



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



GÖVDE BOŞLUKLU PREFABRİK
BETONARME AŞIKLARIN DÜŞEY YÜKLER
ALTINDA DAVRANIŞI

Emrullah ÇELEDİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Emrullah ÇELEDİR tarafından hazırlanan “Gövde Boşluklu Prefabrik Betonarme Aşıkların Düşey Yükler Altında Davranışı” adlı tez çalışması 05/01/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Ali KÖKEN

Danışman

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması KTÜN-BAP birimi tarafından 211004018 proje numarası ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Emrullah ÇELEDİR

Tarih: 05.01.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖVDE BOŞLUKLU PREFABRİK BETONARME AŞIKLARIN DÜŞEY YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞI

Emrullah ÇELEDİR

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN
Yardımcı Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ceyhun AKSOYLU

2022, 165 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN (Danışman)

Doç. Dr. Ali KÖKEN

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

Prefabrik yapı sistemlerinde çatı makası veya sundurma kirişlerinin aralarındaki açıklıkların geçilmesi, çatı sisteminin ana taşıyıcı elemanlarını birbirine bağlayarak birlikte çalıştırılması ve çatı sisteminin taşıyacağı kaplama gibi ölü yüklerin çatının ana taşıyıcı elemanlarına aktarımını sağlamak amacıyla aşıklar kullanılmaktadır. Kullanılan aşıkların adet olarak prefabrik yapı projelerinde büyük miktarlarda bulunması göz önüne alındığında, bu kirişlerin yüksek eğilme bölgelerinde ve gövde orta noktasında oluşturulacak olan boşlukların özellikle üretim malzemesi olan betondan tasarruf sağlayabileceği düşünülmektedir.

Bu temel düşünceden hareketle tez çalışmasında 8 cm sabit yüksekliğe sahip 24, 40, 56, 72, 3x24, 88 ve 104 cm uzunlukta yedi farklı boyutta boşluk formunun hem öngerilmeli hem de öngerilmemiş aşıklarda uygulanması ile aşıkların yük taşıma kapasitesi ve sünekliklerinde meydana gelen değişiklikler deneysel olarak incelenmiştir. Üretilen toplam 16 aşık kesme açıklığı (a/d) 3,58 olacak şekilde dört noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışma sonucunda oluşturulan boşlukların ve boşluk boyutunun artması ile aşık kirişlerinin eğilme kapasitesinde referans kirişlere göre belirgin bir değişim olmadığı ancak sünekliğin arttığı gözlemlenmiştir. Öngerilmemiş ve öngerilmeli aşıklarda kirişin uzunluğunun %25'inden daha uzun boşluklar basınç bölgesinde belirgin ezilme hasarı ortaya çıkarmıştır. Artan boşluk uzunluğu ile eğilme hasarlarında kesme bölgesine doğru yayılım davranışı izlenmiştir. Öngerilmeli aşıkların teorik olarak %30 toplam taşıma kapasitesine sahip olan öngerilmemiş aşık kirişlerinde öngerilmeli kirişlerden farklı olarak lineer elastik bölgedeki yük taşıma kapasitesinde daha belirgin artış görülmüştür. Enerji tüketimi kapasitesi açısından bakıldığında ise öngerilmemiş kirişlerde artan boşluk boyutu toplam enerji tüketimi ile elastik enerji tüketimini arttırırken öngerilmeli kirişlerde ise 88 ve 104 cm uzunluğundaki boşluklarda özellikle lineer elastik bölgedeki enerji tüketiminde belirgin azalma görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Boşluklu Kiriş, Düşey Yükler Altında Davranış, Prefabrik Aşık Kirişi, Prefabriğe Yapı

ABSTRACT

MS THESIS

BEHAVIOR OF PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE PURLINS HAVING WEB OPENINGS UNDER VERTICAL LOADS

Emrullah ÇELEDİR

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering

Advisor: Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN
Co-Advisor: Asst. Prof. Dr. Ceyhun AKSOYLU

2022, 165 Pages

Jury

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN (Advisor)
Assoc. Prof. Dr. Ali KÖKEN
Asst. Prof. Dr. Ali Serdar ECEMİŞ

Purlins are used in prefabricated building systems in order to pass the openings between the roof truss or porch beams, to connect the main carrier elements of the roof system and operate them together, and to transfer dead loads such as the coating that the roof system will carry to the main carrier elements of the roof. Considering that the purlins used are found in large quantities in prefabricated building projects, it is thought that the gaps to be created in the high bending regions of these beams and at the midpoint of the body can save especially from the production material, concrete.

Based on this basic idea, in the thesis study, the changes in the load-bearing capacity and ductility of the purlins were experimentally analyzed by applying seven different sizes of void forms with a fixed height of 8 cm and a length of 24, 40, 56, 72, 3x24, 88 and 104 cm in both prestressed and non-prestressed purlins. examined. A total of 16 purlins produced were subjected to a four-point bending test with a shear opening (av/d) of 3.58. As a result of the experimental study, it was observed that there was no significant change in the bending capacity of purlin beams compared to the reference beams, but the ductility increased with the increase in voids and void size. In non-prestressed and prestressed purlins, voids longer than 25% of the beam length revealed significant crushing damage in the compression region. The spreading behavior towards the shear region was observed in bending damages with increasing gap length. Unlike the prestressed beams, in the non-prestressed purlin beams, which theoretically have a total bearing capacity of 30% of the prestressed purlins, a more significant increase in the load bearing capacity in the linear elastic region has been observed. In terms of energy consumption capacity, while the increased gap size in non-prestressed beams increases total energy consumption and elastic energy consumption, a significant decrease in energy consumption, especially in the linear elastic region, was observed in 88 and 104 cm long gaps in prestressed beams.

Keywords: Behavior Under Vertical Loads, Web opening Beam, Prefabricated Building, Prefabricated Purlin Beam,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans programında yapılmıştır. Çalışma deneysel içeriğe sahip olup prefabrik yapı sistem elemanları olan aşıklar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada belirlenen standart boyutlarda önerilmeli ve önerilmesiz olarak iki farklı tip halinde hesaplanmış 16 adet aşığın 2 parti halinde 1 adeti boşluksuz referans olarak belirlenmiş ve kalan 7 adet aşıқта artan boyutlarda elemanın gövde orta noktasında boşluklar bırakılmış ve bu elemanların düşey yükler altında davranışı izlenmiştir. Çalışmadaki ana amaç ileride üretilecek olan bu ve buna benzer mantıkta çalışan prefabrik yapı elemanlarında ana bileşen olan betondan ve demirden tasarruf sağlayabilmek ve sağlanan bu tasarruf ile prefabrik yapı literatürüne ve prefabrik yapı sektörüne katkıda bulunabilmektir.

Tez çalışmasını yöneten ve benden her konuda desteğini esirgemeyen sevgili hocam Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN ve sevgili yardımcı danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ceyhun AKSOYLU'ya, çalışma sırasındaki önemli katkılarından dolayı Arş. Gör. Dr. Yasin Onuralp ÖZKILIÇ'a, bu çalışmamda deneyimleriyle bana çokça destek olan çalışma arkadaşım ve değerli büyüğüm İnşaat Mühendisi Mehmet ÖZCAN'a, deney elemanlarımızın üretiminde desteklerini esirgemeyen üretim mühendisi meslektaşlarım ve üretim sahasında çalışan tüm işçi arkadaşlara ve son olarak maddi manevi yönden desteklerini esirgemeyen şirket yöneticimiz Sayın Mehmet Tevfik YARDIMCI'ya ve tüm YARDIMCI PREFABRİK A.Ş. ailesine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İlaveten hayatımın her alanında benden desteklerini esirgemeyen eşim Sümeyye ÇELEDİR, babam Ferhat ÇELEDİR, annem Hatice ÇELEDİR, biricik kardeşlerim Rabia ve Melike ÇELEDİR'e ve tüm aileme sevgilerimi sunuyorum. Bu aşamaya kadar yaptığım tüm mesleki çalışmalar ve nihai olarak gerçekleştirmiş olduğum bu tez çalışması bu mesleği bana sevdiren ve bu mesleği tercih etmemde bana en büyük örnek teşkil eden merhum dedem Latif ÇELEDİR anısınadır. Ruhu şad olsun.

Emrullah ÇELEDİR
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Prefabrike Yapı Eleman Tanımları ve Taşıyıcı Sistem Üretim Aşamaları.....	3
1.1.1. Prefabrike Yapı Sistemlerinde Altyapı Elemanları	4
1.1.2. Prefabrik Yapı Sistemlerinde Üstyapı Elemanları.....	6
1.2. Çalışmanın Amacı.....	7
1.3. Prefabrik Yapı Sistemlerinde Aşık Kirişleri.....	10
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	12
2.1. Literatürdeki Çalışmalar	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1. Deney Elemanlarının Tasarımı	23
3.1.1. Hesap ve Tasarım.....	24
3.1.1.1. Çatı Yüğü Analizi	24
3.1.1.2. Aşık Hesabı.....	25
3.2. Deney Elemanlarının Projelendirilmesi.....	30
3.3. Deney Elemanlarının Planlama ve Üretimi	43
3.3.1. Boşluk Malzemesi Tasarımı	43
3.3.2. Boşluklu Aşıkların Üretimi.....	45
3.3.2.1. Birinci Grup Döküm Hazırlık ve Üretim Aşamaları	46
3.3.2.2. Birinci Döküm Kalıptan Alma.....	54
3.3.2.3. İkinci Grup Döküm Hazırlık ve Üretim Aşamaları	57
3.3.2.4. İkinci Döküm Kalıptan Alma	60
3.3.2.5. Üçüncü Grup Döküm Hazırlık ve Üretim Aşamaları	62
3.3.2.6. Üçüncü Döküm Kalıptan Alma	65
3.3.2.7. Dördüncü İlave Döküm	67
3.3.3. Sevkiyat ve İstif	68
3.4. Deneysel Çalışmalar	69
3.4.1. Beton ve Donatı Numune Deneyleri.....	76
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	80
4.1. Öngerilmemiş Kirişlerin Değerlendirilmesi.....	83
4.2. Öngerilmeli Kirişlerin Değerlendirilmesi.....	109
4.3. Öngerilmeli ve Öngerilmemiş Kirişlerin Birlikte Değerlendirilmesi	133
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	135

5.1 Sonuçlar	135
5.2 neriler	137
KAYNAKLAR	138
EKLER	140



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a_v	: Eleman kesme açıklığı
A_c	: Beton alanı
A_s	: Çekme donatısı alanı
c	: Rüzgar emme katsayısı
cm	: Santimetre
d_l	: Çekme bölgesi paspayı
F_c	: Beton Basınç kuvveti
F_s	: Donatı çekme kuvveti
f_{cd}	: Beton tasarım basınç dayanımı
f_{ctd}	: Beton tasarım eksenel çekme dayanımı
f_{yd}	: Donatı tasarım akma dayanımı
f_{ywd}	: Etriye tasarım akma gerilmesi
g_k	: Çatı kaplama yükü
n	: Kesme doğrultusundaki etriye kol adeti
b_w	: Kiriş gövde genişliği
b	: Kiriş genişliği
h	: Kiriş derinliği
d	: Kiriş faydalı yüksekliği
d'	: Kiriş paspayı
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_s	: Çelik elastisite modülü
$C40$: Basınç dayanımı 40 MPa olan beton sınıfı
P	: Deney elemanlarına uygulanan düşey yük
$P-$: Öngermesiz aşık
$PP-$: Öngermeli aşık
P_k	: Kar yükü hesap değeri
M	: Moment
m	: Metre
mm	: Milimetre
V_{cr}	: Beton kesitin çatlama dayanımı
V_s	: Betonarme kesitin kesme donatısının kesmeye katkısı
V_r	: Elemanın kesme dayanımı
W	: Rüzgar Yükü
\emptyset	: Donatı çapı
δ_y	: Akma anındaki deplasman değeri
δ_u	: Yükün %85'ine karşı gelen deplasman değeri
α	: Çatı eğimi
q_k	: Kar yükü
q	: Rüzgar emme yükü

Kısaltmalar

MPa	: Mega Pascal
kN	: Kilo Newton
ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü Standardı
EPS	: Expanded Polystyren Foam
LVDT	: Lineer Variable Displacement Transducer
RC	: Betonarme
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
TS 498	: 498 Referans Numaralı Türk Standartı
TS 500	: 500 Referans Numaralı Türk Standartı
TS3233	: 3233 Referans Numaralı Türk Standartı
PVC	: Polivinil klorür
KDV	: Katma Değer Vergisi
CFRP	: Karbon Fiber Takviyeli Polimer
GFRP	: Cam Elyaf Takviyeli Polimer



1. GİRİŞ

Prefabrik kelimesi Türkçeye Fransızcadan geçmiş ve anlam olarak parçaları önceden oluşturup daha sonra parçaların birleştirilmesiyle oluşturulanı ifade etmektedir. Birinci Dünya savaşı sonrası yaraların hızla sarılmak istenmesi sonucunda prefabrik yapının ortaya çıktığı ve daha sonra yaşanan büyük ve yıkıcı doğal afetler sonrası çabuk iyileştirmeler oluşturulmak istenmesi üzerine daha da ivme kazanarak bir sektör halini aldığı söylenebilir. Önceleri Amerika, Sovyetler birliği ve Batı Avrupa' da en basit haliyle kullanılmaya başlanmış ve sonrasında avantajlarının çoğu otorite tarafından fark edilmesiyle büyük gelişim göstermiş ve yaygınlaşmaya devam etmiştir.

Prefabrik taşıyıcı sistemler ile ve özellikle öngerme metodu kullanılarak üretilen kirişler ile konvansiyonel yapı sistemlerine göre daha küçük kesitlerle daha geniş açıklıklar geçilebilmekte ve bu sistemler ile daha verimli ve daha ekonomik alan kullanımına olanak sağlanabilmektedir. Ancak öngerme sisteminin uygulaması sırasında yetişmiş ve kalifiye eleman ihtiyacı gerekmektedir. ACI (Amerikan Beton Enstitüsü) tanımına göre "Öngerilmeli beton, yükmeden evvel verilen öngerme ile yüklerin oluşturacağı gerilmelerin istenilen ölçüde dengelendiği betondur".

Son yıllarda sanayileşme hızına bağlı olarak artan tek katlı ve büyük açıklıklı endüstri yapısı ihtiyacı, kolonların temelde ankastre üstte ise mafsalı olarak bağlandığı yapı sistemlerini gündeme taşımıştır. Bugün Türkiye'de sanayi yapılarının %85'inde prefabrik betonarme yapı elemanları kullanılmaktadır. Ancak inşaat sektöründe %75'lik bir paya sahip olan konut inşaatlarında ise prefabrik betonarme yapı elemanı kullanım oranı sadece %4'tür. Konut inşaatlarında prefabrik yapı sisteminin tercih edilmemesindeki en büyük sebep, mimari olarak konvansiyonel yapı sistemlerine nazaran prefabrik sistemlerde daha kısıtlı estetik çözümler üretilmesi gösterilebilir. Bununla beraber ülkemizdeki konut inşaatlarının sayısı ile bu üretimi karşılayabilecek kapasitede prefabrik yapı üreticisi miktarının olmaması da üzerinde düşünülmesi gereken başka bir konudur.

Prefabrik betonarme yapıların ana mantığı yapıyı oluşturan elemanların birbirinden bağımsız parçalar halinde fabrika ortamında üretilip sonrasında yapının oluşturulacağı sahaya taşınıp burada farklı birleşim teknikleri kullanılarak birleştirilmesiyle taşıyıcı sistemin oluşturulmasıdır. Yapıyı oluşturan elemanların fabrika ortamında üretiliyor olması olumsuz çevre koşullarına maruziyeti en az seviyeye indirmekte, bu sayede üretilen betonarme elemanın teknik özelliklerinin en üst

seviyelere ulaşmasını sağlamaktadır. Bununla beraber yapıyı oluşturacak olan elemanların belli bir sıra gözetmeksizin aynı anda üretimine başlanabilmesi zaman açısından da büyük kazanımları getirmektedir. Yapılardaki büyük açıklıkların geçilmesinde yerinde döküm konvansiyonel betonarme yapı sistemindeki yatay taşıyıcı elemanlara (kirişler) kıyasla prefabrik betonarme elemanlarla daha hafif ve daha küçük kesitli taşıyıcılarla daha büyük açıklıklar geçilebilmektedir. Hafif yapı çözümleri doğal olarak binanın toplam yükünü azaltacak ve bu herhangi bir depremde yapının alacağı deprem yüklerinin de küçülmesini sağlayacaktır. Bununla beraber daha az malzeme kullanarak daha ekonomik çözümlerde üretilecektir. Bu ve bunun gibi birçok olumlu özellikler prefabrikasyonun günümüzdeki değerini arttırmakta ve gelecek ile ilgili bu alanda yeni girişimlerin ve teknolojilerin de önünü açmaya devam edecektir. Bunların yanında prefabrike yapı elemanlarının ağır tonajlı ve büyük boyutlarda olmasından dolayı ortaya çıkan nakliye zorluğu bazen tercih edilmemesine veya nakliye için özel metodlar oluşturulma zorunluluğuna sebep olmaktadır. Bu olumsuz etmen ülke çapında bölgesel olarak prefabrike yapı üreticilerinin artışı ile ilerleyen zamanlarda ortadan kalkacağı düşünülmektedir.

Prefabrike yapı sistemlerinde özellikle büyük açıklıklar geçilirken kullanılan kirişler çoğunlukla kesit olarak çelik yapı sistemlerinde kullanılan I kesit formunda oluşturulmaktadır. Buradaki amaç; taşıyıcı kirişlerde yük etkilerinin büyük bir kısmının başlıklar tarafından karşılanıyor olmasıdır. Bu nedenle çelik taşıyıcı elemanlarda olduğu gibi betonarme prefabrik kirişlerde de kirişlerin kesitleri I formunda oluşturulup elemanın kendi ağırlığı azaltılmasına rağmen atalet momentinde çok büyük azalma oluşmadan taşıyıcılık yönünden olumlu sonuçlar elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu tasarım aynı zamanda kirişin üretiminde kullanılacak olan beton miktarını büyük ölçüde azalttığından ekonomik bir çözüm de üretmektedir.

Bu tez çalışmasında iki uç noktalarından mesnetlenmiş basit kiriş olarak çalışan taşıyıcı elemanlardan olan aşıklarda kirişin kesme kuvveti tesirlerinin sıfırlandığı ve momentin maksimum olduğu eğilme bölgesine denk gelen tam orta noktasında boşluk bırakılarak daha ekonomik kesitler elde etmek amaçlanmaktadır. Bunun için standart bir prefabrike yapı sisteminde narin ve küçük elemanlar olarak bilinen ancak adet bazında düşünüldüğünde yapıdaki elemanlar arasında üretilirken en fazla beton ihtiyacı duyulan aşıklar üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu durum Türkiye Prefabrik Birliği'nin Haziran 2020 tarihli "Önüretimli Betonarme Örnek Bir Sanayi Binasının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e (TBDY-2018) Göre Analiz ve Tasarımı" isimli kitabında

tasarlanan prefabrik yapının 3D modelleme programı (Revit Structure 2017) aracılığıyla modellenip elemanların metrajlarının çıkartılmasıyla Bölüm 1.2’de gösterilmiştir.

1.1. Prefabrike Yapı Eleman Tanımları ve Taşıyıcı Sistem Üretim Aşamaları

Günümüzde prefabrike yapı sistemleri incelendiğinde aslında üretim iki aşamalı gerçekleşmektedir. Birinci aşamada yapının altyapısı konvansiyonel olarak oluşturulmaktadır. Bu aşamada üretim genellikle çelik kalıplar kullanılarak ve gereken donatı imatları üretim sahasında yapılarak gerçekleştirilmektedir. Betonarme imalat işleri tamamlandıktan sonra proje sahası stabilize toprak dolgu ile doldurularak üstyapı montajına hazır hale getirilmektedir. Ardından yapının fabrika ortamında üretilen üstyapı prefabrik elemanları sahaya taşınarak sırasıyla montajı gerçekleştirilmektedir. İki aşamalı bu süreç standart olarak çoğu prefabrik sanayi yapısı projesinde bu şekilde uygulanmaktadır. Şekil 1.1 - Şekil 1.4’te imalat ve montaj aşamalarından görseller verilmiştir.



Şekil 1.1. Yerinde döküm olarak gerçekleştirilen altyapı imatları



Şekil 1.2. Üretimi tamamlanmış bir prefabrik altyapı sistemi



Şekil 1.3. Montaj aşamasındaki prefabrike yapı örneği

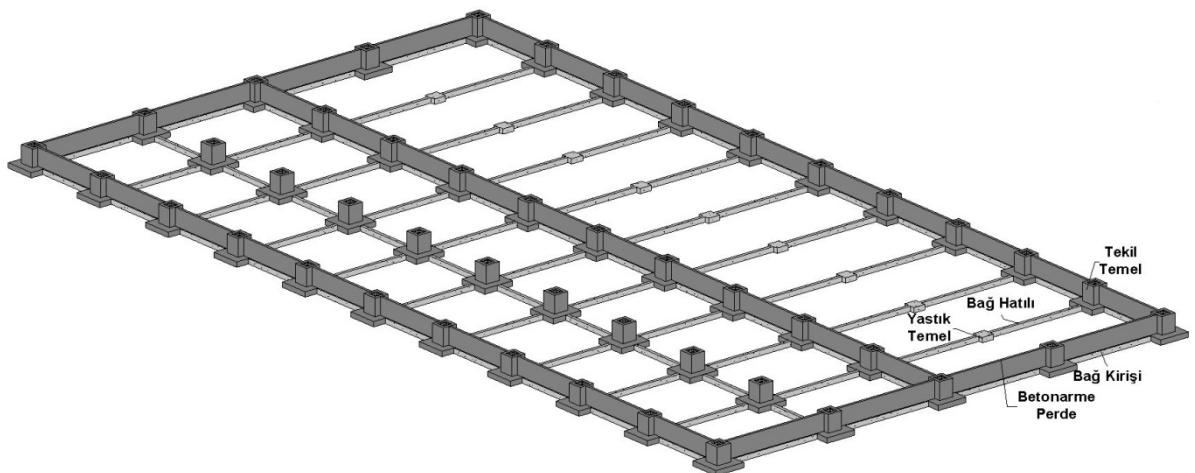


Şekil 1.4. Betonarme taşıyıcı sistemi tamamlanmış prefabrike yapı örneği

1.1.1. Prefabrike Yapı Sistemlerinde Altyapı Elemanları

Prefabrike yapı sistemlerinin altyapı kısmı, mimari proje gereklilikleri, yapının makas ve oluk yönündeki açıklıkları, yapının yapılacağı konumun imar şartları, depremsellik özellikleri ve zemin parametreleri referans alınarak yapılan statik hesaplar sonucu çeşitlilik göstermekle beraber sistemi oluşturan betonarme elemanlar genellikle tekil temeller, betonarme perdeler, bağ hatılları, bağ kirişleri ve yastık temellerden oluşmaktadır.

Burada tekil temeller, kolonlar vasıtasıyla toplanan yapı yükünü zemine aktaran elemanlardır. Bağ hatılları ve bağ kirişleri Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kurallarına (TS 500 / Şubat 2000) göre tekil temellerin her iki doğrultuda birbirine bağlanması mecburiyetine istinaden üretilen betonarme elemanlardır. Bu elemanların amacı yalnızca temelleri birbirine bağlayıp yapının alacağı yük etkilerine karşı temellerin bir arada çalışmalarını sağlamaktır. Bunun haricinde farklı oturumları engelleyici veya zemin taban basıncını karşılama gibi bir görevleri yoktur. Betonarme perdeler ise mimari projeye göre yapı dış kenarlarında ve özellikle yapı içerisinde bulunan idari bina kısımlarının dış kenarlarında yapılacak olan bölme duvarların veya eğer projede saha betonu kotunun üzerinde yapılacak olan betonarme perde duvarlar mevcutsa bu duvarların yapı temel sistemine bağlanabilmesi için soket aralarına yerleştirilen betonarme elemanlardır. Betonarme perdelerin bir diğer özelliği ise altyapı sistemine serilecek olan stabilize dolguya yapı kenarlarından çerçeve oluşturmaktır. Yastık temeller özellikle serbest açıklığın çok geniş olduğu yerlerde kullanılan bağ hatıllarının narin eleman olarak davranması ve büyük uzunluklarda alacağı yük etkilerinde hasar oluşmasının önüne geçmek adına tampon betonarme eleman görevi görmektedir. Bir prefabrik yapıda altyapı sisteminde kullanılan başlıca betonarme elemanlar ve işlevleri bu şekilde özetlenebilir. Şekil 1.5'te Türkiye Prefabrik Birliği'nin örnek yapısının modeli üzerinde altyapı elemanları gösterilmektedir.



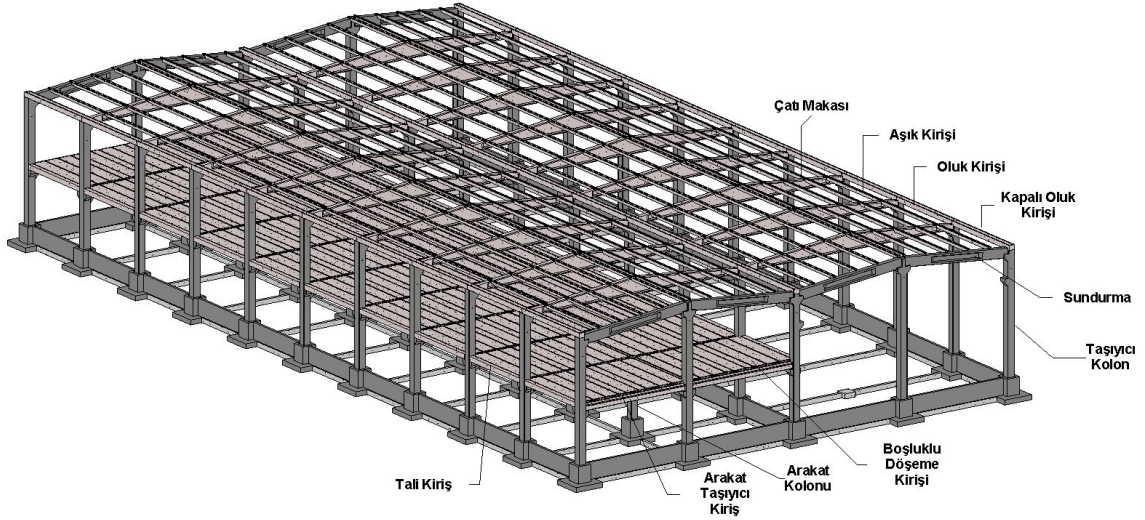
Şekil 1.5. Prefabrik yapıda altyapı elemanlarının model üzerinden gösterimi

1.1.2. Prefabrik Yapı Sistemlerinde Üstyapı Elemanları

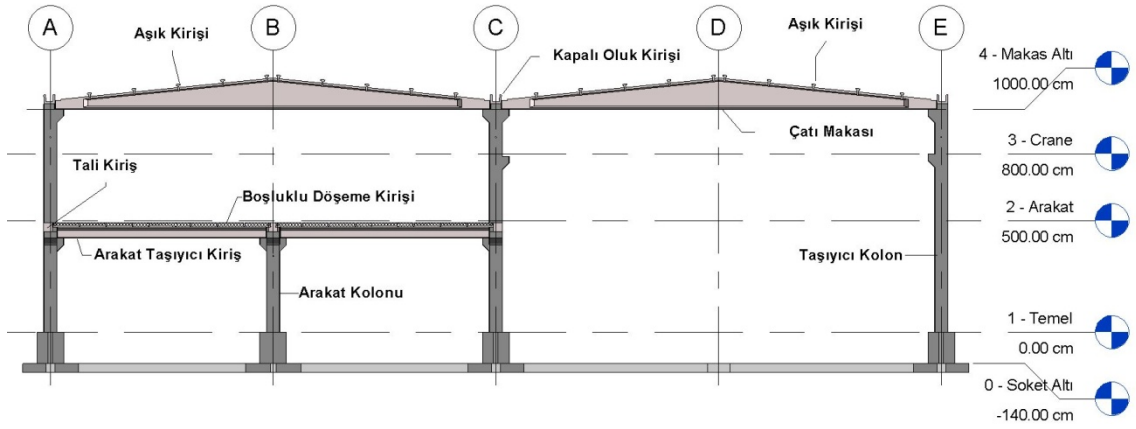
Standart arakatlı bir sanayi yapısı alt yapı elemanları ile birlikte prefabrike yapı üstyapı sisteminden meydana gelmektedir. Yapının kullanım amacı, mimarı gereklilikler, yapının yapılacağı bölgedeki imar şartları ve proje sahibinin isteklerine göre prefabrike yapı şekillenir ve bölgenin depremselliği, yapının yapılacağı zemin özellikleri referans alınarak yapılan statik hesaplara göre tasarımlar gerçekleştirilir. Prefabrike üst yapı sistemi oluşturulurken kullanılan elemanlar genellikle taşıyıcı kolonlar, arakat kolonları, arakat tali kirişleri, arakat taşıyıcı kirişleri, arakat döşemeleri, çatı makasları, sundurma kirişleri, oluk kirişleri ve aşık kirişlerinden oluşmaktadır.

Burada taşıyıcı kolonlar arakat kotunda tali kirişler ve taşıyıcı kirişleri taşıırken çatı kotunda makas veya sundurma kirişlerini taşımaktadır. Arakat kolonları ise çatı makası veya sundurma taşımadan yalnızca arakat kirişlerini taşıyan betonarme elemanlardır. Arakat taşıyıcı kirişleri döşeme kirişlerinin yükünü alıp bu yükü kolonlara aktaran elemanlardır. Arakat tali kirişleri ise TBDY - 2018 madde 8.6.2.4'te belirtilen "Önüretimli betonarme döşeme sistemlerinin perde ve/veya kirişler ile sınırlandırılması zorunludur. Bu amaçla her iki doğrultuda, tüm eksenlerde çerçeve kirişleri kullanılacaktır." kuralının gereği olarak döşeme kenarlarının bitirilmesinde kullanılan betonarme elemanlardır. Arakatta kullanılan döşeme kirişleri genellikle boşluklu ve " π (pi)" plak döşeme olarak iki tipte olup arakat alanının kapatılmasında kullanılan taşıyıcı elemanlardır. Çatı makasları ve sundurma kirişleri çatı yükünü üzerine alıp kolonlara aktarıırken oluk kirişleri ise ara ve kenar ana akslarda kolon üzerlerine yerleştirilen ve çatıya gelen yağmur suyu ve kar sularının tahliyesinde kullanılan elemanlardır.

Bu çalışmanın konusu olan aşık kirişleri ise makas veya sundurma kirişlerinin arasında kalan alanın kapatılmasında kullanılan ve çatı kaplama malzemesiyle birlikte varsa çatıya yerleştirilecek olan ilave güneş paneli gibi sistem yüklerinin makaslara aktarımını sağlayan betonarme elemanlardır. Bunların arasında kolonlar ve tali kirişler haricinde geriye kalan prefabrik elemanlarda taşıyıcılığın arttırılıp daha küçük kesitlerle büyük açıklıkların geçilmesine olanak sağlamak adına öngerme sistemi kullanılmaktadır. Şekil 1.6 ve Şekil 1.7'de yine Türkiye Prefabrik Birliği'nin örnek yapısının modeli üzerinde bir prefabrik yapı sisteminin oluşturulmasında kullanılan prefabrik üstyapı elemanları açıklanmıştır.



Şekil 1.6. Prefabrike yapıda üstyapı elemanlarının model üzerinden gösterimi



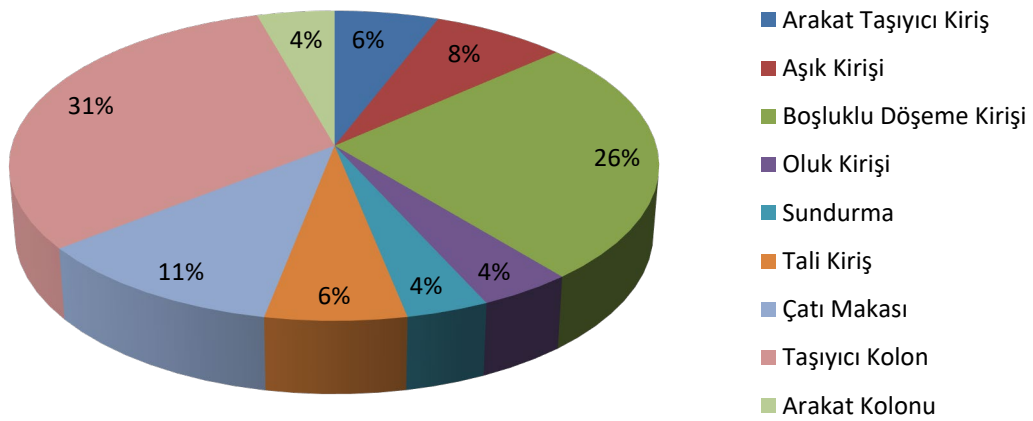
Şekil 1.7. Prefabrik yapıda üstyapı elemanlarının model kesiti üzerinden gösterimi

1.2. Çalışmanın Amacı

Çalışmanın odak noktası, prefabrike yapı elemanlarının taşıma gücü kapasitesini azaltmadan daha ekonomik bir şekilde tasarlamak olduğundan beton ve donatı miktarını azaltacak çözümler aramaktır. Bunun için Şekil 1.6'da gösterilen örnek bir prefabrike sanayi yapısının taşıyıcı elemanlarına ait güncel beton metrajları hesaplanarak Çizelge 1.1'de verilen sonuçlara ulaşılmıştır. Bu sonuçlar daha anlamlı biçimde Şekil 1.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Örnek model üstyapı eleman beton metrajları

Eleman Adı	Miktarı (Adet)	Hacmi (m ³)
Arakat Taşıyıcı Kiriş	22	31,05
Aşık	200	40,03
Boşluklu Döşeme	180	136,04
Oluk	30	21,86
Sundurma	8	19,34
Arakat Tali Kiriş	30	32,93
Çatı Makası	18	59,82
Taşıyıcı Kolon	37	165,92
Arakat Kolonu	9	23,13
Toplam	534	530,12



Şekil 1.8. Üstyapı elemanlarının beton miktarlarının toplam yapı beton metrajına oranları

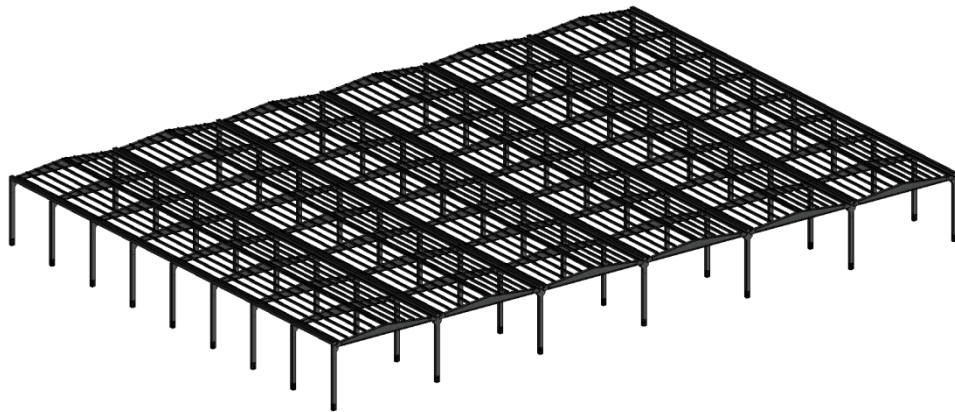
Burada örnek modelin verileri incelendiğinde aşıkların beton metreküp miktarı üstyapıyı oluşturan toplam beton metreküp miktarının %8'ine denk gelmektedir. Görüldüğü üzere bu değer makasların toplam beton miktarına neredeyse denktir.

Bahsedilen bu durum büyük boyutlu projelerde daha fazla öne çıkan veriler ortaya koymaktadır. Prefabrik birliğin örnek modelinin haricinde özellikle Türkiye'deki Organize Sanayi Bölgelerinde (OSB) oluşturulan yapı sistemleri düşünüldüğünde tipik bir yapı sistemi; taşıyıcı kolonlar, çatı makasları, oluklar ve aşıklardan oluşmaktadır. Altyapı tasarımını dikkate almadan makas ve oluk yönünde birer açıklıklı bir prefabrik yapıyı oluşturan üstyapı elemanları adet olarak incelenirse 4 adet kolon, 2 adet makas, 2 adet oluk ve minimum 10-12 adet aşıktan meydana geldiği Şekil 1.9'da görülmektedir.



Şekil 1.9. Oluşturulan tek açıklıklı prefabrik üstyapı tasarımı

Şekil 1.9’da gösterilen prefabrik yapı tasarımında dikkate alınan elemanların beton metreküp değerleri incelendiğinde kolonlar için 6.724 m^3 , makaslar için 3.496 m^3 , oluklar için 1.636 m^3 ve aşıklar için 2.616 m^3 sarfiyat ortaya çıkmaktadır. Ancak uygulamada farklı tasarımlara sahip prefabrik yapıların varlığı hesaplanan bu beton sarfiyatlarını da büyük ölçüde değiştirmektedir. Şekil 1.9’da aşık elemanlarının diğer yapı elemanlarına göre sayıca fazla olması, yapının toplam beton metrajının %18’ ini oluşturmasını sağlamıştır. Bu oran büyük metrajlı işlerde daha yüksek bir değere dönüşmektedir. Bu durum Şekil 1.10’da daha detaylı görülmektedir.



Şekil 1.10. Şekil 1.9’deki modelin makas ve oluk yönlerinde genişletilmiş tasarımı

Şekil 1.10, Şekil 1.9’da gösterilen modelin makas altı yüksekliği sabit tutularak oluk ve makas yönlerinde çoğaltılmasıyla oluşturulmuştur. Sistemin daha büyük bir alana etki etmesi kullanılan aşık eleman sayısının artışına doğal olarak aşık elemanı/tüm

sistemdeki yapı elemanlarına karşılık gelen beton sarfiyatının artmasına yol açmıştır. Bu oran %33 olarak hesap edilmiştir. Şekil 1.9 ve Şekil 1.10'da gösterilen yapı modellerinin incelenmesi ile küçük ve narin elemanlar olarak görünen aşıkların üst yapı elemanları içerisinde büyük beton hacmine sahip oldukları görülmektedir. Dolayısıyla aşık elemanları üzerinde yapılacak kesit azaltımına yönelik her türlü yaklaşım beton sarfiyatının azalmasına ve ekonomik kazanç anlamına gelmektedir.

1.3. Prefabrik Yapı Sistemlerinde Aşık Kirişleri

Prefabrike betonarme aşık kirişleri en basit tanımı ile yapının çatı en üst noktasına konumlandırılıp çatı sisteminin üzerine gelecek olan ölü (çatı kaplaması, güneş paneli yükü vs.) yük ve hareketli (yağmur, kar vs.) yükleri üzerine oturduğu ana taşıyıcı elemanlara aktaran betonarme prefabrik yapı elemanlarıdır. Üzerine yerleştirildiği çatı makası veya sundurma gibi ana taşıyıcı elemanlara pimli bağlantı ile bağlanan ve ardından kalan pim boşluğu yüksek dozlu rötresiz grout harcı ile doldurulan, üzerine yerleştirildiği prefabrike elemanlar arasında bağlantı sağlayıp bu elemanların arasında kalan büyük açıklıkların daha ekonomik kesitlerle geçilmesinde büyük rol oynayan kirişlerdir. Tasarımı projenin yapılacağı bölgenin çevre koşulları ve iklim şartları, rakım değerleri dikkate alınarak kirişin üzerine gelebilecek kar, yağmur, rüzgar yüklerine ve ölü yüklere göre gerçekleştirilir. Aşığın geçeceği mesafe ve tasarım yüklerine göre betonarme hesap yapıp üretimi gerçekleştirilir. Üzerine gelecek olan yük miktarı ve geçilecek mesafeye göre öngerilmemiş olarak tasarlanan aşıklar olsa da genellikle öngerilmeli olarak tasarımı yapıp beton sınıfı olarak minimum C40 kullanılmaktadır. Günümüz inşaat teknolojisinde kullanılan öngerilme sistemi ile kirişin çekme bölgesine uygulanan ilave basınç kuvveti aşık kirişlerinde büyük açıklıkların çok küçük kesitlerle geçilebilmesini sağlamaktadır.

Aşıklar her prefabrik yapı üreticisi tarafından farklı kesit geometrik ölçülerinde üretilebilmektedir. Ancak genel anlamda kesit görünümleri şekil olarak benzerlik göstermektedir. Bu tip kirişler inceltilmiş uçlu kirişler olarak da bilinmektedir. Şekil 1.11, Şekil 1.12'de üretim sonrası istiflenmiş kirişler ile Şekil 1.13'te ise montajı tamamlanmış aşık kirişleri görülmektedir.



Şekil 1.11. Prefabrik aşık kirişleri



Şekil 1.12. Prefabrik aşık kirişleri



Şekil 1.13. Montajı tamamlanmış prefabrik aşık kirişleri

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Betonarme yapılarda yapı içerisinde kurulacak olan elektrik, temiz su, atık su, telekomünikasyon, ısıtma ve iklimlendirme vb. sistemler nedeniyle kirişlerin eğilme bölgelerinde veya mesnet noktalarına yakın kesme bölgelerinde kirişlerin üretimi sırasında veya sonradan boşluklar açılabilmektedir. Açılan bu boşlukların kiriş kesme ve moment taşıma kapasitesinde ve sünekliğinde oluşturacağı kayıplar araştırılması gereken bir konu olarak öne çıkmaktadır. Bunun için literatürde hem boşlukların bulunduğu konumun hem de şekil ve büyüklüklerinin kiriş moment taşıma kapasitesinde ne gibi değişiklikler oluşturduğu farklı yükleme protokolleriyle araştırılmakla beraber bu boşlukların oluşturacağı olumsuz sonuçları gidermek adına üretim aşamasında veya sonradan ne gibi güçlendirme metotlarının uygulanabileceği konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Ancak bu çalışmadaki ana odak noktası olan daha ekonomik kesitler tasarlamak adına kirişlerde boşluk bırakma düşüncesiyle ilgili belirgin bir çalışmaya rastlanmayıp sadece Aykaç S. vd. (2011) tarafından çalışmaya bu bölümde yer verilmiştir.

2.1. Literatürdeki Çalışmalar

Literatür kapsamlı bir şekilde incelendiğinde incelenmiş uçlu kirişlerin kesme ve eğilme bölgelerinde açılan boşluklara göre çalışmalar çoğunlukla deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Özellikle son 20 yılda gerçekleştirilen güncel çalışmalar detaylı olarak verilmiştir.

Atif H. (2009), yaptığı çalışmada kiriş mesnet noktası ile yükleme noktasının (yükleme kiriş merkez noktasından düşey doğrultuda) tam orta noktasına diğer mesnet aralığıyla simetrik bırakılan iki adet dikdörtgen geometriye sahip ve yüksekliği standart 12 cm olup boyu değişken şekilde tasarlanan boşlukların farklı boy donatısı ve boşluk çevresi takviye donatısı değerleriyle boşluk alt ve üstüne yerleştirilen etriye aralıklarının boyutu gibi birçok değişken altında hem statik hem de tekrarlanan yükler altında bir dizi deney gerçekleştirmiştir. Kullanılan kiriş 12x30x200 cm boyutlarında olup C70 beton sınıfına sahiptir. Yapılan deneyler sonucunda artan boşluk boyutunun kiriş taşıma kapasitesinde ve sünekliğinde belirgin bir düşüşe neden olduğu görülmüştür. Boşluk çevresine atılan çapraz donatıların taşıma kapasitesinde kayda değer bir etki

göstermemekle birlikte olumlu yönde etki ettiği söylenebilir. Kiriş ana donatılarında uygulanan çap artışının boşluklu tasarımda çok fazla olumlu etki göstermediği görülmektedir. Bu durum boşluksuz referans kirişler için böyle değildir. Yine boşluk altında ve üstünde kalan beton içindeki etriyelerin sıkılaştırılması da belirgin bir değerde olmasa da taşıma gücüne olumlu yönde etki etmiştir. Nihai olarak sonuçlar toparlandığında kirişlerin kesme bölgelerinin içerisinde kalan noktalarda bırakılan boşlukların taşıma gücü ve süneklikte azalmalara yol açtığı, bırakılan boşlukların büyütülmesinin daha olumsuz sonuçlara neden olduğu ortadadır. Kirişlerde donatı çaplarındaki büyüme, etriye sıkılaştırması ve boşluk etrafına atılacak olan ilave çaprazlar olumlu yönde etki etse bile boşluksuz forma göre daha düşük taşıma gücü değerlerine ulaşılmasına engel olamamaktadır.

Aykaç vd. (2011), yaptıkları çalışmada kiriş üzerinden 4 noktadan etki ettirilen düşey yükler altında farklı konfigürasyon ile oluşturulmuş olan betonarme kirişler üzerinde deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada geometrik olarak boşluksuz 3 adet referans kiriş, gövdesinde eşit boyutlarda üçgen şeklinde boşluk bulunan 3 adet boşluklu kiriş ve gövdesinde eşit çapta dairesel boşluklar bulunan 3 adet boşluklu kiriş 15x40x400 cm boyutlarında toplamda 9 adet üretmişlerdir. Boşluklar gerilme yığılmalarının önüne geçebilmek adına bölgesel olarak değil kiriş gövdesi boyunca hem eğilme hem kesme bölgelerinde bırakılmıştır. Kirişlerde boşluk şekliyle beraber değişken olarak aratan oranda çekme donatısı kullanılmıştır. Boşluksuz kirişlerde çekme donatısı olarak sırasıyla 2Ø10, 4Ø10 ve 7Ø10 donatı kullanılırken basınç donatısı olarak standart 2Ø8 donatı kullanılmıştır. Boşluklu kirişlerde ise çekme donatısı olarak sırasıyla 2Ø10+2Ø8, 4Ø10+2Ø8 ve 7Ø10+2Ø8 donatı kullanılırken basınç donatısı olarak standart 4Ø8 donatı kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kirişlerin tümünde taşıma gücünü eğilme kapasitesi belirlemiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde donatı miktarı az olan dairesel ve üçgen boşluklu kirişler beklenenden daha sünek davranış göstermiş ve süneklik açısından referans numuneye yakın değerler ortaya koymuşlardır. Orta düzeyde donatı bulunan kirişlerde de dairesel boşluklu kiriş istenilen seviyede sünek davranış göstermiştir. Ancak fazla oranda donatı bulunan kirişlerde yeterli süneklik sağlanamamıştır. Yani atılan fazla donatı taşıma gücünü arttırırken süneklik açısından olumsuz sonuçlara sebep olmuştur. Boşluksuz referans numunelere göre bakıldığında eğilme rijitliklerinde %10-%30 arasında sehim hesaplamalarını etkileyecek düzeyde azalmalar meydana gelmiştir. Nihai olarak belirli

seviyede tutulan çekme donatısı oranı ile dairesel boşluk formunda üretilen kirişler uygulanabilirlik yönünden yeterli ve referans kirişe yakın taşıma gücü sağlamıştır. Bu çalışmadaki en iyi boşluk formu daireseldir.

Ahmad vd. (2012), yaptıkları çalışmada farklı boşluk tiplerindeki kirişleri düşey yükler altında incelemiştir. Oluşturulan boşluk çevrelerine ilave donatı atarak bu noktaları güçlendirme yoluna gitmişler. Ancak yapılan çalışma sonucunda küçük açıklıklı kirişlerin boşluklu formlarda daha güvenilir olduğu sunucuna ulaşmışlardır.

Ihsan vd. (2017), yaptıkları çalışmada kiriş gövdelerinde iklimlendirme, atık veya temiz su ve elektrik hatları için açılacak olan boşlukların kirişin taşıma kapasitesi ve rijitliğine olan etkilerini araştırmak adına erken eğilme kırılmalarının önüne geçmek için ilave eğilme donatısı kullanarak kesme hasarı alacak şekilde beton basınç dayanımı, boşluk şekil ve boyutu, kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı (a_v/d), düşey ve yatay donatı oranları ve yükleme protokolüne göre farklı olarak grupladıkları 18 adet 15x40x140 cm boyutlarındaki kirişlerle deneyler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmanın sonucunda kirişte bırakılan kare şeklindeki boşluğun daire şeklindeki boşluğa göre daha fazla kapasite azalmasına neden olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte kare formundaki 50x50 mm, 60x60 mm ve 70x70 mm boyutlarındaki boşluklu kiriş sonuçları karşılaştırıldığında boşluk boyutu arttıkça kapasitede bir azalma meydana geldiği görülmüştür. Bu durum dairesel boşluk içinde geçerlidir. Aynı boşluk miktarına sahip farklı eğilme donatısı olan kirişler karşılaştırıldığında adet sabit kalmakla beraber donatı çapı artışının kapasiteye olumlu etki ettiği gözlemlenmiştir.

Tarek vd. (2018), yaptıkları çalışmada kiriş ortasına merkezli ve eğilme bölgesi sınırlarında boşluk açılmasıyla kirişlerin davranışında oluşan değişimleri ve bu boşlukların boyutunu, kiriş yükleme durumunun davranıştaki değişime etkilerini araştırmışlardır. Bununla beraber 2 farklı güçlendirme yöntemi ile yapılacak iyileştirmenin taşıma gücüne katkısını incelemiştir. Çalışmada hem deneysel hem de parametrik yöntem denenmiştir. Toplamda 7 adet 20x45x300 cm boyutlu kirişler 2 grup halinde üretilmiştir. 1. grupta 2 adet deney numunesi olup bunlardan biri boşluksuz olup diğerinde herhangi bir güçlendirme olmayıp 45x22.5 cm gövde boşluğu bulunmaktadır. Bu kirişler 4 noktalı eğilme testine tabi tutulacaktır. 2. grupta ise 5 adet deney numunesi

olup 1 adeti boşluksuz, 2 adeti 45x22.5 cm gövde boşluklu ve 2 adeti ise 90x22.5 cm gövde boşlukludur. Boşluklu formdaki deney numunelerinden 45x22.5 cm boşluklu olan Karbon Fiber Takviyeli Polimer CFRP ile güçlendirilirken 90x22.5 cm boşluklu olan numune ise Cam Elyaf Takviyeli Polimer GFRP ve boşluk üst kısmında kalan beton yüzeyinden 5mm çelik plaka ile güçlendirilmiştir. Böylelikle 2. Gruptaki deney numuneleri kiriş üstünden merkezli tek noktadan deneye tabi tutulmuştur.

