



## KİMYASAL ANKRAJLARDA KENAR MESAFESİ VE GÖMME DERİNLİĞİNİN ETKİSİ

Özlem ÇALIŞKAN<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

### ÖZET

Yapıların onarım ve güçlendirme işlerinde kimyasal ankrajlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Hızlı ve kolay uygulanabilir olmaları nedeni ile tercih edilen kimyasal ankrajların dayanımlarına birçok parametre etki etmektedir. Bu çalışmada farklı kenar mesafesi ve derinliklerde ekilen kimyasal ankrajların çekme dayanımları incelenmiştir. 12 mm çapa sahip B420C sınıfındaki nervürlü çubuklar, 60, 100, 120, 150, 180 ve 240 mm derinliklere kenardan 60, 80, 100 ve 120 mm olacak şekilde iki bileşenli, kartuşlu yapıştırıcı ile ekilmişlerdir. Ekilen çubuklara aksenal çekme testi uygulanmış ve elde edilen yük-deplasman eğrilerinden başlangıç rijitliği, deplasman süneklik oranı ve enerji yutma kapasitesi değerleri hesaplanmıştır. ACI 318 Ek-D'nin göçme modlarına göre verdiği hesap yöntemleri dikkate alınarak tasarım dayanım değerleri belirlenmiş ve deney sonuçları ile karşılaştırılarak güvenlik katsayıları bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kimyasal ankrajlar, Kenar etkisi, Gömme derinliği, ACI 318

### ABSTRACT

Chemical anchors are widely used in the repair and strengthening of buildings. Because they are fast and easy to apply, many parameters affect the strength of preferred chemical anchors. In this study, tensile strengths of chemical anchors planted at different edge distances and depths were investigated. Ribbed bars of class B420C with a diameter of 12 mm is planted with a two-component, cartridge adhesive to a depth of 60, 100, 120, 150, 180, and 240 mm from the edge to 60, 80, 100 and 120 mm. The axial tensile test was applied to the planted bars, and initial rigidity, displacement ductility ratio, and energy absorption capacity values were calculated from the obtained load-displacement curves. ACI 318 Annex-D's design strength values were determined by considering the calculation methods given according to failure modes, and safety coefficients were found by comparing with experimental results.

**Keywords:** Chemical anchors, Edge effect, Depth of embedment, ACI 318

## 1. GİRİŞ

Betonarme yapılara sonradan eklenecek yeni elemanların bağlantısı için sıklıkla kullanılan kimyasal ankrajlar, hızlı ve kolay uygulanabilir olmaları nedeni ile güçlendirme uygulamalarında tercih edilmektedir. Taşıyıcı sisteme yeni eleman eklendiğinde eski ve yeni elemanın birlikte çalışması ankraj donatısı, epoksi ve beton arasındaki kenetlenmeye bağlıdır [1]. Kimyasal ankrajlarda kenetlenme; kimyasalın ankraj donatısı ve beton ile arasındaki sürtünme kuvveti yolu ile olur. Tam kenetlenmenin sağlanması kullanılan kimyasalın özelliklerinin uygun olması ve uygun malzeme seçilmesi ile mümkün olabilmektedir [2]. Kimyasal ankrajların aksenal çekme davranışını etkileyen parametreler; kullanılan yapıştırıcının kullanım alanı, kullanım şekli, ortam koşulları, işçilik kalitesi, ankraj çapı ve derinliğidir [3].

Mevcut yapısal elemana eklenecek yeni elemanın bağlantısı mekanik, harç veya kimyasal ankraj türleri kullanılarak gerçekleştirilebilir [4]. Son yıllarda yapıların onarım-güçlendirme işlerinde, donatı ekmede kimyasal yapıştırıcıların kullanılması artış göstermiştir. Bu durum kimyasal ankrajlarda yapıştırıcı türünün önemini artırmaktadır. Kimyasal ankrajlar için oluşturulan ilk tasarımdan [4, 5] günümüze kadar ankrajların çekme davranışını belirlemeye yönelik birçok çalışma yapılmıştır [6 - 13]. Aksenal çekme kapasitelerini belirlemek için matematiksel modeller, algoritmalar ve tasarım yaklaşımları vasıtasıyla tahminlerde bulunulan çalışmalar da mevcuttur [14]. Çevresel etkiler, ekilen ankrajların farklı kenar mesafeleri ve ankrajlar arası mesafe parametrelerinde aksenal çekme

\*Sorumlu Yazar: [ozlem.caliskan@bilecik.edu.tr](mailto:ozlem.caliskan@bilecik.edu.tr)

Geliş: 13.12.2019 Yayın: 31.08.2020

davranışını belirlemek için de çalışmalar yapılmıştır [13 – 17]. Kimyasal ankrajları ekmeye kullanılan yapıştırıcının değişken olarak kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur [18 – 20].

