristik silindir dayanımına (f_{ck}) bağlı olarak Denklem 2.5'e göre belirlenmiştir (TS 500, 2000).

Çizelge 2.12. Beton silindir basınç dayanımları ve elastisite modülü (1/2 ölçekli deney)

Basınç Dayanımı, f_{ck} , (MPa)				Deney Günü Elastisite Modülü, E_c (MPa)
28 günlük	28 günlük (Ortalama)	Deney günü (95. gün)	Deney günü (Ortalama)	
24,48	23,99	27,55	27,13	30928
25,28		27,07		
22,20		26,77		

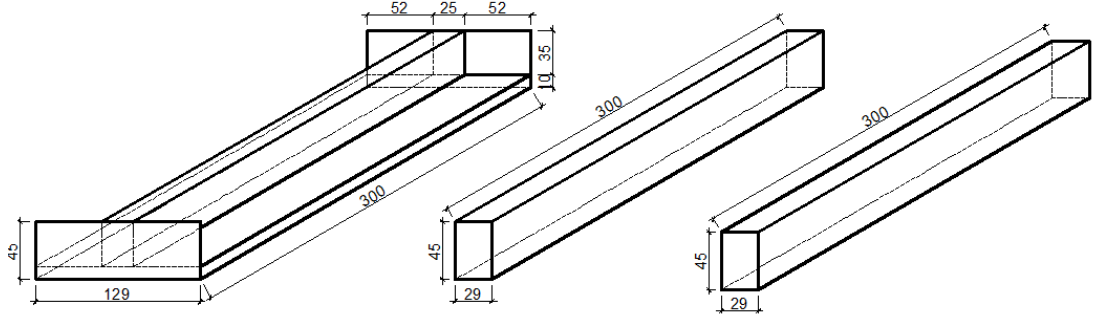
2.3. Deney Numunelerinin Üretilmesi

2.3.1. 1/1 Ölçekli Kiriş Deneyi

Deney numuneleri Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Laboratuvarında hazırlanmıştır. Deney numunelerinin üretimi; kalıpların hazırlanması, donatı kafesinin hazırlanması ve beton dökümü aşamalarından oluşmaktadır. Deney numuneleri bu aşamalardan sonra teste hazır hale gelmektedir. Tüm deney numunelerinin kesitleri benzer ölçülerde olduğu için 3 adet deney numunesinin hazırlığı aynı anda yapılmıştır. Deney numuneleri için 18 mm kalınlığında plywood kalıp kullanılmış ve hazırlanan planlara göre kesim işlemi yapılmıştır (Şekil 2.22; Şekil 2.23).

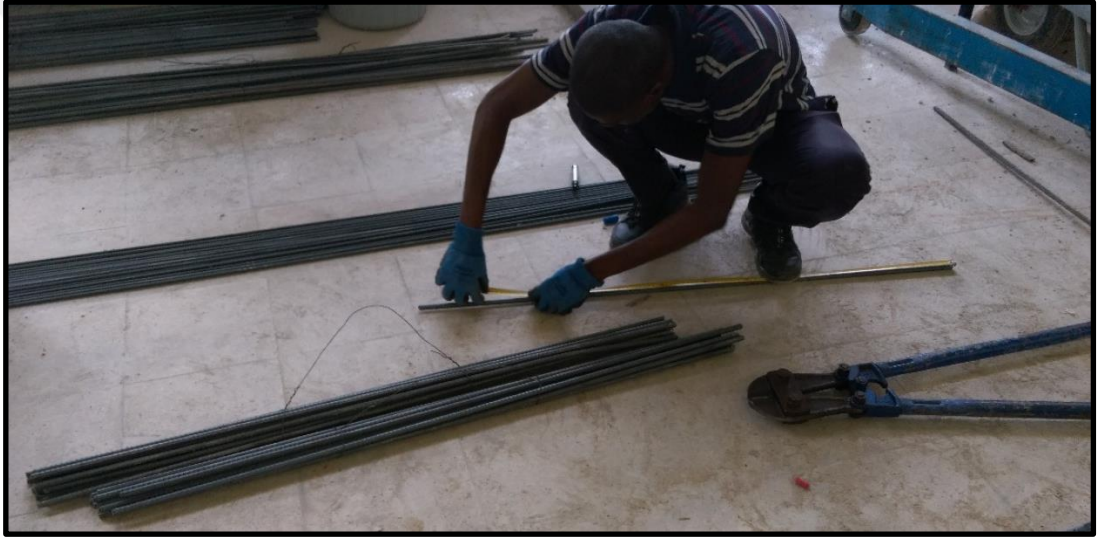


Şekil 2.22. Plywood kalıpların ölçülere uygun kesilmesi (1/1 ölçekli deney)



Şekil 2.23. Kalıp planları (1/1 ölçekli deney)

Deney numunelerinin donatıları da laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Kiriş ve döşeme donatıları ölçülerine uygun olarak kesilmiş, etriyelerde 135 derecede kancalı olarak hazırlanmıştır (Şekil 2.24; Şekil 2.25; Şekil 2.26).



Şekil 2.24. Donatıların ölçülere uygun kesilmesi (1/1 ölçekli deney)

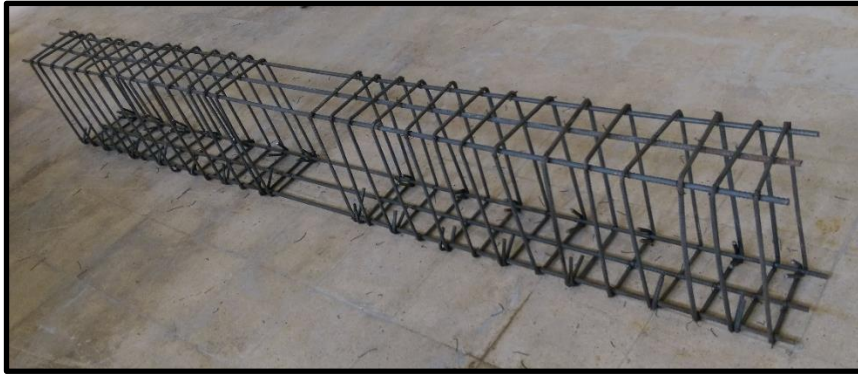


Şekil 2.25. Kesilen donatıların ölçülerine göre ayrılması (1/1 ölçekli deney)



Şekil 2.26. Etriyelerin hazırlanması (1/1 ölçekli deney)

Hazırlanan kiriş boyuna donatıları ile etriyeler bağ telleri ile birbirlerine bağlanarak deney numunelerinin kiriş donatı kafesi oluşturulmuştur (Şekil 2.27).



Şekil 2.27. Kiriş donatı kafeslerinin hazırlanması (1/1 ölçekli deney)

K1 deney numunesinin döşeme donatıları kalıp içerisine yerleştirildikten sonra bağ telleri ile birbirlerine bağlanmıştır. Beton dökümü ve deneyler laboratuvarında yapılacağı için kalıpların altında plywood kalıp kullanılmamış, naylon branda serilmiştir. Betonun kalıba yapışmasını önlemek için donatılar kalıba yerleştirilmeden önce kalıplar ince bir tabaka oluşturacak şekilde yağlanmıştır. Donatıların kalıp ile temasını önlemek için, paspayı bırakılarak kalıp içerisine yerleştirilmiştir. Donatıların kalıp içerisine yerleşimi yapıldıktan sonra, beton döküm sırasında kalıpların

açılmaması için keresteler ve bağ telleri ile kalıplar desteklenerek sağlamlaştırılmıştır (Şekil 2.28; Şekil 2.29).



Şekil 2.28. Deney numunelerinin kalıbının hazırlanması (1/1 ölçekli deney)



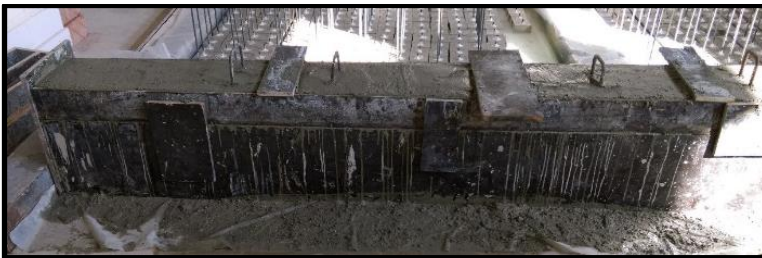
Şekil 2.29. Deney numunelerinin beton dökümüne hazır hale getirilmesi (1/1 ölçekli deney)

Çizelge 2.8'e göre hazırlanan toplam 1,30 m³ beton karışımı laboratuvar ortamında hazırlanarak kalıplar içerisine dökülmüştür. Beton dökümü sırasında dalıcı vibratör kullanılarak daha az boşluklu beton elde edilmeye çalışılmıştır (Şekil 2.30).



Şekil 2.30. Deneyde kullanılan dalıcı vibratör

Deneye tabi tutulacak numunelerin portal vinç ve hidrolik lemkolar yardımıyla deney düzeneğine taşınabilmesi için beton dökümü yapıldıktan sonra numunelerin üzerinde taşıma kancaları bırakılmıştır (Şekil 2.31).



Şekil 2.31. Deney numunelerinin beton dökümünün yapılması (1/1 ölçekli deney)

Beton dökümünden bir gün sonra deney numunelerinin dış kanat kalıpları sökülmüş ve kürlenmesi amacıyla günde bir defa olmak üzere 7 gün boyunca sulanmıştır. Küplerin 28 günlük beton dayanım sonuçları, hedeflenen C20/25 betonu sağlamadığı

için, kalan kp numunelerinin ve deney numunelerin üzerine jt kumaş serilerek ve ıslatılarak deney gününe kadar krleme yapılmıştır (şekil 2.32).



şekil 2.32. Deney numunelerine kr uygulanması (1/1 ölçekli deney)

Hazırlanan deney numuneleri, çatlak dağılımlarının daha rahat görülebilmesi için beyaz kirece boyanmıştır (şekil 2.33).



şekil 2.33. Deney numunelerinin beyaz kirece boyanması (1/1 ölçekli deney)

2.3.2. 1/2 lekli Kiriş Deneyi

Deney numuneleri Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Laboratuvarında hazırlanmıştır. Tüm deney numunelerinin kesitleri benzer ölçülerde olduğu için 18 adet deney numunesinin hazırlığı aynı anda yapılmıştır. Deney numuneleri için 18 mm kalınlığında plywood kalıp kullanılmış ve hazırlanan planlara göre kesim işlemi yapılmıştır (şekil 2.34).



Şekil 2.34. Plywood kalıpların ölçülere uygun kesilmesi (1/2 ölçekli deney)

Deney numunelerinin donatıları da laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Kiriş ve döşeme donatıları ölçülerine uygun olarak kesilmiş, etriyelerde 135 derecede kancalı olarak hazırlanmıştır (Şekil 2.35).



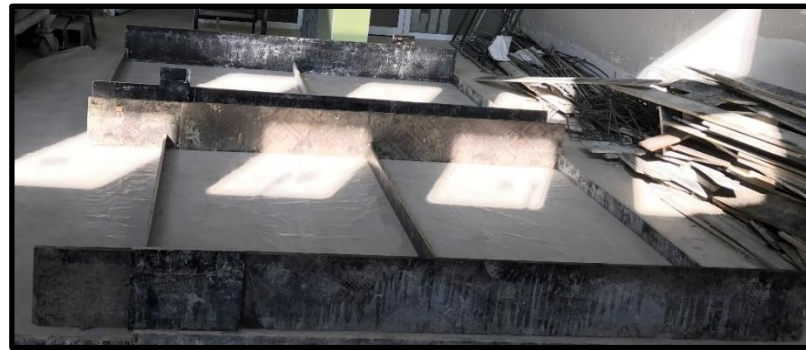
Şekil 2.35. Kesilen donatıların ölçülerine göre ayrılması (1/2 ölçekli deney)

Hazırlanan kiriş boyuna donatıları ile etriyeler bağ telleri ile birbirlerine bağlanarak deney numunelerinin kiriş donatı kafesleri oluşturulmuştur (Şekil 2.36).



Şekil 2.36. Kiriş donatı kafeslerinin hazırlanması (1/2 ölçekli deney)

Tablalı deney numunelerinin döşeme donatıları kalıp içerisine yerleştirildikten sonra bağ telleri ile birbirlerine bağlanmıştır. Beton dökümü ve deneyler laboratuvarında yapılacağı için kalıpların altında plywood kalıp kullanılmamış, naylon branda serilmiştir (Şekil 2.37).



Şekil 2.37. Deney numunelerinin kalıbının hazırlanması (1/2 ölçekli deney)

Betonun kalıba yapışmasını önlemek için donatılar kalıba yerleştirilmeden önce kalıplar ince bir tabaka oluşturacak şekilde yağlanmıştır. Donatıların kalıp ile temasını önlemek için, paspayı bırakılarak kalıp içerisine yerleştirilmiştir. Donatıların kalıp içerisine yerleşimi yapıldıktan sonra, beton döküm sırasında kalıpların açılmaması için keresteler ve bağ telleri ile kalıplar desteklenmiştir (Şekil 2.38; Şekil 2.39).



Şekil 2.38. Deney numunelerinin beton dökümüne hazır hale getirilmesi-1 (1/2 ölçekli deney)



Şekil 2.39. Deney numunelerinin beton dökümüne hazır hale getirilmesi-2 (1/2 ölçekli deney)

Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarına getirilen transmikserden alınan toplam 3,30 m³ betonun, el arabaları ile kalıplara dökümü yapılmıştır. Beton dökümü sırasında dalıcı vibratör kullanılarak daha az boşluklu beton elde edilmeye çalışılmıştır.

Deneye tabi tutulacak numunelerin portal vinç ve hidrolik lemkolar yardımıyla deney düzeneğine taşınabilmesi için beton dökümü yapıldıktan sonra numunelerin üzerinde taşıma kancaları bırakılmıştır (Şekil 2.40).



Şekil 2.40. Deney numunelerinin beton dökümünün yapılması (1/2 ölçekli deney)

Beton dökümünden bir gün sonra deney numunelerinin dış kanat kalıpları sökülmüş ve kürlenmesi amacıyla günde bir defa olmak üzere 7 gün boyunca sulanmıştır. Deney numunelerin ve deney günü kırımı yapılacak olan küp numunelerinin üzerine naylon örtü serilerek veya jüt kumaş serilerek ve ıslatılarak deney gününe kadar kürlenme yapılmıştır (Şekil 2.41).



Şekil 2.41. Deney numunelerine kür uygulanması (1/2 ölçekli deney)

Hazırlanan deney numuneleri, çatlak dağılımlarının daha rahat görülebilmesi için beyaz kirece boyanmıştır.

2.4. Deneyde Kullanılan Ekipmanlar ve Özellikleri

2.4.1. Yükleme Çerçevesi

Betonarme kiriş numunelerini test etmek için Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında mevcutta var olan yükleme çerçevesi kullanılmıştır. Laboratuvarda deney süresince kullanılan bu yükleme çerçevesi, S235JR (St37) kalitesindeki çelikten imal edilmiş ağır yüke dayanabilen HEB220 ve HEB260 yapı profillerinden oluşan ve ayrıca desteklenmiş olan rijit bir çerçeve sistemden oluşmaktadır. Yükleme çerçevesi Şekil 2.42’de gösterilmiştir.



Şekil 2.42. Yükleme çerçevesi

2.4.2. Hidrolik Kriko

El kontrollü 40 ton kapasiteli çift etkili hidrolik krikoda itme ve çekme özellikleri bulunmaktadır (Şekil 2.43). Krikoda silindir ile pompa arasında iki adet hortum bulunmakta olup yük boşaltma işlemi; yük durumunda valf yardımıyla gevşetilerek, yük olmadığı durumlarda ise pompa kullanılarak yapılmaktadır. Uygulanan kuvvet değerlerinin ölçülmesi, hidrolik kriko üzerinde bulunan basınç ölçen manometre ile yapılmaktadır.



Şekil 2.43. El kontrollü hidrolik kriko

2.4.3. Mekanik Komparatör Saati

Manyetik ayaklı sabitlenebilen mekanik komparatör saati 0,01 mm hassasiyete ve 100 mm kapasiteye sahiptir (Şekil 2.44).



Şekil 2.44. Manyetik ayaklı mekanik komperatör saati

2.4.4. Portal Vinç ve Caraskal (Hareketli Palanga)

Deney numunelerinin yükleme düzeneğine taşınması aşamasında kullanılmış olup 2 ton kapasiteli 5 m lift yüksekliğine ve manuel bir mekanizmaya sahiptir. Ayrıca, yükleri kaldırabilmek için portal vince manuel zincirli 2 ton kapasiteli caraskal (hareketli palanga) takılmıştır (Şekil 2.45).



Şekil 2.45. Portal vinç ve caraskal (hareketli palanga)

2.4.5. Hidrolik Lemko (Seyyar Vinç)

Daha küçük olan deney numunelerinin yükleme düzeneğine taşınması aşamasında kullanılmış olup 1 ton yük kaldırma ve taşıma kapasitesine ve manuel bir mekanizmaya sahiptir (Şekil 2.46).



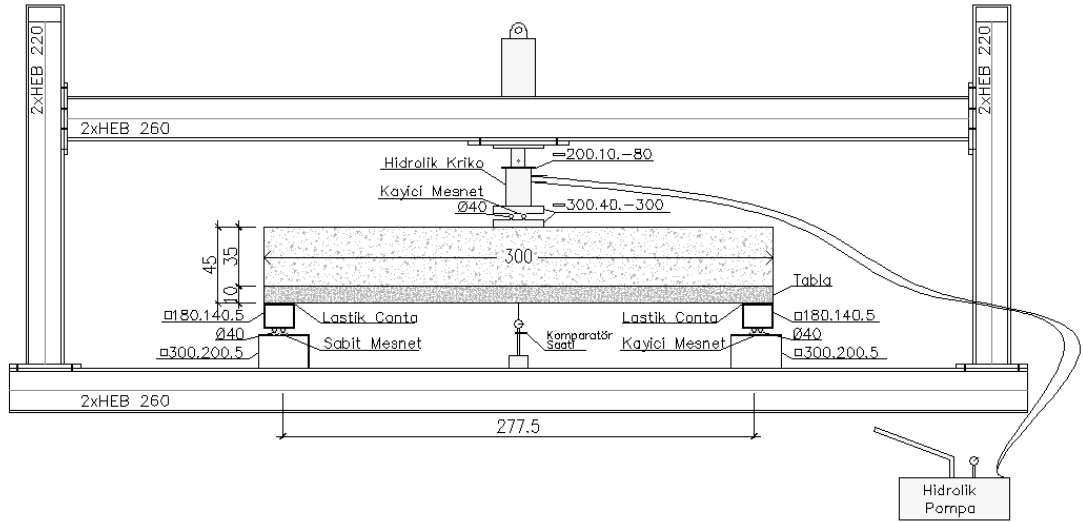
Şekil 2.46. Hidrolik lemko (seyyar vinç)

2.4.6. Destek Plakları ve Diğer Malzemeler

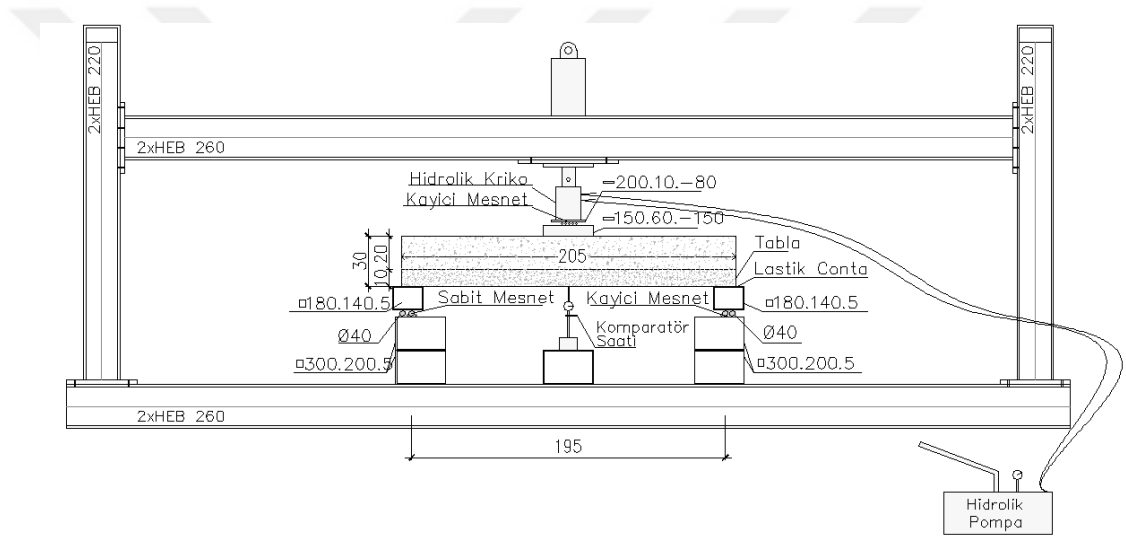
Yüklerin uygulanmasında hidrolik kriko altlarında yükseklik farkını azaltmak ve destek olması için 40 mm kalınlığında 300x300 mm ve 150x150 mm ile 10 mm kalınlığında 200x80 mm boyutlarında çelik destek plakları kullanılmıştır. Ayrıca deney düzenekleri hazırlanırken yük taşıma halatı, keser, çekiç, murç gibi malzemeler de kullanılmıştır.

2.5. Deney Düzenekinin Kurulumu

Araştırma konusu kapsamında, Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında mevcut olan ekip ve ekipmanlar ile deney düzenekinin çerçeve sistemi kullanılarak, eksik olan mekanik teçhizatlar ve sarf malzemeler ise temin edilerek 1/1 geometrik ölçekli kirişler için Şekil 2.47’de, 1/2 geometrik ölçekli kirişler için Şekil 2.48’de şematik gösterimi verilen deney düzenekleri hazırlanmıştır.



Şekil 2.47. 1/1 ölçekli kiriş deney düzeneğinin hazırlanması (ölçüler cm)



Şekil 2.48. 1/2 ölçekli kiriş deney düzeneğinin hazırlanması (ölçüler cm)

Tablalı kiriş ve benzer şekilde diğerlerinin deney düzeneğine yerleştirilmesi, desteklenmesi ve deneydeki kolaylıklar göz önünde bulundurulmuş, Şekil 2.10 ve Şekil 2.12’de verilen donatı yerleşimi alt-üst şeklinde yapılarak hazırlanmış ve deney yüklemeleri de ters uygulanmıştır. Kısacası, kiriş numunelerinin çekme bölgesi altta, basınç bölgesi üstte olacak şekilde düzeneğe yerleştirilmiştir.

Hidrolik kriko, mekanik komparatör saati (deplasman ölçer) vb. donanımlar ile sabit ve kayıcı mesnetler deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Dengeli mesnet şartlarını sağlamak için sol mesnet sabit, sağ mesnet ise hareketli mesnet olarak belirlenmiştir. Bunun için, Şekil 2.49’da görüldüğü üzere 40 mm çapındaki çelik silindir miller kullanılmıştır.



Şekil 2.49. Sabit ve hareketli mesnetlerin oluşturulması

Ayrıca, yükün düzgün bir şekilde mesnetlere aktarımının sağlanması için kiriş üzerindeki pürüzler düşünülerek numune ile rijit kutu profil arasına elastomer kauçuk konulmuştur (Şekil 2.50).



Şekil 2.50. Kiriş numunesi ile mesnetteki kutu profil arasına elastomer kauçuk yerleştirilmesi

Portal vinç ve manuel zincirli caraskal veya hidrolik lemkolar yardımıyla beton döküm aşamasında konulan kancalardan faydalanılarak deney numuneleri yükleme çerçevesine yerleştirilmiştir (Şekil 2.51).



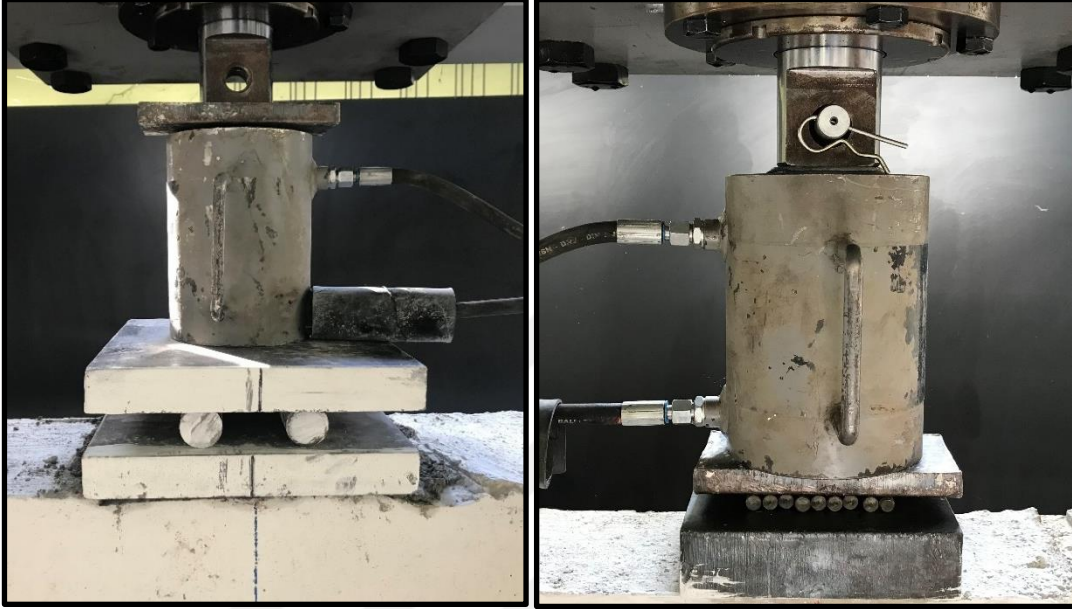
Şekil 2.51. Deney numunelerinin yükleme çerçevesine alınması

Lokal kırılmayı önlemek için kirişe yükün uygulandığı noktada 40 mm kalınlığında çelik destek plağı kullanılmıştır. Numuneye gelen yükün düzgün bir şekilde uygulanması için kiriş üzerindeki pürüzler düşünülerek numune ile noktasal yük levhası arasına çimento harcı yapılmıştır (Şekil 2.52).



Şekil 2.52. Numune ile noktasal yük levhası arasındaki pürüzlerin giderilmesi

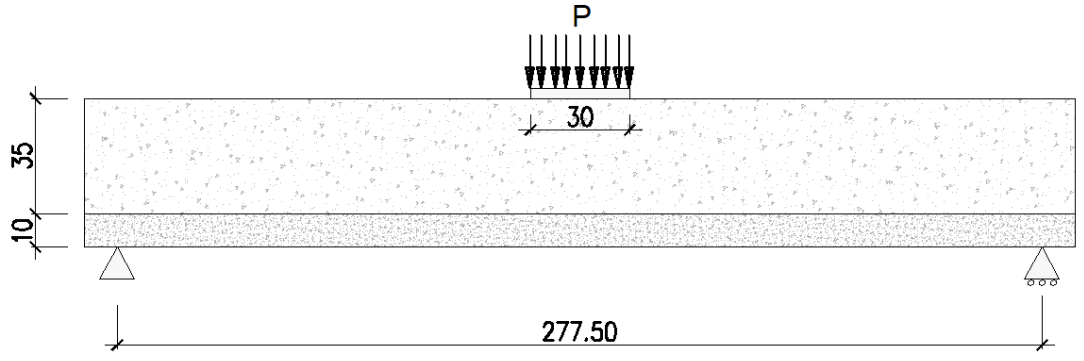
Hidrolik krikonun dönme yapmadan düşey yükü uygulayabilmesi için kiriş ile kriko arasında hareketli mesnet yerleştirilmiştir. Hareketli mesnet, Şekil 2.53'te görüldüğü üzere 2 adet levha arasına konulan silindir millerle sağlanmıştır. Hareketli mesnetin sağlıklı çalışması için her deney öncesinde levha ve silindir çubukların temizliği yapılmış ve yağlanmıştır.



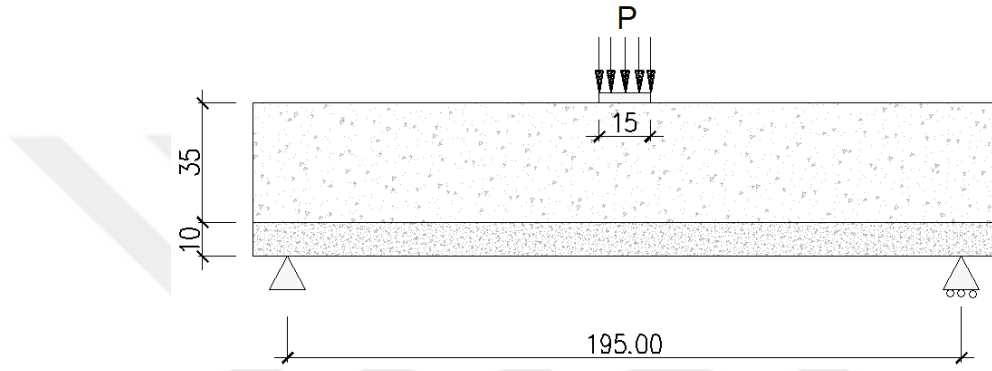
Şekil 2.53. Kiriş numunesi ile kriko arasında hareketli mesnet yerleştirilmesi

2.6. Ölçüm Düzeni

1/1 geometrik ölçekli kiriş numunelerinin mesnetler arasındaki açıklığı 277,50 cm, 1/2 geometrik ölçekli kiriş numunelerinin mesnetler arasındaki açıklığı 195,00 cm olarak ayarlanmıştır (Şekil 2.54; Şekil 2.55). Üç noktalı eğilme deneyinde, 400 kN kapasiteli el kontrollü hidrolik kriko yardımıyla betonarme kirişin ortasına eğilme yükü tek noktadan düşey olarak 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. Mesnetlerde kullanılan çelik kutu profillerin oldukça rijit ve kiriş ile mesnet kutu profili ara yüzeyinde kullanılan elastomer kauçuk kalınlığının 2 mm olmasından dolayı, 277,50 cm ve 195,00 cm açıklıklı kirişlerin ortasındaki sehime kıyasla mesnetlerdeki yer değiştirmeler oldukça küçük olacağından mesnet yer değiştirmeleri ihmal edilmiştir.



Şekil 2.54. 1/1 ölçekli kiriş deney düzeneğinin şematik gösterimi (ölçüler cm)



Şekil 2.55. 1/2 ölçekli kiriş deney düzeneğinin şematik gösterimi (ölçüler cm)

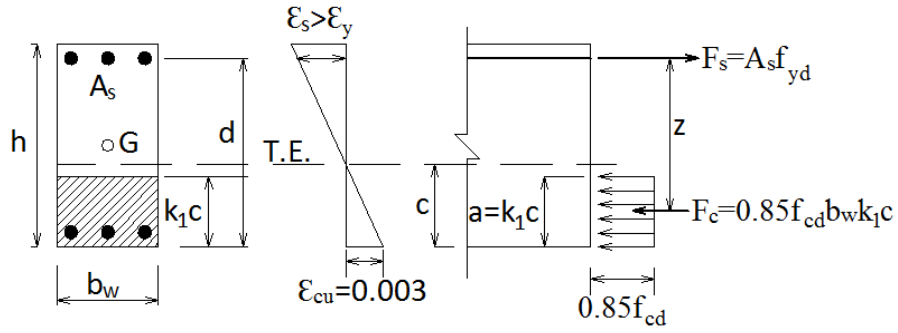
3. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

3.1. Betonarme Hesaplar

Sünek betonarme yapı elemanlarının taşıma gücü yöntemine göre hesaplanan eğilme momenti taşıma gücü, hesaplamalarda yapılan basitleştirici kabullerden dolayı, plastik moment kapasitesinden küçük olmaktadır. Deprem yönetmeliğinde tanımlanan ve kiriş mesnetinin plastik mafsallarda oluşabilecek en büyük eğilme momenti kapasitesi, betondaki sargı nedeni ile artan dayanım ve donatı çeliğindeki pekleşme dikkate alınarak hesaplanmaktadır (Ersoy, 1998).

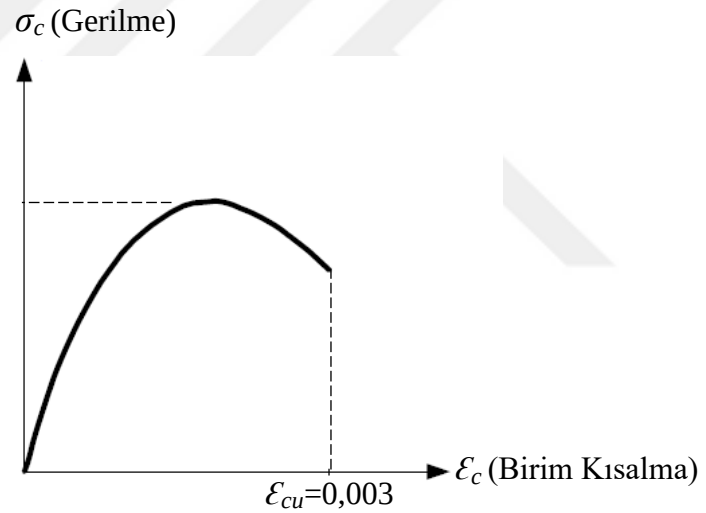
Deney numunelerinin tasarımında, TS 500 (2000) ve TBDY (2018)'de çekme donatısı için konulan üst sınırları aşmaması ve sünek davranış göstermesi gibi kurallara dikkat edilmiştir. Bu çalışmada, taşıma gücü momenti (M_r), TS 500 (2000)'de yer alan beton ve çeliğin karakteristik dayanımları (f_{ck} ve f_{yk}) baz alınarak hesaplanmıştır.

Basınç bölgesinde bloğunda oluşan teorik gerilme dağılımı yerine hesapları basitleştirmek için TS 500 (2000)'de tanımlanan eşdeğer dikdörtgen gerilme dağılımı kullanılmıştır. Yönetmelik ve standartlar gereği sadece denge altı kirişlere izin verilmektedir. Denge altı kirişlerde, en dış lifteki betonun birim kısalması ezilme sınırına erişmeden çekme donatısı akmaktadır. Bu nedenle, taşıma gücü hesabında kırılma anı esas alındığından, basınç bölgesindeki beton basınç bileşkesi (F_c), donatı çekme kuvvetine (F_s) eşit olmaktadır. Negatif moment etkisi altında kalan kiriş kesitinin taşıma gücü hesabı, geleneksel teorik betonarme hesaplara göre, basit donatılı dikdörtgen kesite ve basınç donatısının da katkısını alan çift donatılı dikdörtgen kesite göre karakteristik dayanımlar baz alınarak ayrı ayrı yapılmış olup, negatif moment etkisi altında kalan basit donatılı dikdörtgen kesitte oluşan iç kuvvetlerin şematik gösterimi Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Denge altı, basit donatılı dikdörtgen kesitte oluşan iç kuvvetlerin şematik gösterimi

Taşıma gücü varsayımlarında, taşıma gücüne erişildiğinde beton basınç bölgesinin en çok zorlanan lifindeki birim kısalma $\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0,003$ olmaktadır. Taşıma gücüne erişildiğinde basınç bölgesindeki teorik beton gerilme dağılımı Şekil 3.2’de verilen beton gerilme (σ_c)-birim kısalma (ϵ_c) eğrisi gibidir (TS 500, 2000).



Şekil 3.2. Beton gerilme (σ_c)-birim kısalma (ϵ_c) eğrisi

Kirişlerde çekme (ρ_s) ve basınç donatılarının (ρ'_s) oranı Denklem 3.1’de verilmiş olup, bağıntıda ifade edilen A_s çekme donatısı kesit alanı, A'_s basınç donatısı kesit alanı, b_w kiriş gövde genişliği, d ise kiriş faydalı yüksekliğidir (TS 500, 2000).

$$\rho_s = \frac{A_s}{b_w d} \geq \rho_{min} \quad \rho'_s = \frac{A'_s}{b_w d} \quad 3.1$$

Kirişlerde çekme donatılarının minimum oranı (ρ_{min}) Denklem 3.2’de verilmiş olup, bağıntıda ifade edilen f_{ctd} beton tasarım eksenel çekme dayanımı, f_{yd} ise boyuna donatı tasarım akma dayanımıdır (TS 500, 2000; TBDY, 2018).

$$\rho_{min} = 0,85 \left(\frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \right) \quad 3.2$$

Açıklık ve mesnetlerdeki çekme donatısı oranının maksimum değeri (ρ_{max}) Denklem 1.2’de verilmiş olup, bağıntıda ifade edilen ρ_b kirişte dengeli donatı oranıdır (TS 500, 2000; TBDY, 2018).

$$\rho_b = 0,85 k_1 \left(\frac{600}{600 + f_{yd}} \right) \left(\frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right) \quad 3.3$$

Kirişlerde dengeli donatı oranı (ρ_b) Denklem 3.3’te verilmiş olup, bağıntıda ifade edilen k_1 basınç bloğu katsayısı, f_{cd} beton tasarım basınç dayanımı (N/mm²), f_{yd} ise boyuna donatı tasarım akma dayanımı (N/mm²) dir (Doğangün, 2020).

