

ÇELİK TEL DONATILI BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN GÖRÜNTÜ ANALİZLERİ İLE TAHMİNİ

*Eyüp TAŞKAN**
*Yunus GÜNDÜZ**
*Yuşa ŞAHİN***

Alınma: 21.12.2018 ; düzeltme:05.03.2019 ; kabul: 19.04.2019

Öz: Beton sahip olduğu üstün özelliklerinden dolayı en çok kullanılan yapı malzemesi olma özelliğini uzun yıllardır sürdürmektedir. Betonun en büyük üstünlüklerinin başında sahip olduğu yüksek mekanik özellikler gelmektedir. Yarı gevrek kırılma davranışı gösteren beton basınca dayanıklıyken çekmeye karşı düşük dayanım göstermektedir. Betonun çekme kuvvetlerine karşı dayanımını artırmak için beton içerisine kısa kesilmiş çelik teller katılmaktadır. Çelik teller betonların çekme dayanımının yanı sıra süneklik ve tokluk gibi diğer mekanik özelliklerini de artırmaktadır.

Sunulan çalışmada farklı beton dayanımları üzerinde çelik tel miktarı ve kanca tipinin etkisi deneysel bir çalışma ile araştırılmıştır. Deneysel çalışmada 3 farklı kanca tipine sahip çelik teller farklı dayanım sınıflarındaki betonlara çeşitli oranlarda katılmıştır. Betonlar üzerinde basınç dayanımı, elastisite modülü, yarımada çekme ve eğilmede çekme dayanımları deneyleri yapılarak karışımların mekanik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen deney sonuçları ile beton kesitinden alınan görüntülerin işlenmesi sonucu elde edilen değerler arasında ilişkiler incelenmiştir. Araştırma sonucunda, beton kesitinde yer alan tel sayısına bağlı olarak betonların eğilme dayanımları ve tokluk değerlerinin tahmin edilebileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Beton, Çelik Tel, Mekanik Özellikler, Tokluk, Görüntü Analizi

Prediction of Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced Concretes by Image Analysis

Abstract: Concrete has been the most widely used construction material for many years because of its superior mechanical properties. Concrete exhibits quasi-brittle fracture behavior which is weak under tension loads, however, provides high strength under compression. Short cut steel fibers are widely used in order to increase the strength against tension loads. Besides, tension strength, many properties of concrete are increased by using steel fibers, such as ductility and toughness.

In this study, effects of amount and type of hooked-end of fibers on concretes having different strengths were investigated, experimentally. In experiments, 3 different types of hooked-ended steel fibers were added in concretes having different strength class at different ratios. Mechanical properties of concretes were determined by compressive strength, modulus of elasticity, splitting tensile and flexural tensile tests. The relationships between the test results and the images taken from the concrete section were investigated by image processing. According to the results it was revealed that the flexural strength and toughness of concretes can be predicted depending on the number of fibers in the section by image analysis.

Keywords: Concrete, Steel Fiber, Mechanical Properties, Toughness, Image Analysis

* Yozgat Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 66900, Yozgat.

** Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 66900, Yozgat.

İletişim Yazarı: Yuşa ŞAHİN (yusa.sahin@bozok.edu.tr)

1. GİRİŞ

Gevrek kırılma davranışı gösteren çimento esaslı malzemelerde sünekliği artırmak için farklı biçim ve türde (metalik, sentetik, cam ve doğal) lifler kullanılmaktadır. Betonlarda yüksek performans ve dayanım gerektiği durumlarda sıklıkla çelik teller tercih edilmektedir. Çelik tellerin türleri, geometrik özellikleri, dayanımları ve kanca ucu tipleri değiştirilerek elde edilen ürünler beton yapılarda çeşitli problemlere çözüm oluşturmaktadırlar. Saha uygulamaları, endüstriyel zeminler, tünel kaplamaları ve beton borular gibi zemine oturan elemanların üretiminde ve inşasında çelik tellerin kullanıldığı betonlar kullanılmaktadır (Knapton, 2003; Taşdemir ve diğ., 2006).

Çelik Tel Donatılı Beton (ÇTDB)'ları normal betonlardan ayıran özelliklerin başında süneklik ve enerji yutma kapasitesinde görülen belirgin artışlar gelmektedir (Çivici ve Güngör, 2016). Çelik tellerin ana görevi, çatlak yüzlerini köprüleyerek çatlağın açılmasını ve ilerlemesini kontrol etmektir (Taşdemir ve Bayramov, 2002; Beddar, 2004; Yoo ve diğ., 2014). Köprüleme etkisinin başarılı olması genellikle telin yüzeyden sıyrılmaya mekanizmasına bağlıdır. Bu nedenle birçok araştırmada tellerin kanca ucu tipi etkisi araştırılmıştır (Banthia ve Trottier, 1994; Robins ve diğ., 2002; Cunha ve diğ., 2010; Feng ve diğ., 2014).

Betonun içyapı özelliklerini inceleme yöntemleri tahribatlı ve tahribatsız yöntemler kullanılarak yapılmaktadır. Kullanılan bu yöntemlere ek olarak görüntü işleme yöntemleri de araştırılmaktadır (Felekoğlu ve Güllü, 2006; Çomak ve diğ., 2011; Dibek ve Demir, 2017). Son yıllarda ÇTDB'ler üzerinde de kesitlerden alınan görüntülerin analizi sonucu elde edilen veriler ile beton özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmaktadır (Güler ve diğ., 2007; Yardımcı, 2007; Onat, 2008; Kılınçarslan ve diğ., 2009; Akçay ve diğ., 2009; Çankaya ve diğ., 2013).