Korozyonun ankraj dayanımına olan etkisinin incelendiği bir çalışmada dayanım değerlerinin %2 korozyon miktarından sonra ani olarak düştüğünü gözlemlemiştir [21]. Ankrajın etrafına yerleştirilen donatıların aksel çekme kapasitesine doğrudan etkisinin olduğunu gösteren bir çalışma da yapılmıştır [22]. Sıcaklığın değişken olduğu ankraj çalışmaları da mevcuttur [23, 24].

## 2. MATERYAL VE METOT

Kimyasal ankrajlarda kenar etkisinin incelendiği bu çalışmada değişkenler kenar etkisi (K) ve gömme derinliğidir (L). 28 günlük küp basınç dayanımı 21 MPa olan donatısız beton bloklara 24 adet 12 mm çapa sahip B420C sınıfındaki nervürlü çubuklar; 60, 100, 120, 150, 180, 240 mm gömme derinliklerinde ve 60, 80, 100 ve 120 mm kenar mesafelerinde, iki bileşenli kartuşlu epoksi ile eklenmişlerdir. Ekilen çubuklara aksel çekme testi uygulanmış ve uygulanan yük ve deplasman ölçülmüştür. Elde edilen yük-deplasman eğrilerinden başlangıç rijitliği, deplasman süneklik oranı ve enerji yutma kapasitesi değerleri hesaplanmıştır.

### 2.1. Beton

Ankraj ekilecek bloklar; donatısız hazır beton olarak C20/25 sınıfında üretilmiştir. Kullanılan betonun ağırlıkça karışım oranları Tablo 1’de verilmiştir. Üretim sırasında alınan numunelere 28. günde basınç testi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’de görülmektedir.

**Tablo 1.** 1 m<sup>3</sup> beton için ağırlıkça karışım oranları

Malzeme	0-4 mm	5-12 mm	12-22 mm	CEM I 42.5	Su	Kimyasal katkı
C 20/25	1180	225	510	260	190	3.5

### 2.2. Ankraj Çubukları

Ankraj çubuğu olarak 12 mm çapa sahip, B420C sınıfında, nervürlü çelik donatılar kullanılmıştır. Kullanılan çubuklara çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi sonuçları ve TS 708 Beton Çelik Çubukları Standardında yer alan min. akma ve min. çekme değerleri Tablo 3’te verilmiştir.

**Tablo 2.** 28 günlük beton basınç dayanımları

C20/25 (MPa)			
I	II	III	Ortalama
21.25	21.73	20.13	21.04

**Tablo 3.** Ankraj çubuklarının mekanik özellikleri

Betonarme çeliği mekanik özellikleri (TS708, 2010)			
	Akma (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Uzaması (%)
	420	-----	12
Deney Sonucu Bulunan Değerler			
Çap (mm)	Akma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Uzaması (%)
12	465	543	31