Çerçeve kirişleri ile sürekli kiriş ve döşemelerde, yapının doğrusal elastik davrandığı varsayımına dayalı bir çözümleme sonucunda bulunan mesnet momentleri Denklem 3.4 ve Denklem 3.5’te belirtilen oranlarda değiştirilebilir. Ancak, bu durumda, açıklık momentleri de denge koşulunu sağlayacak biçimde yeniden hesaplanmalıdır (TS 500, 2000).

$$(\rho - \rho') \leq 0,4 \rho_b \quad \text{ise, en fazla \%15} \quad 3.4$$

$$0,4 \rho_b < (\rho - \rho') \leq 0,6 \rho_b \quad \text{ise, en fazla \%10} \quad 3.5$$

Kiriş mesnet bölgelerinde, dinamik deprem yüklerine bağlı artan eğilme momenti ve kesme kuvveti betonun ezilmesine ve gevrek göçmeye neden olmaktadır. Bu göçmeyi engellemek için, TBDY (2018)’ye göre Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) 1, 1a, 2 ve 2a olan taşıyıcı sistemlerin kiriş uç bölgelerinde basınç bölgesine çekme bölgesi donatısının %50’si, diğer deprem tasarım sınıflarında ise %30’u oranından az olmamak üzere donatı konulması önerilmektedir.

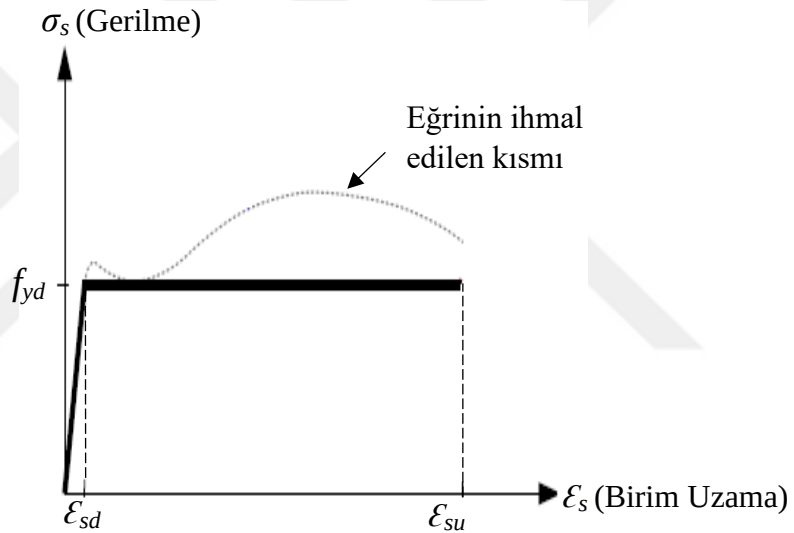
Deney numuneleri, gerektiği gibi kesme donatısı ile donatılandırılmış olup, sünek eğilme davranışı sergilemesi beklenen kirişlerdir. Deney numunelerinin, artan yükleme etkisi altında açıklık ortasında yaptığı büyük düşey deplasman sonucu, ana çekme donatısının akma dayanımına ulaşması ve betonun basınç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

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 karakteristik dayanımlar baz alınarak ayrı ayrı yapılmıştır. Beton ve donatı arasında tam aderansın olduğu varsayılarak betonun çekme dayanımı ihmal edilmiştir. Donatı çeliği akmamış ise ($\epsilon_s < \epsilon_{sd}$) Denklem 3.6’da verilen Hooke Kanunu geçerlidir.

$$\sigma_s = E_s \epsilon_s \quad 3.6$$

Donatı çeliği akmış ise ($\epsilon_s \geq \epsilon_{sd}$) gerilmesi sabit olup, donatının tasarım akma dayanımına (f_{yd}) eşittir. Taşıma gücü varsayımlarında, donatı çeliğinin gerilme-birim deformasyonu (σ_s - ϵ_s) eğrisi Şekil 3.3’te görüldüğü üzere elasto-plastiktir. Şekil 3.3’te yer alan ϵ_{su} kopma anında birim deformasyonu, ϵ_{sd} akma anındaki birim deformasyonu, f_{yd} ise donatının tasarım akma dayanımını ifade etmektedir.



Şekil 3.3. Donatı çeliği gerilme (σ_s)-birim uzama (ϵ_s) eğrisi

Kirişin taşıyabileceği maksimum kesme kapasitesi Denklem 3.7 ile, etriye kesme kapasitesi (V_w) Denklem 3.8 ile, beton kesme kuvveti kapasitesi (V_c) ise betonun kritik kesme kuvveti kapasitesine (V_{cr}) bağlı olarak Denklem 3.9 ile karakteristik dayanımlar baz alınarak hesaplanmıştır. Denklemlerde yer alan n etriye düşey kol sayısını, A_{sw} etriye düşey kollarının toplam kesit alanını, f_{ywk} etriye donatısının karakteristik akma dayanımını, d kirişin faydalı yüksekliğini, s_k etriye aralığını, f_{ctk} betonun karakteristik aksenal çekme dayanımını, b_w ise kiriş gövde genişliğini ifade etmektedir (Doğangün, 2020).

$$V_{max} = 0,22 f_{ck} b_w d \quad 3.7$$

$$V_w = (n A_{sw} f_{yw} d) / s_k \quad 3.8$$

$$V_c = 0,8 V_{cr} \quad V_{cr} = 0,65 f_{ctk} b_w d \quad 3.9$$

Deney numunelerinin tasarımında, TS 500 (2000) ve TBDY (2018)'de çekme donatısı için konulan üst sınırları ($\rho_{max}=0,02$ veya $\rho_s-\rho'_s=0,85\rho_b$) aşmaması ve sünek davranış göstermesi ($\mathcal{E}_c<\mathcal{E}_{cu}$ için $\mathcal{E}_s\geq\mathcal{E}_{sd}$) gibi kurallara dikkat edilmiştir. Taşıma gücü ile ilgili yapılan hesaplamalara uygun olarak normal dayanımlı betonlar için en dış basınç lifindeki birim kısalma ($\mathcal{E}_{cu}$) 0,003, betonun basınç bloğu katsayısı (k_l) 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 (TS 500, 2000; TBDY, 2018).

3.1.1. 1/1 Ölçekli Kiriş Deneyi

1/1 geometrik ölçekli kiriş deney numunelerinin geleneksel teorik betonarme hesap sonuçları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Tablalı TK1 kirişinin döşeme donatılarının tamamının kiriş içerisindeki çekme donatıları gibi katkı verdiği varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Deney esnasında, TK1 kirişinin taşıyabileceği maksimum kesme kapasitesi 134,96 kN, betonun kesme kapasitesi 83,52 kN, etriyelerin kesme kapasitesi ise 339,78 kN olarak hesaplanmıştır. Döşeme donatılı tablasız K2 kirişinde taşıyabileceği maksimum kesme kapasitesi 135,73 kN, betonun kesme kapasitesi 88,47 kN, etriyelerin kesme kapasitesi ise 339,78 kN olarak hesaplanmıştır. Tablasız döşeme donatısız referans numune olan K3 kirişinde taşıyabileceği maksimum kesme kapasitesi 55,97 kN, betonun kesme kapasitesi 98,37 kN, etriyelerin kesme kapasitesi ise 332,78 kN olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, etriyelerin kesme kapasitesi yüksek tasarlanarak numunelerin gevrek kesme göçmesi engellenmiştir. Maksimum eğilme yükü yaklaşık 271 kN olduğundan, deney düzeneğinde 400 kN kapasiteli el kontrollü hidrolik krik o tercih edilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney numunelerinin betonarme hesap sonuçları (1/1 ölçekli deney)

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)		
TK1	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

3.1.2. 1/2 Ölçekli Kiriş Deneyi

1/2 geometrik ölçekli kiriş deney numunelerinin geleneksel teorik betonarme hesap sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deney numunelerinin betonarme hesap sonuçları (1/2 ölçekli deney)

Deney Numunesi	Basit Donatılı Hesap			Çift Donatılı Hesap		
	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)
B0-1 B0-2	48,33	21,75	24,17	48,35	21,76	24,18
B1-1 B1-2	124,75	56,14	62,38	129,64	58,34	64,82
B2-1 B2-2	145,93	65,67	72,96	155,09	69,79	77,55
B3-1 B3-2	165,76	74,59	82,88	182,71	82,22	91,36
B4-1 B4-2	191,71	86,27	95,85	218,40	98,28	109,20
TB1-1 TB1-2	129,20	58,14	64,60	134,55	60,55	67,28
TB2-1 TB2-2	152,67	68,70	76,33	162,97	73,33	81,48
TB3-1 TB3-2	174,4	78,48	87,2	193,95	87,28	96,97
TB4-1 TB4-2	194,38	87,47	97,19	222,13	99,96	111,06

Tablalı kirişlerin döşeme donatılarının tamamının kiriş içerisindeki çekme donatıları gibi katkı verdiği varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Kirişlerin taşıyabileceği maksimum kesme kapasitesi 249,79 kN, betonun kesme kapasitesi 49,59 kN, etriyelerin kesme kapasitesi ise 112,69 kN olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, etriyelerin kesme kapasitesi yüksek tasarlanarak numunelerin gevrek kesme göçmesi engellenmiştir. Maksimum eğilme yükü yaklaşık 220 kN olduğundan, deney düzeneğinde kullanılan 400 kN kapasiteli el kontrollü hidrolik kriko yeterli olmuştur.

3.2. Gözlemsel Sonuçlar ve Değerlendirme

3.2.1. 1/1 Ölçekli Kiriş Deneyi

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

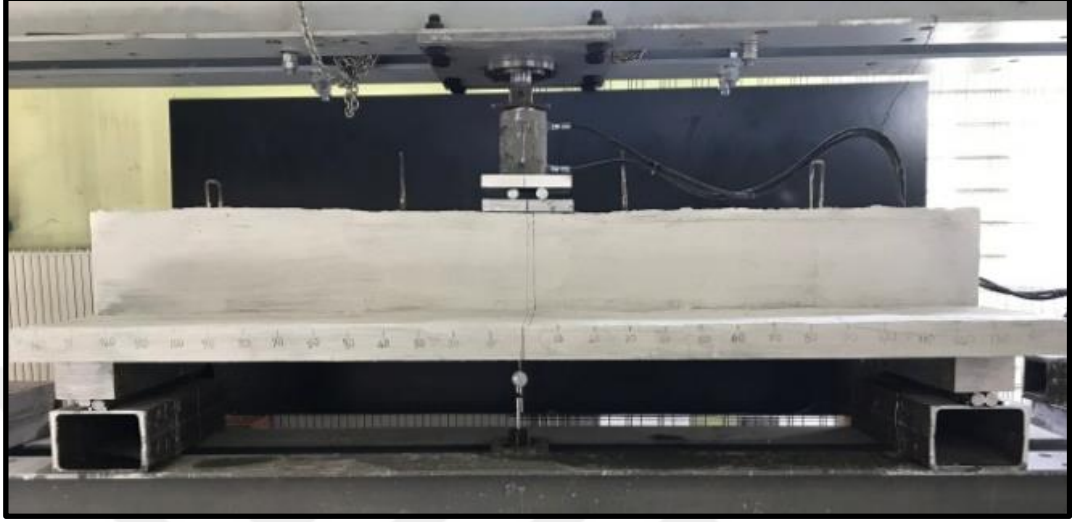
Kirişlerin denge altı sünek davranışını gözlemlemek amacıyla, TS 500 (2000)'de bölme duvarlı çatı ve normal kat elemanları için belirtilen, kiriş serbest açıklığının 240'a bölünmesiyle elde edilen kiriş ortasındaki kullanılabilirlik sehim limitinin ($2775/240=11,60$ mm) üzerine çıkılarak, sehim 100 mm oluncaya kadar deneylere devam edilmiştir. Çatlak gelişimi takibinin yapılabilmesi için, ilk çatlaklara 1 numarası verilerek başlanılmış, sonraki oluşan çatlaklarda numaralandırılma işlemine sırasıyla 2, 3, 4, 5 şeklinde devam edilmiştir.

Genel olarak, kirişlerin göçme şekillerine ve çatlaklarına bakıldığında, betonun basınç mukavemetinin yeterli olduğundan basınç bölgesinde betonda ezilmenin olmadığı görülmüştür. Ayrıca, kirişin toplam uzunluğu, etriyelerin de kesme kuvvetini karşılayacağı göz önünde bulundurularak kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı ($a/d=1237,50/420$) yaklaşık 3 olacak şekilde, 300 cm olarak belirlendiği için kemerlenme davranışı görülmemiş ve eğik çekme kırılması gerçekleşmiştir.

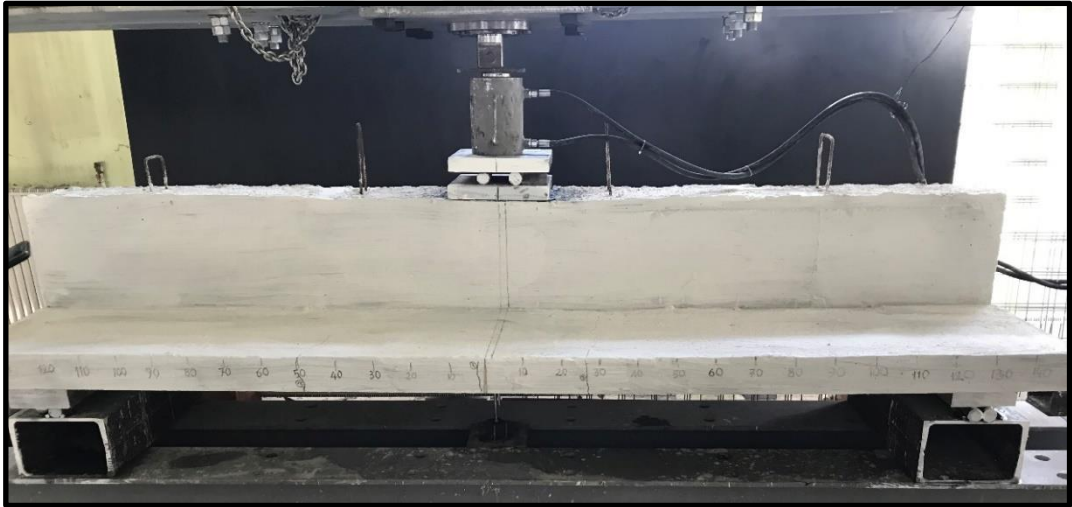
3.2.1.1. TK1 (Tablalı) Kiriş Numunesi

Deney programı kapsamında ilk olarak test edilen deney numunesi TK1 olarak anılacak olan betonarme tablalı kiriş numunesidir. Çekme ve basınç bölgesinde 3Ø12

donatı, kesme donatısı olarak da 100 mm arayla $\varnothing 10$ çapında donatı bulunan kirişin, tabla ile birleştiği üst kısmından başlamak üzere sırayla her iki yöne 100 mm arayla $\varnothing 8$ çapında toplam 10 adet döşeme donatısı ilave edilerek TK1 isimli deney numunesi oluşturulmuştur. Deney numunesinin deneye hazırlanmış hali Şekil 3.4'te verilmiştir.

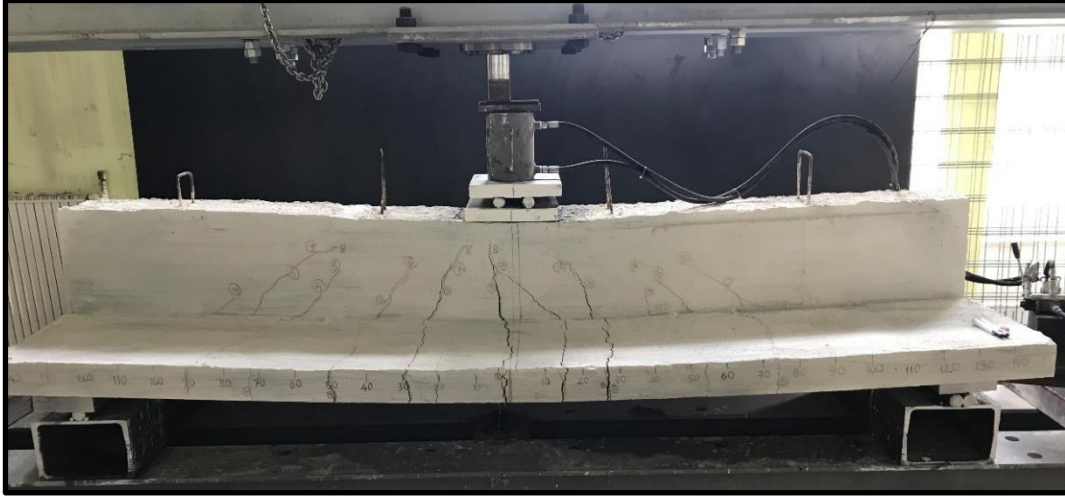


Şekil 3.4. TK1 (tablalı) kiriş numunesi



Şekil 3.5. TK1 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Şekil 3.5'te görüldüğü üzere, döşeme donatılı tablalı TK1 kirişinde ilk çatlaklar, yaklaşık 100 kN eğilme yükünde kiriş ortasından alttan yukarı doğru düşey eğilme çatlakları şeklinde başlamıştır.



Şekil 3.6. TK1 kirişinde oluşan ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları

Şekil 3.6’da görüldüğü üzere, çatlak gelişimi, yükün artmasına bağlı olarak, oluşan ilk eğilme çatlaklarından sonra mesnetlere doğru sıralı ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları devam etmiştir. Deneyin ilerleyen sürecinde, oluşan bu çatlakların sayısı, boyu ve genişliği artmıştır.

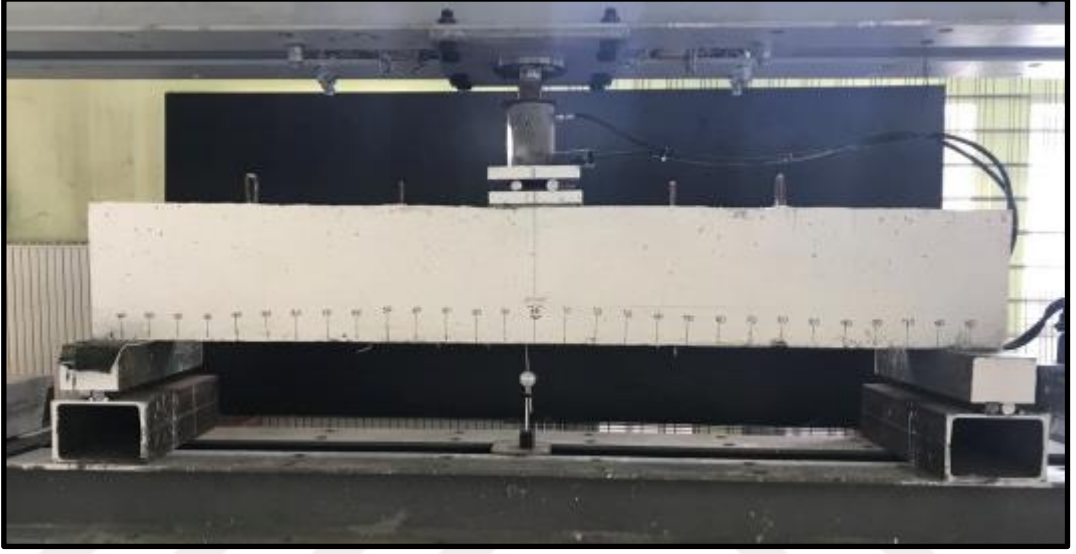


Şekil 3.7. TK1 kirişinin (tablalı) göçme şekli

Döşeme donatılı tablalı TK1 kirişinin göçme şekli Şekil 3.7’de verilmiştir. Kiriş ortasındaki sehim 100 mm’ye ulaşınca kadar yapılan yüklemede kiriş ortasındaki en büyük çatlak genişliği 11,00 mm’ye ulaşmıştır. Yük tamamen kaldırıldığında da 85,00 mm kalıcı sehim olduğu görülmüştür. Beklenildiği üzere, basınç bölgesinde betonda ezilme olmamış ve kemerlenme etkisi görülmemiştir.

3.2.1.2. K2 (Döşeme Donatılı) Kiriş Numunesi

Deney programı kapsamında ikinci olarak test edilen deney numunesi K2 olarak anılacak olan betonarme tablasız kiriş numunesidir. Çekme ve basınç bölgesinde 3Ø12 donatı ve kesme donatısı olarak da 100 mm arayla Ø10 çapında donatı bulunan dikdörtgen kesitli kirişin çekme bölgesine K1 isimli deney numunesinin etkili tabla içerisinde yer alan 10Ø8 donatı ilave edilerek K2 isimli deney numunesi oluşturulmuştur. Deney numunesinin deneye hazırlanmış hali Şekil 3.8’de verilmiştir.



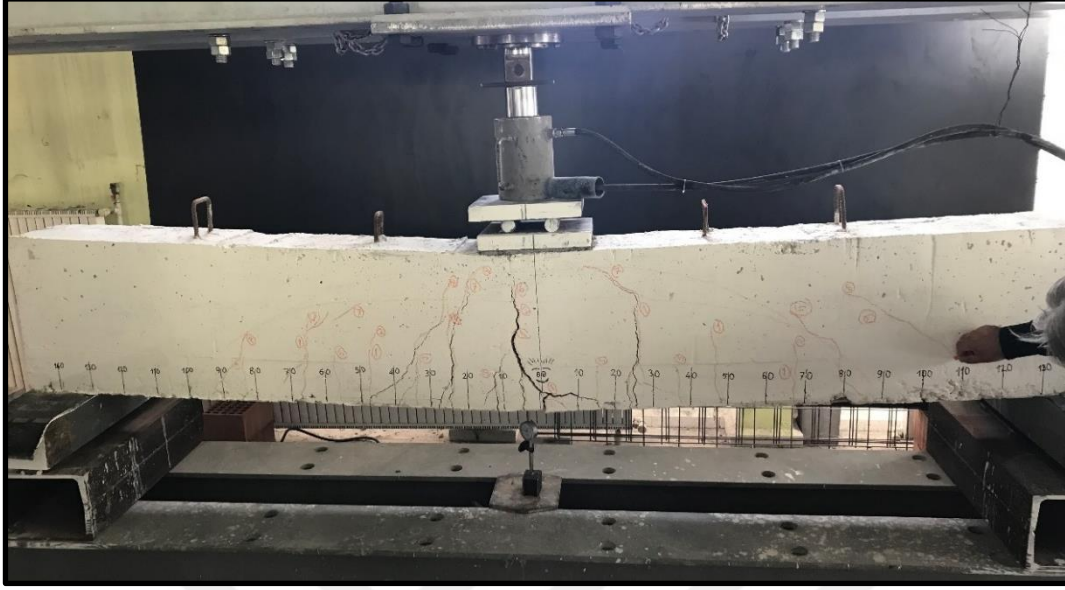
Şekil 3.8. K2 (döşeme donatılı) kiriş numunesi



Şekil 3.9. K2 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Şekil 3.9’da görüldüğü üzere, döşeme donatılı tablasız K2 kirişinde ilk çatlaklar, donatı aralıklarının sık olmasından dolayı tablalı kirişe göre daha erken yaklaşık 90

kN eğilme yükünde kiriş ortasından alttan yukarı doğru düşey eğilme çatlağı şeklinde başlamıştır.



Şekil 3.10. K2 kirişinde oluşan ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları

Şekil 3.10’da görüldüğü üzere, çatlak gelişimi, yükün artmasına bağlı olarak, oluşan ilk eğilme çatlaklarından sonra mesnetlere doğru sıralı ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları devam etmiştir. Deneyin ilerleyen sürecinde, oluşan bu çatlakların sayısı, boyu ve genişliği artmıştır.



Şekil 3.11. K2 kirişinin (döşeme donatılı) göçme şekli

Döşeme donatılı tablasız K2 kirişinin göçme şekli Şekil 3.11’de verilmiştir. Kiriş ortasındaki sehim 100 mm’ye ulaşınca kadar yapılan yüklemede kiriş ortasındaki en büyük çatlak genişliği Şekil 3.12’de görüldüğü üzere 9,00 mm’ye ulaşmıştır. Yük

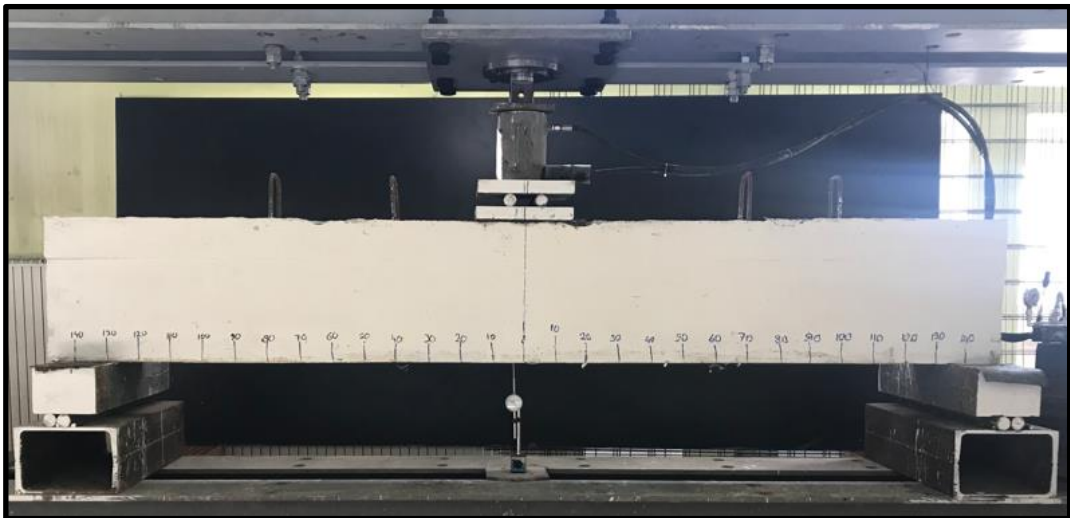
tamamen kaldırıldığında da 85,00 mm kalıcı sehim olduğu görülmüştür. Beklenildiği üzere, basınç bölgesinde betonda ezilme olmamış ve kemerlenme etkisi görülmemiştir.



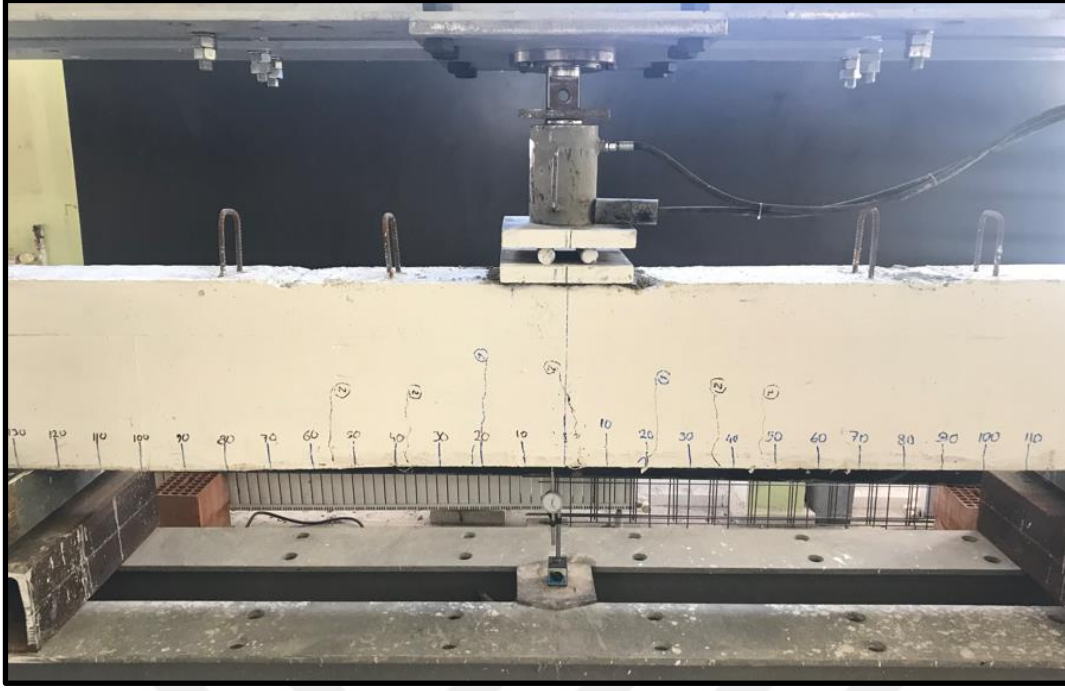
Şekil 3.12. K2 kirişinde (döşeme donatılı) çatlak ölçümü

3.2.1.3. K3 (Referans) Kiriş Numunesi

Deney programı kapsamında son olarak test edilen deney numunesi K3 olarak anılacak olan betonarme tablasız referans kiriş numunesidir. K3 isimli deney numunesi, çekme ve basınç bölgesinde 3Ø12 donatı ve kesme donatısı olarak da 100 mm arayla Ø10 çapında donatı bulunan dikdörtgen kesitli kiriştir. Deney numunesinin deneye hazırlanmış hali Şekil 3.13'te verilmiştir.

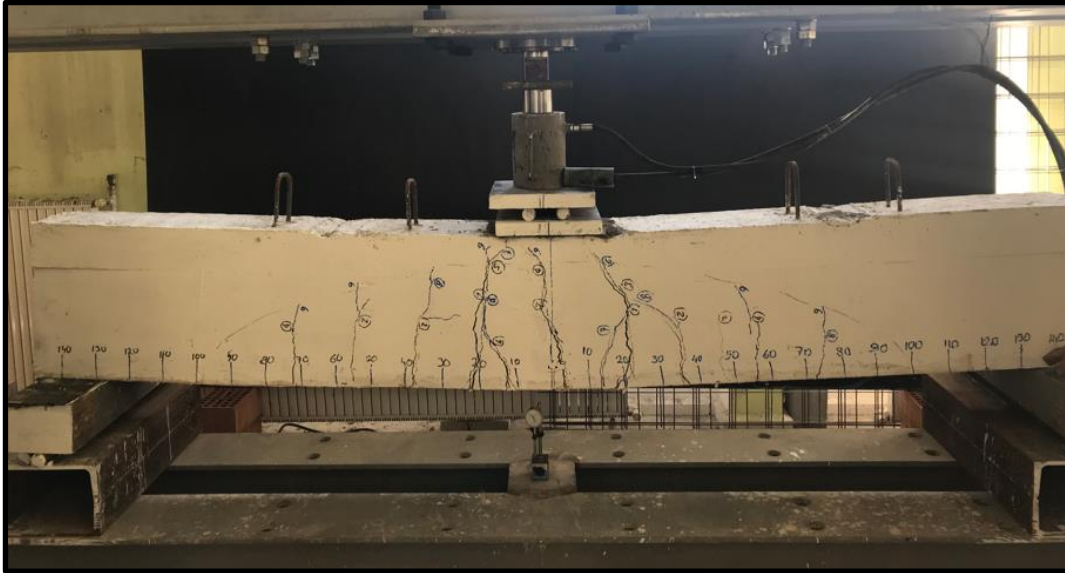


Şekil 3.13. K3 (referans) kiriş numunesi



Şekil 3.14. K3 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Şekil 3.14'te görüldüğü üzere, döşeme donatısız tablasız K3 kirişinde ilk çatlaklar, yaklaşık 50 kN eğilme yükünde kiriş ortasından alttan yukarı doğru düşey eğilme çatlağı şeklinde başlamıştır.



Şekil 3.15. K3 kirişinde oluşan ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları

Şekil 3.15'te görüldüğü üzere, çatlak gelişimi, yükün artmasına bağlı olarak, oluşan ilk eğilme çatlaklarından sonra mesnetlere doğru sıralı ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları devam etmiştir. Deneyin ilerleyen sürecinde, oluşan bu çatlakların sayısı, boyu ve genişliği artmıştır.



Şekil 3.16. K3 kirişinin (referans) göçme şekli

Referans numune olan döşeme donatısız tablasız K3 kirişinin göçme şekli Şekil 3.16’da verilmiştir. Kiriş ortasındaki sehim 100 mm’ye ulaşınca kadar yapılan yüklemede kiriş ortasındaki en büyük çatlak genişliği 6,00 mm’ye ulaşmıştır. Yük tamamen kaldırıldığında da 67,00 mm kalıcı sehim olduğu görülmüştür. Beklenildiği üzere, basınç bölgesinde betonda ezilme olmamış ve kemerlenme etkisi görülmemiştir.

3.2.2. 1/2 Ölçekli Kiriş Deneyi

Çalışma kapsamında, 1/2 geometrik ölçekli, sekizi tablalı, onu tablasız olmak üzere toplam 18 adet betonarme kirişte yapılan eğilme deneyleri sürecinde, kirişin sol kenarındaki sabit mesnet ile sağ kenarındaki ve maksimum yük altındaki kayıcı mesnetlerin beklenen düzeyde performans gösterdiği ve üç nokta yüklemeli, tek açıklıklı basit kiriş davranışı sergilediği görülmüştür.

Kirişlerin denge altı sünek davranışını gözlemlemek 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 $(1950/240=8,12 \text{ mm})$ üzerine çıkılarak, sehim 50 mm oluncaya kadar deneylere devam edilmiştir. Çatlak gelişimi takibinin yapılabilmesi için, ilk çatlaklara 1 numarası verilerek başlanılmış, sonraki oluşan çatlaklarda numaralandırılma işlemine sırasıyla 2, 3, 4, 5 şeklinde devam edilmiştir.

Genel olarak, kirişlerin göçme şekillerine ve çatlaklarına bakıldığında, betonun basınç mukavemetinin yeterli olduğundan basınç bölgesinde betonda ezilmenin olmadığı görülmüştür. Ayrıca, kirişlerin toplam uzunluğu, etriyelerin de kesme kuvvetini

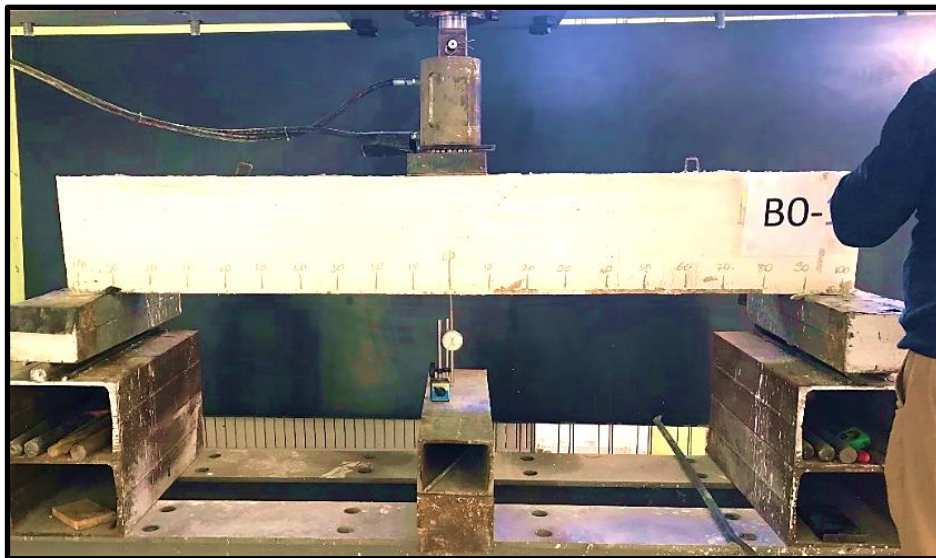
karşılayacağı göz önünde bulundurularak kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı ($a/d=900/279$) yaklaşık 3 olacak şekilde, 205 cm olarak belirlendiği için kemerlenme davranışı görülmemiş ve eğik çekme kırılması gerçekleşmiştir.

3.2.2.1. B0-1 ve B0-2 (Referans) Kiriş Numuneleri

B0-1 ve B0-2 kirişler, çekme ve basınç bölgesinde 2Ø10 donatı ve kesme donatısı olarak da 7 cm arayla Ø6 çapında donatı bulunan referans dikdörtgen kesitli kirişlerdir. B0-1 kirişinin deneye hazırlanmış hali Şekil 3.17’de, B0-2 kirişinin deneye hazırlanmış hali ise Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.17. B0-1 kiriş numunesi



Şekil 3.18. B0-2 kiriş numunesi

Referans kirişler olan B0-1 ve B0-2 kirişlerin çatlak dağılımları ve göçme şekilleri Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de verilmiştir. B0-1 ve B0-2 kirişlerinde ilk çatlaklar, yaklaşık 30 kN eğilme yükünde kiriş ortasından alttan yukarı doğru düşey eğilme çatlakları şeklinde başlamıştır. Çatlak gelişimi, yükün artmasına bağlı olarak, oluşan ilk eğilme çatlaklarından sonra mesnetlere doğru sıralı ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları şeklinde devam etmiştir. Deneyin ilerleyen sürecinde, oluşan bu çatlakların sayısı, boyu ve genişliği artmıştır. Kiriş ortasındaki sehim 50 mm’ye ulaşınca kadar yükleme yapılmıştır. Yük tamamen kaldırıldığında da yaklaşık 25,00 mm kalıcı sehim olduğu görülmüştür. Beklenildiği üzere, basınç bölgesinde betonda ezilme olmamış ve kemerlenme etkisi görülmemiştir.