ÇTDB'lerde görüntü analizleri ile ilgili olarak daha önce yapılan çalışmalarda genel olarak, çelik tellerin belirgin olmaması veya ışık kaynağının yeterince güçlü olmaması gibi numune hazırlarken ve görüntü işlerken karşılaşılan problemlerin yanı sıra tellerin açılardan kaynaklı olarak sayılamayan veya yanlış sayılan teller sonuçları önemli derecede etkileyen parametreler olarak belirtilmiştir (Rudzki ve diğ., 2012). Sunulan çalışmada önceki çalışmaların ışığında tel sayımındaki hataları en düşük seviyeye indirmek için kesit hazırlama, fotoğraflama ve analiz adımlarında önceki çalışmaların bulgu ve önerileri dikkate alınarak bir yöntem izlenmiştir. Yöntemin uygulanabilirliği, tomografi yöntemlerindeki gibi özel bir cihaz gerektirmemesi (Nguyen ve diğ. 2018; Rios ve diğ., 2019) ve tellerin sayılmasındaki pratikliği öne çıkan yanları olarak düşünülmektedir.

Sunulan çalışmada ÇTDB'lerde yüksek performans sağlayan kancalı uçlu tellerin kullanıldığı farklı dayanımlara sahip beton numuneler üzerinde görüntü analizleri yapılmıştır. Görüntü analizleri sonucu elde edilen kesitteki tel sayısı ile betonların mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler ortaya konmuştur.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Malzemeler

2.1.1. Çimento

Çalışma kapsamında CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentonun özgül ağırlığı $3,1 \text{ g/cm}^3$, özgül yüzeyi (Blaine) 3320 g/cm^2 'dir.

2.1.2. Agregalar

Çalışma kapsamında kalker esaslı kırma kum, kırmataş I ve kırmataş II agregaları kullanılmıştır. Agregalara ait tane boyut dağılımları ve fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Agregalara ait fiziksel özellikler ve tane boyut dağılımı

Agrega	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Su emme (%)	Elek boyutu, mm % Geçen							
			0,25	0,5	1	2	4	8	16	32
Kırma kum	2,63	1,2	22,5	32,6	48,5	63,0	90,1	100	100	100
Kırma taş I	2,70	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	3,3	74,5	100	100
Kırma taş II	2,71	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,8	14,8	100

2.1.3. Mineral Katkı

Mineral katkı olarak silis dumanı (SD) kullanılmıştır. Silis dumanına ait fiziksel ve kimyasal özelliklere Taşkan (2017)'ten erişilebilir.

2.1.4. Kimyasal Katkı

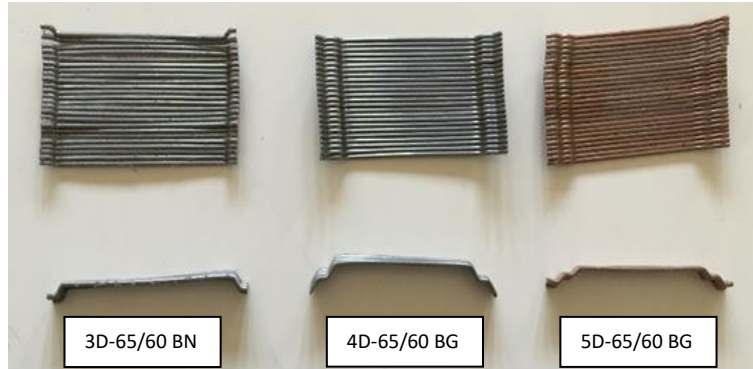
Yeni nesil süperakışkanlaştırıcı / yüksek oranda su azaltıcı (polikarboksilik eter esası) beton katkısı kullanılmıştır.

2.1.5. Çelik Tel

Çalışmada, narinlikleri ve boyları aynı çekme dayanımları, kanca ucu tipleri ve kanca boyları farklı olan 3 farklı çelik tel kullanılmıştır. Çelik tellere ait özellikler Tablo 2'de ve görüntüler Şekil 1'de sunulmaktadır.

Tablo 2. Çelik tellerin özellikleri

Çelik Tel Tipi	Boy, l (mm)	Çap, d (mm)	Narinlik (l/d) (uzunluk/çap)	Yoğunluk (g/ cm ³)	Çekme Dayanım, f _{su} (N/mm ²)
3D-65/60 BN	60	0,90	65	7,85	1160
4D-65/60 BG	60	0,90	65	7,85	1500
5D-65/60 BG	60	0,90	65	7,85	2300



Şekil 1:
Çelik teller

2.2. Karışımlar

3D, 4D ve 5D tipi çelik tellerin farklı oranlarda betonlara eklenmesiyle karışımlar oluşturulmuştur. Karışımların kodlamasında tel tipi ve karışım oranı kullanılmıştır. Örneğin, 4DV30 kodlu karışım 4D kanca tipine sahip telin 30 kg/m³ miktarında kullanıldığı karışımı göstermektedir. Ayrıca, L, N ve H harfleri sırasıyla 0,60, 0,45 ve 0,30 su/çimento (S/Ç) oranına sahip betonları belirtmektedir. Beton bileşenleri ve karışım miktarları Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Beton bileşenleri ve karışım miktarları (kg/m³)

S/Ç	Tel Miktarı	Çimento	Su	K.Kum	K.Taş I	K.Taş II	Süperakış.	Silis Dumanı
0,60 (L)	0	300	180	892	515	479	2,0	0
	15	300	180	890	514	478	2,0	0
	30	300	180	887	512	476	2,0	0
	45	300	180	885	511	475	2,0	0
	60	300	180	883	510	474	2,0	0
0,45 (N)	0	400	180	856	494	459	1,6	0
	15	400	180	853	493	458	1,6	0
	30	400	180	851	491	457	1,6	0
	45	400	180	849	490	455	1,6	0
	60	400	180	846	489	454	1,6	0
0,30 (H)	0	450	149	847	489	455	5,4	45
	15	450	149	845	488	454	5,4	45
	30	450	149	843	487	452	5,4	45
	45	450	149	840	485	451	5,4	45
	60	450	149	838	484	450	5,4	45

2.3. Görüntü Analizi Yöntemi

2.3.1. Görüntü Analizi İçin Numunelerin Hazırlanması

Görüntü analizi için eğilme deneyine tabi tutulan 150x150x550 mm boyutlarındaki prizmatik örnekler kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2:
Numunelerin Kesim İşlemi