Sonuçlar incelendiğinde 1. Gruptaki elemanlarda nihai taşıma yükünde büyük bir değişiklik olmazken boşluklu numunenin yük altında deplasman yapma kabiliyeti yarı yarıya azalmış ve numune boşluksuz numuneye kıyasla gevrek davranış göstermiştir. Yüklemelerin tek noktadan yapılmasıyla kiriş kapasitelerinde genel bir azalma olduğu görülmekle beraber kirişlerde açılan boşlukların yine kapasite kaybına yol açtığı ifade edilmiştir. Açılan boşluğun uzunluğunun artırılması ile kiriş kapasitesinde çok büyük azalma oluşmuştur. Çelik plaka takviyeli GFRP güçlendirme uygulamasının büyük başarı göstererek nihai taşıma yükü konusunda boşluklu forma yaklaştığı görülmüş ancak kirişin deformasyon yapabilme kapasitesinde dolayısıyla sünekliğindeki büyük azalmaların önüne geçilememiştir. Sonuçlar toparlandığında kiriş gövdesinde açılan boşlukların nihai taşıma yükü ve deformasyon yapabilme kapasitesi noktalarında büyük zayıflıklar getirdiği, nihai taşıma yükünün yapılan güçlendirmeler ile istenilen eski seviyelere yaklaştırılabildiği ancak süneklik konusunda yeterli iyileştirmelerin sağlanamadığı görülmüştür. İlâveten kiriş eğilme bölgesinde ve kiriş merkezinde açılan boşluğun boyutsal oranı $l_0/h_c \leq 3$ (l_0 =boşluk yatay uzunluğu, h_c =boşluğun altında ve üstünde kalan boşluklardan büyük olanı) olduğu durumda taşıma gücünde büyük bir azalma olmayıp güçlendirmenin gerekmediği ancak $4 \leq l_0/h_c \leq 8$ olduğu durumda güçlendirmenin gerektiği, $8 \leq l_0/h_c$ olduğu durumda ise güçlendirmenin de yetersiz kalabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Qasım vd. (2018), yaptıkları çalışmada kirişlerde bırakılan boşluğun, büyüklüğünün ve kiriş gövdesindeki konumunun kiriş performansına etkisini araştırmışlardır. Bununla birlikte CFRP uygulamasının üç farklı sargılama yöntemi kullanarak kirişlerde oluşturacağı iyileştirmeleri araştırmışlardır. Bunun için güçlendirme uygulanan 8 kiriş bir gruba ayrılmış ve biri referans boşluksuz olmak üzere 5 adet güçlendirme uygulanmayan kiriş ise diğer grup olmak üzere toplamda 13 adet 16x35 cm gövdeli, 44x10 cm üst başlıklı 160 cm uzunluğunda T-kiriş üretmişlerdir. Boşluklar bırakılırken 2 adet kirişte 15x15 cm boyutunda kare boşluk olup her iki kirişte

de boşluk uç noktasından 22,5 cm mesafeden itibaren yerleştirilmiştir. Ancak tek fark birinde boşluğun üst çizgisi üst başlıkla sınır olurken diğeri üst başlıktan 7,5 cm aşağıda başlamaktadır. Diğer 2 adet kirişte ise boşluk 25x15 cm boyutlarında olup kiriş uç noktasından 17,5 cm uzaklıktan itibaren yerleştirilmiştir. Yine bu iki kirişinde farkı düşey doğrultuda boşlukların konum farklarıdır. CFRP ile güçlendirme yöntemiyle de 8 adet oluşturulan kirişlerde ilk olarak boşluk altında kalan kısmın kılıflanıp bunun 5 cm genişliğindeki üç adet CFRP şerit ile sarılması yöntemi, ikinci olarak birinci yönteme ek boşluk iç yüzeyinin tamamen sarılması yöntemi, son olarak boşluk altında kılıflanan kısmın şeritlerle sarılması yöntemi denenmiştir. Üç adet yöntem tekrar üretilen kare boşluklu tasarımlara uygulanmıştır. Dikdörtgen boşluklu kiriş tasarımları için ise sadece ikinci güçlendirme metodu uygulanmıştır. Üretilen kirişler mesnet noktalarından 40 cm merkeze doğru simetrik iki noktadan yük etki ettirilerek kırılma aşamasına kadar yüklenecek deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda açılan boşlukların kiriş taşıma gücünde belirgin bir azalmaya neden olduğu görülmekle beraber boşluklu formlarda ise boşluk boyutunun artması taşıma gücünü daha da azaltmıştır. Ancak kiriş kesitine göre üst başlığa yakın olan tasarımın daha başarılı sonuçlar verdiği rahatlıkla söylenebilir. CFRP kullanılarak yapılan güçlendirme sonucunda tüm tasarımlar kapasitede artış sağlarken en iyi sonuç 15x15 cm boşluk bulunan ve boşluğu üst başlığa yakın olan kirişteki alt başlığın şeritlerle sarıldığı üçüncü sargılama tasarımı olmuştur. Nihai olarak kiriş kesme bölgesi içerisinde bırakılacak olan boşlukların büyük kapasite kaybına yol açtığı, bu durumun güçlendirme metotlarıyla iyileştirilmesinin mümkün olduğu ancak yine de boşluksuz tasarımların daha güvenli olduğu rahatlıkla söylenebilir. Bırakılan boşluğun kesit görünümüne göre üst başlığa yakın olması önerilen tasarım şeklidir.

Sadjad vd. (2020), yaptıkları çalışmada kendinden yerleşen beton kullanılarak üretilen içi strafor malzemelerle boşluklu üretilen 7 adet kirişin 6 adetine, ön ve arka yüzeylerinde olmak üzere farklı adetlerde boşluklar açıp bu kirişlerin 3 adetinde CFRP ile güçlendirme gerçekleştirip 7 adet kirişi iki noktalı simetrik düşey yükler altında incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda ön ve arka yüzeyde açılan boşlukların konumunu kirişin yük etkileri altında farklı hasarlar almasını sağladığı sonucuna ulaşmışlardır. Hem güçlendirmesiz hem de CFRP ile güçlendirilen her iki grupta da referans numuneye göre yük taşıma kapasitesinde azalma olduğu görülmüştür. CFRP ile güçlendirilen kirişler güçlendirme yapılmamış kirişlere göre yük etkisi altında

dairesel boşlukların kenarlarında oluşan çatlak sayısı ve kalınlığında azalma meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca güçlendirilmiş kirişler güçlendirme uygulanmayan kirişlere göre yük etkisi altında daha düşük sehim yapmıştır. Referans numuneye göre ilk çatlama yükü ve nihai yük taşıma kapasitesi irdelendiğinde boşluklu yapının ilk kırılma ve nihai yük taşıma kapasitesini azalttığını ve boşluk sayısındaki artışın azalmayı daha da büyüttüğü sonucuna ulaşılmıştır. Ancak yapılan boşluk sonrası CFRP uygulamasının tek boşluklu kirişin kapasitesini referans numuneye yaklaştırdığı ancak artan boşluk sayısının yine kapasiteyi azalttığı görülmüştür. Sonuç olarak kirişin gövdesinde açılan boşlukların sünekliği ve yük taşıma kapasitesini azalttığı açılan boşluk adetinin artmasının bu azalmayı büyüttüğü sonucuna ulaşıp CFRP ile yapılan güçlendirmenin bu değerleri iyileştirse de boşluksuz formun kapasite ve sünekliğini yakalayamadığı söylenebilir.

Sarah vd. (2020), yaptıkları çalışmada farklı sebeplerle kiriş gövdelerinde açılan boşlukların oluşturduğu taşıma gücü kapasitesi ve süneklikteki azalmaların iyileştirilmesi adına araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Bunun için 17x45x170 cm boyutlarında gövde orta noktasına merkezli 15x13 cm boyutunda dikdörtgen kesitli boşluk bırakarak 5 adet kiriş üretilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında kiriş gövdelerinde açılan boşlukların geometrisinin kirişte oluşacak olan ilk çatlama hızı ve kırılmanın şeklini etkilediği; dairesel, kare ve dikdörtgen şeklinde oluşturulan boşluklardan en kritiğinin dikdörtgen olduğu görülmüştür. Çalışmada kullanılan boşluğun formu bu nedenle en riskli olan dikdörtgen geometri olarak seçilmiştir. Kirişlerde açılan boşlukların olumsuzluğunu gidermek adına üretilen 5 adet kirişin 4 adetinde sırasıyla boşluğun bulunduğu noktanın etrafına çelik lif içeren betonla, yarı eşkenar dörtgen çapraz donatılarla, boşluk iç yüzeyini kaplayacak şekilde çelik levhayla ve boşluğun altında kalan beton içerisine yerleştirilen çelik profil ile oluşturulan kompozit yapı ile güçlendirme metodları denenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda tüm güçlendirme metodlarının taşıma kapasitesi (%8,5-%21,37 aralığında) ve süneklik (%2,5-%44,2 aralığında) anlamında olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Özellikle süneklikteki artışın kirişlerde gevrek kırılmaların önüne geçilmesini sağladığı ve yapı güvenliğini arttırdığı söylenebilir. Kirişlerde yükleme altında ilk eğilme çatlaklarının oluşması anına kadar en büyük yükün taşınmasında çelik lif içeren beton tasarımı başarılı olmuştur. Ancak maksimum yük taşıma kapasitesini ve maksimum deplasman yapabilme kabiliyetini kompozit yapı sağlamıştır. Referans numune ve güçlendirilmiş

diğer 4 numune direk boşluk köşesinde oluşan diyagonal kesme çatlağıyla hasar alırken, kompozit yapı ile güçlendirilen numunede önce üst başlık tamamen ezilmiş bunun ardından oluşan diyagonal kesme çatlağı ile hasar alınmıştır. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde kiriş gövdesinde açılan boşlukların oluşan hasar davranışı istenmemesine rağmen kesme hasarına doğru yönelttiği ancak açılacak olan boşluk etrafında uygulanacak doğru güçlendirme metodu ile bu durumun önüne geçilebileceği anlaşılmıştır.

Fouad vd. (2020), yaptıkları çalışmada C30 beton sınıfı kullanılarak üretilen 15x20x200 cm boyutlarındaki, kesme bölgesine kiriş ucundan sabit 30 cm uzaklıkta her iki uçta dairesel boşluklar bırakıp kiriş orta noktasının sağ ve sol eşit mesafeli iki noktadan düşey yük etki ettirip biri referans olmak üzere toplamda 10 adet kiriş üzerinde deney gerçekleştirmişlerdir. Referans numune boşluksuz olup diğer 9 numune üç grup halinde birinci grupta 0.3d çapında dairesel boşluk olup boşluk kiriş üst noktasından aşağıya doğru sırasıyla 0.5d, 0,55d ve 0,6d mesafelerde konumlandırılmıştır. İkinci grupta ise dairesel boşluk çapı 0.4d ve üçüncü grupta dairesel boşluk çapı 0.5d olup boşlukların düşeydeki konumları yine birinci grup elemanlarında olduğu gibi sıralanıp bu elemanlar üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Bulunan sonuçlar değerlendirildiğinde kirişlerde bırakılan boşlukların büyüklüğü arttıkça kirişlerde taşıma gücü kapasitesinde ve süneklikte azalma olduğu saptanmıştır. Bununla beraber bırakılan boşluğun düşey olarak kiriş enkesitine göre tabana doğru yaklaşmasıyla yükleme altında deformasyon yapabilme kapasitesinin ve dolayısıyla sünekliğin boşluklu formdaki kirişler arasında düşünüldüğünde arttığı görülmüştür. Ancak nihai olarak tüm sonuçlara bakıldığında boşluklu formun boşluksuz forma kıyasla taşıma kapasitesi ve süneklik açısından daha düşük sonuçlar verdiği saptanmıştır.

Aksoylu vd. (2020), yaptıkları çalışmalarda özellikle yapıların bodrum kat kirişlerinde tesisat boruları vs. için açılan kontrolsüz deliklerin sonuçlarını ve bu deliklerin etrafının güçlendirme yollarını araştırmışlardır. Bu kapsamda farklı çaplarda ancak hepsinde kirişlerin kesme bölgelerine denk gelen noktalarda delikler açıp bu delikleri iki farklı metot kullanarak CFRP ile güçlendirme yolunu denemişlerdir. Çalışma sonucunda delik çapının güçlendirme yönteminin etki kapasitesini değiştirdiği ancak delik etrafında tümenden yapılacak olan CFRP sargı metodunun delik noktasının

atlanıp sıralı yapılan sargı yöntemine göre daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Farklı delik geometrilerinde yeni çalışmaların yapılabileceği de eklenmiştir.

Qasım vd. (2020), yaptıkları çalışmada kirişlerde bırakılan boşluğun geometrisinin, büyüklüğünün ve kiriş gövdesindeki konumunun kiriş performansına etkisini araştırmışlardır. Bunun için kirişteki belirlenen konum olarak yüksek, orta ve düşük eğilme momenti bölgelerinde olmak üzere üç noktada 170 mm çapında dairesel boşluk, 150 mm kenar uzunluğu olan kare boşluk; orta eğilme momenti bölgesinde 220 mm çapında dairesel boşluk, 150x250 mm boyutlarında dikdörtgen boşluk bulunan deney elemanları ile 1 adet boşluksuz referans deney elemanı olmak üzere toplamda 9 adet kiriş üzerinde çalışmışlardır. Kiriş inceltilmiş uç noktasının bittiği noktadan 450 mm mesafeden yükleme yapılmıştır. Belirlenen düşük orta ve yüksek eğilme momenti bölgeleri için boşluklar sırasıyla yükleme noktasından orta açıklığa doğru 165, 375 ve 485 mm ölçülere düşeyde ortalı ve verilen mesafelere merkezli yerleştirilmiştir. Deney elemanları düşey doğrultuda tekil yük etkisi altında denenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda bırakılan boşluğun en iyi sonuç verdiği konum yüksek pozitif eğilme momenti noktası olduğu çıkarımı yapılmıştır. Dairesel boşlukların kare boşluklara göre daha iyi sonuç verdiği de göz ardı edilmemelidir. Şekil farkı gözetmeksizin boşluk boyutunun büyümesi taşıma gücü yönünden olumsuz sonuçlar doğurmuştur. Referans kiriş ile düşük eğilme bölgesindeki kirişlerin davranışı karşılaştırıldığında dairesel boşluklu kiriş daha sünek davranış göstermiştir ve dairesel boşluklu kirişin taşıma kapasitesi diğer iki kirişe göre daha yüksektir. Kare şeklinde boşluklu olan kiriş gevrek davranış göstermiştir. Orta düzey eğilme bölgesinde bulunan dairesel ve kare şeklindeki boşluk bulunan kirişler değerlendirildiğinde her iki kirişin kapasitesinde de azalma oluşurken kare kesitli kirişin verilerinin olumsuz olduğu söylenebilir. Yüksek düzey eğilme bölgesinde bulunan 170 mm çapında dairesel boşluk bulunan kiriş tüm numuneler arasında en iyi sonucu vermiştir. Referans numuneye göre de hem ilk çatlama yükü hem de kırılma yükü açısından yüksek değerler sağlayan kiriş aynı zamanda daha fazla deplasman yaparak daha sünek bir davranış sergilemiştir. Nihai olarak kiriş gövdesinde doğru nokta ve doğru büyüklükte bırakılan boşluğun kapasitede azalma oluşturmak yerinde kapasitede artış sağlayabileceği sonucu çıkarılabilir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde amacın kirişlerde ekonomik olarak tasarruf sağlamak olmadığı genel anlamda kirişlerde farklı nedenlerle sonradan açılacak

olan boşlukların davranışa nasıl etki ettiği ve oluşabilecek kritik durumlara neden olabilecek boşluk boyutu, boşluk yeri ve boşluk şeklinin ne olduğu yönündedir. Yani bu çalışmanın odağı olan daha ekonomik kesitler üretme adına tasarlanan boşluklu kirişler ile ilgili literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Özellikle yakın geçmişte boşluklu kiriş tasarımı konusu üzerinde yoğunlaşma oluşmuştur.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Prefabrik yapı sistemlerinde aşık kirişlerinin tasarımını önemli ölçüde etkileyen nokta yapının oluk yönündeki aks aralıklarıdır. Bunun nedeni aşık kirişlerinin makaslara dik doğrultuda oluk yönünde çalışan elemanlar olmasıdır. Bu noktada mimari gereklilikler ön planda tutulsa da makas yönünde ulaşılan ortalama 25 metrelik açıklıklara nazaran oluk yönünde bu ölçüde mesafelere ulaşılması pratik bir durum olmadığından genellikle aşık boyutları oluk yönündeki aks aralıklarına paralel olarak 7.5-8 metre uzunlukta oluşturulmaktadır. Dolayısıyla proje uygulamalarında üretilen aşık kirişleri de genellikle 7.5-8 metre uzunlukta olup oluk yönünde sıralı şekilde yerleştirilen makas veya sundurma kirişlerinin arasında kalan boşluğun geçilmesini sağlamaktadır.

Deneysel çalışma Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Deprem Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada hedeflenen düşünce aşıkların eğilme etkisi altında birbiri ile kıyas edilmesi olduğundan aşık kesit geometrisi sabit tutularak laboratuvar koşullarının kapasitesine uyum sağlayabilmek adına boy kısaltmasına gidilerek aşık uzunluğu 2.5 kat küçültülüp 3.2 metre olacak şekilde planlanmıştır.

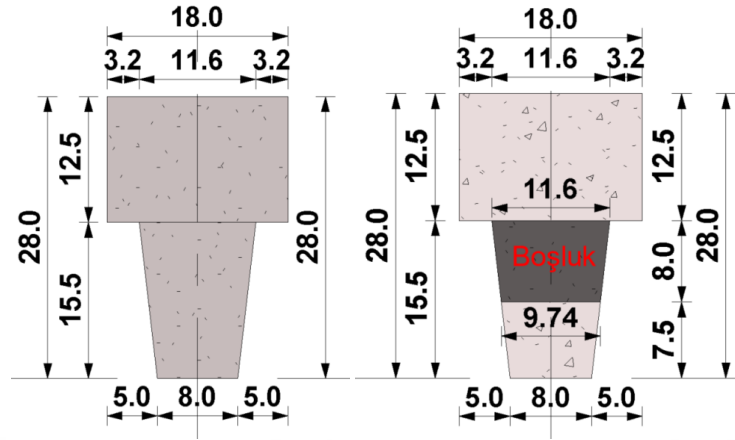
Bu kapsamda 8 adeti öngerilmeli, 8 adeti öngerilmemiş olmak üzere toplamda 16 adet aşık iki grup halinde tasarlanmıştır. Aşık gövdelerinde artan uzunluklarda boşluklar açılıp oluşturulan bu boşlukların kiriş kapasitesine olumlu-olumsuz etkileri araştırılmıştır. 24, 40, 56, 72, 3x24, 88 ve 104 cm uzunluğunda ve sabit 8 cm yüksekliğindeki boşluklar en kesit düşünüldüğünde üst başlık altına, boy kesit düşünüldüğünde kiriş merkezine yerleştirilip farklı konfigürasyonlar oluşturulmuştur. Boşluk geometrisi dikdörtgen olup farklı geometriler kullanılmamıştır. Tasarlanan aşıklar Çizelge 3.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneye tabi tutulacak olan aşıkların tasarımları

Öngerilmemiş Numara	Öngerilmeli Numara	Aşık Boy Kesit ($d=26.5$ cm, $a_v=95$ cm, $L=320$ cm, $a_v/d=3.58$)	Boşluk Boyutu (cmxcm)	Alan (cm ²)
P-0	PP-0		---	0
P-1	PP-1		24 x 8	192
P-2	PP-2		40 x 8	320
P-3	PP-3		56 x 8	448
P-4	PP-4		72 x 8	576
P-5	PP-5		3x24x8	576
P-6	PP-6		88x8	704
P-7	PP-7		104x8	832

Burada ilk grupta P-0 ve devamı öngerilmemiş aşıklarını ifade ederken ikinci grupta PP-0 ve devamı ise öngerilmeli aşıklarını ifade etmektedir. 0 ikincil numaralı aşıklar gövdelerinde herhangi bir boşluk bırakılmayıp deney elemanlarının kıyaslanacağı standart tasarım (referans numune) olarak dikkate alınmıştır. Aşıkların deneyleri sırasında kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı ($a_v/d=3.58$) sabit tutulmuştur.

Deneylerde kullanılacak olan hem boşluklu hem de boşluksuz aşıkların gövde merkez noktalarından alınan kesitlerinin detay ölçüleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan referans ve boşluklu aşıkların kesit özellikleri

3.1. Deney Elemanlarının Tasarımı

Prefabrike yapı sistemleri ile konvansiyonel yapı sistemleri tasarlanırken kullanılan hesap yöntemleri birbirine paralel olmakla beraber en belirgin farklılıklar taşıyıcı elemanların birleşim noktalarında öne çıkmaktadır. Konvansiyonel yapı sistemlerinde üretim monolitik olarak gerçekleştirildiğinden tüm yapı taşıyıcı elemanları birbirine ankastre bağlantılı olarak moment aktaracak şekilde bağlanmaktadır. Prefabrike yapı sistemlerinde ise durum farklıdır. Burada elemanlar (kolon, kiriş, döşeme vs.) birbirinden bağımsız olarak üretilip yapının inşa edileceği yerde farklı bağlantı metodları kullanılarak bir araya getirilmektedir. Bu metodlar moment aktaran veya aktarmayan birleşim olarak değişiklik gösterebilir. Bu durum tasarımı etkileyen en önemli faktördür. Aşık kirişlerinin montaj sırasında makaslarla olan birleşim detayı ile ilgili olarak TBDY 2018 madde 8.3.1.6’da ‘‘Aşık-makas bağlantıları dışındaki tüm pimli bağlantıların çimento harcı ile doldurulması ve serbest uçlarının pul ve somun ile bitirilmesi zorunludur’’ şeklinde belirtilmiştir. Yapılacak bu birleşimle aşıklar moment aktarmayan basit mesnetlenmiş şekilde ideal mafsalı bağlantı mantığına göre hesap edilmiştir. Bununla beraber prefabrik yapı elemanlarının üretim tesisinden alınıp yapının yapılacağı noktaya nakliyesi ve burada yapılacak montaj aşamalarında maruz kalacağı yük etkileri de göz önünde bulundurularak tasarımında ilave tedbirler alınması gereksinimi ortaya çıkmaktadır.

3.1.1. Hesap ve Tasarım

Deney elemanlarının kesit geometrisi üretimde kullanılacak kalıp dikkate alınarak, boyu ise deneylerin yapılacağı düzeneğin kapasitesi göz önüne alınarak belirlenmiştir. Bu nedenle hesap sırasında kullanılacak olan parametrelerin belirlenmesi adına aşışın bileşeni olduğu düşünülen yapı boyutları da standart sanayi yapılarına göre %50 küçültülerek düşünülecektir. Hesap sırasında teorik olarak yapı Konya Organize Sanayi bölgesinde yapılacak olup yüksekliği 5 m kabul edilmiştir. Çatı eğimi %10 (5,71°)'dir.

3.1.1.1. Çatı Yüğü Analizi

Kar Yüğü (q_k)

Kar yüğü çatı sistemine etki eden hareketli yüklerdendir. Yapı konumundaki iklim şartlarına göre değışkenlik gösterdiği için hareketli yük sınıfındadır. TS 498'e göre hesaplanmıştır (Denklem 1 ve Denklem 2).

$$P_k = m \cdot P_0 \quad (1)$$

$$m = 1 - \frac{\alpha - 30^\circ}{40^\circ} \quad (2)$$

TS 498 Çizelge 3'e göre çatı eğimine bağılı olarak azaltma değeri (m) çatı eğimi $\alpha = 5,71^\circ$ ve $0^\circ - 30^\circ$ aralığında kalındığı için $m = 1$ alınmıştır.

Konya için rakım 1016 m ve belirlenen yapı konumu II. Zati kar yüğü bölgesine denk gelmektedir. Bu değere göre TS 498 Çizelge 4'e göre;

$$P_{k0} = 1,155 \text{ KN/m}^2 = 117,77 \text{ kg/m}^2 \text{ hesaplanmıştır.} \quad (3)$$

$$P_k = m \cdot P_0 = 1 \times 117,77 = 117,77 \text{ kg/m}^2 \quad \mathbf{q_k = 117,77 \text{ kg/m}^2} \quad (4)$$

Çatı Kaplama Malzemesi Yüğü (g_k)

Çatı kaplama malzemesi olarak sanayi yapılarında genellikle kullanılan sandviç panel tercih edilmiştir. Bu malzemedan dolayı oluşan kaplama yüğü (g_k) zati yük olup $\mathbf{g_k = 15 \text{ kg/m}^2}$ olarak belirlenmiştir.

Rüzgar Yüğü (W)

TS 498'e göre rüzgar yüğü;

$$W_1 = c \cdot q \quad (5)$$

Rüzgar yönüne göre α açısı yapan eğimli yüzeyler için emme katsayısı $c = 1,2 \cdot \sin \alpha$ olarak belirlenmiştir.

$$W_1 = 1,2 \cdot \sin \alpha \cdot q \quad (6)$$

TS 498'e göre aşıklara etki eden rüzgar yükleri %25 oranında arttırılmıştır.

$$W = 1,25 \cdot W_1 \quad (7)$$

Yapının fiziksel özellikleri dikkate alınarak TS 498 Çizelge 5'e (Yükseklığe bağlı olarak rüzgar hızı ve emme) göre 0-8 metre aralığındaki çatı yüksekliği için emme yüğü $q = 0,5 \text{ KN/m}^2$ $q = 50,98 \text{ kg/m}^2$ olarak alınmıştır.

$$W_1 = 1,2 \cdot \sin 5,71 \cdot 50,98 = 6,08 \text{ kg/m}^2 \quad W = 1,25 \cdot 6,08 = 7,60 \text{ kg/m}^2 \quad (8)$$

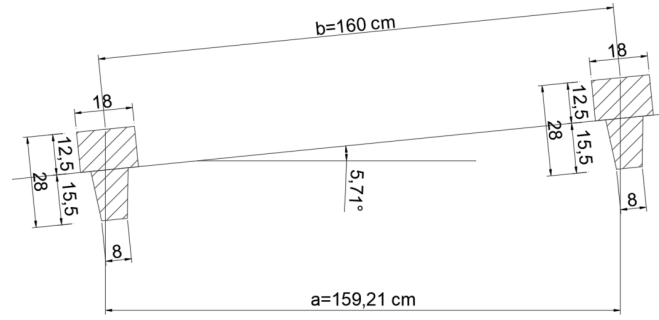
Yapılan hesaplar sonucu ulunan yük değerleri Çizelge 3.2'de toplu olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Aşıklara etki edecek kar, kaplama ve rüzgar yükleri

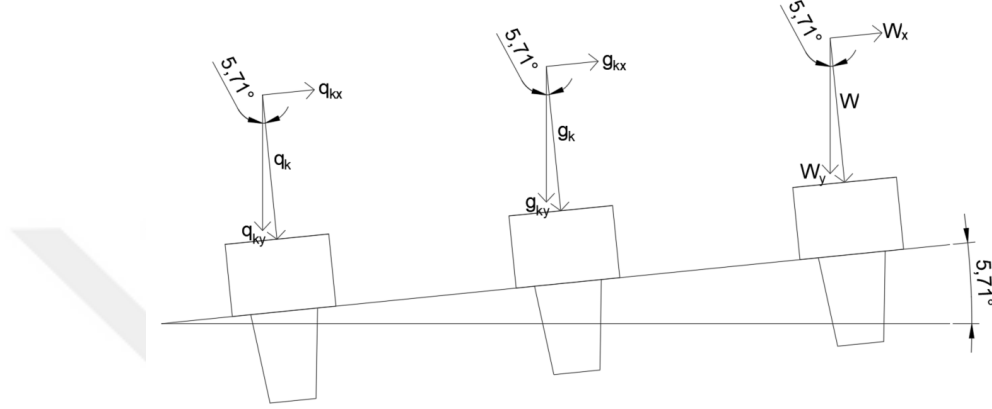
Yük Cinsi	Yük Değeri (kg/ m ²)
Kar (q _k)	117,77
Çatı Kaplama Malzemesi (g _k)	15
Rüzgar (W)	7,60

3.1.1.2. Aşık Hesabı

Aşıkların boyu 320 cm olup hesap yöntemine göre standart olarak kafalardan 7 santimetre montaj mesafesi olup bu uzunlukların yük taşımadığı kabul edilmektedir. Yani hesap için 306 cm net uzunluk dikkate alınmıştır. Aşıklar makasa 160 cm aralıklı mahyadan dolu kesite doğru sıralanmıştır. Çatıdaki 5,71° lik eğim dikkate alınarak yatay mesafeler Şekil 3.2'de belirlenmiştir. Şekil 3.3'te aşıklara etki eden kar, kaplama ve rüzgar yüğü etkilerinin bileşenlerine ayrılmış gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.2. Aşıklar arasındaki yatay ve eğik mesafelerin gösterimi



Şekil 3.3. Kar, çatı kaplaması ve rüzgar yüklerinin bileşenlerine ayrılması

$$\cos \alpha = \frac{q_k}{q_{ky}} \quad \cos 5,71 = \frac{117,77}{q_{ky}} \quad q_{ky} = 118,35 \text{ kg/m}^2 \quad (9)$$

$$\cos \alpha = \frac{g_k}{g_{ky}} \quad \cos 5,71 = \frac{15}{g_{ky}} \quad g_{ky} = 15,07 \text{ kg/m}^2 \quad (10)$$

$$\cos \alpha = \frac{W}{W_y} \quad \cos 5,71 = \frac{7,6}{W_y} \quad W_y = 7,63 \text{ kg/m}^2 \quad (11)$$

Üretilecek olan aşığın birim hacim ağırlık formülü ile zati ağırlığı hesaplanmıştır. Birim hacim ağırlık için 2600 kg/m^3 dikkate alınacaktır. Kiriş kesit alanı $0,03769 \text{ m}^2$ dir.

$$\left(\gamma = \frac{W}{V}\right) (W = \gamma \cdot V) (V = A \cdot L) (L = 1) (A = 0,03769 \text{ m}^2) W = 0,03769 \cdot 1 \cdot 2600 = 97,99 \text{ kg/m} \quad (12)$$

$$g_A = 97,99 \text{ kg/m}$$

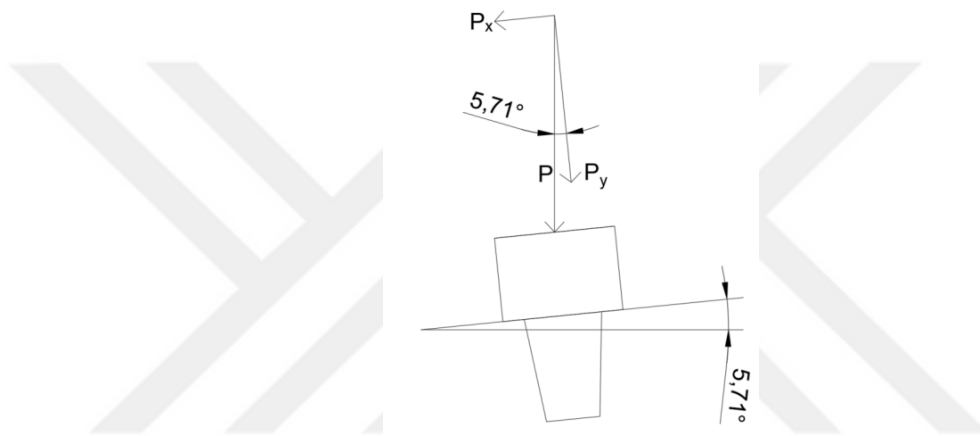
Aşığın 1m uzunluğuna etki eden sabit ve hareketli yükler ile toplam yük değeri tespit edilmiştir ve bu yük bileşenlerine ayrılmıştır.

$$G = (g_{ky}.a) + g_A \quad G = (15,07.1,5921) + 97,99 = 121,98 \text{ kg/m} \quad G = 121,98 \text{ kg/m} \quad (13)$$

$$Q = (q_{ky}.a) + (W_y.a) \quad Q = (118,35.1,5921) + (7,63.1,5921) = 200,57 \text{ kg/m} \quad (14)$$

$$G = 121,98 \text{ kg/m} \quad Q = 200,57 \text{ kg/m}$$

$$P = 1,4G + 1,6Q \quad P = (1,4. 121,98) + (1,6. 200,57) = 491,68 \text{ kg/m} \quad (15)$$

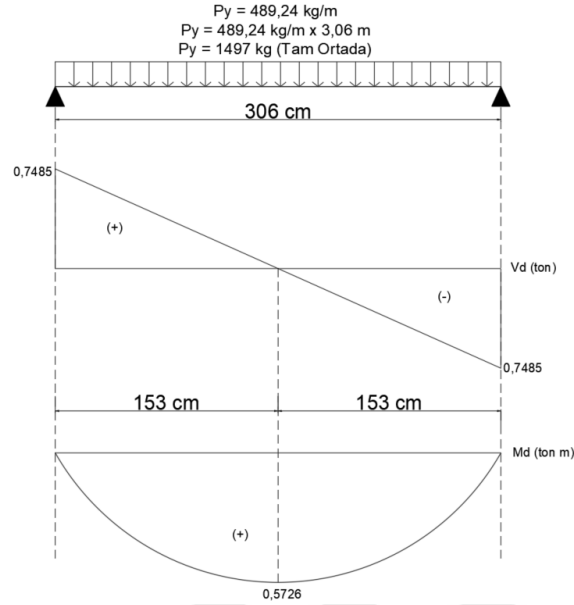


Şekil 3.4. Aşığa etki eden yükün bileşenlere ayrılması

$$\cos \alpha = \frac{P_y}{P} \quad \cos 5,71 = \frac{P_y}{491,68} \quad P_y = 489,24 \text{ kg/m} \quad (16)$$

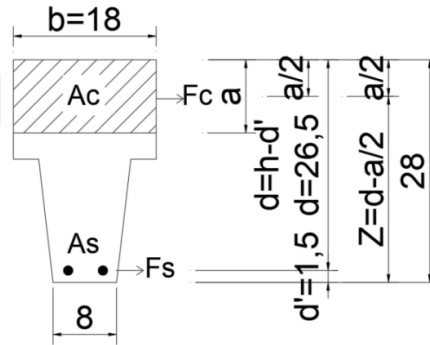
$$\sin \alpha = \frac{P_x}{P} \quad \sin 5,71 = \frac{P_x}{491,68} \quad P_x = 48,91 \text{ kg/m} \quad (17)$$

Aşıklar üzerine gelen yükleri oturduğu düzleme dik doğrultuda taşıdığı için yükün P_y bileşeni etkisi altında statik hesap yapılmıştır. Şekil 3.5'te aşığa etki eden yükler altında oluşan kesme kuvveti ve moment diyagramları verilmiştir.



Şekil 3.5. Aşığın P_y yük etkisi altında çizilen kesit tesirleri diyagramı

Şekil 3.6'da betonarme hesapta kullanılacak kesit parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Aşığın hesaplarda kullanılacak kesit özellikleri

$$F_c = F_s \quad 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot a = A_s \cdot f_{yd} \quad (18)$$

$$M_c = M_s = M_d \quad F_c \cdot Z = F_s \cdot Z = M_d \quad (19)$$

$$0,85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot a \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = A_s \cdot f_{yd} \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = M_d \quad 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot a \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = M_d \quad (20)$$

Kullanılan Beton C40 ($f_{cd}=2857 \text{ ton/m}^2$, $f_{ctd}=155 \text{ ton/m}^2$),

Donatı B420C ($f_{yd}=36500 \text{ ton/m}^2$)

$$0,85 \cdot 2857 \cdot 0,18 \cdot a \cdot \left(0,265 - \frac{a}{2}\right) = 0,5726 \quad a = 0,005 \text{ m} \quad (21)$$

$$A_s \cdot f_{yd} \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = M_d \quad A_s \cdot 36500 \cdot \left(0,265 - \frac{0,005}{2}\right) = 0,5726 \quad A_s = 59,76 \text{ mm}^2 \quad (22)$$

Seçilen Donatı 157 mm^2 2Ø10

Aşık kirişlerinde yapılan hesaba göre 100 mm² 2Ø8 yeterli gelebilmektedir ancak bu aşıklar boyut olarak minimal olduğundan donatı çapı 2mm arttırılıp emniyetli tarafta kalma adına 2Ø10 donatı tercih edilmiştir.

Kesme Donatısı (Etriye) Hesabı

$$V_{cr} = 0,65 \cdot f_{ctd} \cdot bw \cdot d \quad V_{cr} = 0,65 \cdot 155 \cdot 0,098 \cdot 0,265 \quad V_{cr} = 2,61 \text{ ton} \quad (23)$$

$$V_r = 0,25 \cdot f_{cd} \cdot bw \cdot d \quad V_r = 0,25 \cdot 2857 \cdot 0,098 \cdot 0,265 \quad V_r = 18,54 \text{ ton} \quad (24)$$

$V_d = 0,618$ ton (Kesme kuvveti diyagramında mesnette $d = 26,5$ cm uzaklıktaki kesme kuvveti)

$V_d < V_{cr} < V_r$ olduğundan minimum etriye kullanılabilir.

$$\frac{n \cdot A_0}{S} \geq 0,3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} \cdot bw \quad \text{seçilen etriye } \text{Ø}6 \text{ ve } n=2 \text{ kollu etriyedir. } A_0 = 2,82 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \quad (25)$$

$$\frac{2,2,82 \cdot E^{-5}}{S} \geq 0,3 \frac{155}{19100} \cdot 0,098 \quad S \leq 0,2363 \text{ m} \quad S \leq 23,63 \text{ cm} \quad (26)$$

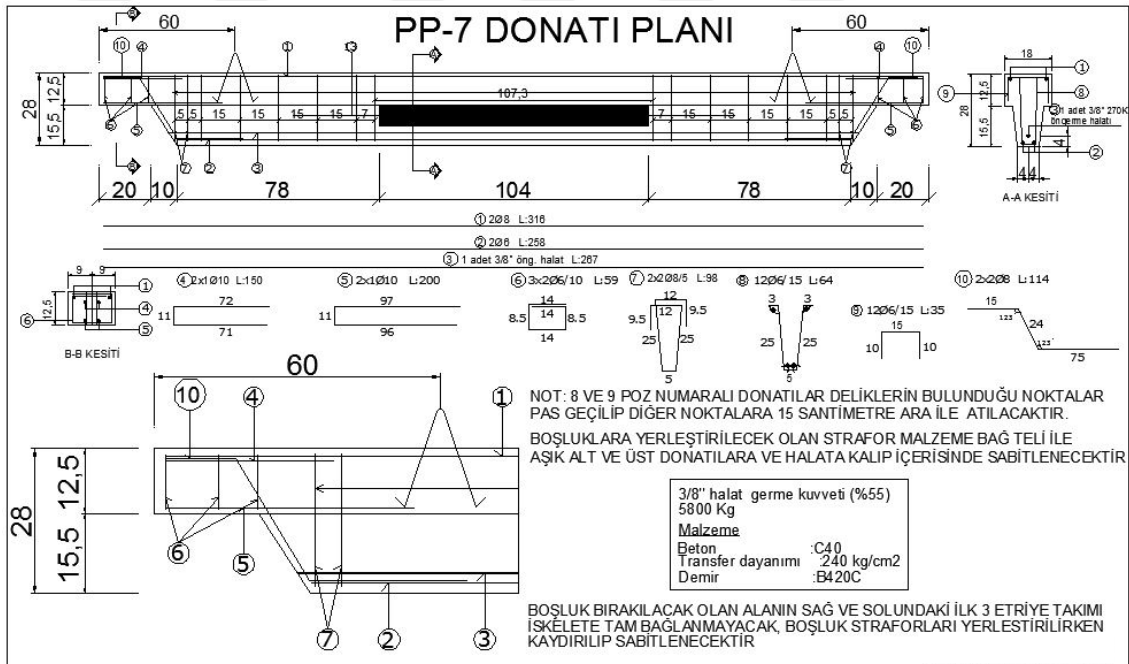
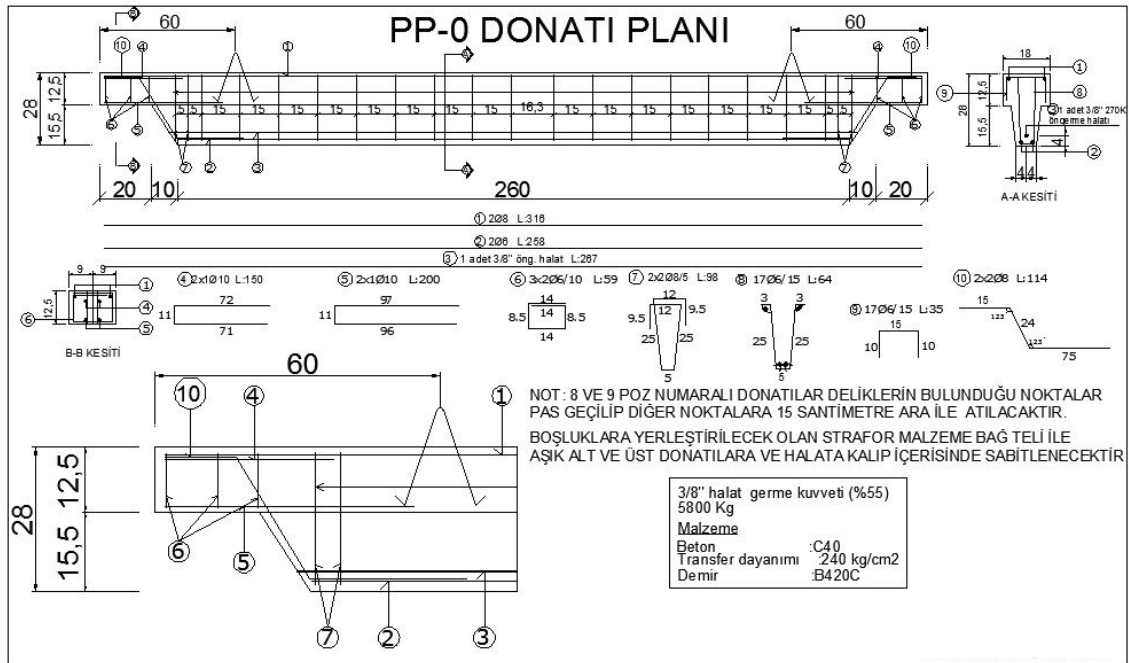
Seçilen Etriye Ø6/15 cm

Yine eğilme donatısında olduğu gibi etriyede de emniyetli tarafta kalınıp 15 cm aralıklarla konumlandırılması belirtilmiştir. Öngerilmeli tasarımda ise kiriş boyutunun uygulama açısından çok kısa olması nedeniyle 3/8" (inch.) halat için minimum germe kuvveti olan 5800 kg uygulanmıştır. Öngermesiz tasarıma göre sadece öngermeli tasarımda eğilme donatıları öngermenin eğilmeye katkısından dolayı **2Ø6** olarak projelendirilmiştir.

3.2. Deney Elemanlarının Projelendirilmesi

Yapılan hesaplar sonucunda deney elemanlarının AutoCAD programı aracılığıyla üretim projeleri çizilmiştir. Bununla beraber üretilecek olan prefabrik elemanların standart üretimden farklı tasarım yapısı ve donatı detaylarına sahip olmasından dolayı yapılan AutoCAD çizimlerine ek olarak detayların daha net anlaşılabilmesi adına Revit Structure programı aracılığıyla 3D modelleme ve tasarım gerçekleştirilmiştir.


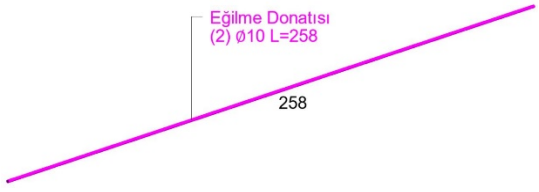
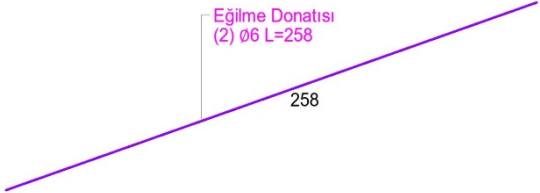
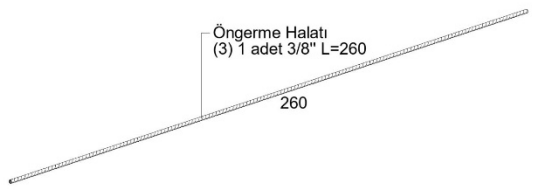
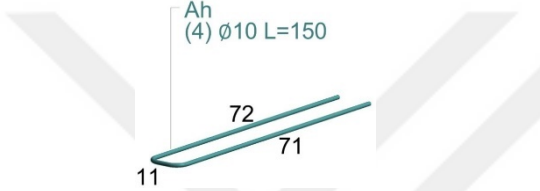
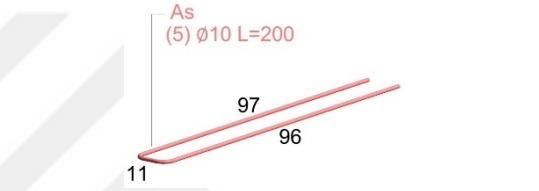
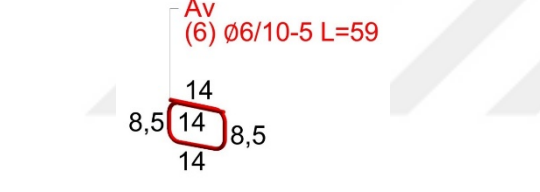
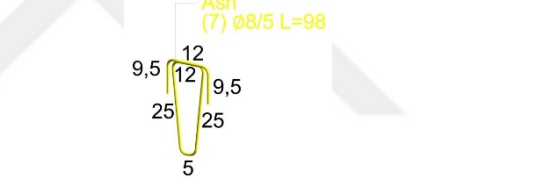
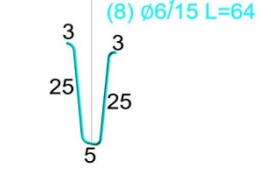
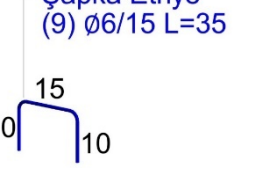
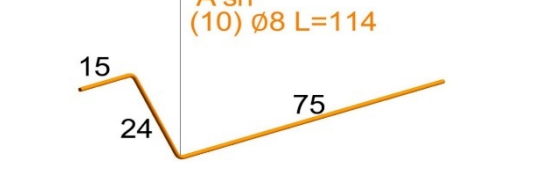
Öngerilmeli ve öngerilmemiş olarak iki farklı tip için hesap yapılmıştır. Yapılan hesaplar sonucunda iki grup içinde beton sınıfı C40 olup inceltirilmiş uç bölgelerindeki ve kiriş üst başlığında bulunan montaj donatılarında bir fark oluşmaksızın sadece öngerilmemiş aşıktaki bulunan 2Ø10'luk eğilme donatılarının yerine öngerilmeli aşıktaki öngerme halatının kiriş alt bölgesindeki eğilme donatılarına verdiği dayanım desteğinden dolayı burada 2Ø6'luk donatı yeterli olmuştur. Öngerilmeli aşığın boyutunun öngerilme açısından yeterli uzunlukta olmamasından dolayı belirtilen çaptaki halat için teknik şartnamesinde bulunan minimum öngerme kuvveti olan 5800 kilogram uygulama için kabul edilmiştir. Etriye aralık ve çapları her iki tip için de ortak olup Ø6'luk donatıların 15 cm aralık ile atılması gerekmektedir. Kiriş gövdelerinde bırakılacak olan boşluklara yerleştirilecek olan straforların yerleştirilmesi sırasında iskelette bulunan etriyelerin engel olmaması adına etriye sistemi alt ve üst kısım olmak üzere iki parçalı tasarlanmıştır. Yapılan hesaplarla birlikte üretilen kirişlerin taşınması ve montajı sırasında oluşan hasarların önüne geçilmesinde üretimin yapıldığı prefabrik üreticisinin uygulamış olduğu deneyimsel projelendirme prosedürleri de dikkate alınarak çizim ve tasarımlar tamamlanmıştır. Şekil 3.7'de öngerilmemiş referans ve öngerilmemiş 104 cm boşluklu aşıkların donatı plan paftaları verilmişken Şekil 3.8'de ise öngerilmeli referans ve öngerilmeli 104 cm boşluklu aşıkların kalıp ve donatı paftaları gösterilmiştir.



Şekil 3.8. PP-0 ve PP-7 Öngerilmeli aşık donatı planı

Verilen örnek donatı detayları üretimi yapılacak olan kirişlerin her birinde uygulanacak olan küçük farklılıkları ortaya koymaktadır. Her bir deney elemanında kullanılan donatıların tam anlamı ile görülebilmesi adına Çizelge 3.3'te poz açılımları verilmiştir.

Çizelge 3.3. Aşıklarda kullanılan donatıların 3D gösterimi

 <p>Montaj Donatısı (1) Ø8 L=316</p> <p>316</p> <p>Her iki tasarımda kullanılan 1 poz numaralı montaj donatısı</p>	 <p>Eğilme Donatısı (2) Ø10 L=258</p> <p>258</p> <p>Öngerilmemiş tasarımda kullanılan 2 poz numaralı eğilme donatısı</p>
 <p>Eğilme Donatısı (2) Ø6 L=258</p> <p>258</p> <p>Öngerilmeli tasarımda kullanılan 2 poz numaralı eğilme donatısı</p>	 <p>Öngörme Halatı (3) 1 adet 3/8" L=260</p> <p>260</p> <p>Öngerilmeli tasarımda kullanılan 3 poz numaralı öngörme halatı</p>
 <p>Ah (4) Ø10 L=150</p> <p>72</p> <p>71</p> <p>11</p> <p>Her iki tasarımda kullanılan 4 poz numaralı inceltilmiş uç üst firkiye donatısı</p>	 <p>As (5) Ø10 L=200</p> <p>97</p> <p>96</p> <p>11</p> <p>Her iki tasarımda kullanılan 5 poz numaralı inceltilmiş uç alt firkiye donatısı</p>
 <p>Av (6) Ø6/10-5 L=59</p> <p>14</p> <p>8,5</p> <p>14</p> <p>8,5</p> <p>14</p> <p>Her iki tasarımda kullanılan 6 poz numaralı kafa etriyesi</p>	 <p>Ash (7) Ø8/5 L=98</p> <p>12</p> <p>9,5</p> <p>9,5</p> <p>25</p> <p>25</p> <p>5</p> <p>Her iki tasarımda kullanılan 7 poz numaralı inceltilmiş uç gövde geçiş etriyesi</p>
 <p>U Etriye (8) Ø6/15 L=64</p> <p>3</p> <p>3</p> <p>25</p> <p>25</p> <p>5</p>  <p>Şapka Etriye (9) Ø6/15 L=35</p> <p>15</p> <p>10</p> <p>10</p> <p>Her iki tasarımda kullanılan 8 poz numaralı U etriye ve 9 poz numaralı şapka etriyesi</p>	 <p>A'sh (10) Ø8 L=114</p> <p>15</p> <p>24</p> <p>75</p> <p>Her iki tasarımda kullanılan 10 poz numaralı inceltilmiş uç Z donatısı</p>

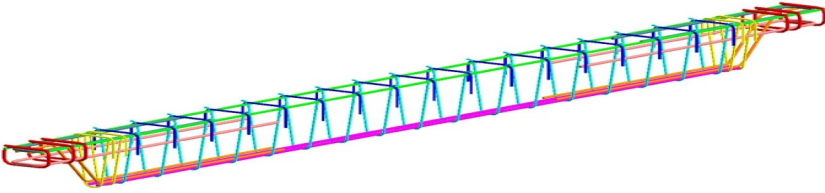
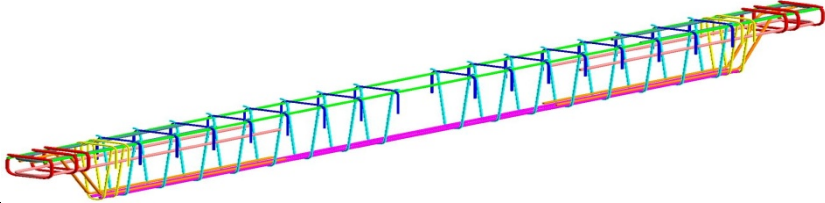
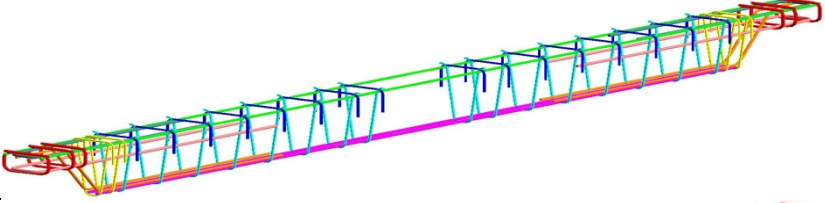
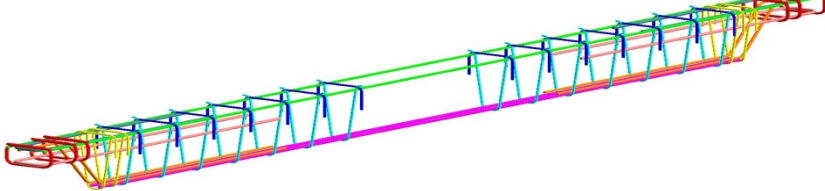
Çizelge 3.3'te verilen ve toplamda 11 adet pozdan oluşan donatılar ve öngörme halatının uzunluk ve çap değerleri dikkate alınıp her birinin birim ağırlık ve boylarına göre hesapları yapıldığında Çizelge 3.4'teki değerlere ulaşılabilir. Bulunan bu değerler her bir deney elemanında kullanılan toplam donatı ve varsa halat ağırlıklarının hesaplanıp üretilen donatı iskelet yapısındaki malzeme miktarları açısından karşılaştırılabilmelerini sağlamıştır.