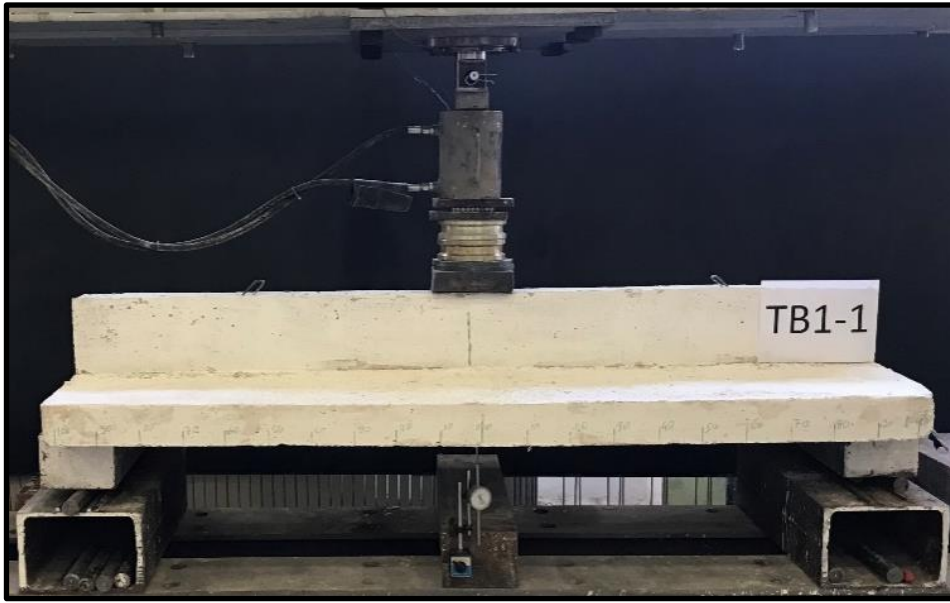
Şekil 3.19. B0-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli



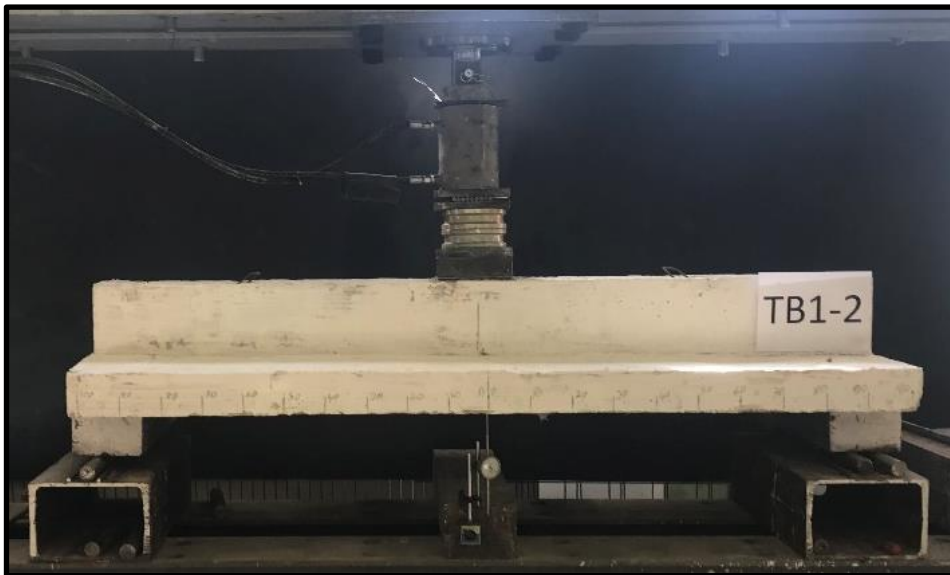
Şekil 3.20. B0-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli

3.2.2.2. TB1-1 ve TB1-2 Kiriş Numuneleri

Çekme ve basınç bölgesinde 2Ø10, kesme donatısı olarak da 7 cm arayla Ø6 çapında donatı bulunan kirişin, tabla ile birleştiği üst kısmından 10 cm ilerisinden başlamak üzere sırayla her iki yöne 10 cm arayla Ø8 çapında toplam 6 adet döşeme donatısı ilave edilerek tabla genişliği 85 cm olan TB1-1 ve TB1-2 kiriş numuneleri oluşturulmuştur. TB1-1 kirişinin deneye hazırlanmış hali Şekil 3.21’de, TB1-2 kirişinin deneye hazırlanmış hali ise Şekil 3.22’de verilmiştir.



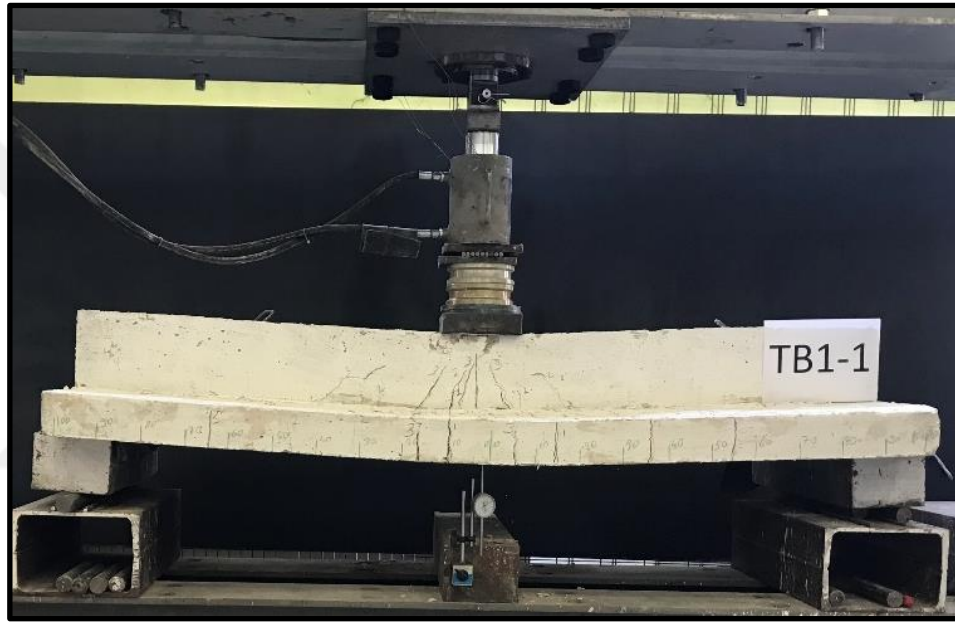
Şekil 3.21. TB1-1 kiriş numunesi



Şekil 3.22. TB1-2 kiriş numunesi

TB1-1 ve TB1-2 kirişlerin çatlak dağılımları ve göçme şekilleri Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’te verilmiştir. TB1-1 ve TB1-2 kirişlerinde ilk çatlaklar, yaklaşık 100 kN eğilme

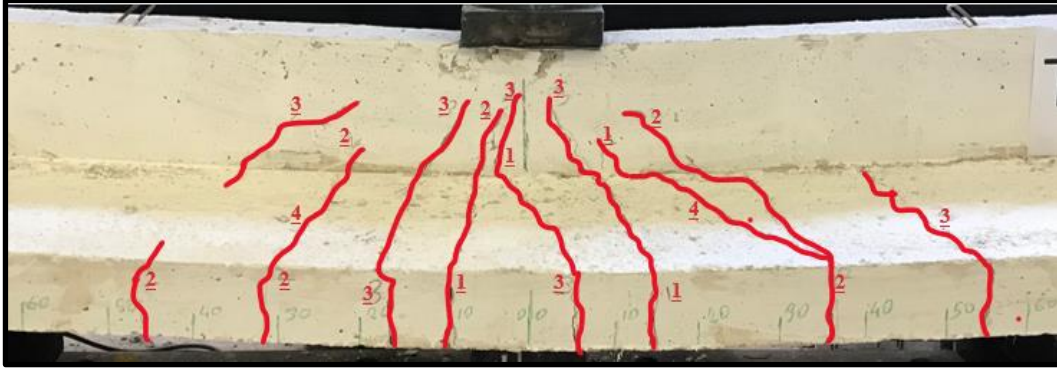
yükünde kiriş ortasından tabladan yukarı doğru düşey eğilme çatlakları şeklinde başlamıştır. Çatlak gelişimi, yükün artmasına bağlı olarak, oluşan ilk eğilme çatlaklarından sonra mesnetlere doğru sıralı ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları şeklinde devam etmiştir. Deneyin ilerleyen sürecinde, oluşan bu çatlakların sayısı, boyu ve genişliği artmıştır. TB1-1 kirişinin detaylı çatlak dağılımı Şekil 3.25'te verilmiştir. Kiriş ortasındaki sehim 50 mm'ye ulaşınca kadar yükleme yapılmıştır. Yük tamamen kaldırıldığında da yaklaşık 34,50 mm kalıcı sehim olduğu görülmüştür. Beklenildiği üzere, basınç bölgesinde betonda ezilme olmamış ve kemerlenme etkisi görülmemiştir.



Şekil 3.23. TB1-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli



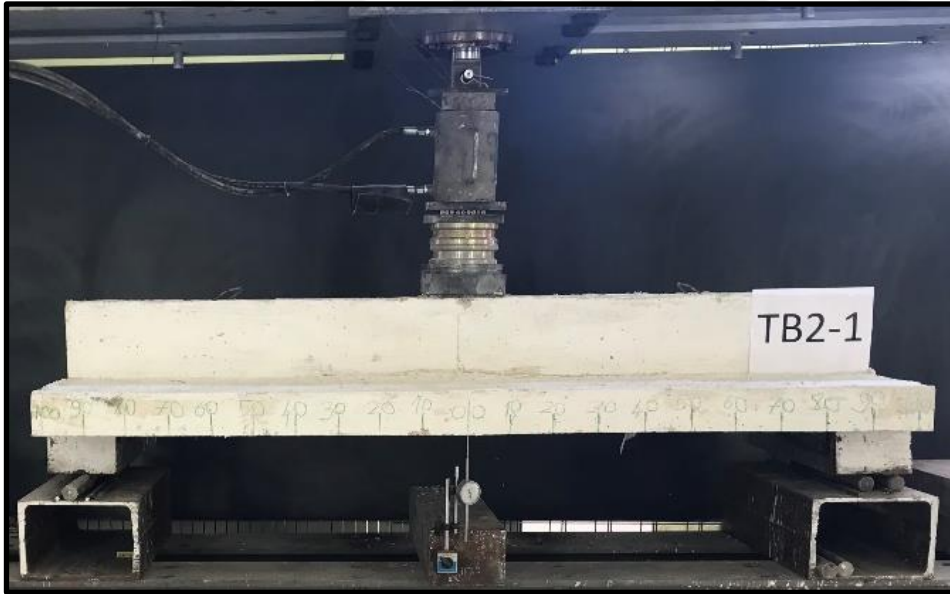
Şekil 3.24. TB1-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli



Şekil 3.25. TB1-1 kirişinin detaylı çatlak dağılımı

3.2.2.3. TB2-1 ve TB2-2 Kiriş Numuneleri

Çekme bölgesinde 2Ø10, basınç bölgesinde 2Ø12, kesme donatısı olarak da 7 cm arayla Ø6 çapında donatı bulunan kirişin, tabla ile birleştiği üst kısmından 10 cm ilerisinden başlamak üzere sırayla her iki yöne 10 cm arayla Ø8 çapında toplam 8 adet döşeme donatısı ilave edilerek tabla genişliği 105 cm olan TB2-1 ve TB2-2 kirişleri oluşturulmuştur. TB2-1 kirişinin deneye hazırlanmış hali Şekil 3.26'da, TB2-2 kirişinin deneye hazırlanmış hali ise Şekil 3.27'de verilmiştir.



Şekil 3.26. TB2-1 kiriş numunesi



Şekil 3.27. TB2-2 kiriş numunesi

TB2-1 ve TB2-2 kirişlerin çatlak dağılımları ve göçme şekilleri Şekil 3.28 ve Şekil 3.29’da verilmiştir. TB2-1 ve TB2-2 kirişlerinde ilk çatlaklar, yaklaşık 110 kN eğilme yükünde kiriş ortasından tabladan yukarı doğru düşey eğilme çatlakları şeklinde başlamıştır. Çatlak gelişimi, yükün artmasına bağlı olarak, oluşan ilk eğilme çatlaklarından sonra mesnetlere doğru sıralı ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları şeklinde devam etmiştir. Deneyin ilerleyen sürecinde, oluşan bu çatlakların sayısı, boyu ve genişliği artmıştır. Kiriş ortasındaki sehim 50 mm’ye ulaşınca kadar yükleme yapılmıştır. Yük tamamen kaldırıldığında da yaklaşık 36,50 mm kalıcı sehim olduğu görülmüştür. Beklenildiği üzere, basınç bölgesinde betonda ezilme olmamış ve kemerlenme etkisi görülmemiştir.



Şekil 3.28. TB2-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli



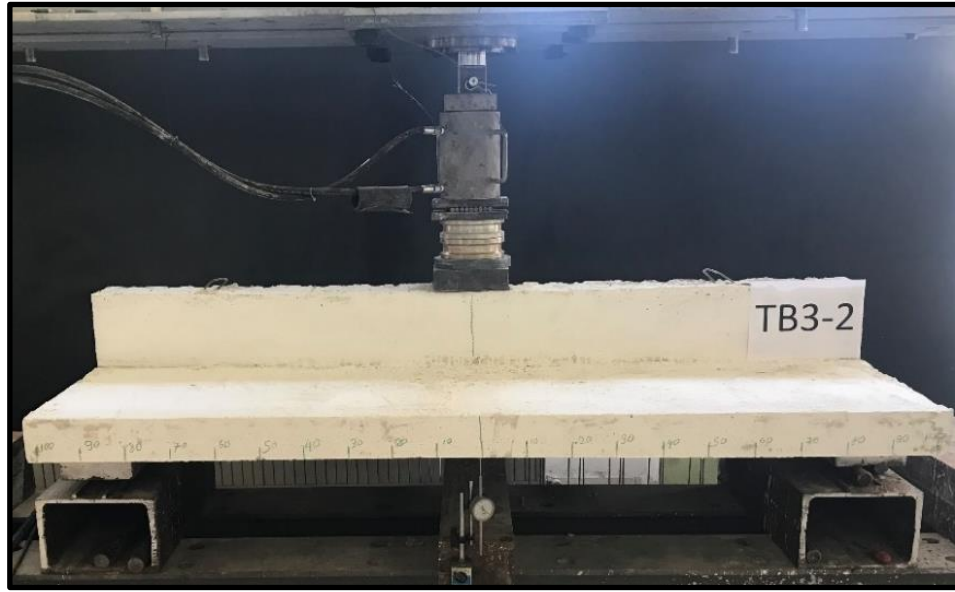
Şekil 3.29. TB2-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli

3.2.2.4. TB3-1 ve TB3-2 Kiriş Numuneleri

Çekme bölgesinde 2Ø10, basınç bölgesinde 2Ø16, kesme donatısı olarak da 7 cm arayla Ø6 çapında donatı bulunan kirişin, tabla ile birleştiği üst kısmından 10 cm ilerisinden başlamak üzere sırayla her iki yöne 10 cm arayla Ø8 çapında toplam 10 adet döşeme donatısı ilave edilerek tabla genişliği 125 cm olan TB3-1 ve TB3-2 kirişleri oluşturulmuştur. TB3-1 kirişinin deneye hazırlanmış hali Şekil 3.30'da, TB3-2 kirişinin deneye hazırlanmış hali ise Şekil 3.31'de verilmiştir.



Şekil 3.30. TB3-1 kiriş numunesi



Şekil 3.31. TB3-2 kiriş numunesi

TB3-1 ve TB3-2 kirişlerin çatlak dağılımları ve göçme şekilleri Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'te verilmiştir. TB3-1 ve TB3-2 kirişlerinde ilk çatlaklar, yaklaşık 110 kN eğilme yükünde kiriş ortasından tabladan yukarı doğru düşey eğilme çatlakları şeklinde başlamıştır. Çatlak gelişimi, yükün artmasına bağlı olarak, oluşan ilk eğilme çatlaklarından sonra mesnetlere doğru sıralı ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları şeklinde devam etmiştir. Deneyin ilerleyen sürecinde, oluşan bu çatlakların sayısı, boyu ve genişliği artmıştır. Kiriş ortasındaki sehim 50 mm'ye ulaşınca kadar yükleme yapılmıştır. Yük tamamen kaldırıldığında da yaklaşık 37,00 mm kalıcı sehim olduğu görülmüştür. Beklenildiği üzere, basınç bölgesinde betonda ezilme olmamış ve kemerlenme etkisi görülmemiştir.



Şekil 3.32. TB3-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli



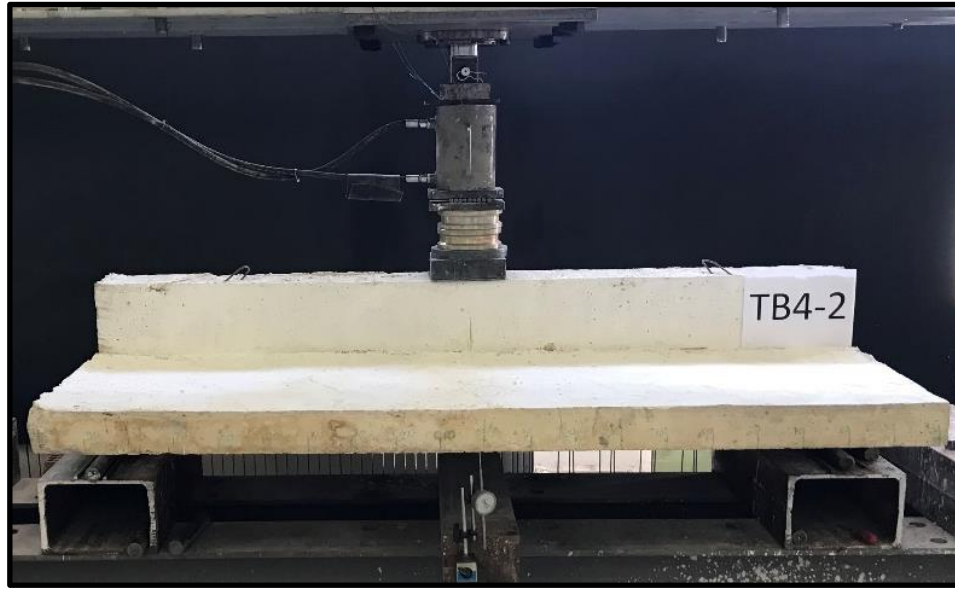
Şekil 3.33. TB3-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli

3.2.2.5. TB4-1 ve TB4-2 Kiriş Numuneleri

Çekme bölgesinde 2Ø10, basınç bölgesinde 2Ø16+1Ø8, kesme donatısı olarak da 7 cm arayla Ø6 çapında donatı bulunan kirişin, tabla ile birleştiği üst kısmından 10 cm ilerisinden başlamak üzere sırayla her iki yöne 10 cm arayla Ø8 çapında toplam 12 adet döşeme donatısı ilave edilerek tabla genişliği 145 cm olan TB4-1 ve TB4-2 kirişler oluşturulmuştur. TB4-1 kirişinin deneye hazırlanmış hali Şekil 3.34'te, TB4-2 kirişinin deneye hazırlanmış hali ise Şekil 3.35'te verilmiştir.



Şekil 3.34. TB4-1 kiriş numunesi

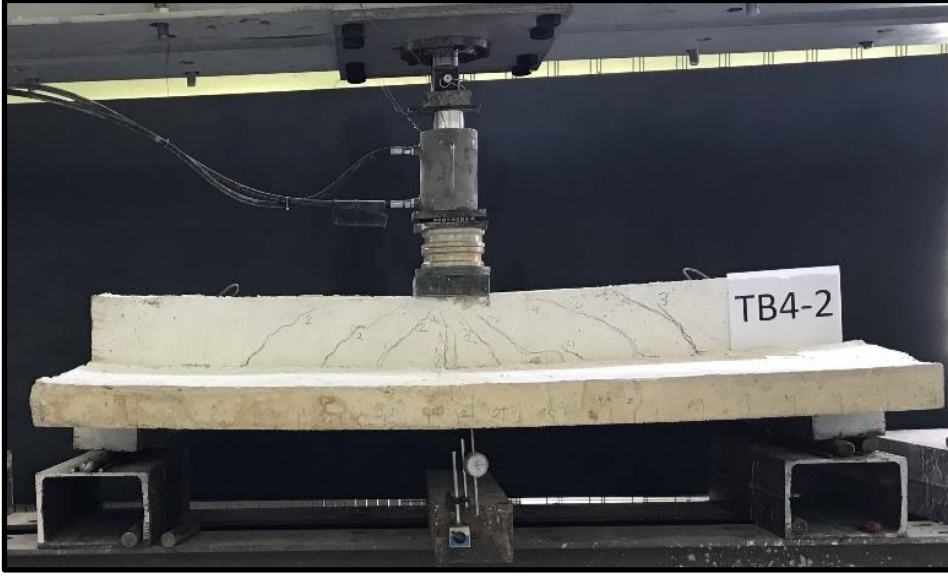


Şekil 3.35. TB4-2 kiriş numunesi

TB4-1 ve TB4-2 kirişlerin çatlak dağılımları ve göçme şekilleri Şekil 3.36 ve Şekil 3.37’de verilmiştir. TB4-1 ve TB4-2 kirişlerinde ilk çatlaklar, yaklaşık 120 kN eğilme yükünde kiriş ortasından tabladan yukarı doğru düşey eğilme çatlakları şeklinde başlamıştır. Çatlak gelişimi, yükün artmasına bağlı olarak, oluşan ilk eğilme çatlaklarından sonra mesnetlere doğru sıralı ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları şeklinde devam etmiştir. Deneyin ilerleyen sürecinde, oluşan bu çatlakların sayısı, boyu ve genişliği artmıştır. Kiriş ortasındaki sehim 50 mm’ye ulaşınca kadar yükleme yapılmıştır. Yük tamamen kaldırıldığında da yaklaşık 38,00 mm kalıcı sehim olduğu görülmüştür. Beklenildiği üzere, basınç bölgesinde betonda ezilme olmamış ve kemerlenme etkisi görülmemiştir.



Şekil 3.36. TB4-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli



Şekil 3.37. TB4-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli

3.2.2.6. B1-1 ve B1-2 Kiriş Numuneleri

B1-1 ve B1-2 kirişler ,çekme bölgesinde $4\text{Ø}12$ ($452,39 \text{ mm}^2$) donatı, basınç bölgesinde $2\text{Ø}10$ donatı ve kesme donatısı olarak da 7 cm arayla $\text{Ø}6$ çapında donatı bulunan dikdörtgen kesitli kirişlerdir. Tablalı TB1-1 ve TB1-2 kirişleri ile kıyaslamasını yapabilmek için bu kirişlerin gövde kesitindeki çekme donatısı ve döşeme donatılarının toplam donatı oranına ($458,67 \text{ mm}^2$) eşdeğer donatı oranı ($452,39 \text{ mm}^2$) B1-1 ve B1-2 kirişlerinin çekme bölgesine yerleştirilmiştir. B1-1 kirişinin deneye hazırlanmış hali Şekil 3.38’de, B1-2 kirişinin deneye hazırlanmış hali ise Şekil 3.39’da verilmiştir.

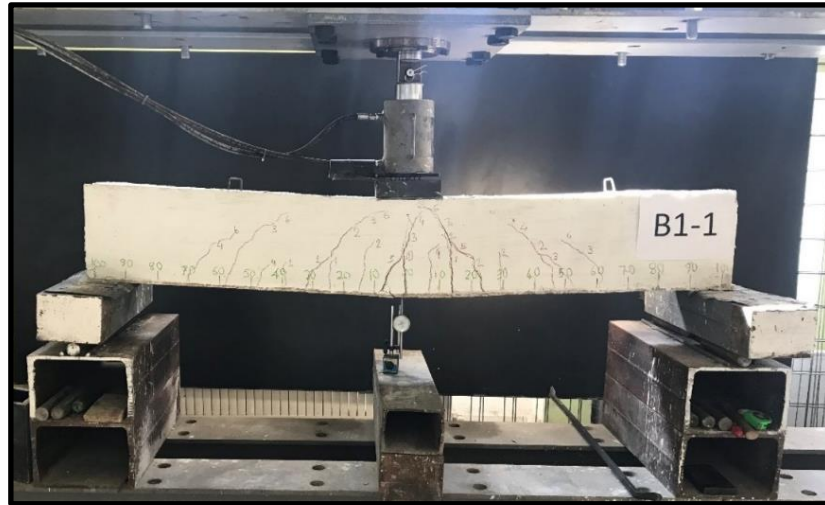


Şekil 3.38. B1-1 kiriş numunesi

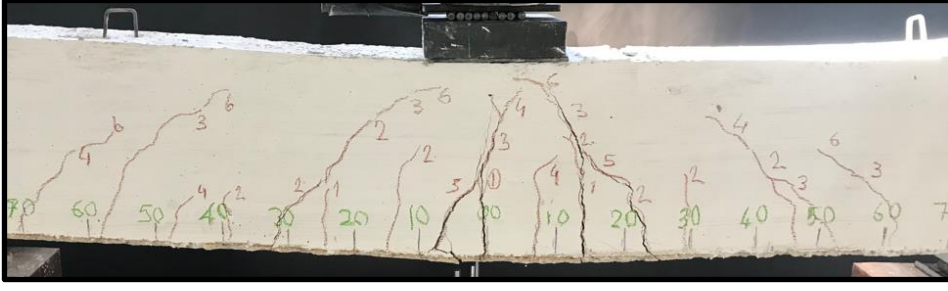


Şekil 3.39. B1-2 kiriş numunesi

B1-1 ve B1-2 kirişlerin çatlak dağılımları ve göçme şekilleri Şekil 3.40 ve Şekil 3.42’de verilmiştir. B1-1 ve B1-2 kirişlerinde ilk çatlaklar, yaklaşık 50 kN eğilme yükünde kiriş ortasından alttan yukarı doğru düşey eğilme çatlağı şeklinde başlamıştır. Çatlak gelişimi, yükün artmasına bağlı olarak, oluşan ilk eğilme çatlaklarından sonra mesnetlere doğru sıralı ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları şeklinde devam etmiştir. Deneyin ilerleyen sürecinde, oluşan bu çatlakların sayısı, boyu ve genişliği artmıştır. B1-1 ve B1-2 kirişlerinin detaylı çatlak dağılımı Şekil 3.41 ve Şekil 3.43’te verilmiştir. Kiriş ortasındaki sehim 50 mm’ye ulaşınca kadar yükleme yapılmıştır. Yük tamamen kaldırıldığında da yaklaşık 25,50 mm kalıcı sehim olduğu görülmüştür. Beklenildiği üzere, basınç bölgesinde betonda ezilme olmamış ve kemerlenme etkisi görülmemiştir.



Şekil 3.40. B1-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli



Şekil 3.41. B1-1 kirişinin detaylı çatlak dağılımı



Şekil 3.42. B1-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli

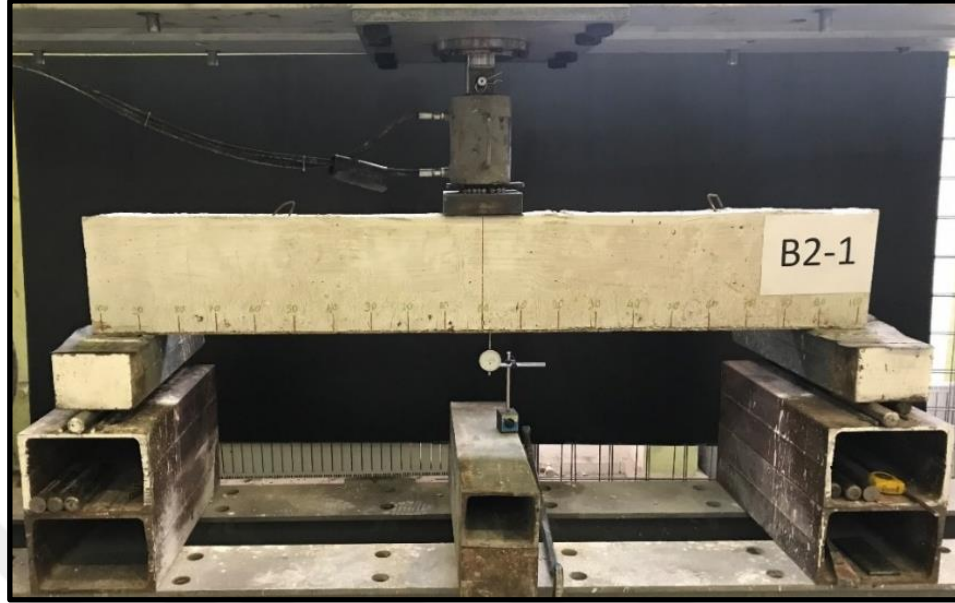


Şekil 3.43. B1-2 kirişinin detaylı çatlak dağılımı

3.2.2.7. B2-1 ve B2-2 Kiriş Numuneleri

B2-1 ve B2-2 kirişler, çekme bölgesinde $2\text{Ø}16+2\text{Ø}10$ ($559,20 \text{ mm}^2$) donatı, basınç bölgesinde $2\text{Ø}12$ donatı ve kesme donatısı olarak da 7 cm arayla $\text{Ø}6$ çapında donatı bulunan dikdörtgen kesitli kirişlerdir. Tablalı TB2-1 ve TB2-2 kirişler ile kıyaslamasını yapabilmek için bu kirişlerin gövde kesitindeki çekme donatısı ve döşeme donatılarının toplam donatı oranına ($559,20 \text{ mm}^2$) eşdeğer donatı oranı ($559,20 \text{ mm}^2$) B2-1 ve B2-2 kirişlerin çekme bölgesine yerleştirilmiştir. B2-1 kirişinin

deneye hazırlanmış hali Şekil 3.44'te, B2-2 kirişinin deneye hazırlanmış hali ise Şekil 3.45'te verilmiştir.



Şekil 3.44. B2-1 kiriş numunesi

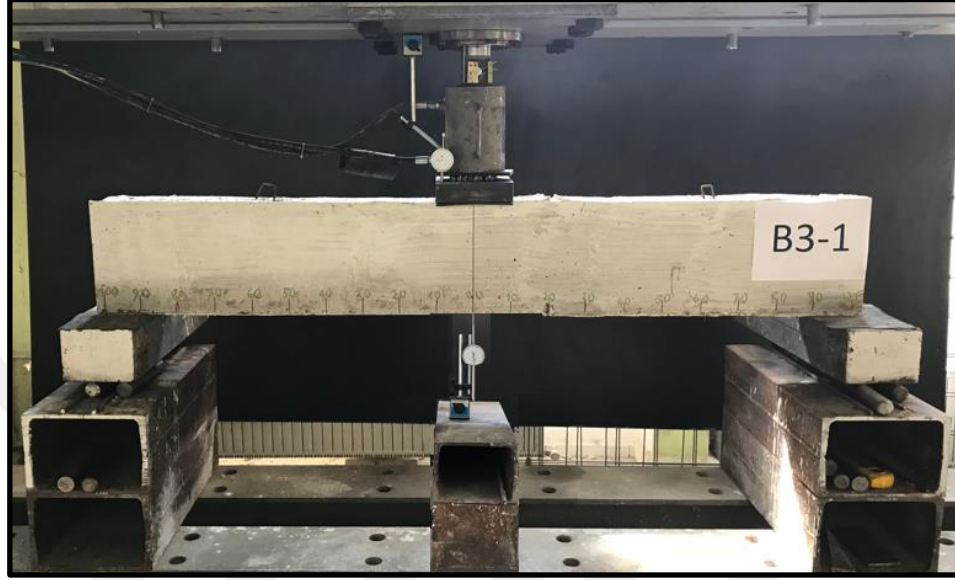


Şekil 3.45. B2-2 kiriş numunesi

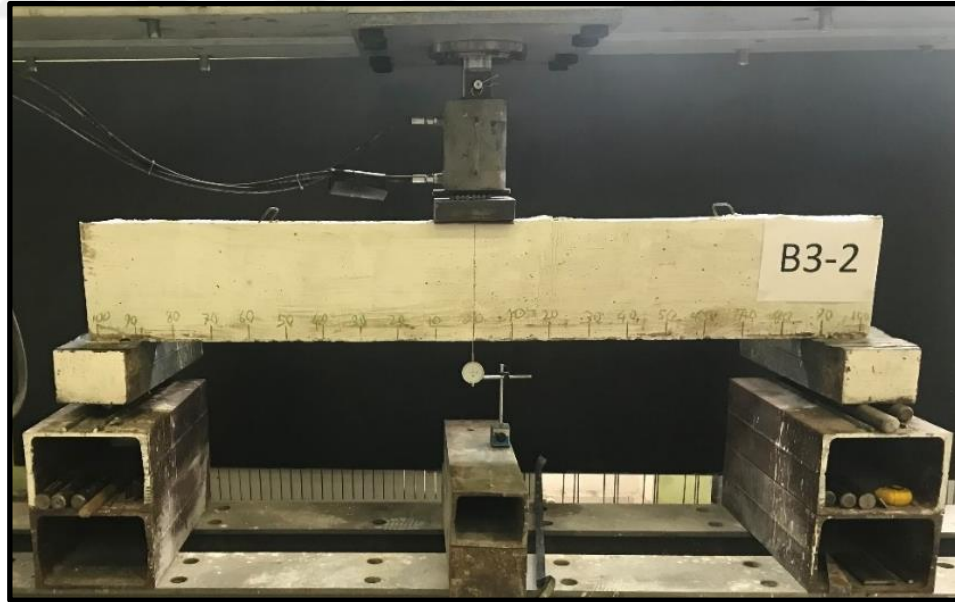
B2-1 ve B2-2 kirişlerin çatlak dağılımları ve göçme şekilleri Şekil 3.46 ve Şekil 3.47'de verilmiştir. B2-1 ve B2-2 kirişlerinde ilk çatlaklar, yaklaşık 70 kN eğilme yükünde kiriş ortasından alttan yukarı doğru düşey eğilme çatlakları şeklinde başlamıştır. Çatlak gelişimi, yükün artmasına bağlı olarak, oluşan ilk eğilme çatlaklarından sonra mesnetlere doğru sıralı ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları şeklinde devam etmiştir. Deneyin ilerleyen sürecinde, oluşan bu çatlakların sayısı, boyu ve genişliği artmıştır.

96

kıyaslamasını yapabilmek için bu kirişlerin gövde kesitindeki çekme donatısı ve döşeme donatılarının toplam donatı oranına ($659,73 \text{ mm}^2$) eşdeğer donatı oranı ($653,45 \text{ mm}^2$) B3-1 ve B3-2 kirişlerinin çekme bölgesine yerleştirilmiştir. B3-1 kirişinin deneye hazırlanmış hali şekil 3.48’de, B3-2 kirişinin deneye hazırlanmış hali ise şekil 3.49’da verilmiştir.



şekil 3.48. B3-1 kiriş numunesi



şekil 3.49. B3-2 kiriş numunesi

B3-1 ve B3-2 kirişlerin çatlak dağılımları ve göçme şekilleri şekil 3.50 ve şekil 3.51’de verilmiştir. B3-1 ve B3-2 kirişlerinde ilk çatlaklar, yaklaşık 80 kN eğilme yükünde kiriş ortasından alttan yukarı doğru düşey eğilme  atlakı şeklinde başlamıştır. Çatlak gelişimi, yükün artmasına bağlı olarak, oluşan ilk eğilme çatlaklarından sonra

mesnetlere doğru sıralı ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları şeklinde devam etmiştir. Deneyin ilerleyen sürecinde, oluşan bu çatlakların sayısı, boyu ve genişliği artmıştır. Kiriş ortasındaki sehim 50 mm'ye ulaşıncaya kadar yükleme yapılmıştır. Yük tamamen kaldırıldığında da yaklaşık 27,00 mm kalıcı sehim olduğu görülmüştür. Beklenildiği üzere, basınç bölgesinde betonda ezilme olmamış ve kemerlenme etkisi görülmemiştir.