Kiriş numunelerde oluşan çatlaklar mesnet noktaları arasında bir noktadan başlayarak üst kısma doğru ilerleyip açıldığından ve çatlak düzleminin oldukça pürüzlü olmasından dolayı tam çatlak düzleminde kesim yapılmamıştır. Her bir kiriş numunenin bir köşesinden 200 mm iç mesafeden 150 x 150 x 200 mm boyutlarında prizmalar kesilerek ilgili seri için örnekler görüntü

analizine hazır hale getirilmiştir. Ayrıca tam çatlak düzleminde yapılan analizde gözlenen teller kopma olasılığı nedeni ile çatlağın her iki yanı için farklı sayılarda elde edilebilir. Oysaki bazı teller matristen sıyrıldığı bazıları ise gerek deney sırasında gerekse deney bittikten sonra inceleme için örneğin ikiye ayırma çabaları sırasında kopabildiğinden aynı kesit için iki defa sayılmaları söz konusu olabilir. Bu nedenle bu çalışmada olduğu gibi çatlak düzleminden daha uzakta her bir kiriş için aynı mesafedeki en kesitler üzerinde kesim ve inceleme yapılması bazı araştırmacılarca da daha önce tercih edilmiştir (Grünwald, 2004). Sağlıklı bir analiz için kırılganlardan örnek alınması işlemine özellikle dikkat etmek gerekmektedir.

2.3.2. Kamera Ayarları ve Fotoğraf Çekim Yöntemi

Hazırlanan örneklerin telli yüzeyleri su zımparası ile zımparalanarak teller parlatılmıştır. Örnek hazırlama işlemlerinden sonra fotoğraf çekimi için düzenek oluşturulmuştur (Şekil 3). Çalışmanın esası, uygun kamera ayarları ile en kesitlerin fotoğraflarının çekilerek tellerin fotoğraf üzerinden işlenerek analiz edilmesidir. Bu aşamada en önemli iki nokta, tellerin sağlıklı bir şekilde tüm fotoğraftan ayrılabilmesi ve fotoğrafın doğru bir şekilde ölçülendirilmesidir. Tellerin fotoğraf içerisinden ayrılabilmesi tellerin fotoğrafta belirgin bir şekilde farklı renkte olması ile kolayca yapılabilir. Parlak çelik teller ışığı betondan daha fazla yansıttığından uygun ışıklandırma koşulları altında çekim yapılması halinde teller sağlıklı bir şekilde betondan ayırt edilebilir. Fotoğraf çekimleri için penceresi olmayan bir karanlık oda kullanılmış ve çeşitli ışık düzenekleri denenmiş ve en uygun sonucu veren beyaz florasan dairesel aydınlatma seçilmiştir. 18 mega piksel çözünürlükte Canon EOS 1200D SLR fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Kullanılan makine, bilgisayar kontrolü modülüne sahip olduğundan, fotoğraflar kamera deklanşörüne hiç dokunulmadan bir diz üstü bilgisayarla kontrol edilerek çekilmiştir. Bu şekilde fotoğraflar çekilirken kamera pozisyonu hiç değiştirilmemiş ve hiç titreme olmaması sağlanmıştır. Çekimlerde tripot (üçlü ayak) kullanılmıştır.

