

PAPER DETAILS

TITLE: Etriye Kanca Açısı ve %20 Demir Talasi Katkisinin Betonarme Konsol Kırışın Davranışına Etkisi

AUTHORS: Muhammet Zeki ÖZYURT,Ömer Fatih SANCAK

PAGES: 307-321

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1459590>



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Etriye Kanca Açısı ve %20 Demir Talaşı Katkısının Betonarme Konsol Kirişin Davranışına Etkisi

Muhammet Zeki ÖZYURT^{a,*}, Ömer Fatih SANCAK^b

^a Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, TÜRKİYE

^b Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ozyurt@sakarya.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.844117

ÖZET

Bu çalışmada; betonarme konsol kirişlerde %20 demir talaşı katkısının ve etriye kanca açısının konsol kirişinin yapısal davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Artık kullanılmayacak ve doğaya atılacak olan endüstriyel demir talaşı atığının geri dönüşümünün konsol kirişlerin üretiminde kullanılmak suretiyle sağlanıp sağlanamayacağı araştırılmıştır. Konsol kirişler; çekme donatılarının çapları değiştirilmek suretiyle denge altı donatılı ve denge üstü donatılı olmak üzere iki farklı şekilde üretilmiştir. Konsol kirişlerin üretiminde kullanılan betonun içerisindeki 0-4 mm aralığındaki agregaların miktarı belirlenmiş ve bu miktar %20 oranında azaltılarak yerine endüstriyel atık malzemesi olan demir talaşı yerleştirilerek %20 demir talaşı katkılı konsol kirişler oluşturulmuştur. Katkısız ve katkılı olarak oluşturulan denge altı ve denge üstü donatılı konsol kirişlerin her birinde; etriye kanca açıları 90 veya 135 derece olacak şekilde üretim yapılarak iki farklı etriye tipine sahip konsol kiriş oluşturulmuştur. Bu şekilde 8 farklı tipte üretilen konsol kirişlerin her birinden ikişer adet olmak üzere toplam 16 adet deney numunesi üretilmiştir. Numunelerin tamamında etriye aralığı 100 mm seçilmiştir. Deneysel çalışmada konsol kirişlerin Yük-Deplasman eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Buna göre; katkısız betonlu konsol kirişlerde denge altı donatılı durumda etriye kanca açısı 135 derece olan konsol kirişlerin, 90 derece olan konsol kirişlere göre süneklik değerleri %3,20 oranında artarken, bu oran denge üstü donatılı kirişlerde %7,26 olarak ortaya çıkmıştır. %20 demir talaşı katkılı konsol kirişlerde ise denge altı donatılı durumda etriye kanca açısı 135 derece olan konsol kirişlerin, 90 derece olan konsol kirişlere göre süneklik değerleri %6,93 oranında artarken, denge üstü donatılı kirişlerde %5,96 oranında artmaktadır. Katkılı betonlu numunelerin sünekliği, denge altı donatılı durumda katkısız betonlu numunelere göre 90 derece etriye kanca açılı numunelerde %2,30, 135 derece etriye kanca açılı numunelerde ise %6,00 artarken, denge üstü donatılı durumda bu oranlar sırasıyla %1,53 ve %0,30 olarak hesaplanmıştır. Etriye 90 derece kanca açısına sahip olan katkısız numunelerin denge altı donatılı olarak oluşturulanlarının süneklik katsayıları, denge üstü donatılı olarak oluşturulanlara göre %9,88 oranında artarken, etriye 135 derece kanca açısına sahip olanlar %5,71 oranında artmıştır. %20 demir talaşı katkılı numunelerde bu oranlar sırasıyla %10,70 ve %11,72 olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, Konsol Kiriş, Demir Talaşı Katkısı, Etriye Kanca Açısı, Süneklik, Yapısal Davranış

The Effect Stirrup Hook Angle and %20 Iron Chip Additive on the Behavior of Reinforced Concrete Cantilever Beams

ABSTRACT

In this study; In reinforced concrete cantilever beams, the effect of 20% iron chip additive and stirrup hook angle on the structural behavior of the cantilever beam was investigated. It has been investigated whether industrial iron

chip waste, which will no longer be used and will be thrown into the nature, can be recycled by using it in the production of cantilever beams. Cantilever beams; By changing the diameters of the tensile bars, it is produced in two different ways as under-balance reinforcement and above-balance reinforcement. The amount of aggregates in the range of 0-4 mm in the concrete used in the production of cantilever beams was determined and this amount was reduced by 20% and cantilever beams with 20% iron chip were formed by replacing it with industrial waste material, iron chip. In each of the cantilever beams with under-balance and above-balance reinforcement, which are formed without and with additives; The stirrup hook angles were produced at 90 or 135 degrees, and a cantilever beam with two different stirrup types was formed. In this way, a total of 16 test samples were produced, two of each of the cantilever beams produced in 8 different types. Stirrup spacing of 100 mm was selected for all samples. In the experimental study, the load-displacement curves of the cantilever beams were obtained. Obtained results were compared and interpreted. According to this; In cantilever beams that do not contain additives, the ductility value of cantilever beams that are under-balance reinforced and whose stirrup hook angle is 135 degrees has increased by 3,20% compared to cantilever beams with 90 degrees, while this ratio is 7,26% for beams with above-balance reinforcement. In cantilever beams with 20% iron chip, the ductility value of cantilever beams with an angle of 135 degrees in the under-balance reinforcement increases by 6,93% compared to cantilever beams with 90 degrees, while it increases by 5,96% for beams with above balance reinforcement. In the under-balance reinforced condition, the ductility of the samples with 20% iron chip increased by 2,30% in samples with a 90 degrees stirrup hook angle compared to the samples without additive, while it increased by 6,00% in samples with a 135 degrees stirrup hook angle. In the above-balance reinforced condition, these ratios are calculated as 1,53% and 0,30%, respectively. The ductility coefficients of the samples created with under-balance reinforcement of the samples without additives with a 90 degrees hook angle increased by 9,88%, while the stirrups with a hook angle of 135 degrees increased by 5,71% compared to the samples created with above-balance reinforcement. For the samples with 20% iron chip, these rates were 10,70% and 11,72%, respectively.

Keywords: Reinforced Concrete, Cantilever Beam, Iron Chip Additive, Stirrup Hook Angle, Ductility, Structural Behavior

I. GİRİŞ

Bir ucu gömülü (ankastre), diğer ucu mesnetsiz (askıda) olan betonarme kirişlere konsol kiriş adı verilir. Ülkemizde konsol kirişler çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bunlardan bazılarını balkonlar, bina cephe çıkmaları, betonarme merdivenler, çatılar ve saçaklar gibi yapı kısımları olarak sıralayabiliriz [1]. Ayrıca ülkemizde çok sayıda bina, kat alanının büyütülmesi amacıyla, genellikle zemin kattan sonra konsol çıkmalar üzerine oturtulmaktadır [2]. Bu nedenle ülkemizde sıkça kullanılan konsol kirişlerin tasarımı ve uygulama esasları önem arz etmektedir. Özellikle belirli bir yük altındaki konsol kirişin davranışının nasıl olacağı bilinmeli ve bu doğrultuda önlemler alınmalıdır.