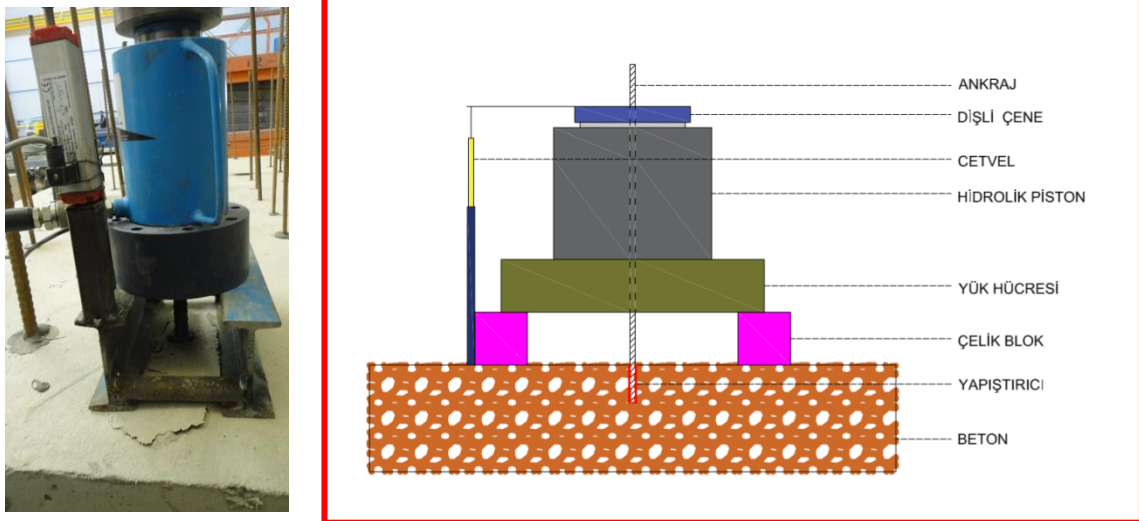
### 2.3. Kimyasal Yapıştırıcı

Bu çalışmada ankrajları ekmek için iki bileşenli, kartuşlu, piyasada çok kullanılan bir ürün kullanılmıştır. Bu malzeme hızlı kür alan yüksek performanslı ankraj çubuklarını ekmek için kullanılan bir üründür. Kartuşlu bir ürün olup filiz ekme işlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 2.4. Deney Düzenegi

Çalışmanın deneysel kısmında, betona ekilmiş ankrajın yukarı doğru çekilmesi işlemi hidrolik piston yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Deney düzenegi ve şematik gösterimi Şekil 1’de verilmiştir.

Ankrajların ekim sırasında dış şartlardan etkilenmemesi, ekimden önce kimyasal yapıştırıcının temas halinde olacak yüzeyin nem ve tozdan arındırılması sağlanmıştır. Tozdan arındırılma işlemi açılan delikler basınçlı hava ile temizlenerek gerçekleştirilmiştir. Açılan silindirik deliğe tabanca yardımıyla uygulanan kimyasal yapıştırıcının içerisinde herhangi bir boşluk kalmayacak şekilde ankrajın gömülme işlemi yapılarak priz alması için 24 saat beklenilmiştir. Ankraj elemanları, hidrolik piston vasıtasıyla yukarı doğru çekilerek yük alması sağlanmıştır. Hidrolik piston ile çekme testi işlemlerinde pistonu yük hücresi ve ankraj çubuğuna deplasman ölçer bağlanarak yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 1. Deney düzenegi

Yapılan testler sonucunda her bir numune için yük-deplasman grafikleri çizilerek deneyler takip edilmiş ve performans ile ilgili yorumlar yük-deplasman grafikleri kullanılarak yapılmıştır. Deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri kullanılarak maksimum aksenal çekme dayanımları, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları ve enerji tüketim kapasiteleri hesaplanmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar Tablo 4’te verilmiştir. Ayrıca testler sonucunda meydana gelen göçme mekanizmaları ve gözlemlenen genel yük-deplasman davranışı incelenerek kimyasal ankrajların davranışları ve göçme mekanizmaları ile ilgili yorumlar yapılmıştır.

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen kenar mesafesine göre çizilen yük-deplasman grafikleri Şekil 2’de, testler tamamlandıktan sonra meydana gelen göçme modları ile ilgili olarak seçilen fotoğraflardan örnekler ise Şekil 3’te verilmiştir.