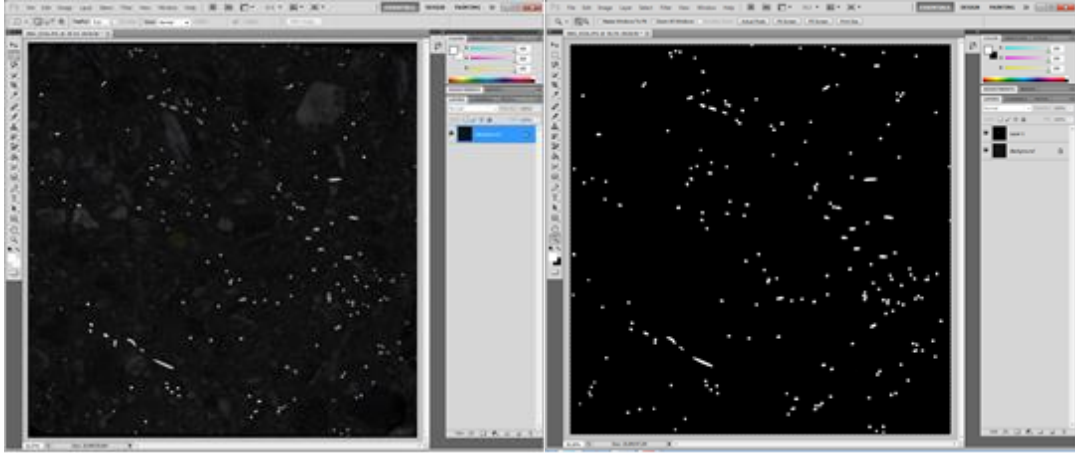


Şekil 3:
Fotoğraf Çekim İşlemi

2.3.3. Görüntülerin Bilgisayar Desteği İle İşlenmesi

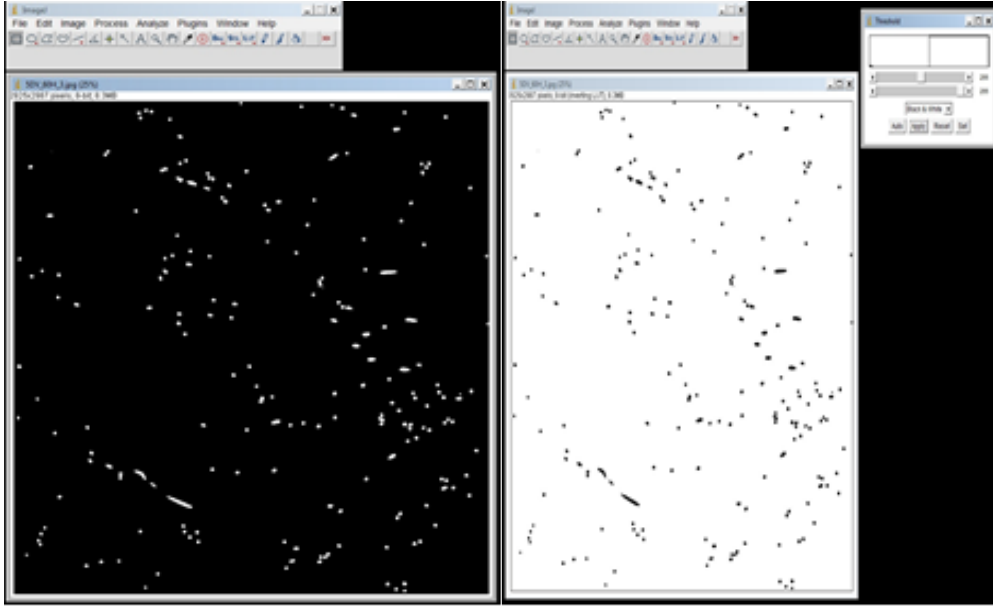
Görüntü analizi ile numune kesit yüzeyindeki tellerin sayımı için Image-J paket programı kullanılmıştır. Fotoğraflarda beton matris koyu renkli, teller ise açık renkli olarak görülmektedir. Tüm fotoğraflar bu şekilde elde edilmiş ve böylece görüntü işleme işlemleri oldukça kolaylaşmıştır.

Çekilen ve bilgisayara kaydedilen orjinal fotoğraf doğrudan Image-J paket programına tellerin sayımı için atıldığında tellerle matris arasındaki ton yakınlıklarından dolayı programın çalışma prensibine uygun olmadığından fotoğraflar, Adobe Photoshop™ paket programı yardımı ile düzenlenmiştir. Öncelikle programda açılan fotoğraf numunenin köşelerinden seçilerek kırılmıştır. Kırılan fotoğraf katman olarak kopyalanmış ve Image - Adjustment - Threshold bölümünden uygun aralık seçilerek fotoğrafın tamamı iki tondan oluşacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 4). Böylelikle Image-J programında iki ton arasındaki farklılıktan yararlanarak teller seçilebilir duruma getirilmiştir. Ayrıca Photoshop programı kullanılarak kısmen parlamayan teller de belirgin hale getirilmiştir.



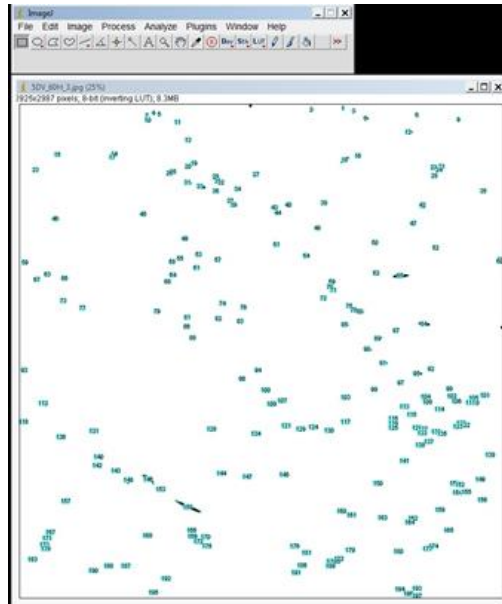
Şekil 4:
Görüntülerin Hazırlanması

Image-J paket programında sayım işleminde tellerin tüm resimden ayrılması işlemi renk koduna göre yapılmaktadır. Image-J programında resmin kontrast ayarları ile oynayarak belirli bir renk kodundaki görüntünün resimde belirgin olması sağlanabilmektedir. Fotoğraf çekilirken en baştan uygun diyafram ve enstantane ayarları seçildiğinde uygun ışıklandırma altında beton matris olabildiğince koyu, parlayan teller ise olabildiğince açık renkte elde edilmiştir. Bu durumda renk histogramından da görüldüğü gibi tüm resim 0 - 255 arasında renk koduna sahipken koyu renkteki beton matris daha düşük renk koduna, açık renkteki parlayan teller ise daha yüksek renk koduna sahip olmaktadır. Renk kodu histogramı üzerinden ayarlama yapılarak teller tüm resimden seçilmiştir. Seçilen tellerin renk kodu bu resim için 50 değerinden daha fazladır. Beton matris ise 50 renk kodundan daha düşük renk kodundadır. Orijinal resimdeki matris veya tellerin renk tonlarının Eşik renk kodu değerine yakın olabileceği düşünüldüğünde Photoshop programı ile düzenlenen resimlerde renk tonları arasındaki fark açılarak sayma işleminin kesin ve doğru olması amaçlanmıştır. Sayısal işleme hazır fotoğraf görüntü Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 5:
Sayısal İşleme Hazırlanmış Görüntü Örneği

Kullanılan paket programda belirlenen eşik renk koduna göre otomatik olarak teller seçilmekte ve analiz işlemi bu eşik renk koduna sahip fotoğraf üzerinden otomatik olarak yapılmaktadır. Bu aşamadan sonra artık fotoğraf sadece iki renk kodundan oluşmaktadır. Beton matris 0 renk kodunda iken teller 255 renk koduna sahiptir. Binary (ikili) renk koduna sahip fotoğraf üzerinde teller otomatik olarak sayılmış ve numaralandırılmıştır (Şekil 6). Tellerin kesitteki açıklarından dolayı birkaç tel gibi algılanabilecek uzun ince görüntüler tek tel olarak saydırılmıştır. Telleri sayma esas alınarak incele yapmanın yöntemin pratikliği açısından faydalı olduğu düşünülmüştür.