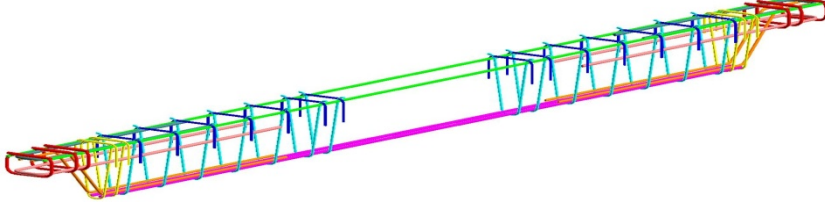
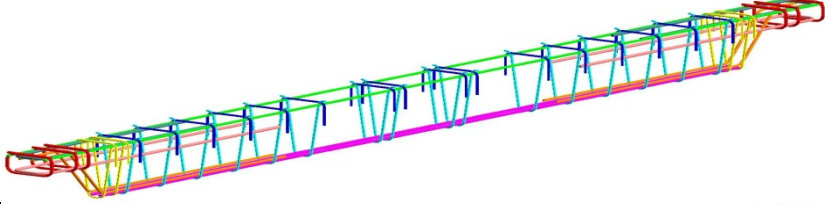
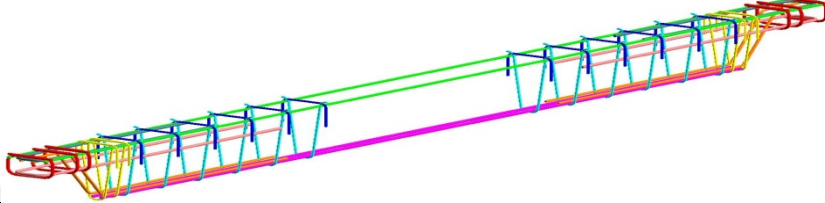
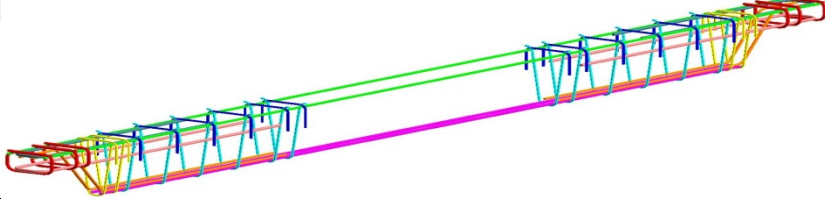
Çizelge 3.4. Aşıklarda kullanılan donatıların birim adet olarak ağırlık çizelgesi

Poz Numarası	Adet	Çap (mm)	Birim Ağırlık (kg)	Uzunluk(m)	Toplam Ağırlık (kg)
1	1	8	0,395	3,16	1,248
2 (öngerilmesiz)	1	10	0,617	2,58	1,592
2 (öngerilmeli)	1	6	0,222	2,58	0,573
3 Halat	1	3/8 inç	0,422	2,6	1,097
4	1	10	0,617	1,5	0,925
5	1	10	0,617	2	1,234
6	1	6	0,222	0,59	0,131
7	1	6	0,222	0,98	0,217
8	1	6	0,222	0,64	0,142
9	1	6	0,222	0,35	0,078
10	1	8	0,395	1,14	0,450

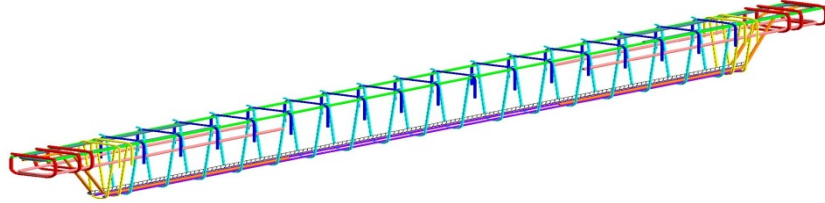
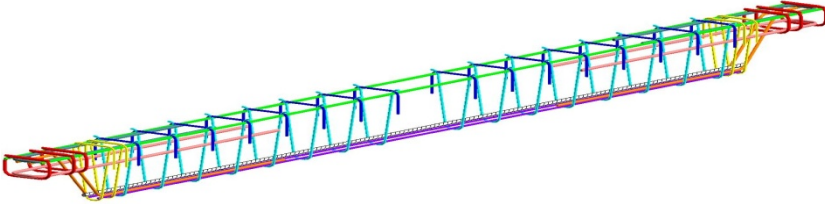
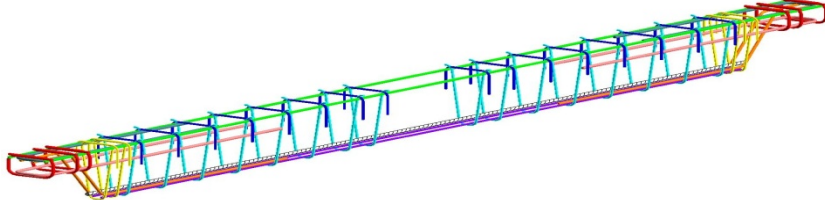
Birim adet olarak ağırlıkları hesaplanan donatıların üretim projelerine göre toplam adetlerine bakılarak öngerilmesiz aşıklardaki toplam donatı ağırlığı ile öngerilmeli kirişlerdeki toplam donatı ve halat ağırlığı hesaplanmış ve bu sonuçlar Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6’te verilmiştir.

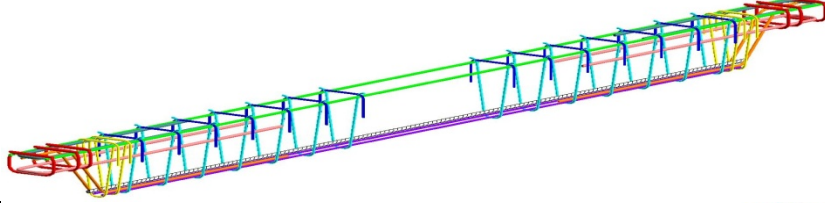
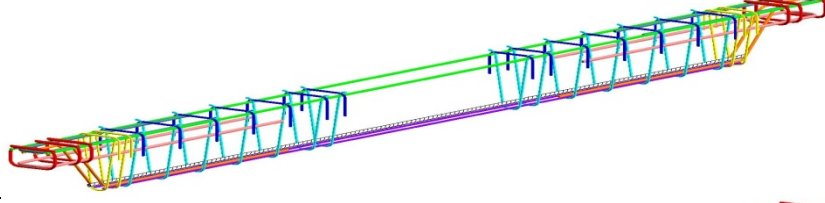
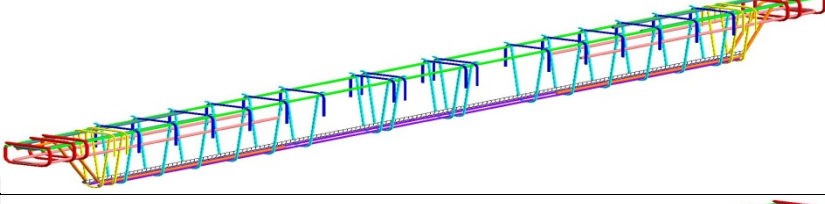
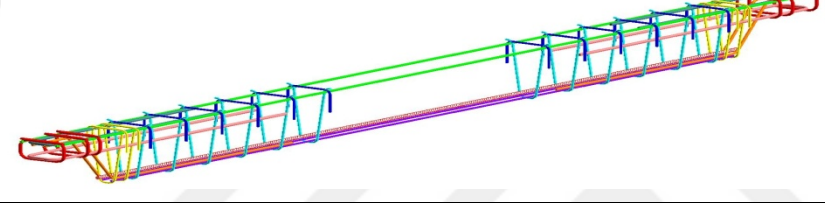
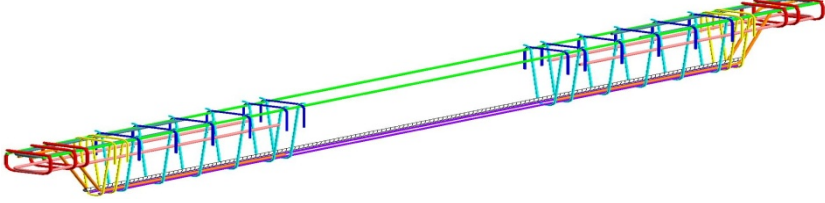
Çizelge 3.5. Deneye tabi tutulacak olan öngerilmesiz aşıkların donatı tasarımları ve metrajları

Öngerilmesiz Numara	Donatı iskeleti 3D gösterimi	Boşluk Boyutu (cmxcm)	Ağırlık (kg)
P-0		---	17,192
P-1		24 x 8	16,972
P-2		40 x 8	16,972
P-3		56 x 8	16,532

P-4		72 x 8	16,532
P-5		3x24x8	16,972
P-6		88x8	16,092
P-7		104x8	16,092

Çizelge 3.6. Deneye tabi tutulacak olan öngerilmeli aşıkların donatı tasarımları ve metrajları

Öngerilmeli Numara	Donatı iskeleti 3D gösterimi	Boşluk Boyutu (cmxcm)	Ağırlık (kg)
PP-0		---	15,154 + 1,097 (halat)
PP-1		24 x 8	14,934 + 1,097 (halat)
PP-2		40 x 8	14,934 + 1,097 (halat)

PP-3		56 x 8	14,494 + 1,097 (halat)
PP-4		72 x 8	14,494 + 1,097 (halat)
PP-5		3x24x8	14,934 + 1,097 (halat)
PP-6		88x8	14,054 + 1,097 (halat)
PP-7		104x8	14,054 + 1,097 (halat)

Hem öngerilmeli hem de öngerilmesiz aşıklarda donatı miktarlarında benzer azalış ortaya çıkmıştır. Buradaki azalış sadece etriye sayısındaki düşüşten kaynaklanmaktadır. Boyuna donatı ve inceltmiş uç donatılarında herhangi bir değişiklik uygulanmamıştır. Boşluk boyutunun artması ile ters orantılı olarak donatı miktarının azalması kirişi daha ekonomik hale getirmiştir.

Ortaya çıkacak olan beton ve donatı yönündeki tasarrufların daha net ifade edilebilmesi adına örnek bir prefabrik yapı üreticisinin aşık kirişi üretim verileri incelenmiştir. Bu hususta Konya ilinde prefabrik sektöründe faaliyet gösteren ve büyük bir iş hacmine sahip firmanın yıllık üretim arşivlerinden alınan son iki yıllık aşık kirişi üretim verilerinin ortalaması alındığında 26000 adet aşık miktarına ulaşılmaktadır.

Çalışma çerçevesinde deneylerde kullanılan aşıkların boyları 3.2 metre belirlenmiştir ve bu aşıklar arasında gövdesinde bırakılan boşluğu maksimum 104

cm'dir. Firmanın üretimindeki ortalama aşık kirişi boyu 8 metredir. Bu doğrultuda $8/3.2=2.5$ olduğundan gerçeğe yakın bir maliyet hesabı için en büyük boşluk uzunluğuna sahip olan tasarım için bırakılan boşluk miktarı da 2.5 kat büyütüldüğünde $104 \times 2.5 = 260$ cm olur. Bu veriler üzerinden bir maliyet analizi yapıldığında;

$$\text{Bırakılan boşluğun kesit alanı } (11,6+9,74)/2 \times 8 = 85.36 \text{ cm}^2 \quad (27)$$

$$\text{Bırakılan boşluğun hacmi } 260 \times 85.36 = 22193 \text{ cm}^3 = 0.0222 \text{ m}^3 \quad (28)$$

Denklem 28'de hesaplandığı gibi deneylerde bırakılan maksimum boşluğun gerçek ölçülere uyarlanması ile hesaba dahil olacak olan beton metreküp değeri bir adet aşık için 0.0222 m^3 'tür.

Yıllık üretilen ortalama aşık adeti ile bu değer hesap edildiğinde;

$$26000 \times 0.0222 = 577.2 \text{ m}^3 \quad (29)$$

sonucuna ulaşılmaktadır. Denklem 29'da hesaplanan sonuca göre deney elemanlarında bırakılan maksimum boşluğun hacim değeri kendi başına bir anlam ifade etmeyecek kadar küçük olurken firmanın yıllık toplam aşık üretim miktarına göre 577.2 m^3 'lük beton tasarrufu sağlamaktadır. Üretilen aşıklarda kullanılan minimum beton sınıfı C40'tır. Bu beton sınıfının güncel satış fiyatı 26 \$'dır. Bu sonuçlara göre;

$$577.2 \times 26 = 15007.2 \text{ \$} \quad (30)$$

sonucuna ulaşılmaktadır. Denklem 30'da hesaplanan değere göre bırakılan boşluk ile betondan yıllık 15007,2 \$ tasarruf sağlanmıştır.

Yapılan çalışmanın kaynağında bulunan beton miktarını azaltma eğilimi kendisiyle beraber donatı miktarlarında da tasarruf sağlamaktadır. Aynı şekilde boşluk bırakılan noktadan eksiltilecek etriye adeti ile oluşan tasarrufa bakıldığında, 260 cm uzunluğa 15 cm ara ile 18 adet etriye yerleştirilebilir. 1 adet Ø6'lık etriyenin uzunluğu 0.96 metre ve 1 metre Ø6'lık demir ağırlığı 0.222 kg'dır. Bu veriler ile yıllık toplam aşık kirişi miktarına göre sağlanabilecek donatı tasarrufu ise;

$$18 \times 0.96 = 17.28 \text{ m } \text{Ø}6$$

$$17.28 \times 0.222 = 3.83 \text{ kg } \text{Ø}6$$

$$3.83 \times 26000 = 99580 \text{ kg} = 99.580 \text{ ton } \text{Ø}6 \quad (31)$$

Denklem 31'e göre boşluklu tasarım ile yıllık 99 ton 580 kg donatı tasarrufu sağlanabilir. Güncel Ø6'lık kangal demir kg fiyatı KDV dahil 1.015 \$'dır. Buna göre;

$$99580 \times 1.015 = 101073.7 \text{ \$} \quad (32)$$

Denklem 31'deki hesaplara göre firmanın bir yıllık üretiminde aşık kirişlerinde bırakılan boşluk alanına atılmayan etriyelerden dolayı 101073.7 \$'lık bir tasarrufu mevcuttur. Bu değer betondan sağlanan tasarruf ile birleştirildiğinde aşıklarda uygulanacak olan boşluklu tasarım ile örnek alınan firmaya yıllık toplamda 116080.9 \$ kazanç sağlayacağı söylenebilir.

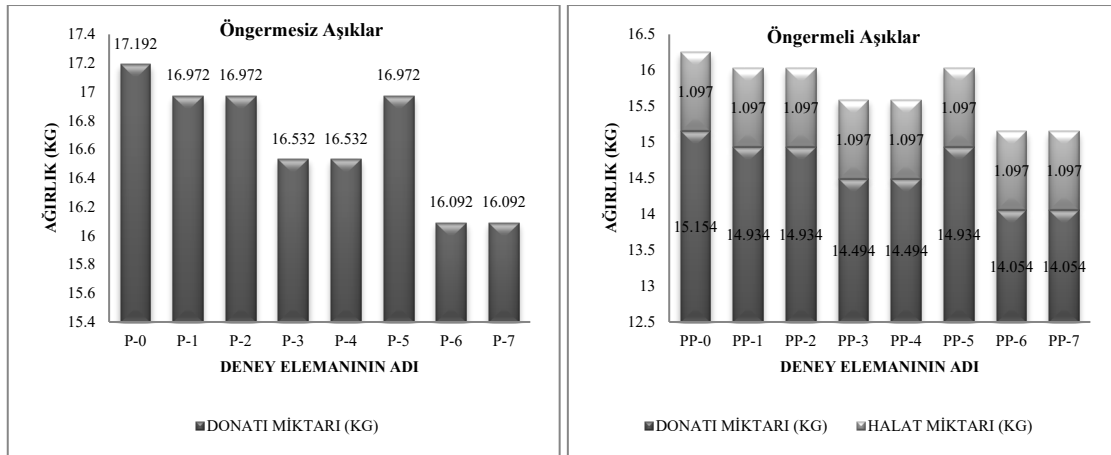
Öngerilmeli ve öngerilmesiz aşıklarda hesaplanan donatı ağırlıkları dikkate alındığında her iki tip için de en büyük boşluğa sahip numuneler (P-7 ve PP-7) ile boşluksuz referans numuneler (P-0 ve PP-0) arasında yapılan karşılaştırma ile;

$$(1-16.092/17.192) \times 100 = \%6,3 \quad (33)$$

$$(1-14.054/15.154) \times 100 = \%7,3 \quad (34)$$

öngerilmesiz aşıkta Denklem 33'e göre eksilen donatı miktarı %6,3 olurken öngerilmeli aşıkta ise bu değer Denklem 34'e göre %7,3'tür.

Oluşturulan boşluklu tasarımın deney sonuçlarından alınacak olan olumlu sonuçlar ile hem örnek firmanın üretim kapasitesine göre yapılan maliyet analiziyle hem de her bir aşığın bünyesindeki donatı miktarındaki oransal azalma ile büyük tasarruf sağlayacağı gösterilmiştir. Şekil 3.9'da her bir kirişin boşluk uzunluğuna göre azalan donatı ağırlıkları gösterilmiştir. Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8'de ise sırasıyla aşıkların donatı yerleştirilmiş durumda 3D gösterimleri ve donatı şemasının daha iyi anlaşılması adına poz açılımları verilmiştir.



Şekil 3.9. Öngerilmeli ve öngerilmesiz aşıklarda artan boşluk miktarının donatı miktarına etkisi

Çizelge 3.7. Deneye tabi tutulacak olan öngerilmemiş aşıkların 3D betonarme gösterimi

Öngerilmemiş Numara	3D gösterimi	Boşluk Boyutu (cmxcm)
P-0		---
P-1		24 x 8
P-2		40 x 8
P-3		56 x 8

P-4	<p>P-4</p> <p>Ah (4) 1Ø10 L=150</p> <p>Ash (7) 2Ø8/5 L=98</p> <p>Montaj Donatısı (1) 2Ø8 L=316</p> <p>Sapka Etriye (9) 14Ø6/15 L=35</p> <p>U Etriye (8) 14Ø6/15 L=64</p> <p>Eğilme Donatısı (2) 2Ø10 L=258</p> <p>Av (6) 3Ø6/10-5 L=59</p> <p>As (5) 1Ø10 L=200</p> <p>A'sh (10) 2Ø8 L=114</p>	72 x 8
P-5	<p>P-5</p> <p>Ah (4) 1Ø10 L=150</p> <p>Ash (7) 2Ø8/5 L=98</p> <p>Montaj Donatısı (1) 2Ø8 L=316</p> <p>Sapka Etriye (9) 16Ø6/15 L=35</p> <p>U Etriye (8) 16Ø6/15 L=64</p> <p>Eğilme Donatısı (2) 2Ø10 L=258</p> <p>Av (6) 3Ø6/10-5 L=59</p> <p>As (5) 1Ø10 L=200</p> <p>A'sh (10) 2Ø8 L=114</p>	3x24x8
P-6	<p>P-6</p> <p>Ah (4) 1Ø10 L=150</p> <p>Ash (7) 2Ø8/5 L=98</p> <p>Montaj Donatısı (1) 2Ø8 L=316</p> <p>Sapka Etriye (9) 12Ø6/15 L=35</p> <p>U Etriye (8) 12Ø6/15 L=64</p> <p>Eğilme Donatısı (2) 2Ø10 L=258</p> <p>Av (6) 3Ø6/10-5 L=59</p> <p>As (5) 1Ø10 L=200</p> <p>A'sh (10) 2Ø8 L=114</p>	88x8
P-7	<p>P-7</p> <p>Ah (4) 1Ø10 L=150</p> <p>Ash (7) 2Ø8/5 L=98</p> <p>Montaj Donatısı (1) 2Ø8 L=316</p> <p>Sapka Etriye (9) 12Ø6/15 L=35</p> <p>U Etriye (8) 12Ø6/15 L=64</p> <p>Eğilme Donatısı (2) 2Ø10 L=258</p> <p>Av (6) 3Ø6/10-5 L=59</p> <p>As (5) 1Ø10 L=200</p> <p>A'sh (10) 2Ø8 L=114</p>	104x8

Çizelge 3.8. Deneye tabi tutulacak olan öngerilmeli aşıkların 3D betonarme gösterimi

Öngerilmeli Numara	3D gösterimi	Boşluk Boyutu (cmxcm)
PP-0		---
PP-1		24 x 8
PP-2		40 x 8
PP-3		56 x 8

PP-4	<p>PP-4</p> <p>Ah (4) 1ø10 L=150 Ash (7) 2ø8/5 L=98 Av (6) 3ø6/10-5 L=59 As (5) 1ø10 L=200 A'sh (10) 2ø8 L=114 Montaj Donatısı (1) 2ø8 L=316 Sapka Etriye (9) 14ø6/15 L=35 U Etriye (8) 14ø6/15 L=64 Öngerme Halatı (3) 1 adet 3/8" L=260 Eğilme Donatısı (2) 2ø6 L=258</p>	72 x 8
PP-5	<p>PP-5</p> <p>Ah (4) 1ø10 L=150 Ash (7) 2ø8/5 L=98 Av (6) 3ø6/10-5 L=59 As (5) 1ø10 L=200 A'sh (10) 2ø8 L=114 Montaj Donatısı (1) 2ø8 L=316 Sapka Etriye (9) 16ø6/15 L=35 U Etriye (8) 16ø6/15 L=64 Öngerme Halatı (3) 1 adet 3/8" L=260 Eğilme Donatısı (2) 2ø6 L=258</p>	3x24x8
PP-6	<p>PP-6</p> <p>Ah (4) 1ø10 L=150 Ash (7) 2ø8/5 L=98 Av (6) 3ø6/10-5 L=59 As (5) 1ø10 L=200 A'sh (10) 2ø8 L=114 Montaj Donatısı (1) 2ø8 L=316 Sapka Etriye (9) 12ø6/15 L=35 U Etriye (8) 12ø6/15 L=64 Öngerme Halatı (3) 1 adet 3/8" L=260 Eğilme Donatısı (2) 2ø6 L=258</p>	88x8
PP-7	<p>PP-7</p> <p>Ah (4) 1ø10 L=150 Ash (7) 2ø8/5 L=98 Av (6) 3ø6/10-5 L=59 As (5) 1ø10 L=200 A'sh (10) 2ø8 L=114 Montaj Donatısı (1) 2ø8 L=316 Sapka Etriye (9) 12ø6/15 L=35 U Etriye (8) 12ø6/15 L=64 Öngerme Halatı (3) 1 adet 3/8" L=260 Eğilme Donatısı (2) 2ø6 L=258</p>	104x8

3.3. Deney Elemanlarının Planlama ve Üretimi

3.3.1. Boşluk Malzemesi Tasarımı

Prefabrik aşık kirişleri 6'lı, 8'li veya 12'li olarak tasarlanan çelik kalıp yataklarında seri ve fazla adetlerde üretilmektedir. Şekil 3.10'da farklı kapasitelerde kalıplar verilmiştir.

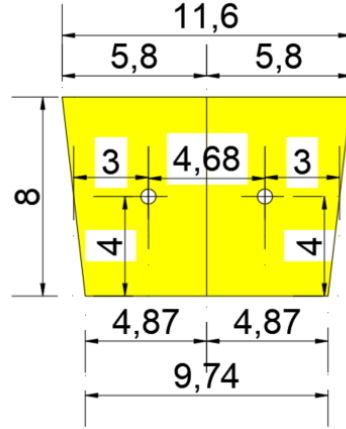


Şekil 3.10. 6'lı, 8'li ve 12'li yatak kapasiteli aşık kiriş kalıpları

Döküm sırasında betonun kalıbın tüm yüzeylerine homojen dağılması amacıyla kalıp vibratörleri kullanılmaktadır. Bu vibratörler kalıba oldukça yüksek seviyede titreşim vererek betonun kalıp içerisinde tüm noktalara doğru yerleşmesini ve döküm sırasında oluşabilecek segregasyonların önüne geçilmesini sağlamaktadır. Vibrasyon sırasında oluşan titreşimler önlem alınmadığı takdirde aşık donatı iskeletini bile yerinden oynatabilecek seviyelere ulaşabilmektedir.

Çalışmanın merkezinde bulunan aşık gövdelerinde boşluk bırakma fikrini üretim aşamasında uygulamadaki en büyük problemlerden biri boşluk noktasına bırakılacak olan strafor hafif malzemenin bu titreşimler sebebiyle döküm sırasında bulunduğu yerde sabit kalamayıp hareket etmesidir. Bu nedenle boşlukların doğru bir şekilde bırakılabilmesi için malzemenin aşık kesitinde koyulacağı noktadaki ölçülerle birebir

şekilde 26 dansite Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük (EPS) strafor, boşluk boyutlarına uygun şekilde düzenlenmiştir. Şekil 3.11’de boşluklar için yerleştirilecek olan straforun kesit ölçüleri gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Çalışmada kullanılan strafor kesit özellikleri

Burada strafor malzemesi olarak 26 kg/m^3 yoğunluğunda (26 dansite) Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük (EPS) kullanılarak sert bir yapının beton dökümü sırasında daha sabit ve formu bozulmadan kalacağı öngörülmüştür. İlave önlem olarak strafor merkezinde iki adet delik bırakılmıştır. Bu deliklerden geçirilen $\text{Ø}5,5$ düz donatılarla straforlar aşık iskeletine bağlanarak kaymaların daha fazla önüne geçileceği planlanmıştır. Straforlar boşluk boyutlarına göre kesilirken ısıtılmış tel metodu kullanılmıştır. Bu metod iki çelik profil arasına gerilmiş olan tungsten metalinden üretilmiş ve çapı çok küçük olan iletken telin üzerinden geçirilen elektrik akımı ile 3000°C sıcaklığa ulaşmasıyla erime yöneliminde olan straforu kesebilme kabiliyeti kazandırılması mantığıyla çalışır. Yani böylece straforlar istenilen uzunluklarda pürüzsüz şekilde kesilebilir. Şekil 3.12’de belirtilen metodun uygulanması ve Şekil 3.13’de çalışma sonucu üretilen straforlar gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Çalışmada kullanılan straforların farklı boyutlara göre kesilmesi



Şekil 3.13. Kesim sonrası straforların gruplandırılması

3.3.2. Boşluklu Aşıkların Üretimi

Üretimde kullanılacak olan kalıp kendi bünyesinde öngerme platformu bulundurmakta ve toplam 1025 cm uzunluğunda mobil bir kalıptır. Kalıbın kendi bünyesinde öngerme platformlu olması yapılacak olan öngerme işlemlerinde halatların sabitleneceği herhangi bir düzenek gerektirmeden halatların kalıbın kendisi tarafından tutulduğu sisteme verilen genel addır. Kalıp yatağında aynı anda yan yana toplamda 6 adet aşık kirişi dökülebilmektedir. Üretim planına göre her defasında 6 aşık kirişi üretilerek üretim süreci tamamlanacaktır. Şekil 3.14'te üretimde kullanılacak kalıp gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Üretimin yapılacağı kalıbın stok alanından üretim sahasına getirilip yerleştirilmesi

3.3.2.1. Birinci Grup Döküm Hazırlık ve Üretim Aşamaları

Planlanan 1.dökümde Şekil 3.15'e göre aşağıdan yukarıya doğru sırasıyla PP-0, PP-1, PP-2, PP-3, PP-4 ve PP-5 isimli öngerilmeli aşıklar için çalışma yapılmıştır.



Şekil 3.15. Döküm düzenine göre straforların yerine yerleştirilmesi

Döküm öncesi öncelikle bırakılacak olan boşluklarda kullanılacak olan straforlar ayrı ayrı hazırlanmıştır. Dökümün gerçekleştirileceği kalıbın ayarı yapılmış ve kalıp yağlanmıştır. Ardından kalıp ayarı ile eşzamanlı olarak yürütülen donatı işçilikleri ilerletilmiştir. Donatı iskeletleri gövde boşluklarındaki farklılıklara göre her bir aşık için özel olarak oluşturulmuştur. Projelendirme aşamasında etriye tasarlanırken iki parçalı olmasının uygulama açısından daha uygun olacağı öngörülmüştür. Bunun sebebi iskelet kalıba yerleştirildikten sonra boşluklar için konumlandırılacak olan straforların tek parça kapalı etriye kullanıldığında yerleştirilirken zorluk ortaya çıkarması ihtimalidir.

Bu amaçla tasarım aşamasına göre etriyeler iki parça halinde bükülüp iskelet oluşturulurken özellikle straforların yerleştirileceği boşlukların sağında ve solundaki ilk üç etriyenin şapkası iskelete bağlanmayıp kalıp içerisinde strafor yerleştirildikten sonra bağlanmasına karar verilmiştir. Her bir iskelet kalıpta planlanan yerlerine yerleştirilmiştir. İskeletlerin yerleştirilmesiyle birlikte bırakılacak boşluk ölçüsüne uygun olan straforlar teker teker kalıba sabitlenmiş ve kalıp içerisinde yapılması gereken donatı bağlama işleri yürütülmüştür. Ardından öngerilme işlemi yapılmıştır. Öngerilme sırasında öngerme makinasının belirlenen germe kuvvetine karşılık halatta oluşturacağı uzama miktarı teorik değerle karşılaştırılmıştır. Şekil 3.16'da boşluklar için üretilen straforların montaj hazır halleri verilmiştir.



Şekil 3.16. Boşluk straforlarının üretime hazırlanması

Şekil 3.17'de donatı iskeletlerinin hazırlanma aşamasının gösterilmiştir ve Şekil 3.18'de üretimin yapılacağı alana getirilen kalıbın temizliği, kalıp yağlanması ve ardından donatı iskeletlerinin kalıba yerleştirilmesi verilmiştir.



Şekil 3.17. Donatı iskeletlerinin hazırlanması



Şekil 3.18. Kalıbın yağlanması ve üretilen iskeletlerin kalıba yerleştirilmesi

Şekil 3.19’da öngerme halatlarının kalıba sürülmesi ve öngerme kovanlarının her bir aşık için yerleşimi aşaması gösterilmiştir. Şekil 3.20’de ise öngerme çekirdeklerinin yerleştirilmesiyle kalıbın öngerme işlemine hazır hali gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Öngerme halatlarının sürülmesi ve öngerme çekirdek-kovanlarının yerleşimi



Şekil 3.20. Öngerme halatlarının ucuna yerleştirilen çekirdek ve kovanlar

Öngerme işlemi yapılırken serbestçe kalıp içerisine uzanan halatların uçlarına germe çekirdekleri sabitlendikten sonra halatları kitleyecek olan çekirdeklerin doğru kilitlenebilmesi adına üretici firmanın uygulama standardı olarak 20 bar (2 N/mm²) değerinde ilk gerilme verilmektedir. Yapılan ilk germe sonrası çekirdek uçlarındaki hizada halatlara işaretleme yapılmaktadır. Sonrasında hesaplanan proje değeri olan germe halatlara uygulanmakta ve öngerme işlemi tamamlanmaktadır. Uygulanan proje germe değeri ile halatlarda oluşan uzama miktarları kontrol edilmektedir. Eğer teorik uzama ve uygulamada ortaya çıkan halat uzaması aynı ise uygulanan öngerme işleminin doğru yapıldığı kabul edilebilir.

Üretilecek olan öngerilmeli boşluklu aşıklar için hesaplanan germe değerine göre uygulamada öngerme işlemi yapacak olan Paul marka öngerme makinasının piston çapı ve 3/8 inç'lik halatın kesit alanı ve elastisite modülü de dikkate alınarak hesap yapıldığında;

Uygulanacak ilk germe = 20 bar.

Uygulanacak son germe;

$$\text{Uygulanacak Son Germe} = \text{Hesaplanan Son Germe Değeri} + \text{Ankraj Kaybı} \quad (35)$$

$$\text{Hesaplanan Son Germe} = \frac{1 \text{ adet Öngerme Halatına Uygulanacak Kuvvet (P) (kg)}{\text{Ortalama Piston kesit Alanı S (cm}^2\text{)} \times \text{Dönüşüm Katsayısı}} \quad (36)$$

$$\text{Hesaplanan Son Germe} = \frac{5800}{69,98 \times 1,019716} = 81,27 \text{ bar.} \quad (36)$$

Denklem 36'ya göre hesaplanan son germe değeri 81,27 bar'dır.

Germe halatları çene tarafından kitlenirken geri kaçma olur ve bunun hesapta ankraj kaybı olarak dikkate alınması gerekmektedir. TS 3233 madde 8.7.1 ve madde 8.7.3 doğrultusunda deneyimsel şantiye uygulamaları ve öngerme çekirdeği üreticisinin standartlarıyla Denklem 37'de 3/8 inç halat için ankraj kaybı hesaplanmıştır. Öngerme işlemi sırasından öngerme halatları üretilecek mamül boyuna göre değil kalıp içerisinde öngerme yapılacak olan hat uzunluğuna göre hesaplanmaktadır.

$$3/8 \text{ inç halat ankraj kaybı} = \frac{1,27 \times \text{Halat Birim Kesit Alanı} \times \text{Halat Elastisite Modülü}}{\text{Öngerme Hat Boyu}} \quad (37)$$

$$3/8 \text{ inç halat için ankraj kaybı} = \frac{1,27 \times 0,5443 \times 1975000}{1025} = 1331,94 \text{ kg} \quad (37)$$

$$\text{Hesaplanan Ankraj Kaybı} = \frac{1331,94}{69,98 \times 1,019716} = 18,66 \text{ bar.} \quad (38)$$

Denklem 37'ye göre hesaplanan 1321,42 kilogramlık ankraj kaybı değerinin uygulamadaki makine ve bar dönüşüm katsayısı dikkate alındığında Denklem 38'e göre bulunan değeri 18,66 bar'dır.

$$\text{Nihai olarak Uygulanacak Son Germe} = 81,27 + 18,66 = 99,93 \approx 100 \text{ bar.} \quad (39)$$

Yapılacak olan öngerme işlemi sırasında halatlarda oluşması gereken teorik uzama miktarları hesaplanırken Türkiye Prefabrik Birliği Öngerme El Kitabı Başlık 6.2' de verilen denklem uygulanmıştır. Uygulanan denklemde kullanılan parametreler Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Teorik öngerme uzaması hesap parametreleri

Parametre	Sembol	Değer
Uygulanacak Öngerme Kuvveti	F	5800 (kg)
Öngerme Çeneleri Arası Mesafe	L	1025 (cm)
Halat Elastisite Modülü	E	1975000 (kg/cm ²)
3/8 inç halat enkesit alanı	A	0,5443 (cm ²)

Buna göre öngerme işlemi öncesi ve sonrası çekirdekten sonra kalan halat boyundaki değişim (Δl) teorik uzamanın karşılığıdır.

$$\Delta l = \frac{F \times L}{E \times A} \quad (40)$$

$$\Delta l = \frac{5800 \times 1025}{1975000 \times 0,5443} = 5,53 \text{ cm} \quad (40)$$

Denklem 40'ta bulunan değerle birlikte sonuçlar toparlandığında uygulamada kirişlerin üretimi sırasında sürülen halatlara 20 bar ilk germe yapıp halatların çekirdeklerin ucundaki referans noktaları işaretlenip Denklem 39'da hesaplanan 100 bar değerindeki son germe yapıldığında 5,53 cm uzama ölçülmesi gerekmektedir. Şekil

3.21’de ilk germe ve Şekil 3.22’de ise halatlara uygulanan son germe aşaması gösterilmiştir.



Şekil 3.21. 20 bar ilk germe işlemi.



Şekil 3.22. 100 bar son germe işlemi

Uygulanan öngerme işlemi sonrasında halatlarda oluşan uzama miktarları ve uzamaların uygunluğunun tespiti Çizelge 3.10’da verilmiştir. Çizelge 3.11’e göre yapılan tüm öngerme işlemleri uygundur.

Çizelge 3.10. Öngerme işlemi sonrası ölçülen halat uzamaları

Kiriş Adı	İlk Germe (bar)	Son Germe (Bar)	Teorik Uzama Miktarı (cm)	Gerçekleşen Uzama Miktarı (cm)	Uzama Farkı (cm)	Kabul Edilebilir Uzama Farkı (cm)	Kabul Edilebilirlik Durumu
PP-0	20	100	5,53	5,4	-0,13	-0,3/+0,4	Uygun
PP-1	20	100	5,53	5,3	-0,23	-0,3/+0,4	Uygun
PP-2	20	100	5,53	5,6	+0,07	-0,3/+0,4	Uygun
PP-3	20	100	5,53	5,5	-0,03	-0,3/+0,4	Uygun
PP-4	20	100	5,53	5,4	-0,13	-0,3/+0,4	Uygun
PP-5	20	100	5,53	5,5	-0,03	-0,3/+0,4	Uygun

Öngerme uygulaması sonrası halatlarda oluşan uzamalar Şekil 3.23-Şekil 3.25'te gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Sırasıyla PP-5 ve PP-4 numaralı aşıkların öngerme uzama değerleri ölçümü



Şekil 3.24. Sırasıyla PP-3 ve PP-2 numaralı aşıkların öngerme uzama değerleri ölçümü



Şekil 3.25. Sırasıyla PP-1 ve PP-0 numaralı aşıkların öngerme uzama değerleri ölçümü

Öngerme işleminin tamamlanmasıyla birlikte üretim sırasında betona en iyi şekilde vibrasyon verilmesi adına kalıp vibratörü yerleştirilmiştir (Şekil 3.26). Ardından döküm sonrası kirişlerin kalıptan çıkarılması amacıyla hizmet edecek olan kaldırma kancaları yerleştirilip dalma batma durumu olmaması adına kancalar Plivinil Klorid

(PVC) boru yardımı ile kalıp yüzeyinde tutulmuştur (Şekil 3.26). Ardından beton dökümüne geçilmiştir (Şekil 3.27-Şekil 3.28).



Şekil 3.26. Kalıp vibratörü ve kaldırma kancalarının yerleştirilmesi.



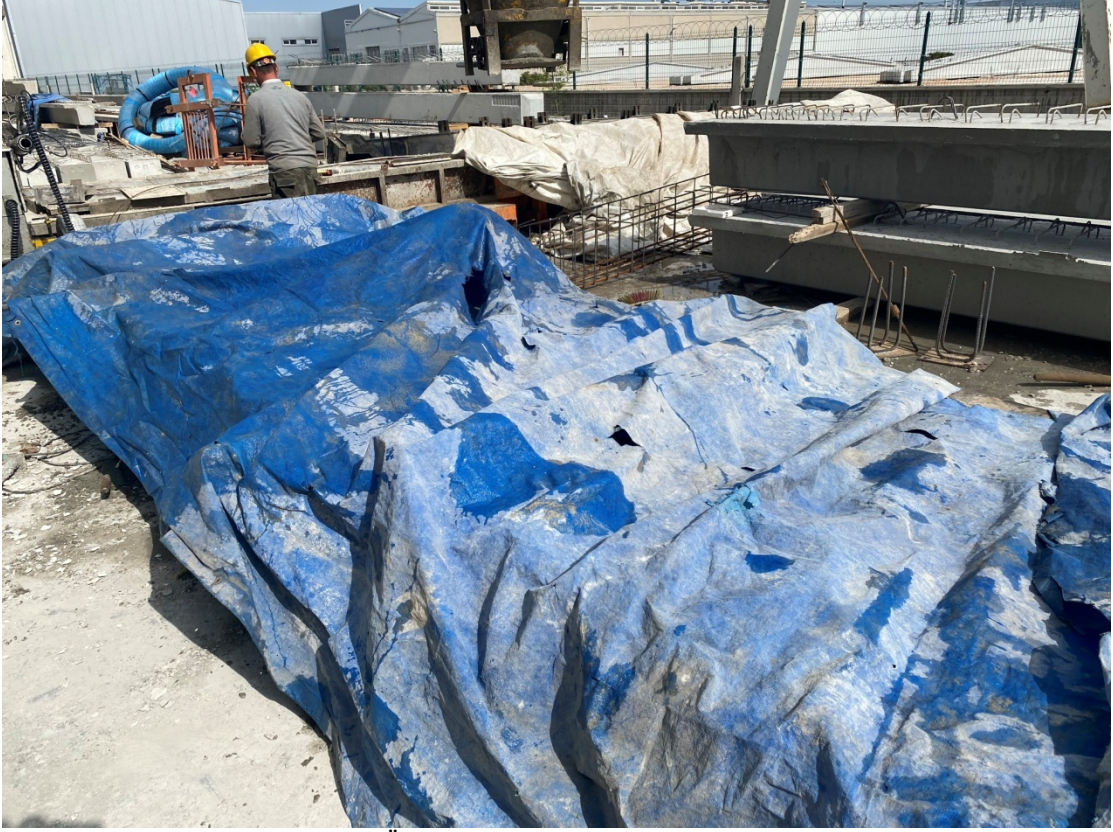
Şekil 3.27. Beton dökümü ve vibrasyon işlemi



Şekil 3.28. Beton yüzey düzeltilmesi ve beton dökümünün tamamlanması.

Beton dökümü beton mikseriyle kalıp yanına taşınan betonun kreyn vinci tarafından taşınan beton kovaasına aktarılıp yine vinç yardımı ile kalıbın üzerinde gezdirilerek istenilen noktalara boşaltılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.29'da

tamamlanan beton dökümünün ardından kalıp üzerine çadır çekilerek 12 saat boyunca kirişlere buhar verilip kür aşamasına geçilerek betonun hızlı ve daha sağlıklı priz alması sağlanmıştır.



Şekil 3.29. Üretim sonrası kalıp üzerine kapatılan çadır.

3.3.2.2. Birinci Döküm Kalıptan Alma

Öngermeli kirişlerin kalıptan alınma aşamasında birinci nokta çekirdekler vasıtasıyla döküm ve priz alma süresi boyunca gergin tutulan öngörme halatlarının kesilerek serbest bırakılmasıdır. Halatları germe noktalarından serbest bırakılan mamül eğer narin kesitli ise kalıptan alma işlemi sırasında kalıba vibrasyon verilerek oluşabilecek hasarların önüne geçilmektedir. Bu iki aşama uygulanarak mamüller kalıptan dökümden iki gün sonra alınarak istiflenmiştir. Şekil 3.30’da öngörme halatlarının kesilmesi ve Şekil 3.31’de kirişlerin kalıptan alınması gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Öngerme halatlarının kesilmesi ve kalıptaki kirişlerin şok etki ile oynatılması



Şekil 3.31. Sırasıyla PP-0 ve PP-1 kod numaralı aşıkların kalıptan çıkarılması

Kalıptan alınan PP-0 numaralı kiriş deneysel numune olarak kullanılabilir durumda. Ancak PP-1 numaralı kirişte üretim sırasında kiriş orta noktasına boşluk bırakmak için yerleştirilen 24 cm uzunluğundaki straforun yerinden kayması nedeniyle bu kiriş sonradan değerlendirmek kaydı ile fire stokuna çekilmiştir. Şekil 3.32’de PP-1 numaralı kirişin durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.32. PP-1 numaralı kiriş gövdesindeki uygun olmayan boşluğun açılması.

Yapılan 1. döküm sonrası gövdesinde boşluk bulunmayan PP-0 numaralı kiriş ve gövdesinde 40 cm uzunluğunda boşluk bulunan PP-2 numaralı kiriş hatasız üretim sonucu deneylere dahil edilebilir durumdadır (Şekil 3.33). 24 cm gövde boşluklu PP-1 numaralı kiriş ile 56 cm gövde boşluklu PP-3 numaralı kiriş ise boşluklardaki kaymalar nedeni ile revize edilmek üzere stoka alınmış olup değerlendirilebilir durumdadır. PP-4 ve PP-5 numaralı kirişler ise gövdelerindeki boşlukların tamamen kaybolması nedeni ile direk fire olarak değerlendirilmiştir (Şekil 3.34).



Şekil 3.33. PP-2 numaralı kirişin kalıptan alınması.



Şekil 3.34. PP-3, PP-4 ve PP-5 numaralı kirişlerin kalıptan alınıp stoka çekilmesi.

Sonuçlar değerlendirildiğinde kiriş gövdelerinde bırakılan straforlar kalıp ve iskelete ne kadar dikkatle sabitlenirse sabitlensin kaymamaları için ilave önlem alınması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu hususta bir sonraki adımda üretilcek olan kirişlerin beton dökümü sırasında kalıba verilecek olan vibrasyon süresinin azaltılması ve kullanılacak betonun kıvam olarak akıcılığının artırılması metotları denenecektir. Aynı zamanda straforların iskelete sabitlenmesi ile ilgili ilave önlemler alınacaktır ve kalıp içerisinde iskeletinde hareketini kısıtlamak adına iskelet kalıba kaynakla bağlanacaktır.

3.3.2.3. İkinci Grup Döküm Hazırlık ve Üretim Aşamaları

Planlanan ikinci dökümde Şekil 3.35'e göre aşağıdan yukarıya doğru sırasıyla ilk olarak öngerilmeli PP-6 numaralı aşık ve ardından sırasıyla P-0, P-1, P-2, P-3 ve P-4 numaralı öngerilmemiş aşıklar için çalışma yapılmıştır.



Şekil 3.35. Kalıbın üstten görünüşü.

Birinci dökümde olduğu gibi öncelikle bırakılacak olan boşluklarda kullanılacak olan straforlar hazırlanmıştır. Tekrar kalıp ayrı yapıp kalıp yağlanmıştır. Öngerilmemiş aşık hesabında bulunan donatı farklılıklarına göre yeni iskeletler üretilmiştir. Donatı iskeletleri gövde boşluklarındaki farklılıklara göre her bir aşık için özel olarak oluşturulmuştur (Şekil 3.36 – Şekil 3.37).



Şekil 3.36. İkinci döküm PP-6 numaralı aşık donatı hazırlanma örneği



Şekil 3.37. İkinci döküm PP-6 numaralı aşık donatı hazırlanma örneği

Her bir iskelet kalıpta planlanan yerlerine yerleştirilmiştir. İskeletlerin yerleştirilmesiyle birlikte bırakılacak boşluk ölçüsüne uygun straforlar sırasıyla kalıba sabitlenmiş ve kalıp içerisinde yapılması gereken donatı işleri yürütülmüştür. Şekil 3.38’de straforların yerleştirilip kalıptaki donatı işlerinin tamamlandığı görsel verilmiştir.



Şekil 3.38. Kalıbın üstten görünüşü

Straforlar sabitlenirken birinci dökümde karşılaşılan straforların kayması probleminin tekrar ortaya çıkmaması adına straforlar ilave donatılarla aşık iskeletine bağlanmıştır. Bununla beraber iskeletin de kalıp içerisinde sabit kalması için iskelet inceltilmiş uçta bulunan üst firkete donatısından kaynakla kalıba tutturulmuştur (Şekil 3.39). Sadece PP-6 numaralı aşık öngerilmeli olduğu için bu kirişe öngerme işlemi uygulanmış ve ölçülen uzama değerlerinin uygunluğu tespit edildikten sonra kalıp beton dökümüne hazır hale getirilmiştir ve Şekil 3.40’ta gösterildiği gibi beton dökümü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.39. İskeletlerin kaynakla kalıba sabitlenmesi ve kaldırma kancalarının yerleştirilmesi



Şekil 3.40. Beton dökülp kalıp yüzeyinin düzeltilmesi ve ikinci dökümün tamamlanması.

Beton dökümü sırasında straforların yerlerinden hareket etmemesi adına vibrasyon süresinde azaltmaya gidilmiştir. Aynı zamanda beton dökümü tamamlandığında yüzeyden straforların olduğu konuma doğru çelik çubuk batırılıp herhangi bir kayma durumu olup olmadığı kontrol edilmiştir. Nihai olarak ikinci döküm tamamlanmıştır.

3.3.2.4. İkinci Döküm Kalıptan Alma

Tamamlanan ikinci döküm sonrası öncelikle öngerilmeli olan PP-6 numaralı aşığın halatları kesilip kiriş kalıp içerisinde serbest bırakılmıştır, ardından kalıptaki aşıklara vinç yardımıyla yerlerinden oynatıp kalıptan rahat alınabilmeleri için şok sarsma verilmiştir. Sırasıyla P-4, P-3, P-2, P-1 ve P-0 numaralı öngerilmesiz aşıklar kalıptan alınmıştır. Öngerilmesiz aşıkların tümü hatasız ve deneye alınabilecek durumda başarılı bir şekilde üretimleri tamamlanarak stok alanına alınmıştır. PP-6 numaralı öngerilmeli aşıқта ise gövdedeki boşluğun uzun olması ve bir önceki döküme göre vibrasyon süresinin kısaltılmasından dolayı yerleştirilen straforun alt kısmına beton ilerleyememiş ve ürün fire olmuştur. Şekil 3.41-Şekil 3.43'te öngerilmesiz aşıkların kalıptan alınması gösterilmişken Şekil 3.44'te ise PP-6 numaralı aşığın kalıptan alınması gösterilmiştir.



Şekil 3.41. Şok sarsma ve P-4 numaralı kirişin kalıptan alınması.



Şekil 3.42. Sırasıyla P-3 ve P-2 numaralı kirişlerin kalıptan alınması.



Şekil 3.43. Sırasıyla P-1 ve P-0 numaralı kirişlerin kalıptan alınması.



Şekil 3.44. Fire olan PP-6 numaralı aşıktaki problemin gösterimi

Şekil 3.44' te görüldüğü gibi PP-6 numaralı ve gövdesinde 88 cm uzunluğunda boşluk bulunan aşığın üretimi için daha profesyonel bir yaklaşımla, deneyleri yapılacak olan aşıkların olumlu sonuçlar vermesi durumunda uygun kalıp sistemi tasarımı yapılarak strafor veya boşluk bırakılmasında kullanılacak olan malzemenin yerinden kayma kaygısı duymadan döküm sırasında beton vibrasyon süresinin arttırılıp üretiminin bu doğrultuda yapılması durumunda sorunsuz ürün elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle deney elemanlarından 88 cm ve 104 cm gövde boşluğu olan kirişlerin deneysel çalışmanın tamamlanması adına daha önceden üretilip kullanılmaya uygun olan kirişlerden ve bu ölçülerde boşluğu olması istenen yeni üretilcek olan elemanlarda da dolu gövdeli üretilip gövdelerinde karot yardımı ile boşluklar açılmasıyla ortaya koyulup deneye dahil edilmesine karar verilmiştir.