Konsol kirişler genellikle çok katlı yapılarda yapı içerisinde normal kirişlerin uzantıları olarak görülürler. Ama davranışları, üzerlerine aldıkları yükler ve taşıdıkları momentler farklı oldukları için tasarım aşamasında ve donatı yerleşiminde normal kirişlerden ayrılırlar. Konsol kirişlerde çekme gerilmesinin önlenmesi için esas çelikler ve varsa pilyeler üste, montaj çelikleri ise alta konur. Esas çelik ve pilyelerin uçlarında gönye kanca yapılır [1].

Demir talaşı, endüstriyel fabrikalarda veya torna atölyelerinde işlenen demir veya çeliklerin işlenme süreçleri içerisinde çeşitli aşınmalar, kopmalar ya da kesilme sırasında oluşan sıyrılmalar sonucu ortaya çıkan endüstriyel atıklardır. Dünya nüfustaki artış, yapılaşma ve endüstrinin büyümesi neticesinde, doğal kaynakları tehdit eden kirlenmeler, insanlığın önemli sorunlarından biri olmuştur. Dünya ekolojik dengesinin korunması, öncelikle bu sorunların bilinmesi ve tanınmasından geçmektedir. Bu amaçla, ekolojik denge üzerinde önemli bir sorun oluşturan endüstriyel atıkların geri dönüşümü üzerinde, birçok sektörde olduğu gibi yapı sektöründe de bilimsel araştırmalar yapılmaya devam etmektedir. Temel amaç katı atık bertaraf sorununu mümkün olduğunca malzemelerin geri kazanımı ile hammadde kullanımının azaltılması üzerine odaklandırmaktır [3]. Geri dönüşüm terim olarak kullanım dışı kalan geri dönüştürülebilir atık malzemelerin geri dönüşüm yöntemleriyle hammadde olarak tekrar imalat süreçlerine kazandırılmasıdır [4].

Bu çalışmada endüstriyel bir atık olan demir talaşının betonarme konsol kirişlere etkisi konu olarak alınmıştır. Artık kullanılmayacak ve doğaya atılacak olan endüstriyel demir talaşı atığının geri dönüşümünün sağlanıp sağlanamayacağı araştırılmıştır. Bu amaçla demir talaşı malzemesi konsol kirişlere %20 oranında katılarak, konsol kirişin davranışının nasıl değişeceği araştırılmıştır. Ayrıca yapı elemanı olan konsol kirişlerin etriye kanca açıları değiştirilerek, bu değişimin konsol kirişlerin davranışına etkileri araştırılmıştır.

II. TEORİK KAVRAMLAR

A. ELASTİK VE ELASTO-PLASTİK DAVRANIŞ

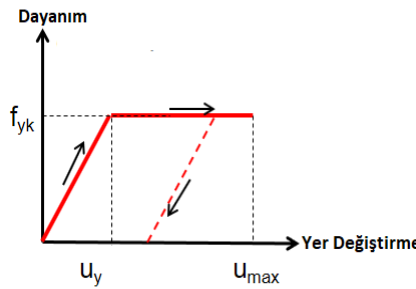
Bir yapı, yapı elemanı veya herhangi bir cisim üzerine yeterli yük uygulandığında şekil değiştirmeye başlar. Üzerine uygulanan yük ile yaptığı yer değiştirme kullanılarak Dayanım-Yer Değiştirme grafiği oluşturulur. Eğer yapı, yapı elemanı veya herhangi bir cisme uygulanan kuvvet kaldırıldıktan sonra yapı, yapı elemanı veya herhangi bir cisim başlangıç pozisyonuna geri dönüyor ve kalıcı bir şekil değiştirme yapmıyorsa elastik davranış gösteriyor demektir [5].

Elasto-Plastik davranışta bir yapı, yapı elemanı veya herhangi bir cisim üzerine aldığı yüklerle beraber elastik sınıra kadar geri dönebilen elastik yer değiştirmesini yapar ve bu sınır aşıldıktan sonra dayanımı sabit sayılabilecek bir düzeyde dururken yer değiştirmesini giderek artırır ve geri dönemeyecek olan plastik yer değiştirmesini yapar [6].

B. SÜNEKLİK

Süneklik, deprem veya herhangi bir yük altındaki yapı veya yapı elemanının dayanımında ciddi azalmalar olmadan elastik ötesi davranarak yer değiştirme yapabilme yeteneğidir [7]. Süneklik sayesinde sisteme gelecek olan enerji yutulabilir. Süneklik, elasto-plastik davranışta karşımıza çıkar. Süneklik katsayısı maksimum ötelenmenin akma anındaki ötelenmeye oranıdır [8].

Şekil 1’de sünek davranışa ait Dayanım-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 1. Sünek davranışa ait dayanım-yer değiştirme grafiği

Şekil 1’de (u_{max}) maksimum ötelenmeyi, (u_y) akma anındaki ötelenmeyi ve (f_{yk}) karakteristik akma dayanımını göstermektedir.

Süneklik katsayısının formülü Eşitlik 1’de verilmiştir.

$$\mu = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (1)$$

Bu eşitlikte; (μ) süneklik katsayısını, (u_{max}) maksimum ötelenmeyi ve (u_y) akma anındaki ötelenmeyi göstermektedir.

C. BASİT EĞİLME ETKİSİNDEKİ KİRİŞLERİN DAVRANIŞI

Dengeli donatı oranı, eğilme altındaki betonarme bir kirişin taşıma gücüne, çekme donatısının akması ve en dış basınç lifindeki betonun aynı anda ezilmesi ile ulaşılmasını sağlayan donatı oranıdır [9].

Dengeli donatı oranı teorik olarak aşağıdaki Eşitlik 2’de verildiği gibidir:

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b_w d} = \frac{0,85 f_{cd}}{f_{yd}} k_1 \left(\frac{\varepsilon_{cu} E_s}{\varepsilon_{cu} E_s + f_{yd}} \right) \quad (2)$$

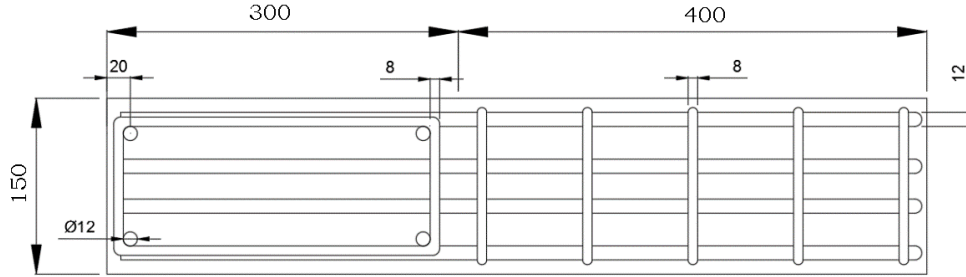
Teorik olarak, eğilmede kırılmayı belirleyen tek parametre çekme donatısı oranı olup, çekme donatısı oranının, dengeli donatı oranından daha düşük olan kirişlerde ($\rho < \rho_b$) kırılma sünek kırılma şeklinde gerçekleşmektedir.

Çekme donatısı oranının, dengeli donatı oranından daha yüksek olan kirişlerde ($\rho > \rho_b$) ise, kırılma gevrek kırılma şeklinde gerçekleşmektedir

III. DENEY NUMUNELERİNİN OLUŞTURULMASI

Çalışma kapsamında 16 adet numune üretilmiştir. Oluşturulan numunelerin boyutları, genişliği 150 mm yüksekliği 200 mm ve boyu 700 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Numunelerin 700 mm olan boyunun 300 mm’lik kısmı donatı yerleşimi olarak kolon şeklinde 400 mm’lik kısmı ise konsol kiriş şeklinde tasarlanmıştır. Paspayı 20 mm olarak belirlenmiştir.