Şekil 6:
Tellerin Sayılması ve Numaralandırılması

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Mekanik Özellik Deney Sonuçları

3.1.1. Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü

Yüksek S/Ç oranına sahip L kodlu betonların dayanım sınıfı C40/50, N kodlu betonların dayanım sınıfı C50/60 ve düşük S/Ç oranına sahip H kodlu betonların dayanım sınıfı C80/95 olarak elde edilmiştir. Betonların elastisite modülü değerleri ise L, N ve H kodlu karışımlar için sırasıyla 30 GPa, 35 GPa ve 40 GPa elastisite modülü olarak elde edilmiştir. Çelik tel kanca ucu tipinin betonların basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri üzerinde belirgin bir etkisi görülmemiştir. Deney sonuçlarının tamamına Taşkan (2017)'ten erişilebilir.

3.1.2. Yarmada Çekme Dayanımı ve Eğilme Dayanımı

Yarmada çekme (YÇD) ve eğilme dayanımı (ED) ve eğilme dayanımı deneyi sonucu yük-sehim eğrisi altında kalan alan kullanılarak hesaplanan tokluk değeri (TD) ve eşdeğer eğilme gerilme oranı (EGO) değerleri Tablo 4'te verilmektedir. ED, TD ve EGO değerleri ASTM C 1609 standardına göre 4 noktalı eğilme deneyi sonucunda belirlenmiştir. Bu değerlerin hesaplama adımları ve deney yöntemi ile ilgili olarak geniş bilgiye Taşkan (2017)'ten erişilebilir.

Tablo 4. Bazı Mekanik Özelliklere Ait Deney Sonuçları

Karışım kodu	L serisi				N serisi				H serisi			
	YÇD MPa	ED MPa	TD N.m	EGO %	YÇD MPa	ED MPa	TD N.m	EGO %	YÇD MPa	ED MPa	TD N.m	EGO %
3DV15	3,45	3,93	24,9	28,0	3,47	3,72	28,9	34,5	4,88	5,04	40,6	38,0
3DV30	3,59	3,65	48,1	60,0	3,55	3,81	46,6	54,5	5,29	5,24	47,5	40,0
3DV45	3,75	4,11	71,1	79,0	3,76	4,11	55,0	60,0	5,49	5,16	57,5	50,0
3DV60	3,63	4,54	86,2	109,0	3,72	4,48	75,2	79,0	5,54	5,56	81,3	64,0
4DV15	3,40	4,19	39,2	44,0	3,40	3,95	30,2	34,0	4,90	4,69	45,0	42,5
4DV30	3,58	3,82	54,1	63,0	3,56	4,36	55,2	60,0	5,28	5,12	50,0	45,0
4DV45	3,75	4,39	70,7	79,5	3,65	4,43	70,0	77,5	5,43	5,53	65,0	52,0
4DV60	3,91	5,28	106,5	120,0	3,72	4,45	72,0	83,0	5,26	5,72	82,0	69,0
5DV15	3,52	3,81	38,8	45,5	3,41	4,42	52,8	53,0	4,92	4,93	37,8	34,0
5DV30	3,65	3,94	47,6	54,5	4,01	4,68	81,1	76,0	5,32	5,06	57,0	50,0
5DV45	3,80	3,85	62,7	72,5	4,10	4,75	76,1	78,0	5,45	4,91	56,4	51,0
5DV60	3,94	6,19	109,6	113,0	4,05	4,79	79,2	82,0	5,69	6,77	86,2	73,0

3.2. Görüntü Analizi Sonuçları İle Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

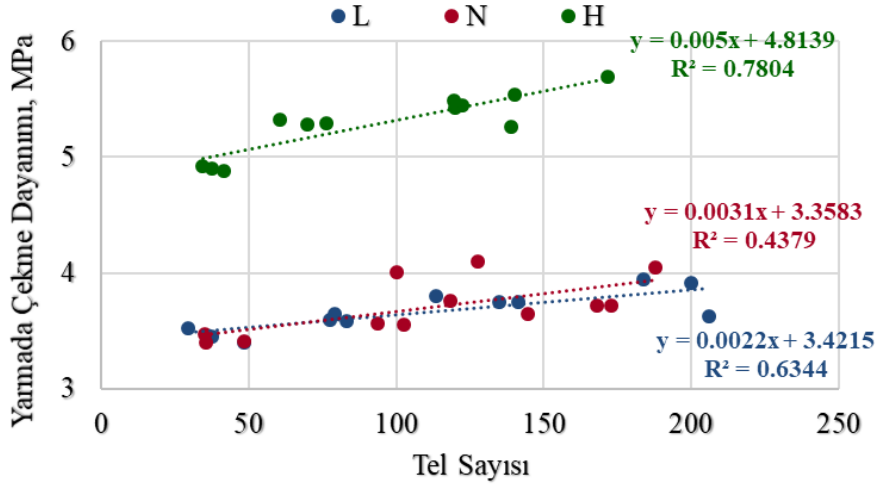
Beton kesitleri üzerinde yapılan görüntü analizleri sonucu belirlenen 15x15 cm² boyutlarındaki kesitte belirlenen tel sayıları Tablo 5'te verilmektedir. Her bir değer 2 kesitin incelemesi sonucu sayılan tellerin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Tablo 5. Görüntü Analizi Sonucu Belirlenen Beton Kesitlerindeki Tel Sayıları

Karışım kodu	L serisi	N serisi	H serisi
3DV15	37,5	35	41,5
3DV30	77,5	102,5	76,5
3DV45	141,5	118,5	119,5
3DV60	206	173	140
4DV15	48,5	35,5	37,5

4DV30	83	93,5	70
4DV45	135	144,5	120
4DV60	200	168	139
5DV15	29,5	48,5	34,5
5DV30	79	100	60,5
5DV45	113,5	127,5	122,5
5DV60	184	188	171,5