### 3. DENEY SONUÇLARI

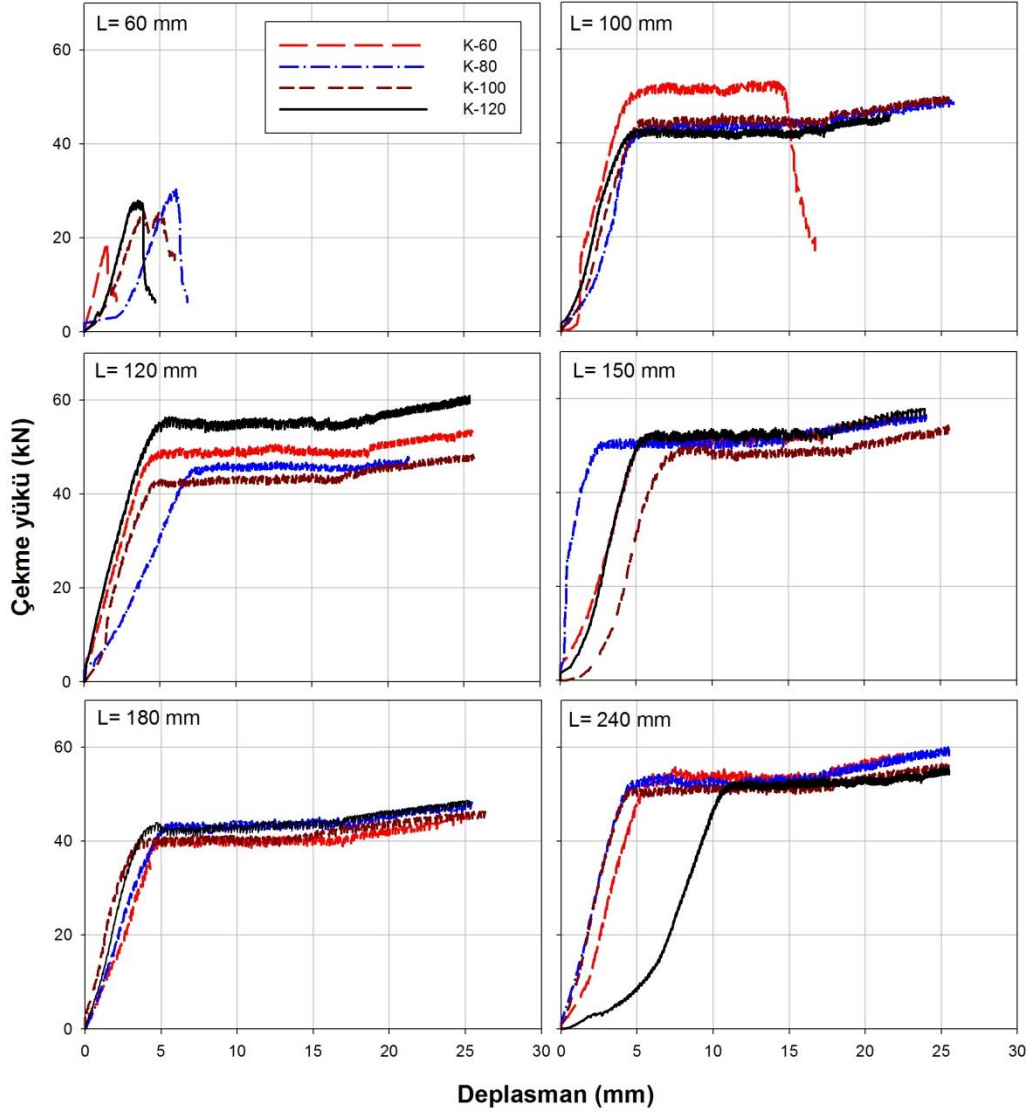
Bu çalışmada 12 mm çapa sahip B420C sınıfındaki nervürlü çubuklar farklı kenar mesafesi ve gömme derinliklerinde iki bileşenli yapıştırıcı ile ekilmişlerdir. Ekilen çubuklara aksel çekme kuvveti uygulanmış, deplasman ve uygulanan yük ölçülmüştür. Yapılan 24 deney sonucunda göçme modu, çekme kuvveti, aderans dayanımı, başlangıç rijitliği, deplasman süneklik oranı ve enerji yutma kapasitesi değerleri belirlenmiştir.