Şekil 3.50. B3-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli



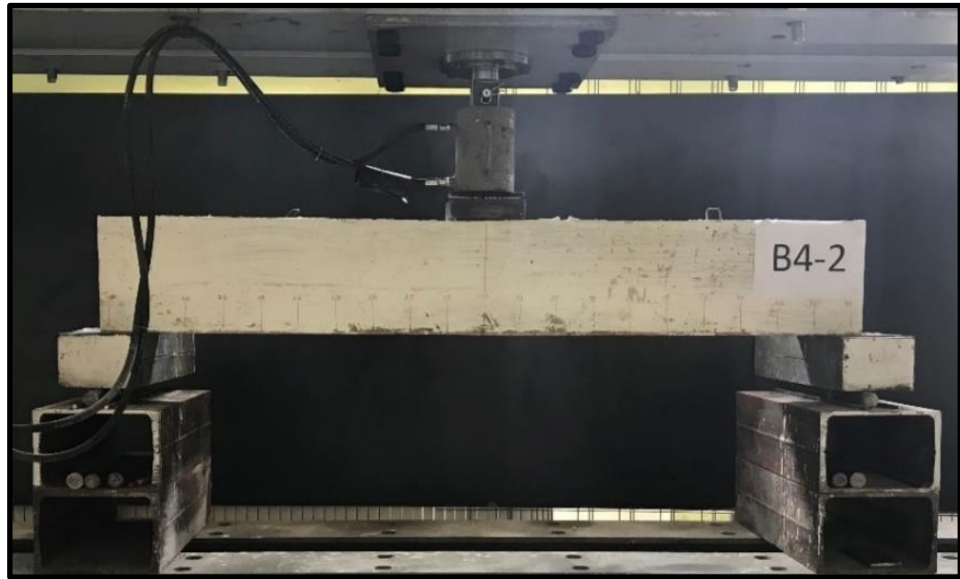
Şekil 3.51. B3-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli

3.2.2.9. B4-1 ve B4-2 Kiriş Numuneleri

B4-1 ve B4-2 kirişler, çekme bölgesinde $5\phi 12+1\phi 16$ ($766,55 \text{ mm}^2$) donatı, basınç bölgesinde $2\phi 16+1\phi 8$ donatı ve kesme donatısı olarak da 7 cm arayla $\phi 6$ çapında donatı bulunan dikdörtgen kesitli kirişlerdir. Tablalı TB4-1 ve TB4-2 kirişler ile kıyaslamasını yapabilmek için bu kirişlerin gövde kesitindeki çekme donatısı ve döşeme donatılarının toplam donatı oranına ($760,27 \text{ mm}^2$) eşdeğer donatı oranı ($766,55 \text{ mm}^2$) B4-1 ve B4-2 kiriş numunelerinin çekme bölgesine yerleştirilmiştir. B4-1 kirişinin deneye hazırlanmış hali Şekil 3.52’de, B4-2 kirişinin deneye hazırlanmış hali ise Şekil 3.53’te verilmiştir.



Şekil 3.52. B4-1 kiriş numunesi

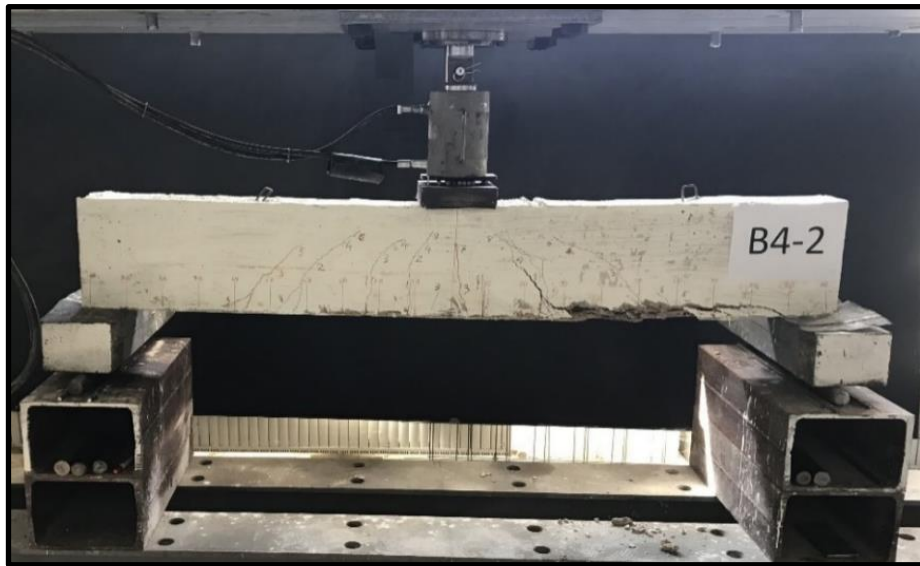


Şekil 3.53. B4-2 kiriş numunesi

B4-1 ve B4-2 kirişlerin çatlak dağılımları ve göçme şekilleri şekil 3.54 ve şekil 3.55'te verilmiştir. B4-1 ve B4-2 kirişlerinde ilk çatlaklar, yaklaşık 90 kN eğilme yükünde kiriş ortasından alttan yukarı doğru düşey eğilme çatlağı şeklinde başlamıştır. Çatlak gelişimi, yükün artmasına bağlı olarak, oluşan ilk eğilme çatlaklarından sonra mesnetlere doğru sıralı ikincil eğik kesmeli çekme çatlakları şeklinde devam etmiştir. Deneyin ilerleyen sürecinde, oluşan bu çatlakların sayısı, boyu ve genişliği artmıştır. Kiriş ortasındaki sehim 50 mm'ye ulaşıncaya kadar yükleme yapılmıştır. Yük tamamen kaldırıldığında da yaklaşık 29,00 mm kalıcı sehim oluştuğu grlmştir. Beklenildiği üzere, basınç bölgesinde betonda ezilme olmamış ve kemerlenme etkisi görülmemiştir.



şekil 3.54. B4-1 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli

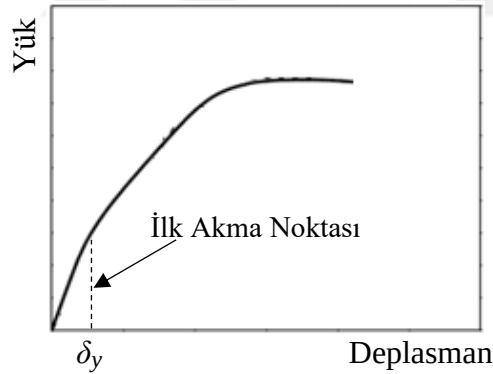


şekil 3.55. B4-2 kirişinin çatlak dağılımı ve göçme şekli

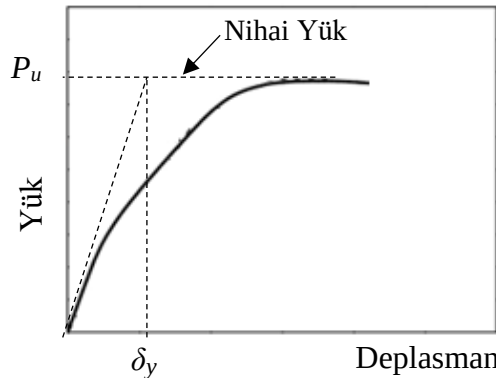
3.3. Rijitlik ve Süneklik Değerlerinin Belirlenmesi ve Değerlendirmesi

Deprem anında yapının gerektirdiği sünekliğin, yapının mevcut sünekliği ile uyuşması gerekmektedir. Ancak, malzemelerin doğrusal olmayan davranışlarından veya betonarme bir kesitte farklı derinliklerdeki donatıların farklı moment seviyelerinde akmaya ulaşmasından veya bir yapının farklı kısımlarında farklı yük seviyelerinde oluşan plastik mafsallardan dolayı akma noktasının belirlenmesi, buna bağlı olarak da sünekliğin hesaplanması oldukça zor olmaktadır.

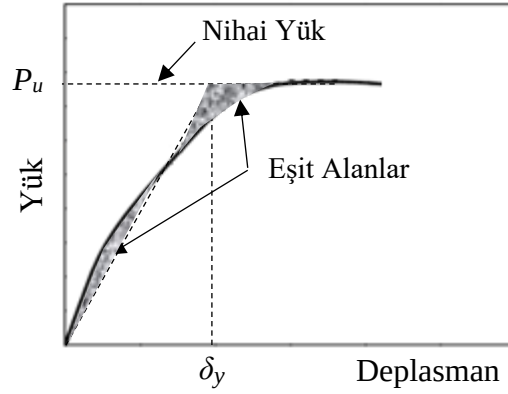
Akma noktasının deplasmanını tahmin etmek için araştırmacılar tarafından kullanılan çeşitli yöntemler Şekil 3.56, Şekil 3.57, Şekil 3.58 ve Şekil 3.59'da gösterilmektedir. Bunlardan, akmanın ilk meydana geldiği andaki akma deplasmanı Şekil 3.56'da gerçek sistemle aynı elastik rijitliğe ve maksimum yüke sahip eşdeğer elasto-plastik sistemin akma deplasmanı Şekil 3.57'de, gerçek sistemle aynı enerji tüketimine sahip eşdeğer elasto-plastik sistemin akma deplasmanı Şekil 3.58'de ve gerçek sistemin nihai yükün (P_u) %75'inde sekant rijitliği olarak bulunan azaltılmış rijitliğe sahip eşdeğer elasto-plastik sistemin akma deplasmanı Şekil 3.59'da gösterilmiştir.



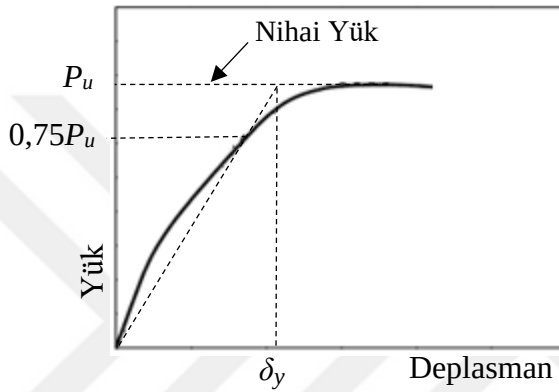
Şekil 3.56. İlk akma noktasına göre akma deplasmanının belirlenmesi



Şekil 3.57. Eşdeğer elasto-plastik sistemin akma deplasmanının belirlenmesi



Şekil 3.58. Gerçek sistemle aynı enerji tüketimine sahip eşdeğer elasto-plastik sistemin akma deplasmanının belirlenmesi



Şekil 3.59. Azaltılmış rijitliğe sahip eşdeğer elasto-plastik sistemin akma deplasmanının belirlenmesi

Kirişlere ait yük-sehim grafiklerinden faydalanılarak akma deplasmanı, akma yükü, nihai yük, sekant rijitliği ve deplasman sünekliği dahil olmak üzere önemli özellikler elde edilir. Rijitlik, yapı elemanlarında yer değiştirmelere karşı direnç koyma olarak tanımlanmaktadır. Yapı elemanları, üzerine gelen yükler karşısında hasar gördükçe rijitliklerinde azalmalar meydana gelmektedir. Kirişin akma noktasındaki rijitliği, Şekil 3.56’da gösterilen akma yer değiştirmesi δ_y ile buna karşılık gelen akma yükü ikililerini birleştiren doğrunun eğimi olarak Denklem 3.10 ile hesaplanmıştır.

$$K = \frac{P_y}{\delta_y} \quad 3.10$$

Süneklik, kirişin mukavemetinde önemli bir azalma olmadan elastik olmayan aralıkta büyük deformasyona uğrama yeteneğini yansıtmak için kullanılır. Çalışmada süneklik değerini belirlemek için literatürde genel olarak betonarme kirişler için kullanılan bir metod seçilmiştir. Kirişlerin akma noktası, yük-sehim eğrisinin ilk akma noktası olarak belirlenmiştir. Kirişlerin süneklik değerleri hesaplanırken, 1/1 geometrik ölçekli kirişlerin deneylerinde 100 mm ve 1/2 geometrik ölçekli kirişlerin deneylerinde

50 mm sehime kadar yükleme yapıldığı için bu sehimler esas alınarak belirlenmiştir. Süneklik (μ), Denklem 3.11’de verilen formül yardımıyla hesaplanmaktadır (Celep, 2013).

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad 3.11$$

Denklem 3.11’de yer alan δ_u ulaşılabilir toplam yer değiştirmeyi, δ_y Şekil 3.56’da gösterilen akma yer değiştirmesini ifade etmektedir.

3.3.1. 1/1 Ölçekli Kiriş Deneyi

Kirişlerin denge altı sünek davranışını gözlemlemek 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 ($2775/240=11,60$ mm) üzerine çıkılarak, kiriş ortasındaki sehim 100 mm’ye ulaşınca kadar yükleme yapıldığı için, Şekil 3.74’te verilen grafikten faydalanılarak kirişlerde 100 mm sehime göre belirlenen süneklik değerleri ve akma noktasındaki rijitlik değerleri Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. $\delta_u=100$ mm deplasman için süneklik ve rijitlik değerleri (1/1 ölçekli deney)

Deney Numunesi	Donatı Oranı	δ_y (mm)	P_y (kN)	K (kN/mm)	μ (mm/mm)
TK1	0,0080	11,94	250,00	20,93	8,38
K2	0,0080	9,80	200,00	20,41	10,20
K3	0,0032	5,50	80,00	14,55	18,18

Ölçülen değerlere göre tablasız referans kiriş K3 kirişinin akma noktasındaki rijitliği 14,55 kN/mm ve elastik ötesi bölgede 100 mm sehime göre hesaplanan süneklik değeri ise 18,18 mm/mm olarak hesap edilmiştir.

Deneyssel ölçümlere dayanarak, tablalı TK1 kirişinin akma noktasındaki rijitliği 20,93 kN/mm ve elastik ötesi bölgede 100 mm sehime göre hesaplanan süneklik değeri ise 8,38 mm/mm olarak hesap edilmiştir. TK1 kirişinde, referans kirişe göre hesap edilen akma noktası rijitliğinde yaklaşık %44 oranına varan ($=20,93/14,55$) artış meydana gelmiştir. Fakat, elastik ötesi bölgede 100 mm sehime göre hesaplanan süneklik değerinde tablasız referans kirişe göre yaklaşık %54 oranında azalış olmuştur.

Deneyisel ölçümlere dayanarak, tablasız döşeme donatılı K2 kirişinin akma noktasındaki rijitliği 20,41 kN/mm ve elastik ötesi bölgede 100 mm sehime göre hesaplanan süneklik değeri 10,20 mm/mm olarak hesap edilmiştir. K2 kirişinde, referans kirişe göre hesap edilen akma rijitliğinde yaklaşık %40 oranına varan ($=20,41/14,55$) artış meydana gelmiştir. Fakat, elastik ötesi bölgede 100 mm sehime göre hesaplanan süneklik değerinde referans kirişe göre yaklaşık %44 oranında azalış olmuştur. TK1 kirişinde, aynı donatı oranına sahip tablasız K2 kirişine göre hesap edilen akma rijitliğinde yaklaşık %3 oranına varan ($=20,93/20,41$) artış meydana gelmiştir. Fakat, elastik ötesi bölgede 100 mm sehime göre hesaplanan süneklik değerinde ise aynı donatı oranına sahip tablasız K2 kirişine göre yaklaşık %18 oranında azalış olmuştur.

Elde edilen veriler doğrultusunda, tablalı TK1 kirişinin, tabla genişliğinin ve döşeme donatısının artmasına bağlı olarak referans kiriş olan K3 kirişine göre daha rijit bir davranış gösterdiği belirlenmiştir. TK1 kirişinin eşdeğeri olan aynı donatı oranına sahip tablasız K2 kirişinin ise referans kirişe göre kesiti aynı kalmasına rağmen donatı oranındaki artıştan dolayı referans kirişe göre daha rijit bir davranış gösterdiği görülmüştür. Fakat, tablasız döşeme donatılı K2 kirişi, çekme bölgesinde yer alan donatı aralığının azalmasına bağlı olarak aderanstaki azalmadan kaynaklı, eşdeğeri olan tablalı TK1 kirişinr göre daha az rijit bir davranış göstermiştir.

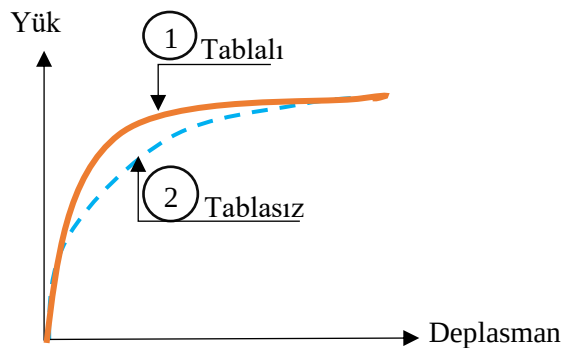
3.3.2. 1/2 Ölçekli Kiriş Deneyi

Kirişlerin denge altı sünek davranışını gözlemlemek 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 ($1950/240=8,12$ mm) üzerine çıkılarak, kiriş ortasındaki sehim 50 mm'ye ulaşınca kadar yükleme yapıldığı için, Şekil 3.85 ve Şekil 3.86'da verilen grafikten faydalanılarak kirişlerde 50 mm sehime göre belirlenen süneklik değerleri ve akma noktasındaki rijitlik değerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. $\delta_u=50$ mm deplasman için süneklik ve rijitlik değerleri (1/2 ölçekli deney)

Deney Numunesi	Donatı Oranı	δ_y (mm)	P_y (kN)	K (kN/mm)	μ (mm/mm)
B0-1	0,0038	2,14	30	14,02	23,36
B0-2	0,0038	1,95	30	15,38	25,64
B1-1	0,0108	4,65	70	15,05	10,75
B1-2	0,0108	3,95	70	17,72	12,66
B2-1	0,0134	7,90	140	17,72	6,33
B2-2	0,0134	7,75	140	18,06	6,45
B3-1	0,0156	7,24	150	20,72	6,91
B3-2	0,0156	7,30	150	20,55	6,85
B4-1	0,0183	7,50	170	22,67	6,67
B4-2	0,0183	7,45	170	22,82	6,71
TB1-1	0,0110	3,40	100	29,41	14,71
TB1-2	0,0110	3,50	100	28,57	14,29
TB2-1	0,0134	2,90	110	37,93	17,24
TB2-2	0,0134	2,95	110	37,29	16,95
TB3-1	0,0158	2,85	120	42,11	17,54
TB3-2	0,0158	2,95	120	40,68	16,95
TB4-1	0,0182	2,75	120	43,64	18,18
TB4-2	0,0182	2,80	120	42,86	17,86

Şekil 3.60’da tablalı ve tablasız kirişlerde beklenen yük sehim grafiklerinin genel gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.60. Tablalı ve tablasız kirişlerde beklenen yük sehim grafiklerinin genel gösterimi

Şekil 3.60’da görülen 1 numara tablalı kirişlerde donatı çapının ince ve donatı aralığının yeterli olduğunda beklenen yük sehim grafiğininin, 2 numara ise tablasız

kirişlerde donatı çapının kalın ve donatı aralığının yetersiz olduğunda beklenen yük sehim grafiğinin genel çizimlerini göstermektedir.

Ölçülen değerlere göre referans kirişleri olan B0-1 ve B0-2'nin akma noktasındaki rijitliği ortalama 14,70 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Rijitlik değerleri tablasız B1-1 ve B1-2, B2-1 ve B2-2, B3-1 ve B3-2, B4-1 ve B4-2 kirişlerinde sırasıyla ortalama 16,39, 17,89, 20,64 ve 22,75 kN/mm olurken; tablalı TB1-1 ve TB1-2, TB2-1 ve TB2-2, TB3-1 ve TB3-2, TB4-1 ve TB4-2 kirişlerinde sırasıyla ortalama 28,99, 37,61, 41,40 ve 43,25 kN/mm olarak belirlenmiştir.

Akma noktasındaki rijitlik değerleri tablasız B1-1 ve B1-2, B2-1 ve B2-2, B3-1 ve B3-2, B4-1 ve B4-2 kirişlerinde, referans kirişlere göre sırasıyla yaklaşık %12, %22, %40 ve %55 oranlarında artış gösterirken, tablalı TB1-1 ve TB1-2, TB2-1 ve TB2-2, TB3-1 ve TB3-2, TB4-1 ve TB4-2 kirişlerinde ise, referans kirişlere göre sırasıyla yaklaşık %97, %155, %182 ve %194 oranlarına varan artış meydana gelmiştir.

Ölçülen değerlere göre referans kirişleri olan B0-1 ve B0-2'nin elastik ötesi bölgede 100 mm sehime göre hesaplanan süneklik değeri ortalama 24,50 mm/mm olarak hesap edilmiştir. Elastik ötesi bölgede 100 mm sehime göre hesaplanan süneklik değerleri, tablasız B1-1 ve B1-2, B2-1 ve B2-2, B3-1 ve B3-2, B4-1 ve B4-2 kirişlerinde sırasıyla ortalama 11,71, 6,39, 6,88 ve 6,69 mm/mm olurken; tablalı TB1-1 ve TB1-2, TB2-1 ve TB2-2, TB3-1 ve TB3-2, TB4-1 ve TB4-2 kirişlerinde sırasıyla ortalama 14,50, 17,10, 17,25 ve 18,02 mm/mm olarak belirlenmiştir.

Elastik ötesi bölgede 100 mm sehime göre hesaplanan süneklik değerleri tablasız B1-1 ve B1-2, B2-1 ve B2-2, B3-1 ve B3-2, B4-1 ve B4-2 kirişlerinde, referans kirişlere göre sırasıyla yaklaşık %52, %74, %72 ve %73 oranlarında azalış gösterirken, tablalı TB1-1 ve TB1-2, TB2-1 ve TB2-2, TB3-1 ve TB3-2, TB4-1 ve TB4-2 kirişlerinde ise, referans kirişlere göre sırasıyla yaklaşık %41, %30, %30 ve %27 oranlarında azalış meydana gelmiştir.

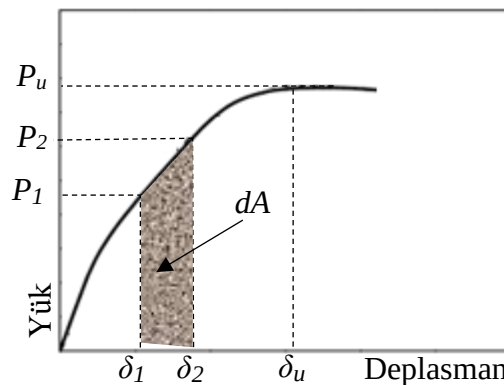
TB1-1 ve TB1-2 kirişlerde, B1-1 ve B1-2 kirişlere göre akma noktasındaki rijitliğinde yaklaşık %77 oranında ($=28,99/16,39$), süneklik değerinde ise yaklaşık %24 ($=14,50/11,71$) oranına varan artış meydana gelmiştir. TB2-1 ve TB2-2 kirişlerde, B2-1 ve B2-2 kirişlere göre akma noktasındaki rijitliğinde yaklaşık %110 oranında ($=37,61/17,89$), süneklik değerinde ise yaklaşık %168 ($=17,10/6,39$) oranına varan artış meydana gelmiştir. TB3-1 ve TB3-2 kirişlerde, B3-1 ve B3-2 kirişlere göre akma

noktasındaki rijitliğinde yaklaşık %101 oranında ($=41,40/20,64$), süneklik değerinde ise yaklaşık %151 ($=17,25/6,88$) oranına varan artış meydana gelmiştir. TB4-1 ve TB4-2 kirişlerde, B4-1 ve B4-2 kirişlere göre akma noktasındaki rijitliğinde yaklaşık %90 oranında ($=43,25/22,75$) artış, süneklik değerinde ise yaklaşık %169 ($=18,02/6,69$) oranına varan artış meydana gelmiştir.

Elde edilen veriler doğrultusunda, tablalı kirişlerin, tabla genişliğinin ve döşeme donatısının artmasına bağlı olarak referans dikdörtgen kesitli kirişlere göre daha rijit bir davranış gösterdiği belirlenmiştir. Tablalı kirişlerin eşdeğeri olan benzer donatı oranına sahip tablasız kirişlerin ise referans kirişlere göre kesiti aynı kalmasına rağmen donatı oranındaki artıştan dolayı referans kirişlere göre daha rijit bir davranış gösterdiği görülmüştür. Fakat, tablasız kirişlerde donatı aralığının azalmasına ve donatı çapının büyüklüğüne bağlı olarak, aderanstaki azalmadan kaynaklı, eşdeğeri olan tablalı kirişlere göre daha az rijit bir davranış göstermiştir. Ayrıca, tablalı kirişlerin, eşdeğeri olan benzer donatı oranına sahip tablasız kirişlere kıyasla süneklik değerlerindeki artıştan dolayı daha olumlu bir davranış gösterdiği görülmüştür.

3.4. Enerji Tüketme Kapasitelerinin Belirlenmesi ve Değerlendirmesi

Kirişlerin enerji tüketme kapasiteleri (A_{env}) yük-deplasman grafiklerinin altında kalan alanın hesaplanması sonucu tespit edilmiştir. Şekil 3.61’de verilen yük-deplasman grafiğinde her bir birim yüklemede bulunan bir birimlik alanların toplanması sonucunda kirişlerin enerji tüketme kapasiteleri hesaplanmıştır.



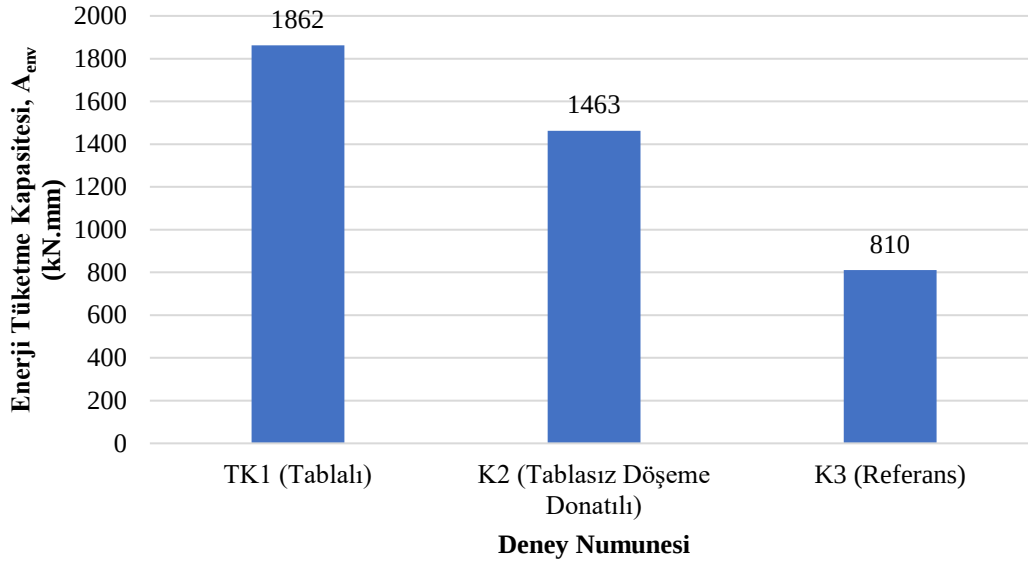
Şekil 3.61. Kirişlerin enerji tüketme kapasitelerinin belirlenmesi

Şekil 3.61’de verilen bir birimlik alanın enerji tüketme kapasitesi (dA =taralı alan) Denklem 3.12’ye göre hesaplanmıştır.

$$dA = (\delta_2 - \delta_1) * \frac{(P_1 + P_2)}{2} \quad 3.12$$

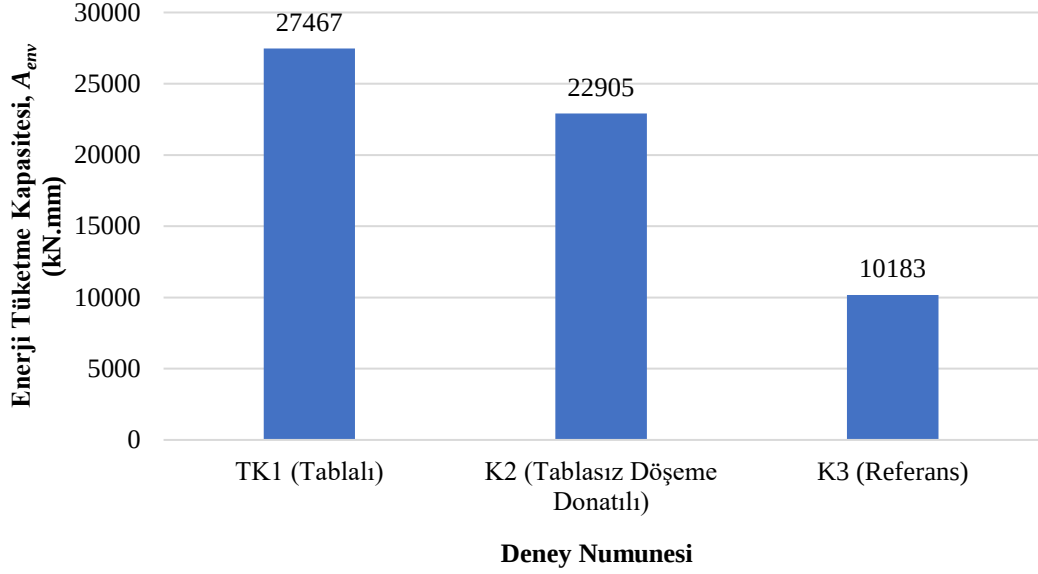
3.4.1. 1/1 Ölçekli Kiriş Deneyi

Kirişlerin denge altı sünek davranışını gözlemlemek amacıyla, kiriş serbest açıklığının 240'a bölünmesiyle elde edilen kiriş ortasındaki kullanılabilirlik sehim limiti olan $l/240$ ($2775/240=11,60$ mm) sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasiteleri Şekil 3.62'de verilmiştir.



Şekil 3.62. 1/1 ölçekli kirişlerin $l/240$ sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi

Eğilme davranışı açısından tablalı TK1 kirişinde, kiriş ortasındaki sehim $l/240$ 'a ($=11,60$ mm) ulaşmaya kadar olan enerji tüketme kapasitesi referans kirişe göre yaklaşık %130 oranında ($=1862/810$) artarken, tablasız K2 kirişi referans kirişe göre yaklaşık %80 ($=1463/810$) oranında artış göstermiştir. Enerji tüketme kapasitesi bakımından tablalı TK1 kirişi eşdeğeri tablasız K2 kirişe göre %27 oranında ($=1862/1463$) artış göstermiştir. Bunun sebebinin, tablasız kiriş donatılarının donatı aralığının azalmasından kaynaklı erken aderans kaybının olduğu düşünülmektedir.

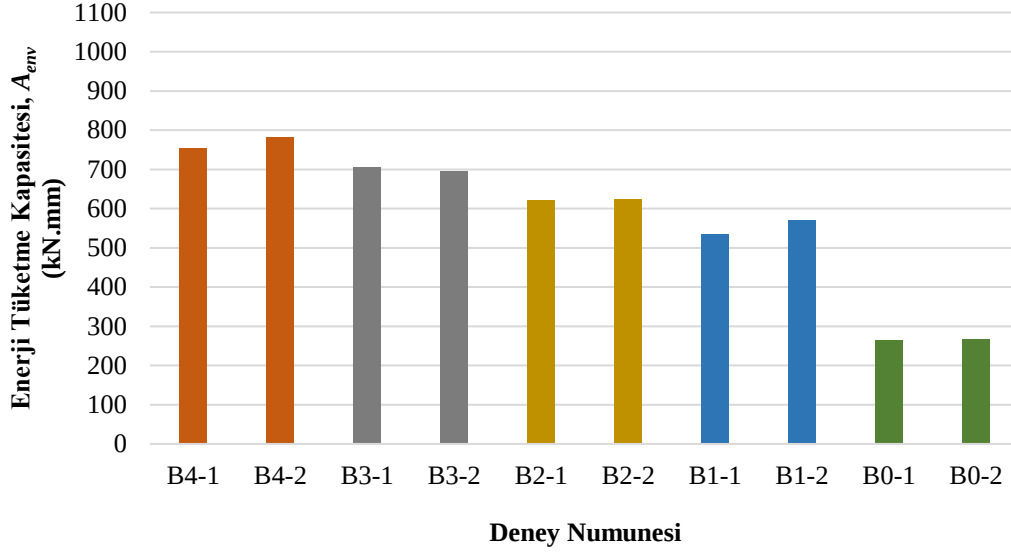


Şekil 3.63. 1/1 ölçekli kirişlerin 100 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi

Kirişlerin 100 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasiteleri Şekil 3.63'te verilmiştir. Eğilme davranışı açısından tablalı TK1 kirişinde, kiriş ortasındaki sehim 100 mm'ye ulaşınca kadar olan enerji tüketme kapasitesi referans kirişe göre yaklaşık %170 oranında ($=27467/10183$) artarken, tablasız K2 kirişi referans kirişe göre yaklaşık %125 ($=22905/10183$) oranında artış göstermiştir. Enerji tüketme kapasitesi bakımından tablalı TK1 kirişi eşdeğeri tablasız K2 kirişe göre %20 oranında ($=27467/22905$) artış göstermiştir. Bunun sebebinin, tablasız kiriş donatılarının donatı aralığının azalmasından kaynaklı erken aderans kaybının olduğu düşünülmektedir.

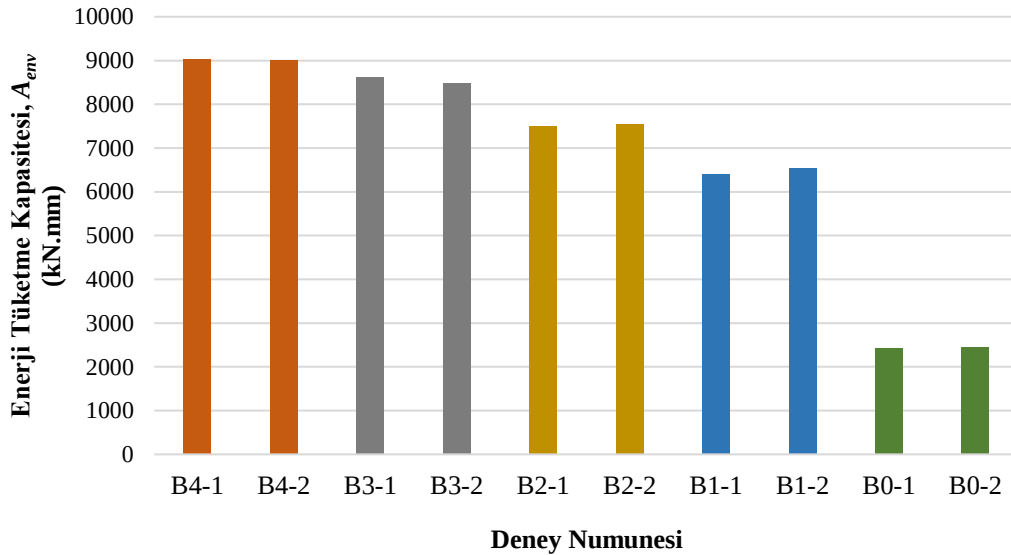
3.4.2. 1/2 Ölçekli Kiriş Deneyi

Tablasız ve referans kirişlerin $l/240$ ($1950/240=8,12$ mm) sehim kontrolü sınırında gerçekleşen enerji tüketme kapasiteleri Şekil 3.64'te verilmiştir. Eğilme davranışı açısından tablasız B4-1 ve B4-2, B3-1 ve B3-2, B2-1 ve B2-2, B1-1 ve B1-2 kirişlerinde, kiriş ortasındaki sehim $l/240$ 'a ($=8,12$ mm) ulaşınca kadar olan enerji tüketme kapasitesinde referans kirişlere göre sırasıyla yaklaşık %190, %164, %135 ve %108 oranında artış olmuştur.



Şekil 3.64. 1/2 ölçekli tablasız ve referans kirişlerinin 1/240 sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi

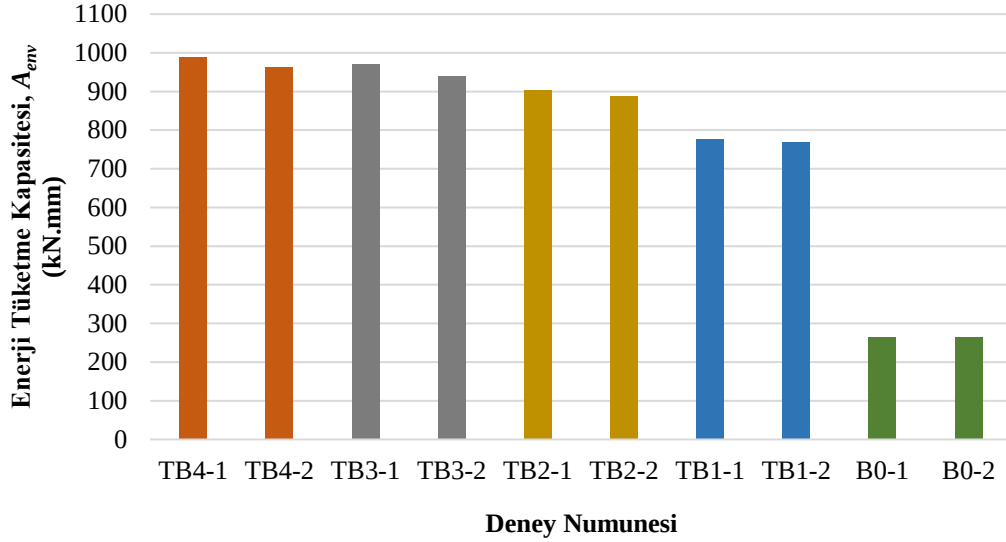
Tablasız ve referans kirişlerin 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasiteleri Şekil 3.65'te verilmiştir. Eğilme davranışı açısından tablasız B4-1 ve B4-2, B3-1 ve B3-2, B2-1 ve B2-2, B1-1 ve B1-2 kirişlerinde, kiriş ortasındaki sehim 50 mm'ye ulaşıncaya kadar olan enerji tüketme kapasitesinde referans kirişlere göre sırasıyla yaklaşık %270, %251, %209 ve %165 oranında artış olmuştur.