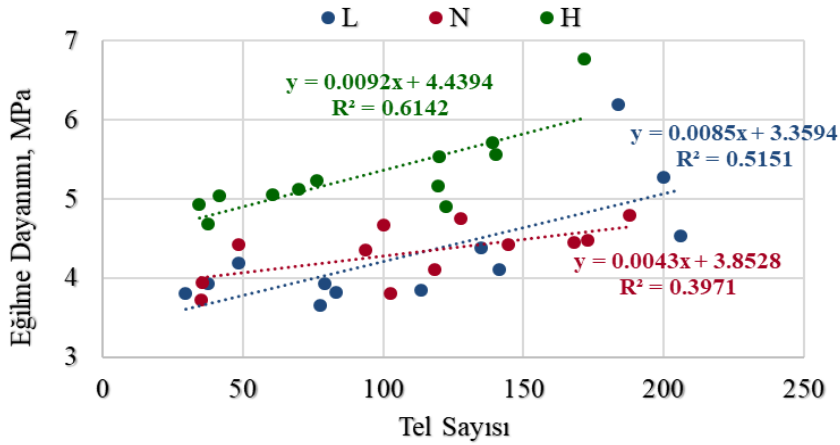
Görüntü analizi sonucunda kesitlerde sayılan tel sayısı ile yarmada çekme deney sonuçlarının ilişkisini gösteren grafik Şekil 7’de verilmektedir.



Şekil 7:
Kesitteki Tel Sayısı İle Yarmada Çekme Dayanımı İlişkisi

Yarmada çekme dayanımı ve tel sayısı arasında yüksek korelasyonlar elde edilmiştir. Yüksek dayanıma sahip H kodlu karışımlarda korelasyon katsayısı, $R = 0,88$ ($R^2=0,7804$) elde edilmiştir.

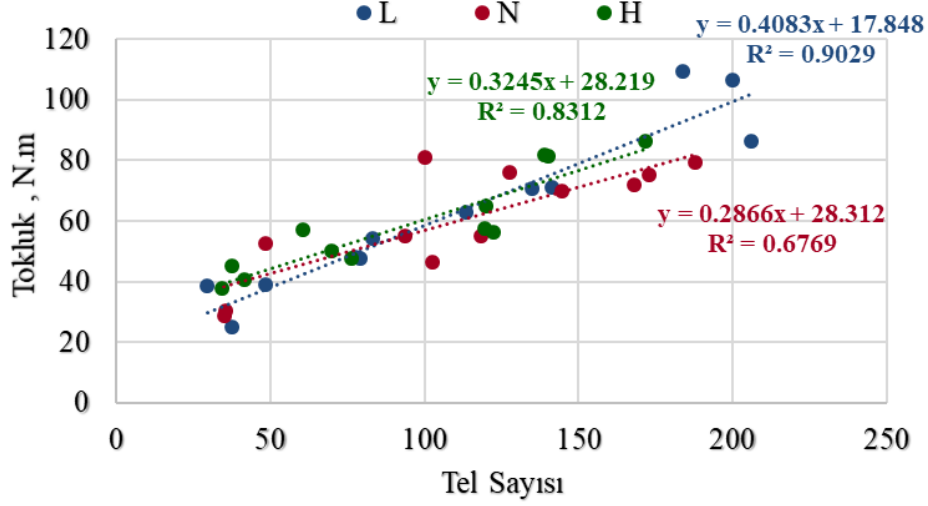
Eğilme dayanımı değerlerinin tel sayısı ile değişimlerinin incelendiği grafik Şekil 8’de verilmektedir.



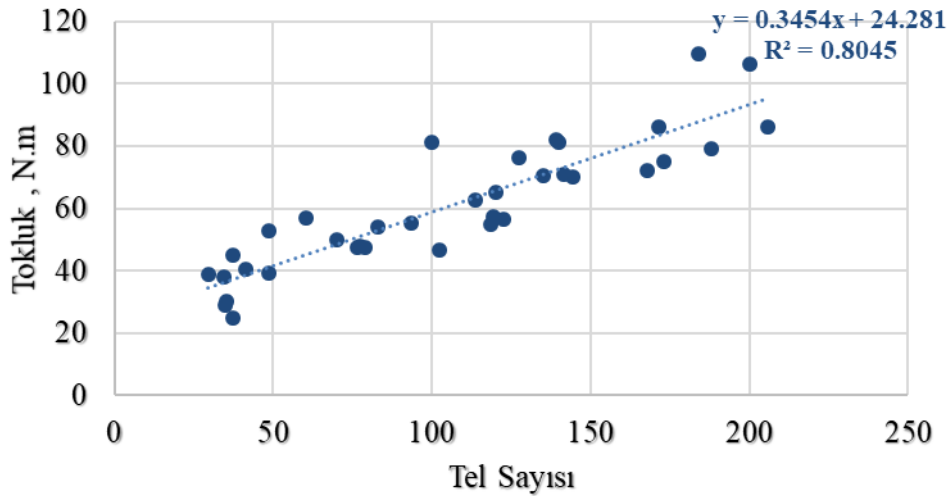
Şekil 8:
Kesitteki Tel Sayısı İle Eğilme Dayanımı İlişkisi

Tel sayısı ile eğilme dayanımı değerleri arasında yüksek korelasyona sahip ilişkiler elde edilmiştir. Yarmada çekme dayanımında olduğu gibi H kodlu karışımlarda daha yüksek korelasyon katsayısı, $R=0,78$ ($R^2=0,6142$) elde edilmiştir.

Tokluk değerlerinin tel sayısı ile değişimlerinin incelendiği grafikler Şekil 9'da verilmektedir.