Şekil 2’de taslak olarak oluşturulacak olan numunelerin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2. Konsol kiriş numunelerinin donatı planı

Oluşturulacak olan konsol kirişlerin 8 tanesi (İsimlendirmede adı A ile başlayan numuneler) denge altı donatılı, 8 tanesi ise (İsimlendirmede adı B ile başlayan numuneler) denge üstü donatılı olacak şekilde tasarlanmıştır. Denge altı donatılı konsol kirişlerde 12 mm çaplı boyuna donatı kullanılırken, denge üstü donatılı konsol kirişlerde 16 mm çaplı boyuna donatı kullanılmıştır. Oluşturulan tüm numunelerde etriye donatılarının çapları 8 mm ve etriye adım mesafesi 100 mm olarak seçilmiştir. Tüm numunelerde donatı olarak S420 çeliği kullanılmıştır. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan betonun basınç dayanımı 25 MPa olarak belirlenmiştir.

Tablo 1’de deney numunelerinin malzeme ve kesit özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Deney numunelerinin malzeme ve kesit özellikleri

	Denge Altı Donatılı	Denge Üstü Donatılı
Beton	C25	C25
Donatı	S420	S420
Kesit	150 mm x 200 mm	150 mm x 200 mm
Boyuna Donatı Çapı	12 mm	16 mm
Enine Donatı Çapı	8 mm	8 mm
Basınç Donatısı	2Ø12	2Ø12
Çekme Donatısı	4Ø12	4Ø16
Konsol Kiriş Açıklığı	400 mm	400 mm
Etriye Kanca Açısı	90° veya 135°	90° veya 135°

Araştırmada, katkı maddesi olarak Sakarya 1. Organize Sanayi Bölgesinden temin edilen endüstriyel demir talaşı malzemesi kullanılmıştır. Demir talaşı malzemesi elek analizine tabii tutulmuştur.

Tablo 2’de demir talaşı elek analizi sonuçları verilmiştir.

Tablo 2. Demir talaşı elek analizi sonuçları

Elek Aralığı (mm)	Geçen (%)
4	100
2	16,44
1	4,10
0,5	0

Çalışma kapsamında her biri 150x200x700 mm boyutlarındaki numuneler için yaklaşık 21000 cm³ beton kullanılmıştır. Bu betonu oluştururken kullanılan malzemeler 8 kg çimento, 17,5 kg kum ve 21,25 kg mıcır olmuştur. Kullanılacak olan mıcır, 2 numaralı mıcır olarak seçilmiştir. Beton oluşturulurken beton makinesine belirtilen miktarlarda agrega ve çimento yerleştirilmiştir. Ardından 4 litre kapasiteli olarak hazırlanmış bir bidon su doldurulmuş ve 2 litresi beton makinesinin içerisine dökülmüştür. Kalan 2 litre su, yaklaşık 150 gr akışkanlaştırıcı ile karıştırılarak makinenin içine ilave edilmiştir. Beton makinesi yaklaşık olarak 2 dakika çalıştırılmış ve numuneler için gerekli olan beton elde edilmiştir.

Oluşturulan betonarme konsol kirişlerin içerisinde kullanılan betondan küçük silindir numuneler alınmış ve 28 gün boyunca kür havuzunda bekletilmiştir. Havuzdan çıkarılan numuneler kırılmış ve elde edilen sonuçlar Gerilme-Birim Şekil Değiştirme grafiği haline getirilmiştir. Oluşturulan grafikler üzerinden betonun elastisite modülü hesaplanmıştır.

Tablo 3’te elde edilen elastisite modülleri verilmiştir.

Tablo 3. Silindir Numunelerin Elastisite Modülleri

Silindir Numune Özelliği	Gerilme (MPa)	Birim Şekil Değiştirme	Elastisite Modülü (MPa)
Katkısız	25,7423432	0,00089122	28884,34625
	24,54351	0,00087021	28204,20728
	24,9876367	0,0008736	28603,15558
	26,9856423	0,00092599	29142,40597
	25,4315245	0,0008989	28291,95389
	25,54326345	0,00089408	28569,32599
%20 Demir talaşı katkılı	24,6324	0,00086369	28519,92093
	23,943634	0,00084976	28177,00541
	27,78438	0,00095328	29145,96826
	24,986421	0,00087574	28531,89315
	26,8432654	0,00090966	29509,03621
	28,97362175	0,00096897	29901,4381

Konsol kiriş numunelerinin dengeli durum donatı oranı Eşitlik 2 kullanılarak:

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 17}{365} 0,85 \left(\frac{0,003 \times 2 \times 10^5}{0,003 \times 2 \times 10^5 + 365} \right) = 0,0209 \quad (3)$$

olarak hesaplanmıştır. Denge altı donatılı numunelerde (İsimlendirmede adı A ile başlayanlar) çekme donatısı 4φ12 olup, donatı oranı 0,01676 olarak, denge üstü donatılı numunelerde (İsimlendirmede adı B ile başlayanlar) ise çekme donatısı 4φ16 olup, donatı oranı 0,02979 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3'te bazı numunelerin beton dökümünden önceki halleri ve sonraki halleri verilmiştir.



Şekil 3. Bazı numunelerin beton dökümünden önceki ve sonraki durumları

Tablo 4'te denge altı ve denge üstü donatılı olarak üretilen numunelerin isimlendirme detayları verilmiştir.

Tablo 4. Denge altı ve denge üstü donatılı numunelerin isimlendirme detayı

Etriye Adım Mesafesi	Kanca Açısı	Katkı Maddesi	Katkı Maddesi Yüzdesi	Numune Adı	
				Denge Altı Donatılı	Denge Üstü Donatılı
10	90	Yok	%0	A ₁ -10-a-1-w	B ₁ -10-a-1-w
				A ₂ -10-a-1-w	B ₂ -10-a-1-w
		Demir Talaşı	%20	A ₁ -10-a-3-y	B ₁ -10-a-3-y
				A ₂ -10-a-3-y	B ₂ -10-a-3-y
	135	Yok	%0	A ₁ -10-b-1-w	B ₁ -10-b-1-w
				A ₂ -10-b-1-w	B ₂ -10-b-1-w
		Demir Talaşı	%20	A ₁ -10-b-3-y	B ₁ -10-b-3-y
				A ₂ -10-b-3-y	B ₂ -10-b-3-y

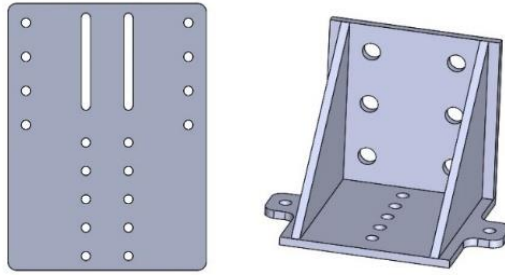
IV. DENEYSEL ÇALIŞMA

Konsol kiriş numunelerinin deneysel olarak kırılması Sakarya Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çelik çerçeve altında konsol kirişlerin kırılabilmesi için detaylı bir düzenek hazırlanmıştır. Deney düzeneği konsol kirişin ucundan yük uygulayarak konsol kirişi eğilme etkisi altına almak üzerine kurulmuştur. Konsol kirişlerin Yük-Yer Değiştirme grafiklerini elde edebilmek için konsol kirişlere yük verilmesi load cell aracılığıyla olmuştur. Load cell ile konsol kiriş arasına yük hücresi yerleştirilmiştir. Konsol kirişin ucundan uygulanan yüke karşılık yaptığı yer değiştirme yine konsol kirişin ucuna ve alt tarafına yerleştirilen potansiyometre ile ölçülmüştür. Load cell ile potansiyometredeki değerler Sakarya Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında bulunan Test Lab Basic programı kullanılarak kaydedilmiştir.