3.3.2.5. Üçüncü Grup Döküm Hazırlık ve Üretim Aşamaları

Planlanan üçüncü dökümde Şekil 3.45'e göre aşağıdan yukarıya doğru sırasıyla ilk olarak PP-1, PP-2, PP-3, PP-4 ve PP-5 numaralı öngerilmeli aşıklar ve ardından P-5 numaralı öngerilmemiş aşık için çalışma yapılmıştır.



Şekil 3.45. Kalıbın üstten görünümü

Önceki dökümlerde olduğu gibi öncelikle bırakılacak olan boşluklarda kullanılacak olan straforlar ayrı ayrı hazırlanmıştır. Tekrar kalıp ayrı yapıp kalıp yağlanmıştır. Donatı iskeletleri gövde boşluklarındaki farklılıklara göre her bir aşık için özel olarak tekrar oluşturulmuştur. Her bir iskelet kalıpta planlanan yerlerine yerleştirilmiştir. İskeletlerin yerleştirilmesiyle birlikte bırakılacak boşluk ölçüsüne uygun olan straforlar sırasıyla kalıba sabitlenmiştir ve kalıp içerisinde yapılması gereken donatı bağlama işleri yürütülmüştür. Şekil 3.46'da donatı iskeletlerinin üretimi verilmiştir.



Şekil 3.46. Üçüncü döküm donatı bağlama işçilikleri

Straforlar sabitlenirken yine önceki dökümlerde karşılaşılan straforların kayması probleminin tekrar ortaya çıkmaması adına ilave donatılarla aşık iskeletine bağlanmıştır. Bununla beraber iskeletin de kalıp içerisinde sabit kalması için yine inceltilmiş uçta bulunan firkete donatıları kaynakla kalıba tutturulmuştur. Straforların kalıp içerisinde ilave önlemlerle daha stabil kalması adına boşluk bitim noktalarında bulunan etriyelerin açılı şekilde strafor alınlarına bastırılıp bağlanması yoluna gidilmiştir. Şekil 3.47’de donatı iskeletlerinin kalıba kaynatılması işlemi gösterilmiştir.

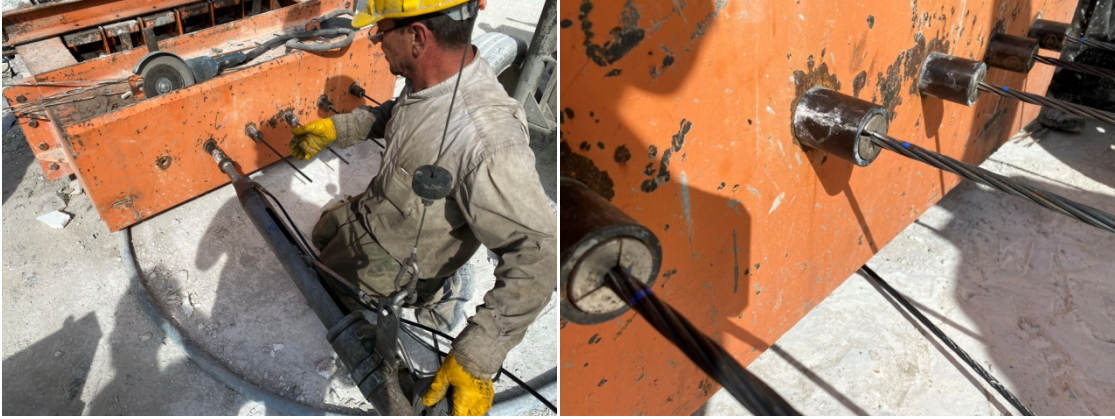


Şekil 3.47. İskeletlerin kalıba sabitlenmesi

İkinci dökümde karşılaşılan strafor altına beton girmemesi problemiyle karşılaşmamak adına vibrasyon süresi arttırılmıştır. Sadece P-5 numaralı aşık öngerilmemiş olup diğer aşıklar öngerilmeli olduğu için 5 adet aşığa öngerme işlemi uygulanmış ve ölçülen uzama değerlerinin uygunluğu teyit edildikten sonra kalıp beton dökümüne hazır hale getirilmiştir. Şekil 3.48 ve Şekil 3.49’da öngerme işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.48. Öngerme halatlarının sürülüp öngerme çekirdek ve kovanlarının yerleştirilmesi



Şekil 3.49. Öngermenin tamamlanıp halat uzamalarının kontrol edilmesi

Beş adet öngerilmeli aşık için uygulanan öngerme işlemi sonrasında uzama değerleri incelendiğinde uzamaların 5,3-5,6 cm aralığında olduğu görülmüştür. Bu değer aralığı gerçekleşen uzamaların tolerans aralığı olan $-0.3/+0.4$ değerlerini aşmadığından öngermenin uygunluğu tespit edilip beton dökümü için onay verilmiştir. Şekil 3.50’de beton dökümü ile ilgili görseller verilmiştir.



Şekil 3.50. Beton dökümünü gerçekleştirilip kalıp yüzeyinin düzeltilip dökümün tamamlanması

Çalışmalar sonucu üçüncü döküm tamamlanmıştır. Beton dökümü sırasında straforların ilave önlemlerle sabitlenmesi nedeni ile vibrasyon süresinde artırıma gidilip döküm bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Döküm sonrası kalıp üzeri kür brandaları ile kapatılıp betonun sağlıklı priz alması amaçlanmıştır.

3.3.2.6. Üçüncü Döküm Kalıptan Alma

Tamamlanan üçüncü döküm sonrası öncelikle iskeletlerle kalıbı birbirine bağlayan parça demirler kesilip ardından öngerilmeli olan aşıkların halatları elektrot ark kaynağı verilerek kopartılmış ve kirişler kalıp içerisinde serbest bırakılmıştır. Kalıptaki aşıklara vinç yardımıyla yerlerinden oynatıp kalıptan rahat alınabilmeleri için şok sarsma verilmiştir. Şekil 3.51’de donatı iskeletlerini kalıba bağlayan demirler ile öngerilmeli kirişlerin halatların kesilmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.51. İskelet sabitleme demirleri ve öngerme halatlarının kesilmesi

Öncelikle öngerilmemiş P-5 aşığı ve ardından sırasıyla PP-5, PP-1, PP-4, PP-3 ve PP-2 numaralı öngerilmeli aşıklar kalıptan alınmıştır. P-5 numaralı öngerilmemiş aşıq ile PP-5 ve PP-1 numaralı öngerilmeli aşıklar hatasız ve deneye alınabilecek durumda başarılı bir şekilde üretimleri tamamlanarak stok alanına alınmıştır. Şekil 3.52’de P-5 ve PP-5 numaralı aşıkların kalıptan alınma aşaması verilmiştir.



Şekil 3.52. Sırasıyla P-5 ve PP-5 numaralı aşıkların kalıptan alınması

PP-4 ve PP-3 numaralı öngerilmeli aşıklarda ise gövde ortasında merkez noktada strafor altında beton eksik yerleşiminden dolayı tadilata alınıp tamiratları gerçekleştirildikten sonra deneye hazır hale getirilip stoka alınmaları kararı verilmiştir. PP-2 kod numaralı kirişte eksik beton oranı fazla olduğundan dolayı bu kiriş direk fireye ayrılmıştır. Bu döküm ile birlikte üretim sırasında strafor yerleştirilerek boşluk bırakma yöntemi ile üretim sonlanmıştır. Şekil 3.53'te diğer kirişlerin kalıptan alınması verilmiştir.



Şekil 3.53. Sırasıyla PP-1, PP-4 ve PP-3 numaralı aşıkların kalıptan alınması

Tadilat işlemleri sırasında boşluk ölçülerine uygun şekilde kenarlardan çelik profillerle destekler oluşturulmuştur. Ardından yüksek mukavemetli CHRYSO S150 tamir harcı ile bu noktalar tamamlanmıştır. Tamir işlemlerinin ardında PP-3 ve PP-4 numaraları aşıklarda stok alanına alınmıştır. Şekil 3.54'te tadilatlar gösterilmiştir.



Şekil 3.54. Sırasıyla PP-3 ve PP-4 numaralı kirişlerin tadilatlarının gerçekleştirilmesi

Nihai olarak yapılan üç döküm sonrası P-0, P-1, P-2, P-3, P-4 ve P-5 numaralı öngerilmemiş aşıklar ile PP-0, PP-1, PP-2, PP-3, PP-4 ve PP-5 numaralı öngerilmeli aşıkların deneylerde kullanılacak şekilde sorunsuz şekilde üretimleri tamamlanmıştır. Öngerilmeli 88 cm gövde boşluklu PP-6 numaralı kiriş birinci

dökümde üretilip gövde boşluğunda sapma olan PP-3 numaralı kirişten ve öngerilmeli 104 cm gövde boşluklu PP-7 numaralı kiriş ise birinci dökümde üretilip gövde boşluğunda sapma olan PP-1 numaralı kiriş gövdesinde karot yöntemi ile boşluk açılarak deney elemanlarını arasına ilave edilmiştir. P-6 numaralı 88 cm gövde boşluklu, P-7 numaralı 104 cm gövde boşluklu öngerilmesiz kirişler ise üretim sırasında oluşan beton yerleşmeme durumları göz önünde bulundurularak boşluksuz olarak üretilen iki adet kirişin yine karot yöntemi ile gövde boşluklarının oluşturulmasıyla deneylere hazır hale getirilmeleri kararı verilmiştir.

3.3.2.7. Dördüncü İlave Döküm

Planlanan dördüncü ilave dökümde öngerilmesiz P-6 ve P-7 numaralı aşıklar üretilecektir. Bu elemanlar üretilirken önceki dökümlerde yaşanan problemlere göre aksiyon alınmıştır. Bu çerçevede 88 cm ve 104 cm boşluk bırakılırken, kullanılacak olan straforun boyutunun artmasıyla paralel olarak bulunduğu noktadan kayma riskinden dolayı kalıba verilecek olan vibrasyonun sınırlı tutulmasıyla strafor altına beton ilerlememe sorununun muhtemel oluşma durumundan dolayı üretim boşluklu yapılmamıştır. Bu ölçüde boşluk bırakmak için elemanların boşluksuz üretilip boşlukların karot yöntemi ile oluşturulması yoluna gidilmiştir. Bu durum çalışmanın merkezinde bulunan betondan tasarruf etme kriterine ters olmakla birlikte çalışmadan alınacak başarılı sonuçlar ile seri üretim aşamasına geçildiğinde tasarıma uygun kalıp sistemi oluşturulduğunda ortadan kalkacaktır.

Kalıp sistemi altılı batarya şeklinde olduğu için üretim aşamasında sadece iki adet kiriş için ayar yapmak ve aşık kesitinin inceliğinden dolayı kova yöntemi ile beton dökmenin iki adetlik üretim için zor olacağından dolayı fazladan dört adet aşık ile toplamda altı adet aşık üretilmiştir.

Sırasıyla kalıp ayarı yapıp kalıp yağlanmıştır. Ardından üretilen donatı iskeletleri kalıba yerleştirilmiştir. Aşıklar boşluksuz üretileceği için herhangi bir strafor hazırlığı yapılmamıştır. Üretilen aşıklar öngerilmesizdir. Bu nedenle herhangi bir öngerme hazırlığı yapılmamıştır. Kaldırma kancaları yerleştirilip kalıp döküme hazır hale getirilmiştir. Şekil 3.55'te donatıların kalıba yerleştirilip kaldırma kancalarının yerleştirilmesiyle kalıbın beton dökümüne hazır hali verilmiştir.



Şekil 3.55. Kalıbın beton dökümüne hazırlanmış gösterimi

Bu dökümle birlikte çalışmanın fabrikadaki üretim aşaması tamamlanmıştır. Sadece öngerilmeli PP-6, PP-7 ve öngerilmesiz P-6, P-7 aşıkları için yapılacak karot işlemleri uygulanacaktır. Üretilen tüm elemanlar için sevkiyat programı yapılmış ve ürünlerin Konya Teknik Üniversitesi Deprem Laboratuvarına nakliyesi gerçekleştirilmiştir. Deney elemanları ile birlikte üretim aşamasında alınan beton ve donatı numuneleri de yine aynı şekilde laboratuvara gönderilmiştir.

3.3.3. Sevkiyat ve İstif

Üretimin tamamlanmasının ardından ürünler stok sahasından kalite birimi tarafından etiketleri ve son kontrolleri tamamlandıktan sonra nakledilmek üzere kamyonla yüklenmiştir. Etiketleme noktasında öngerilmeli kirişler için sarı öngerilmesiz kirişler için ise beyaz etiket kullanılarak karışıklığın önüne geçilmesi planlanmıştır. Şekil 3.56’da kirişlerin yüklenme ve laboratuvardaki istif aşaması verilmiştir.



Şekil 3.56. Yüklemenin, nakliyenin ve laboratuvardaki istifin tamamlanması

Tamamlanan üretim ve sevkiyatın ardından karot işlemi gerekli olan öngermeli PP-6, PP-7 ve öngerilmemiş P-6, P-7 aşıkları için laboratuvara getirilen karot ekibi ile çalışma yürütülmüş ve istenen boşluklar açtırılmıştır. Şekil 3.57’de karot işlemi sonucu açılan boşluklar verilmiştir.



Şekil 3.57. Karot işlerinin yapıışı ve tamamlanması

Sonuç olarak deney elemanlarından öngermeli PP-0, PP-1, PP-2, PP-3, PP-4, PP-5, PP-6, PP-7 ve öngerilmemiş P-0, P-1, P-2, P-3, P-4, P-5, P-6, P-7 olmak üzere tüm deney elemanları başarılı bir şekilde üretilmiştir. Bu aşamadan sonra laboratuvarında istiflenmiş olan deney elemanları son kez gözden geçirilip deneye uygun şekilde etiketlenmiştir ve deney programı yapılp kirişler deney tarihine kadar laboratuvarında bekletilmiştir. Şekil 3.58’de deney sırasına göre kirişlerde yapılan etiketleme gösterilmiştir.

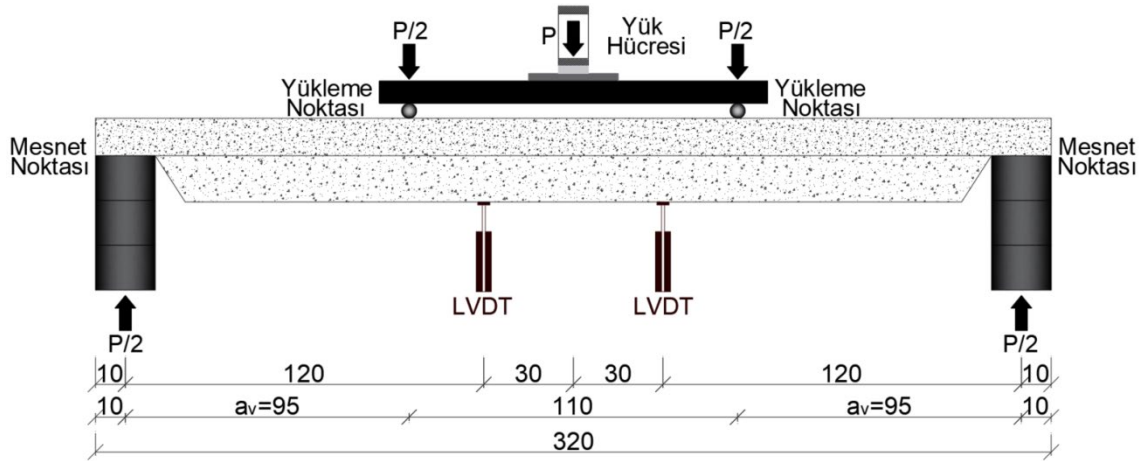


Şekil 3.58. Deney düzenine göre etiketleme işleminin tamamlanması

3.4. Deneysel Çalışmalar

Bu tez çalışmasının deneysel araştırma bölümü Konya Teknik Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarında bulunan kiriş yükleme düzeneğinin limitleri deney elemanlarının tasarımında etkili olmuştur. Kirişlerin laboratuvar içerisinde hareketi ve taşınması için mekanik zincirli caraskal kullanılmıştır.

Deneysel çalışmada prefabrike sanayi yapılarında sıklıkla kullanılan inceltilmiş uçlu aşıklar 8 adet öngerilmeli ve 8 adet öngerilmemiş olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Her iki grupta da birer adet referans boşluksuz kiriş dikkate alınmıştır. Kiriş eğilme bölgesinde bırakılan farklı boşluk alanları her iki grup içinde benzerdir. Düşey yükleme düzeneğinde kesme açıklığı/faydalı yükseklik oranı (a_v/d) 3.58 seçilerek kirişlerin eğilmeye zorlanması sağlanmıştır. Bu sayede her bir numunede oluşturulan boşluk alanlarının kirişlerin yük taşıma kapasitesi, süneklik ve enerji tüketme kapasitesi gibi özelliklerine olan mekanik etkileri belirlenmek istenmiştir. Şekil 3.59’da kirişlere uygulanan dört noktalı eğilme düzeneği ve yük etki mesafeleri ile kiriş altına deplasman ölçümü için konumlandırılacak olan Lineer Değişken Diferansiyel Transformatörlerin (LVDT) yerleşim noktaları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.59. Deneysel düzeneği

Lineer Değişken Diferansiyel Transformatörlerin (LVDT)'ler kiriş orta noktasından sağa ve sola doğru 30. santimetrelere simetrik şekilde yerleştirilmiştir. Kullanılan yük hücresi 30 ton kapasitelidir. Yükleme kirişteki donatıların akma sınırına kadar birer ton arttırılarak devam etmiştir. Arttırılan her ton için deformasyonlar gözlemlenmiş ve oluşan çatlaklar varsa bunlar işaretlenip yük artırımına ve deneye

devam edilmiştir. Akma sınırına ulaşıldığında yük miktarına göre değil yapılan yükleme altında kirişte ölçülen 10 mm'lik deformasyona karşılık taşıma gücü izlemeye alınmıştır. Yani deneysel çalışmalara yük kontrollü olarak başlanılmış, akma gözlemlendikten sonra deplasman kontrollü devam edilmiştir. Kirişlerin bir kısmında ortalama 80mm-100mm artan deformasyonlar karşılığında taşıma gücünde bir artış olmadığında deneye son verilirken bazı kirişlerde ise ani kırılmalar görüldüğünde deneye son verilmiştir.

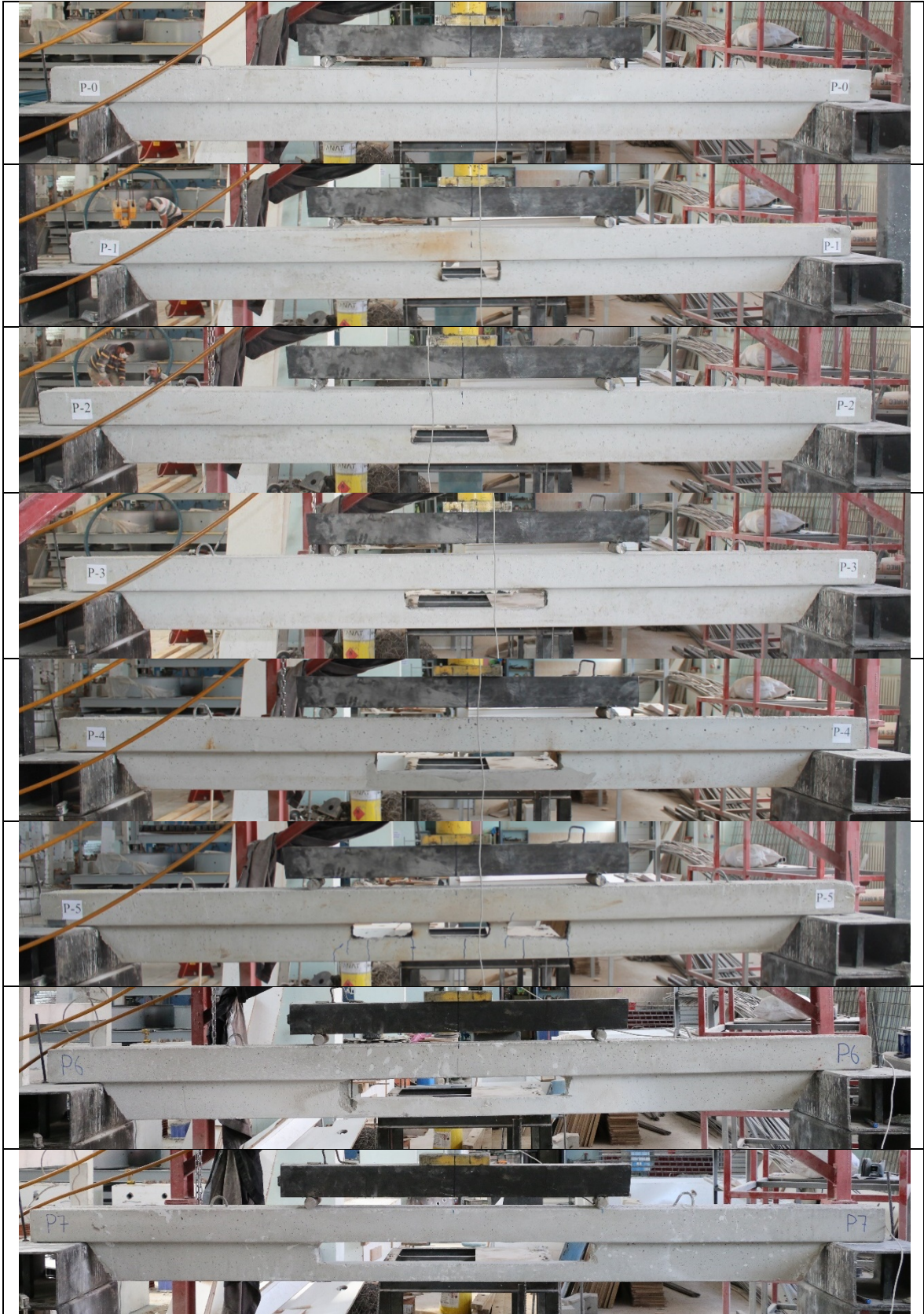
Planlanan deney sürecinin başlangıcında deplasman ölçümünde kullanılacak olan LVDT'ler ölçüm cihazına bağlanarak kalibrasyon gerçekleştirilmektedir. Manuel caraskal vinç yardımıyla düzeneğe yerleştirilen deney elemanının üzerine yükü iki noktaya dağıtmak için kullanılan çelik dağıtıcı profil yerleştirilmektedir. Bu profil üzerine hidrolik silindir ile yük hücresi arasında kalan yüksekliği ayarlayacak çelik takozlar yerleştirilip yük hücresi sisteme dahil edilmektedir. Bu hususlar uygulanarak her bir eleman için deneyler gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.60'ta LVDT kalibrasyonu ve deneylerde kullanılacak olan yük hücresi gösterimi ile ilk deney elemanının düzeneğe yerleştirilmesi aşaması verilmiştir.



Şekil 3.60. Deneylerde kullanılacak elemanların kalibrasyonu ve ilk kirişin düzeneğe yerleştirilmesi

Şekil 3.61 ve Şekil 3.62'de deneylerde kullanılan öngerilmemiş kirişlerin, Şekil 3.63 ve Şekil 3.64'te ise öngerilmeli kirişlerin deney başlangıcı ve deney sonundaki görüntüleri verilmiştir. Alınan sonuçlarla tüm kirişler bireysel ve toplu olarak

değerlendirilmiştir. Deneyler sırasında oluşan çatlaklar ve tüm hasar durumları değerlendirilmiştir.



Şekil 3.61. Öngerilmemiş kirişlerin deney başlangıç gösterimi



Şekil 3.62. Öngerilmemiş kirişlerin deney sonu gösterimi



Şekil 3.63. Öngerilmeli kirişlerin deney başlangıç gösterimi



Şekil 3.64. Öngerilmeli kirişlerin deney sonu gösterimi

3.4.1. Beton ve Donatı Numune Deneyleri

Deney elemanlarının üretimi sırasında birinci, ikinci ve üçüncü dökümde alınan küp ve silindir numuneler üniversite laboratuvarında basınç ve yarmada çekme testine tabi tutulurken 4. Dökümde alınan silindir numuneler ise üretim tesisinin test laboratuvarında basınç testine dahil edilmiştir. Alınan küp numuneler 15x15x15 cm boyutlarındayken silindir numuneler ise 10x20 cm boyutlarındadır. Üretim sırasında kullanılan donatılardan 8 mm ve 10 mm çaplı demirler ise özel bir laboratuvar desteği ile çekip koparma testine dahil edilmiştir. Şekil 3.65'te üniversite laboratuvarında gerçekleştirilen, Şekil 3.66'da üretim tesisinde gerçekleştirilen deneyler gösterilmiştir.



Şekil 3.65. Üniversite laboratuvarındaki basınç ve yarmada çekme deneyleri



Şekil 3.66. Üretim tesisinde yapılan basınç deneyi

Deneyler sonucu ölçüm cihazlarından alınan veriler önce numune elemanların yüzey alanı ve birimler arası dönüşüm denklemlerine göre MPa cinsine çevrilmiş ve ardından literatürde bulunan kurallarla (Ersoy (2001)) boyutsal farkların betonun basınç dayanımına olan etkisi ortadan kaldırılmış ve sonuçlar standardize edilmiştir. Çizelge 3.11’de literatürde bulunan dönüşüm katsayıları gösterilmiştir.

Çizelge 3.11. Dönüşüm katsayıları tablosu

Numune Geometrisi	Numune Boyutları (mm)	Basınç Dayanımının, Standart Basınç Dayanımına Oranı
KÜP	300x300x300	0,90
KÜP	200x200x200 (Standart)	1,00
KÜP	150x150x150	1,10
KÜP	100x100x100	1,25
SİLİNDİR	250x250	0,95
SİLİNDİR	150x300 (Standart)	1,00
SİLİNDİR	100x200	1,05

Dönüşüm katsayılarına göre hesaplanan küp numune dayanım değerleri %10 arttırılmıştır. Yine hesaplanan silindir numune dayanım değerleri %5 arttırılmıştır. Her bir dökümden alınan numunelerin nihai dayanım değerleri Çizelge 3.12-Çizelge 3.16’da verilmiştir. Çizelge 3.17 ve Çizelge 3.18’de ise donatı test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.12. 15x15x15 cm boyutlu 1. döküm 6 adet küp numune basınç deneyi sonuçları

Numune No	Numune Kırılma Yüğü (ton)	Yük Etki Eden Yüzey Alanı (cm ²)	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Basınç Dayanımı (MPa)	Düzeltilme Oranı (%)	Düzeltilmiş Basınç Dayanımı (MPa)
1	136,1	225	604.88	59.33	10	65,27
2	116,1	225	516.00	50.62	10	55,68
3	135,3	225	601.33	58.99	10	64,89
4	116,4	225	517.33	50.75	10	55,83
5	122,6	225	544.88	53.45	10	58,80
6	141,8	225	630.22	61.82	10	68,01
ORTALAMA	128,05					61,41
S. SAPMA						5,31

Çizelge 3.13. 10x20 cm boyutlu 2. döküm silindir numune basınç deneyi sonuçları

Numune No	Numune Kırılma Yüğü (ton)	Yük Etki Eden Yüzey Alanı (cm ²)	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Basınç Dayanımı (MPa)	Düzeltilme Oranı (%)	Düzeltilmiş Basınç Dayanımı (MPa)
1	40,90	78,53	520.82	51.09	5	53,64
2	33,40	78,53	425.31	41.72	5	43.80
3	24,80	78,53	315.80	30.98	5	32.53
ORTALAMA	33,03					43,32
S. SAPMA						10,56

Çizelge 3.14. 10x20 cm boyutlu 3. döküm silindir numune basınç deneyi sonuçları

Numune No	Numune Kırılma Yüğü (ton)	Yük Etki Eden Yüzey Alanı (cm ²)	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Basınç Dayanımı (MPa)	Düzeltilme Oranı (%)	Düzeltilmiş Basınç Dayanımı (MPa)
1	27,00	78,53	343.81	33.72	5	35.41
2	24,70	78,53	314.52	30.85	5	32.39
3	36,70	78,53	467.33	45.84	5	48.13
ORTALAMA	29.46					38.64
S. SAPMA						8,35

Çizelge 3.15. 10x20 cm boyutlu 4. döküm silindir numune basınç deneyi sonuçları

Numune No	Numune Kırılma Yüğü (ton)	Yük Etki Eden Yüzey Alanı (cm ²)	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Basınç Dayanımı (MPa)	Düzeltilme Oranı (%)	Düzeltilmiş Basınç Dayanımı (MPa)
1	32,72	78,53	416,65	40,87	5	42,91
2	32,89	78,53	418,82	41,08	5	43,13
3	33,01	78,53	420,34	41,23	5	43,29
ORTALAMA	32,87					43,11
S. SAPMA						0,19

Çizelge 3.16. 10x20 cm boyutlu 2. ve 3. döküm silindir numune yarmada çekme deneyi sonuçları

2. Döküm Numune Numarası	Numune Kırılma Yüğü (ton)	3. Döküm Numune Numarası	Numune Kırılma Yüğü (ton)
1	11,30	1	9,00
2	10,00	2	10,7
3	11,50	3	10,4
ORTALAMA	10,93		10,03

Çizelge 3.17. 8'lik donatı test sonuçları

Donatı Numunesi	Çelik Sınıfı	Çap (mm)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)
1	B420C	8	492,55	596,51
2	B420C	8	480,09	596,79
3	B420C	8	475,00	583,98
ORTALAMA			482,54	592,42

Çizelge 3.18. 10'luk donatı test sonuçları

Donatı Numunesi	Çelik Sınıfı	Çap (mm)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)
1	B420C	10	445,75	558,71
2	B420C	10	464,00	573,88
3	B420C	10	426,00	543,25
ORTALAMA			445,25	558,61

Nihai olarak üretilen tüm deney elemanlarının üretiminde kullanılan beton dayanımları ile çelik akma dayanımları çizelge 3.19'da gösterilmiştir.

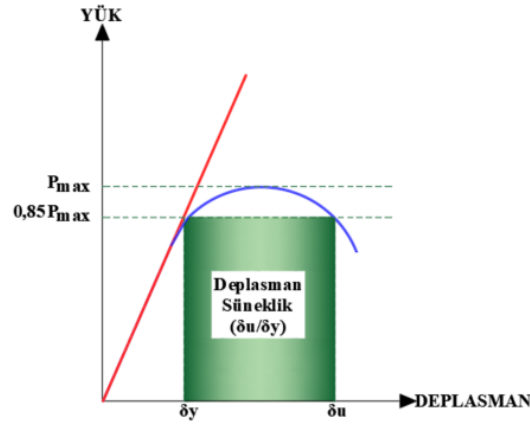
Çizelge 3.19. Öngerilmeli ve öngerilmemiş deney elemanlarının malzeme özellikleri

Öngerilmemiş Numune Adı	Boşluk Boyutu (cm)	Beton Basınç Dayanımı (MPa)	Donatı Akma Dayanımı (ort.) (MPa) (8mm-10mm)	Öngerilmeli Numune Adı	Boşluk Boyutu (cm)	Beton Basınç Dayanımı (MPa)	Donatı Akma Dayanımı (ort.) (MPa) (8mm-10mm)
P-0	-	43,32	482,54-445,25	PP-0	-	61,41	482,54-445,25
P-1	24x8	43,32	482,54-445,25	PP-1	24x8	38,64	482,54-445,25
P-2	40x8	43,32	482,54-445,25	PP-2	40x8	61,41	482,54-445,25
P-3	56x8	43,32	482,54-445,25	PP-3	56x8	38,64	482,54-445,25
P-4	72x8	43,32	482,54-445,25	PP-4	72x8	38,64	482,54-445,25
P-5	3x24x8	38,64	482,54-445,25	PP-5	3x24x8	38,64	482,54-445,25
P-6	88x8	43,11	482,54-445,25	PP-6	88x8	61,41	482,54-445,25
P-7	104x8	43,11	482,54-445,25	PP-7	104x8	61,41	482,54-445,25

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde test edilen öngerilmeli ve öngerilmesiz numunelerin deneyleri anlatılmış, elde edilen sonuçlar şekil ve çizelgeler ile açıklanmıştır. Tüm deney numuneleri için düşey yük 10 kN'luk artışlarla uygulanmış, numunelerde akma gözlemlendikten sonra 10 mm artışlarla deney sonlanana kadar deplasman kontrollü ilerlenmiştir. Öncelikle kirişlerin bireysel olarak davranışları değerlendirilip ardından öngerilmeli ve öngerilmesiz olarak iki ayrı grup için kendi içerisinde artan boşluk miktarının kapasiteye etkisi araştırılmıştır. Deney sırasında düzeneğe yerleştirilmiş olan yük hücresi kirişe uygulanan kuvveti ölçerken Doğrusal Değişken Diferansiyel Transformatör (LVDT)'ler ise bu yük altında oluşan deplasmanları ölçüp bu verileri anlık olarak sisteme bağlanan bilgisayara aktarmaktadır. Yani deney sonucunda kirişe uygulanan her bir yükün karşılığında oluşan deplasman değerleri elde edilmiştir. Bu sayede elde edilen değerler kullanılarak yapılan hesaplarla her bir numune için ulaşıldığı maksimum yük, maksimum deplasman, ilk çatlamanın meydana geldiği yük, süneklik, enerji tüketme kapasiteleri ve maksimum yükteki rijitlik değerleri hesap edilmiş ve kirişlerin eğilme etkisi altında gösterdiği davranış daha anlamlı şekilde yorumlanmıştır.

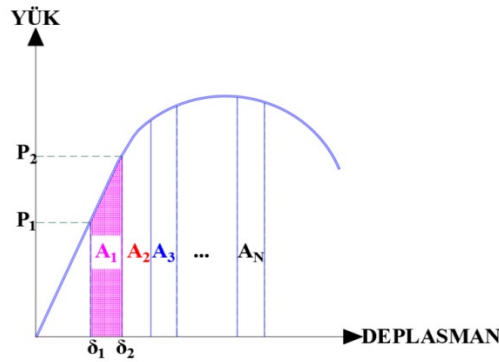
Alınan sonuçlarla yük değerleri arasındaki en büyük değer P_{max} 'ı ifade ederken bu yükün karşılığında deplasman değeri ise maksimum yükteki deplasmanı ifade etmektedir. $0,85P_{max}$ ise kirişin lineer elastik davranış gösterdiği kabul edilen ve maksimum yükün %85'ine karşılık gelen değeri ifade etmektedir. δ_y veriler arasında akma anının hemen öncesindeki deplasman değerini ifade ederken, δ_u değeri ise taşıma gücünde geline tepe nokta geçildikten sonra belirlenen maksimum yükün hesaplanan % 85'lik değerinin karşılığında deplasman değerini etmektedir. δ_u/δ_y ile kirişin süneklik oranı elde edilmektedir. Şekil 4.1'de grafik üzerinde sembolik olarak süneklik oranı gösterilmiştir.



a) Süneklik

Şekil 4.1. Kirişler için süneklik

Yine alınan sonuçlar ile ortaya çıkan yük-deplasman grafiklerinde kirişin davranışını gösteren eğrinin altında kalan alan deney sırasında kirişin tükettiği enerjiyi vermektedir. Bu alan hesaplanırken karmaşık problemlerin basite indirildiği sonlu elemanlar yöntemi mantığı ile grafik altındaki bölge birim alanlara bölünüp, sıralı şekilde okunan 2 adet yük değerinin ortalaması ile bu yük değerlerinin karşılığı olan deplasman değerleri arasındaki fark birbiri ile çarpılıp yamuk alan mantığı ile birim alanlar hesaplanıp ardışık bu alanların toplamı ile toplam değere gidilmektedir. Şekil 4.2'de bu mantık sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Alan hesabı

Örnek A_1 alanı hesaplanırken;

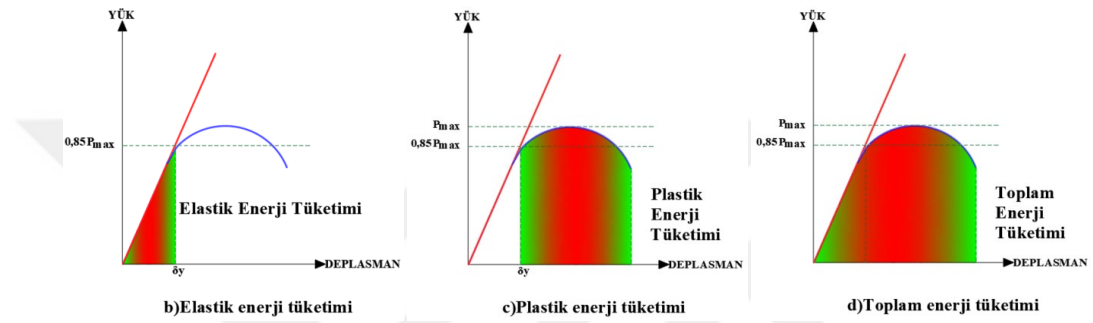
$$A_1 = \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) \times (\delta_2 - \delta_1) \quad (41)$$

Denklemler 41'de verilen formül kullanılmıştır. Ardından toplam alan hesaplanırken ise;

$$A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_N \quad (42)$$

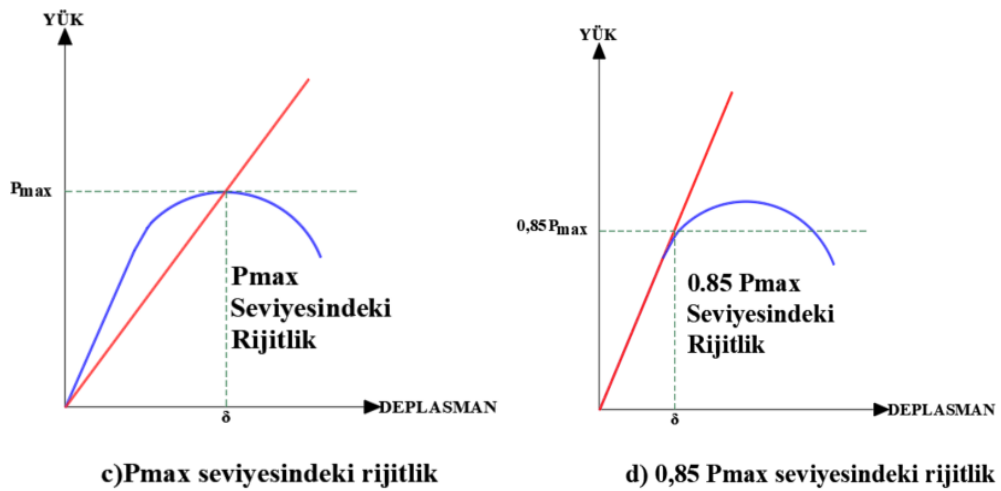
Denklem 42’de verilen formül kullanılmıştır.

Elastik enerji tüketimini, ulaşılan ilk $0,85P_{max}$ değerinin düşey olarak deplasman eksen çizgisini kestiği noktaya kadar oluşan alan ifade ederken plastik enerji tüketimini ise $0,85P_{max}$ değerinin düşey olarak deplasman eksen çizgisini kestiği noktadan eğrinin sonuna kadar oluşan alan ifade etmektedir. Grafik altında kalan toplam alan ise kirişin toplam elastoplastik enerji tüketimini göstermektedir. Şekil 4.3’te grafikler üzerinde enerji tüketim verileri sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Enerji tüketimi verileri

Rijitlik değerleri hesaplanırken maksimum yükteki rijitlik; taşınan maksimum yükün, bu yük sırasında oluşan deplasman değerine bölünmesiyle elde edilirken $0,85P_{max}$ değerindeki rijitlik ise maksimum yükün hesaplanan % 85’lik değerinin, karşılığındaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilir. Şekil 4.4’te grafikler üzerinde rijitlik değerleri sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Rijitlik









Nihai olarak deneylerden alınan sonuçlara göre boşluklu tasarımın öngerilmeli, öngerilmesiz veya her ikisi için olumlu-olumsuz yönleri kapsamlı olarak incelenmiştir. Bu inceleme sırasında kirişler tarafında taşınan maksimum yük değeri, kirişlerin süneklik oranı, maksimum yükteki rijitlikleri ve taşınan maksimum yükün %85'ine karşılık gelen yük değeri davranışların yorumlaması sırasında kullanılırken aynı zamanda enerji tüketme kapasiteleri de kirişlerin elastoplastik davranışlarının yorumlanmasında göz önünde bulundurulmuştur. Bununla birlikte maliyet, işçilik ve uygulanabilirlik açısından da geniş bir açıdan çalışma değerlendirilip önerilerde bulunulmuştur.

4.1. Öngerilmesiz Kirişlerin Değerlendirilmesi

P-0 Kirişi:

Referans P-0 kirişi öngerilmesiz test edilen ilk numunedir. P-0 kirişinde ilk çatlaklar kiriş çekme bölgesinde 30 kN yük seviyesinde gözlenmiştir. Daha sonra yükün 40 kN'a ulaşmasıyla çekme bölgesindeki çatlak sayısı artmış ve çatlak uzamaları kiriş üst başlığına doğru devam etmiştir. Çatlakların beton basınç bölgesine doğru ilerleyişi, tarafsız eksen yüksekliğinin azalmasına ve kirişin akmaya ulaşmasına işaret olarak değerlendirilmektedir. Nitekim düşey yükün 48 kN değerine ulaşması ile akma meydana gelmiştir. Bu aşmadan sonra deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Artan deplasmanlar ile hem yeni çatlaklar oluşmaya başlamış hem de çekme bölgesinde var olan çatlakların genişlemeye devam etmesiyle deneye 62.29 mm deplasmana ulaşana kadar devam edilmiştir. Deney düzeneğinde bozulmaların meydana gelmemesi için bu deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Düzenekten ölçüm aletleri alındıktan sonra kirişin yapabileceği maksimum deplasmanın gözlemlenebilmesi adına yükleme yapıp herhangi bir veri ölçmeden davranış incelenmiştir. Deplasman artışları kiriş çekme bölgesinde 2. yükleme noktasının altında bazı kabuk betonun dökülmesine de yol açmıştır. Deney sonunda kirişin kesme bölgesinde herhangi bir çatlak ve hasar olmayışı kirişin eğilme kapasitesinin zorlandığını göstermektedir. Diğer bir ifade ile seçilen a_v/d oranının uygun olduğu anlaşılmaktadır. P-0 kirişine ait hasar oluşum aşamaları Çizelge 4.1'de, deney sonu hasar görünümleri Şekil 4.5'de gösterilmiştir.

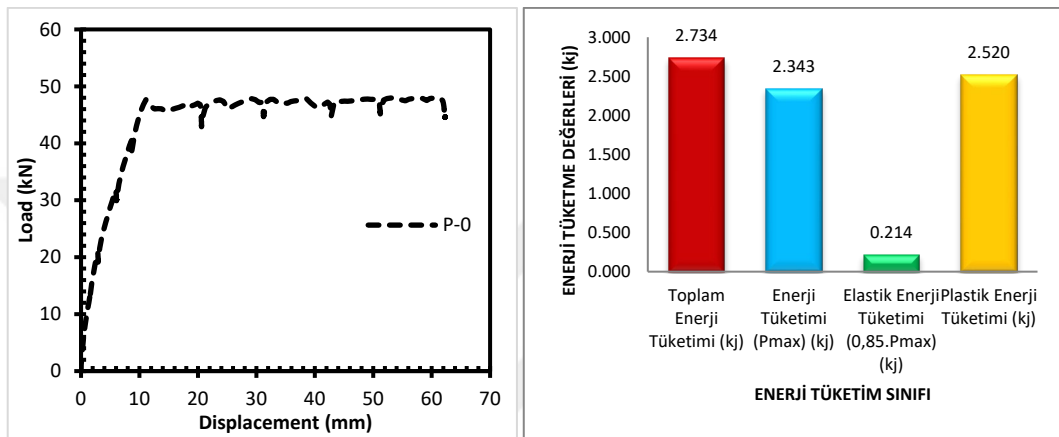
Çizelge 4.1. P-0 Kirişi Çatlak oluşum aşamaları

Yük (kN)	Dep. (mm)	Yükleme Anındaki Görünüş
0	0,00	
30	6,00	
40	8,00	
48	20,00	
47	30,00	
46	40,00	
44	62,29	
-	-	



Şekil 4.5. Deney sonu hasar görüntüleri

Deney sonu hasar görüntülerine bakıldığında kiriş çok büyük deplasman gerçekleştirmiş ve bir nokta haricinde betonda dökülme oluşmamıştır. Eğilme bölgesindeki çatlaklar belli bir düzen içerisinde yayılıp, çatlakların tümü eşit oranda üst başlığa uzanma eğilimi göstermiştir. Nihai durumdaki hasar tamamen eğilme hasarıdır. Hasarlar iki yükleme noktası arasında, kiriş gövdesinde maksimum eğilme bölgesinde sınırlı kalmıştır. Kiriş basınç bölgesinde ezilme oluşmamıştır. Şekil 4.6’da P-0 kirişine ait yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.6. P-0 yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketimi değerleri

P-0 kirişi beklenildiği gibi sünek davranış sergileyerek göçme konumuna ulaşmıştır. Hesaplanan süneklik oranı ($\mu=6.92$) literatürde denge altı sünek kirişler için olması gereken süneklik oranının minimum 4-5 gerekçesi dikkate alındığında yeterlidir [Aykaç S. vd. (2011)]. Ayrıca kirişin maksimum yük seviyesindeki rijitliği 0.89 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Şekil 4.6’da verilen eğrinin altındaki alanlar dikkate alınarak toplam enerji tüketimi (2.73 kJ), P_{\max} anındaki enerji tüketimi (2.34 kJ), $0.85P_{\max}$ anındaki elastik enerji tüketimi (0.21 kJ) ve plastik enerji tüketimi (2.52 kJ) hesaplanmıştır. P-0 kirişine ait deney sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. P-0 deney sonuçları

Öngerilmemiş Kiriş Adı	P_{\max} (kN)	P_U $0,85.P_{\max}$ (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
P-0	48	40,80	9	62,29	6,92	62,29	53,51	0,89

P-1 Kirişi:

P-1 kirişi öngerilmesiz test edilen ikinci numunedir. P-1 kirişinde ilk çatlaklar kiriş çekme bölgesinde 10 kN yük seviyesinde gözlenmiştir. Boşluksuz referans kirişe göre ilk çatlakların oluştuğu yük seviyesinde azalma oluşmuştur. Daha sonra yükün 50 kN'a ulaşmasıyla çekme bölgesindeki çatlak sayısı artmış ve çatlak uzamaları kiriş üst başlığına doğru devam etmiştir. Nitekim düşey yükün 55,68 kN değerine ulaşması ile akma meydana gelmiştir. Bu aşmadan sonra yine deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Artan deplasmanlar ile hem yeni çatlaklar oluşmaya başlamış hem de çekme bölgesinde var olan çatlakların genişlemeye devam etmesiyle deney 50.18 mm deplasmana ulaşana kadar devam edilmiştir. Deney düzeneğinde bozulmaların meydana gelmemesi için bu deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda kirişin kesme bölgesinde belirgin hasarların olmayışı da kirişin referans kirişte olduğu gibi eğilme kapasitesinin zorlandığını göstermektedir. Diğer bir ifade ile 24 cm gövde boşluğu bulunan kiriş içinde seçilen a/d oranının uygun olduğu anlaşılmaktadır. P-1 kirişine ait çatlak oluşum aşamaları Çizelge 4.3'te, deney sonu hasar görünüşleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. P-1 Kirişi Çatlak oluşum aşamaları

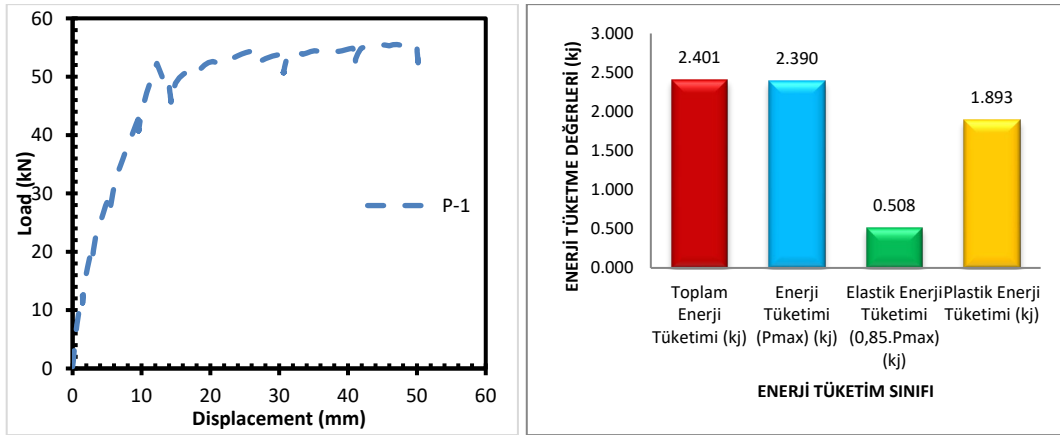
Yük (kN)	Dep. (mm)	Yükleme Anındaki Görünüş
0	0,00	
10	1,00	
20	2,00	
30	5,00	

40	9,00	
50	16,00	
53	30,00	
52	50,18	



Şekil 4.7. Deney sonu hasar görüntüleri

P-1 kirişinde de referans numunedeki gibi eğilme hasarı oluşmuştur. Ancak farklı olarak hasarlar yükleme noktaları arasında kalmayıp kesme bölgesine doğru yayılım eğilimi göstermiştir. İlâveten eğilme hasarlarının yükleme noktaları altında bulunanlarının çatlak genişliği artmış kiriş merkezinde oluşan çatlak genişlikleri ilerlememiştir. Kiriş basınç bölgesinde sağ mesnet tarafındaki yükleme noktasının altında ezilme meydana gelmiştir. Şekil 4.8’de P-1 kirişine ait yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.8. P-1 yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketim değerleri

P-1 kirişi beklenildiği gibi sünek davranış sergileyerek göçme konumuna ulaşmıştır. Hesaplanan süneklik oranı ($\mu=3.46$) literatürde denge altı sünek kirişler için olması gereken süneklik oranının minimum 4-5 gerekçesi dikkate alındığında yaklaşık yeterlidir [Aykaç S. vd. (2011)]. Ancak referans kirişe göre süneklik oranında azalma olduğu görülmüştür. Ayrıca kirişin maksimum yük seviyesindeki rijitliği 1.12 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Şekil 4.8’de verilen eğrinin altındaki alanlar dikkate alınarak toplam enerji tüketimi (2.40kJ), P_{max} anındaki enerji tüketimi (2.39 kJ), $0.85P_{max}$ anındaki elastik enerji tüketimi (0.51 kJ) ve plastik enerji tüketimi (1.89 kJ) hesaplanmıştır. Boşluksuz tasarıma göre toplam enerji tüketiminde belirgin bir azalma ortaya çıkmamakla birlikte elastik enerji tüketiminde artış oluşmuştur. Bu durum kirişin akma durumuna ulaşmadan önce daha fazla elastik deformasyonlar gerçekleştirebileceği anlamına gelmektedir. P-1 kirişine ait deney sonuçları Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4. P-1 deney sonuçları








Öngerilmemiş Kiriş Adı	P_{max} (kN)	P_U 0,85. P_{max} (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
P-1	55,68	47,32	14,5	50,18	3,46	50,18	49,66	1,12