Şekil 3.65. 1/2 ölçekli tablasız ve referans kirişlerinin 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi

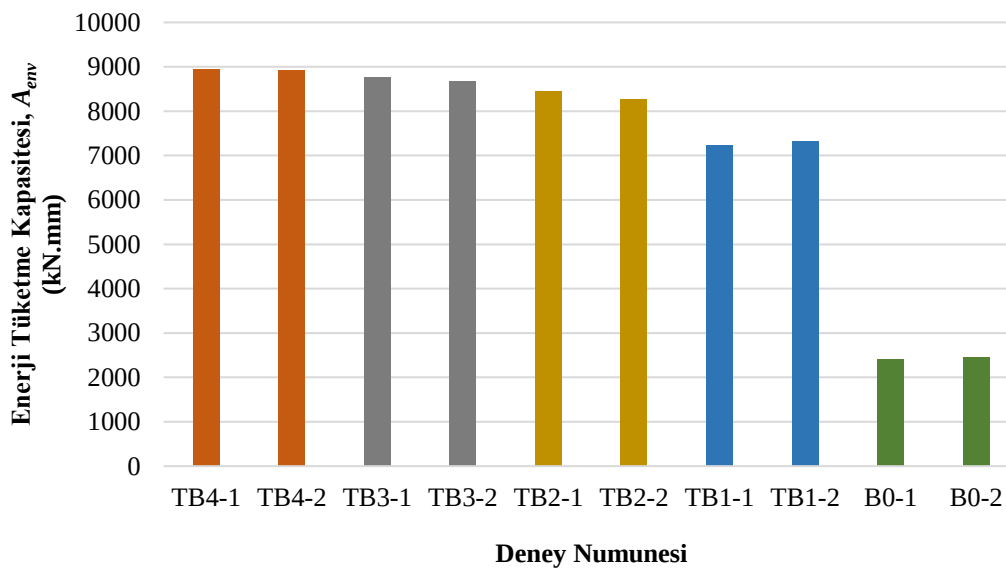
Tablalı ve referans kirişlerin 1/240 sehim kontrolü sınırında gerçekleşen enerji tüketme kapasiteleri Şekil 3.66'da verilmiştir. Eğilme davranışı açısından tablalı TB4-1 ve TB4-2, TB3-1 ve TB3-2, TB2-1 ve TB2-2, TB1-1 ve TB1-2 kirişlerinde, kiriş

ortasındaki sehim $l/240$ 'a ($=8,12$ mm) ulaşınca kadar olan enerji tüketme kapasitesinde referans kirişlere göre sırasıyla yaklaşık %269, %261, %238 ve %192 oranında artış olmuştur.



Şekil 3.66. 1/2 ölçekli tablalı ve referans kirişlerinin $l/240$ sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi

Tablalı ve referans kirişlerin 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasiteleri Şekil 3.67’de verilmiştir. Eğilme davranışı açısından tablalı TB4-1 ve TB4-2, TB3-1 ve TB3-2, TB2-1 ve TB2-2, TB1-1 ve TB1-2 kirişlerinde, kiriş ortasındaki sehim 50 mm’ye ulaşınca kadar olan enerji tüketme kapasitesi referans kirişlere göre sırasıyla yaklaşık %267, %258, %243 ve %199 oranında artış göstermiştir.



Şekil 3.67. 1/2 ölçekli tablalı ve referans kirişlerinin 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi

Çizelge 3.5’te, kirişlerin $l/240$ sehimi kontrolü sınırında ve 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasiteleri çizelge halinde verilmiştir. Kiriş ortasındaki sehimi $l/240$ sehimi kontrolü sınırına ($=8,12$ mm) ulaşıncaya kadar olan enerji tüketme kapasitesi bakımından, tablalı TB4-1 ve TB4-2 kirişleri tablasız B4-1 ve B4-2 kirişlere göre yaklaşık %27 oranında artış, TB3-1 ve TB3-2 kirişleri tablasız B3-1 ve B3-2 kirişlere göre yaklaşık %37 oranında artış, TB2-1 ve TB2-2 kirişleri tablasız B2-1 ve B2-2 kirişlere göre yaklaşık %44 oranında artış, TB1-1 ve TB1-2 kirişleri tablasız B1-1 ve B1-2 kirişlere göre yaklaşık %40 oranında artış göstermiştir. Bunun sebebinin, tablasız kiriş donatılarının donatı aralığının azalmasından ve donatı çapının büyüklüğünden kaynaklı erken aderans kaybının olduğu düşünülmektedir.

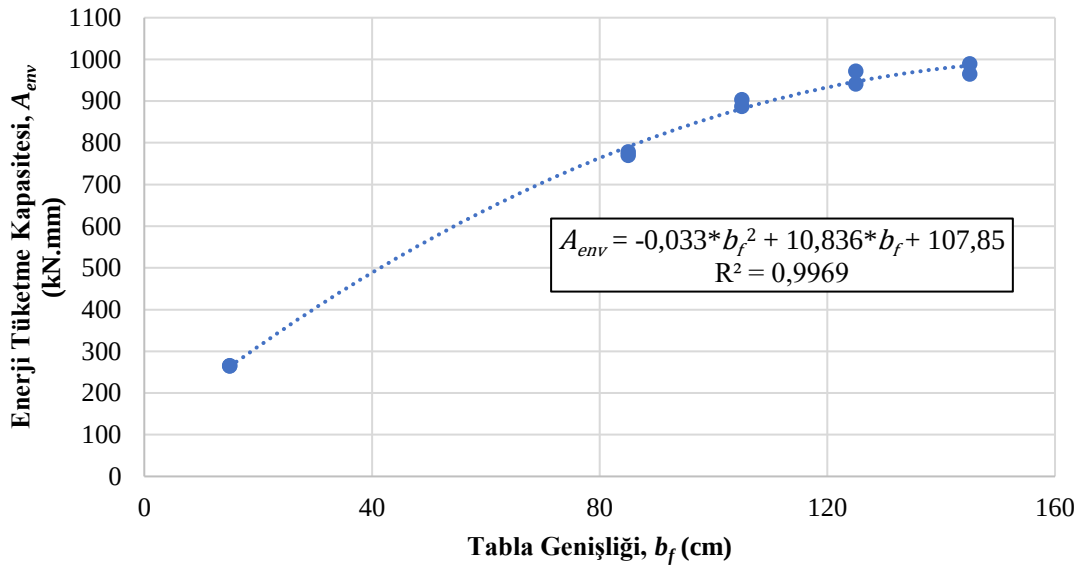
Çizelge 3.5. Kirişlerin $l/240$ ve 50 mm sehimlerde gerçekleşen enerji tüketme kapasiteleri (1/2 ölçekli deney)

Deney Numunesi	Tabla Genişliği, b_f (cm)	A_{env} (kN.mm)	A_{env} (kN.mm)
		$l/240=8,12$ mm	50 mm
B0-1	15	265	2418
B0-2	15	265	2456
B1-1	15	534	6402
B1-2	15	570	6531
B2-1	15	620	7506
B2-2	15	624	7536
B3-1	15	704	8617
B3-2	15	696	8484
B4-1	15	754	9027
B4-2	15	782	9019
TB1-1	85	778	7238
TB1-2	85	770	7329
TB2-1	105	903	8441
TB2-2	105	888	8273
TB3-1	125	972	8771
TB3-2	125	941	8669
TB4-1	145	989	8946
TB4-2	145	964	8922

Kiriş ortasındaki sehimi 50 mm’ye ulaşıncaya kadar olan enerji tüketme kapasitesi bakımından, tablalı TB4-1 ve TB4-2 kirişleri ile tablasız B4-1 ve B4-2 kirişleri

yaklaşık aynı kalırken, TB3-1 ve TB3-2 kirişleri tablasız B3-1 ve B3-2 kirişlere göre yaklaşık %2 oranında artış, TB2-1 ve TB2-2 kirişleri tablasız B2-1 ve B2-2 kirişlere göre yaklaşık %11 oranında artış, TB1-1 ve TB1-2 kirişleri tablasız B1-1 ve B1-2 kirişlere göre yaklaşık %13 oranında artış göstermiştir. Bunun sebebinin, tablasız kiriş donatılarının donatı aralığının azalmasından ve donatı çapının büyüklüğünden kaynaklı erken aderans kaybının olduğu düşünülmektedir.

Tabla genişliğine (b_f) göre $l/240$ sehim kontrolü sınırında gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi grafiği Şekil 3.68’de verilmiştir.

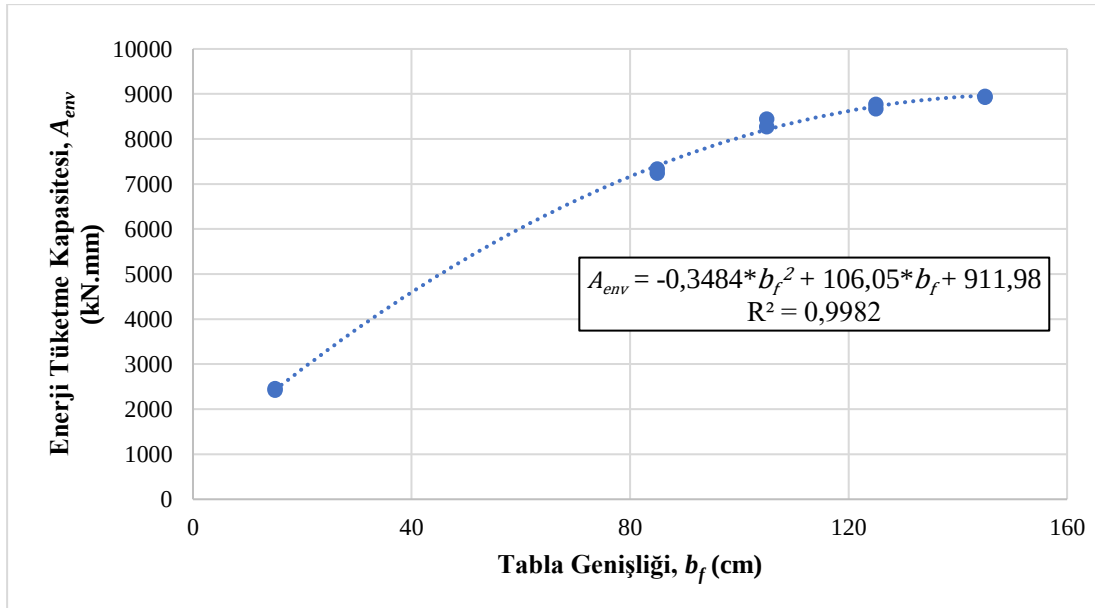


Şekil 3.68. b_f 'ye göre $l/240$ sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesinin belirlenmesi

$l/240$ sehim kontrolü sınırında gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi, A_{env} (kN.mm), $R^2=0,9969$ regresyon değeri ile b_f kirişlerin (cm) cinsinden tabla genişliği Denklem 3.13'te verilmiştir.

$$A_{env} = -0,033 * b_f^2 + 10,836 * b_f + 107,85 \quad 3.13$$

Tabla genişliğine (b_f) göre 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi grafiği Şekil 3.69'da verilmiştir.



Şekil 3.69. b_f 'ye göre 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesinin belirlenmesi

50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi, A_{env} (kN.mm), $R^2=0,9982$ regresyon değeri ile b_f kirişlerin (cm) cinsinden tabla genişliği Denklem 3.14'te verilmiştir.

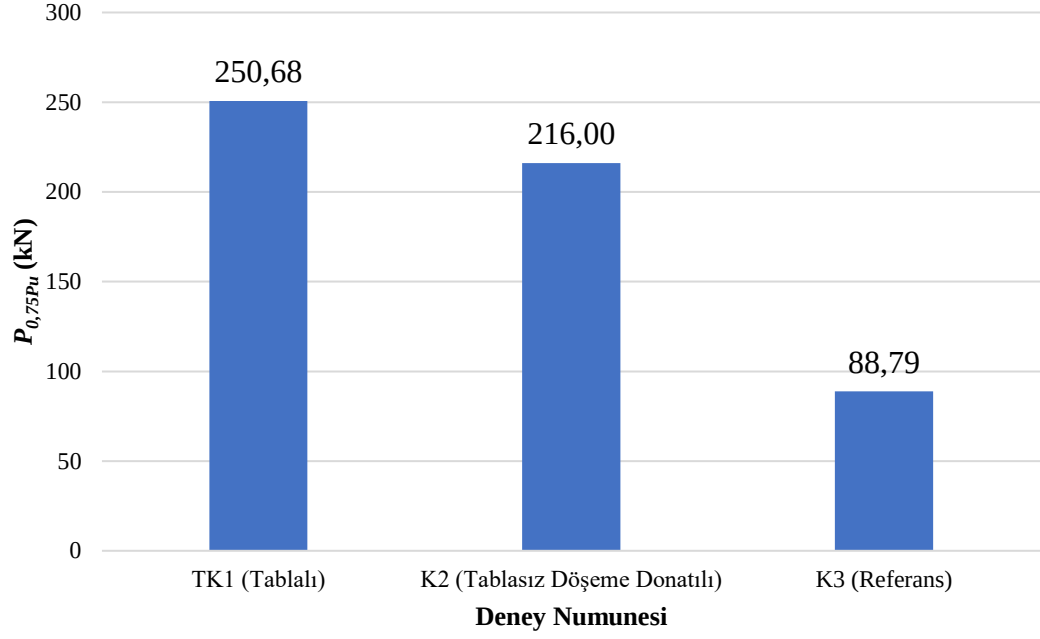
$$A_{env} = -0,3484 * b_f^2 + 106,05 * b_f + 911,98 \quad 3.14$$

Denklem 3.13 ve Denklem 3.14'te görüldüğü üzere, hem kullanılabilirlik sehim limiti $l/240$ sınırındaki hem de bu sehimin üzerindeki 50 mm sehimdeki enerji tüketme kapasitelerinin, tabla genişliği arttıkça parabolik olarak azalan bir trendle arttığı gözlenmiştir.

3.5. Yük-Sehim Grafiklerinin Belirlenmesi ve Değerlendirmesi

3.5.1. 1/1 Ölçekli Kiriş Deneyi

Kiriş ortasındaki sehimin 100 mm'ye ulaştığındaki nihai yükün %75'inde sekant rijitliği olarak bulunan azaltılmış rijitliğe sahip eşdeğer elasto-plastik kirişlerin Şekil 3.59'da gösterilen akma deplasmanına göre belirlenen akma yükleri Şekil 3.70'de verilmiştir.

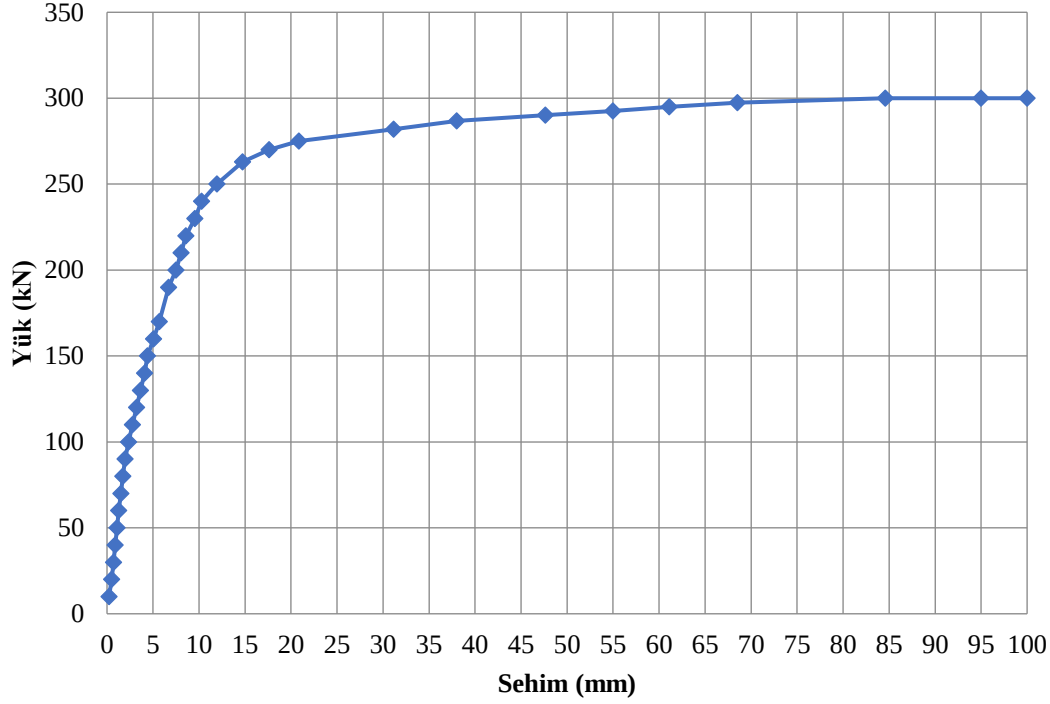


Şekil 3.70. 1/1 ölçekli tablasız ve referans kirişlerin 100 mm sehimdeki sekant rijitliğine göre belirlenen akma yükü

Bu yöntemle yapılan hesaplamalar sonucunda, tablalı TK1 kirişin akma yükünün 250,68 kN, tablasız döşeme donatılı K2 kirişinin akma yükünün 216,00 kN, referans kiriş olan tablasız döşeme donatısız K3 kirişinin akma yükünün ise 88,79 kN olduğu belirlenmiştir.

3.5.1.1. TK1 (Tablalı) Kiriş Numunesi

Tablalı TK1 kirişinin davranışını belirlemek amacıyla, deney esnasında alınan yük ve sehim verileri kullanılarak grafik çizdirilmiştir. Yapılan tasarıma uygun olarak sünek eğilme davranışı gösteren tablalı TK1 kirişinin, üç noktalı yükleme deneyi sonucu ölçülen yük-sehim grafiği Şekil 3.71’de verilmiştir. Çift donatılı dikdörtgen kesit dikkate alınarak yapılan geleneksel teorik betonarme hesap sonuçlarına göre, tablalı TK1 kirişinin maksimum taşıma gücü momenti 167,01 kN.m ve maksimum yük 269,92 kN olacak şekilde tasarımları yapılmıştır (Çizelge 3.1).

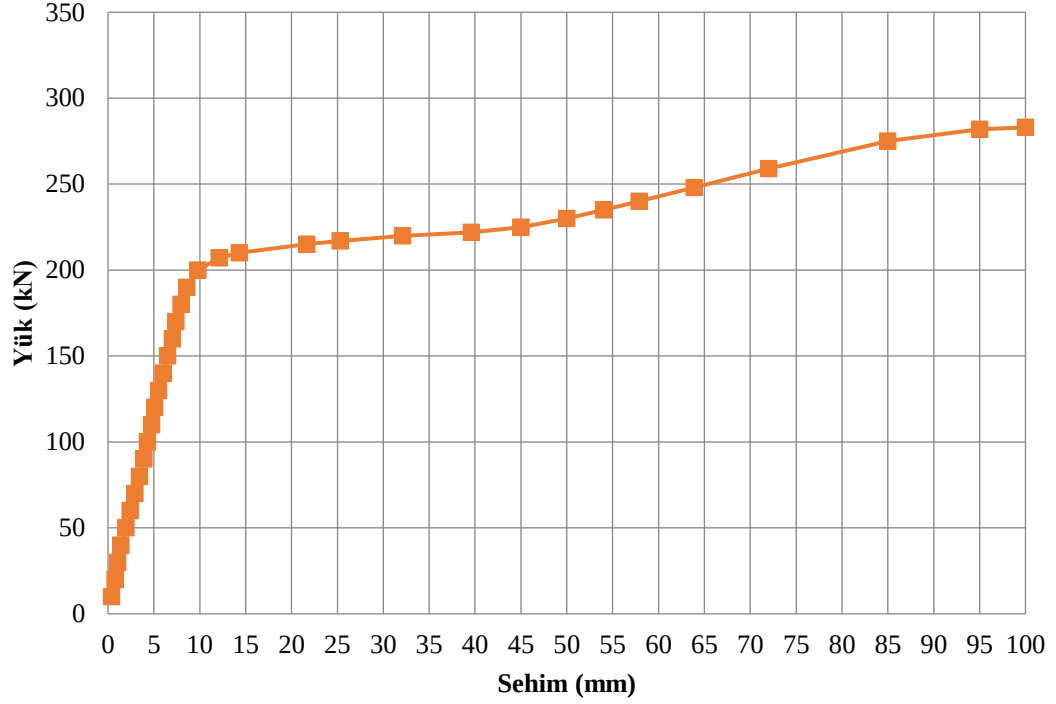


Şekil 3.71. TK1 (Tablalı) kirişi yük-sehim grafiği

Tablalı TK1 kirişinin, betonarme hesaplara yakın değerlerde akmaya başladığı, sekant rijitliğe göre belirlenen akma yükünün de betonarme hesaplara yakın olarak 250,68 kN'da gerçekleştiği, kiriş ortasındaki sehim 100 mm'ye ulaştığında ise taşıdığı maksimum yükün 300,00 kN olduğu görülmüştür.

3.5.1.2. K2 (Döşeme Donatılı) Kiriş Numunesi

Tablasız döşeme donatılı K2 kirişinin davranışını belirlemek amacıyla, deney esnasında alınan yük ve sehim verileri kullanılarak grafik çizdirilmiştir. Yapılan tasarıma uygun olarak sünek eğilme davranışı gösteren tablasız döşeme donatılı K2 kirişinin, üç noktalı yükleme deneyi sonucu ölçülen yük-sehim grafiği Şekil 3.72'de verilmiştir. Çift donatılı dikdörtgen kesit dikkate alınarak yapılan geleneksel teorik betonarme hesap sonuçlarına göre, tablasız döşeme donatılı K2 kirişinin maksimum taşıma gücü momenti 167,97 kN.m ve maksimum yük 271,47 kN olacak şekilde tasarımları yapılmıştır (Çizelge 3.1).

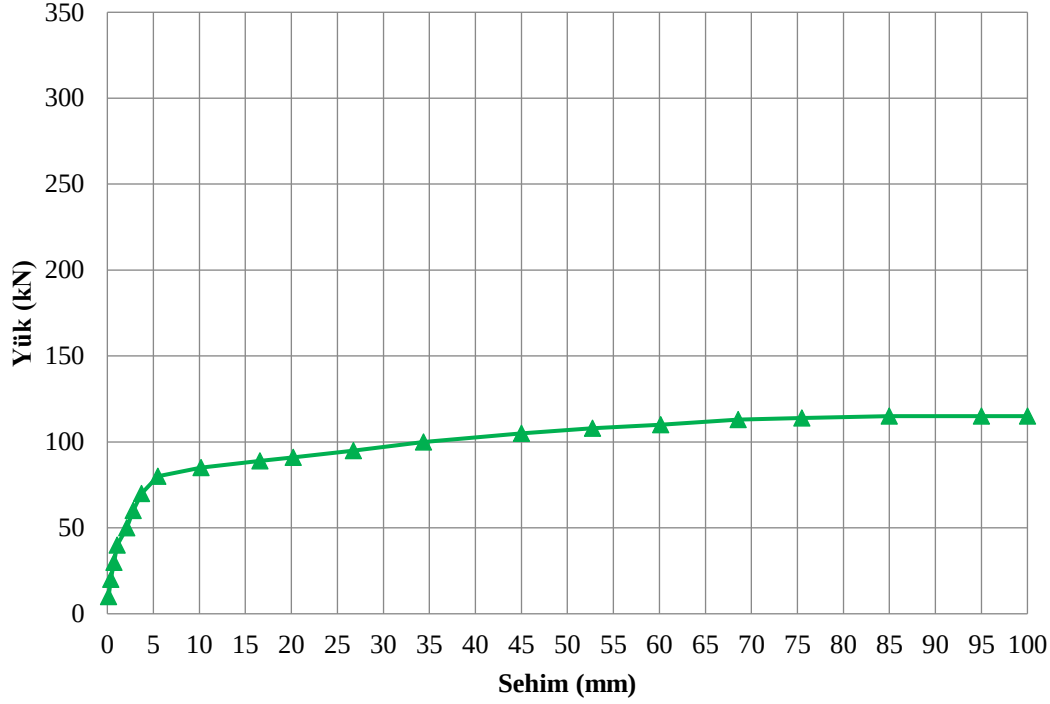


Şekil 3.72. K2 (tablasız döşeme donatılı) kirişi yük-sehim grafiği

Tablasız döşeme donatılı K2 kirişi, betonarme hesaba göre 271,47 kN’da akmaya başlaması gerekirken yaklaşık 200,00 kN’larda akmaya başladığı, sekant rijitliğe göre belirlenen akma yükünün 216,00 kN’da gerçekleştiği, kiriş ortasındaki sehim 100 mm’ye ulaştığında ise taşıdığı maksimum yükün 283,00 kN olduğu görülmüştür.

3.5.1.3. K3 (Referans) Kiriş Numunesi

Tablasız K3 referans kirişinin davranışını belirlemek amacıyla, deney esnasında alınan yük ve sehim verileri kullanılarak grafik çizdirilmiştir. Yapılan tasarıma uygun olarak sünek eğilme davranışı gösteren referans K3 kirişinin, üç noktalı yükleme deneyi sonucu ölçülen yük-sehim grafiği Şekil 3.73’te verilmiştir. Çift donatılı dikdörtgen kesit dikkate alınarak yapılan geleneksel teorik betonarme hesap sonuçlarına göre, tablasız döşeme donatısız K3 referans kirişinin ise maksimum taşıma gücü momenti 69,26 kN.m ve maksimum yük 111,94 kN olacak şekilde tasarımları yapılmıştır (Çizelge 3.1).



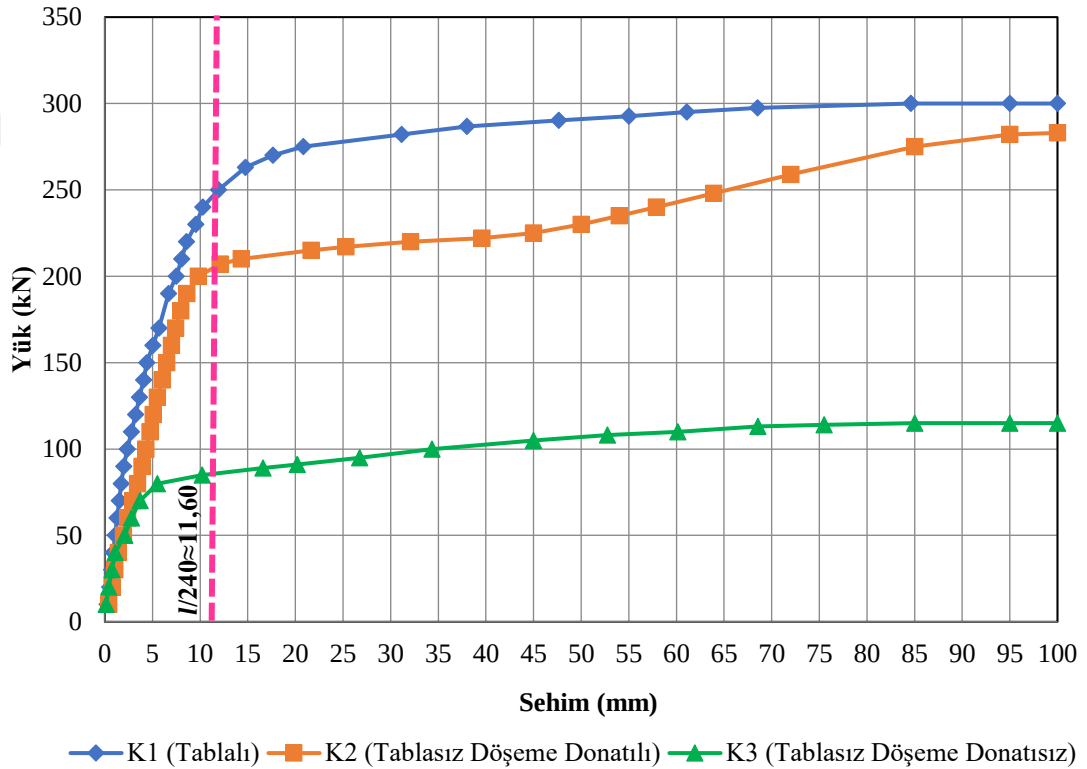
Şekil 3.73. K3 (referans) kirişi yük-sehim grafiği

Referans kiriş 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, sekant rijitliğe göre belirlenen akma yükünün 88,79 kN'da gerçekleştiği, kiriş ortasındaki sehim 100 mm'ye ulaştığında ise taşıdığı maksimum yükün 115,00 kN olduğu görülmüştür.

3.5.1.4. Yük-Sehim Grafiklerinin Genel Değerlendirmesi

Tablalı TK1 ve tablasız döşeme donatılı K2 kirişlerinin kiriş ortasındaki sehim 100 mm'ye ulaştığında taşıma kapasitelerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Ancak, tablalı TK1 kirişinde döşeme donatısının etriyenin dışında kalması nedeniyle daha düşük bir akma ve taşıma kapasitesi beklenirken, 250 mm genişliğindeki tablasız K2 kirişindeki donatı aralıklarının (3Ø12+10Ø8) TS 500 (2000)'e göre (donatı çapından, $\frac{4}{3} D_{max}$ 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 sehimden sonra, kiriş ortasından başlayan aderans kaybının kenarlara doğru devam ettiği ancak, çekme donatılarının germe halatı gibi davranarak, TK1 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 TK1 kirişindeki sehim yaklaşık 10 mm olurken, K2 kirişinde bu sehim yaklaşık 5 katı (50 mm) olarak gerçekleşmiştir. Erken aderans kaybı neticesinde, TK1 kirişine kıyasla K2 kirişinde sehimin hızlı bir şekilde arttığı ve çatlakların daha erken ve daha büyük oluşmasına neden olduğu ancak, kiriş ortasındaki sehim 100 mm'ye ulaşıldığında taşıma kapasitesine olan negatif etkisinin ise beklenenden az olduğu görülmüştür.

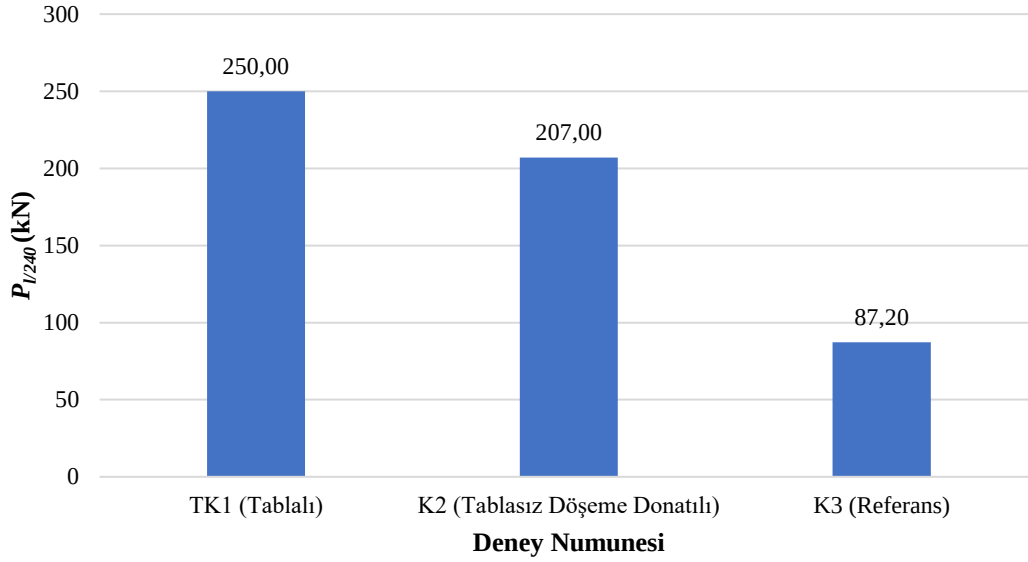


Şekil 3.74. 1/1 ölçekli kirişlerin yük-sehim grafiği

Kiriş ortasındaki sehim 100 mm'ye ulaşıldığında, tablalı K1 kirişine kıyasla tablasız döşeme donatılı K2 kirişinin sık donatılı olmasından kaynaklı aderans kaybından dolayı taşıma kapasitesi kaybı yaklaşık %6'lık bir oranla 17,00 kN (300,00-283,00 kN) olduğu görülmüştür (Şekil 3.74).

Kirişlerin denge altı sünek davranışını gözlemlemek amacıyla, TS 500 (2000)'de bölme duvarlı çatı ve normal kat elemanları için belirtilen, kiriş serbest açıklığının 240'a bölünmesiyle ($l/240$) elde edilen kiriş ortasındaki kullanılabilirlik sehim limitine (11,60 mm) ulaşıldığında, tablalı K1 kirişine kıyasla tablasız döşeme donatılı K2

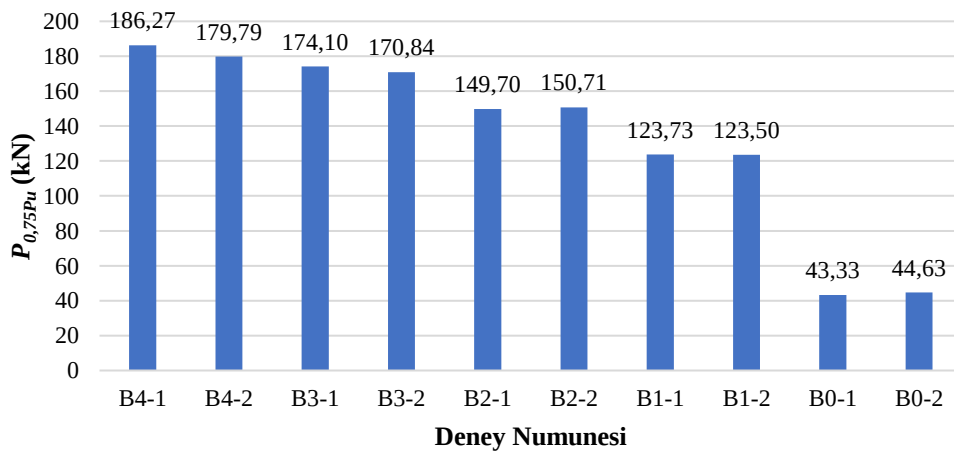
kirişinin sık donatılı olmasından kaynaklı aderans kaybından dolayı taşıma kapasitesi kaybı yaklaşık %17'lik bir oranla 43,00 kN (250,00-207,00 kN) olduğu görülmüştür (Şekil 3.75).



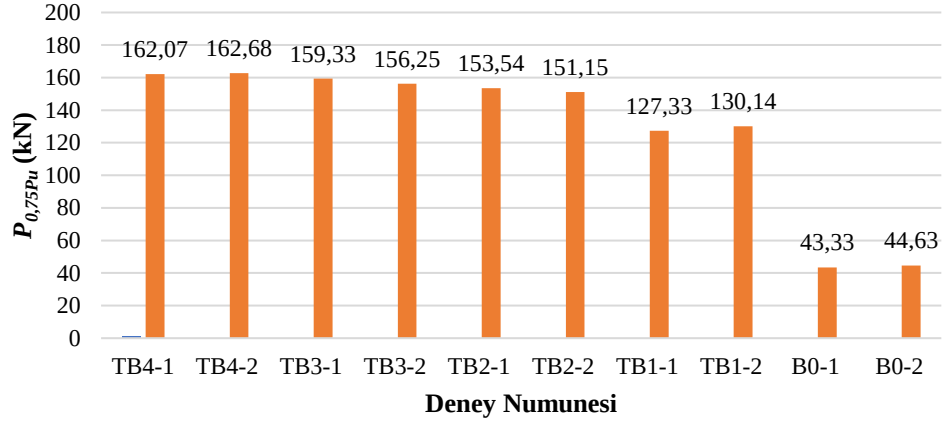
Şekil 3.75. 1/1 ölçekli kirişlerin $l/240$ ($=11,60$ mm) sehim kontrol sınırında belirlenen yükleri

3.5.2. 1/2 Ölçekli Kiriş Deneyi

Kiriş ortasındaki sehimin 50 mm'ye ulaştığındaki nihai yükün %75'inde sekant rijitliği olarak bulunan azaltılmış rijitliğe sahip eşdeğer elasto-plastik tablasız ve referans kirişlerin Şekil 3.59'da gösterilen akma deplasmanına göre belirlenen akma yükleri Şekil 3.76'da, tablalı ve referans kirişlerin Şekil 3.59'da gösterilen akma deplasmanına göre belirlenen akma yükleri Şekil 3.77'de verilmiştir.