Deney düzeneği birkaç parçanın bir araya gelmesiyle oluşturulmuştur. Konsol kiriş numunelerinin kolon kısmını tutacak, L şeklinde iki adet çelik parça imal edilmiştir. Numuneleri L şeklinde üretilen parçaların arasına koyarak ve dönmesini engelleyerek konsol kiriş için ankastre mesnet oluşturmak hedeflenmiştir. Şekil 4'te deney düzeneğinin ve kullanılacak bilgisayarın görüntüsü, Şekil 5'te ise deney düzeneğinde kullanılacak olan düz ve L şeklindeki çelik levhaların sanal görüntüsü verilmiştir.

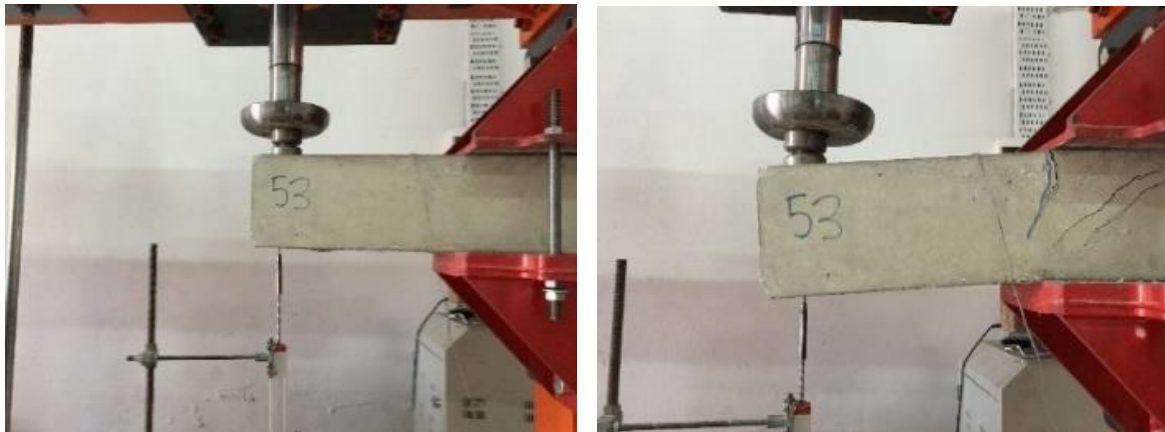


Şekil 4. Deney düzeneğinin görüntüsü



Şekil 5. Ankastre mesnet sisteminin üç boyutlu görüntüsü

Şekil 6'da deney düzeneğinde kırılan numunelerden bir tanesinin deney öncesi ve deney sonrası görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6. Örnek bir numunenin deney öncesi ve deney sonrası görüntüsü

V. DENEY SONUÇLARI

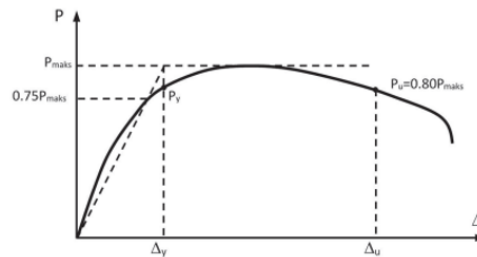
Deney numuneleri kırılmaları gerçekleştirilirken Test Lab Basic kullanılarak numunelerin Yük-Yer Değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Tez kapsamında tüm özellikleri aynı olarak üretilmiş iki numunenin sonuçları incelenmiş ve ortalaması alınarak grafikler oluşturulmuştur. Denge altı donatılı ve A₁, A₂ şeklinde başlayarak isimlendirilen betonarme konsol kirişlerin ortalaması alınarak isimleri A şeklinde başlatılmıştır. Denge üstü donatılı ve B₁, B₂ şeklinde başlayarak isimlendirilen betonarme konsol kirişlerin ise ortalaması alınarak isimleri B şeklinde başlatılmıştır.

Tablo 5'te deneye tabii tutulan konsol kirişlerin süneklik ve maksimum yük değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. DeneySEL Sonuçlar

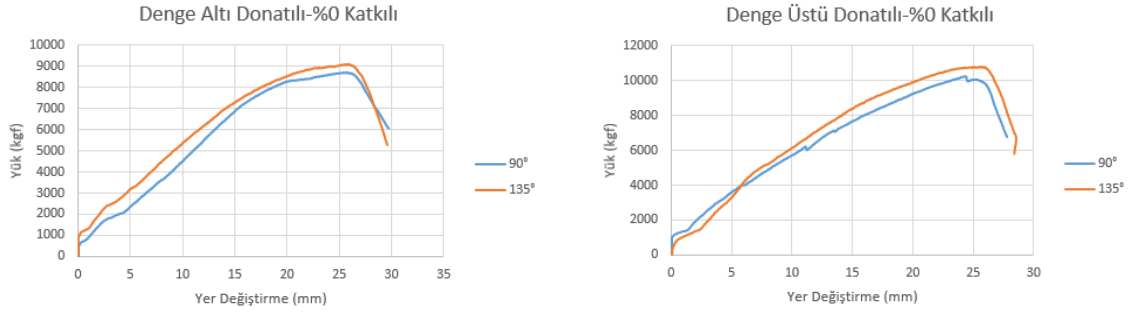
Numune İsmi	Süneklik Katsayısı	Maksimum Yük (kgf)
A ₁ -10-a-1-w	1,45795	8715,6161
A ₂ -10-a-1-w	1,45106	8614,8531
A ₁ -10-b-1-w	1,50369	9212,7564
A ₂ -10-b-1-w	1,49947	9106,8654
B ₁ -10-a-1-w	1,32754	10306,1397
B ₂ -10-a-1-w	1,32064	10186,7659
B ₁ -10-b-1-w	1,42187	10954,8921
B ₂ -10-b-1-w	1,41315	10568,7145
A ₁ -10-a-3-y	1,48992	8564,3579
A ₂ -10-a-3-y	1,48343	8126,9542
A ₁ -10-b-3-y	1,59843	9098,8424
A ₂ -10-b-3-y	1,58865	8986,3856
B ₁ -10-a-3-y	1,34981	9458,6539
B ₂ -10-a-3-y	1,34172	9268,9432
B ₁ -10-b-3-y	1,42861	9574,1274
B ₂ -10-b-3-y	1,42007	9475,8652

Deneyler sonucunda elde edilen verilere göre konsol kiriş numunelerinin süneklik katsayıları (Denklemler 1)'de verilen şekilde hesaplanmıştır. Süneklik katsayısı hesabında akma anındaki yer değiştirmeler ve maksimum yer değiştirmeler, Şekil 7'de verilen grafikten yararlanılarak bulunmuş ve süneklik katsayıları hesap edilmiştir. Süneklik katsayısı hesaplanırken kullanılacak olan maksimum yer değiştirme değerleri, konsol kirişlerin taşıyabildiği maksimum yük değerlerinin %20 oranına kadar azalması sonucunda oluşan yer değiştirme değerlerine kadar alınabilir [10]. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlardan hareketle maksimum yer değiştirme değerleri yaklaşık olarak konsol kirişlerin taşıyabildikleri maksimum yük değerlerinin %15 azalması sonucu oluşan yer değiştirme değerleri olarak kabul edilmiştir.