P-2 Kirişi

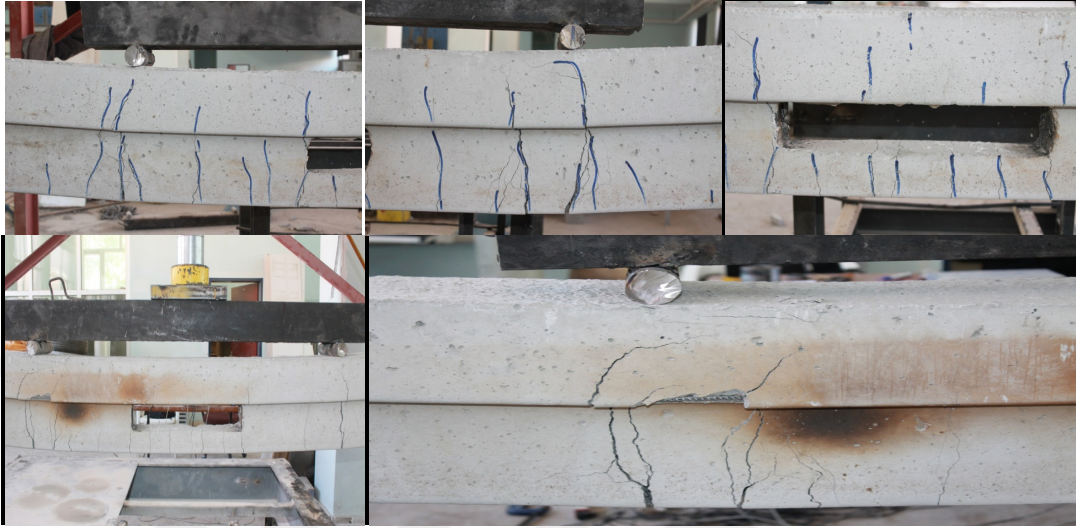
P-2 kirişi öngerilmemiş test edilen üçüncü numunedir. P-2 kirişinde ilk çatlaklar kiriş çekme bölgesinde P-1 kirişinde olduğu gibi 10 kN yük seviyesinde gözlenmiştir. Daha sonra yükün 50 kN’a ulaşmasıyla çekme bölgesindeki çatlak sayısı artmış ve

çatlak uzamaları kiriş üst başlığına doğru devam etmiştir. Nitekim düşey yükün 52,33 kN seviyesine ulaşması ile akma meydana gelmiştir. Bu aşmadan sonra yine deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Artan deplasmanlar ile hem yeni çatlaklar oluşmaya başlamış hem de çekme bölgesinde var olan çatlakların genişlemeye devam etmesiyle deney 53.44 mm deplasmana ulaşana kadar devam edilmiştir. Deney düzeneğinde bozulmaların meydana gelmemesi için bu deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda kirişin kesme bölgesinde belirgin hasarların olmayışı da kirişin eğilme kapasitesinin zorlandığını göstermektedir. Ancak artan boşluk uzunluğu eğilme çatlaklarının kesme sınırına yaklaşırma eğilimini göstermiştir. P-2 kirişine ait çatlak oluşum aşamaları Çizelge 4.5'te, deney sonu hasar görünüşleri Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. P-2 Kirişi Çatlak oluşum aşamaları

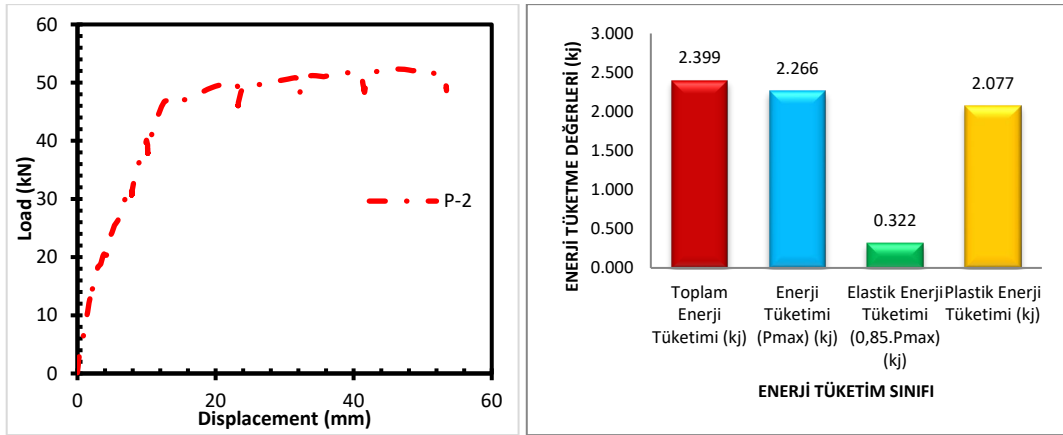
Yük (kN)	Dep. (mm)	Yüklemeye Anındaki Görünüş
0	0,00	
10	1,00	
20	4,00	
30	7,85	
40	10,00	
50	22,00	
48	30,00	

52	53,44	
----	-------	--



Şekil 4.9. Deney sonu hasar görüntüleri

Yine P-2 kirişinde de referans kirişteki gibi eğilme hasarı oluşmuştur. Ancak referans numuneden farkı, P-1 kirişinde olduğu gibi hasarlar yükleme noktaları arasında kalmayıp kesme bölgesine doğru yaklaşım eğilimi göstermiştir. Test edilen ilk iki boşluklu tasarım dikkate alındığında ön yorumlama sonucunda gövdede bırakılan boşluğun kirişe etki eden düşey yükler altında oluşan eğilme hasarlarının eğilme bölgesinden kesme bölgesine doğru yayılım eğilimi oluşturduğu söylenebilir. P-1 kirişindeki gibi belirgin seviyede olmasa da eğilme hasarlarının yükleme noktaları altında bulunanlarının çatlak genişliği artmış kiriş merkezinde oluşan çatlaklar zayıf kalmıştır. Kiriş basınç bölgesinde ezilme oluşmamıştır ancak sağ mesnet tarafındaki yükleme noktasının altında kiriş üst başlık kenarında kabuk beton dökülüp donatı ortaya çıkmıştır. Şekil 4.10'da P-2 kirişine ait yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.10. P-2 yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketim değerleri

P-2 kirişi P-1 ve P-0 kirişine benzer şekilde sünek davranış sergileyerek göçme konumuna ulaşmıştır. Hesaplanan süneklik oranı ($\mu=4.53$) literatürde denge altı sünek kirişler için olması gereken süneklik oranının minimum 4-5 gerekçesi dikkate alındığında yeterlidir [Aykaç S. vd. (2011)]. Ayrıca kirişin maksimum yük seviyesindeki rijitliği 1.04 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Şekil 4.10'da verilen eğrinin altındaki alanlar dikkate alınarak toplam enerji tüketimi (2.39kJ), P_{max} anındaki enerji tüketimi (2.26 kJ), $0.85P_{max}$ anındaki elastik enerji tüketimi (0.32 kJ) ve plastik enerji tüketimi (2.07 kJ) hesaplanmıştır. P-2 kirişinde de referans numuneye kıyasla enerji tüketme kapasitesinde belirgin bir azalma oluşmadan elastik enerji tüketme kapasitesi artmıştır. P-2 kirişine ait deney sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. P-2 deney sonuçları





Öngerilmemiş Kiriş Adı	P_{max} (kN)	P_U 0,85. P_{max} (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
P-2	52,33	44,48	11,78	53,44	4,53	53,44	50,31	1,04

P-3 Kirişi:

P-3 kirişi öngerilmemiş test edilen dördüncü numunedir. P-3 kirişinde de ilk çatlaklar P-1 ve P-2 boşluklu kirişlerinde olduğu gibi çekme bölgesinde 10 kN yük seviyesinde referans kirişe göre erken gözlenmiştir. Daha sonra yükün 50 kN'a ulaşmasıyla çekme bölgesindeki çatlak sayısı artmış ve çatlak uzamaları kiriş üst başlığına doğru devam etmiştir. Nitekim düşey yükün 51,57 kN seviyesine ulaşması ile

akma meydana gelmiştir. Bu aşmaktan sonra önceki test protokolünde olduğu gibi deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Artan deplasmanlar ile hem yeni çatlaklar oluşmaya başlamış hem de çekme bölgesinde var olan çatlakların genişlemeye devam etmesiyle deney 50.89 mm deplasmana ulaşana kadar devam edilmiştir. P-3 kirişine ait çatlak oluşum aşamaları Çizelge 4.7’de, deney sonu hasar görünüşleri Şekil 4.11’de gösterilmiştir.

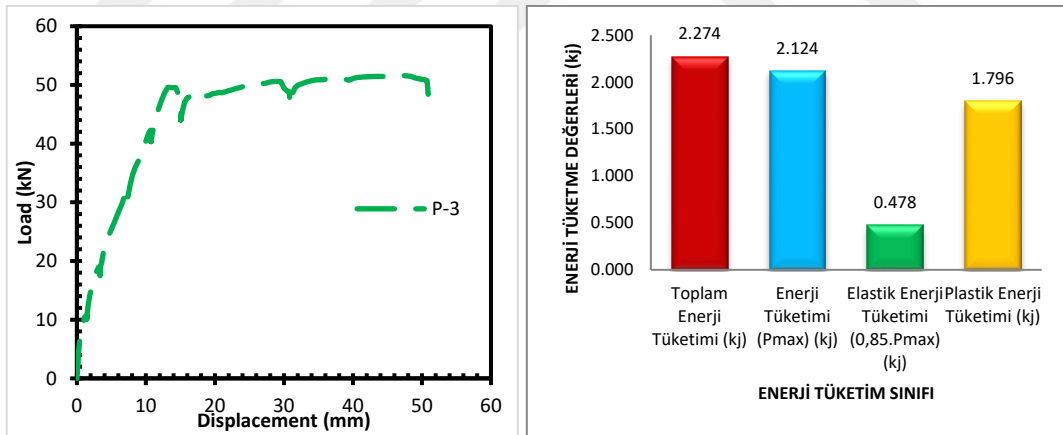
Çizelge 4.7. P-3 Kirişi Çatlak oluşum aşamaları

Yük (kN)	Dep. (mm)	Yükleme Anındaki Görünüş
0	0,00	
10	1,00	
20	3,00	
30	7,00	
40	10,00	
50	20,00	
46	30,00	
51	40,00	
47	50,89	



Şekil 4.11. Deney sonu hasar görüntüleri

P-3 kirişinde de referans kirişteki gibi eğilme hasarı oluşmuştur. Ancak referans numuneden farkı, P-1 ve P-2 kirişlerinde olduğu gibi hasarlar yükleme noktaları arasında kalmayıp kesme bölgesine doğru yaklaşım eğilimi göstermiştir. P-1 kirişinde her iki yükleme noktası altında oluşan büyük çatlak genişliği P-3 kirişinde sol mesnet tarafındaki yükleme noktası altında oluşmuştur. Artan boşluk uzunluğu ile kiriş merkezinde boşluk altında oluşan hasarlar daha kılcal hale gelirken yükleme noktalarının altında daha geniş çatlaklar oluşum göstermiştir. Yani açılan ve uzunluğu artan boşluk ile kiriş gövdesinde oluşan yük zorlamaları yükleme noktası altına doğru kaymaya başlamıştır. Şekil 4.12’de P-3 kirişine ait yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.12. P-3 yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketim değerleri

P-3 kirişi beklenildiği gibi önceki kirişlere benzer şekilde sünek davranış sergileyerek göçme konumuna ulaşmıştır. Hesaplanan süneklik oranı ($\mu=4.52$) literatürde denge altı sünek kirişler için olması gereken süneklik oranının minimum 4-5 gerekçesi dikkate alındığında yeterlidir [Aykaç S. vd. (2011)]. Ayrıca kirişin maksimum yük seviyesindeki rijitliği 1.08 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Şekil 4.12’de verilen eğrinin altındaki alanlar dikkate alınarak toplam enerji tüketimi (2.27kJ), P_{max} anındaki enerji tüketimi (2.12 kJ), 0.85P_{max} anındaki elastik enerji tüketimi (0.47 kJ) ve plastik

enerji tüketimi (1.79 kJ) hesaplanmıştır. P-3 kirişinde de referans numuneye kıyasla enerji tüketme kapasitesinde belirgin bir azalma oluşmadan elastik enerji tüketme kapasitesi artmıştır. P-3 kirişine ait deney sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir.









Çizelge 4.8. P-3 deney sonuçları

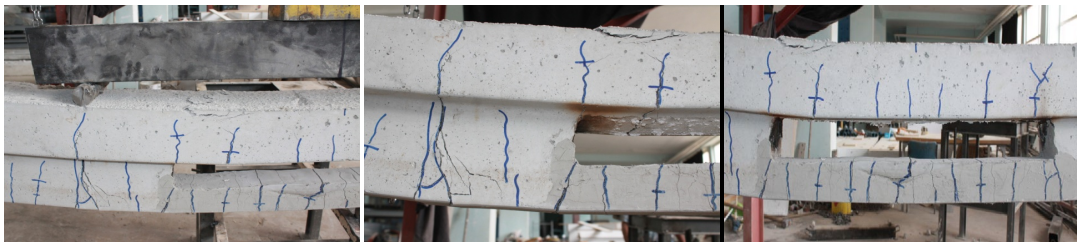
Öngerilmemiş Kiriş Adı	P_{max} (kN)	P_U $0,85.P_{max}$ (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
P-3	51,57	43,84	11,25	50,89	4,52	50,89	47,46	1,08

P-4 Kirişi

P-4 kirişi öngerilmemiş test edilen beşinci numunedir. P-4 kirişinde ilk çatlaklar P-1, P-2 ve P-3 boşluklu kirişlerinde olduğu gibi çekme bölgesinde 10 kN yük seviyesinde referans kirişe göre erken gözlenmiştir. Bu noktada yapılan çıkarım ile boşluklu yapı kesin olarak kirişin daha düşük yük altında hasar almaya başlamasına neden olmuştur. Ön öneri olarak boşluklu form ile oluşturulacak olan kirişlerde erken oluşan hasarlar konusunda önlemler alınmalıdır. Daha sonra yükün 50 kN’a ulaşmasıyla çekme bölgesindeki çatlak sayısı artmış ve çatlak uzamaları kiriş üst başlığına doğru devam etmiştir. Bu seviyeye kadar kiriş çok küçük artımlarla deplasman yapmışken bu seviyeden sonra yükte bir artış olmazken oluşan deplasmanlarda büyük atışlar meydana gelmektedir. Nitekim düşey yükün 53,48 kN seviyesine ulaşması ile akma meydana gelmiştir. Bu aşamadan sonra yine deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Artan deplasmanlar ile hem yeni çatlaklar oluşmaya başlamış hem de çekme bölgesinde var olan çatlakların genişlemeye devam etmesiyle deney 52.64 mm deplasmana ulaşana kadar devam edilmiştir. Deney düzeneğinde bozulmaların meydana gelmemesi için bu deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda kirişin kesme bölgesinde belirgin hasarların olmayışı da kirişin eğilme kapasitesinin zorlandığını göstermektedir. Diğer bir ifade ile seçilen a_v/d oranının P-4 kirişi içinde uygun olduğu anlaşılmaktadır. P-4 kirişine ait çatlak oluşum aşamaları Çizelge 4.9’da, deney sonu hasar görünümleri Şekil 4.13’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. P-4 Kirişi Çatlak oluşum aşamaları

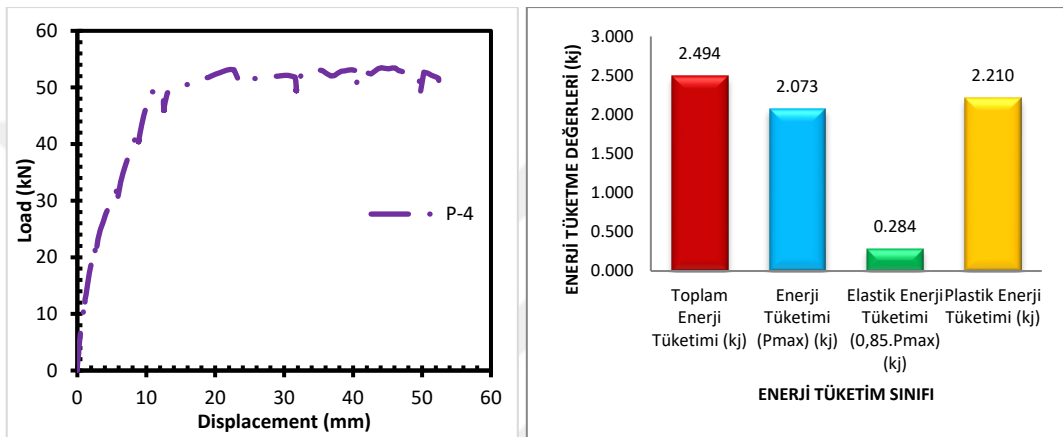
Yük (kN)	Dep. (mm)	Yükleme Anındaki Görünüş
0	0,00	
10	1,00	
20	2,00	
30	5,00	
40	8,00	
50	12,00	
51	30,00	
48	52,64	



Şekil 4.13. Deney sonu hasar görüntüleri

P-4 kirişinde de referans kirişteki ve öngerilmemiş daha kısa uzunlukta gövde boşluğu bulunan kirişlerde olduğu gibi eğilme hasarı oluşmuştur. Diğer boşluklu kirişlerde

olduğu gibi hasarlar yükleme noktaları arasında kalmayıp kesme bölgesine doğru yaklaşım eğilimi göstermiştir. Artan boşluk uzunluğu ile kiriş merkezindeki alt başlığın karşıladığı moment etkilerini üst başlığın karşılaması zorunluluğu oluşmuştur. Bu durum kiriş merkezinde üst başlığın daha çok zorlanmasına sebebiyet vermiştir. Böylece ana hasar noktası yükleme noktaları altından kiriş merkezindeki basınç bölgesine doğru kaymıştır. Nihai durumda kiriş basınç bölgesinde ciddi ezilme meydana gelmiştir. Şekil 4.14'te P-4 kirişine ait yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.14. P-4 yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketim değerleri

P-4 kirişi sünek davranış sergileyerek göçme konumuna ulaşmıştır. Hesaplanan süneklik oranı ($\mu=5.45$) literatürde denge altı sünek kirişler için olması gereken süneklik oranının minimum 4-5 gerekçesi dikkate alındığında yeterlidir [Aykaç S. vd. (2011)]. Artan boşluk uzunluğu ile P-4 kirişinde süneklik oranı P-1, P-2 ve P-3 öngermesiz kirişlere göre artış göstermiştir. Ayrıca kirişin maksimum yük seviyesindeki rijitliği 1.21 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Şekil 4.14'te verilen eğrinin altındaki alanlar dikkate alınarak toplam enerji tüketimi (2.49kJ), P_{max} anındaki elastik enerji tüketimi (2.07 kJ), $0.85P_{max}$ anındaki enerji tüketimi (0.28 kJ) ve plastik enerji tüketimi (2.21 kJ) hesaplanmıştır. P-4 kirişinde enerji tüketimi referans numuneye benzer durumda olup artan boşluk uzunluğu ile elastik enerji tüketimi P-1, P-2 ve P-3 boşluklu aşıklarına göre daha düşük seviyede kalmıştır. P-4 kirişine ait deney sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.










Çizelge 4.10. P-4 deney sonuçları

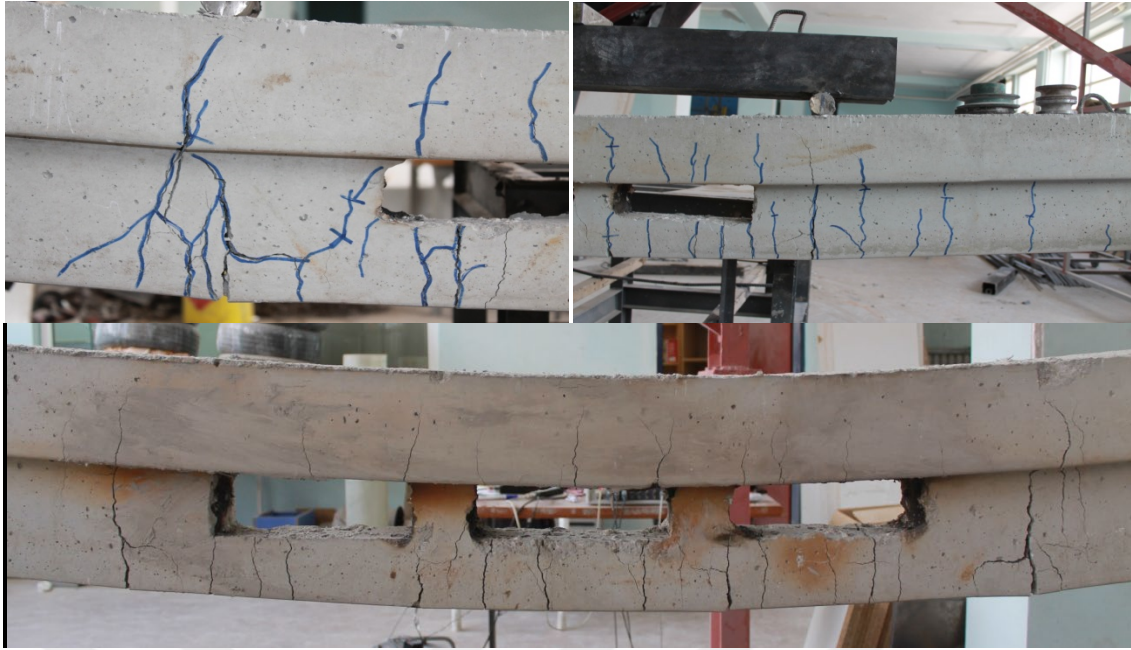
Öngerilmemiş Kiriş Adı	P_{max} (kN)	P_U $0,85.P_{max}$ (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
P-4	53,48	45,46	9,64	52,63	5,45	52,64	44,09	1,21

P-5 Kirişi

P-5 kirişi öngerilmemiş test edilen altıncı numunedir. Bu kirişte diğer tasarımlardan farklı olarak boşluk yekpare olmayıp 3 parça halinde 24 cm boşlukların 6 cm aralıklı şekilde kiriş merkezine yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Bu kiriş ile aslında boşluklu formun uygulanması konusunda tasarım konusunda çıkarımlara ulaşılmıştır. P-5 kirişinde ilk çatlaklar P-1, P-2, P-3 ve P-4 boşluklu kirişlerinde olduğu gibi çekme bölgesinde 10 kN yük seviyesinde referans kirişe göre erken gözlenmiştir. Daha sonra yükün 50 kN'a ulaşmasıyla çekme bölgesindeki çatlak sayısı artmış ve çatlak uzamaları kiriş üst başlığına doğru devam etmiştir. Nitekim düşey yükün 53,82 kN seviyesine ulaşması ile akma meydana gelmiştir. Bu aşmadan sonra deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Artan deplasmanlar ile hem yeni çatlaklar oluşmaya başlamış hem de çekme bölgesinde var olan çatlakların genişlemeye devam etmesiyle deney 60.50 mm deplasmana ulaşana kadar devam edilmiştir. Artan boşluk uzunluğu ile önce yükleme noktalarının altına doğru kayan geniş çatlakların bu tasarımla yine referans kirişte olduğu gibi eğilme noktasında daha homojen yayıldığı görülmüştür. Bununla birlikte özellikle P-4 kirişinde görülen basınç bölgesindeki ezilme hasarı bu tasarımla ortadan kalmıştır. Deney düzeneğinde bozulmaların meydana gelmemesi için bu deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda kirişin kesme bölgesinde belirgin hasarların olmayışı da kirişin eğilme kapasitesinin zorlandığını göstermektedir. P-5 kirişine ait çatlak oluşum aşamaları Çizelge 4.11'de, deney sonu hasar görünüşleri Şekil 4.15'de gösterilmiştir.

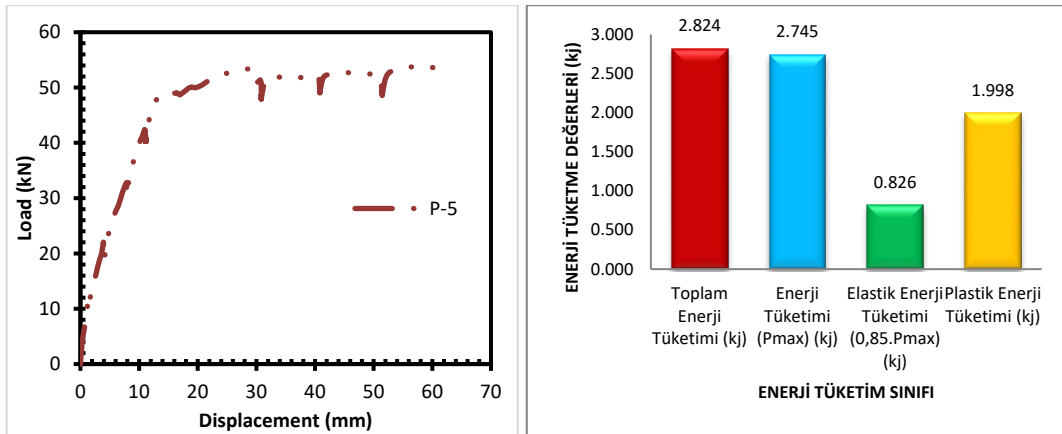
Çizelge 4.11. P-5 Kirişi Çatlak oluşum aşamaları

Yük (kN)	Dep. (mm)	Yükleme Anındaki Görünüş
0	0,00	
10	1,00	
20	4,00	
30	7,00	
40	11,00	
50	18,00	
50	40,00	
49	50,00	
50	60,50	



Şekil 4.15. Deney sonu hasar görüntüleri

Deney sonu hasar görünüşlerine bakıldığında da önceki kirişlerde bırakılan boşluklar sebebiyle kesme bölgelerine doğru genişleyen hasar bölgesi P-5 kirişindeki parçalı tasarlanan boşluk formunda yine eğilme bölgesi merkezinde tutulmuştur. Şekil 4.16'da P-5 kirişine ait yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.16. P-5 yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketim değerleri

P-5 kirişi beklenildiği gibi ve P-4 kirişine benzer şekilde sünek davranış sergileyerek göçme konumuna ulaşmıştır. Hesaplanan süneklik oranı ($\mu=5.11$) literatürde denge altı sünek kirişler için olması gereken süneklik oranının minimum 4-5 gerekçesi dikkate alındığında yeterlidir [Aykaç S. vd. (2011)]. P-5 kirişinde süneklik oranı P-1, P-2 ve P-3 öngermesiz kirişlere göre artış göstermiştir. Ayrıca kirişin

maksimum yük seviyesindeki rijitliği 0.91 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Şekil 4.16'da verilen eğrinin altındaki alanlar dikkate alınarak toplam enerji tüketimi (2.82kj), P_{max} anındaki enerji tüketimi (2.74 kj), $0.85P_{max}$ anındaki elastik enerji tüketimi (0.82 kj) ve plastik enerji tüketimi (1.99 kj) hesaplanmıştır. Enerji tüketimi verilerine bakıldığında P-5 kirişi toplam enerji tüketimi ve elastik enerji tüketimi açısından hem daha kısa boşluğu bulunan kirişlere göre hem de referans kirişe göre kapasite olarak daha iyi durumdadır. Yani bırakılan boşluk uzunluğunun artışı ve doğru tasarım yöntemi ile kirişte enerji tüketim kapasitesinde artış sağlandığı söylenebilir. P-5 kirişine ait deney sonuçları Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. P-5 deney sonuçları









Öngerilmemiş Kiriş Adı	P_{max} (kN)	P_U $0,85.P_{max}$ (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
P-5	53,82	45,74	11,82	60,50	5,11	60,50	58,67	0,91

P-6 Kirişi

P-6 kirişi öngerilmemiş test edilen yedinci numunedir. P-6 kirişinde ilk çatlaklar P-1, P-2, P-3, P-4 ve P-5 boşluklu kirişlerinde olduğu gibi çekme bölgesinde 10 kN yük seviyesinde referans kirişe göre erken gözlenmiştir. Daha sonra yükün 50 kN'a ulaşmasıyla çekme bölgesindeki çatlak sayısı artmış ve çatlak uzamaları kiriş üst başlığına doğru devam etmiştir. Nitekim düşey yükün 57,22 kN seviyesine ulaşması ile akma meydana gelmiştir. Bu aşmadan sonra deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Artan deplasmanlar ile yeni çatlaklar oluşmaya başlamış ancak çekme bölgesinin merkezinde ve 88 cm uzunluktaki boşluğun altında kalan alanda var olan çatlakların genişleme eğilimi görülmemiştir. Bu durumun nedeni artan boşluk uzunluğu ile kiriş merkezindeki alt başlığın karşıladığı moment etkilerini üst başlığın karşılaması sonucu kiriş merkezinde üst başlığın daha çok zorlanmasıdır. Bu durum ana hasar noktasını yükleme noktaları altından kiriş merkezindeki basınç bölgesine doğru kaydırmıştır. Deney 73.43 mm deplasmana ulaşana kadar devam edilmiştir. Nihai durumda kiriş merkezinde üst başlıktaki yüksek zorlamalar sonucu ezilme ve kırılma hasarı ortaya çıkmıştır. Deney düzeneğinde bozulmaların meydana gelmemesi için 73.43 mm deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda kirişin kesme

bölgesinde belirgin hasarların olmayışı da kirişin eğilme kapasitesinin zorlandığını göstermektedir. Diğer bir ifade ile seçilen a_v/d oranının 88 cm gövde boşluğu bulunan kiriş için de uygun olduğu anlaşılmaktadır. P-6 kirişine ait çatlak oluşum aşamaları Çizelge 4.13’de, deney sonu hasar görünümleri Şekil 4.17’de gösterilmiştir.

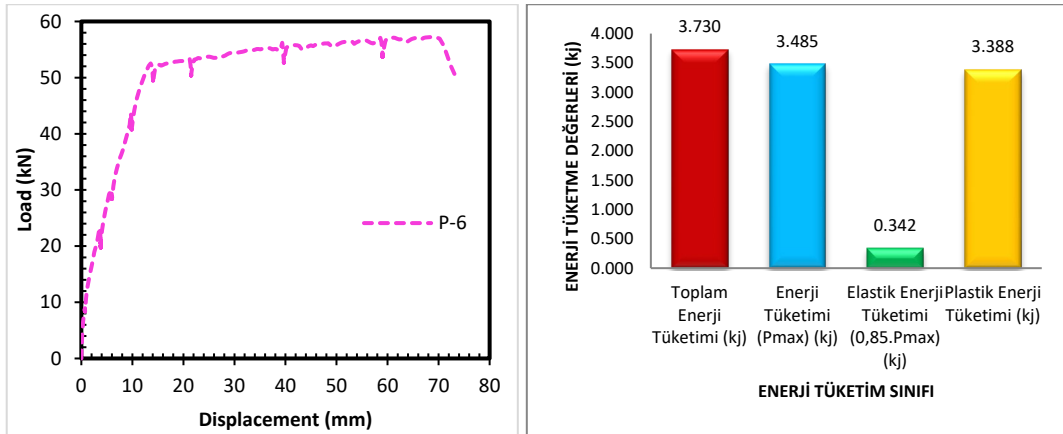
Çizelge 4.13. P-6 Kirişi Çatlak oluşum aşamaları

Yük (kN)	Dep. (mm)	Yükleme Anındaki Görünüş
0	0,00	
10	0,70	
20	3,00	
30	5,00	
40	9,00	
50	13,00	
54	60,00	
50	73,43	



Şekil 4.17. Deney sonu hasar görüntüleri

P-6 kirişinde de referans kirişteki gibi eğilme hasarı oluşmuştur. Diğer boşluklu kirişlerde olduğu gibi hasarlar yükleme noktaları arasında kalmayıp kesme bölgesine doğru yaklaşım eğilimi göstermiştir. Artan boşluk uzunluğu ile P-4 kirişindeki görülen hasar durumunun benzeri ortaya çıkmıştır. Nihai durumda kiriş basınç bölgesinde ciddi ezilme ve kırılma meydana gelmiştir. Şekil 4.18’de P-6 kirişine ait yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.18. P-6 yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketim değerleri

P-6 kirişi beklenildiği gibi sünek davranış sergileyerek göçme konumuna ulaşmıştır. Hesaplanan süneklik oranı ($\mu=6.26$) literatürde denge altı sünek kirişler için olması gereken süneklik oranının minimum 4-5 gerekçesi dikkate alındığında yeterlidir [Aykaç S. vd. (2011)]. Bununla birlikte gövdesinde 88 cm boşluk bulunan P-6 kirişi öngerilmemiş daha kısa gövde boşluğu bulunan diğer boşluklu kirişlere göre daha

yüksek süneklik oranına sahip olup referans numuneye de bu anlamda oldukça yaklaşmıştır. Ayrıca kirişin maksimum yük seviyesindeki rijitliği 0.83 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Şekil 4.18’de verilen eğrinin altındaki alanlar dikkate alınarak toplam enerji tüketimi (3.73kj), P_{max} anındaki enerji tüketimi (3.48 kj), $0.85P_{max}$ anındaki elastik enerji tüketimi (0.34 kj) ve plastik enerji tüketimi (3.38 kj) hesaplanmıştır. Toplam enerji tüketimi kapasitesi olarak 88 cm gövde boşluklu öngerilmemiş kirişte hem referans numuneye hem de daha kısa gövde boşluğu bulunan öngerilmemiş kirişlere göre büyük artış oluşmuştur. P-6 kirişine ait deney sonuçları Çizelge 4.14’te verilmiştir.

Çizelge 4.14. P-6 deney sonuçları










Öngerilmemiş Kiriş Adı	P_{max} (kN)	P_U $0,85.P_{max}$ (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
P-6	57,22	48,63	11,73	73,43	6,26	73,43	68,55	0,83

P-7 Kirişi

P-7 kirişi öngerilmemiş test edilen en büyük boşluklu son numunedir. P-7 kirişinde ilk çatlaklar önceki test edilen öngerilmemiş boşluksuz kirişlerdeki gibi çekme bölgesinde 10 kN yük seviyesinde referans numuneye göre daha erken yük altında gözlenmiştir. Daha sonra yükün 50 kN’a ulaşmasıyla çekme bölgesindeki çatlak sayısı artmış ve çatlak uzamaları kiriş üst başlığına doğru devam etmiştir. Nitekim düşey yükün 54,04 kN seviyesine ulaşması ile akma meydana gelmiştir. Bu aşmadan sonra önceki test edilen kirişlerde olduğu gibi deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Artan deplasmanlar ile yeni çatlaklar oluşmaya başlamış ancak P-6 kirişinde olduğu gibi çekme bölgesinde var olan çatlakların genişleme eğilimi görülmemiştir. Yine bu durumun nedeni artan boşluk uzunluğu ile kiriş merkezindeki alt başlığın karşıladığı moment etkilerini üst başlığın karşılaması sonucu kiriş merkezinde üst başlığın daha çok zorlanmasıdır. Bu durum ana hasar noktasını yükleme noktaları altından kiriş merkezindeki basınç bölgesine doğru kaydırmıştır. Deney düzeneğinde bozulmaların meydana gelmemesi için 71.26 mm deplasmana ulaşana kadar deneye devam edilmiş ve 71.26 mm deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda kirişin kesme bölgesinde belirgin hasarların olmayışı da kirişin eğilme kapasitesinin zorlandığını göstermektedir Diğer bir ifade ile seçilen a/d oranının öngerilmemiş tüm kirişler için

uygun olduğu anlaşılmaktadır. P-7 kirişine ait çatlak oluşum aşamaları Çizelge 4.15'te, deney sonu hasar görüntüleri Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

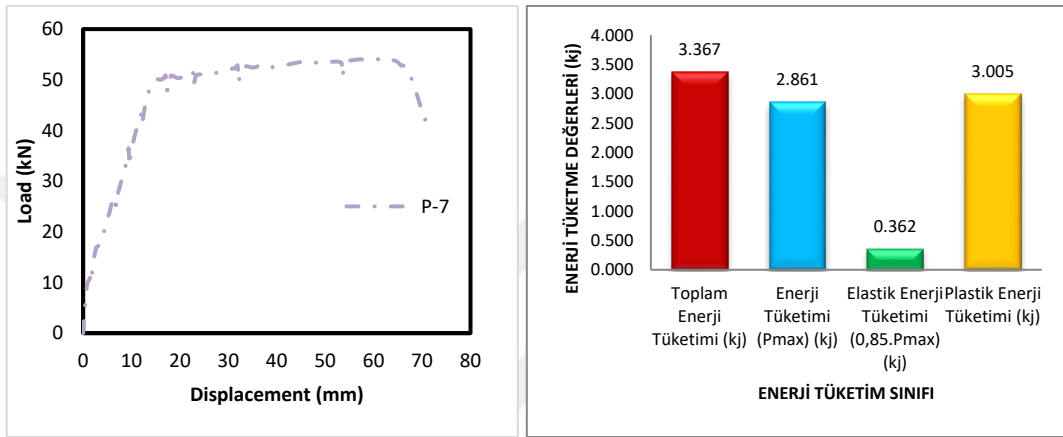
Çizelge 4.15. P-7 Kirişi Çatlak oluşum aşamaları

Yük (kN)	Dep. (mm)	Yükleme Anındaki Görünüş
0	0,00	
10	1,00	
25	6,00	
34	9,00	
42	12,00	
51	17,00	
50	30,00	
53	50,00	
41	71,26	



Şekil 4.19. Deney sonu hasar görüntüleri

P-7 kirişinde de referans kirişteki gibi eğilme hasarı oluşmuştur. Diğer boşluklu kirişlerde olduğu gibi hasarlar yükleme noktaları arasında kalmayıp kesme bölgesine doğru yaklaşım eğilimi göstermiştir. Artan boşluk uzunluğu ile P-6 kirişindeki görülen hasar durumunun benzeri ortaya çıkmıştır. Nihai durumda kiriş basınç bölgesinde ciddi ezilme ve kırılma meydana gelmiştir. Şekil 4.20’de P-7 kirişine ait yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketme değerleri gösterilmiştir.



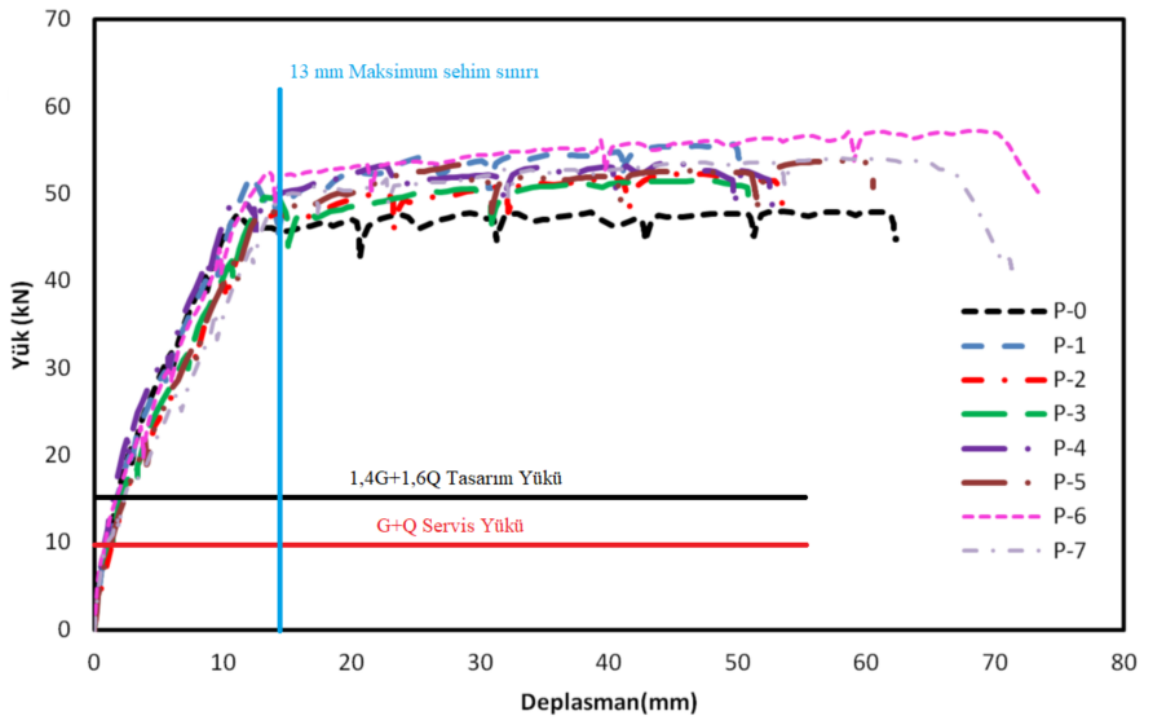
Şekil 4.20. P-7 yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketim değerleri

P-7 kirişi beklenildiği gibi sünek davranış sergileyerek göçme konumuna ulaşmıştır. Hesaplanan süneklik oranı ($\mu=5.39$) literatürde denge altı sünek kirişler için olması gereken süneklik oranının minimum 4-5 gerekçesi dikkate alındığında yeterlidir [Aykaç S. vd. (2011)]. Ayrıca kirişin maksimum yük seviyesindeki rijitliği 0.92 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Şekil 4.20’de verilen eğrinin altındaki alanlar dikkate alınarak toplam enerji tüketimi (3.36kJ), P_{max} anındaki enerji tüketimi (2.86 kJ), $0.85P_{max}$ anındaki elastik enerji tüketimi (0.36 kJ) ve plastik enerji tüketimi (3.00 kJ) hesaplanmıştır. P-7 kirişinde toplam enerji tüketimi kapasitesi olarak 88 cm gövde boşluklu öngerilmemiş P-6 kirişine göre azalma ortaya çıksa da referans kiriş ve P-1, P-2, P-3, P-4 ve P-5 kirişlerine göre daha yüksek seviyede kapasite ortaya çıkmıştır. Elastik enerji tüketimi kapasitesinde ise P-6 kirişine göre herhangi bir azalma oluşmamıştır. P-7 kirişine ait deney sonuçları Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16. P-7 deney sonuçları

Öngerilmemiş Kiriş Adı	P_{max} (kN)	P_U 0,85. P_{max} (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
P-7	54,04	45,94	13,07	70,55	5,39	71,26	58,13	0,92

Öngerilmemiş kirişlerin sonuçlarının bireysel olarak yorumlanmasının ardından birlikte değerlendirilmesi adına kümülatif yük-deplasman grafikleri Şekil 4.21’de verilmiştir. Öngerilmemiş kirişleri için Tasarım Yüğü 15,4 kN ve Servis Yüğü 10,1 kN olup sehım sınırı iki 13 mm’dir.



Şekil 4.21. Tüm öngerilmemiş elemanların karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği

Öngerilmemiş aşıkların gerçekleştirilen deneylerinden alınan sonuçlar değerlendirildiğinde kirişlerin eğilme bölgesinde bırakılan boşluğun yük taşıma kapasitesinde ve süneklikte belirgin bir azalmaya yol açmadığı artan boşluk boyutunun alınan hasar biçimini ve oluşan hasarları konumunu değiştirdiği gözlemlenmiştir. P-0-P-5 kirişlerinde nihai kırılma yükleme noktaları altında oluşurken, P-6 ve P-7 kirişlerinde ise kiriş orta noktasında basınç bölgesinde büyük düzeyde ezilme ve kırılma hasarları oluşmaya başlamıştır. Buradan hareketle kiriş uzunluğunun %25’inden daha uzun boylarda kiriş ortasında bırakılan boşlukların kırılma anında gevrek davranışa yönelim

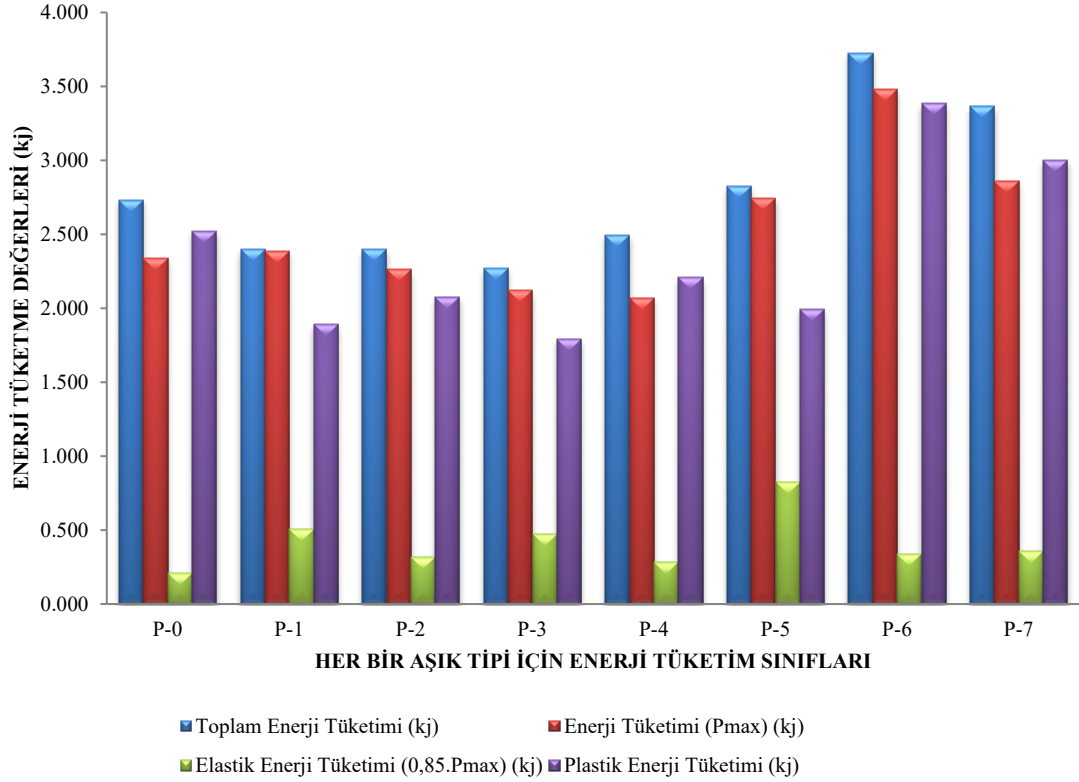
gerçekleştirebileceği anlaşılmıştır. Bununla birlikte boşluk uzunluğunun artışıyla kirişlerde deplasman yapabilme kapasitesinde belirgin bir azalma oluşmadığı görülmüştür. Çizelge 4.17’de öngerilmemiş tüm elemanların deney sonuçları alınan yük, deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri açıklanmıştır. Çizelge 4.18 ve Şekil 4.22’de ise öngerilmemiş kirişlerinin tümünün enerji tüketme kapasiteleri verilmiştir.

Çizelge 4.17. Öngerilmemiş elemanların deney sonu verileri

Öngerilmemiş Numune Adı	P_{max} (kN)	P_U $0,85.P_{max}$ (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
P-0	48,00	40,80	9,00	62,29	6,92	62,29	53,51	0,89
P-1	55,68	47,32	14,50	50,18	3,46	50,18	49,66	1,12
P-2	52,33	44,48	11,78	53,44	4,53	53,44	50,31	1,04
P-3	51,57	43,84	11,25	50,89	4,52	50,89	47,46	1,08
P-4	53,48	45,46	9,64	52,63	5,45	52,64	44,09	1,21
P-5	53,82	45,74	11,82	60,50	5,11	60,50	58,67	0,91
P-6	57,22	48,63	11,73	73,43	6,26	73,43	68,55	0,83
P-7	54,04	45,94	13,07	70,55	5,39	71,26	58,13	0,92

Çizelge 4.18. Enerji tüketim verileri

Öngerilmemiş Numune Adı	Toplam Enerji Tüketimi (kj)	Enerji Tüketimi (P_{max}) (kj)	Elastik Enerji Tüketimi ($0,85.P_{max}$) (kj)	Plastik Enerji Tüketimi (kj)
P-0	2,734	2,343	0,214	2,520
P-1	2,401	2,390	0,508	1,893
P-2	2,399	2,266	0,322	2,077
P-3	2,274	2,124	0,478	1,796
P-4	2,494	2,073	0,284	2,210
P-5	2,824	2,745	0,826	1,998
P-6	3,730	3,485	0,342	3,388
P-7	3,367	2,861	0,362	3,005



Şekil 4.22. Öngerilmemiş aşıklarda enerji tüketme değerleri

Kirişin kapasitesinde ciddi bir kayıp olmadan yapılabilen maksimum deplasmanın olduğu $0,85P_{max}$ değerindeki elastik enerji tüketme değerlerine bakıldığında gövdesinde 6 cm aralıklarla bırakılan 3 adet 24 cm genişliğinde boşluk bırakılan P-5 kirişinde elastik enerji tüketimi kapasitenin en yüksek değerde olduğu anlaşılmıştır, genel anlamda enerji tüketimi verilerine bakıldığında en yüksek elastoplastik enerji tüketimi kapasitesine ise 88 cm boşluklu P-6 kirişi ulaşmıştır. Boşluklu tasarım kirişlerin enerji tüketimi açısından bakıldığında da kapasiteyi arttırdığı ve öngerilmemiş kirişlerde başarılı olduğu söylenebilir.