#### 3.1. Genel Gözlem ve Göçme Modları

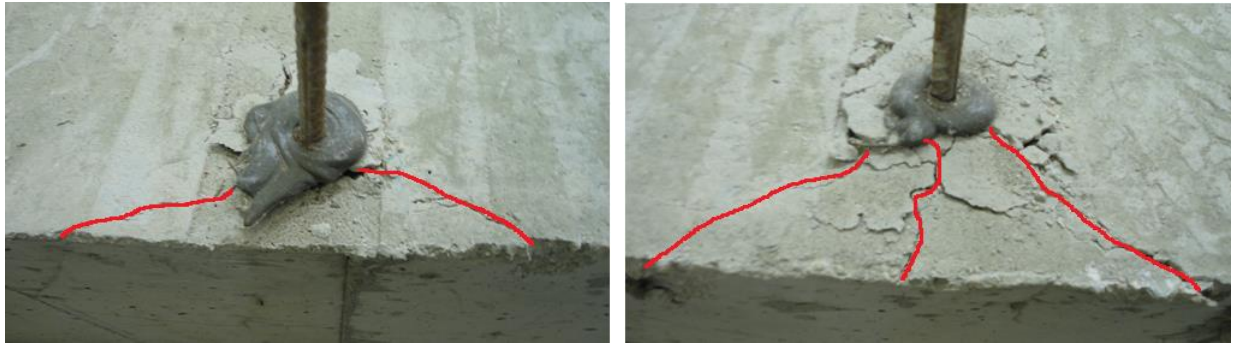
Yapılan 24 deney incelendiğinde göçme modlarının kenara ekme boyundan daha az mesafede ekilen çubuklarda beton yarılmaması şeklinde olduğu diğer ankrajlarda ise koni göçmesi ve sıyırılma durumlarının olduğu gözlenmiştir.

**Tablo 4.** Deneysel parametreler ve deney sonuçları

Derinlik (mm)	Kenar mesafesi (mm)	Çekme Kuvveti (kN)	Başlangıç Rijitliği (kN/mm)	Deplasman Süneklik Oranı	Enerji Yutma Kapasitesi (kN.mm)
60	60	18.88	12.27	1.02	65.66
60	80	28.84	4.73	1.02	196.25
60	100	25.49	6.66	1.1	213.17
60	120	27.92	7.85	1.09	227.76
100	60	53.21	11	3.35	1864.44
100	80	42.03	7.64	3.18	1646.18
100	100	43.55	8.06	3.22	1731.35
100	120	41.38	8.77	3.57	2106.67
120	60	47.52	9.99	3.91	1719.48
120	80	44.42	6.15	2.62	1964.27
120	100	41.79	8.02	3.24	1452.18
120	120	54.97	10.12	3.06	1935.42
150	60	50.13	9.18	3.15	2047.88
150	80	50.08	16.47	4.84	1630.75
150	100	47.66	6.37	2.53	1715.05
150	120	50.72	8.97	2.96	1710.24
180	60	39.01	7.95	3.45	1396.35
180	80	42.28	7.37	3.1	1589.34
180	100	39.83	10.81	4	1246.37
180	120	42.32	9.31	3.65	1487.34
240	60	52.26	8.32	2.7	2109.29
240	80	51.69	10.08	3.37	1882.28
240	100	50.16	10.32	3.66	1897.58
240	120	51.2	4.5	2.08	2070.06



Şekil 2. Yük-deplasman grafikleri



Şekil 3. Deney elemanları göçme mekanizması fotoğraflarından seçilen örnekler

### 3.2. Dayanım ve Başlangıç Rijitliği

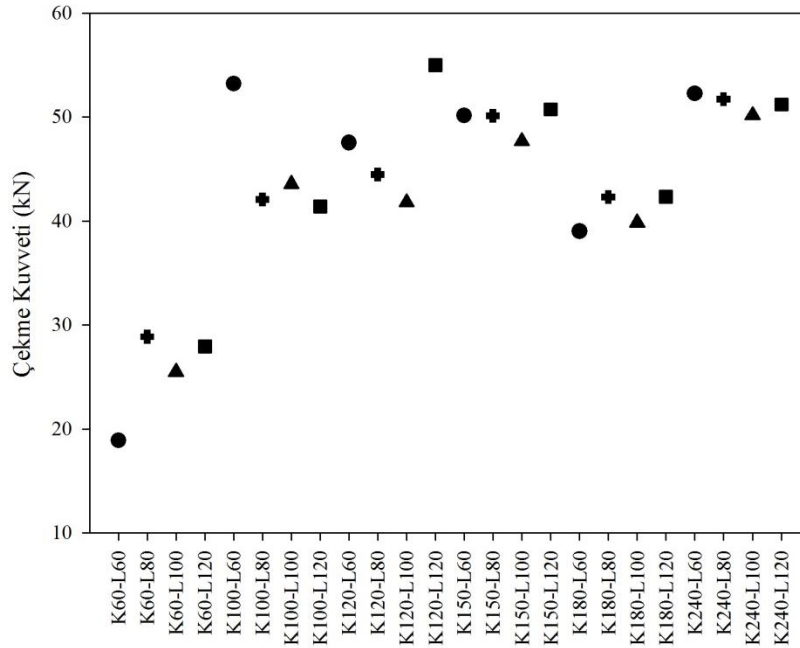
Kimyasal ankrajlara uygulanan aksel çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme kuvveti değerleri Şekil 4’te, deneysel çalışma sonucunda yapılan 24 deneye ait çekme kapasitesi ve başlangıç rijitlik değerleri Tablo 4’te verilmiştir.