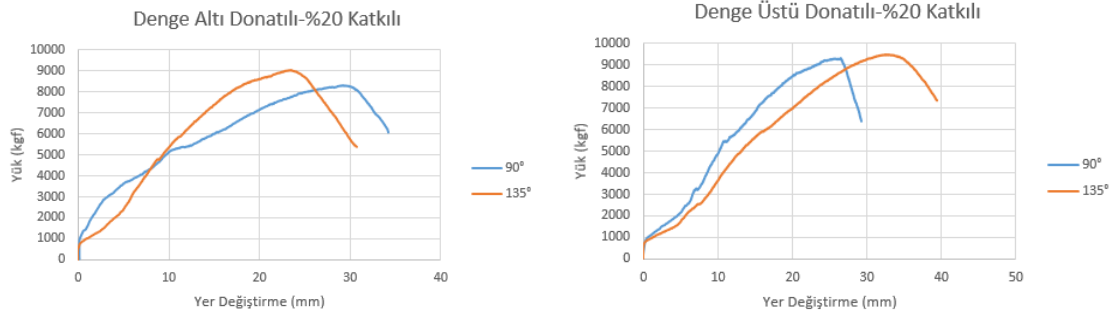
Şekil 7. Süneklik hesabı için referans alınan Yük-Deplasman eğrisi [10]

Aşağıda etriye kanca açıları ile birbirlerinden ayrılan numunelerin karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir.



Şekil 8. A-10-a-1-w ve A-10-b-1-w karşılaştırma grafiği ve B-10-a-1-w ve B-10-b-1-w karşılaştırma grafiği

Şekil 8’de denge altı donatılı, 100 mm etriye adım mesafeli ve katkısız numunelerin, etriye kanca açılarının 90 derece ve 135 derece olması durumlarındaki oluşturdukları grafikler verilmiştir. Aynı zamanda, denge üstü donatılı, 100 mm etriye adım mesafeli ve katkısız numunelerin, etriye kanca açılarının 90 derece ve 135 derece olması durumlarındaki oluşturdukları grafikler de verilmiştir.



Şekil 9. A-10-a-3-y ve A-10-b-3-y karşılaştırma grafiği ve B-10-a-3-y ve B-10-b-3-y karşılaştırma grafiği

Şekil 9’da denge altı donatılı, 100 mm etriye adım mesafeli ve %20 demir talaşı katkılı numunelerin, etriye kanca açılarının 90 derece ve 135 derece olması durumlarındaki oluşturdukları grafikler ile denge üstü donatılı, 100 mm etriye adım mesafeli ve %20 demir talaşı katkılı numunelerin, etriye kanca açılarının 90 derece ve 135 derece olması durumlarındaki oluşturdukları grafikler verilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan hareketle konsol kiriş numuneleri etriye kanca açlarına göre karşılaştırılmış ve karşılaştırılan numunelerin süneklik değerleri ve taşıdıkları maksimum yükler Tablo 6’da verilmiştir. Ayrıca Tablo 6’da kanca derecesi 135 derece olan numunelerin, kanca açısı 90 derece olan numunelere göre süneklik değerlerindeki ve taşıdıkları maksimum yüklerdeki yüzdesel artışlar verilmiştir.

Tablo 6. Etriye Kanca Açısı Karşılaştırma Tablosu

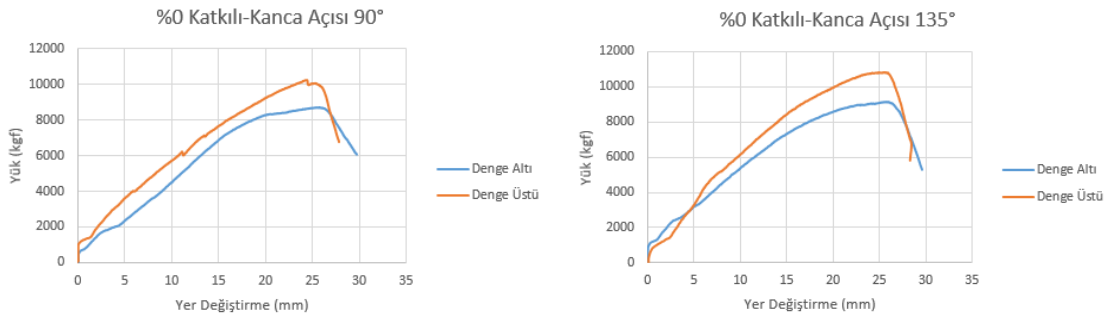
Numune İsmi	u_y (mm)	u_{max} (mm)	μ	Yüzdesel Artış (%)	P_{max} (kgf)	Yüzdesel Artış (%)
A-10-a-1-w	19,27	28,02012	1,45408	-	8695,7976	-
A-10-b-1-w	18,55	27,83594	1,50059	3,198586	9125,2878	4,939055
B-10-a-1-w	20,17	26,69257	1,32338	-	10270,64	-
B-10-b-1-w	19,21	27,2684	1,41949	7,262464	10796,526	5,120285
A-10-a-3-y	21,82	32,45703	1,48749	-	8312,97	-
A-10-b-3-y	18,09	28,77468	1,59064	6,9345	9043,436	8,787064
B-10-a-3-y	20,39	27,39743	1,34367	-	9315,7376	-
B-10-b-3-y	26,73	38,0571	1,42376	5,960541	9506,7159	2,050061

İçerisinde katkı maddesi bulundurmeyen konsol kirişlerin, denge altı donatılı durumda etriye kanca açısının 135 derece olması, etriye kanca açısının 90 derece olmasına oranla süneklik değerini %3,20 oranında arttırırken, bu oran denge üstü donatılı durumda olan konsol kirişlerde %7,26 olarak ortaya

çıkmiştir. Aynı şekilde 135 derece kanca açısına sahip olan katkısız ve denge altı donatılı numuneler, 90 derece kanca açısına sahip olan numunelere oranla taşıdıkları maksimum yüklerini %4,94 oranında arttırırken, bu oran denge üstü donatılı kirişlerde %5,12 olarak gözlenmiştir.