4.2. Öngerilmeli Kirişlerin Değerlendirilmesi

PP-0 Kirişi

Referans PP-0 kirişi öngerilmeli test edilen ilk numunedir. PP-0 kirişinde ilk çatlaklar kiriş çekme bölgesinde 40 kN yük seviyesinde gözlenmiştir. Daha sonra yükün 80 kN'a ulaşmasıyla çekme bölgesindeki çatlak sayısı artmış ve çatlak uzamaları kiriş üst başlığına doğru devam etmiştir. Çatlakların beton basınç bölgesine doğru ilerleyişi, tarafsız eksen yüksekliğinin azalmasına ve kirişin akmaya ulaşmasına işaret olarak değerlendirilmektedir. Nitekim düşey yükün 82,98 kN seviyesine ulaşması ile akma meydana gelmiştir. Bu aşamadan sonra deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Artan deplasmanlar ile hem yeni çatlaklar oluşmaya başlamış hem de çekme bölgesinde var olan çatlakların genişlemeye devam etmesiyle deney 80,14 mm deplasmana ulaşana kadar devam edilmiştir. Deney düzeneğinde bozulmaların meydana gelmemesi için bu deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda kirişin kesme bölgesinde belirgin hasarların olmayışı da kirişin eğilme kapasitesinin zorlandığını göstermektedir. Diğer bir ifade ile seçilen a_v/d oranının öngerilmeli kirişleri için de uygun olduğu anlaşılmaktadır. PP-0 kirişine ait çatlak oluşum aşamaları Çizelge 4.19'da, deney sonu hasar görünüşleri Şekil 4.23'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. PP-0 Kirişi Çatlak oluşum aşamaları

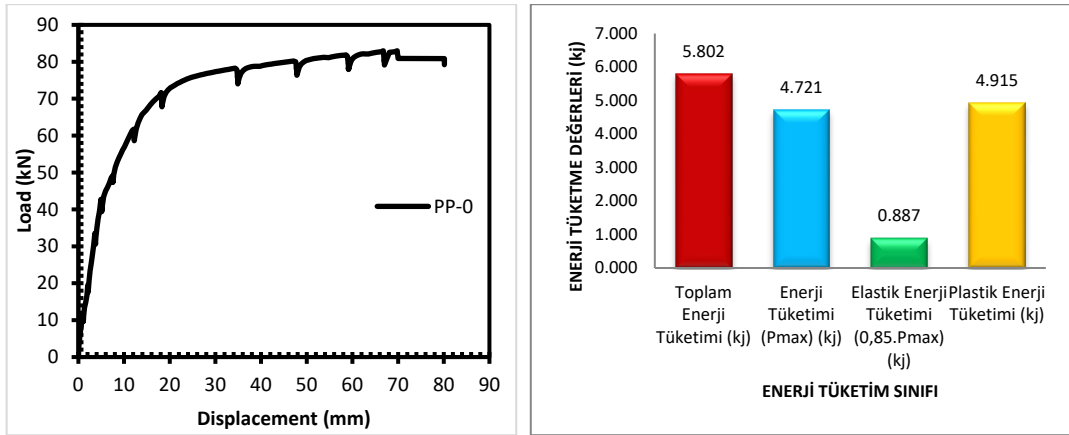
Yük (kN)	Dep. (mm)	Yükleme Anındaki Görünüş
0	0,00	
40	5,00	
50	7,00	
60	12,00	

70	18,00	
76	35,00	
79	80,14	



Şekil 4.23. Deney sonu hasar görüntüleri

Deney sonu hasar görüntülerine bakıldığında betonda dökülme oluşmamıştır. Eğilme bölgesindeki çatlaklar belli bir düzen içerisinde yayılıp, çatlakların tümü eşit oranda üst başlığa uzanma eğilimi göstermiştir. Kiriş kesme bölgesinde ince bir kesme hasarı oluşmuş olmasına rağmen bu hasar ilerlememiştir. Nihai durumdaki hasar tamamen eğilme hasarıdır denebilir. Çatlaklar iki yükleme noktası arasında, kiriş gövdesinde maksimum eğilme bölgesinde sınırlı kalmıştır. Kiriş basınç bölgesinde ezilme oluşmamıştır. Şekil 4.24'te PP-0 kirişine ait yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.24. PP-0 yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketimi değerleri

PP-0 kirişi beklenildiği gibi sünek davranış sergileyerek göçme konumuna ulaşmıştır. Hesaplanan süneklik oranı ($\mu=4.66$) literatürde denge altı sünek kirişler için olması gereken süneklik oranının minimum 4-5 gerekçesi dikkate alındığında yeterlidir [Aykaç S. vd. (2011)]. Ayrıca kirişin maksimum yük seviyesindeki rijitliği 1.18 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Şekil 4.24'te verilen eğrinin altındaki alanlar dikkate alınarak toplam enerji tüketimi (5.80kJ), P_{max} anındaki enerji tüketimi (4.72 kJ), $0.85P_{max}$ anındaki elastik enerji tüketimi (0.88 kJ) ve plastik enerji tüketimi (4.91 kJ) hesaplanmıştır. PP-0 kirişine ait deney sonuçları Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. PP-0 deney sonuçları










Öngerilmeli Kiriş Adı	P_{max} (kN)	P_U 0,85. P_{max} (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
PP-0	82,98	70,53	17,17	80,14	4,66	80,14	69,80	1,18

PP-1 Kirişi

PP-1 kirişi öngerilmeli test edilen ikinci numunedir. PP-1 kirişinde ilk eğilme çatlakları kiriş çekme bölgesinde 27 kN yük seviyesinde gözlenmiştir. Referans numuneye göre 24 cm gövde boşluğu bulunan PP-1 öngerilmeli numunede daha düşük yük altında hasar oluşumu başladığı gözlemlenmiştir. Daha sonra yükün 80 kN'a ulaşmasıyla çekme bölgesindeki çatlak sayısı artmış ve çatlak uzamaları kiriş üst başlığına doğru devam etmiştir. Aynı zamanda 80 kN'da referans numuneye göre 24 cm boşluklu kirişte kesme bölgesinde belirgin kesme çatlakları oluşmuştur. Çatlakların

beton basınç bölgesine doğru ilerleyişi, tarafsız eksen yüksekliğinin azalmasına ve kirişin akmaya ulaşmasına işaret olarak değerlendirilmektedir. Nitekim düşey yükün 85,37 kN seviyesine ulaşması ile akma meydana gelmiştir. Bu aşmadan sonra deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Artan deplasmanlar ile hem yeni çatlaklar oluşmaya başlamış hem de çekme bölgesinde var olan çatlakların genişlemeye devam etmesiyle deney 80,25 mm deplasmana ulaşana kadar devam edilmiştir. Deney düzeneğinde bozulmaların meydana gelmemesi için bu deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. PP-1 kirişine ait çatlak oluşum aşamaları Çizelge 4.21’de, deney sonu hasar görüntüleri Şekil 4.25’de gösterilmiştir.

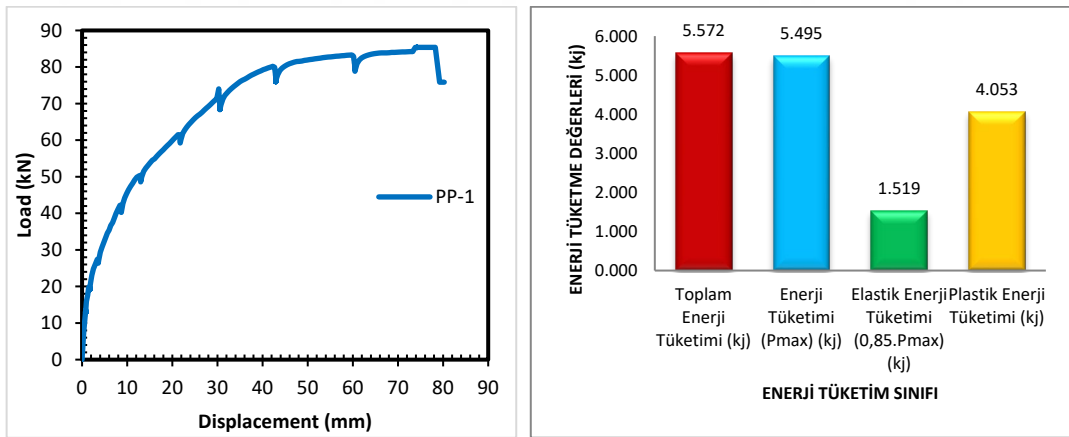
Çizelge 4.21. PP-1 Kirişi Çatlak oluşum aşamaları

Yük (kN)	Dep. (mm)	Yükleme Anındaki Görünüş
0	0,00	
27	3,00	
40	8,00	
50	13,00	
60	21,00	
70	30,00	
80	42,00	
83	60,00	
75	80,25	



Şekil 4.25. Deney sonu hasar görüntüleri

Deney sonu hasar görüntülerine bakıldığında betonda dökülme oluşmamıştır. Eğilme bölgesindeki çatlaklar belli bir düzen içerisinde yayılıp, çatlakların tümü eşit oranda üst başlığa uzanma eğilimi göstermiştir. Eğilme çatlakları yükleme noktaları arasında kalmıştır. Kiriş kesme bölgesinde kesme hasarları gözlemlenmiştir. Oluşan bu kesme çatlakları eğilme çatlaklarının kesme bölgesine doğru yayılım hareketini engellemiştir. Nihai durumdaki hasar hem eğilme hem de kesme hasarıdır denebilir. Kiriş basınç bölgesinde ezilme oluşmamıştır. Şekil 4.26'da PP-1 kirişine ait yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.26. PP-1 yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketimi değerleri

Hesaplanan süneklik oranı ($\mu=2.68$) literatürde denge altı sünek kirişler için olması gereken süneklik oranının minimum 4-5 gerekçesi dikkate alındığında yeterli değildir [Aykaç S. vd. (2011)]. Referans numuneye göre PP-1 kirişinin süneklik oranında %43 azalma meydana gelmiştir. Ayrıca kirişin maksimum yük seviyesindeki rijitliği 1.15 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Şekil 4.26'da verilen eğrinin altındaki alanlar dikkate alınarak toplam enerji tüketimi (5.57kJ), P_{max} anındaki enerji tüketimi

(5.49 kJ), $0.85P_{max}$ anındaki elastik enerji tüketimi (1.51 kJ) ve plastik enerji tüketimi (4.05 kJ) hesaplanmıştır. Enerji tüketim değerlerine bakıldığında boşluklu tasarımla referans kirişe göre toplam enerji tüketiminde azalma gözlemlenirken elastik enerji tüketiminde %76 oranında büyük artış gözlemlenmiştir. PP-1 kirişine ait deney sonuçları Çizelge 4.22’de verilmiştir.








Çizelge 4.22. PP-1 deney sonuçları

Öngerilmeli Kiriş Adı	P_{max} (kN)	P_U $0,85.P_{max}$ (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
PP-1	85,37	72,56	29,86	80,25	2,68	80,25	74,19	1,15

PP-2 Kirişi

PP-2 kirişi öngerilmeli test edilen üçüncü numunedir. PP-2 kirişinde ilk çatlaklar kiriş çekme bölgesinde 38 kN yük seviyesinde gözlenmiştir. Referans numuneye benzer davranış gösteren 40 cm gövde boşluklu öngerilmeli kiriş PP-1 kirişine göre daha geç çatlama başlamıştır. Daha sonra yükün 80 kN’a ulaşmasıyla çekme bölgesindeki çatlak sayısı artmış ve çatlak uzamaları kiriş üst başlığına doğru devam etmiştir. Nitekim düşey yükün 83,01 kN seviyesine ulaşması ile akma meydana gelmiştir. Bu aşmadan sonra deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Artan deplasmanlar ile hem yeni çatlaklar oluşmaya başlamış hem de çekme bölgesinde var olan çatlakların genişlemeye devam etmesiyle deney 60,21 mm deplasmana ulaşana kadar devam edilmiştir. Deney düzeneğinde bozulmaların meydana gelmemesi için bu deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda kirişin kesme bölgesinde belirgin hasarların olmayışı da kirişin eğilme kapasitesinin zorlandığını göstermektedir Diğer bir ifade ile seçilen a/d oranının uygun olduğu anlaşılmaktadır. PP-2 kirişine ait çatlak oluşum aşamaları Çizelge 4.23’te, deney sonu hasar görünümü Şekil 4.27’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.23. PP-2 Kirişi hasar oluşum aşamaları

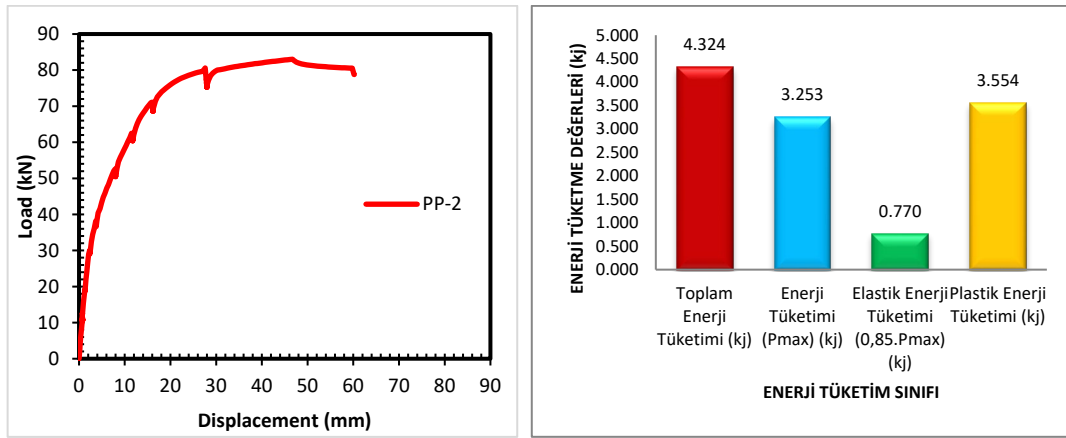
Yük (kN)	Dep. (mm)	Yükleme Anındaki Görünüş
0	0,00	
38	3,00	
50	7,00	
60	11,00	
70	16,00	
80	27,00	
78	60,21	



Şekil 4.27. Deney sonu hasar görüntüleri

Deney sonu hasar görüntülerine bakıldığında betonda dökülme oluşmamıştır. Eğilme bölgesindeki çatlaklar belli bir düzen içerisinde yayılıp, çatlakların tümü eşit oranda üst başlığa uzanma eğilimi göstermiştir. Eğilme çatlakları yüklemeye noktaları arasında

kalmıştır. Kiriş basınç bölgesinde ezilme oluşmamıştır. Şekil 4.28’de PP-2 kirişine ait yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.28. PP-2 yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketimi değerleri

PP-2 kirişi beklenildiği gibi sünek davranış sergileyerek göçme konumuna ulaşmıştır. Hesaplanan süneklik oranı ($\mu=3.93$) literatürde denge altı sünek kirişler için olması gereken süneklik oranının minimum 4-5 gerekçesi dikkate alındığında yeterlidir. [Aykaç S. vd. (2011)]. Ayrıca kirişin maksimum yük seviyesindeki rijitliği 1.77 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Şekil 4.28’de verilen eğrinin altındaki alanlar dikkate alınarak toplam enerji tüketimi (4.32kJ), P_{max} anındaki enerji tüketimi (3.25 kJ), $0.85P_{max}$ anındaki elastik enerji tüketimi (0.77 kJ) ve plastik enerji tüketimi (3.55 kJ) hesaplanmıştır. PP-2 kirişinin enerji tüketim kapasitesi hem referans numuneye göre hem de PP-1 kirişine göre azalma göstermiştir. PP-2 kirişine ait deney sonuçları Çizelge 4.24’te verilmiştir.

Çizelge 4.24. PP-2 deney sonuçları








Öngörülen Kiriş Adı	P_{max} (kN)	P_U (0,85. P_{max}) (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yüktteki Dep. (mm)	Max. Yüktteki Rijitlik (kN/mm)
PP-2	83,01	70,55	15,30	60,21	3,93	60,21	46,71	1,77

PP-3 Kirişi

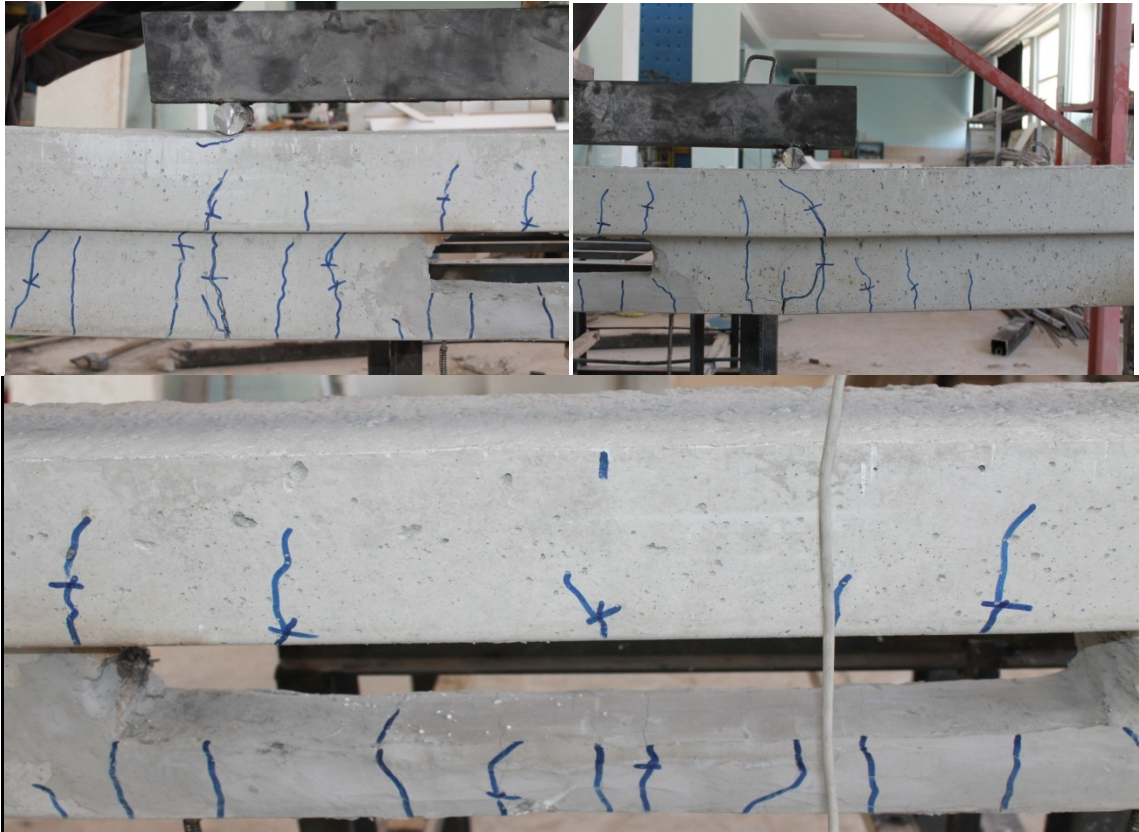
PP-3 kirişi öngörülen test edilen dördüncü numunedir. PP-3 kirişinde ilk çatlaklar kiriş çekme bölgesinde 20 kN yük seviyesinde gözlenmiştir. Artan boşluk uzunluğu ile ilk çatlamlar PP-0, PP-1 ve PP-2 numaralı numunelere göre daha düşük

yük altında ortaya çıkmıştır. Daha sonra yükün 80 kN'a ulaşmasıyla çekme bölgesindeki çatlak sayısı artmış ve çatlak uzamaları kiriş üst başlığına doğru devam etmiştir. Nitekim düşey yükün 90,49 kN seviyesine ulaşması ile akma meydana gelmiştir. Bu aşmadan sonra deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Artan deplasmanlar ile hem yeni çatlaklar oluşmaya başlamış hem de çekme bölgesinde var olan çatlakların genişlemeye devam etmesiyle deneye 62,42 mm deplasmana ulaşana kadar devam edilmiştir. Deney düzeneğinde bozulmaların meydana gelmemesi için bu deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda kirişin kesme bölgesinde belirgin hasarların olmayışı da kirişin eğilme kapasitesinin zorlandığını göstermektedir. Diğer bir ifade ile seçilen a_v/d oranının PP-3 kirişi için de uygun olduğu anlaşılmaktadır. PP-3 kirişine ait çatlak oluşum aşamaları Çizelge 4.25'te, deney sonu hasar görünüşleri Şekil 4.29'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.25. PP-3 Kirişi hasar oluşum aşamaları

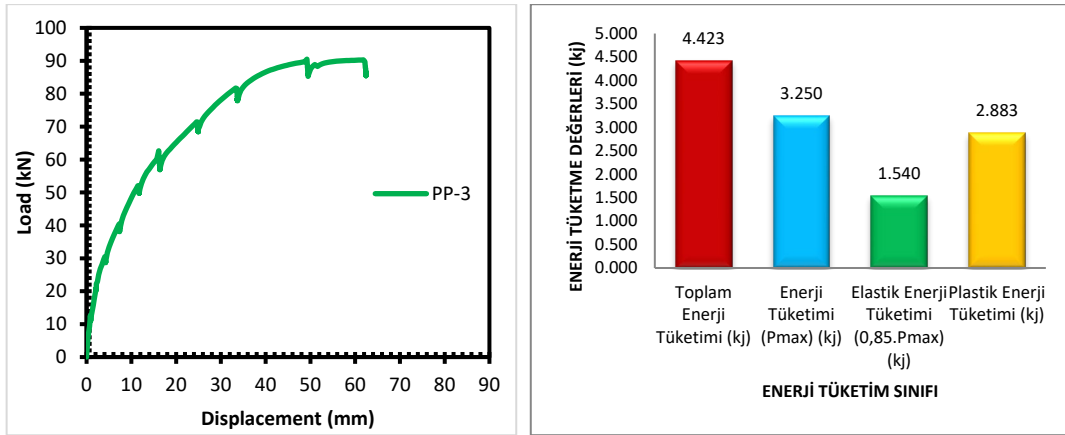
Yük (kN)	Dep. (mm)	Yükleme Anındaki Görünüş
0	0,00	
20	2,00	
30	4,00	
40	7,00	
50	11,00	
60	16,00	
70	24,00	

80	33,00	
90	50,00	
85	62,42	



Şekil 4.29. Deney sonu hasar görüntüleri

Deney sonu hasar görüntülerine bakıldığında betonda dökülme oluşmamıştır. Eğilme bölgesindeki çatlaklar belli bir düzen içerisinde yayılıp, yükleme noktalarının altında oluşan çatlaklar üst başlığa daha hızlı ilerleme eğilimi göstermiştir. Kiriş gövdesinde artan boşluk uzunluğu ile eğilme çatlakları kiriş kesme bölgesine doğru yayılım göstermiştir. Kiriş basınç bölgesinde ezilme oluşmamıştır. Şekil 4.30'da PP-3 kirişine ait yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.30. PP-3 yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketimi değerleri

Hesaplanan süneklik oranı ($\mu=2.17$) literatürde denge altı sünek kirişler için olması gereken süneklik oranının minimum 4~5 gerekçesi dikkate alındığında yeterli değildir [Aykaç S. vd. (2011)]. Referans numuneye göre PP-3 kirişinin süneklik oranında %53 azalma meydana gelmiştir. Ayrıca kirişin maksimum yük seviyesindeki rijitliği 1.83 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Şekil 4.30'da verilen eğrinin altındaki alanlar dikkate alınarak toplam enerji tüketimi (4.42 kJ), P_{max} anındaki enerji tüketimi (3.25 kJ), $0.85P_{max}$ anındaki elastik enerji tüketimi (1.54 kJ) ve plastik enerji tüketimi (2.88 kJ) hesaplanmıştır. Referans kirişe göre toplam enerji tüketimi daha düşük seviyede olsa da elastik enerji tüketimi açısından %73 oranında artış görülmüştür. PP-3 kirişine ait deney sonuçları Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.26. PP-3 deney sonuçları








Öngörilmeli Kiriş Adı	P_{max} (kN)	P_U 0,85. P_{max} (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
PP-3	90,49	76,91	28,72	62,41	2,17	62,42	49,21	1,83

PP-4 Kirişi

PP-4 kirişi öngörilmeli test edilen beşinci numunedir. PP-4 kirişinde ilk çatlaklar kiriş çekme bölgesinde 20 kN yük seviyesinde gözlenmiştir. Artan boşluk uzunluğu ile ilk çatlamlar PP-0, PP-1 ve PP-2 numaralı numunelere göre daha düşük yük altında ortaya çıkmıştır. Daha sonra yükün 80 kN'a ulaşmasıyla çekme bölgesindeki çatlak sayısı artmış ve çatlak uzamaları kiriş üst başlığına doğru devam etmiştir. Nitekim

düsey yükün 82,12 kN seviyesine ulaşması ile akma meydana gelmiştir. Bu aşmadan sonra deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Artan deplasmanlar ile hem yeni çatlaklar oluşmaya başlamış hem de çekme bölgesinde var olan çatlakların genişlemeye devam etmesiyle deney 52,18 mm deplasmana ulaşana kadar devam edilmiştir. Deney düzeneğinde bozulmaların meydana gelmemesi için bu deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda kirişin kesme bölgesinde belirgin hasarların olmayışı da kirişin eğilme kapasitesinin zorlandığını göstermektedir. PP-4 kirişine ait çatlak oluşum aşamaları Çizelge 4.27’de, deney sonu hasar görünümü Şekil 4.31’de gösterilmiştir.

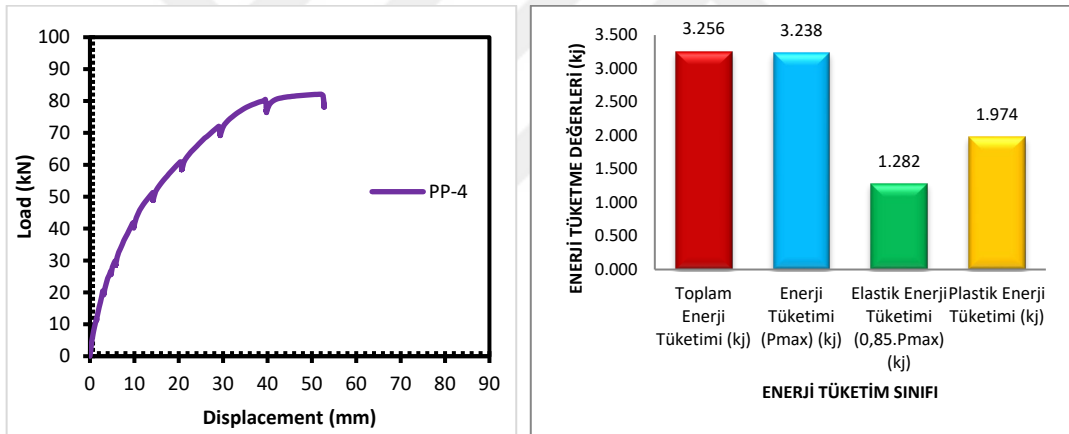
Çizelge 4.27. PP-4 Kirişi hasar oluşum aşamaları

Yük (kN)	Dep. (mm)	Yükleme Anındaki Görünüş
0	0,00	
20	3,00	
30	5,00	
40	9,00	
50	11,00	
60	20,00	
71	29,00	
80	40,00	
78	52,18	



Şekil 4.31. Deney sonu hasar görüntüleri

PP-4 kirişinde de referans kirişteki gibi eğilme hasarı oluşmuştur. Ancak referans numuneden farkı hasarlar yükleme noktaları arasında kalmayıp kesme bölgesine doğru yaklaşım eğilimi göstermiştir. Eğilme hasarlarının yükleme noktaları altında bulunanlarının çatlak genişliği artmış kiriş merkezinde oluşan çatlaklar zayıf kalmıştır. Kiriş basınç bölgesinde ezilme oluşmamıştır. Şekil 4.32’de PP-4 kirişine ait yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.32. PP-4 yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketimi değerleri

Hesaplanan süneklik oranı ($\mu=1.93$) literatürde denge altı sünek kirişler için olması gereken süneklik oranının minimum 4-5 gerekçesi dikkate alındığında yeterli değildir [Aykaç S. vd. (2011)]. Referans numuneye göre PP-4 kirişinin süneklik oranında %58 azalma meydana gelmiştir. Bu aşamaya kadar değerlendirildiğinde önerilmeli referans numuneye göre boşluklu tasarımda kirişlerdeki sünek davranışın gevrek davranışa evrildiği söylenebilir. Ayrıca kirişin maksimum yük seviyesindeki rijitliği 1.57 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Şekil 4.32’de verilen eğrinin altındaki alanlar dikkate alınarak toplam enerji tüketimi (3.25 kJ), P_{max} anındaki enerji tüketimi (3.23 kJ), 0.85P_{max} anındaki elastik enerji tüketimi (1.28 kJ) ve plastik enerji tüketimi

(1.97 kJ) hesaplanmıştır. Referans kirişe göre toplam enerji tüketimi %53 oranında azalmış olsa da elastik enerji tüketimi açısından %45 oranında artış görülmüştür. Yani gövdelerde açılan boşluklarla birlikte kirişlerde elastik deformasyon yapabilme kabiliyeti artsa da elastoplastik deformasyon yapabilme kabiliyetinde azalma oluşmuştur. Özetle süneklik azalmıştır. PP-4 kirişine ait deney sonuçları Çizelge 4.28'de verilmiştir.










Çizelge 4.28. PP-4 deney sonuçları

Öngerilmeli Kiriş Adı	P_{max} (kN)	P_U 0,85. P_{max} (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
PP-4	82,12	69,80	27,22	52,74	1,93	52,18	52,18	1,57

PP-5 Kirişi

PP-5 kirişi öngerilmeli test edilen altıncı numunedir. PP-5 kirişinde ilk çatlaklar kiriş çekme bölgesinde 20 kN yük seviyesinde gözlenmiştir. Artan boşluk uzunluğu ile ilk çatlamlar PP-0, PP-1 ve PP-2 numaralı numunelere göre daha düşük yük altında ortaya çıkmıştır. Daha sonra yükün 80 kN'a ulaşmasıyla çekme bölgesindeki çatlak sayısı artmış ve çatlak uzamaları kiriş üst başlığına doğru devam etmiştir. Nitekim düşey yükün 82,66 kN seviyesine ulaşması ile akma meydana gelmiştir. Bu aşamadan sonra deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Artan deplasmanlar ile hem yeni çatlaklar oluşmaya başlamış hem de çekme bölgesinde var olan çatlakların genişlemeye devam etmesiyle deney 63,10 mm deplasmana ulaşana kadar devam edilmiştir. Deney düzeneğinde bozulmaların meydana gelmemesi için bu deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda kirişin kesme bölgesinde belirgin hasarların olmayışı da kirişin eğilme kapasitesinin zorlandığını göstermektedir. PP-5 kirişine ait çatlak oluşum aşamaları Çizelge 4.29'da, deney sonu hasar görünüşleri Şekil 4.33'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.29. PP-5 Kirişi hasar oluşum aşamaları

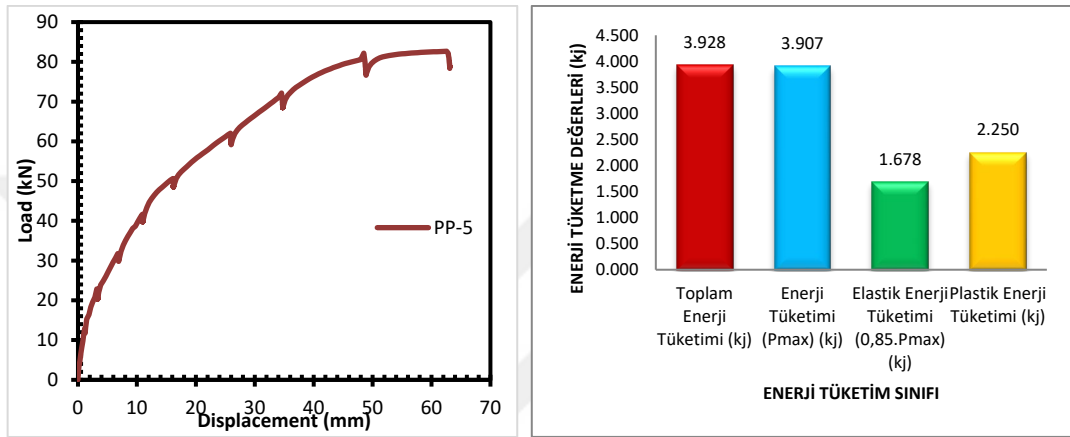
Yük (kN)	Dep. (mm)	Yükleme Anındaki Görünüş
0	0,00	
20	3,00	
30	6,00	
40	10,00	
50	16,00	
60	25,00	
70	34,00	
80	50,00	
78	63,10	

Figür 4.14. Çatlak oluşum aşamaları



Şekil 4.33. Deneysel sonu hasar görüntüleri

PP-5 kirişinde gövde orta noktasında 6 cm ara ile 3 adet 24 cm uzunluğunda boşluk bulunmaktadır. Bu parçalı tasarımın referans kirişte görülen boşlukların yükleme noktaları arasında kalma eğilimini tekrar ortaya çıkardığı görülmüştür. Yani bırakılan boşluklar sebebiyle kesme bölgelerine doğru genişleyen hasar bölgesi parçalı şekilde boşluk bırakılan tasarımda yine eğilme bölgesi merkezinde tutulmuştur. Bu davranış öngerilmemiş kirişlerde de karşılaşılan durumdur. Şekil 4.34'te PP-5 kirişine ait yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.34. PP-5 yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketimi değerleri

Hesaplanan süneklik oranı ($\mu=1.90$) literatürde denge altı sünek kirişler için olması gereken süneklik oranının minimum 4-5 gerekçesi dikkate alındığında yeterli değildir [Aykaç S. vd. (2011)]. Referans numuneye göre PP-4 kirişinin süneklik oranında %58 azalma meydana gelmiştir. Ayrıca kirişin maksimum yük seviyesindeki rijitliği 1.32 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Şekil 4.34'te verilen eğrinin altındaki alanlar dikkate alınarak toplam enerji tüketimi (3.92 kJ), P_{max} anındaki enerji tüketimi (3.90 kJ), $0.85P_{max}$ anındaki enerji tüketimi (1.67 kJ) ve plastik enerji tüketimi (2.25 kJ) hesaplanmıştır. Bu tasarımla en yüksek elastik enerji tüketim değeri görülmüştür. PP-5 kirişine ait deney sonuçları Çizelge 4.30'da verilmiştir.



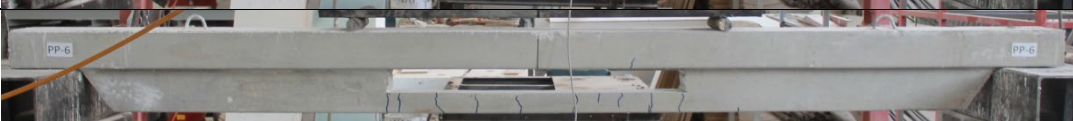



Çizelge 4.30. PP-5 deney sonuçları

Öngerilmeli Kiriş Adı	P_{max} (kN)	P_U 0,85. P_{max} (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
PP-5	82,66	70,26	33,12	63,10	1,90	63,10	62,57	1,32

PP-6 Kirişi

PP-6 kirişi öngerilmeli test edilen yedinci numunedir. PP-6 kirişinde ilk çatlaklar kiriş çekme bölgesinde 40 kN yük seviyesinde gözlenmiştir. Artan boşluk uzunluğu ile daha büyük yük altında ilk çatlaklar oluşmuştur. Daha sonra yükün 80 kN'a ulaşmasıyla çekme bölgesindeki çatlak sayısı artmış ve çatlak uzamaları kiriş üst başlığına doğru devam etmiştir. Nitekim düşey yükün 81,37 kN seviyesine ulaşması ile akma meydana gelmiştir. Bu aşmadan sonra deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Artan deplasmanlar ile hem yeni çatlaklar oluşmaya başlamış hem de çekme bölgesinde var olan çatlakların genişlemeye devam etmesiyle deneye 61,09 mm deplasmana ulaşana kadar devam edilmiştir. 80 kN yük altında kirişte kesme bölgesinde çatlaklar oluşmuştur. Deney düzeneğinde bozulmaların meydana gelmemesi için bu deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. PP-6 kirişine ait çatlak oluşum aşamaları Çizelge 4.31'de, deney sonu hasar görünümleri Şekil 4.35'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.31. PP-6 Kirişi hasar oluşum aşamaları

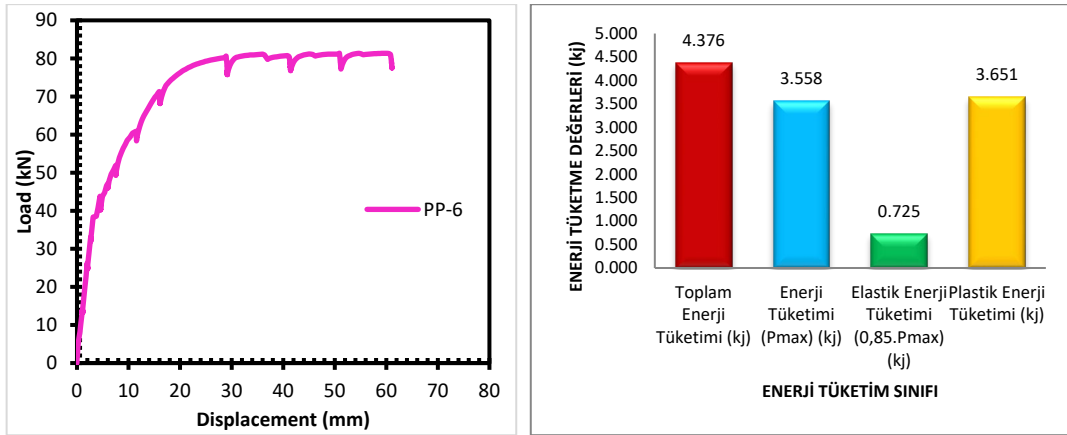
Yük (kN)	Dep. (mm)	Yükleme Anındaki Görünüş
0	0,00	
40	4,00	
50	7,00	
60	11,00	
70	16,00	
80	29,00	

78	40,00	
79	50,00	
77	61,09	



Şekil 4.35. Deney sonu hasar görüntüleri

Deney sonu hasar görüntülerine bakıldığında betonda dökülme oluşmamıştır. Eğilme bölgesindeki çatlaklar belli bir düzen içerisinde yayılıp, çatlakların kiriş merkezinde bulunanları üst başlığa uzanma eğilimi göstermiştir. Eğilme çatlakları yükleme noktaları arasında kalmamış kesme bölgesine doğru yayılım göstermiştir. Kiriş kesme bölgesinde kesme hasarları gözlemlenmiştir. Nihai durumdaki hasar hem eğilme hem de kesme hasarıdır denebilir. Kiriş basınç bölgesinde ezilme oluşmamıştır ancak orta noktada üst başlıkta daha kısa boşluğu bulunan öngerilmeli kirişlere nazaran daha belirgin hasarlar gözlemlenmiştir. Şekil 4.36'da PP-6 kirişine ait yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.36. PP-6 yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketimi değerleri

PP-6 kirişi sünek davranış sergileyerek göçme konumuna ulaşmıştır. Hesaplanan süneklik oranı ($\mu=3.78$) literatürde denge altı sünek kirişler için olması gereken süneklik oranının minimum 4-5 gerekçesi dikkate alındığında yeterlidir [Aykaç S. vd. (2011)]. Artan boşluk uzunluğu ile öngörülen kiriş tasarımında süneklik geri kazanılmıştır denebilir. Ayrıca kirişin maksimum yük seviyesindeki rijitliği 1.59 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Şekil 4.36'da verilen eğrinin altındaki alanlar dikkate alınarak toplam enerji tüketimi (4.37 kJ), P_{max} anındaki enerji tüketimi (3.55 kJ), $0.85P_{max}$ anındaki elastik enerji tüketimi (0.72 kJ) ve plastik enerji tüketimi (3.65 kJ) hesaplanmıştır. Enerji tüketim verilerine bakıldığında referans kirişe göre yine toplam enerji tüketimi aşağıda kalmıştır ancak ilave olarak elastik enerji tüketim kapasitesinde daha kısa gövde boşluğu bulunan kirişlere göre azalma gerçekleşmiştir. PP-6 kirişine ait deney sonuçları Çizelge 4.32'de verilmiştir.

Çizelge 4.32. PP-6 deney sonuçları

Öngörülen Kiriş Adı	P_{max} (kN)	P_U (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
PP-6	81,37	69,17	16,15	61,09	3,78	61,09	50,91	1,59

PP-7 Kirişi

PP-7 kirişi öngörülen test edilen son numunedir. PP-7 kirişinde ilk çatlaklar kiriş çekme bölgesinde 40 kN yük seviyesinde gözlenmiştir. Artan boşluk uzunluğu ile PP-6 kirişinde olduğu gibi daha büyük yük altında ilk çatlaklar oluşmuştur. Daha sonra

yükün 78 kN'a ulaşmasıyla çekme bölgesindeki çatlak sayısı artmış ve çatlak uzamaları kiriş üst başlığına doğru devam etmiştir. Çatlakların beton basınç bölgesine doğru ilerleyişi, tarafsız eksen yüksekliğinin azalmasına ve kirişin akmaya ulaşmasına işaret olarak değerlendirilmektedir. Nitekim düşey yükün 82,73 kN seviyesine ulaşması ile akma meydana gelmiştir. Bu aşmadan sonra deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Artan deplasmanlar ile yeni çatlaklar oluşmaya başlamış ancak çekme bölgesinde var olan çatlakların genişleme eğilimi görülmemiştir. Bu durumun nedeni artan boşluk uzunluğu ile kiriş merkezindeki alt başlığın karşıladığı moment etkilerini üst başlığın karşılaması sonucu kiriş merkezinde üst başlığın daha çok zorlanmasıdır. Bu durum ana hasar noktasını yükleme noktaları altından kiriş merkezindeki basınç bölgesine doğru kaydırmıştır. Deneye 62,31 mm deplasmana ulaşana kadar devam edilmiştir. Deney düzeneğinde bozulmaların meydana gelmemesi için bu deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda kirişin kesme bölgesinde belirgin hasarların olmayışı da kirişin eğilme kapasitesinin zorlandığını göstermektedir. Diğer bir ifade ile seçilen a_v/d oranının uygun olduğu anlaşılmaktadır. PP-7 kirişine ait çatlak oluşum aşamaları Çizelge 4.33'te, deney sonu hasar görünüşleri Şekil 4.37'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.33. PP-7 Kirişi hasar oluşum aşamaları

Yük (kN)	Dep. (mm)	Yükleme Anındaki Görünüş
0	0	
40	3	
49	5	
61	9	
70	12	

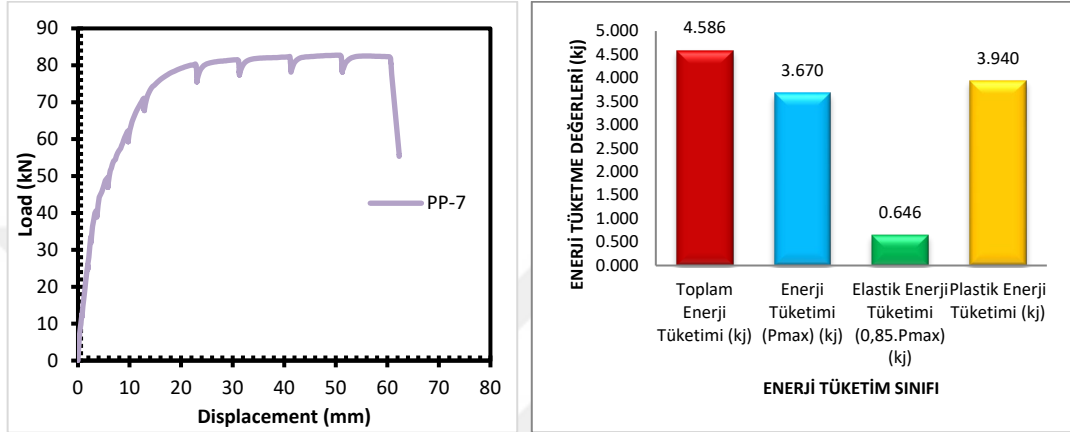
80	22	
79	30	
79	40	
79	50	
55	62,31	



Şekil 4.37. Deney sonu hasar görüntüleri

PP-7 kirişinde de referans kirişteki gibi eğilme hasarı oluşmuştur. Diğer boşluklu kirişlerde olduğu gibi hasarlar yükleme noktaları arasında kalmayıp kesme bölgesine doğru yaklaşım eğilimi göstermiştir. Artan boşluk uzunluğu ile kiriş merkezindeki alt

başlığın karşıladığı moment etkilerini üst başlığın karşılaması zorunluluğu oluşmuştur. Bu durum kiriş merkezinde üst başlığın daha çok zorlanmasına sebebiyet vermiştir. Böylece ana hasar noktası yükleme noktalarının altından kiriş merkezindeki basınç bölgesine doğru kaymıştır. Nihai durumda kiriş basınç bölgesinde ciddi ezilme ve kırılma meydana gelmiştir. Şekil 4.38’de PP-7 kirişine ait yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketme değerleri gösterilmiştir.



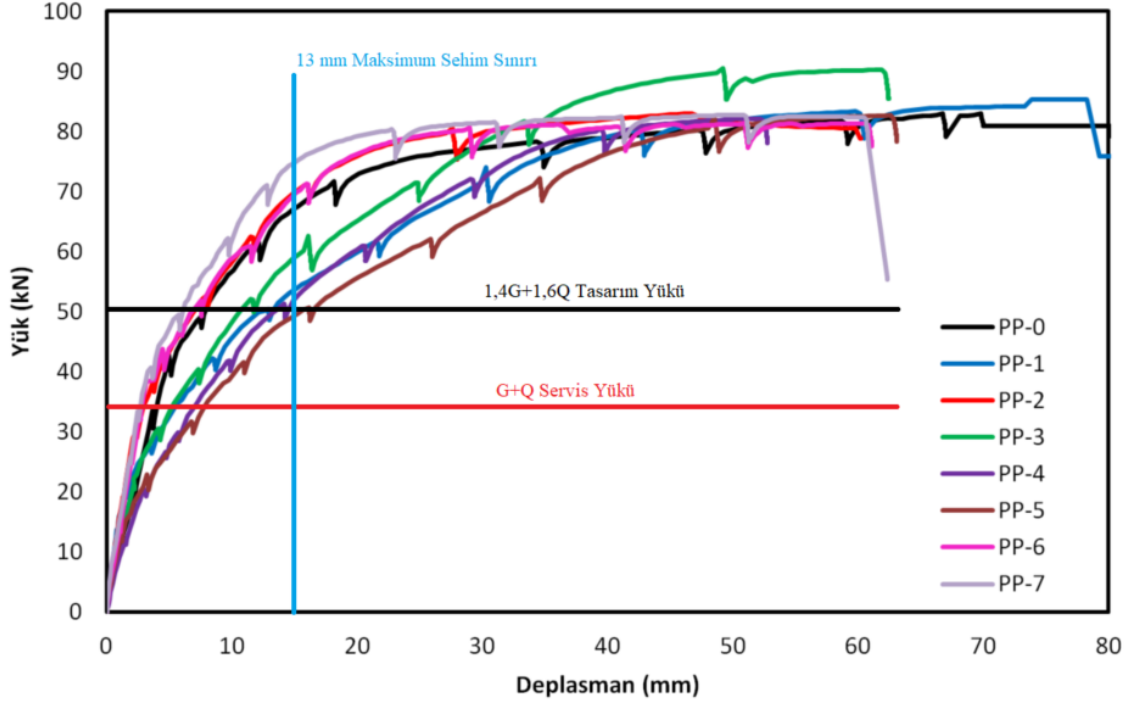
Şekil 4.38. PP-7 yük-deplasman ilişkisi ve enerji tüketimi değerleri

PP-7 kirişi sünek davranış sergileyerek göçme konumuna ulaşmıştır. Hesaplanan süneklik oranı ($\mu=4.77$) literatürde denge altı sünek kirişler için olması gereken süneklik oranının minimum 4-5 gerekçesi dikkate alındığında yeterlidir [Aykaç S. vd. (2011)]. Artan boşluk uzunluğu ile önerilmeli kiriş tasarımında süneklik PP-6 kirişinde olduğu gibi geri kazanılmıştır denebilir. Ayrıca kirişin maksimum yük seviyesindeki rijitliği 1.63 kN/mm olarak hesap edilmiştir. Şekil 4.38’de verilen eğrinin altındaki alanlar dikkate alınarak toplam enerji tüketimi (4.58 kJ), P_{max} anındaki enerji tüketimi (3.67 kJ), $0.85P_{max}$ anındaki elastik enerji tüketimi (0.64 kJ) ve plastik enerji tüketimi (3.94 kJ) hesaplanmıştır. Enerji tüketim verilerine bakıldığında referans kirişe göre yine toplam enerji tüketimi aşağıda kalmıştır ancak ilave olarak elastik enerji tüketim kapasitesinde daha kısa gövde boşluğu bulunan kirişlere göre azalma gerçekleşmiştir. PP-7 kirişine ait deney sonuçları Çizelge 4.34’te verilmiştir.

Çizelge 4.34. PP-7 deney sonuçları

Öngerilmeli Kiriş Adı	P_{max} (kN)	P_U 0,85.P _{max} (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
PP-7	82,73	70,32	13,04	62,31	4,77	62,31	50,55	1,63

Öngerilmeli kirişlerin deneylerinin tamamlanmasının ardından yük-deformasyon grafiklerinin birleştirilip artan boşluk boyutunun kirişlerin davranışındaki etkileri Şekil 4.39'da verilmiştir.