(a)



(b)

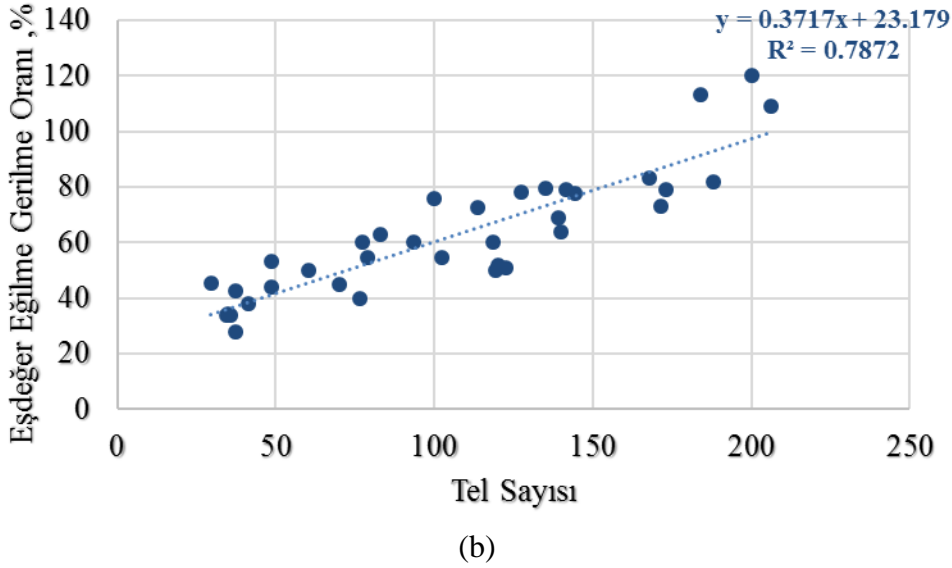
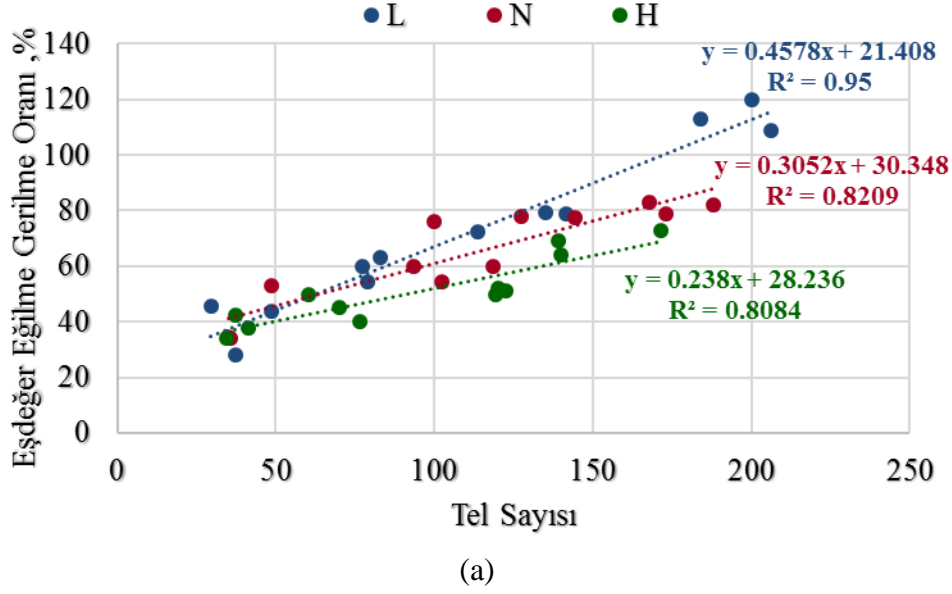
Şekil 9:

Kesitteki Tel Sayısı İle Tokluk İlişkisi

(a) Beton Dayanımlarına Göre (b) Beton Dayanımından Bağımsız Olarak

Tel sayısı ile tokluk değerleri arasında yüksek korelasyonlar elde edilmiştir. En yüksek korelasyon ($R=0,95$, $R^2=0,9026$) düşük dayanıma sahip L kodlu karışımlarda görülmüştür. Beton dayanımından bağımsız olarak incelenen tel sayısı – tokluk ilişkisinde ise korelasyon katsayısı $R=0,897$ olarak elde edilmiştir.

Eşdeğer eğilme gerilme oranı değerlerinin tel sayısı ile değişimlerinin incelendiği grafikler Şekil 10'da verilmektedir.



Şekil 10:

Kesitteki Tel Sayısı İle Eşdeğer Eğilme Gerilme Oranı İlişkisi
(a) Beton Dayanımlarına Göre (b) Beton Dayanımından Bağımsız Olarak

Tel sayısı ile eşdeğer eğilme gerilme oranı değerleri arasında yüksek korelasyonlar elde edilmiştir. En yüksek korelasyon ($R=0,975$, $R^2=0,95$) düşük dayanıma sahip L kodlu karışımlarda görülmüştür. Beton dayanımından bağımsız olarak incelenen tel sayısı – tokluk ilişkisinde ise korelasyon katsayısı $R=0,887$ olarak elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Mekanik özellikler açısından 5D kanca tipinin diğer kanca tiplerine kıyasla daha yüksek performans sergilediği görülmüştür.

Yarmada çekme ve eğilme dayanımları ile tokluk ve eşdeğer eğilme gerilme oranı değerleri ile görüntü analizleri sonucu elde edilen kesitteki tel sayısı arasında yüksek korelasyon olduğu belirlenmiştir.

Dayanım değerleri ile yüksek dayanımlı beton kesitlerindeki tel sayısının, tokluk ve eşdeğer eğilme gerilme oranı ile ise düşük dayanımlı beton kesitlerindeki tel sayısının daha yüksek korelasyona sahip oldukları belirlenmiştir.

Görüntü analizleri yönteminin, yarmada çekme dayanımı, tokluk, eşdeğer eğilme gerilme oranı gibi özelliklerin tahmininde kullanılabileceği bu özelliklerle kesitteki tel sayısı arasındaki yüksek korelasyon dikkate alınarak söylenebilir. Basınç dayanımı, elastisite modülü ve ilk tepe dayanımı gibi tel miktarından etkilenmeyen özelliklerin kesitteki tel sayısı ile düşük korelasyon gösterdiği bundan dolayı görüntü analizi yöntemleri ile bu özelliklerin tahmininde uygun olmadığı belirlenmiştir.