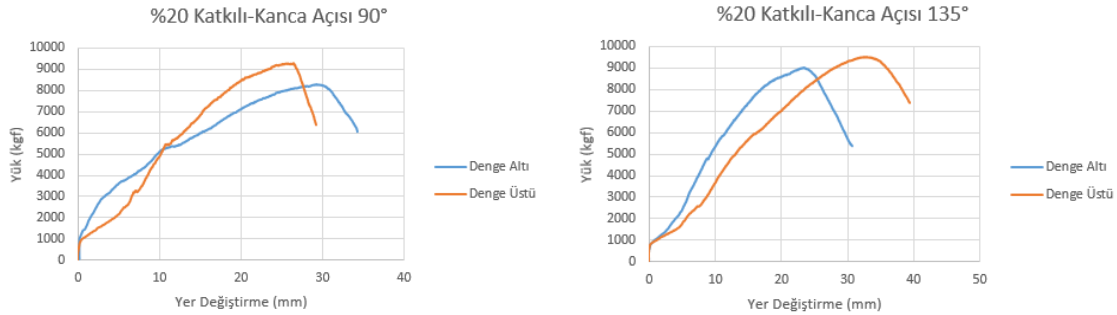
İçerisinde katkı maddesi olarak %20 oranında demir talaşı bulunduran konsol kirişlerin denge altı donatılı durumda etriye kanca açısının 135 derece olması, etriye kanca açısının 90 derece olmasına oranla süneklik değerlerini %6,93 oranında arttırırken, bu oran denge üstü donatılı durumda olan konsol kirişlerde %5,96 olarak ortaya çıkmıştır. Aynı şekilde 135 derece kanca açısına sahip olan katkısız ve denge altı donatılı numuneler, 90 derece kanca açısına sahip olan numunelere oranla taşıdıkları maksimum yüklerini %8,79 oranında arttırırken, bu oran denge üstü donatılı kirişlerde %2,05 olarak gözlenmiştir.

Aşağıda denge altı ve denge üstü olma durumlarına göre birbirlerinden ayrılan numunelerin karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir.



Şekil 10. A-10-a-1-w ve B-10-a-1-w ve A-10-b-1-w ve B-10-b-1-w karşılaştırma grafikleri

Şekil 10'da 100 mm etriye adım mesafeli, 90 derece etriye kanca açılı ve katkısız numunelerin, denge altı donatılı ve denge üstü donatılı olmaları durumlarındaki grafikleri ve ayrıca 100 mm etriye adım mesafeli, 135 derece etriye kanca açılı ve katkısız numunelerin, denge altı donatılı ve denge üstü donatılı olmaları durumlarındaki grafikleri verilmiştir.



Şekil 11. A-10-a-3-y ve B-10-a-3-y karşılaştırma grafiği ile A-10-b-3-y ve B-10-b-3-y karşılaştırma grafiği

Şekil 11'de 100 mm etriye adım mesafeli, 90 derece etriye kanca açılı ve %20 demir talaşı katkılı numunelerin, denge altı donatılı ve denge üstü donatılı olmaları durumlarındaki grafikleri ile 100 mm etriye adım mesafeli, 135 derece etriye kanca açılı ve %20 demir talaşı numunelerin, denge altı donatılı ve denge üstü donatılı olmaları durumlarındaki grafikleri verilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan hareketle konsol kiriş numuneleri denge altı donatılı ve denge üstü donatılı olma durumlarına göre karşılaştırılmış ve karşılaştırılan numunelerin süneklik değerleri ve taşıdıkları maksimum yükler Tablo 7'de verilmiştir. Ayrıca Tablo 7'de denge altı donatılı olan numunelerin, denge üstü donatılı olan numunelere göre süneklik değerlerindeki ve taşıdıkları maksimum yüklerdeki yüzdesel artışlar verilmiştir.

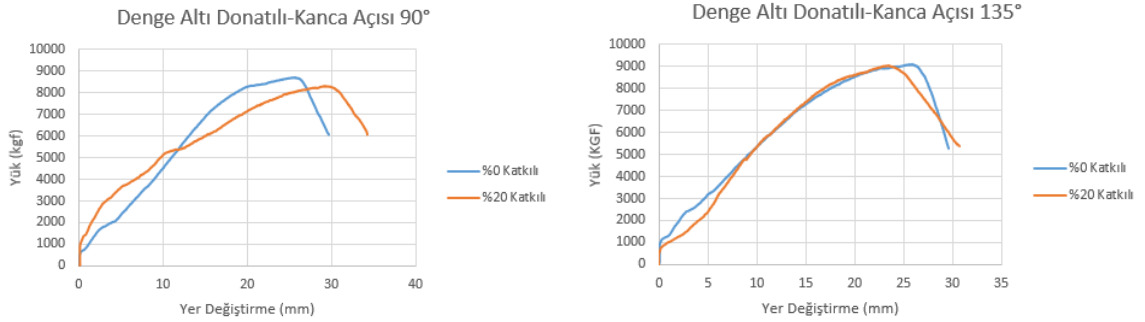
Tablo 7. Denge Altı Donatılı ve Denge Üstü Donatılı Karşılaştırma Tablosu

Numune İsmi	u_y (mm)	u_{max} (mm)	μ	Yüzdesel Artış (%)	P_{max} (kgf)	Yüzdesel Artış (%)
A-10-a-1-w	19,27	28,02012	1,45408	9,876226	8695,7976	-15,3334
B-10-a-1-w	20,17	26,69257	1,32338	-	10270,64	-
A-10-b-1-w	18,55	27,83594	1,50059	5,71332	9125,2878	-15,4794
B-10-b-1-w	19,21	27,2684	1,41949	-	10796,526	-
A-10-a-3-y	21,82	32,45703	1,48749	10,70352	8312,97	-10,7642
B-10-a-3-y	20,39	27,39743	1,34367	-	9315,7376	-
A-10-b-3-y	18,09	28,77468	1,59064	11,72108	9043,436	-4,87319
B-10-b-3-y	26,73	38,0571	1,42376	-	9506,7159	-

Etriyeleri 90 derece kanca açısına sahip olan katkısız numunelerin denge altı donatılı olarak oluşturulanlarının süneklik katsayıları, denge üstü donatılı olarak oluşturulanlara göre %9,88 oranında artarken, etriyeleri 135 derece kanca açısına sahip olanlar %5,71 oranında artmıştır. Bununla birlikte etriye kanca açıları 90 derece olan katkısız numunelerin denge altı donatılı olarak oluşturulanlarının taşıdıkları maksimum yükler, denge üstü donatılı olarak oluşturulan numunelere göre %15,33 oranında azalış gösterirken, etriye kanca açısı 135 derece olanlar %15,48 oranında azalış göstermiştir.

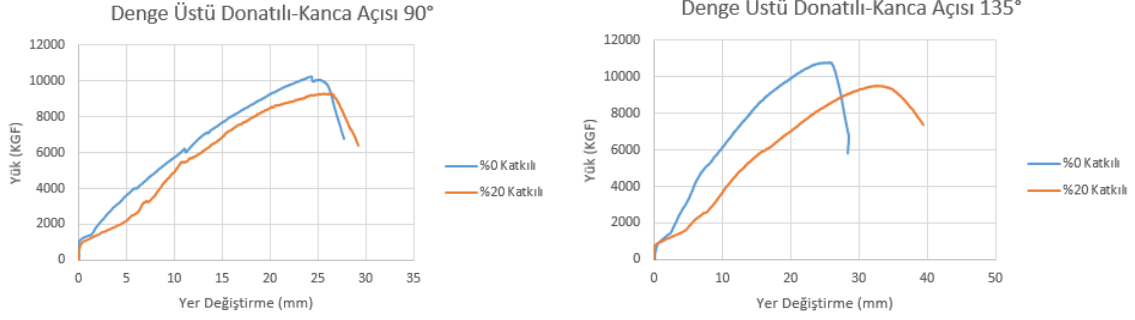
Etriyeleri 90 derece kanca açısına sahip olan %20 demir talaşı katkılı numunelerin denge altı donatılı olarak oluşturulanlarının süneklik katsayıları, denge üstü donatılı olarak oluşturulanlara göre %10,70 oranında artarken, etriyeleri 135 derece kanca açısına sahip olanlar %11,72 oranında artmıştır. Bununla birlikte etriye kanca açıları 90 derece olan %20 demir talaşı katkılı numunelerin denge altı donatılı olarak oluşturulanlarının taşıdıkları maksimum yükler, denge üstü donatılı olarak oluşturulan numunelere göre %10,76 oranında azalış gösterirken, etriye kanca açısı 135 derece olanlar %4,87 oranında azalış göstermiştir.