Şekil 4.39. Tüm öngerilmeli elemanların karşılaştırmalı yük-deplasman grafiği

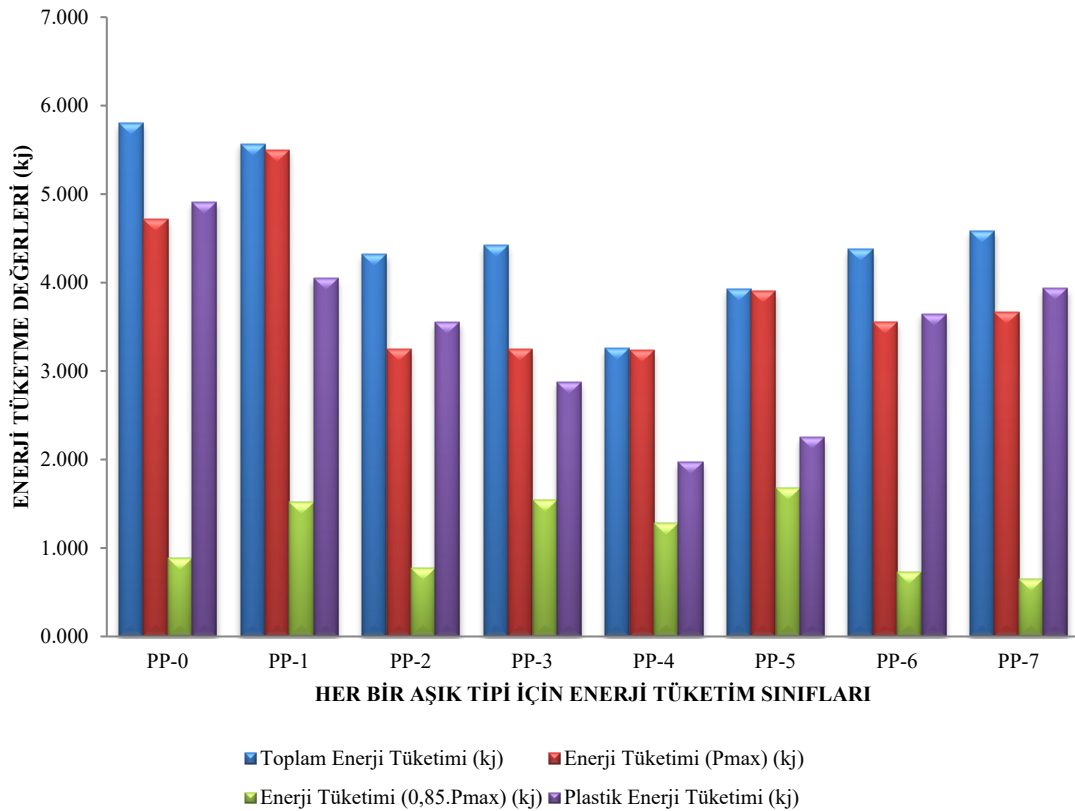
Öngerilmeli kirişlerin gerçekleştirilen deneylerinden alınan sonuçlar değerlendirildiğinde kirişlerin eğilme bölgesinde bırakılan boşluğun yük taşıma kapasitesinde azalmaya yol açmadığı gözlemlenmiştir. Bununla boşluklu tasarım kısa boşluklarda süneklik oranını azaltsada artan boşluk uzunluğu süneklik oranını tekrar arttırmıştır. Hatta öngerilmeli kirişlerde oluşturduğu gevrekleşme durumunun 88 cm ve 104 cm boşluklu tasarımlarda ortadan kalktığı ve kirişlerin daha sünek özellikte yük-deplasman verileri ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 4.35'de öngerilmemiş tüm elemanların deney sonuçları alınan yük, deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri sıralanmıştır. Çizelge 4.36 ve Şekil 4.40'ta enerji tüketim değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.35. Öngerilmeli elemanların deney sonu verileri

Öngerilmeli Numune Adı	P_{max} (kN)	P_U 0,85. P_{max} (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklilik Oranı (δ_u/δ_y)	Max. Dep. (mm)	Max. Yükteki Dep. (mm)	Max. Yükteki Rijitlik (kN/mm)
PP-0	82,98	70,53	17,17	80,14	4,66	80,14	69,8	1,18
PP-1	85,37	72,56	29,86	80,25	2,68	80,25	74,19	1,15
PP-2	83,01	70,55	15,3	60,21	3,93	60,21	46,71	1,77
PP-3	90,49	76,91	28,72	62,41	2,17	62,42	49,21	1,83
PP-4	82,12	69,80	27,22	52,74	1,93	52,18	52,18	1,57
PP-5	82,66	70,26	33,12	63,1	1,90	63,10	62,57	1,32
PP-6	81,37	69,17	16,15	61,09	3,78	61,09	50,91	1,59
PP-7	82,73	70,32	13,04	62,31	4,77	62,31	50,55	1,63

Çizelge 4.36. Enerji tüketim verileri

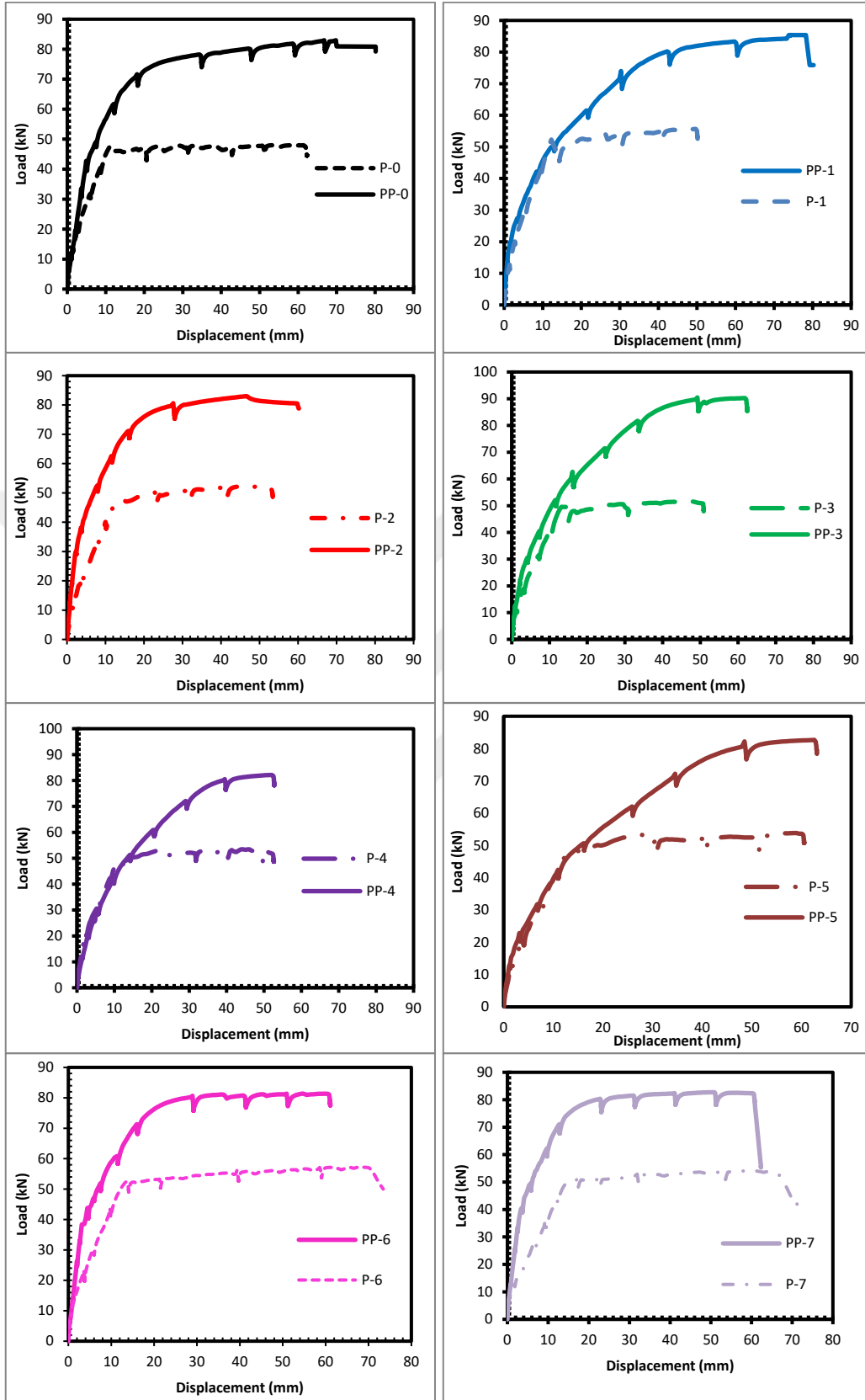
Öngerilmeli Numune Adı	Toplam Enerji Tüketimi (kJ)	Enerji Tüketimi (P_{max}) (kJ)	Elastik Enerji Tüketimi (0,85. P_{max}) (kJ)	Plastik Enerji Tüketimi (kJ)
PP-0	5,802	4,721	0,887	4,915
PP-1	5,572	5,495	1,519	4,053
PP-2	4,324	3,253	0,770	3,554
PP-3	4,423	3,250	1,540	2,883
PP-4	3,256	3,238	1,282	1,974
PP-5	3,928	3,907	1,678	2,250
PP-6	4,376	3,558	0,725	3,651
PP-7	4,586	3,670	0,646	3,940

**Şekil 4.40.** Öngerilmeli aşıklarda enerji tüketme değerleri

Kirişin kapasitesinde ciddi bir kayıp olmadan yapılabilen maksimum deplasmanın olduğu $0,85.P_{max}$ değerindeki elastik enerji tüketme değerlerine bakıldığında öngermesiz kirişlerde olduğu gibi gövdesinde 6 cm aralıklarla bırakılan 3 adet 24 cm genişliğinde boşluk bırakılan PP-5 kirişinde enerji tüketme kapasitesinin oldukça yükseldiği görülmektedir. Özellikle 88 cm boşluklu PP-6 kirişi ile 104 cm boşluklu PP-7 kirişinde ise referans numuneye göre elastik enerji tüketimi kapasitesinde belirgin bir azalma olduğu görülmektedir.

4.3. Öngermeli ve Öngermesiz Kirişlerin Birlikte Değerlendirilmesi

Yapılan çalışmada birbirinden farklı dayanım sonuçları alınması beklenen öngermeli ve öngermesiz aşıkların boşluk boyutu olarak aynı özelliklere sahip olanları Şekil 4.41’de ikili şekilde karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda boşluklu formun öngermesiz elemanlarda deplasman yapabilme kabiliyeti ile ilgili olarak olumsuz bir etkisi olmamakla birlikte, normal koşullarda öngermeli sistemlerin kirişlere kazandırdığı yüksek yük taşıma kapasitesinin yanında azalttığı deformasyon yapabilme kabiliyetinin boşluklu aşıkların tasarımında geri kazanıldığı ortaya çıkmıştır. Yani artan boşluk uzunluğu ile öngermeli aşıkların davranış şekli kapasitede bir kayıp olmadan öngermesiz aşıklara yaklaşmıştır. Öngermeli PP-6 ve PP-7 numaralı kirişlerde artan boşluk uzunluğu ile birlikte kiriş orta noktasındaki asıl zorlanma üst başlığa kaydığından ilk çatlama daha geç oluşmuştur. Böylece lineer elastik bölgedeki doğrusal davranış artış göstermiştir.



Şekil 4.41. Çift halinde öngerilmeli ve öngerilmemiş aşıkların karşılaştırılması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma Konya Teknik Üniversitesi Deprem Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 320 cm uzunluğunda ve 28 cm kesit yüksekliğine sahip prefabrik aşıklar kullanılmıştır. Bu kirişler öngerilmeli ve öngerilmesiz olmak üzere iki tipte oluşturulmuş olup kiriş eğilme bölgelerinin içinde kalacak şekilde farklı konfigürasyonla oluşturulmuş olan boşluklar içermektedir. Boşluklar kiriş merkezinde olup boşlukların yükseklikleri ve düşeydeki konumları sabit kalmak kaydıyla uzunlukları artmaktadır. Bu şekilde birer adedi boşluksuz referans olmak üzere 24cm, 40cm, 56cm, 72cm, 3x24cm, 88cm ve 104cm boşluk uzunluğuna sahip öngerilmeli ve öngerilmesiz olmak üzere toplamda 16 adet aşıkların faydalı yüksekliğe oranı (a_v/d) sabit 3,58 olacak şekilde 4 noktalı yükleme testine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Aşağıda, alınan sonuçlar maddeler halinde sıralanmış ve ardından bundan sonraki yapılacak buna benzer çalışmalara altlık olması adına önerilerde bulunulmuştur.

5.1 Sonuçlar

1. Prefabrik aşıklarında kesme kuvveti etkisinin azalması maksimum momentlerin olduğu orta noktada bırakılan boşluklar kirişte taşıma gücünde azalmaya neden olmamıştır. Aksine bazı kirişlerde artışlar meydana gelmiştir. Bu durum öngerilmeli PP-1, PP-2 ve PP-3 numaralı kirişlerde ortaya çıkarken öngerilmesiz kirişlerde ise tüm elemanlarda görülmüştür.
2. Süneklik kapasitesi öngerilmesiz P-6 ve P-7 kirişlerinde artmıştır. Öngerilmeli kirişlerde ise PP-1, PP-2, PP-3, PP-4 ve PP-5 kirişlerinde süneklik kapasitesi azalırken 88 cm ve 104 cm boşluklu PP-6 ve PP-7 kirişlerinde süneklik kapasitesi referans aşıklarla aynı seviyeye gelmiştir. Yani her iki tip için de en büyük olan 88 ve 104 cm boşluklar süneklik açısından olumlu sonuçlar ortaya koymuştur.
3. Öngerilmeli ve öngerilmesiz her iki tasarım için de geçerli olmak üzere kiriş eğilme bölgesinde bırakılacak boşluk uzunluğu kiriş uzunluğunun %25'ine kadar kiriş davranışında belirgin bir fark oluşturmayıp kirişler sadece eğilmeden hasar alırken bu uzunluktan daha büyük boşluklarda nihai durumda kirişlerin üst başlıklarında basınç kırılmaları ve büyük ezilmeler oluşmaktadır. Artan boşluk

uzunluğu ile eğilme bölgesinde yükleme noktaları arasında oluşan eğilme hasarları kesme bölgesine doğru yayılım göstermektedir.

4. Maksimum yükteki rijitlikte hem öngerilmeli hem de öngerilmesiz kirişlerde boşluklu formun herhangi bir dezavantajı görülmemiştir. Yani eğilme bölgelerinde bırakılan boşluklar sehim hesapları ile ilgili ilave bir önlem ihtiyacı gerektirmemektedir. Aşıklarda yönetmelik gereği sehim sınırı $l_n/240$ olduğu için 13 mm sınır değerinde kirişlerde hasar gözlemlenmemiştir.
5. Kirişin kapasitesinde ciddi bir kayıp olmadan yapılabilen maksimum deplasmanın olduğu $0,85.P_{max}$ değerindeki enerji tüketme değerlerine bakıldığında öngerilmesiz ve öngerilmeli kirişlerde boşluk boyutunun artışıyla enerji tüketme kapasitesinde arttığı görülmüştür. Ancak öngerilmesiz kirişlerde enerji tüketme değerlerinin tümü referans numuneye göre üstte kalırken öngermeli tasarımda özellikle 88cm ve 104cm uzunlukta boşluğa sahip kirişler referans numuneye göre aşağıda kalmıştır.
6. Hem öngerilmeli hem de öngerilmesiz tasarımda da enerji tüketme değerleri incelendiğinde en başarılı tasarım kiriş merkezinde 6 cm aralıkla yerleştirilen 3 adet 24 cm boşluklu P-5 ve PP-5 kirişleri olmuştur. Bu tasarımın enerji tüketme değerleri öngerilmesiz tasarımda referans numuneye göre dört kat olurken öngermeli tasarımda ise iki kattır.
7. Öngerilmeli kirişlerin deney sonuçları incelendiğinde artan boşluk uzunluğu ile birlikte öngerilmeli sistemlerin kirişlere kazandırdığı yüksek yük taşıma kapasitesinin yanında azalttığı deformasyon yapabilme kabiliyetinin boşluklu aşık tasarımında geri kazanıldığı ortaya çıkmıştır.
8. Maliyet açısından inceleme durumunda en büyük boşluklu kiriş dikkate alındığında boşluk miktarının aşıhta kullanılan beton sarfiyatında %8 azalmaya ve aşıkların %8 hafiflemesini sağlamaktadır. Bu durum orta ölçekte bir prefabrike betonarme yapıda 600 adet aşık kullanılacağı tahmin edildiğinde bir binadan $13 m^3$ beton tasarrufu ve 660 kg donatı tasarrufu sağlayacaktır.
9. Deneyler seçilen av/d oranı kirişlerde eğilme hasarına neden olacak şekilde seçilmiştir. Burada amaç eğilme etkisindeki aşıklarda bırakılacak olan boşluk miktarının hangi seviyede risk teşkil edebileceğinin öngerilmeli ve öngerilmesiz kirişlerde ayrı ayrı tartışılmasıdır. Elbette boşlukların kesme bölgesine doğru genişlemesi durumunda kesme bölgesinde ani hasarlar beklenebilir.

5.2 Öneriler

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde bundan sonra yapılacak olan benzer çalışmalarda izlenebilecek yol ile ilgili öneriler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

1. Deneylerde sabit tekil yük ile yükleme yapılmıştır. Halbuki gerçek durumda aşıklar üzerindeki yükler yayılıdır. Bu nedenle iki tekil yük arasında sadece moment etkisi altında bırakılan bölgede gerçekte bir miktar kesme kuvveti oluşacağı aşıkardır. Kesme kuvvetinin bu bölgelerde oldukça sınırlı olması davranışın eğilme bazlı gerçekleşebileceğini düşündürmektedir. Fakat ileriki çalışmalarda yükün yayılı olması denenebilir.
2. Aşık gövdesinde bırakılacak boşluk tek parça yerine P-5 ve PP-5 tasarımları şeklinde parçalı şekilde bırakılıp bu tasarım şekli üzerinde yeni alternatifler üretilebilir.
3. Deneyler sırasında genellikle boşluk altında kalan dolu kısımlar köşe noktalardan ilk hasarı almıştır. Bu durum boşluk şekliyle ilgilidir. Bu nedenle bırakılacak boşlukların aynı zamanda üçgen, dairesel veya elips şekillerinde tasarlanıp test edilmesi önerilebilir.
4. Kiriş uzunluğunun %25'inden daha büyük boşluk uzunluklarında kirişlerin gövde merkezinde basınç bölgesinde ani ezilme ve kırılmalar görülmüştür. Bu noktalarda ilave donatılar yerleştirilerek artan donatı oranının hasar davranışına olan etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Ahmad, S., Elahi, A., Hafeez, J., Fawad, M., Ahsan, Z. 2013. "Evaluation of the shear strength of dapped ended beam". *Life Science Journal*, 10(3), 1038–1044.
- Ihsan,A, S., Ahmed, S, A., Abdulkhalik, J, A. 2017. " Experimental and Numerical Investigation of High Strength Reinforced Concrete Deep Beams with Web Openings under Repeated Loading". *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences (NJES) Vol.20 No.2, 2017 pp. 311-325*
- Sadjad,A, Hemzah., Wajde, S, Alyhya., Saif, A, Hassan. 2020. "Experimental investigation for structural behaviour of self-compacting reinforced concrete hollow beams with in-place circular openings strengthened with CFRP laminates". *Science Direct , Structures 24 (2020) 99–106.*
- Sarah, A, Hamad., Qasim, M, Shakir. 2020. "Behaviour of RC Beams with Strengthened Web Openings under Vertical Loads". *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1094 012062*
- Fouad, E, Ame., John, N, Mwero., Charles, K, Kabubo. 2020. "Openings Effect on the Performance of Reinforced Concrete Beams Loaded in Bending and Shear". *Engineering, Technology & Applied Science Research Vol. 10, No. 2, 2020, 5352-5360.*
- Tarek, A., Yousef, Al-Salloum., Hussein, E., Abdulhafız, A, Rizwan, I., 2018. "Behavior of FRP-Strengthened RC Beams with Large Rectangular Web Openings in Flexure Zones: Experimental and Numerical Study". *International Journal of Concrete Structures and Materials*
- Aksoylu, C., Yazman, Ş., Özkılıç, Y.Ö., Gemi, L., Arslan, M.H., 2020. "Experimental analysis of reinforced concrete shear deficient beams with circular web openings strengthened by CFRP" , *Science Direct , 1–19.*
- Aykaç, S., Yılmaz, M.C., 2011. "Düzenli Üçgen Veya Dairesel Boşluklara Sahip Betonarme Kirişlerin Davranış ve Dayanımı" , *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 26, No 3, 711-718.*
- Qasım, M. Shakir, Haider, A. Al-Tameemı., Hayder, H. H. Kamonna., 2020. "Effect Of Opening Characteristics On The Performance Of High Strenght RC Dapped-End Beams". *Journal of Engineering Science and Technology Vol. 15, No. 1 (2020) 693 - 708*
- Qasım, M. Shakir, Yahya, M. Yahya., Ali, T. Jasim., 2018. "Strengthening Of Reinforced Self-Compacting Concrete T- Deep Beam With Large Opening By

Carbon Fiber Sheets”. Kufa Journal of Engineering Vol. 10, No. 2, April, 2019, P.P. 76-89

Atıf, M. A. Hafez., 2009. “Behaviour Of Reinforced High-Strength Concrete Beams With Openings Subjected To Static And Repeated Loadings”. Journal of Engineering Sciences, Assiut University, Vol. 37, No. 6, pp.1343-1358, November 2009.

Keyder E., (2005-2013), Öngermeli Beton (2. Bs.), Bizim Büro Baimevi, Ankara, 21-38.

Barka G., Ataköy H., Yüksel E., (2018), Beton Prefabrikasyon El Kitabı, Ankara, 1-49.

Günerman H., (2017), Öngerme El Kitabı, Grafik-Ofset Matbaacılık Reklamcılık, Ankara, 11-30.

TS 500-2000, ‘‘Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları’’ Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,2000

TS 3233, ‘‘Öngermeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları’’ Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,2000

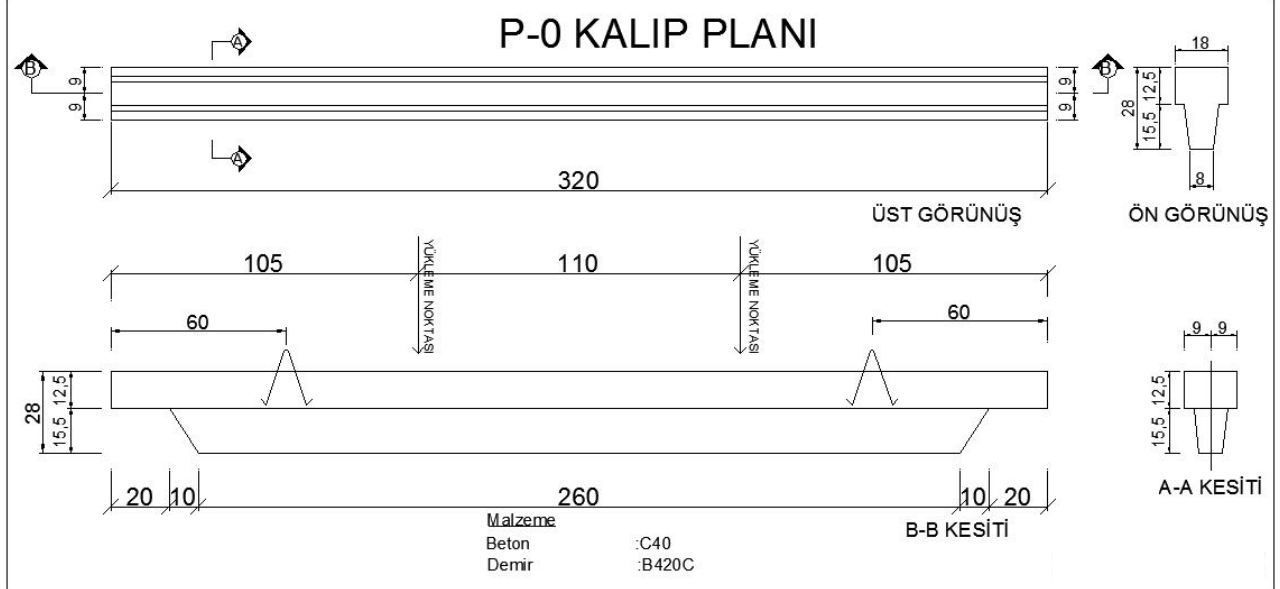
TS 498, ‘‘Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri’’ Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,2000

TBDY - 2018, ‘‘Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’’ Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Mart 2018

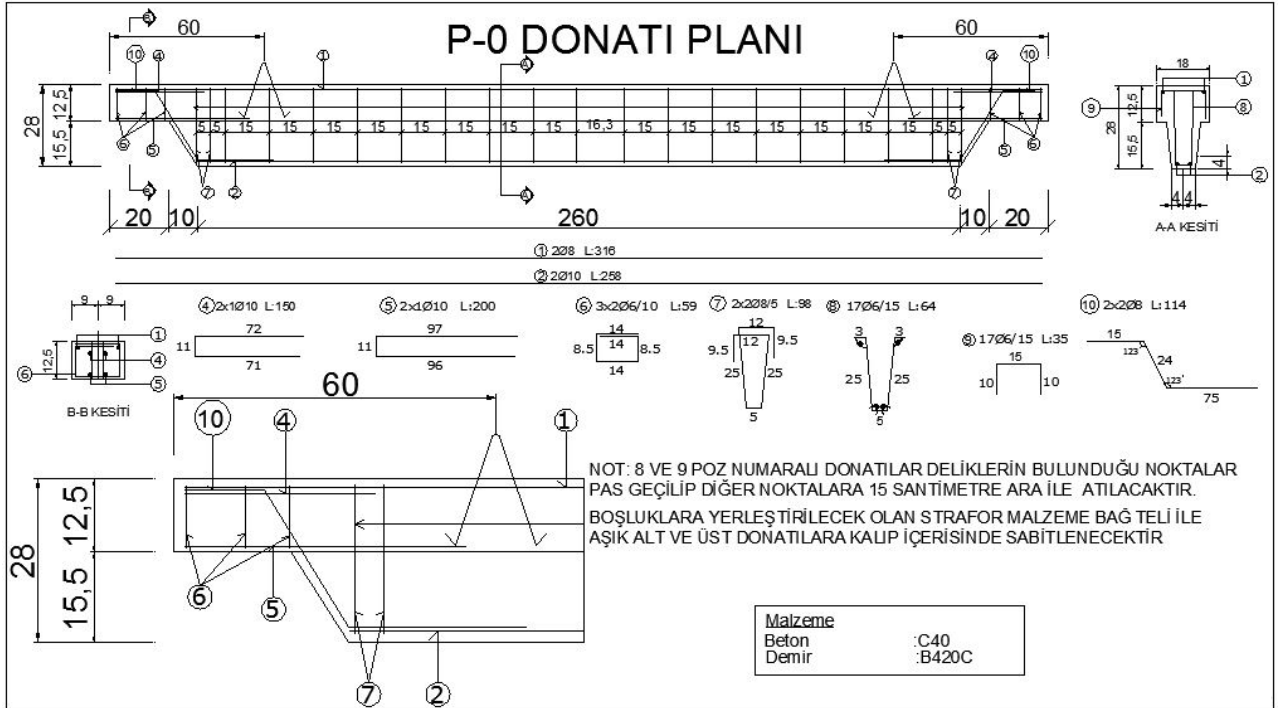
Barka, G., Ataköy, H., Yüksel, E., (2018), Beton Prefabrikasyon El Kitabı Tasarım Üretim ve Montaj Esasları, Türkiye Prefabrik Birliği, Kavaklıdere, Ankara

EKLER

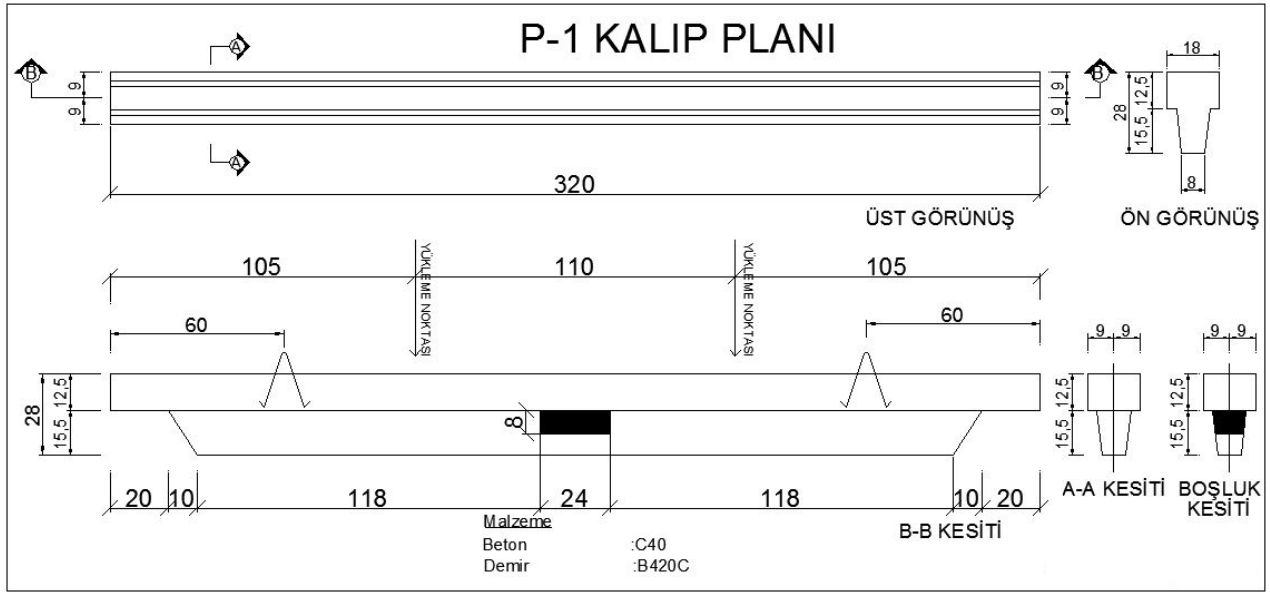
EK-1 Aşık Kirişleri İmalat Paftaları



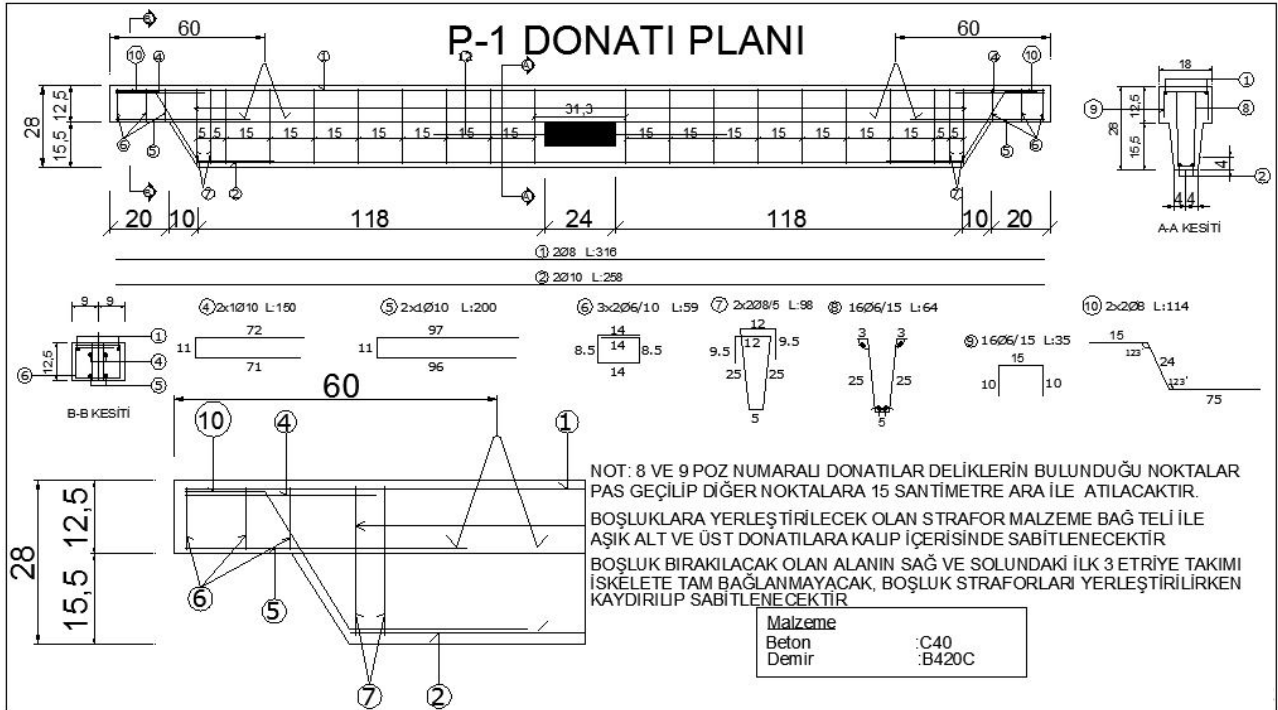
Şekil 1. P-0 Öngerilmemiş aşık kalıp planı



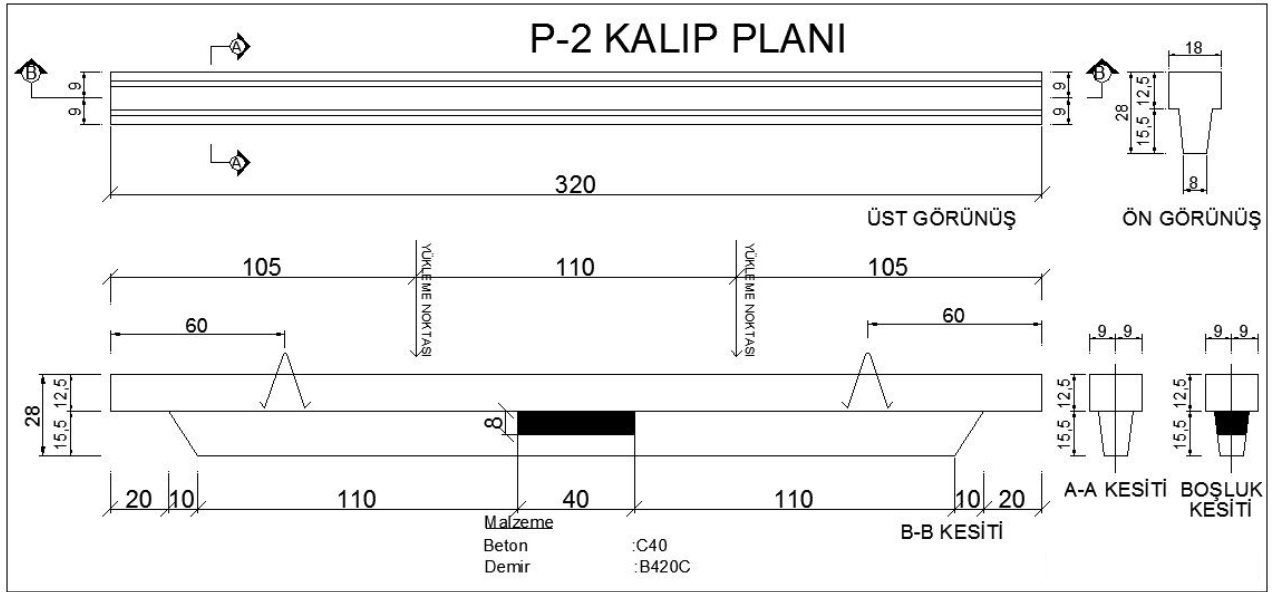
Şekil 2. P-0 Öngerilmemiş aşık donatı planı



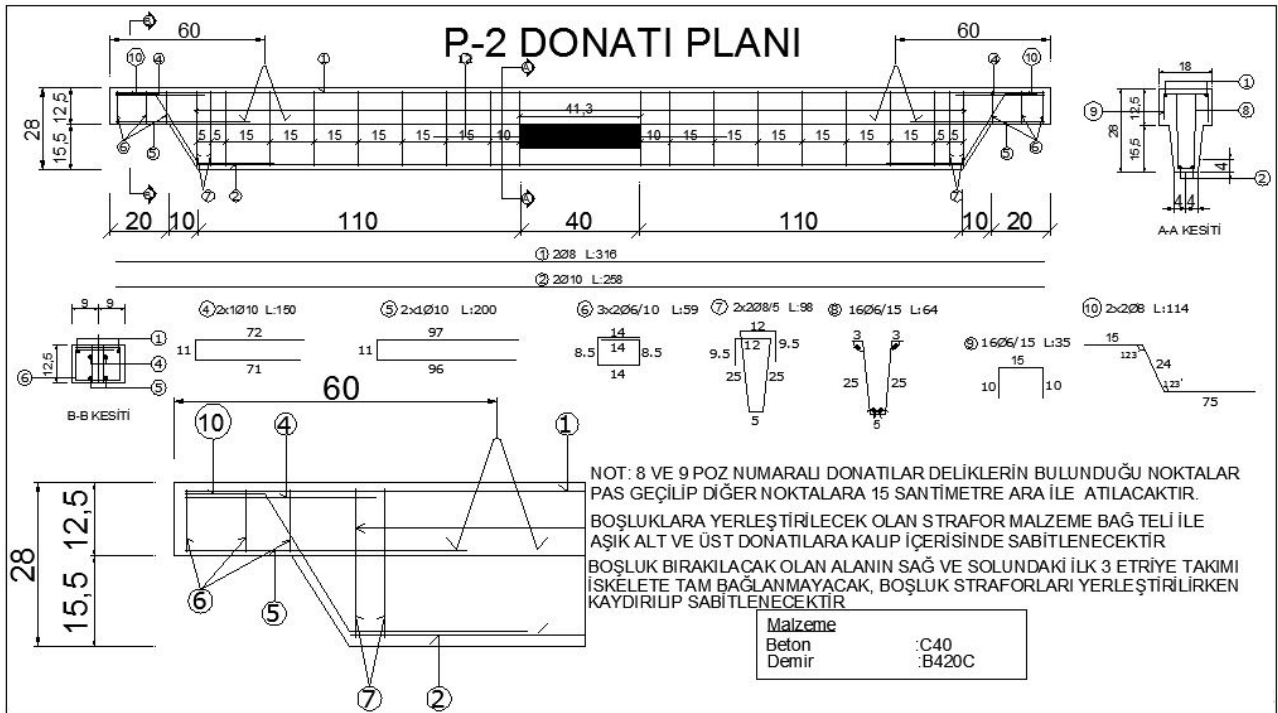
Şekil 3. P-1 Öngerilmemiş aşıklık kalıp planı



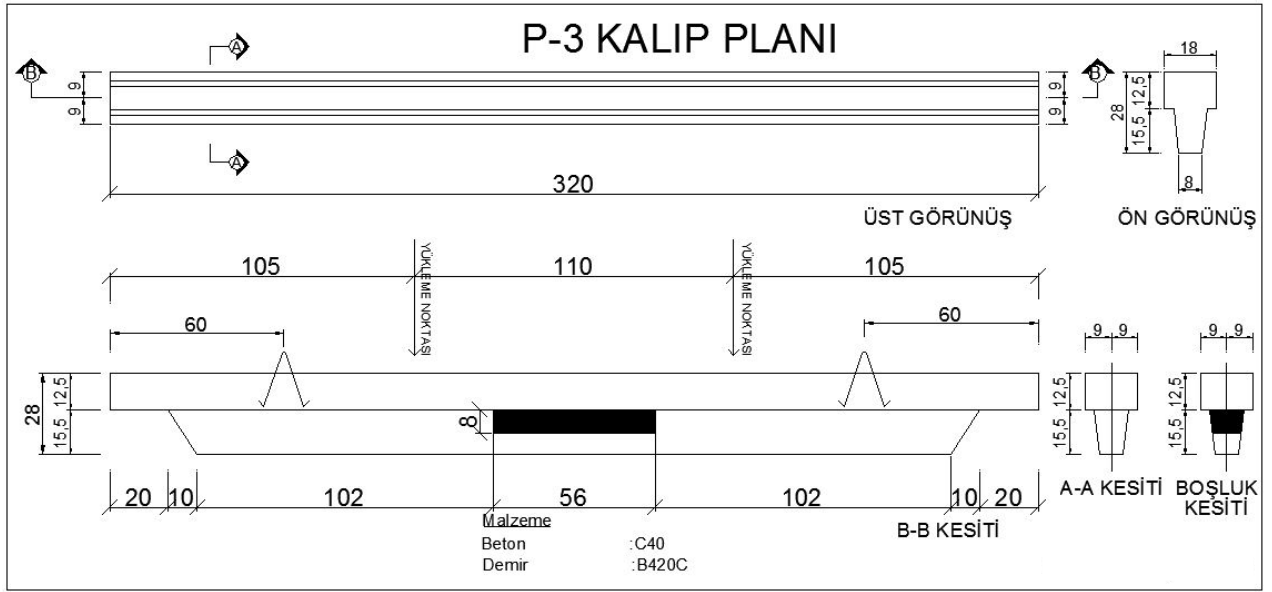
Şekil 4. P-1 Öngerilmemiş aşıklık donatı planı



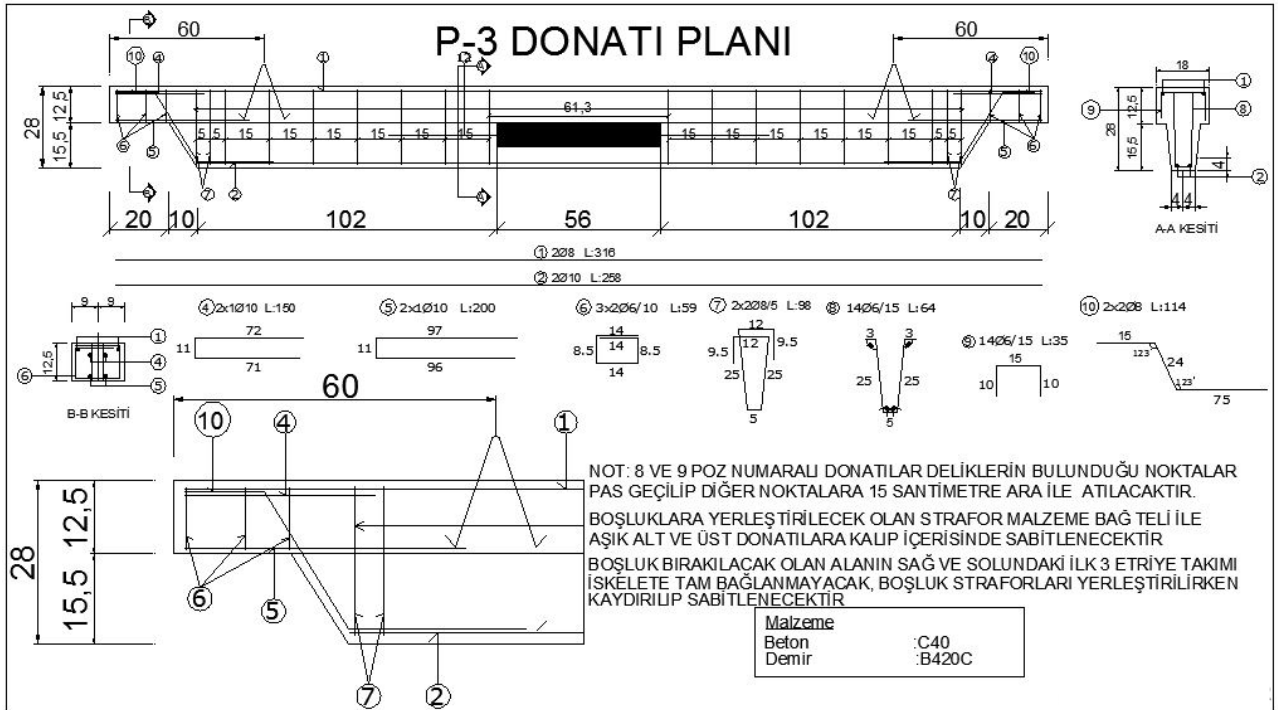
Şekil 5. P-2 Öngerilmemiş aşık kalıp planı



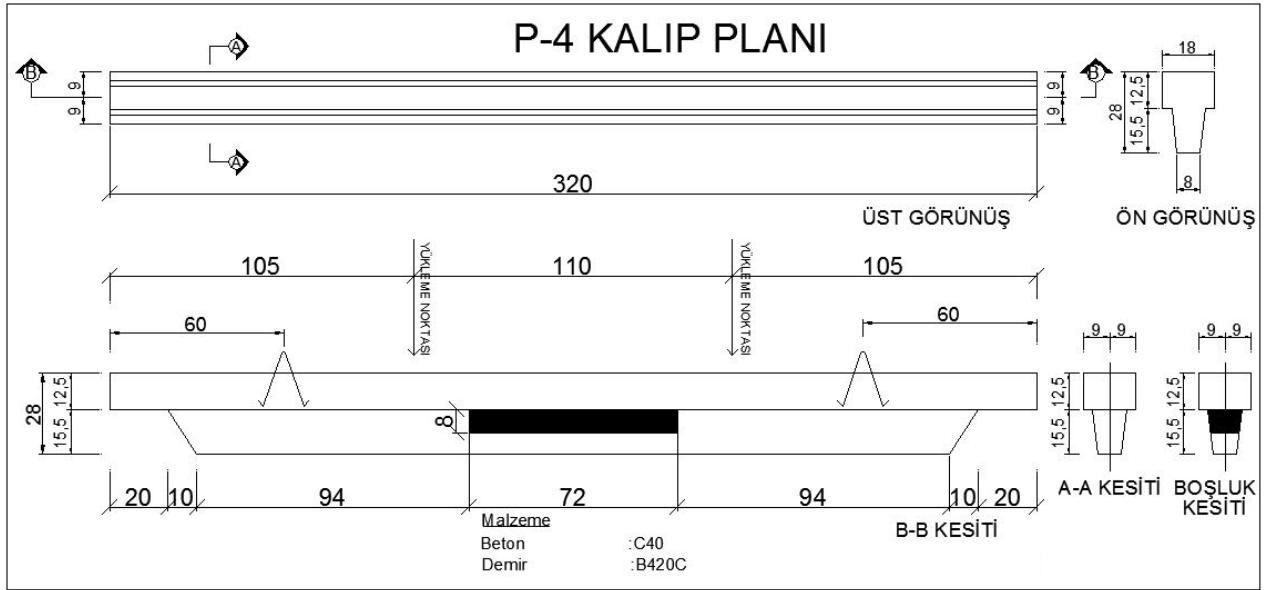
Şekil 6. P-2 Öngerilmemiş aşık donatı planı



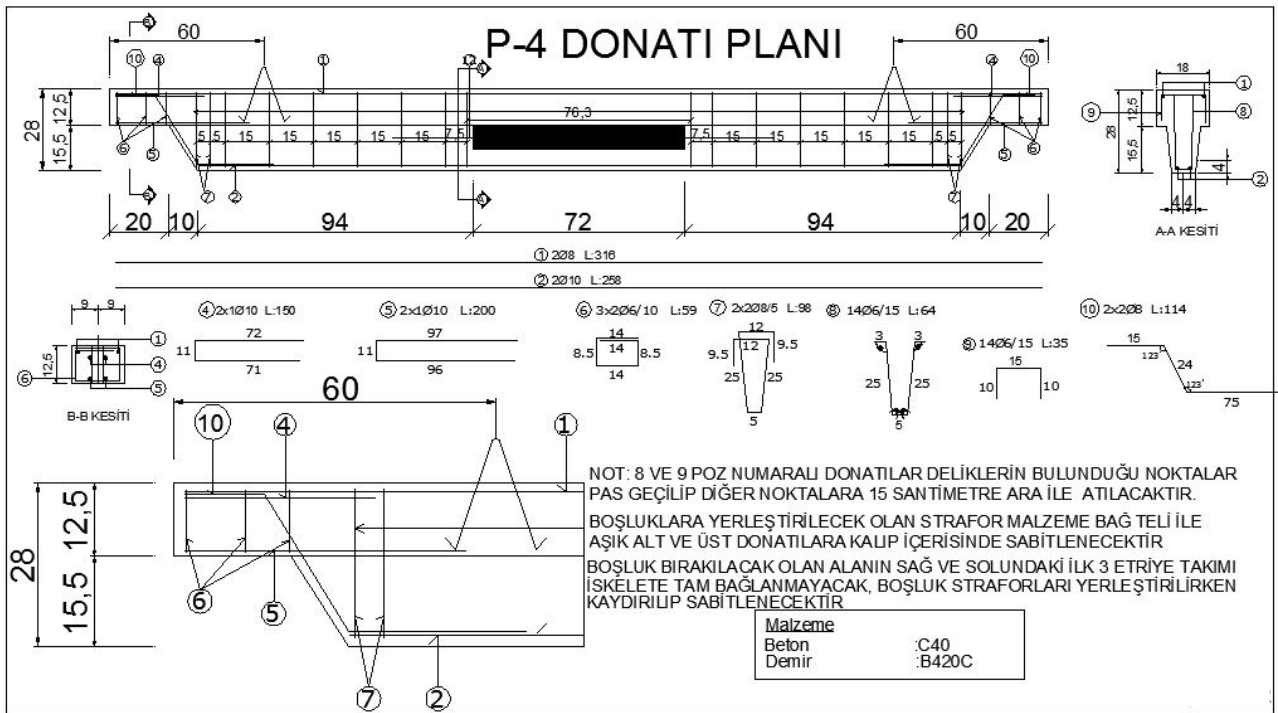
Şekil 7. P-3 Öngerilmemiş aşık kalıp planı



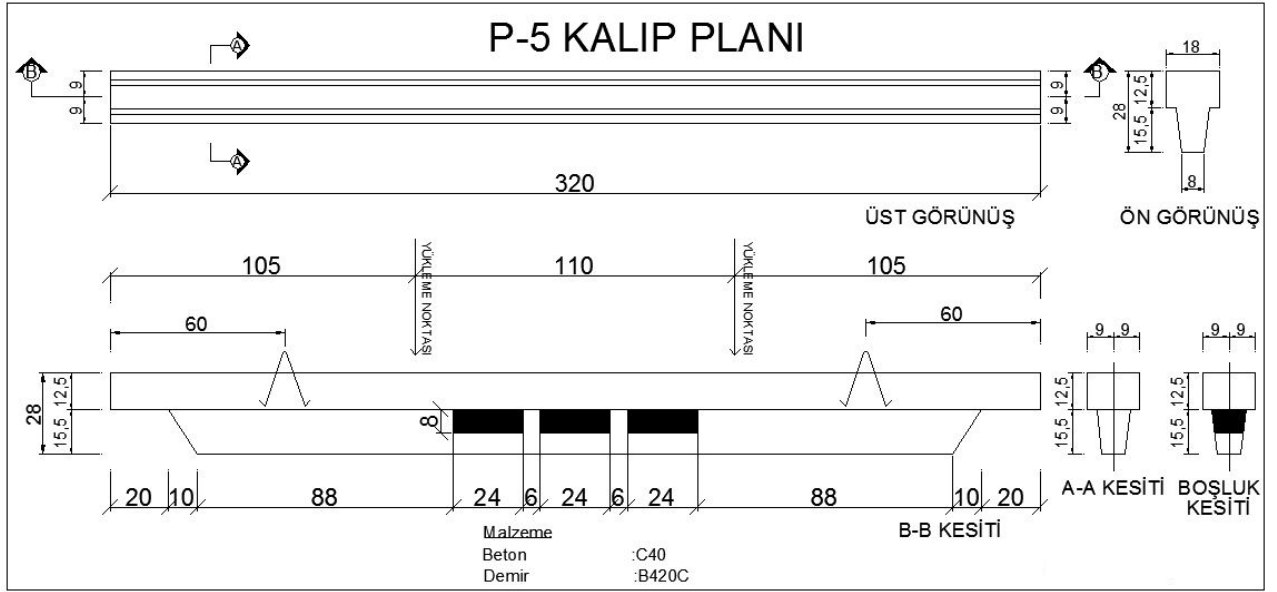
Şekil 8. P-3 Öngerilmemiş aşık donatı planı



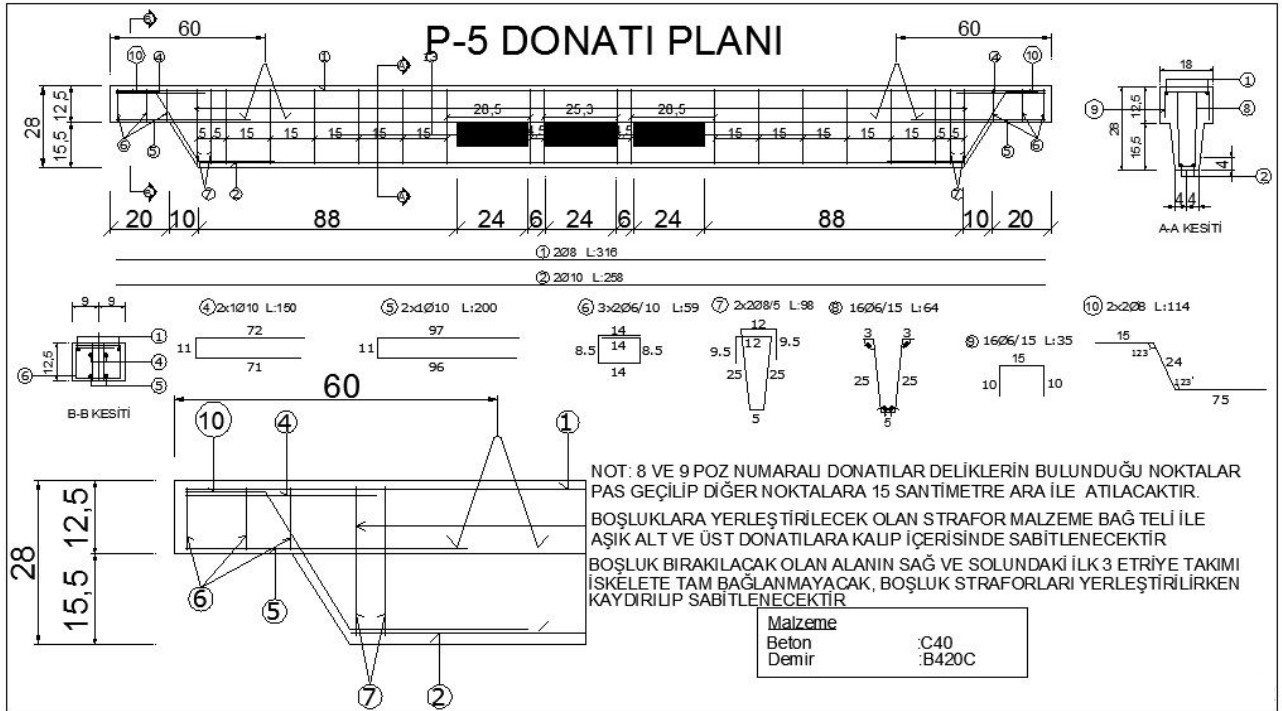
Şekil 9. P-4 Öngerilmemiş aşıklık kalıp planı