Çalışmada fotoğraflama ile yapılan görüntüleme yönteminin, bilgisayarlı tomografi vb. yöntemlere kıyasla daha pratik olmasının yanında tel sayım işleminin başarısı mekanik özelliklerle elde edilen yüksek korelasyon sonuçları ile görülmüştür. Yöntemin bundan sonraki yapılacak çalışmalara ışık tutması ayrıca pratikliği ve doğruluğundan dolayı uygulamada yer bulması beklenmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Bozok Üniversitesi Proje Koordinasyon Araştırma ve Uygulama Merkezi tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2015FBE/T213).

KAYNAKLAR

1. Akçay, B., Tasdemir, M.A., Şenel, Ç. ve Arslan, G.E. (2009) Karma çelik lif donatılı kendiliğinden yerleşen betonlarda lif dağılımının incelenmesi, *Uluslararası Katılımlı Yapılarda Kimyasal Katkılar 3. Sempozyumu*, 43-52.
2. Banthia, N. ve Trottier, J. (1994) Concrete reinforced with deformed steel fibers, part I: bond-slip mechanisms, *ACI Materials Journal*, 91, 435–446. doi: 10.14359/4059
3. Beddar, M. (2004) Fibre-Reinforced concrete – past, present and future, *Concrete, ABI/INFORM Trade & Industry*, 47-49.
4. Cunha, V. M. C. F., Barros, J.A.O. ve Sena-Cruz, J. M. (2010) Pullout behavior of steel fibers in self-compacting concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22 (1),1–9. doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000001
5. Çankaya, G., Arslan, M.H. ve Ceylan, M. (2013) Görüntü işleme ve yapay sinir ağları yöntemleri ile betonun basınç dayanımının belirlenmesi, *S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg.*, c.1, s.1,1-12.
6. Çivici, F. ve Güngör, E. (2016) Karma lifli betonların tokluk açısından değerlendirilmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, Cilt: 7, Sayı:3, 365-376.
7. Çomak, B., Beycioğlu, A., Başyigit, C. ve Kılınçarslan, Ş. (2011) Beton teknolojisinde görüntü işleme tekniklerinin kullanımı, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey.
8. Dibek, B. ve Demir, H. (2017) Boşluk oranının görüntü işleme yardımıyla bulunması, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 22 (3), 97-114. doi: 10.17482/uumfd.371869
9. Felekoğlu, B. ve Güllü, D. (2006) Klinker incelemelerinde optik mikroskop ve görüntü işleme tekniklerinin kullanılması, *İMO Teknik Dergi*, Yazı 247, 3761 -3770.
10. Feng, J., Sun, W. W., Wang, X. M. ve Shi, X. Y. (2014) Mechanical analyses of hooked fiber pullout performance in ultra-high-performance concrete, *Construction and Building Materials*, 69, 403–410. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.07.049

11. Grünewald, S. (2004) Performance-Based design of self-compacting fibre reinforced concrete, phd, *Thesis*, Delft University of Technology. doi: uuid:07a817aa-cba1-4c93-bbed-40a5645cf0f1
12. Güler, M., Sözen, Ş. ve Özen, M. (2007) Görüntü yöntemlerinin beton mikro yapısının ve çelik birleşimlerin deformasyon davranışlarının belirlenmesinde uygulanması, *Proje*, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Tübitak MAG Proje:105M085, 1-156, Ankara.
13. Kılınçarslan, Ş., Başıyigit, C., Çomak, B. ve Akkurt, İ. (2009) Görüntü işleme ile beton özelliklerinin belirlenmesi, *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, Türkiye
14. Knapton, J. (2003) Ground bearing concrete slabs, *Thomas Telford*, London. doi: 10.1680/gbcs.31869.0001
15. Nguyen, T., Ghazlan, A., Kashani, A., Bordas, S. ve Ngo, T. (2018) 3D meso-scale modelling of foamed concrete based on X-ray computed tomography. *Construction and Building Materials*, 188, 583–598. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.085
16. Onat, M. (2008) Dijital görüntü işleme yöntemleriyle lifli beton numunelerindeki çatlakların tespit edilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, 41, Elazığ.
17. Rios, D.J., Leiva, C., Ariza, M.P., Seidl, S. Ve Cifuentes, H. (2019) Analysis of the tensile fracture properties of ultra-high-strength fiber-reinforced concrete with different types of steel fibers by X-ray tomography. *Materials and Design*, 165, 107582. doi: 10.1016/j.matdes.2019.107582
18. Rudzki, M., Bugdol, Monicave Ponikiewski, T. (2012) An image processing approach to determination of steel fibers orientation in reinforced concrete, *Lecture Notes in Computer Science* ; vol. 7339 Lecture Notes in Bioinformatics. doi: 10.1007/978-3-642-31196-3_15
19. Robins, P., Austin, S. ve Jones, P. (2002) Pull-out behaviour of hooked steel fibres, *Materials and Structures*, 35 (251), 434–442. doi: 10.1007/BF02483148
20. Taşdemir, M.A. ve Bayramov, F. (2002) Yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı, *İtü dergisi/d*, Cilt 1, Sayı 2, 125-144.
21. Taşdemir, M.A., Şengül, Ö., Şamhal, E. ve Yerlikaya, M. (2006) Endüstriyel zemin betonları, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul.
22. Taşkan, E. (2017) Çelik tel kanca tipinin betonların mekanik özelliklerine etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat Bozok Üniversitesi.
23. Yardımcı, M.Y. (2007) Çelik lifli kendiliğinden yerleşen betonların reolojik, mekanik, kırılma parametrelerinin araştırılması ve optimum tasarımı, *Doktora Tezi*, Maden Mühendisliği Bölümü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, 391, İzmir.
24. Yoo, D. Y., Shin, H. O., Yang, J. M. ve Yoon, Y. S. (2014) Material and bond properties of ultra high performance fiber reinforced concrete with micro steel fibers, *Composites Part B: Engineering*, 58, 122–133. doi: 10.1016/j.compositesb.2013.10.081