Aşağıda katkısız betona sahip numuneler ile %20 oranında demir talaşı katkılı betona sahip numunelerin karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir.



Şekil 12. A-10-a-1-w ve A-10-a-3-y karşılaştırma grafiği ve A-10-b-1-w ve A-10-b-3-y karşılaştırma grafiği

Şekil 12’de denge altı donatılı, 100 mm etriye adım mesafeli ve 90 derece etriye kanca açılı numunelerin, katkısız ve %20 demir talaşı katkılı olma durumlarındaki oluşturdukları grafikler ile denge altı donatılı, 100 mm etriye adım mesafeli ve 135 derece etriye kanca açılı numunelerin, katkısız ve %20 demir talaşı katkılı olma durumlarındaki oluşturdukları grafikler verilmiştir.



Şekil 13. B-10-a-1-w ve B-10-a-3-y karşılaştırma grafiği ve B-10-b-1-w ve B-10-b-3-y karşılaştırma grafiği

Şekil 13'te denge üstü donatılı, 100 mm etriye adım mesafeli ve 90 derece etriye kanca açılı numunelerin, katkısız ve %20 demir talaşı katkılı olma durumlarındaki oluşturdukları grafikler verilmiş olup, denge üstü donatılı, 100 mm etriye adım mesafeli ve 135 derece etriye kanca açılı numunelerin, katkısız ve %20 demir talaşı katkılı olma durumlarındaki oluşturdukları grafikler de aynı şekilde verilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan hareketle içerisinde %20 oranında demir talaşı katkı maddesi olan konsol kiriş numuneleri, içerisinde katkı maddesi içermeyen konsol kiriş numuneleri ile karşılaştırılmış ve karşılaştırılan numunelerin süneklik değerleri ve taşıdıkları maksimum yükler Tablo 8'de verilmiştir. Ayrıca Tablo 8'de %20 demir talaşı katkılı numunelerin, katkısız numunelere göre süneklik değerlerindeki ve taşıdıkları maksimum yüklerdeki yüzdesel artışlar verilmiştir.

Tablo 8. Demir Talaşı Katkı Maddesi Karşılaştırma Tablosu

Numune İsmi	u_y (mm)	u_{max} (mm)	μ	Yüzdesel Artış (%)	P_{max} (kgf)	Yüzdesel Artış (%)
A-10-a-1-w	19,27	28,02012	1,45408	-	8695,798	-
A-10-a-3-y	21,82	32,45703	1,48749	2,297673	8312,97	-4,40244
A-10-b-1-w	18,55	27,83594	1,50059	-	9125,288	-
A-10-b-3-y	18,09	28,77468	1,59064	6,000973	9043,436	-0,89698
B-10-a-1-w	20,17	26,69257	1,32338	-	10270,64	-
B-10-a-3-y	20,39	27,39743	1,34367	1,533195	9315,738	-9,2974
B-10-b-1-w	19,21	27,2684	1,41949	-	10796,53	-
B-10-b-3-y	26,73	38,0571	1,42376	0,300812	9506,716	-11,9465

Denge altı donatılı ve etriye kanca açısı 90 derece olan numunelerden %20 oranında demir talaşı katkı maddesine sahip olanların süneklik katsayıları, katkısız olanlara göre %2,29 oranında artarken, bu artış oranı etriye kanca açılarının 135 derece olması halinde %6,00 olarak gözlemlenmiştir. Bununla birlikte denge altı donatılı ve etriye kanca açısı 90 derece olan numunelerden %20 oranında demir talaşı katkı maddesine sahip olanların taşıdıkları maksimum yükler, katkısız olanlara göre %4,40 oranında azalırken, bu azalış oranı etriye kanca açılarının 135 derece olması halinde %0,90 olarak gözlemlenmiştir.

Denge üstü donatılı ve etriye kanca açısı 90 derece olan numunelerden %20 oranında demir talaşı katkı maddesine sahip olanların süneklik katsayıları, katkısız olanlara göre %1,53 oranında artarken, bu artış oranı etriye kanca açılarının 135 derece olması halinde %0,30 olarak gözlemlenmiştir. Bununla birlikte denge üstü donatılı ve etriye kanca açısı 90 derece olan numunelerden %20 oranında demir talaşı katkı maddesine sahip olanların taşıdıkları maksimum yükler, katkısız olanlara göre %9,30 oranında azalırken, bu azalış oranı etriye kanca açılarının 135 derece olması halinde %11,95 olarak gözlemlenmiştir.

VI. SONUÇLAR

Yapılan çalışma kapsamında; denge altı ve denge üstü donatılı olarak üretilmiş olan betonarme konsol kirişlerde etriye kanca açısının 90 derece ve 135 derece olarak değişiminin ve agrega yerine %20 oranında demir talaşı katkı maddesi kullanılmasının kirişin davranışına etkileri incelenmiştir. Buna göre:

Etriyeleri 90 derece kanca açısına sahip olan katkısız konsol kirişlerin, denge üstü donatılı olarak oluşturulmayıp, denge altı donatılı olarak oluşturulmaları halinde süneklik katsayılarının %9,88 oranında arttığı, taşıdıkları maksimum yüklerin ise %15,33 oranında azaldığı gözlenmiştir. Etriyeleri 135 derece kanca açısına sahip olan katkısız konsol kirişlerin, denge üstü donatılı olarak oluşturulmayıp, denge altı donatılı olarak oluşturulmaları halinde süneklik katsayılarının %5,71 oranında arttığı, taşıdıkları maksimum yüklerin ise %15,48 oranında azaldığı gözlenmiştir.

Etriyeleri 90 derece kanca açısına sahip olan %20 demir talaşı katkılı konsol kirişlerin, denge üstü donatılı olarak oluşturulmayıp, denge altı donatılı olarak oluşturulmaları halinde süneklik katsayılarının %10,70 oranında arttığı, taşıdıkları maksimum yüklerin ise %10,76 oranında azaldığı gözlenmiştir. Etriyeleri 135 derece kanca açısına sahip olan %20 demir talaşı konsol kirişlerin, denge üstü donatılı olarak oluşturulmayıp, denge altı donatılı olarak oluşturulmaları halinde süneklik katsayılarının %11,72 oranında arttığı, taşıdıkları maksimum yüklerin ise %4,87 oranında azaldığı gözlenmiştir.