60 mm derinliğe ekilen ankraj çubukları için ortalama çekme kuvveti değeri 25.3 kN, 100 derinlik için 45.0 kN, 120 mm derinlik için 47.2 kN, 150 mm derinlik için 49.6 kN, 180 mm derinlik için 40.9 kN ve 240 mm derinlik için ise ortalama çekme kuvveti 51.3 kN olarak bulunmuştur.

Kenar mesafesi 60 mm olan ankraj çubukları için ortalama çekme kuvveti değeri 37.3 kN, 80 mm mesafe için 43.2 kN, 100 mm mesafe için 41.4 kN ve 120 mm mesafe için ise ortalama çekme kuvveti değeri 44.8 kN olarak belirlenmiştir.

60 mm derinliğe ekilen ankraj çubukları için ortalama başlangıç rijitlik değeri 7.9 kN/mm, 100 mm derinlik için 8.9 kN/mm, 120 mm derinlik için 8.6 kN/mm, 150 mm derinlik için 10.2 kN/mm, 180 mm derinlik için 8.9 kN/mm ve 240 mm derinlik için ise ortalama değer 8.3 kN/mm olarak bulunmuştur.

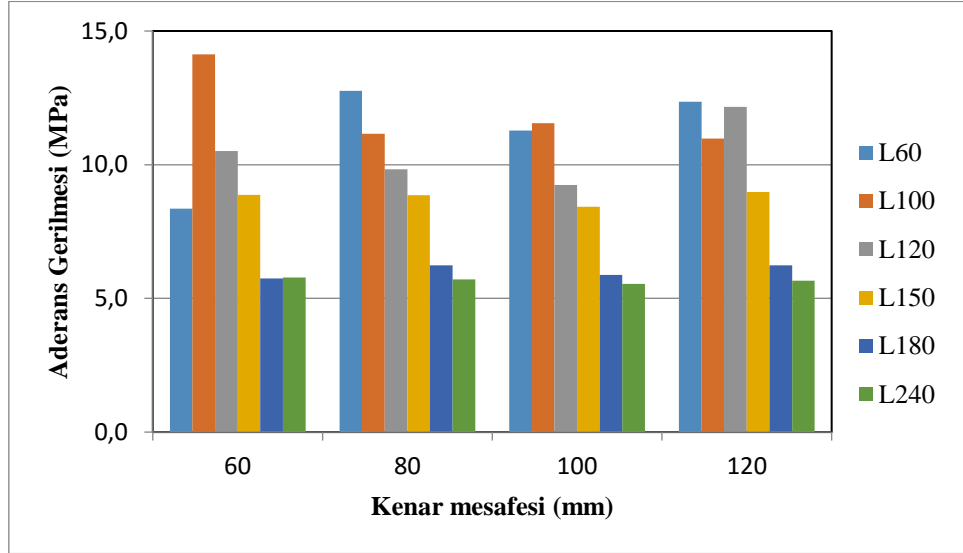
Kenar mesafesi 60 mm olan ankraj çubukları için ortalama başlangıç rijitliği değeri 9.8 kN/mm, 80 mm mesafe için 8.8 kN/mm, 100 mm mesafe için 7.8 kN/mm ve 120 mm mesafe için ise 8.5 kN/mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Çekme kuvveti değerleri

Değişen kenar mesafesi ve derinliklerde ekilen 24 adet deneyin aderans gerilmesi değerleri aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmıştır. Aderans gerilmesi değerleri Şekil 5’te verilmiştir. 60 mm derinliğe ekilen ankraj çubukları için ortalama aderans gerilmesi değeri 11.2 MPa, 100 mm derinlik için 12.0 MPa, 120 mm derinlik için 10.4 MPa, 150 mm derinlik için 8.8 MPa, 180 mm derinlik için 6.0 MPa ve 240 mm derinlik için ise ortalama değer 5.7 MPa olarak bulunmuştur.