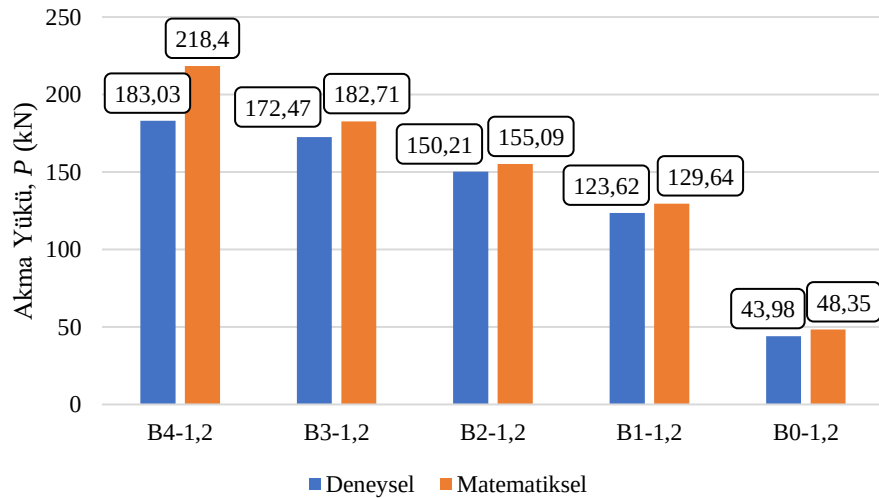
Şekil 3.76. 1/2 ölçekli tablasız ve referans kirişlerin 50 mm sehimdeki sekant rijitliğine göre belirlenen akma yükü



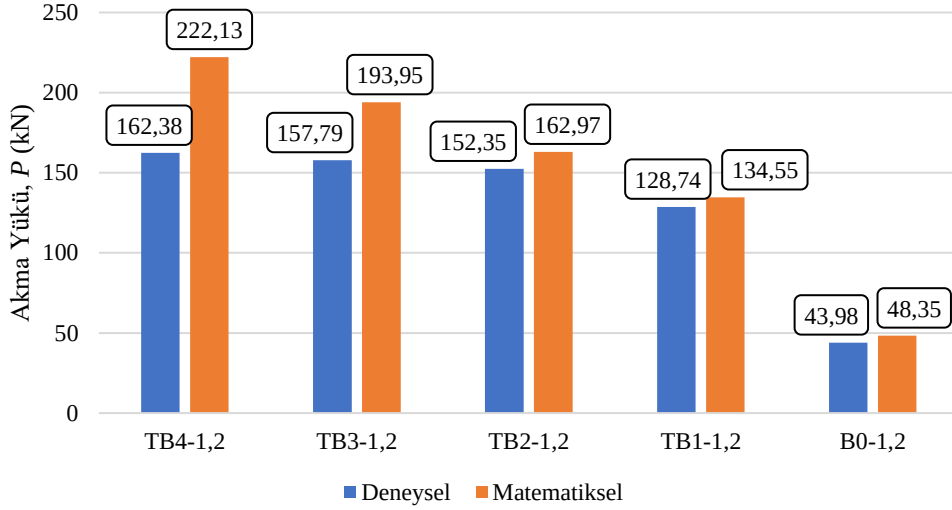
Şekil 3.77. 1/2 ölçekli tablalı ve referans kirişlerin 50 mm sehimdeki sekant rijitliğine göre belirlenen akma yükü

Bu yöntemle yapılan hesaplamalar sonucunda, referans kiriş olan B0-1 ve B0-2 kirişlerinin akma yükü ortalama 43,98 kN olarak belirlenmiştir. Tablasız B1-1 ve B1-2, B2-1 ve B2-2, B3-1 ve B3-2, B4-1 ve B4-2 kirişlerinde sırasıyla ortalama akma yükü 123,62, 150,21, 172,47 ve 183,03 kN olurken; tablalı TB1-1 ve TB1-2, TB2-1 ve TB2-2, TB3-1 ve TB3-2, TB4-1 ve TB4-2 kirişlerinde ise sırasıyla ortalama 128,74, 152,35, 157,79 ve 162,38 kN olduğu belirlenmiştir.

Çift donatılı dikdörtgen kesit dikkate alınarak yapılan geleneksel teorik betonarme hesap sonuçlarına göre belirlenen akma yükü ile kiriş ortasındaki 50 mm sehimdeki sekant rijitliğine göre belirlenen akma yükünün karşılaştırmalı gösterimi tablasız ve referans kirişlerin Şekil 3.78’de, tablalı ve referans kirişlerin ise Şekil 3.79’da verilmiştir.



Şekil 3.78. 1/2 ölçekli tablasız ve referans kirişlerin matematiksel ve 50 mm sehimdeki sekant rijitliğine göre belirlenen akma yükü

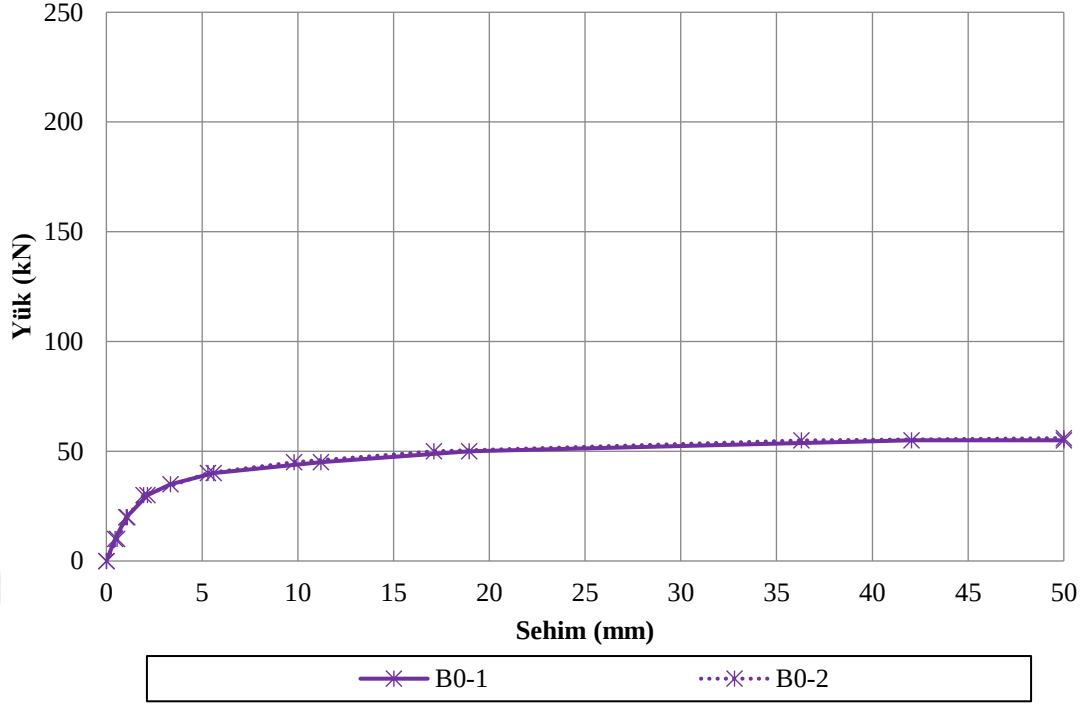


Şekil 3.79. 1/2 ölçekli tablalı ve referans kirişlerin matematiksel ve 50 mm sehimdeki sekant rijitliğine göre belirlenen akma yükü

Kiriş ortasındaki 50 mm sehim 50 mm'ye ulaştığında teorik betonarme hesaplarla elde edilen akma yükünün, sekant rijitliği yaklaşımı ile belirlenen deneysel akma yüküne oranla daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin tablalı kirişlerde tabla genişliği arttıkça döşeme donatısının katkısının azalması, tablasız kirişlerde ise donatıların çok sık olması nedeniyle aderans kaybından kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.5.2.1. B0-1 ve B0-2 (Referans) Kiriş Numuneleri

Tablasız B0-1 ve B0-2 referans kirişlerin davranışını belirlemek amacıyla, deney esnasında alınan yük ve sehim verileri kullanılarak grafikler çizdirilmiştir. Yapılan tasarıma uygun olarak sünek eğilme davranışı gösteren B0-1 ve B0-2 referans kirişlerin, üç noktalı yükleme deneyi sonucu ölçülen yük-sehim grafiği Şekil 3.80'de verilmiştir. Çift donatılı dikdörtgen kesit dikkate alınarak yapılan geleneksel teorik betonarme hesap sonuçlarına göre, B0-1 ve B0-2 referans kirişlerin maksimum taşıma gücü momenti 21,76 kN.m ve maksimum yük 48,35 kN olacak şekilde tasarımları yapılmıştır (Çizelge 3.2).

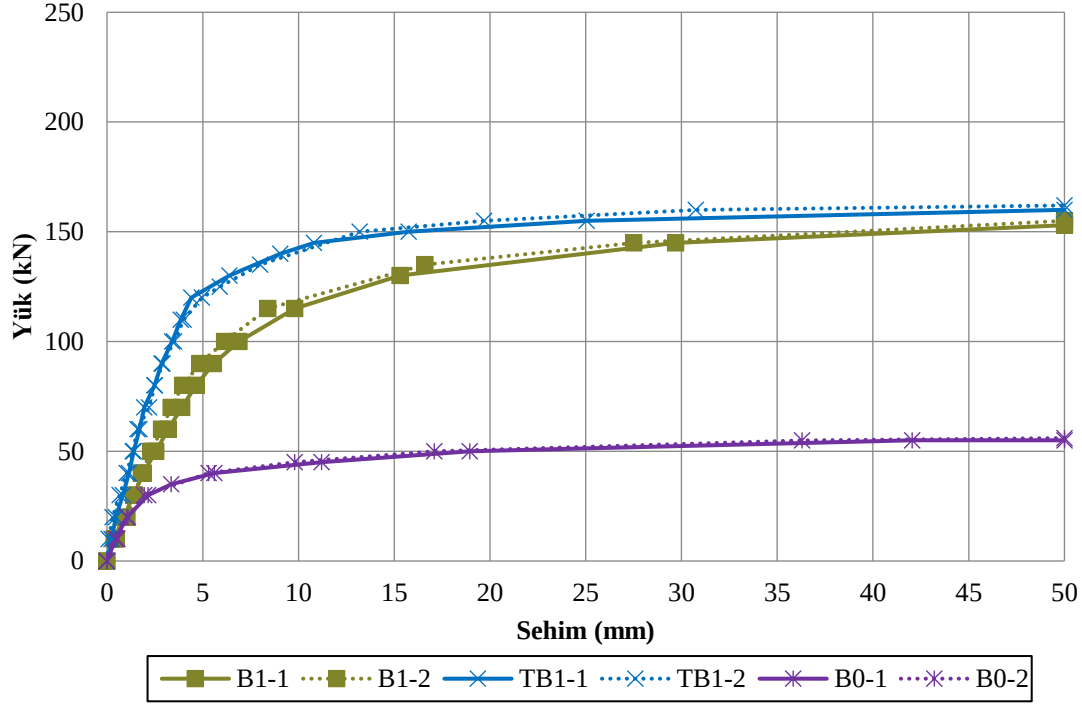


Şekil 3.80. B0-1 ve B0-2 kirişlerinin yük-sehim grafiği

Referans kirişleri olan B0-1 ve B0-2 kirişleri, betonarme hesaba göre 48,35 kN'da akmaya başlaması gerekirken, daha erken yaklaşık 30,00 kN'da akmanın başladığı, sekant rijitliğe göre belirlenen akma yükünün ortalama 43,98 kN'da gerçekleştiği, kiriş ortasındaki sehim 50 mm'ye ulaştığında ise taşıdığı maksimum yükün 55,50 kN olduğu görülmüştür.

3.5.2.2. B1-1 ve B1-2 ile TB1-1 ve TB1-2 Kiriş Numuneleri

Tablalı kirişler TB1-1 ve TB1-2 ile bu kirişlerin eşdeğeri olan benzer donatı oranına sahip B1-1 ve B1-2 tablasız kirişlerin davranışını belirlemek amacıyla, deney esnasında alınan yük ve sehim verileri kullanılarak grafikler çizdirilmiştir. Yapılan tasarıma uygun olarak sünek eğilme davranışı gösteren B1-1 ve B1-2, TB1-1 ve TB1-2 ile referans kirişler olan B0-1 ve B0-2 kirişlerinin, üç noktalı yükleme deneyi sonucu ölçülen yük-sehim grafiği Şekil 3.81'de verilmiştir. Çift donatılı dikdörtgen kesit dikkate alınarak yapılan geleneksel teorik betonarme hesap sonuçlarına göre, B1-1 ve B1-2 kirişlerinin maksimum taşıma gücü momenti 58,34 kN.m ve maksimum yük 129,64 kN; TB1-1 ve TB1-2 kirişlerinin maksimum taşıma gücü momenti 60,55 kN.m ve maksimum yük 134,55 kN olacak şekilde tasarımları yapılmıştır (Çizelge 3.2).



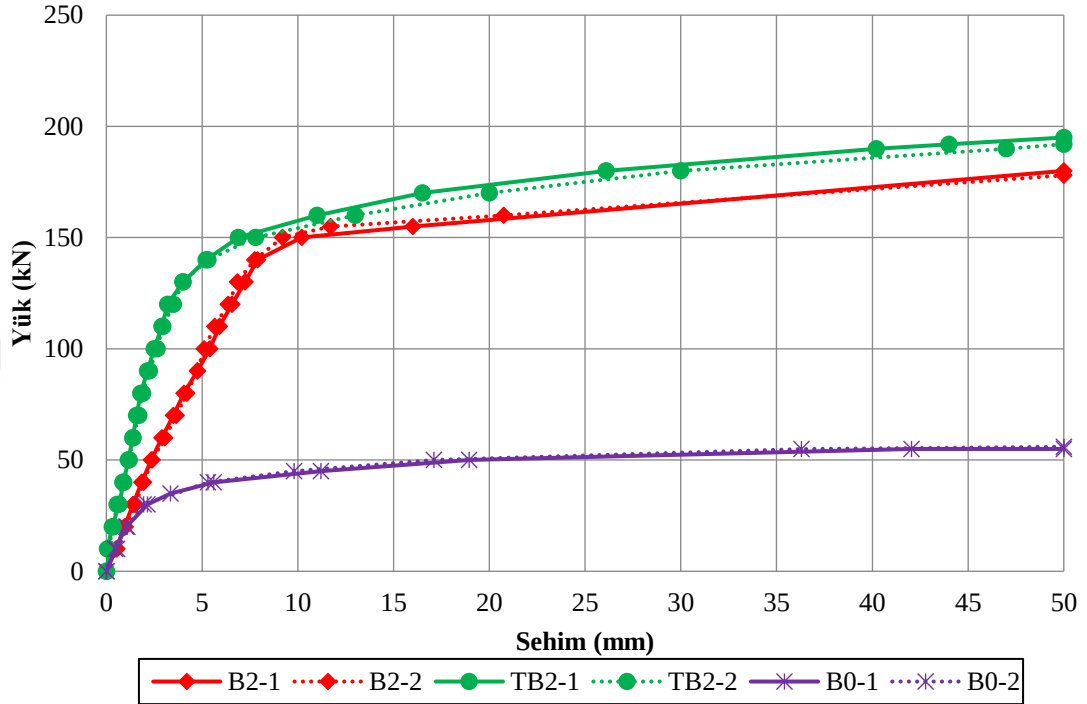
Şekil 3.81. B0-1, B0-2, B1-1, B1-2, TB1-1 ve TB1-2 kirişlerinin yük-sehim grafiği

Tablalı TB1-1 ve TB1-2 kirişleri, betonarme hesaba göre 134,55 kN'da akmaya başlaması gerekirken, daha erken yaklaşık 100,00 kN'da akmanın başladığı, sekant rijitliğe göre belirlenen akma yükünün ortalama 128,74 kN'da gerçekleştiği, kiriş ortasındaki sehim 50 mm'ye ulaştığında ise taşıdığı maksimum yükün 161,00 kN olduğu görülmüştür. Tablalı kiriş TB1-1 ve TB1-2 kirişlerinin eşdeğeri olan benzer donatı oranına sahip B1-1 ve B1-2 tablasız kirişleri, betonarme hesaba göre 129,64 kN'da akmaya başlaması gerekirken, daha erken yaklaşık 70,00 kN'da akmanın başladığı, sekant rijitliğe göre belirlenen akma yükünün ortalama 123,62 kN'da gerçekleştiği, kiriş ortasındaki sehim 50 mm'ye ulaştığında ise taşıdığı maksimum yükün 154,00 kN olduğu görülmüştür.

3.5.2.3. B2-1 ve B2-2 ile TB2-1 ve TB2-2 Kiriş Numuneleri

Tablalı kirişler TB2-1 ve TB2-2 ile bu kirişlerin eşdeğeri olan benzer donatı oranına sahip B2-1 ve B2-2 tablasız kirişlerin davranışını belirlemek amacıyla, deney esnasında alınan yük ve sehim verileri kullanılarak grafikler çizdirilmiştir. Yapılan tasarıma uygun olarak sünek eğilme davranışı gösteren B2-1 ve B2-2, TB2-1 ve TB2-2 ile referans kirişler olan B0-1 ve B0-2 kirişlerinin, üç noktalı yükleme deneyi sonucu ölçülen yük-sehim grafiği Şekil 3.82'de verilmiştir. Çift donatılı dikdörtgen kesit

dikkate alınarak yapılan geleneksel teorik betonarme hesap sonuçlarına göre, B2-1 ve B2-2 kirişlerinin maksimum taşıma gücü momenti 69,79 kN.m ve maksimum yük 155,09 kN; TB2-1 ve TB2-2 kirişlerinin maksimum taşıma gücü momenti 73,33 kN.m ve maksimum yük 162,97 kN olacak şekilde tasarımları yapılmıştır (Çizelge 3.2).



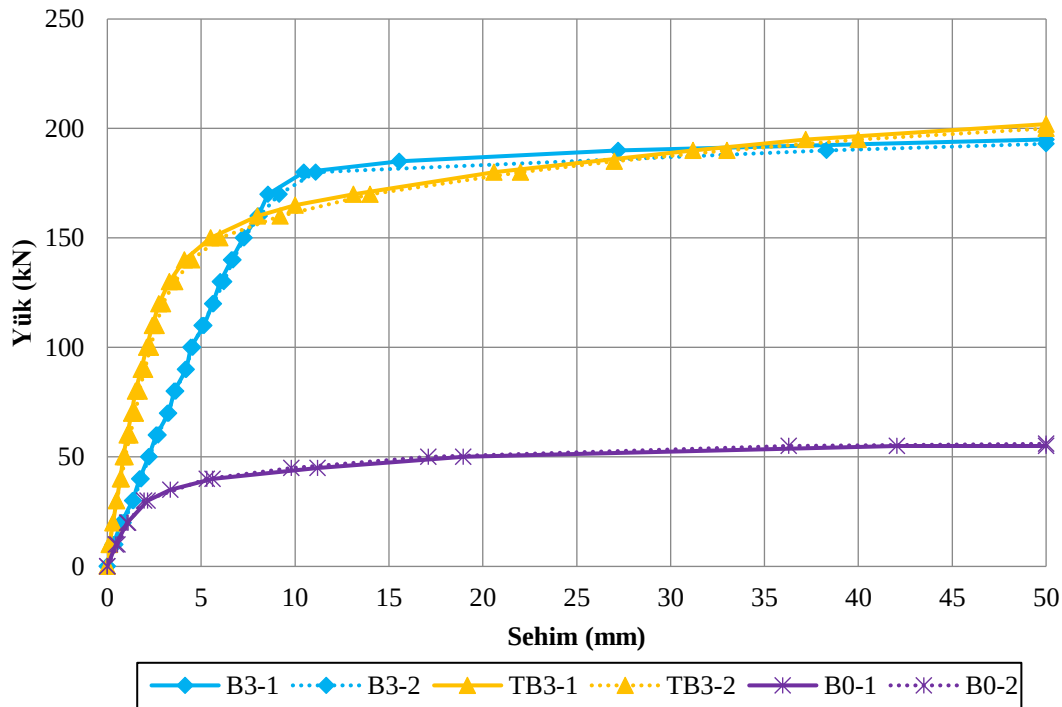
Şekil 3.82. B0-1, B0-2, B2-1, B2-2, TB2-1 ve TB2-2 kirişlerinin yük-sehim grafiği

Tablalı TB2-1 ve TB2-2 kirişleri, betonarme hesaba göre 162,97 kN'da akmaya başlaması gerekirken, daha erken yaklaşık 110,00 kN'da akmanın başladığı, sekant rijitliğe göre belirlenen akma yükünün ortalama 152,35 kN'da gerçekleştiği, kiriş ortasındaki sehım 50 mm'ye ulaştığında ise taşıdığı maksimum yükün 193,50 kN olduğu görülmüştür. Tablalı TB2-1 ve TB2-2 kirişlerin eşdeğeri olan benzer donatı oranına sahip B2-1 ve B2-2 tablasız kirişlerin, betonarme hesaba göre 155,09 kN'da akmaya başlaması gerekirken, daha erken yaklaşık 140,00 kN'da akmanın başladığı, sekant rijitliğe göre belirlenen akma yükünün ortalama 150,21 kN'da gerçekleştiği, kiriş ortasındaki sehım 50 mm'ye ulaştığında ise taşıdığı maksimum yükün 179,00 kN olduğu görülmüştür.

3.5.2.4. B3-1 ve B3-2 ile TB3-1 ve TB3-2 Kiriş Numuneleri

Tablalı kirişler TB3-1 ve TB3-2 ile bu kirişlerin eşdeğeri olan benzer donatı oranına sahip B3-1 ve B3-2 tablasız kirişlerin davranışını belirlemek amacıyla, deney

esnasında alınan yük ve sehim verileri kullanılarak grafikler çizdirilmiştir. Yapılan tasarıma uygun olarak sünek eğilme davranışı gösteren B3-1 ve B3-2, TB3-1 ve TB3-2 ile referans kirişler olan B0-1 ve B0-2 kirişlerinin, üç noktalı yükleme deneyi sonucu ölçülen yük-sehim grafiği Şekil 3.83'te verilmiştir. Çift donatılı dikdörtgen kesit dikkate alınarak yapılan geleneksel teorik betonarme hesap sonuçlarına göre, B3-1 ve B3-2 kirişlerinin maksimum taşıma gücü momenti 82,22 kN.m ve maksimum yük 182,71 kN; TB3-1 ve TB3-2 kirişlerinin maksimum taşıma gücü momenti 87,28 kN.m ve maksimum yük 193,95 kN olacak şekilde tasarımları yapılmıştır (Çizelge 3.2).

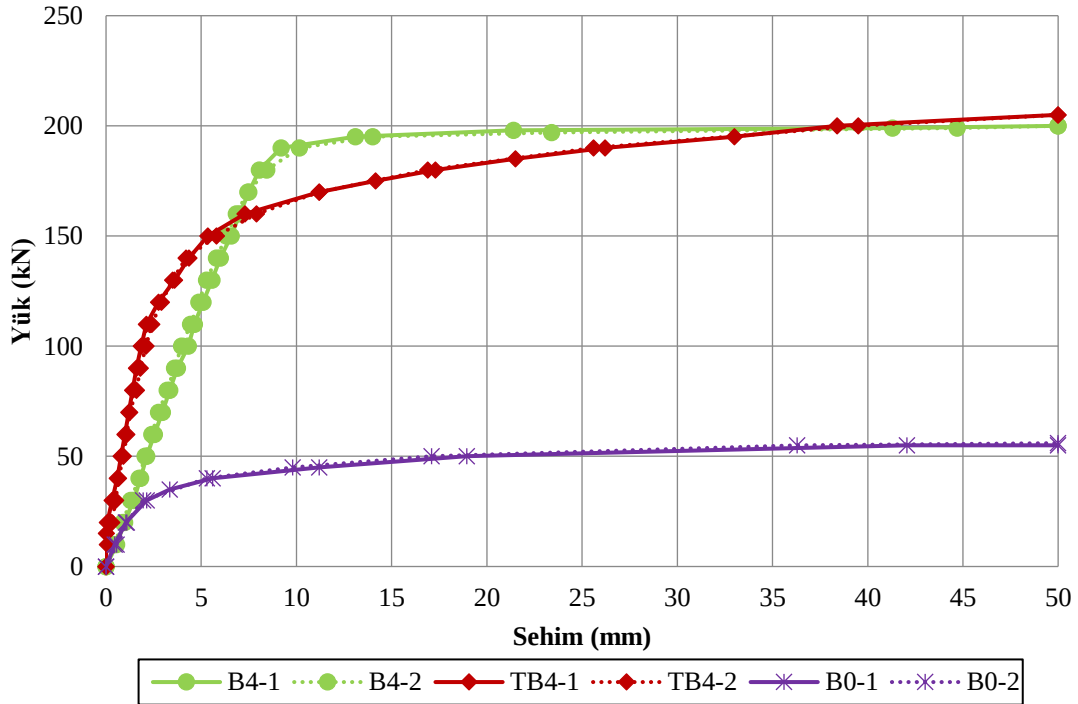


Şekil 3.83. B0-1, B0-2, B3-1, B3-2, TB3-1 ve TB3-2 kirişlerinin yük-sehim grafiği

Tablalı TB3-1 ve TB3-2 kirişleri, betonarme hesaba göre 193,95 kN'da akmaya başlaması gerekirken, daha erken yaklaşık 120,00 kN'da akmanın başladığı, sekant rijitliğe göre belirlenen akma yükünün ortalama 157,79 kN'da gerçekleştiği, kiriş ortasındaki sehim 50 mm'ye ulaştığında ise taşıdığı maksimum yükün 201,00 kN olduğu görülmüştür. Tablalı TB3-1 ve TB3-2 kirişlerinin eşdeğeri olan benzer donatı oranına sahip B3-1 ve B3-2 tablasız kirişlerin, betonarme hesaba göre 182,71 kN'da akmaya başlaması gerekirken, daha erken yaklaşık 150,00 kN'da akmanın başladığı, sekant rijitliğe göre belirlenen akma yükünün ortalama 172,47 kN'da gerçekleştiği, kiriş ortasındaki sehim 50 mm'ye ulaştığında ise taşıdığı maksimum yükün 194,00 kN olduğu görülmüştür.

3.5.2.5. B4-1 ve B4-2 ile TB4-1 ve TB4-2 Kiriş Numuneleri

Tablalı kirişler TB4-1 ve TB4-2 ile bu kirişlerin eşdeğeri olan benzer donatı oranına sahip B4-1 ve B4-2 tablasız kirişlerin davranışını belirlemek amacıyla, deney esnasında alınan yük ve sehim verileri kullanılarak grafikler çizdirilmiştir. Yapılan tasarıma uygun olarak sünek eğilme davranışı gösteren B4-1 ve B4-2, TB4-1 ve TB4-2 ile referans kirişleri olan B0-1 ve B0-2 kirişlerinin, üç noktalı yükleme deneyi sonucu ölçülen yük-sehim grafiği Şekil 3.84'te verilmiştir. Çift donatılı dikdörtgen kesit dikkate alınarak yapılan geleneksel teorik betonarme hesap sonuçlarına göre, B4-1 ve B4-2 kirişlerinin maksimum taşıma gücü momenti 98,28 kN.m ve maksimum yük 218,40 kN; TB4-1 ve TB4-2 kirişlerin maksimum taşıma gücü momenti 99,96 kN.m ve maksimum yük 222,13 kN olacak şekilde tasarımları yapılmıştır (Çizelge 3.2).



Şekil 3.84. B0-1, B0-2, B4-1, B4-2, TB4-1 ve TB4-2 kirişlerinin yük-sehim grafiği

Tablalı TB4-1 ve TB4-2 kirişleri, betonarme hesaba göre 222,13 kN'da akmaya başlaması gerekirken, daha erken yaklaşık 120,00 kN'da akmanın başladığı, sekant rijitliğe göre belirlenen akma yükünün ortalama 162,38 kN'da gerçekleştiği, kiriş ortasındaki sehim 50 mm'ye ulaştığında ise taşıdığı maksimum yükün 205,00 kN olduğu görülmüştür. Tablalı TB4-1 ve TB4-2 kirişlerinin eşdeğeri olan benzer donatı oranına sahip B4-1 ve B4-2 tablasız kirişlerin, betonarme hesaba göre 218,00 kN'da akmaya başlaması gerekirken, daha erken yaklaşık 170,00 kN'da akmanın başladığı,

sekant rijitliğe göre belirlenen akma yükünün ortalama 183,03 kN’da gerçekleştiği, kiriş ortasındaki sehim 50 mm’ye ulaştığında ise taşıdığı maksimum yükün 200,00 kN olduğu görülmüştür.

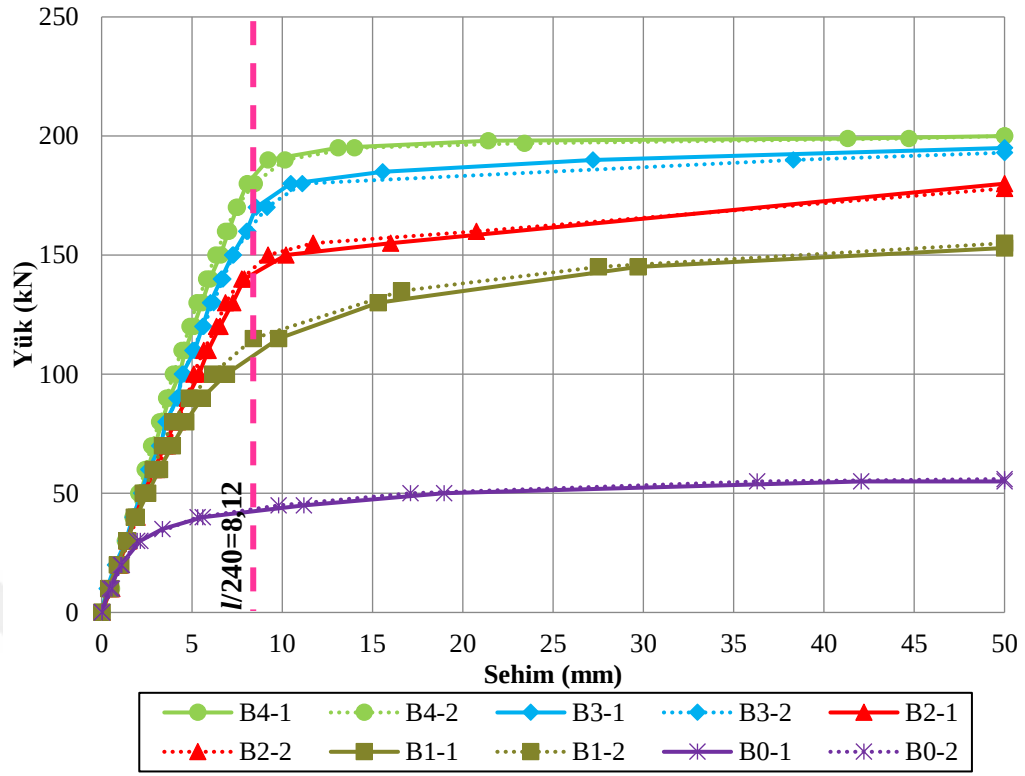
3.5.2.6. Yük-Sehim Grafiklerinin Genel Değerlendirmesi

Kiriş ortasındaki sehim 50 mm’ye ulaştığında, tablalı TB1-1 ve TB1-2, TB2-1 ve TB2-2, TB3-1 ve TB3-2, TB4-1 ve TB4-2 kirişlerinin taşıma kapasitelerinin sırasıyla eşdeğeri olan tablasız B1-1 ve B1-2, B2-1 ve B2-2, B3-1 ve B3-2, B4-1 ve B4-2 kirişlerin taşıma kapasitelerine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Ancak, tablalı TB1-1 ve TB1-2 kirişlerinde döşeme donatısının etriyenin dışında kalması nedeniyle daha düşük bir akma ve taşıma kapasitesi beklenirken, 15 cm genişliğindeki tablasız B1-1 ve B1-2 kirişlerindeki donatı aralıklarının (4Ø12) 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 %43 oranında akma dayanımı kaybına neden olmuştur.

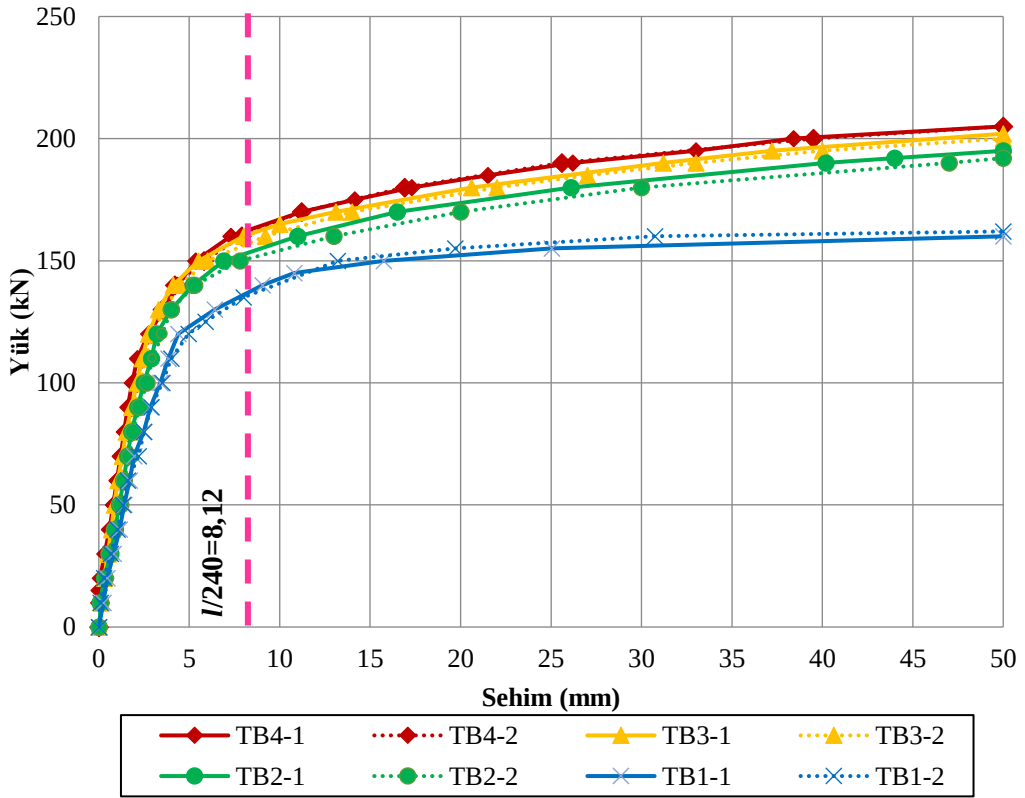
Tablasız kirişlerin ortasından başlayan hızlı aderans kaybının kenarlara doğru devam ettiği ancak, çekme donatılarının germe halatı gibi davranarak, tablalı kirişlerin taşıma kapasitesine yakın bir kapasiteye yükselttiği görülmüştür. Minimum donatı oranına yakın donatılandırılmış B0-1 ve B0-2 referans kirişlerin akma dayanımı, beklenildiği üzere B1-1 ve B1-2, B2-1 ve B2-2, B3-1 ve B3-2, B4-1 ve B4-2 kirişlere kıyasla sırasıyla yaklaşık %43, %21, %20 ve %18 oranlarında, TB1-1 ve TB1-2, TB2-1 ve TB2-2, TB3-1 ve TB3-2, TB4-1 ve TB4-2 kirişlere kıyasla yaklaşık %30, %27, %25 ve %25 oranlarında gerçekleşmiştir.

Tablalı TB2-1 ve TB2-2, TB3-1 ve TB3-2, TB4-1 ve TB4-2 kirişlerinde döşeme donatısının etriyenin dışında kalması ve tabla genişliği arttıkça döşeme donatısının katkısının azalması nedenleriyle, B2-1 ve B2-2, B3-1 ve B3-2, B4-1 ve B4-2 kirişlerinde aderansa dayalı akma dayanımı kaybı olmasına rağmen tablasızlara kıyasla daha düşük bir akma dayanımı gerçekleşmiştir.

Erken aderans kaybı neticesinde, tablalı kirişlere kıyasla tablasız kirişlerde sehimin hızlı bir şekilde arttığı ve çatlakların daha erken ve daha büyük oluşmasına neden olduğu ancak, kiriş ortasındaki sehim 50 mm’ye ulaşıldığında taşıma kapasitesine olan negatif etkisinin ise beklenenden az olduğu görülmüştür.