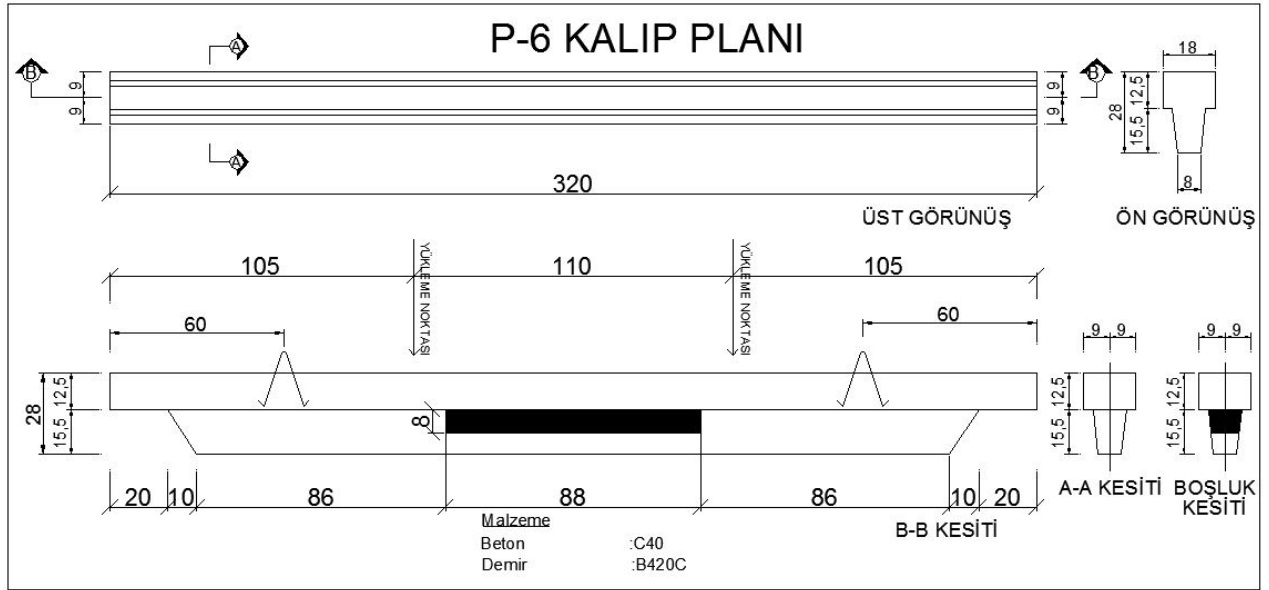
Şekil 10. P-4 Öngerilmemiş aşıklık donatı planı



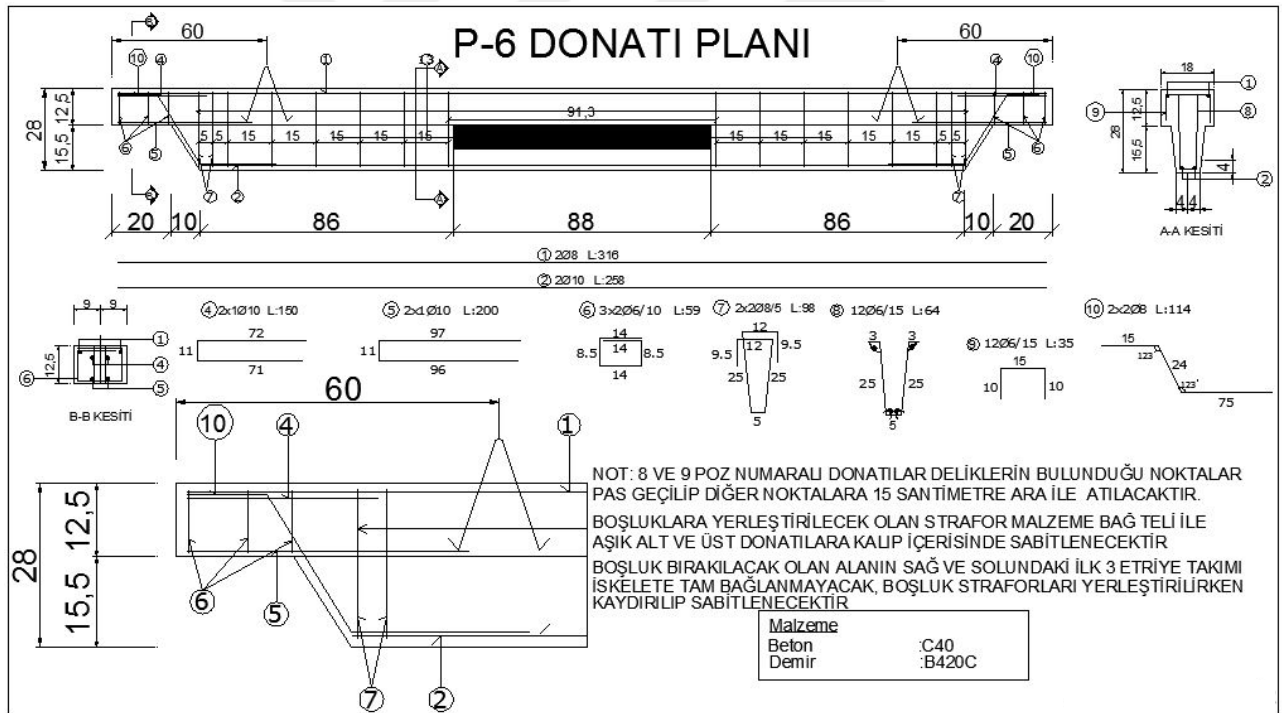
Şekil 11. P-5 Öngerilmemiş aşık kalıp planı



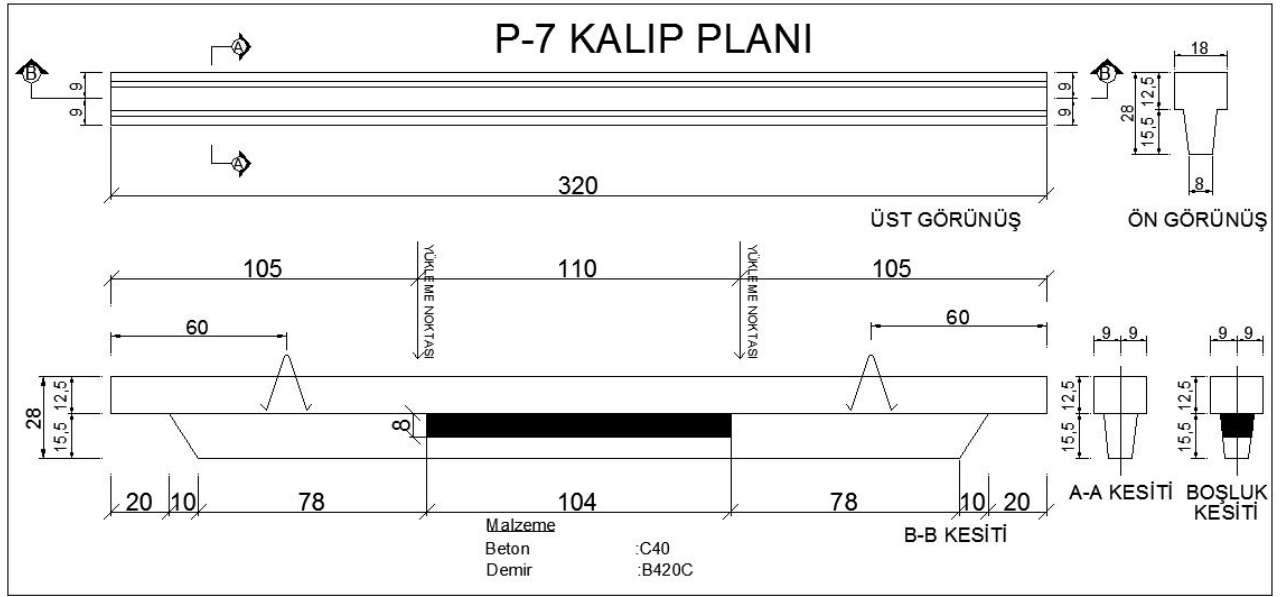
Şekil 12. P-5 Öngerilmemiş aşık donatı planı



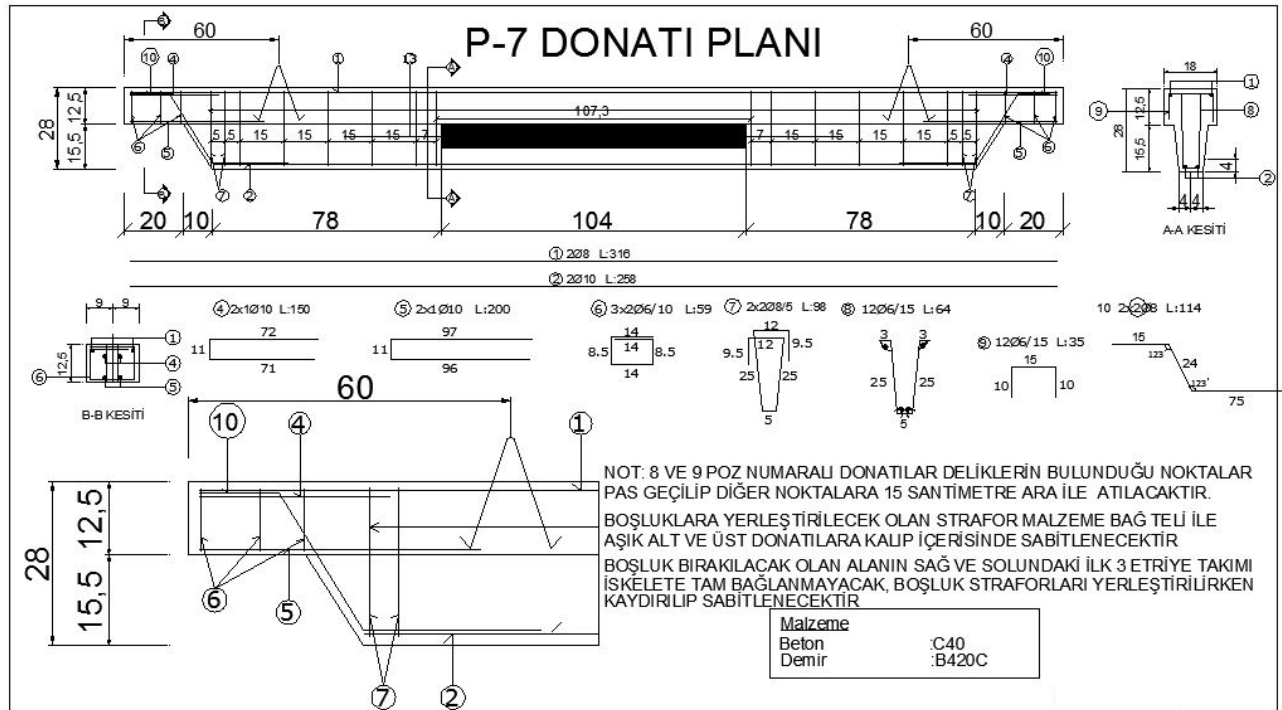
Şekil 13. P-6 Öngerilmemiş aşıklık kalıp planı



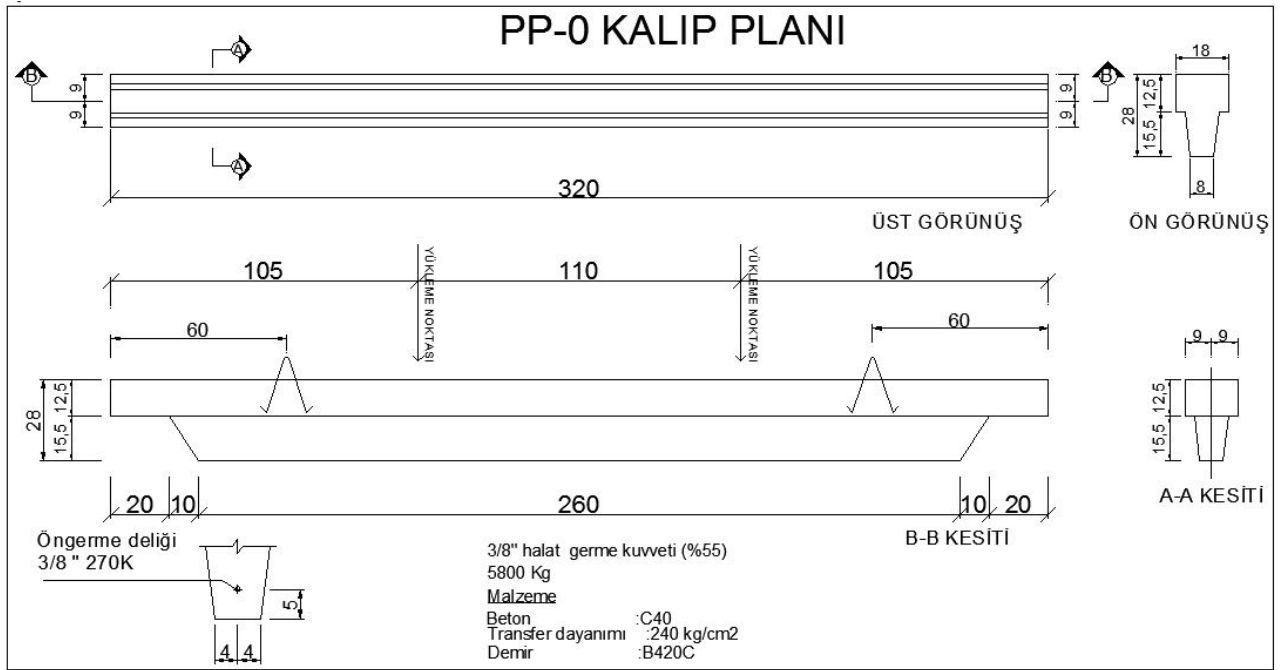
Şekil 14. P-6 Öngerilmemiş aşıklık donatı planı



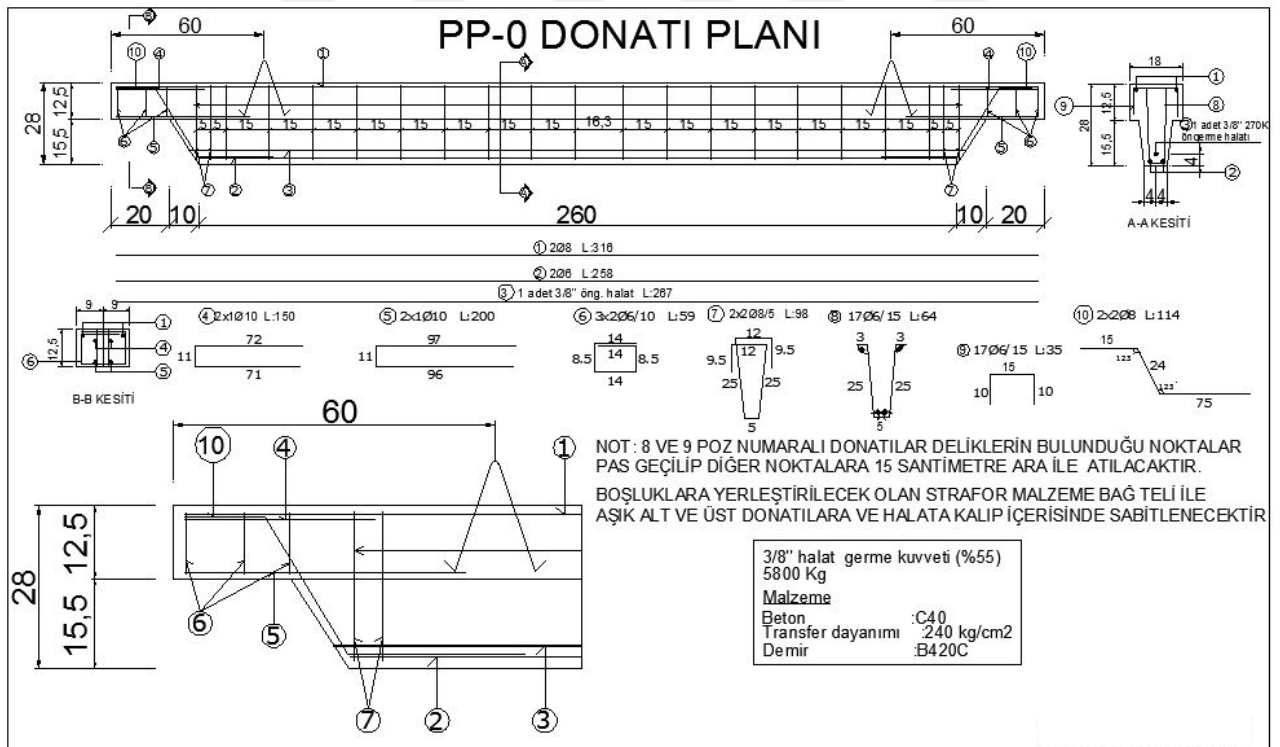
Şekil 15. P-7 Öngerilmemiş aşıklar kalıp planı



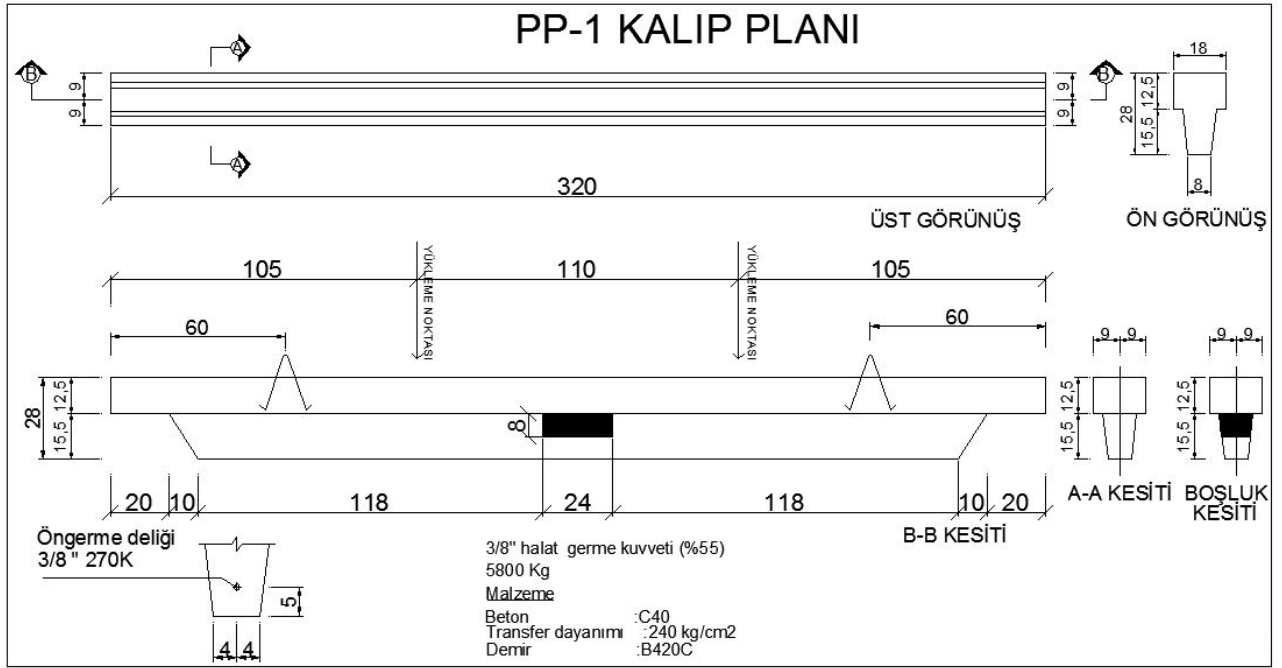
Şekil 16. P-7 Öngerilmemiş aşıklar donatı planı



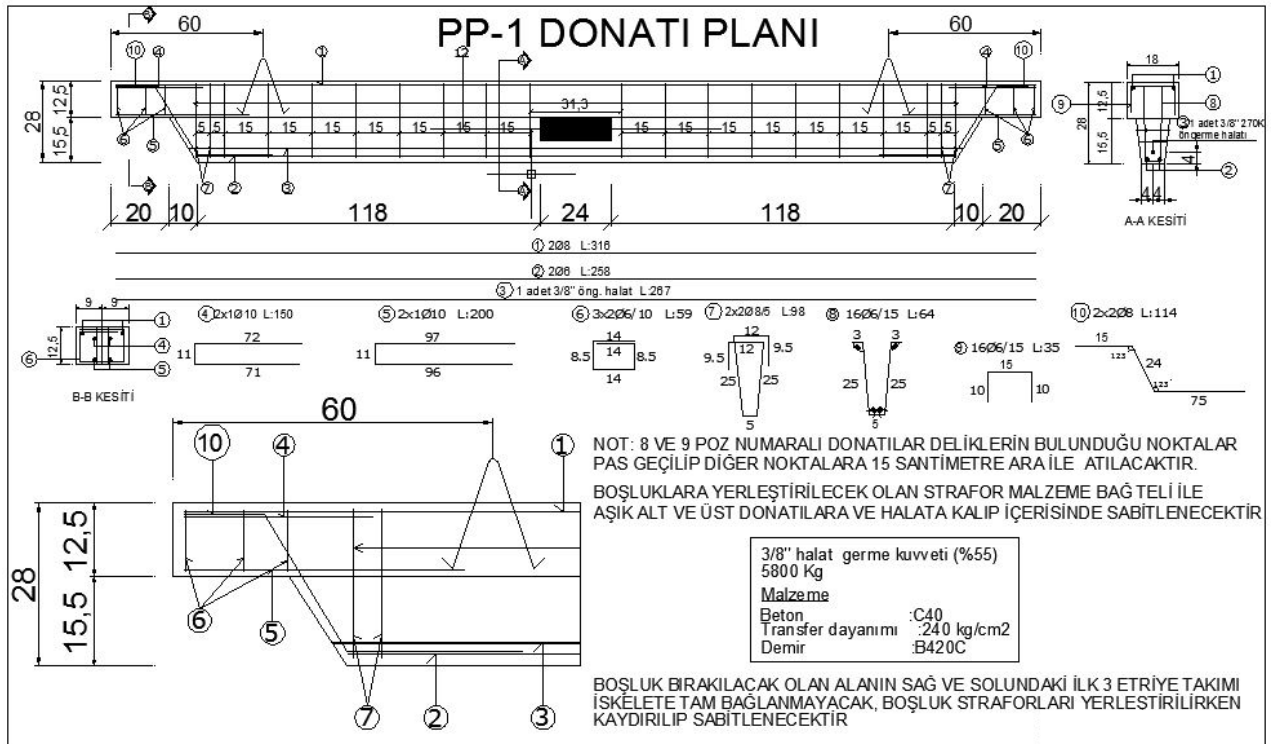
Şekil 17. PP-0 Öngerilmeli aşık kalıp planı



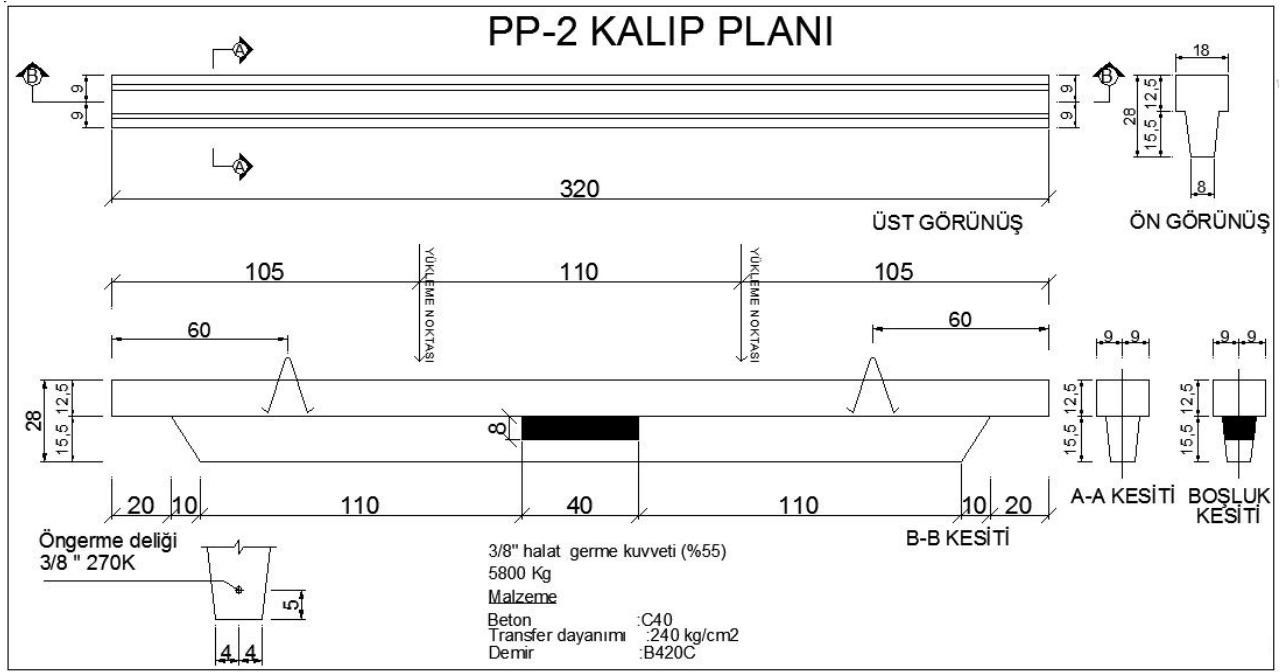
Şekil 18. PP-0 Öngerilmeli aşık donatı planı



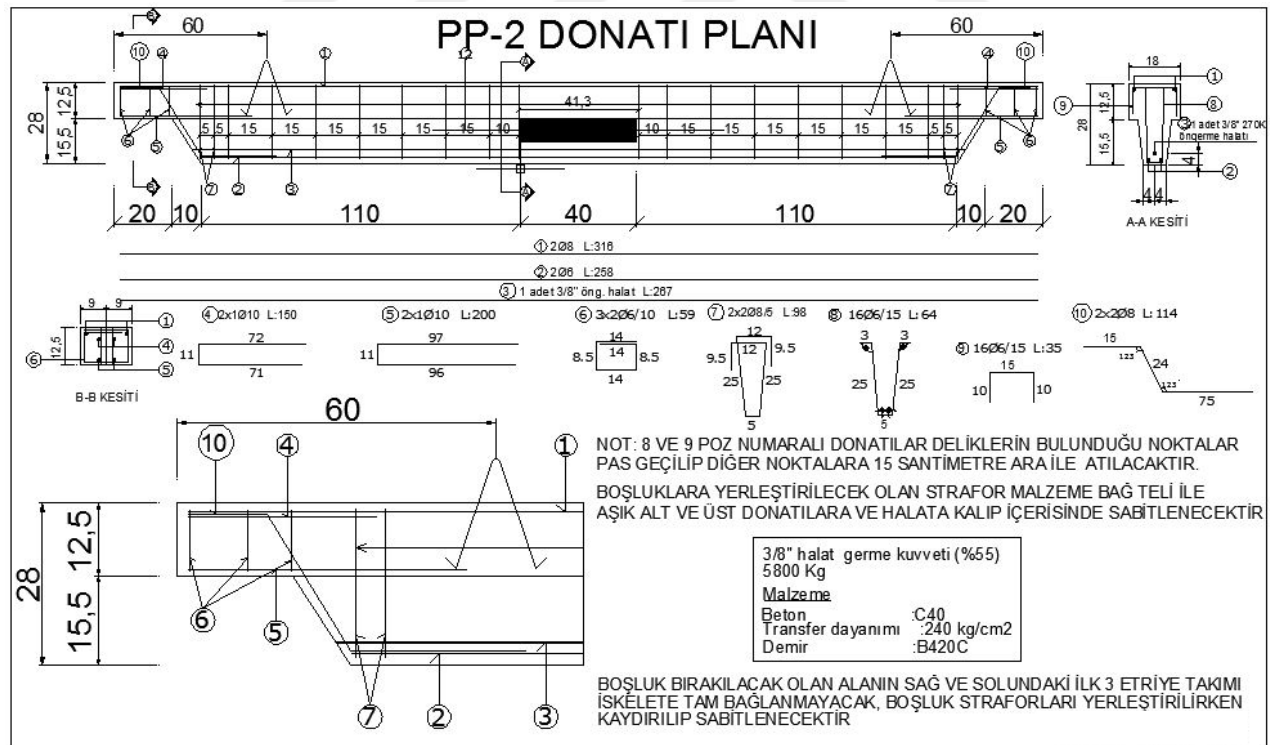
Şekil 19. PP-1 Öngörilmeli aşık kalıp planı



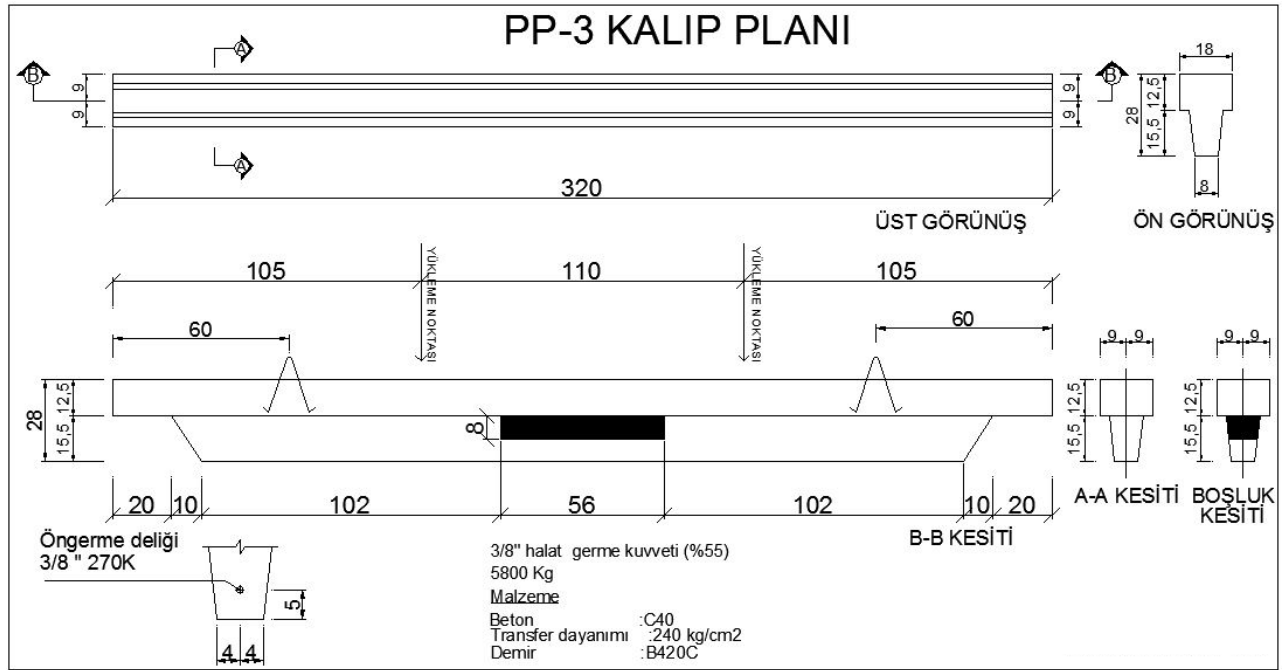
Şekil 20. PP-1 Öngörilmeli aşık donatı planı



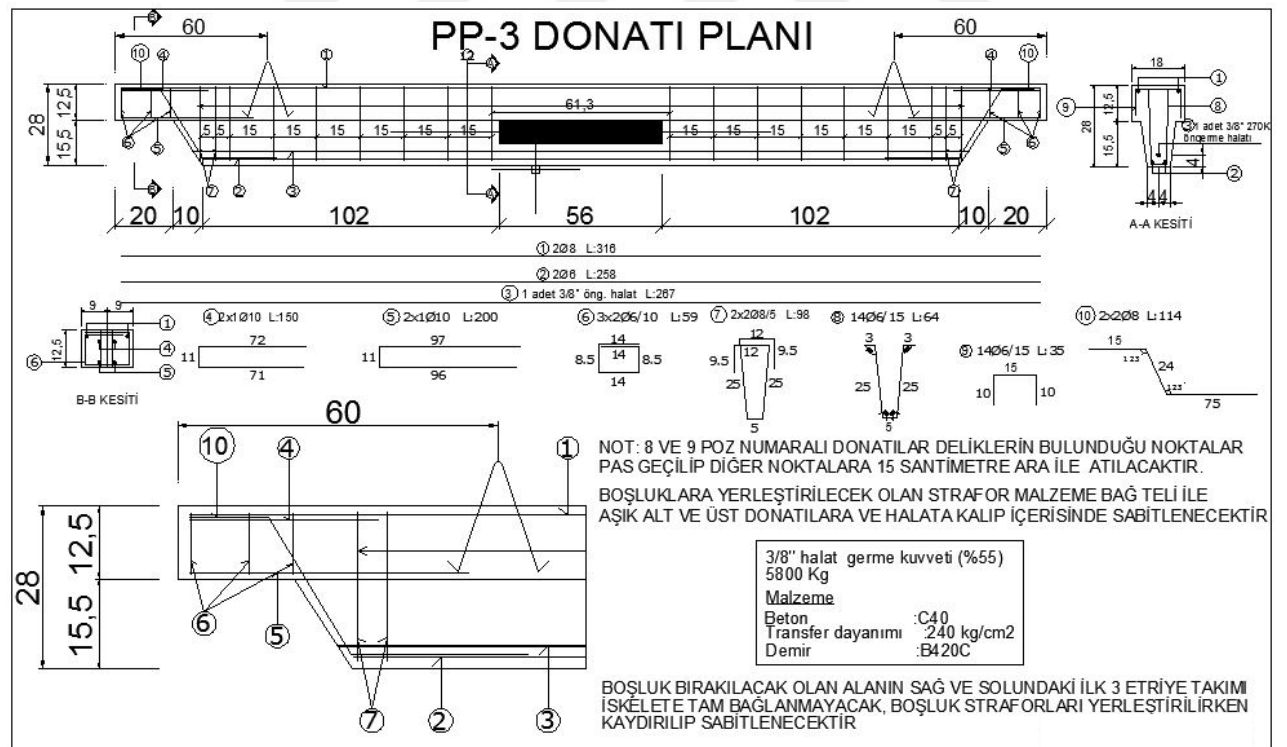
Şekil 21. PP-2 Öngerilmeli aşık kalıp planı



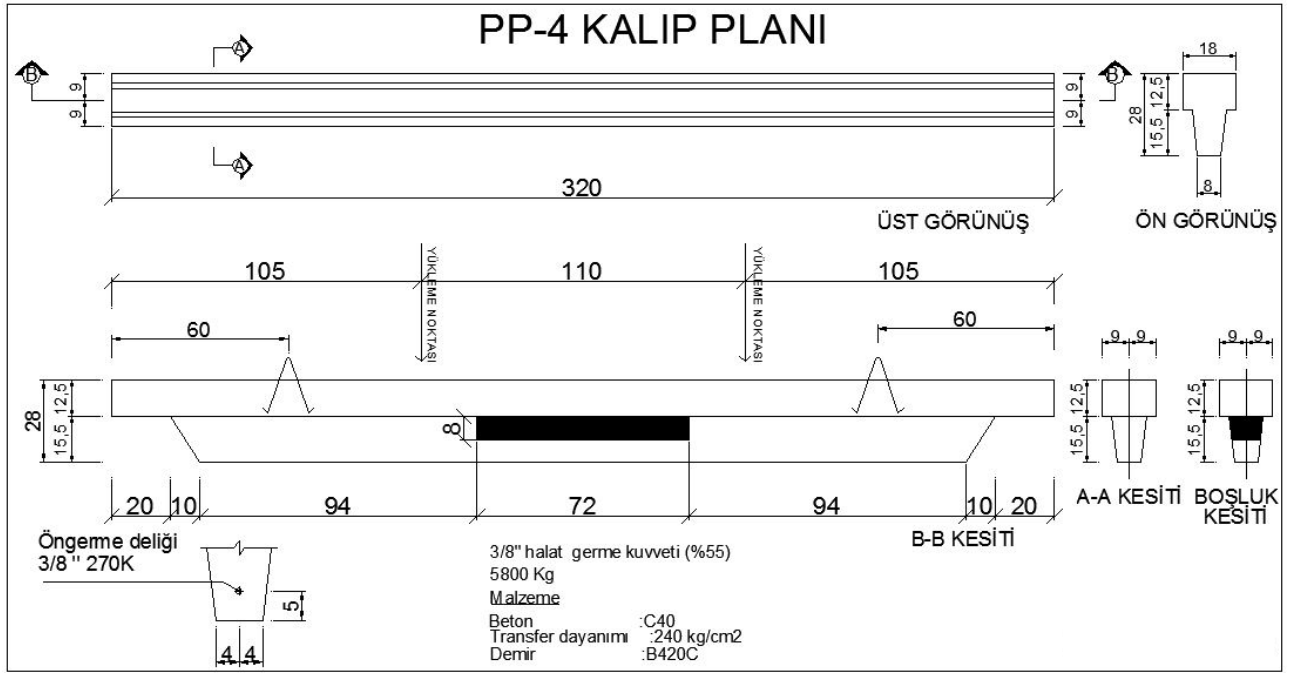
Şekil 22. PP-2 Öngerilmeli aşık donatı planı



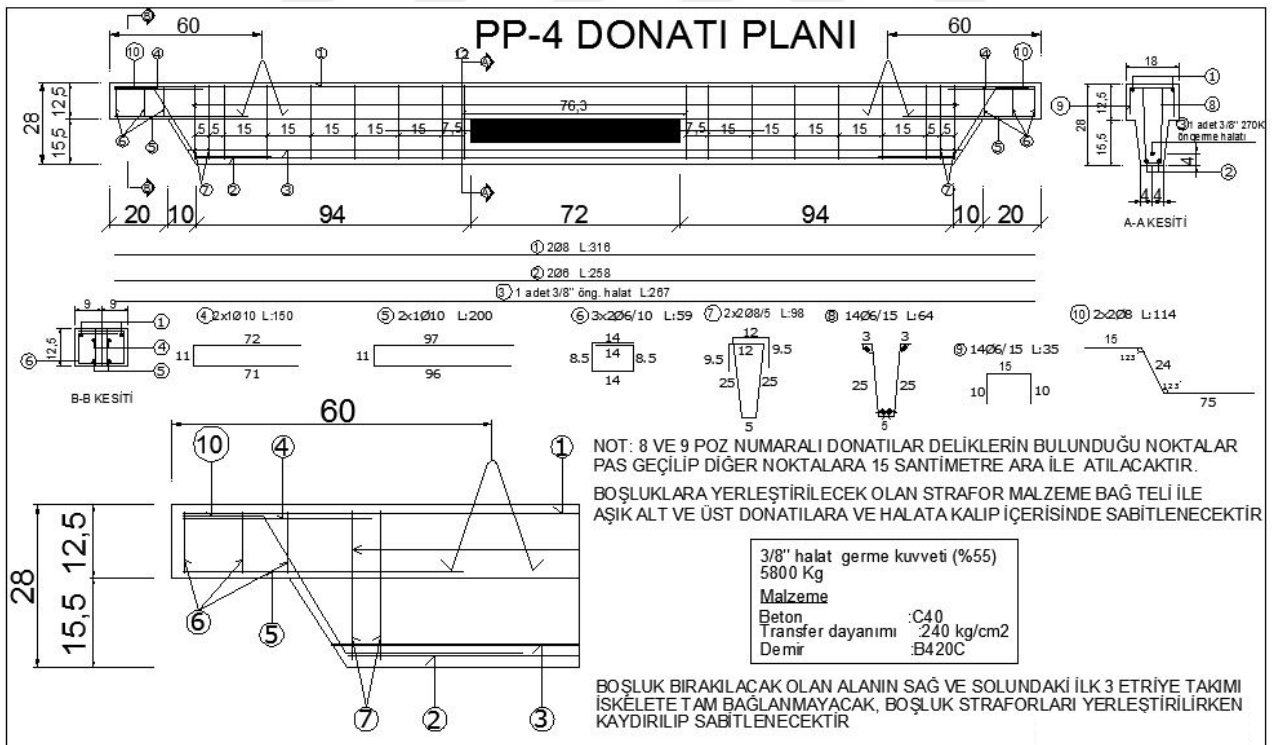
Şekil 23. PP-3 Öngerilmeli aşık kalıp planı



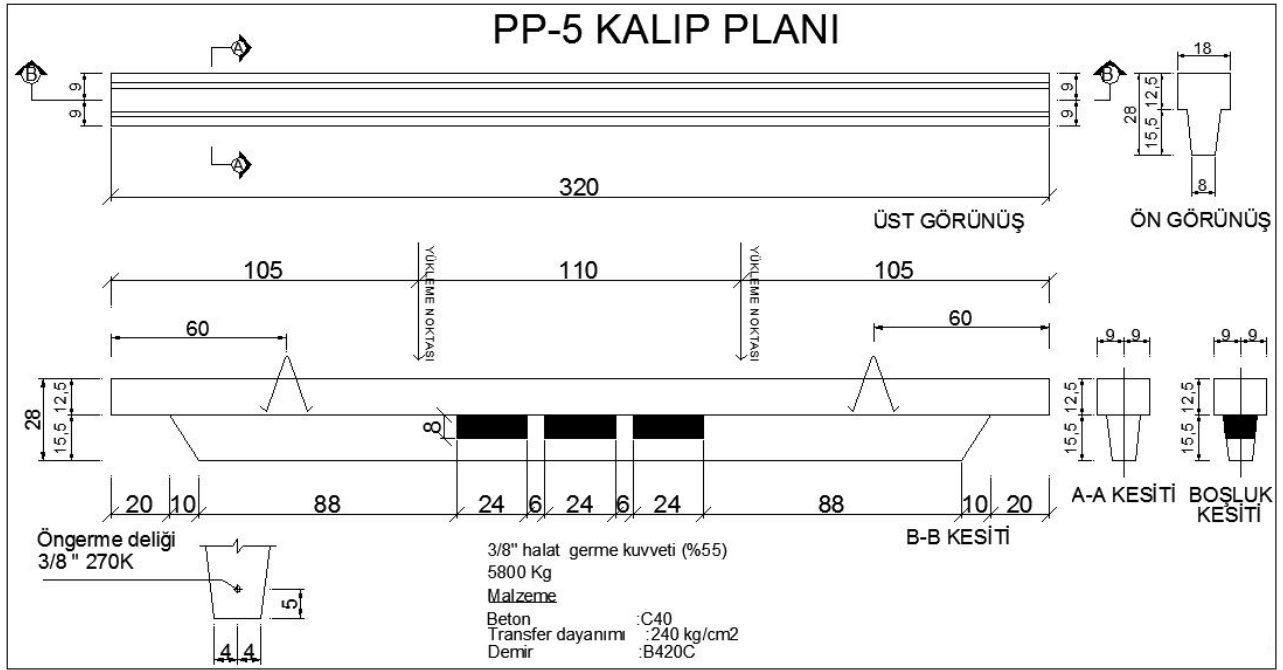
Şekil 24. PP-3 Öngerilmeli aşık donatı planı



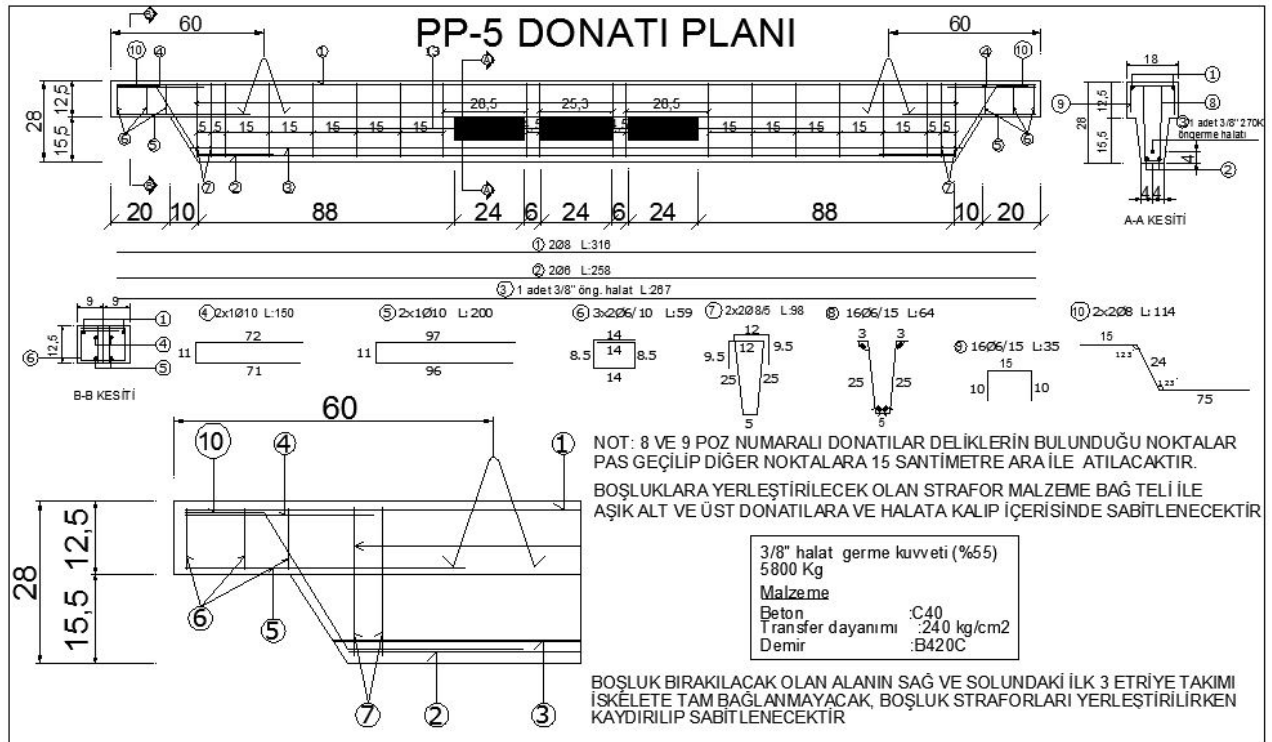
Şekil 25. PP-4 Öngerilmeli aşık kalıp planı



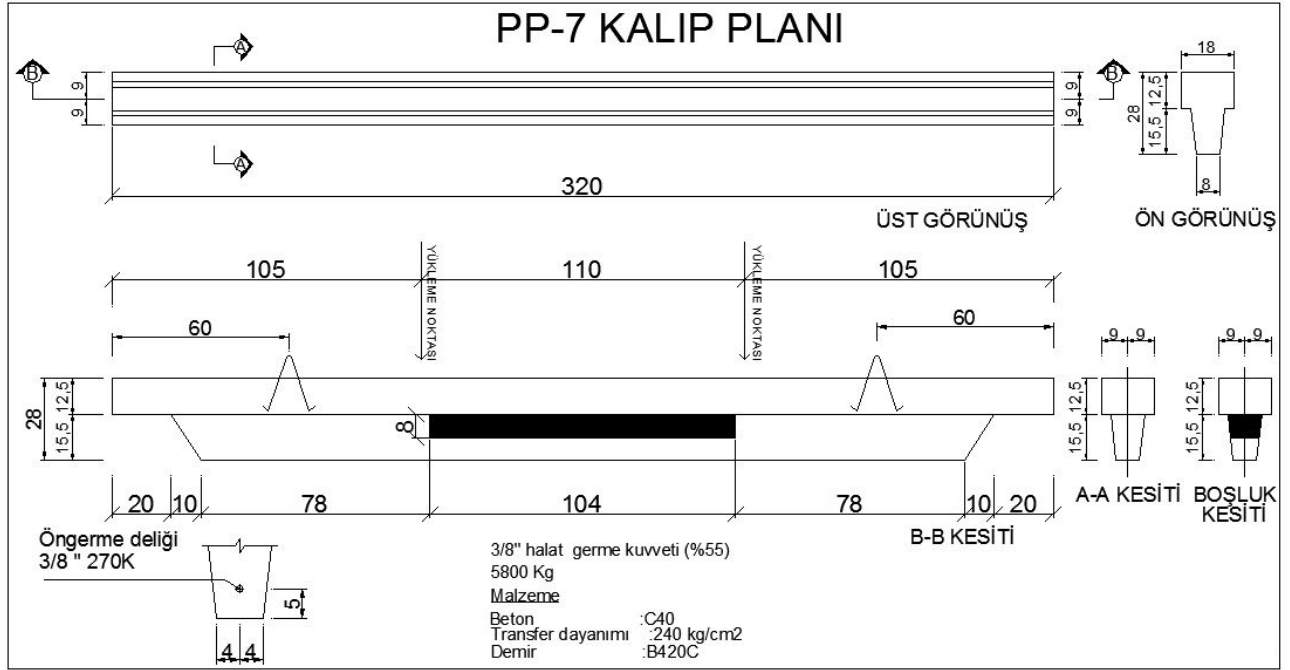
Şekil 26. PP-4 Öngerilmeli aşık donatı planı



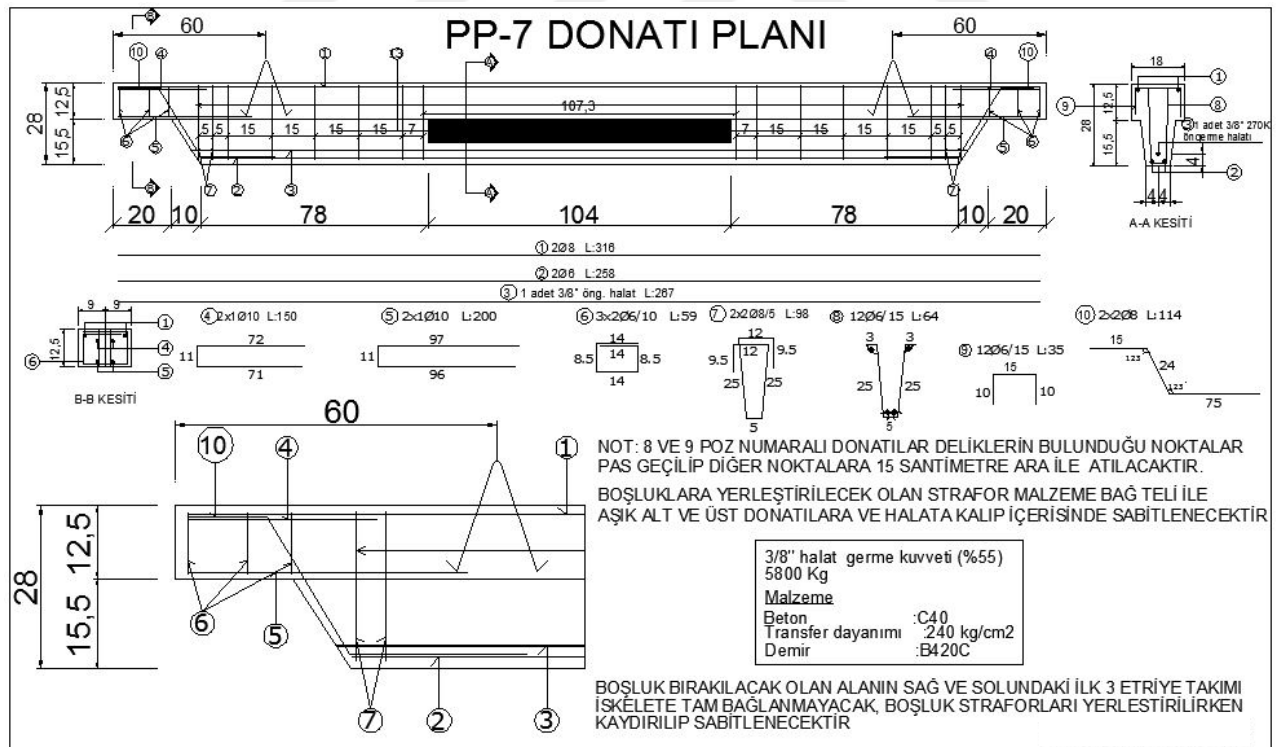
Şekil 27. PP-5 Öngerilmeli aşıklar kalıp planı



Şekil 28. PP-5 Öngerilmeli aşıklar donatı planı



Şekil 31. PP-7 Öngerilmeli aşık kalıp planı



Şekil 32. PP-7 Öngerilmeli aşık donatı planı