Kenar mesafesi 60 mm olan ankraj çubukları için ortalama aderans gerilmesi değeri 8.9 MPa, 80 mm mesafe için 9.1 MPa, 100 mm mesafe için 8.7 MPa ve 120 mm mesafe için ise 9.4 MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Aderans gerilmesi değerleri

### 3.3. Deplasman Süneklik Oranı

Göçme tipleri ve yük-deplasman eğrileri dikkate alınarak 24 adet kimyasal ankraj çubuğunun deplasman süneklik oranları belirlenmiştir. Deplasman süneklik oranı; çekme kapasitesi değerinin %85'ine düştüğü kabul edilen göçme noktasına karşılık gelen deplasmanın akma noktasına karşılık gelen deplasman değerlerine oranlanması ile bulunmuştur. Yapılan 24 deneye ait hesaplanan deplasman süneklik oranı değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Derinlik açısından incelendiğinde; 60 mm derinliğe ekilen ankraj çubukları için ortalama deplasman süneklik oranı değeri 1.06, 100 mm derinlik için 3.33, 120 mm derinlik için 3.21, 150 mm derinlik için 3.37, 180 mm derinlik için 3.55 ve 240 mm derinlik için ortalama deplasman süneklik oranı değeri 2.95 olarak bulunmuştur.

Kenar mesafeleri açısından değerlendirildiğinde; kenardan 60 mm uzaklığa ekilen ankraj çubukları için ortalama deplasman süneklik oranları 2.93, 80 mm uzaklığa ekilen ankrajlar için 3.02, 100 mm uzaklığa ekilen ankrajlar için 2.96 ve kenardan 120 mm uzaklığa ekilen ankrajlar için ortalama deplasman süneklik oranı 2.74 hesaplanmıştır.

### 3.4. Enerji Yutma Kapasitesi

Deneylerden elde edilen yük-deplasman eğrilerinin göçme noktasına kadar olan bölümlerinin altında kalan alanın hesaplanması ile her bir numune için enerji yutma kapasitesi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan enerji tüketim kapasitesi değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Derinlik açısından incelendiğinde 60 mm derinliğe ekilen ankraj çubukları için ortalama enerji yutma kapasitesi değeri 175.71 kN.mm, 100 mm derinlik için 1837.16 kN.mm, 120 mm derinlik için 1767.84 kN.mm, 150 mm derinlik için 1775.98 kN.mm, 180 mm derinlik için 1429.85 kN.mm ve 240 mm derinlik için ortalama enerji yutma kapasitesi değeri 1989.80 kN.mm olarak bulunmuştur.

Kenar mesafeleri açısından değerlendirildiğinde; kenardan 60 mm uzaklığa ekilen ankraj çubukları için ortalama enerji yutma kapasitesi değeri 1533.85 kN.mm, 80 mm uzaklığa ekilen ankrajlar için 1484.85 kN.mm, 100 mm uzaklığa ekilen ankrajlar için 1375.95 kN.mm ve 120 mm uzaklığa ekilen ankrajlar için ortalama enerji yutma kapasitesi değeri 1589.58 kN.mm olarak hesaplanmıştır.

#### **4. ANALİTİK ÇALIŞMA**

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI 318 EK-D) [25], betona yapılan ankrajları beton dökümü esnasında yapılan ve sertleşmiş betona yapılan ankrajlar olmak üzere iki ana gruba ayırmıştır. Eksenel çekme kuvveti etkisi altındaki sertleşmiş betona yapılan kimyasal ankrajların göçme mekanizmaları; betonun konik kopması, konik kopma-sıyırılmanın birlikte oluşumu, ankraj donatısının sıyırılması, ankraj donatısının kopması ve betonun yarılarak göçmesidir. Deney elemanları için ACI 318 Ek-D’de belirtilen formülasyon kullanılarak hesaplanan analitik donatı, koni ve sıyırılma kapasitesi değerleri Tablo 5’te verilmiştir. Tasarım değeri; hesaplanan donatı, koni ve sıyırılma kapasitesi değerlerinin en küçük olanıdır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen tasarım değerleri-göçme modları, deney sonuçları ve göçme modlarıyla karşılaştırılmıştır (Tablo 5). Ankraj dayanım azaltma katsayısı; ACI 318 Ek-D’ye göre göçme şekli bakımından donatı ve beton hasarı olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada dayanım azaltma katsayısı olarak; sıyırılma hasarı, konik kopma, beton hasarı, donatısız beton, işçilik kalitesi ve ortam koşullarından çok etkilenen, güvenilirliği düşük hassasiyetli durum için olan 0.75 ve 0.65 değerlerinden ek donatı düzenlenmesi yapılmadığı için 0.65 değeri seçilmiştir.