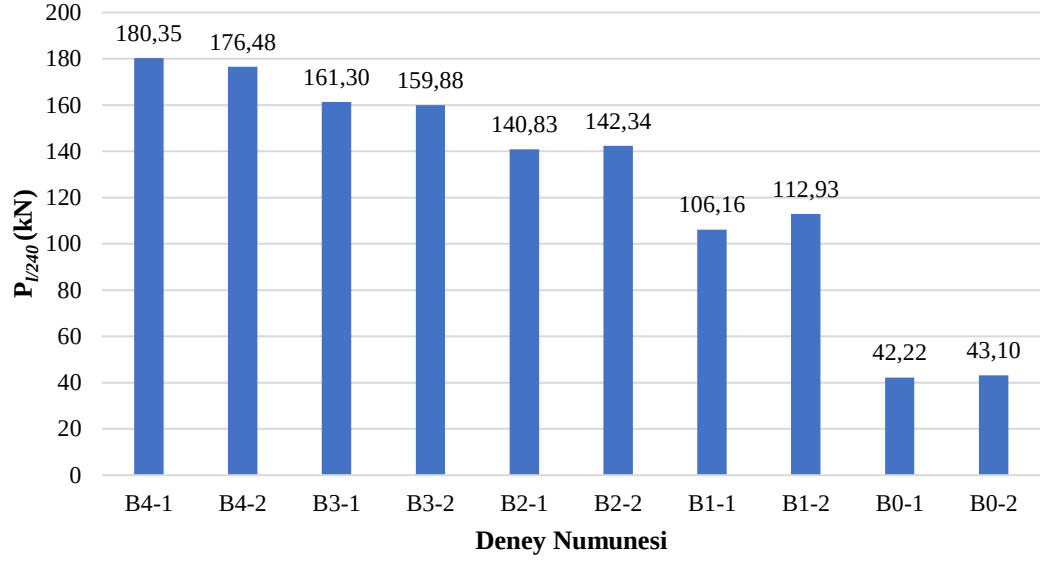
Şekil 3.85. 1/2 ölçekli tablasız ve referans kirişlerin yük-sehim grafiği



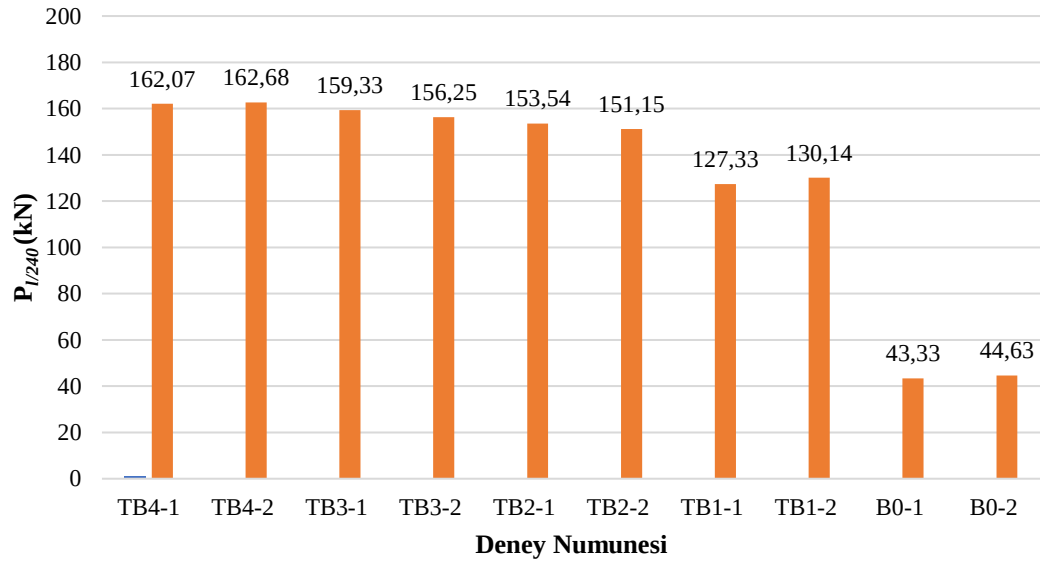
Şekil 3.86. 1/2 ölçekli tablalı kirişlerin yük-sehim grafiği

Kiriş ortasındaki sehim 50 mm'ye ulaşıldığında, tablalı kirişlerde tabla genişliği arttıkça döşeme donatısının katkısının azaldığı da göz önünde bulundurularak tablasız kirişlerin donatı aralıklarının çok düşük olmasından kaynaklı aderans kaybından dolayı taşıma kapasitesi kaybının tablalı TB1-1 ve TB1-2 kirişlerine kıyasla tablasız B1-1 ve B1-2 kirişleri için yaklaşık %4'lük bir oranla 7,00 kN (161,00-154,00 kN); tablalı TB2-1 ve TB2-2 kirişlerine kıyasla tablasız B2-1 ve B2-2 kirişleri için yaklaşık %7,5'luk bir oranla 14,50 kN (193,50-179,00 kN); tablalı TB3-1 ve TB3-2 kirişlerine kıyasla tablasız B3-1 ve B3-2 kirişleri için yaklaşık %3,5'luk bir oranla 7,00 kN (201,00-194,00 kN); tablalı TB4-1 ve TB4-2 kirişlerine kıyasla tablasız B4-1 ve B4-2 kirişleri için yaklaşık %2,5'luk bir oranla 5,00 kN (205,00-200,00 kN) olduğu görülmüştür (Şekil 3.85; Şekil 3.86).

Kirişlerin denge altı sünek davranışını gözlemlemek amacıyla, TS 500 (2000)'de bölme duvarlı çatı ve normal kat elemanları için belirtilen, kiriş serbest açıklığının 240'a bölünmesiyle ($l/240$) elde edilen kiriş ortasındaki kullanılabilirlik sehim limitine (8,12 mm) ulaşıldığında, tablalı TB1-1 ve TB1-2 kirişlerinde tabla genişliği arttıkça döşeme donatısının katkısının azaldığı da göz önünde bulundurularak, eşdeğeri tablasız B1-1 ve B1-2 kirişlerinin donatı aralıklarının çok düşük olmasından kaynaklı aderans kaybından dolayı taşıma kapasitesi kaybının yaklaşık %15'lik bir oranla 19,19 kN (128,74-109,55 kN) olduğu görülmüştür. Tablalı TB2-1 ve TB2-2 kirişlerinde tabla genişliği arttıkça döşeme donatısının katkısının azaldığı da göz önünde bulundurularak, eşdeğeri tablasız B2-1 ve B2-2 kirişlerinin donatı aralıklarının çok düşük olmasından kaynaklı aderans kaybından dolayı taşıma kapasitesi kaybının yaklaşık %7'lik bir oranla 10,76 kN (152,35-141,59 kN) olduğu görülmüştür. Tablalı TB3-1 ve TB3-2 ile TB4-1 ve TB4-2 kirişlerinde tabla genişliği arttıkça döşeme donatısının katkısı azaldığından tablalı kirişlerin taşıma kapasitelerindeki azalmanın tablasız B3-1 ve B3-2 ile B4-1 ve B4-2 kirişlerinin donatı aralıklarının çok düşük olmasından kaynaklı aderans kaybından çok daha etkili olduğu görülmüştür (Şekil 3.87; Şekil 3.88).



Şekil 3.87. 1/2 ölçekli tablasız ve referans kirişlerin $l/240$ ($=8,12$ mm) sehim kontrol sınırında belirlenen yükleri



Şekil 3.88. 1/2 ölçekli tablalı ve referans kirişlerin $l/240$ ($=8,12$ mm) sehim kontrol sınırında belirlenen yükleri

3.6. TS-500'e Göre Belirlenen Etkili Tabla Genişliğindeki Döşeme Donatısının Kirişlerin Eğilme Momentine Katkısının Belirlenmesi

1/1 geometrik ölçekli kiriş deneylerinde, kiriş ortasındaki sehim $l/240$ ($=11,60$ mm) sehim kontrol limitine ulaşıldığında, 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 kirişe katkısının yaklaşık 119,80 kN (207,00-87,20 kN) olduğu görülmüştür (Şekil 3.74). Aderans kaybı dikkate alınmaksızın, etkili tabla genişliği içerisine yerleştirilecek 10Ø8 donatının kirişe %57,87 oranında katkı vererek, kirişin 326,80 kN yüke ulaşacağı hesaplanmıştır (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Kiriş ortasındaki $l/240$ limit sehim için donatı oranlarına bağlı tablalı kiriş yükü (1/1 ölçekli deney)

Donatı Oranı		Tablasız Kiriş Yükü (kN)	Tablalı Kiriş Yükü (kN)	Tablanın Katkısı (%)
ρ_{min}	0,0024	87,00	206,80	137,70
ρ_s (3Ø12)	0,0032	87,20*	207,00	137,39
$\rho_{(3Ø12+10Ø8)}$	0,0080	207,00*	326,80	57,87
$\rho_{max}=0,85\rho_b$	0,0123	433,50	553,30	27,64

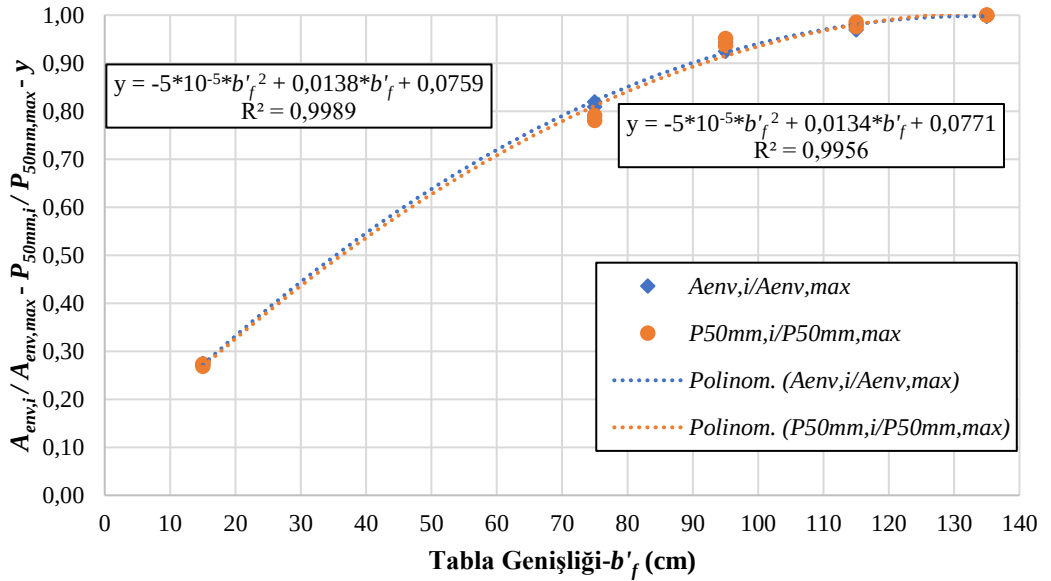
*Deneyle elde edilen kiriş yüküdür.

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, 10Ø8 donatılı tablanın eklenmesi ile yaklaşık 1,50 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, 10Ø8 donatılı tablanın eklenmesi ile yaklaşık %27,64 oranında bir artışla 553,30 kN bir yükü taşıyabileceği görülmektedir.

Kirişin ortasındaki sehim $l/240$ limitine ulaşıldığında, zayıf donatılı bir kirişin taşıma kapasitesine döşeme 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, döşeme donatısının en az katkı vereceği, en güçlü donatılı kirişlerde dahi aderans kaybı da dikkate alındığında döşeme donatısı katkı oranının (%27,64-20,00) %7'nin üzerinde olabileceği görülmüştür. Sonuç olarak, bu bulgular dikkate alındığında, analizlerde etkili tabla genişliği içerisindeki döşeme donatısının ihmal ediliyor olması, uygulamada kuvvetli kolon-zayıf kiriş şartının ihlal edildiğini göstermektedir.

3.7. Negatif Eğilmede Toplam Etkili Tabla Genişliğinin ve Döşeme Donatısının Katkı Oranının Belirlenmesi

1/2 geometrik ölçekli kiriş deneylerinde, tablalı ve referans kirişlerin her birinin 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitelerinin, maksimum 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesine oranının grafiği ile tablalı ve referans kirişlerin her birinin 50 mm sehimde gerçekleşen yük kapasitelerinin, maksimum 50 mm sehimde gerçekleşen yük kapasitesine oranının tabla genişliğine bağlı grafiği Şekil 3.89’da gösterilmiştir. Toplam etkili tabla genişliğini hesaplayabilmek için, B0-1 ve B0-2 kirişlerinde tabla genişliği 15 cm olarak dikkate alınmıştır. Diğer tablalı kirişlerde ise, döşeme donatısının her iki tarafında yer alan paspayı mesafeleri (toplamda 10 cm) çıkartılmış, tabla genişlikleri TB1-1 ve TB1-2 için $b_f=85$ cm yerine $b'_f=75$ cm, TB2-1 ve TB2-2 için 105 cm yerine 95 cm, TB3-1 ve TB3-2 için 125 cm yerine 115 cm, TB4-1 ve TB4-2 için 145 cm yerine 135 cm olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 3.89. b'_f 'ye bağlı olarak 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi ile yük taşıma kapasitelerinin maksimum değerlerine oranları

Şekil 3.90'dan faydalanılarak, 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesinin, maksimum 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesine oranının (y), paspayı mesafesi çıkartılmış tabla genişliklerine (b'_f) göre $R^2=0,9989$ regresyonla veren ikinci dereceden polinomsal bağıntısı Denklem 3.15'te verilmiştir.

$$y = -5 * 10^{-5} * b'^2_f + 0,0138 * b'_f + 0,0771 \quad 3.15$$

Şekil 3.90'dan faydalanılarak, 50 mm sehimde gerçekleşen yük taşıma kapasitesinin, maksimum 50 mm sehimde gerçekleşen yük taşıma kapasitesine oranının (y), paspayı mesafesi çıkartılmış tabla genişliklerine (b'_f) göre $R^2=0,9956$ regresyonla veren ikinci dereceden polinomsal bağıntısı Denklem 3.16'da verilmiştir.

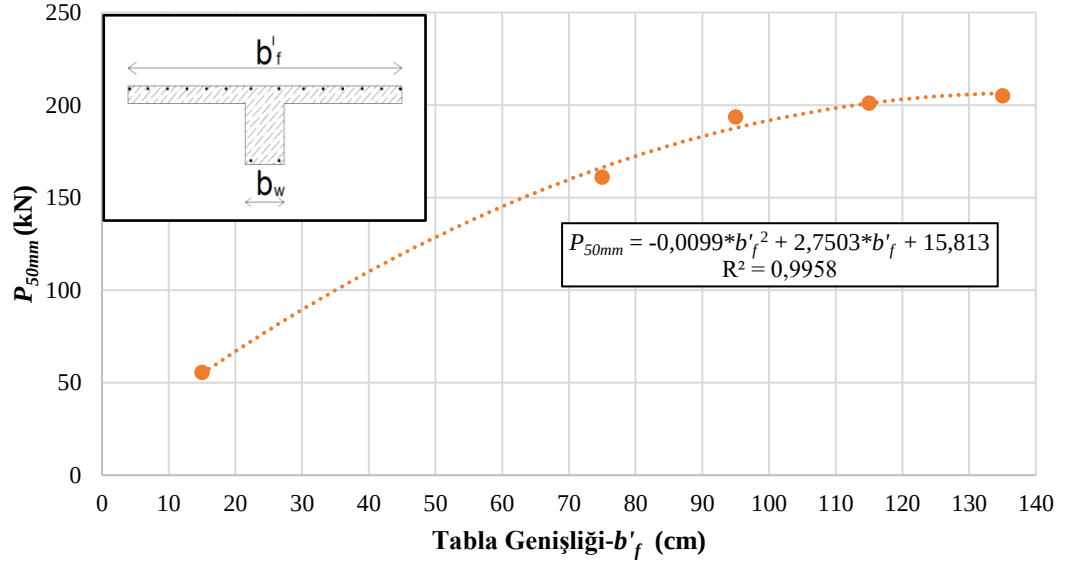
$$y = -5 * 10^{-5} * b'_f{}^2 + 0,0134 * b'_f + 0,0759 \quad 3.16$$

Şekil 3.89'dan faydalanılarak hazırlanan Denklem 3.15 ve Denklem 3.16'da görüldüğü üzere, paspayı mesafesi çıkartılmış tabla genişliğine bağlı olarak 50 mm sehimde gerçekleşen enerji tüketme kapasitesinin maksimumlarına oranları ile yük taşıma kapasitelerinin maksimumlarına oranları arasında belirgin bir farkın olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, negatif eğilme etkisi altında etkili olan toplam tabla genişliğini belirlemek için 50 mm sehimde gerçekleşen yük kapasiteleri üzerinden hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 3.7. Tablalı, tablasız ve referans kirişlerin paspayı çıkartılmış tabla genişlikleri ve 50 mm sehimde gerçekleşen ortalama yük kapasiteleri

Tabla Genişliği, b'_f (cm)	Numune Adı	$P_{50mm,i}$ (kN)	$P_{50mm,ort}$ (kN)	Numune Adı	$P_{50mm,i}$ (kN)	$P_{50mm,ort}$ (kN)
135	TB4-1	205,00	205,00	B4-1	200,00	200,00
135	TB4-2	205,00		B4-2	200,00	
115	TB3-1	202,00	201,00	B3-1	195,00	194,00
115	TB3-2	200,00		B3-2	193,00	
95	TB2-1	195,00	193,50	B2-1	180,00	179,00
95	TB2-2	192,00		B2-2	178,00	
75	TB1-1	160,00	161,00	B1-1	153,00	154,00
75	TB1-2	162,00		B1-2	155,00	
15	B0-1	55,00	55,50	B0-1	55,00	55,50
15	B0-2	56,00		B0-2	56,00	

Tablalı, tablasız ve referans kirişlerin paspayı çıkartılmış tabla genişlikleri (b'_f) ve 50 mm sehimde gerçekleşen ortalama yük kapasiteleri Çizelge 3.7.'de verilmiş olup bu bilgilerden faydalanılarak, tablalı ve referans kirişlerin her birinin 50 mm sehimde gerçekleşen ortalama yük taşıma kapasitelerinin tabla genişliğine bağlı grafiği Şekil 3.90'da gösterilmiştir.



şekil 3.90. 1/2 ölçekli tablalı ve referans kirişlerin b'_f 'ye bağlı olarak 50 mm sehimde gerçekteşen yük taşıma kapasiteleri

şekil 3.90'dan faydalanılarak, 50 mm sehimde gerçekteşen yük taşıma kapasitesinin (P_{50mm}), paspayı mesafesi çıkartılmış tabla genişliklerine (b'_f) göre $R^2=0,9958$ regresyonla veren ikinci dereceden polinomsal bağıntısı Denklem 3.17'de verilmiştir.

$$P_{50mm} = -0,0099 * b'^2_f + 2,7503 * b'_f + 15,813 \quad 3.17$$

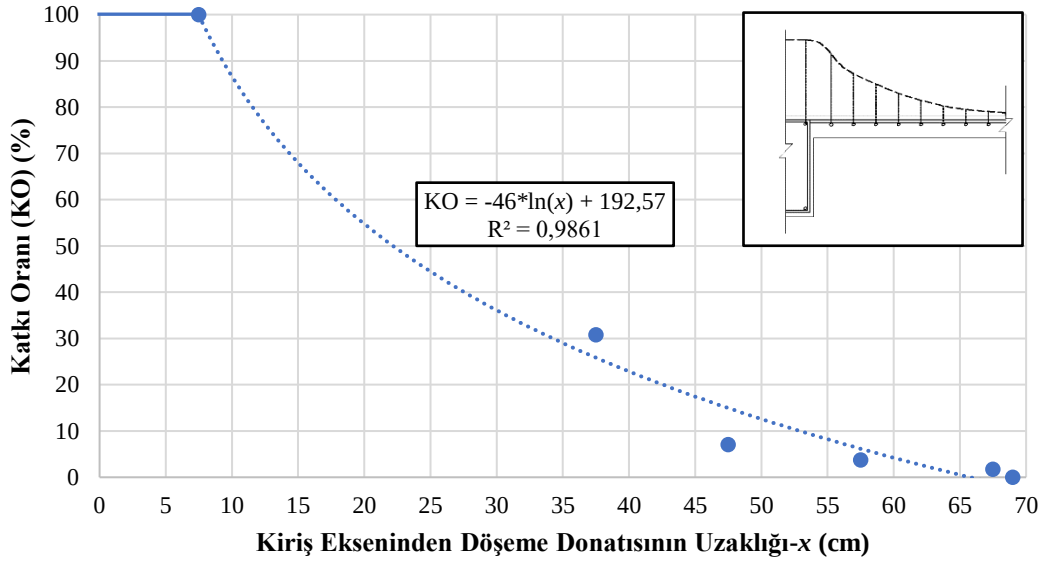
Negatif eğilme momenti etkisi altındaki döşeme donatılarının etkili olduğu maksimum tabla genişliğini belirlemek amacıyla, Denklem 3.17'de verilen ikinci dereceden polinomsal bağıntının türevi alınarak ve sıfıra eşitlenerek grafiğin tepe noktası yaklaşık 138,90 cm olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, deney sonuçlarından faydalanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda, negatif eğilme momenti etkisi altındaki döşeme donatılarının etkili olduğu maksimum tabla genişliği 1/2 ölçekte yaklaşık 138 cm olarak bulunmuştur.

Döşeme donatısının kiriş ekseninden uzaklığına bağlı katkı oranını belirlemek için döşeme donatılarının etkili olduğu maksimum tabla genişliği olan 138 cm için Denklem 3.17'de verilen bağıntı kullanılarak 50 mm sehimde gerçekteşen yük taşıma kapasitesi bulunmuştur. Referans B0-1 ve B0-2 kirişleri ve diğer tabla genişlikleri için deney sonucunda elde edilen 50 mm sehimde gerçekteşen yük taşıma kapasiteleri dikkate alınmıştır. Çizelge 3.8'de döşeme donatısının kiriş ekseninden uzaklığına bağlı katkı oranı ve bu oranın belirlenmesinde kullanılan parametreler verilmiştir.

Çizelge 3.8. Döşeme donatısının kiriş ekseninden uzaklığına bağlı katkı oranının belirlenmesi

Paspayı mesafesi çıkartılmış tabla genişliği, b' (cm)	Kirişin Denklem 3.17' ye göre taşıdığı yük (kN)	Toplam tablanın taşıdığı yük (kN)	Kiriş ekseninden en sondaki döşeme donatısı uzaklığı (cm)	Tek taraflı tablanın taşıdığı yük (kN)	Tek taraflı tablanın bir önceki tabla genişliğine göre taşıdığı yük (kN)	Tek taraflı tablanın bir önceki tabla genişliğine göre taşıdığı yükün yüzdesi (%)	Kiriş ekseninden uzaklığına bağlı döşeme donatısının katkı oranı
138	206,82	151,32	69,00	75,66	0,00	0,00	0,00
135	205,00	149,50	67,50	74,75	0,91	1,20	0,02
115	201,00	145,50	57,50	72,75	2,00	2,64	0,04
95	193,50	138,00	47,50	69,00	3,75	4,96	0,07
75	161,00	105,50	37,50	52,75	16,25	21,48	0,31
15(Göv.)	55,50	0,00	7,50	0,00	52,75	69,72	1,00

Yapılan deneylerdeki tabla genişliklerinden faydalanılarak döşeme donatısının kiriş ekseninden uzaklığına bağlı yüzdelik katkı oranının grafiksel gösterimi Şekil 3.91'de verilmiştir.



Şekil 3.91. Döşeme donatısının kiriş ekseninden uzaklığına bağlı yüzdesel katkı oranı

1/2 geometrik ölçekli deney sonuçlarında, etkili tabla genişliği içerisindeki döşeme donatısının kiriş ekseninden uzaklığına (x) bağlı olarak yüzdelik katkı oranını (KO) $R^2=0,9861$ regresyonla veren bağıntı Şekil 3.91'de verilen grafikten faydalanılarak Denklem 3.18'de verilmiştir.

$$KO = -46 \ln(x) + 192,57 \quad 3.18$$

Gerçek boyutlu simetrik tablalı kirişlerde, Denklem 3.18’de verilen bağıntıdan faydalanılarak, mesnet bölgesinde toplam etkili tabla genişliği içerisinde çekme bölgesi donatı alanını ($A_{s,eff}$) veren bağıntının Denklem 3.19’da, benzer şekilde asimetrik tablalı kirişin toplam etkili tabla genişliği içerisinde kirişin çekme bölgesi donatı alanını ($A_{s,eff}$) veren bağıntının Denklem 3.20’deki gibi olacağı görülmüştür.

$$A_{s,eff} = A_s + 2 \sum A_{s,i} (-0,46 \ln(x_i + 15) + 1,9257) \quad 3.19$$

$$A_{s,eff} = A_s + \sum A_{s,i} (-0,46 \ln(x_i + 15) + 1,9257) \quad 3.20$$

Denklem 3.19 ve Denklem 3.20’de yer alan; A_s kiriş gövde kesiti içerisinde çekme bölgesinde yer alan donatı alanını, x_i kiriş gövde yüzeyinden i. döşeme donatısının cm olarak uzaklığı, $A_{s,i}$ ise kiriş gövde yüzeyinden x cm uzaklıktaki i. döşeme donatısının alanını ifade etmektedir.

Ayrıca, hesaplamalarda kolaylık oluşturmak amacıyla gerçek boyutlu kirişlerde, kiriş gövde yüzeyinden döşeme donatısının her 10 cm uzaklığına bağlı olarak kirişe yüzdesel katkısı Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Kiriş gövde yüzeyinden döşeme donatısının her 10 cm uzaklığına bağlı yüzdesel katkısı

1/2 Ölçekte Kiriş Gövde Yüzeyinden Döşeme Donatısının Uzaklığı (cm)	Gerçek Boyutta Kiriş Gövde Yüzeyinden Döşeme Donatısının Uzaklığı (cm)	Döşeme Donatısının Kirişe Katkısı (%)
0 (Kiriş içi)	0 (Kiriş içi)	100
5	10	76
10	20	61
15	30	49
20	40	40
25	50	32
30	60	26
35	70	20
40	80	15
45	90	10
50	100	6
55	110	2
60	120	0

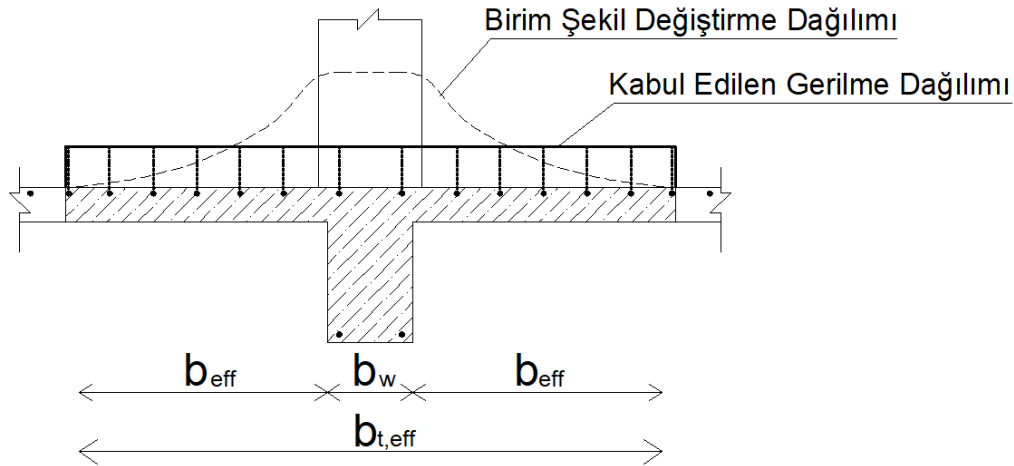
Kiriş gövde yüzeyinden uzaklaştıkça Şekil 3.91'deki grafikte de görüldüğü üzere döşeme donatısının katkısının parabolik şekilde azaldığı, 10 cm uzaklıktaki döşeme donatısının katkısı %76'larda, 100 cm uzaklıktaki döşeme donatısının kirişe katkısı %6 iken 120 cm ve daha fazla uzaklıktaki döşeme donatılarının katkısının olmadığı görülmüştür.

Çizelge 3.9'da görüldüğü üzere, negatif eğilme momenti etkisindeki mesnet bölgelerinde yer alan gerçek boyutlu kirişlerde, kirişe paralel döşeme donatılarının etkili olduğu tabla genişliğinin 120 cm, diğer bir deyişle kiriş yüksekliğinin 2 katı ($b_{eff}=2h$) olduğu belirlenmiştir.

Gerçek boyutlu kirişlerde, negatif eğilme bölgesindeki tablalı kirişlerin Şekil 3.92'de gösterilen toplam etkili tabla genişliğini ($b_{t,eff}$) veren bağıntının Denklem 3.21'deki gibi olacağı görülmüştür.

$$b_{t,eff} = b_w + n_t * 2h \quad 3.21$$

Denklem 3.21'de yer alan; $b_{t,eff}$ negatif eğilme bölgesindeki cm cinsinden toplam etkili tabla genişliğini, b_w cm cinsinden kiriş gövde genişliğini, h cm cinsinden kiriş yüksekliğini, n_t ise tablanın simetrik olup olmadığına bağlı katsayıyı ifade etmektedir. Bu katsayı, asimetrik tablalı kirişlerde 1, simetrik tablalı kirişlerde ise 2 alınmaktadır.



Şekil 3.92. Etkili (b_{eff}) ve toplam etkili tabla ($b_{t,eff}$) ile gerilme dağılımları

Ersoy vd. (2019), basit mesnetli, kesme donatısı bulunmayan kirişlerin kesme etkisindeki davranışını, mesnet orta bölgesine simetrik yerleştirilen iki tekil yük altında incelemiş olup 3~7 arasında olduğu durumlarda, literatürde gerçek eğik çekme kırılması olarak adlandırılan Şekil 2.9'da görülen kırılmanın gerçekleşeceğini

belirlemiştir. Denklem 3.21’de verilen eşitliğin kullanılabilmesi için kirişin kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranının (a/d) 3’ten büyük olması (kirişlerde kesme ve kemerlenme davranışı oluşmaması) gerekmektedir. Ayrıca, kirişin bir tarafındaki gövde dışına taşan tabla genişliği, paralel kirişler arasındaki net uzaklığın yarısından $(a_n/2)$ fazla olmaması gerekmektedir.

Hesaplamaları kolaylaştırmak adına, Çizelge 3.9’dan faydalanılarak, kiriş gövde yüzeyinden 10’ar cm eşit aralıklarla yerleştirilen ve çalışma sonucu belirlenen etkili tabla genişliği (simetriklerde $2b_{eff}=4h$, asimetriklerde $b_{eff}=2h$) içerisinde yer alan ve kiriş etriyesi içerisinde gibi kirişin taşıma kapasitesine katkı veren döşeme donatılarının eşdeğerlik oranı yaklaşık %35 (Şekil 3.91’deki eğrinin 10’ar cm eşit aralıklarla 7 noktadaki değerleri toplanıp 7’ye bölünerek $(=2,48/7)$ bulunmuştur) olarak belirlenmiştir. Kirişten uzaklaştıkça donatılardaki gerilme dağılımının azalan bir trendle parabolik olarak azaldığı görüldüğünden, etkili tabla genişliğinin %10 azaltılması halinde donatıların katkı oranının %10’dan daha fazla olacağı görülmektedir (Şekil 3.92).

Etkili tabla genişliği içerisindeki döşeme donatılarının oranı (ρ_f) , çalışma sonucu belirlenen etkili tabla genişliği içerisinde yer alan kirişe paralel döşeme donatılarının alanı $(A_{s,f})$, kiriş gövde genişliği (b_w) ve kiriş faydalı yüksekliğine bağlı olarak (d) Denklem 3.22’de verilmiştir.

$$\rho_f = \frac{A_{s,f}}{b_w d} \quad 3.22$$

Ayrıca, kirişlerde donatının denge üstü kullanılmasına dayalı gevrek göçmenin önlenmesi adına, negatif eğilme etkisinde kiriş gövdesinde etriye içerisine yerleştirilecek çekme donatısı oranının (ρ_0) , TS 500 (2000)’e göre belirlenen çekme donatısı oranı (ρ_s) ile çalışma sonucu belirlenen etkili tabla genişliği içerisindeki döşeme donatılarının oranını (ρ_f) dikkate alan Denklem 3.23’ün kullanılması daha sağlıklı olacaktır.

$$\rho_0 = \rho_s - 0,35 \rho_f \quad 3.23$$

Bununla beraber, sünek kırılmanın gerçekleşebilmesi için TS 500 (2000)’den faydalanılarak, kirişlerdeki etriye içerisine yerleştirilecek çekme donatı oranı (ρ_0) ile çalışma sonucu belirlenen etkili tabla genişliği içerisindeki döşeme donatıları oranının

(ρ_f) %35'inin toplamından, basınç donatı oranı farkının (ρ'_s) alınmasıyla elde edilen donatı oranının, dengeli donatı oranının (ρ_b) 0,85 katından fazla olmaması gerektiği Denklem 3.24'te elde edilen bağıntıdan söylenebilir.

$$(\rho_0 + 0,35 \rho_f - \rho'_s) \leq 0,85 \rho_b \quad 3.24$$

Ayrıca, kirişlerde etriye içerisine yerleştirilecek çekme donatı oranı (ρ_0) ile çalışma sonucu belirlenen etkili tabla genişliği içerisindeki döşeme donatıları oranının (ρ_f) %35'inin toplamının Denklem 3.25'te verilen sınır şartı da sağlaması gerektiği düşünülmektedir.

$$(\rho_0 + 0,35 \rho_f) \leq \rho_{max} = 0,02 \quad 3.25$$



4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Bu çalışmanın birinci aşamasında tabla kalınlığı 10 cm, genişliği 125 cm olan 25x45 cm boyutunda 1/1 geometrik ölçekli, biri tablalı, ikisi tablasız olmak üzere toplam 3 adet betonarme kirişte statik üç noktalı eğilme deneyleri yapılarak, negatif eğilme momenti etkisi altında kiriş mesnet bölgesinde, TS 500 (2000)'e göre açıklıklarda basınca çalışan betonun katkısını belirlemek için kullanılan etkili tabla genişliği (b) içerisinde yer alan kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının kirişin yük taşıma kapasitesine katkısı özgün deney numuneleri ve deney düzeneği ile deneysel olarak araştırılmıştır. Bu çalışmanın ikinci aşamasında ise, boyutları 15x30 cm, tabla kalınlığı 10 cm, beton sınıfı, kiriş boyuna ve enine donatısı, mesnetlenmeler ve yükleme durumu sabit tutulurken, değişken olarak seçilen toplam tabla genişliği ve tabla donatısı 85 (2x3Ø8), 105 (2x4Ø8), 125 (2x5Ø8) ve 145 (2x6Ø8) cm olan tablalı kirişlerden 2'şer adet olmak üzere 8 adet ve bu tablalı kirişler ile benzer donatı oranına sahip tablasız kirişlerden 2'şer adet olmak üzere 8 adet ve ayrıca referans olarak 2 adet tablasız kiriş olmak üzere toplamda 1/2 geometrik ölçekli 18 adet betonarme kiriş imal edilmiştir. Statik üç noktalı eğilme deneyleri yapılarak, negatif eğilme momenti etkisi altında kiriş mesnet bölgesinde bulunan çekme donatılarına, tabla betonu içerisinde yer alan kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının kirişten uzaklığına bağlı olarak kirişin eğilme momentine katkısı, toplam etkili tabla genişliğinin ($b_{t,eff}$) belirlenmesi ve bu genişlik içerisinde yer alan ve kirişe katkı veren donatıların % olarak eşdeğerlik oranı deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde varılan sonuçlar maddeler halinde özetlenmiştir.

Çatlak gelişimi incelendiğinde;

- 1/1 ve 1/2 geometrik ölçekli kiriş eğilme deneylerinde, kirişin sol kenarındaki sabit mesnet ile sağ kenarındaki ve maksimum yük altındaki kayıcı mesnetlerin beklenen düzeyde performans gösterdiği ve üç nokta yüklemeli, tek açıklıklı basit kiriş davranışı sergilediği görülmüştür.

- İlk çatlaklar, kiriş ortasından alttan yukarı doğru düşey eğilme çatlağı şeklinde başlamıştır. Çatlak gelişimi, yükün artmasına bağlı olarak, oluşan ilk eğilme çatlaklarından sonra mesnetlere doğru sıralı ikincil eğik kesmeli-çekme çatlakları şeklinde devam etmiştir. Deneyin ilerleyen sürecinde, oluşan bu çatlakların sayısı, boyu ve genişliği artmıştır.
- Kirişlerin denge altı sünek davranışını gözlemlemek amacıyla, TS 500 (2000)'de normal kat elemanları için belirtilen, kiriş serbest açıklığının 240'a bölünmesiyle elde edilen kiriş ortasındaki kullanılabilirlik sehimi limitlerinin üzerine çıkılarak, kiriş ortasındaki sehimi 1/1 geometrik ölçekli kirişlerde 100 mm'ye, 1/2 geometrik ölçekli kirişlerde ise 50 mm'ye ulaşmaya kadar yüklemelere devam edilmiştir. Yük tamamen kaldırıldığında da kalıcı çatlakların ve sehimlerin olduğu görülmüştür.
- Beklenildiği üzere, betonun basınç mukavemeti yeterli olduğundan basınç bölgesinde betonda ezilmenin olmadığı görülmüştür. Ayrıca, kirişin toplam uzunluğu, etriyelerin de kesme kuvvetini karşılayacağı göz önünde bulundurularak, kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı (a/d) yaklaşık 3 olacak şekilde tasarlandığı için kemerlenme davranışı görülmemiş ve eğik çekme kırılması gerçekleşmiştir.