Deneyssel verilere göre 135 derece etriye kanca açısına sahip konsol kirişler, 90 derece kanca açısına sahip konsol kirişlere göre daha sünek davranmışlardır. Betonarme konsol kirişlerin etriye kanca açılarının 90 derece değil 135 derece olması süneklik değerlerinin yanında taşıdıkları maksimum yük değerlerini de arttırmış ve her yönüyle olumlu sonuçlar vermiştir. Denge altı donatılı olan katkısız konsol kirişlerin, etriye kanca açılarının 90 derece olarak oluşturulmayıp, 135 derece olarak oluşturulmaları halinde süneklik katsayılarının %3,20 oranında arttığı, taşıdıkların maksimum yüklerin ise %4,94 oranında arttığı gözlenmiştir.

Denge üstü donatılı olan katkısız konsol kirişlerde, etriye kanca açısının 90 derece yerine, 135 derece olması halinde sünekliğin %7,26 oranında arttığı, taşıdıkların maksimum yüklerin ise %5,12 oranında arttığı gözlenmiştir. Denge altı donatılı olan %20 demir talaşı katkılı konsol kirişlerin, etriye kanca açılarının 90 derece olarak oluşturulmayıp, 135 derece olarak oluşturulmaları halinde sünekliğin %6,93 oranında arttığı, taşıdıkların maksimum yüklerin ise %8,79 oranında arttığı gözlenmiştir.

Denge üstü donatılı olan %20 demir talaşı katkılı konsol kirişlerin, etriye kanca açılarının 90 derece olarak oluşturulmayıp, 135 derece olarak oluşturulmaları halinde süneklik katsayılarının %5,96 oranında arttığı, taşıdıkların maksimum yüklerin ise %2,05 oranında arttığı gözlenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan deneyssel çalışmalara göre içerisinde %20 oranında demir talaşı katkı maddesi içeren betonarme konsol kirişler, demir talaşı katkı maddesi içermeyen referans konsol kirişlere göre dayanımında küçük azalmalar yaşamış olsa da süneklik değerlerini arttırmışlardır.

Etriyeleri 90 derece kanca açısına sahip olan denge altı donatılı konsol kirişlerin, katkısız olarak üretilmeyip, %20 demir talaşı katkılı olarak üretilmeleri halinde süneklik katsayılarının %2,29 oranında arttığı, taşıdıkların maksimum yüklerin ise %4,40 oranında azaldığı gözlenmiştir. Etriyeleri 135 derece kanca açısına sahip olan denge altı donatılı konsol kirişlerin, katkısız olarak üretilmeyip, %20 demir talaşı katkılı olarak üretilmeleri halinde süneklik katsayılarının %6,00 oranında arttığı, taşıdıkların maksimum yüklerin ise %0,90 oranında azaldığı gözlenmiştir.

Etriyeleri 90 derece kanca açısına sahip olan denge üstü donatılı konsol kirişlerin, katkısız olarak üretilmeyip, %20 demir talaşı katkılı olarak üretilmeleri halinde süneklik katsayılarının %1,53 oranında arttığı, taşıdıkların maksimum yüklerin ise %9,30 oranında azaldığı gözlenmiştir. Etriyeleri 135 derece kanca açısına sahip olan denge üstü donatılı konsol kirişlerin, katkısız olarak üretilmeyip, %20 demir talaşı katkılı olarak üretilmeleri halinde süneklik katsayılarının %0,30 oranında arttığı, taşıdıkların maksimum yüklerin ise %11,95 oranında azaldığı gözlenmiştir.

VII. KAYNAKLAR

- [1] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Komisyon, *İnşaat Teknolojisi, Sürekli-Konsol ve Ters Kiriş Donatıları*, 1. Baskı, Ankara, Türkiye: MEB Yayınları, 2013, ss. 1-63.
- [2] S. Aykaç, B. Aykaç, Y. Ekinci, “BA yapılarda konsol kirişlere aktarılan ilave yükler,” *İMO Teknik Dergi*, ss. 5449-5462 2011.
- [3] H. Binici, A. H. Sevinç, H. Geçkil, “Atık demir tozu katkılı harç ve betonların durabilite özellikleri,” *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 30, s. 1, ss. 1-16, 2015.
- [4] M. A. Çakıroğlu, S. Kasap, N. Keskin, “Betona atık teneke ambalajlarının ilave edilmesinin basınç dayanımına etkisinin incelenmesi üzerine deneysel bir çalışma,” *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Türkiye, 2011.
- [5] E. B. Türkel, “Betonda basınç dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ilişkiler,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2002.
- [6] B. Yön, “Yapıların statik ve dinamik yükler etkisindeki doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2014.
- [7] Z. Celep, “Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsal Kabulü ve Çözümleme,” *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 2007.
- [8] M. Zorlu, “Çelik yapılarda moment çerçevelerinin süneklik düzeyini belirleyen tasarım kurallarının değerlendirilmesi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [9] *Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları*, TS500, 2000.
- [10] R. Park, “Ductility Evaluation from Laboratory and Analytical Testing,” *Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering*, c. 8, ss. 605-616, 1988.
- [11] F. Altun, C. Yılmaz, A. Durmuş, K. Arı, “Çelik lif katkılı ve katkısız betonarme kirişlerin basit eğilme ve patlama yüklemesi ile davranışlarının incelenmesi,” *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 22, s. 1-2, ss. 112-120, 2006.
- [12] A. Aryan, “Polipropilen lif takviyeli betonarme kirişlerin deneysel ve analitik olarak araştırılması,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2014.
- [13] C. Aydemir, M. E. Aydemir, “Betonarme Kirişlerin Hasar Sınırlarının Deneysel Gözlemlerle İrdelenmesi,” *İMO Teknik Dergi*, ss. 8023-8049, 2017.
- [14] H. Binici, A. H. Sevinç, M. Y. Durgun, “Barit, Bazaltik Pomza, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Özellikleri,” *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 13, s. 1, 2010.
- [15] Y. Bölükbaş, “Cam elyaf katkılı beton numunelerin mekanik davranışlarının incelenmesi ve yapay sinir ağı ile modellenmesi,” Yüksek lisans tezi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2011.

- [16] A. Doğangün, “*Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*,” 17. Baskı, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 2018, ss. 1-844.
- [17] M. E. Gülşan, “Yüksek mukavemetli çelik lif katkılı betonarme değişken kesitli kirişlerin mekanik davranışı,” *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 206-214, 2019.
- [18] C. Kara, İ. Bekem, “Endüstriyel atıkların beton dayanımına etkisi üzerine bir çalışma: çay fabrikası kömür külü örneği,” *Gaziosmanpaşa Journal of Scientific Research*, c. 7, s. 2, ss. 75-85, 2018.
- [19] S. Saatçi, B. Batarlar, “Çelik fiber katkılı etriyesiz betonarme kirişlerin davranışı,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, c. 32, s. 4, ss. 1143-1154, 2017.
- [20] H. H. Taş, Ö. Çoban, B. Topbaşlı, “endüstriyel demir talaşı atığının betonun bazı mekanik özelliklerine etkisi,” *SDU International Technologic Science*, c. 5, s. 1, ss. 1-11, 2013.
- [21] İ. Ustabas, “Sülfat etkisine maruz mineral katkılı beton ve harçların performansının incelenmesi,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2008.
- [22] K. Yıldırım, M. Sümer, S. Subaşı, “Hafif beton üretiminde granüle edilmiş fındık kabuğunun kullanılabilirliğinin araştırılması,” *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 5, s. 2, ss. 501-511, 2018.