Rijitlik ve süneklik değerleri incelendiğinde;

- 1/1 deney sonuçlarında elde edilen veriler doğrultusunda, tablalı TK1 kirişinin, tabla genişliğinin ve döşeme donatısının artmasına bağlı olarak referans kiriş olan K3 kirişine göre daha rijit bir davranış gösterdiği belirlenmiştir. TK1 kirişinin eşdeğeri olan aynı donatı oranına sahip tablasız K2 kirişinin ise referans kirişe göre kesiti aynı kalmasına rağmen donatı oranındaki artıştan dolayı referans kirişe göre daha rijit bir davranış gösterdiği görülmüştür. Fakat, tablasız döşeme donatılı K2 kirişi, çekme bölgesinde yer alan donatı aralığının TS 500 (2000)'e göre (donatı çapından, $4/3 D_{max}$ ve 20 mm'den az olamaz) az olmasına bağlı olarak aderanstaki azalmadan kaynaklı, eşdeğeri olan tablalı TK1 kirişine göre daha az rijit bir davranış göstermiştir.
- 1/2 deney sonuçlarında elde edilen veriler doğrultusunda, tablalı kirişlerin, tabla genişliğinin ve döşeme donatısının artmasına bağlı olarak referans dikdörtgen kesitli kirişlere göre daha rijit bir davranış gösterdiği belirlenmiştir. Tablalı kirişlerin eşdeğeri olan benzer donatı oranına sahip tablasız kirişlerin

ise referans kirişe göre kesiti aynı kalmasına rağmen donatı oranındaki artıştan dolayı referans kirişlere göre daha rijit bir davranış gösterdiği görülmüştür. Fakat, tablasız kirişlerde donatı aralığının azalmasına ve donatı çapının büyüklüğüne bağlı olarak, aderanstaki azalmadan kaynaklı, eşdeğeri olan tablalı kirişlere göre daha az rijit bir davranış göstermiştir. Ayrıca, tablalı kirişlerin, eşdeğeri olan benzer donatı oranına sahip tablasız kirişlere kıyasla süneklik değerlerindeki artıştan dolayı daha olumlu bir davranış gösterdiği görülmüştür.

Enerji tüketme kapasiteleri incelendiğinde;

- 1/1 geometrik ölçekli kirişlerde, tablalı TK1 ve eşdeğeri olan aynı donatı oranına sahip tablasız K2 kirişinde, kiriş ortasındaki sehim $l/240$ 'a ($=11,60$ mm) ulaşıncaya kadar olan enerji tüketme kapasitesi referans kirişe göre sırasıyla yaklaşık %130 ve %80 oranında artış göstermiştir. Tablalı TK1 kirişi, eşdeğeri tablasız K2 kirişe göre %27 oranında artış göstermiştir. Tablalı TK1 ve eşdeğeri tablasız K2 kirişinde kiriş ortasındaki sehim 100 mm'ye ulaşıncaya kadar olan enerji tüketme kapasitesi ise referans kirişe göre yaklaşık %170 ve %125 oranında artış göstermiştir. Tablalı TK1 kirişi eşdeğeri tablasız K2 kirişe göre %20 oranında artış göstermiştir. Bunun sebebinin, tablasız kiriş donatılarının TS 500 (2000)'e göre (donatı çapından, $4/3 D_{max}$ ve 20 mm'den az olamaz) donatı aralığının çok az olmasından kaynaklı erken aderans kaybının olduğu düşünülmektedir.
- 1/2 geometrik ölçekli kirişlerde, kiriş ortasındaki sehim $l/240$ sehim kontrolü sınırına ($=8,12$ mm) ulaşıncaya kadar olan enerji tüketme kapasitesi bakımından, tablalı kirişler eşdeğeri tablasız kirişlere göre yaklaşık %27 ile %44 oranlarında artış göstermiştir. Kiriş ortasındaki sehim 50 mm'ye ulaşıncaya kadar olan enerji tüketme kapasitesi bakımından, tablalı TB4-1 ve TB4-2 kirişleri ile tablasız B4-1 ve B4-2 kirişleri yaklaşık aynı kalırken, diğer tablalı kirişlerde eşdeğeri tablasız kirişlere göre %2 ile %13 oranlarında artış göstermiştir. Bunun sebebinin, tablasız kiriş donatılarının donatı aralığının azalmasından ve donatı çapının büyüklüğünden kaynaklı erken aderans kaybının olduğu düşünülmektedir.
- 1/2 geometrik ölçekli kirişlerde, tabla genişliğine göre $l/240$ sehim kontrolü ($=8,12$ mm) sınırında gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi ile 50 mm sehimde

gerçekleşen enerji tüketme kapasitesi, A_{env} (kN.mm), $R^2=0,99$ regresyon değeri ile b_f kirişlerin (cm) cinsinden tabla genişliği sırasıyla Denklem 3.13 ve Denklem 3.14'te verilmiştir. Hem kullanılabilirlik sehimi limiti $l/240$ 'ta hem de bu sehimin üzerindeki 50 mm sehimdeki enerji tüketme kapasitelerinin, tabla genişliği arttıkça parabolik olarak azalan bir trendle arttığı gözlenmiştir.

Yük-sehim grafikleri incelendiğinde;

- 1/1 geometrik ölçekli deney sonuçlarında elde edilen veriler doğrultusunda, tablalı TK1 ve eşdeğeri tablasız döşeme donatılı K2 kirişlerinin kiriş ortasındaki sehim 100 mm'ye ulaştığında taşıma kapasitelerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Kirişin hızlı aderans kaybına bağlı oluşan yaklaşık 50 mm'lik sehimden sonra, kiriş ortasından başlayan aderans kaybının kenarlara doğru devam ettiği ancak, çekme donatılarının germe halatı gibi davranarak, TK1 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. Erken aderans kaybı neticesinde, TK1 kirişine kıyasla tablasız K2 kirişinde sehimin hızlı bir şekilde arttığı ve çatlakların daha erken ve daha büyük oluşmasına neden olduğu ancak, kiriş ortasındaki sehim 100 mm'ye ulaşıldığında taşıma kapasitesine olan negatif etkisinin ise beklenenden az olduğu görülmüştür.
- TS 500 (2000)'de normal kat elemanları için belirtilen, kiriş serbest açıklığının 240'a bölünmesiyle ($l/240$) elde edilen kiriş ortasındaki kullanılabilirlik sehim limitine (11,60 mm) ulaşıldığında, tablalı K1 kirişine kıyasla eşdeğeri tablasız döşeme 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.
- 1/2 geometrik ölçekli deney sonuçlarında elde edilen veriler doğrultusunda, kiriş ortasındaki sehim 50 mm'ye ulaştığında, tablalı kirişlerin taşıma kapasitelerinin eşdeğeri olan tablasız kirişlerin taşıma kapasitelerine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Tablasız kirişlerin ortasından başlayan hızlı aderans kaybının kenarlara doğru devam ettiği ancak, çekme donatılarının germe halatı gibi davranarak, tablalı kirişlerin taşıma kapasitesine yakın bir kapasiteye

yükselttiği görülmüştür. Minimum donatı oranına yakın donatılandırılmış B0-1 ve B0-2 referans kirişlerin akma dayanımı, beklenildiği üzere B1-1 ve B1-2, B2-1 ve B2-2, B3-1 ve B3-2, B4-1 ve B4-2 kirişlere kıyasla sırasıyla yaklaşık %43, %21, %20 ve %18 oranlarında, TB1-1 ve TB1-2, TB2-1 ve TB2-2, TB3-1 ve TB3-2, TB4-1 ve TB4-2 kirişlere kıyasla yaklaşık %30, %27, %25 ve %25 oranlarında gerçekleşmiştir.

- Tablalı TB2-1 ve TB2-2, TB3-1 ve TB3-2, TB4-1 ve TB4-2 kirişlerinde döşeme donatısının etriyenin dışında kalması ve tabla genişliği arttıkça döşeme donatısının katkısının azalması nedenleriyle, B2-1 ve B2-2, B3-1 ve B3-2, B4-1 ve B4-2 kirişlerinde aderansa dayalı akma dayanımı kaybı olmasına rağmen tablasızlara kıyasla daha düşük bir akma dayanımı gerçekleşmiştir. Erken aderans kaybı neticesinde, tablalı kirişlere kıyasla tablasız kirişlerde sehmin hızlı bir şekilde arttığı ve çatlakların daha erken ve daha büyük oluşmasına neden olduğu ancak, kiriş ortasındaki sehmin 50 mm'ye ulaşıldığında taşıma kapasitesine olan negatif etkisinin ise beklenenden az olduğu görülmüştür.
- TS 500 (2000)'de normal kat elemanları için belirtilen, kiriş serbest açıklığının 240'a bölünmesiyle ($l/240$) elde edilen kiriş ortasındaki kullanılabilirlik sehmin limitine (8,12 mm) ulaşıldığında, tablalı TB1-1 ve TB1-2 ile TB2-1 ve TB2-2 kirişlerinde tabla genişliği arttıkça döşeme donatısının katkısının azaldığı da göz önünde bulundurularak, eşdeğeri tablasız B1-1 ve B1-2 ile B2-1 ve B2-2 kirişlerinin donatı aralıklarının çok düşük olmasından kaynaklı aderans kaybından dolayı taşıma kapasitesi kaybının sırasıyla yaklaşık %15 ile %7 olduğu görülmüştür. Tablalı TB3-1 ve TB3-2 ile TB4-1 ve TB4-2 kirişlerinde tabla genişliği arttıkça döşeme donatısının katkısı azaldığından, tablalı kirişlerin taşıma kapasitelerindeki azalmanın tablasız B3-1 ve B3-2 ile B4-1 ve B4-2 kirişlerinin donatı aralıklarının çok düşük olmasından kaynaklı aderans kaybından çok daha etkili olduğu görülmüştür.

1/1 geometrik ölçekli deney sonuçlarında elde edilen veriler doğrultusunda, kiriş ortasındaki sehmin $l/240$ limitine ulaşıldığında, zayıf donatılı bir kirişin taşıma kapasitesine döşeme 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, döşeme donatısının en az katkı vereceği, en güçlü donatılı kirişlerde dahi aderans kaybı da dikkate alındığında döşeme donatısı katkı oranının (%27,64-20,00) %7'nin üzerinde olabileceği görülmüştür.

1/2 geometrik ölçekli deney sonuçlarına göre, döşeme donatısının kiriş ekseninden uzaklığına (x) bağlı olarak yüzdelik katkı oranını (KO) $R^2=0,9861$ regresyonla veren bağıntı Denklem 3.18'de verilmiştir. Bu denklemden faydalanılarak, gerçek boyutlu simetrik ve asimetrik tablalı kirişlerin negatif eğilme bölgesinde çekme donatı alanını ($A_{s,eff}$) veren bağıntılar sırasıyla Denklem 3.19 ve Denklem 3.20'deki gibi olacağı görülmüştür. Negatif eğilme momenti hesabında, literatürde yer alan çalışmalarda bulunan döşeme donatısının kirişin taşıma gücüne verdiği katkı oranlarının doğru olduğu, ancak döşeme donatısının katkısının parabolik bir şekilde azalmasından dolayı döşeme donatısının kiriş ekseninden uzaklığına bağlı olarak, çalışma sonucunda bulunan gerçek simetrik/asimetrik tablalı kirişlerin gerekli çekme donatı alanını veren bağıntı ile bu katkının belirlenmesinin daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Kiriş gövde yüzeyinden uzaklaştıkça döşeme donatısının katkısının parabolik şekilde azaldığı, gerçek boyutlu kirişlerde 10 cm uzaklıktaki döşeme donatısının katkısı %76'lerde iken 120 cm ve daha fazla uzaklıktaki döşeme donatılarının katkısının olmadığı görülmüştür.

Negatif eğilme momenti etkisindeki mesnet bölgelerinde yer alan gerçek boyutlu kirişlerde, kirişe paralel döşeme donatılarının etkili olduğu tabla genişliğinin 120 cm, diğer bir deyişle kiriş yüksekliğinin 2 katı ($b_{eff}=2h$) olduğu belirlenmiştir.

Kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı (a/d) 3'ten büyük olan gerçek boyutlu kirişlerde, negatif eğilme bölgesinde tablalı kirişlerin döşeme donatılarının etkili olduğu toplam tabla genişliğini ($b_{t,eff}$) veren Denklem 3.21'deki bağıntı, kiriş gövde genişliğine, etkili tabla genişliğine ve tablanın simetrik olup olmadığına bağlı olarak belirlenmiştir. Bu bağıntının kullanılabilmesi için, kirişin bir tarafındaki gövde dışına taşan tabla genişliği, paralel kirişler arasındaki net uzaklığın ($a_n/2$) yarısından fazla olmaması gerekmektedir. Ayrıca, bu bağıntının literatürde Ehsani ve Wight (1985), Zerbe ve Durrani (1990) ve Qi ve Pantazopoulou (1991) tarafından yapılan çalışmalarla oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

EN 1992-1-1, 2004 ve EN 1998-1, 2004'te kiriş donatısının tercihen kirişin yanından başlayarak etkili tabla genişliği içerisine dağıtılabileceği ifade edilmiş ancak döşeme donatısının katkısının parabolik azalmasından dolayı etriye içerisindeki kadar taşıma gücüne katkı vermeyeceği belirlenmiştir.

Hesaplamaları kolaylaştırmak adına, monolitik yapılmış tablalı kirişlerde, kiriş gövde yüzeyinden 10'ar cm eşit aralıklarla yerleştirilen, çalışma sonucu belirlenen etkili tabla genişliği (simetriklerde $2b_{eff}=4h$, asimetriklerde $b_{eff}=2h$) içerisinde yer alan ve kiriş etriyesi içerisinde gibi kirişin taşıma kapasitesine katkı veren döşeme donatılarının eşdeğerlik oranı yaklaşık %35 olarak belirlenmiştir. Kirişten uzaklaştıkça donatılardaki gerilme dağılımının azalan bir trendle parabolik olarak azaldığı görüldüğünden, etkili tabla genişliğinin %10 azaltılması halinde donatıların katkı oranının %10'dan daha fazla olacağı görülmektedir.

1/1 geometrik ölçekli deney sonuçlarında, açıklık kesitlerinde TS 500 (2000)'e uygun belirlenen 125 cm etkili tabla genişliği içerisinde yer alan kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının aderans kaybı dikkate alınmadığında, neredeyse tamamının kiriş etriyesi içerisine yerleştirilen donatı gibi taşıma kapasitesine katkı verdiği tespit edilmiştir. Ancak, tablalı kirişin taşıma kapasitesindeki azalmanın tabla genişliği arttıkça döşeme donatısının katkısının azalmasından, eşdeğeri tablasız kirişin taşıma kapasitesindeki azalmanın ise donatı aralıklarının çok düşük olmasından kaynaklı aderans kaybindan olduğu düşünülmektedir. 1/2 geometrik ölçekli deney sonuçlarına göre, 1/1 geometrik ölçekli deneylerde TS 500 (2000)'e göre açıklık betonarme hesabında belirlenen etkili tabla genişliği içerisinde yer alan döşeme donatılarının yaklaşık %65'inin kiriş etriyesi içerisinde gibi kirişin taşıma kapasitesine katkı vereceği tespit edilmiştir.

Kirişlerde donatının denge üstü kullanılmasına dayalı gevrek göçmenin önlenmesi adına, negatif eğilme etkisinde kiriş gövdesinde etriye içerisine yerleştirilecek çekme donatısı oranının (ρ_o), TS 500 (2000)'e göre belirlenen çekme donatısı oranı (ρ_s) ile çalışma sonucu belirlenen etkili tabla genişliği içerisindeki döşeme donatılarının oranını (ρ_f) dikkate alan Denklem 3.23'ün kullanılması daha sağlıklı olacaktır.

Bununla beraber, sünek kırılmanın gerçekleşebilmesi için kirişlerdeki etriye içerisine yerleştirilecek çekme donatı oranı (ρ_o) ile çalışma sonucu belirlenen etkili tabla genişliği içerisindeki döşeme donatıları oranının (ρ_f) %35'inin toplamından, basınç

donatı oranı farkının (ρ'_s) alınmasıyla elde edilen donatı oranının, dengeli donatı oranının (ρ_b) 0,85 katından fazla olmaması gerekmektedir. Ayrıca, kirişlerde etriye içerisine yerleştirilecek çekme donatı oranı (ρ_o) ile etkili tabla genişliği içerisindeki döşeme donatıları oranının (ρ_f) %35'inin toplamının 0,02'den az olması gerektiği düşünülmektedir.

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 donatısına paralel döşeme donatılarının dikkate alınması ile kiriş mesnet üst donatılarında yapılacak bu azalma neticesinde, kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki betonun yerleşiminin, beton işçiliğinin ve vibratör kullanımının (vibratörün donatı aralığından geçmesi) kolaylaşacağı ve ülke ekonomisine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Mesnet üst donatılarındaki azaltmaya bağlı olarak, sık donatılı kirişlerde brüt beton ve akışkanlaştırıcı kullanımı yerine, normal betonlarda vibratörün etkili kullanılamamasından veya betona bilinçsizce ekstra su katılmasından kaynaklı ortaya çıkabilecek segregasyon nedeniyle beton dayanımındaki düşüşe bağlı olarak olası gevrek göçmenin de önüne geçilecektir. Birleşim bölgelerinde oluşan bu segregasyonların oluşturabileceği donatı korozyonu ve buna bağlı beton ile donatı arasındaki aderansın zayıflaması da önlenmiş olacaktır.

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 sehimin kullanılabilirlik limitinin yaklaşık 7 katı olduğu durumlarda donatının sık olmasının, kirişin taşıma kapasitesine negatif etkisinin ihmal edilecek düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

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, toplam etkili tabla genişliği içerisindeki kiriş donatısına paralel döşeme donatılarının da kiriş kesit analizlerinde dikkate alınması gerektiğini, aksi halde güçlü kolon-zayıf kiriş kuralının ihlaline ve kolonların göçmesini önceleyen kat mekanizmalarına neden olabileceğini, ayrıca kirişlerdeki çekme ve basınç donatı oranları farkının ($\rho_s - \rho'_s$),

dengeli donatı oranının %85'inden büyük olmasına ve gevrek göçme riskine sebep olabileceğini göstermiştir.

4.2. Öneriler

Betonarme çerçeve sistemlerin negatif eğilme momenti etkisinde iç ve dış aks kiriş-kolon birleşim bölgelerinde, çalışma sonucu belirlenen toplam etkili tabla genişliği içerisindeki kiriş ve döşeme donatılarına yerleştirilen strain gaugeler vasıtasıyla donatılardaki gerilimler ve yük dağılımları belirlenerek bu çalışma daha detaylı olarak genişletilebilir.

Bununla beraber, kirişlerin açıklık kesitlerinde basınca çalışan tabla betonun yanısıra TS 500 (2000)'e göre belirlenen etkili tabla genişliği ile çalışma sonucu negatif eğilme bölgesinde döşeme donatılarının katkısının olduğu etkili tabla genişliği içerisindeki döşeme donatılarının kirişin moment taşıma kapasitesine katkısının araştırılması başka bir çalışmanın konusu olabilir.

KAYNAKLAR

Abbas, R. M. ve Fadala, W. A. (2021). Behavioral Investigation of Reinforced Concrete T-Beams with Distributed Reinforcement in the Tension Flange. *E3S Web of Conferences-Second International Conference on Geotechnical Engineering*, Iraq, 8 November.

Abbas, R. M. ve Fadala W. A. (2022). Numerical Investigation of the Flexure Behavior of Reinforced Concrete Spandrel Beams with Distributed Tension Reinforcement. *Journal of Engineering*, 28(3), 14-31. doi:10.31026/j.eng.2022.03.02

ACI 318 (1983). *Building Code Requirements for Structural Concrete*. American Concrete Institute, Farmington Hills.

ACI 318 (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete*. American Concrete Institute, Farmington Hills.

Ahmed, S. M., Gunasekaran, U. ve MacRae, G. A. (2011). Effect of slab and transverse beam on R.C. beam column joint. *International Conference on Earthquake Analysis and Design of Structures*. PSG College of Technology, Coimbatore, Tamilnadu, India, 1-3 December.

Ahmed, S. M., Gunasekaran, U. ve MacRae, G. A. (2012). A Parametric Study of RC Slab in Beam–Column Connection under Cyclic Loading. *New Zealand Society for Earthquake Engineering Conference*. Christchurch, New Zealand, 13-15 April.

Ahmed, S. M. ve Gunasekaran, U. (2014). Testing and evaluation of reinforced concrete beam-column-slab joint. *Gradevinar*, 66(1), 21-36. doi: 10.14256/JCE.971.2013

Ahmed, S. M., Gunasekaran, U. ve MacRae, G. A. (2015). Analytical investigation on the seismic performance of slabs in RC frame joints. *Magazine of Concrete Research*, 67(22), 1179-1189. doi:10.1680/mac.14.00132

Anonim (2023). Yapı Teknolojisi Ders-10 Betonarme. Erişim adresi: <https://www.munzur.edu.tr/birimler/akademik/fakulteler/muhendislik/bolumler/insaat/Pages/file/Sayfa-1-65.pdf>, Erişim Tarihi: 30.05.2023

Aydemir, C. (2013). Döşeme Donatılarının İç Aks Kirişlerinin Negatif Moment Kapasitesi Üzerine Etkisi. *İMO Teknik Dergi*, 24(1), 6279-6306.

Aykaç, S., Tankut, T. ve Can, H. (2011). Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Deprem Davranışı. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 3(2), 42-46.

Bakırcı, H. (2011). Kendiliğinden yerleşen taze betonda değiştirilmiş L- kutusu yöntemiyle segregasyon kontrolü. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi. *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa.

Bertero, V. V., Aktan, A. E., Charney, F. A., Sause, R. (1984). Earthquake simulation tests and associated studies of a 1/5th-scale model of a 7-story R/C frame-wall test structure. *Earthquake Engineering Research Center*, Rapor No: UCB/EERC 84-05.

- Büyükkaragöz, A. (2009). Zayıf Kolon-Güçlü Kiriş Birleşiminde Kesme Çivili Levhanın Etkisi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 1(1), 7-10.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N. (2004). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*. İstanbul: Beta Dağıtım.
- Celep, Z. (2013). *Betonarme Yapılar*. İstanbul: Beta Yayınları.
- Cheung, P. P. C., Paulay, T. ve Park, R. (1989). *Interior and exterior reinforced concrete beam-column joints of a prototype two-way with floor slab designed for earthquake resistance*. Christchurch: University of Canterbury. Department of Civil Engineering.
- CSA A23.3 (2004). *Design of concrete structures*. Canadian Standards Association, Canada.
- Doğangün, A. (2004). Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey. *Engineering Structures*, 26, 841-856. doi:10.1016/j.engstruct.2004.02.005
- Doğangün, A., Ural, A., Sezen, H., Güney, Y. ve Fırat, F. K. (2013). The 2011 Earthquake in Simav, Turkey and Seismic Damage to Reinforced Concrete Buildings. *Buildings*, 3(1), 173-190. doi:10.3390/buildings3010173
- Doğangün, A. (2016). *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı: Deprem Yönetmeliği-2007'ye uygun*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Doğangün, A. (2020). *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı: Deprem Yönetmeliği-2018'e uygun*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Durrani, A. J. ve Wight, J. K. (1982). Experimental and analytical study of internal beam to column connections subjected to reversed cyclic loading. *National Technical Information Service*. Rapor No: UMEE-82R3.
- Durrani, A. J. ve Zerbe, H. E. (1987). Seismic resistance of R/C exterior connections with floor slab. *Journal of Structural Engineering*, 113(8), 1850-1864. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(1987)113:8(1850)
- Durrani, A. J. ve Wight, J. K. (1987). Earthquake resistance of reinforced concrete interior connections including a floor slab. *ACI Structural Journal*, 84(5), 400-406. doi:10.14359/1650
- Ehsani, M. R. (1982). Behavior of external reinforced concrete beam to column connections subjected to earthquake type loading. Doktora Tezi. *University of Michigan Department of Civil Engineering*, Mich.
- Ehsani, M. R. ve Wight, J. K. (1985). Effect of transverse beams and slab on behavior of reinforced concrete beam-to-column joints. *ACI Journal Proceedings*, 82(2), 188-195. doi:10.14359/10327
- EN 1992-1-1 (2004). *Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*. European Committee for Standardization, Brussels.
- EN 1998-1 (2004). *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*. European Committee for Standardization, Brussels.

- Ersoy, U. (1998). Betonarme Kiriş ve Kolonların Moment Kapasitelerinin Saptanması. *İMO Teknik Dergi*, 9(4), 1781-1797.
- Ersoy, U., Özcebe, G. ve Canbay, E. (2019). *Betonarme Cilt 1 – Davranış ve Hesap İlkeleri*. İstanbul: Evrim Yayınevi.
- French, C. W. ve Boroojerdi, A. (1986). T-beam effect in structures subjected to lateral loading. *Proceedings of the 3rd U. S. National Conference on Earthquake Engineering*, Charleston, USA, 24 August.
- French, C. W. ve Boroojerdi, A. (1989). Contribution of R/C Floor Slabs in Resisting Lateral Loads. *Journal of Structural Engineering*, 115(1), 1-18.
- French, C. W. ve Moehle, J. P. (1991). Effect of Floor Slab on Behavior of Slab-Beam-Column Connections. *American Concrete Institute Special Publication: Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance*, 123(9), 225-258.
- Genç, Y. (2019). Türk ve bazı yabancı deprem yönetmeliklerine göre betonarme binaların analizinde düşey deprem yük etkilerinin araştırılması. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Genç, Y. ve Doğan, O. (2022). Döşeme Donatısının Betonarme Tablalı Kirişlerin Eğilme Momentine Katkısı. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 99-111.
- Işık, E. (2015). Size Effects of Columns on Buckling. *5th International Science and Technology Conference*, St. Petersburg, Russia, 2-4 September.
- Işık, E. ve Özdemir, M. (2016). Betonarme Yapılarda Güçlü Kiriş – Zayıf Kolon Durumunun Yapı Performansına Etkisi. *1st International Mediterranean Science and Engineering Congress*. Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 26-28 Ekim.
- İnan, T. ve Korkmaz, K. (2012). Düşey doğrultudaki yapı düzensizliklerinin incelenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(3), 240-248.
- İTÜ (2023). 6 Şubat 2023 04.17 Mw 7,8 Kahramanmaraş (Pazarcık, Türkoğlu), Hatay (Kırıkhan), 13.24 Mw 7,7 Kahramanmaraş (Elbistan/Nurhak-Çardak) Depremleri Ön İnceleme Raporu. *İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- Kaplan, O., Güney, Y., Cengiz, A. E., Özçelikörs, Y. ve Topçu, A. (2015). Eskişehir ili bina envanterinin yapısal kusurlar ve düzensizlikler bakımından irdelenmesi. 3. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 14-16 Ekim.
- Kiureghian, S. (1983). Hysteretic behavior of R/C exterior beam-column-slab subassembly. *University of California Department. of Civil Engineering*, Rapor No: CE299.
- Kocaman, C., Bayülke, N., Doğan, A. ve Duran, A. (2011). 19 Mayıs 2011 Simav Depremi ve Yapı Hasarı Raporu. *İMO Afet Müdahale Hazırlık Kurulu*, Rapor No: TMH - 465-466 - 2011/1-2.
- Küçükarslan, S. (2010). Tablalı kesitlerin etkili tabla genişliğinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi. *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Leon, R. ve Jirsa, J. O. (1986). Bidirectional loading of RC beam-column joints. *Earthquake Spectra*, 2(3), 537-564. doi:10.1193/1.1585397

- Ma, S. Y. M., Bertero, V. V. ve Popov, E. P. (1976). Experimental and analytical studies on the hysteretic behavior of reinforced concrete rectangular and T-beams. *Earthquake Engineering Research Center*, Rapor No: EERC 76-2.
- Ma, C., Wang, Z. ve Smith, S. T. (2020). Seismic performance of large-scale RC eccentric corner beam-column-slab joints strengthened with CFRP systems. *Journal of Composites for Construction*, 24(2), Article ID: 04019066. doi:10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000995
- MacGregor, J. G. ve Wight, J. K. (2005). *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*. New Jersey: Pearson College Div.
- MakineMarka (2023) Elektrikli İç Vibratörler. Erişim adresi: <https://www.makinamarka.com/AREL-ARV35-Konvertorlu-Tip-Beton-ic-Vibratoru,PR-5519.html>, Erişim tarihi: 02.04.2023
- MEB (2011). *Beton Dökümü ve Koruma*. Ankara: Millî Eğitim Bakanlığı.
- MEB (2012). *Hazır Beton Üretimi*. Ankara: Millî Eğitim Bakanlığı.
- Nakata, S. (1983). Tests of Reinforced Concrete Beam-Column Assemblages. *Building Research Institute Research U.S.-Japan Cooperative Research Program*, Rapor No: 99.
- Ning, N., Qu, W. ve Zhu, P. (2014). Role of cast-in situ slabs in RC frames under low frequency cyclic load. *Engineering Structures*, 59, 28-38. doi:10.1016/j.engstruct.2013.09.050
- Ning, N., Qu, W. ve Ma, Z. J. (2016). Design recommendations for achieving “strong column-weak beam” in RC frames. *Engineering Structures*, 126, 343-352. doi:10.1016/j.engstruct.2016.07.053
- NZS 3101.1 (2006). *Concrete structures standard - Part 1: The Design of Concrete Structures*. New Zealand Standard, New Zealand.
- Özdemir, M. E., Ay, S. ve Yaylacı, M. (2022). Comparative Analysis of Segregated and Non-segregated Column-Beam Connection Region, *A Journal of Structural Science and Innovation*, 4(1), 6-17.
- Özdöner, N. (2011). Betonarme binaların deprem güvenliğinin, bina dışından uygulanan betonarme prefabrik paneller ile artırılması. Yayımlanmış Doktora Tezi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Pantazopoulou, S. J., Moehle, J. P. ve Shahrooz, B. M. (1988). Simple Analytical Model for T-Beams in Flexure. *Journal of Structural Engineering*, 114(7), 1507-1523.
- Pantazopoulou, S. J. ve French, C. W. (2001). Slab participation in practical earthquake design of reinforced concrete frames. *ACI Structural Journal*, 98(4), 479-489. doi:10.14359/10291
- Paulay, T. ve Priestley, M. J. N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York: Wiley.
- Qi, X. ve Pantazopoulou, S. J. (1991). Response of RC Frame under Lateral Loads. *Journal of Structural Engineering*, 117 (4), 1167-1188.
- Santarsiero, G. ve Masi, A. (2020). Analysis of slab action on the seismic behavior of external RC beam-column joints. *Journal of Building Engineering*, 32(6), Article ID: 101608. doi:10.1016/j.job.2020.101608

SBB (2023). 2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu. *Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı*.

Shin, M. ve LaFave, J. M. (2004). Reinforced concrete edge beam-column-slab connections subjected to earthquake loading. *Magazine of Concrete Research*, 55(6), 273–291. doi:10.1680/mac.2004.56.5.273.

TBMM (2023). Depremden etkilenen 10 ili kapsayan OHAL tezkeresi TBMM Genel Kurulu'nda kabul edildi. Erişim adresi: <https://www.tbmm.gov.tr/Haber/Detay?Id=be132ba5-1c52-40b7-ae07-0186360b0083>, Erişim tarihi: 29.03.2023

TBDY (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

THBB (2012). Özel Dosya: Kendiliğinden Yerleşen Beton. *Hazır Beton Dergisi*, 112, 45-69.

TS 500 (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS 706 EN 12620+A1 (2009). *Beton Agregaları*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS 708 (2016). *Çelik-Betonarme için-Donatı çeliği*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS 802 (2016). *Beton karışım tasarımı hesap esasları*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 197-1 (2012). *Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 206+A2 (2021). *Beton-Özellik, performans, imalat ve uygunluk*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 933-1 (2012). *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini-Eleme metodu*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-3 (1999). *Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-6 (2022). *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1744-1+A1 (2013). *Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Kimyasal analiz*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12350-2 (2019). *Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-2 (2019). *Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-3 (2019). *Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Dayanım Deneylerinde Basınç Dayanımının Tayini*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 6892-1 (2020). *Metallik malzemeler – Çekme deneyi - Bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney yöntemi*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

Turkchem (2021). Evladiyelik Beton. Erişim adresi: <https://www.turkchem.net/evladiyelik-beton.html>, Erişim tarihi: 07.03.2021

Wang, Z., Huang, J., Chang, Z. ve Lu, Y. (2022). Experimental and Numerical Investigation on Seismic Performance of RC Exterior Beam-Column Joints with Slabs. *Shock and Vibration*, 2022, Article ID 3679431. doi:10.1155/2022/3679431

YapıSOR (2021a). Kolon-kiriş birleşim bölgesi. Erişim adresi: <https://yapisor.com/16585/kolon-kiris-birlesim-bolgesi>, Erişim tarihi: 05.03.2021

YapıSOR (2021b). Vibratör kullanmamanın yol açtığı soruna çözüm. Erişim adresi: <https://yapisor.com/11700/vibrator-kullanmamanin-yol-actigi-soruna-cozum>, Erişim tarihi: 05.03.2021

Zerbe, H. E. (1985). Effect of a slab on the behavior of exterior beam to column connections. Yüksek Lisans Tezi. *University of Rice Department of Civil Engineering*, Texas.

Zerbe, H. E. ve Durrani, A. J. (1990). Seismic response of connections in two-bay reinforced concrete frame subassemblies with a floor slab. *ACI Structural Journal*, 87(4), 406–415. doi:10.14359/3046

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yunus GENÇ

Doğum Yılı

Yabancı Dil

Eğitim Durumu :

Lisans : Kırıkkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, 2009
: Kırıkkale Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 2009 (Çift Anadal)
Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, 2019
Doktora : Kırıkkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, 2023

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar:

Orman Genel Müdürlüğü İnşaat Müh./ Şube Müdürü Ağustos 2013-Halen

Yayınları (SCI) :

Yayınları (Diğer) :

Narin, S., Doğan, O., Bande, N. & Genç, Y. (2023). Keçiören/Ankara Özelinde Konut Rayiç Değerlerinin Tahmininde Çoklu Regresyon Analizi ve Yapay Sinir Ağları Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 15(2), 828-839. doi: 10.29137/umagd.1297672.

Doğan, O., Bande, N., Genç, Y. & Koç, F. (2023). Yapay Sinir Ağları Metodu ile Konut Özellikleri Yeniden Sayısallaştırılarak Rayiç Değerinin Tahmin Edilmesi: Keçiören/Ankara Örneği. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 5(1), 9-19. doi: 10.51765/tayod.1219413.

Doğan, O., Bande, N., Genç, Y., Akyön, F.Ç. & Tanç, R. (2023). The Importance of Digitization in Estimating Housing Fair Value with the Artificial Neural Networks Method: The Case of Yenimahalle/Ankara/Turkey. *Brilliant Engineering*, 1, 4768. doi: 10.36937/ben.2023.4768.

Doğan, O., Genç, Y., Doğan, F. & Mert, N. (2022). Kırıkkale İli Özelindeki Betonarme Konutların DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 Yönetmeliklerine Göre Depremisel Açıdan Mukayesesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(2), 829-843. doi: 10.29137/umagd.1112001.

Genç, Y. & Doğan, O. (2022). Döşeme Donatısının Betonarme Tablalı Kirişlerin Eğilme Momentine Katkısı. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 99-111. doi: 10.46387/bjesr.1077189.

Doğan, O., Genç, Y. & Akgül, M. (2022). DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 Kapsamında Betonarme Çerçeve ve Saplama/İkincil Kirişlerin Kesit Tesirlerindeki Değişimin Karşılaştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 13(2), 295-305. doi: 10.24012/dumf.1053898.

Doğan, O., Bande, N., Genç, Y. & Akyön, F. Ç. (2022). Keçiören/Ankara Özelinde Konut Rayiç Değerlerinin Yapay Sinir Ağları Metodu Kullanılarak Tahmini. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (35), 113-128. doi: 10.18092/ulikidince.941952.

Doğan, O., Genç, Y. & Odacıoğlu, O. G. (2022). Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Depreme Dayanıklı Tasarımında Uyumlu Perde-Çerçeve Davranışı İçin Minimum Perde Oranının Belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 25(4), 1561-1573. doi: 10.2339/politeknik.871889.

Doğan, O., Genç, Y. & Akgül, M. (2022). Kırıkkale/Türkiye Özelinde Olası Afetler Sonrası Barınma İçin Stok Alanlarının ve Konteyner Sayısının Belirlenmesi. *Karadeniz 10th International Conference on Applied Sciences*, Samsun, 17-18 Eylül.

Doğan, O., Genç, Y. & Akgül, M. (2022). Kırıkkale/Türkiye Özelinde Olası Afetlerde İhtiyaç Duyulacak Güvenlikli Toplu Yeraltı Sığınak Modellerinin Hazırlanması. *Karadeniz 10th International Conference on Applied Sciences*, Samsun, 17-18 Eylül.

Bande, N., Doğan, O., Genç, Y. & Akyön, F. Ç. (2022). Yenimahalle/Ankara Özelinde Konut Fiyatlarının Yapay Sinir Ağları Metodu ile Belirlenmesi. 7. *Uluslararası Erciyes Bilimsel Araştırmalar Kongresi*, Kayseri, 9-10 Mart.

Doğan, O. & Genç, Y. (2019). Türk Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Düşey Deprem Kuvvetinin İkinci Mertebeden Taban Momentlerine Etkisi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(3), 244-249. doi: 10.30855/gmbd.2019.03.05.

Projeler :

Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP). (2022). “Mesnetlerde Betonarme Döşeme Donatısının Kiriş Eğilme Momentine Katkısı ve Etkili Tabla Genişliğinin Belirlenmesi”, Yürütücü: Prof. Dr. Orhan DOĞAN, Yardımcı Araştırmacı, Kırıkkale.

Araştırma Alanları: Depreme dayanıklı yapı tasarımı, Betonarme yapılar, Betonarme kiriş, YSA.