Deneyel test sonuçları tasarım dayanımlarına oranlanarak güvenlik düzeyleri belirlenmiştir (Şekil 6). Değerler incelendiğinde yapılan 24 deneyin tamamının güvenlik katsayısı değeri (GK), 1’in üzerinde çıkmıştır. Gömme derinlikleri açısından incelendiğinde 60 mm derinliğe ekilen ankraj çubukları için ortalama güvenlik katsayısı değeri 2.9, 100 mm derinlik için 3.1, 120 mm derinlik için 2.6, 150 mm derinlik için 2.1, 180 mm derinlik için 1.4 ve 240 mm gömme derinliği için ortalama güvenlik katsayısı değeri 1.2’dir.

Kenar mesafeleri açısından değerlendirildiğinde; kenardan 60 mm uzaklığa ekilen ankraj çubukları için ortalama güvenlik katsayısı değeri 2.4, 80 mm uzaklığa ekilen ankrajlar için 2.3, 100 mm uzaklığa ekilen ankrajlar için 2.0 ve 120 mm uzaklığa ekilen ankrajlar için ortalama güvenlik katsayısı değeri 2.0 kN.mm olarak hesaplanmıştır.

#### **5. SONUÇLAR**

Bu çalışmada farklı gömme derinliği ve kenar mesafelerine iki bileşenli kimyasal yapıştırıcı ile ekilen 12 mm çaplı B420C sınıfındaki nervürlü çelik çubuklara eksenel çekme kuvveti uygulanmış, göçme modları ve yük-deplasman eğrileri elde edilmiştir. Bu eğrilerden başlangıç rijitliği, deplasman süneklik oranı ve enerji yutma kapasiteleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Göçme modları incelendiğinde; kenara ekme boyundan daha az mesafede ekilen çubuklarda beton yarılmaması şeklinde oluşurken diğer mesafelere ekilen ankrajlarda koni göçmesi ve sıyırılma durumlarının birlikte olduğu gözlenmiştir.

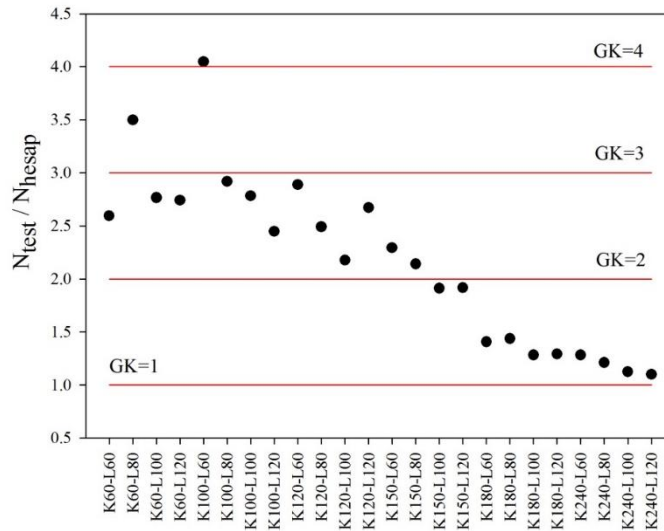
Farklı derinlik ve kenar mesafelerinde ekilen 12 mm çaplı 24 adet ankraj çubuklarına çekme kuvveti uygulanmıştır. Eksenel çekme yükleri altında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde çapın 15 katı derinliğe kadar ekilen ankrajlarda çekme kuvvetinin arttığı gözlenmiştir. Kenar mesafesi arttıkça da çekme kuvveti değeri artmaktadır.



**Tablo 5.** ACI 318 hesap değerleri, deney sonuçları ve göçme modları.

Numune Adı	Donatı Kap. kN	Koni Kap. kN	Sıyırılma Kap. kN	ACI 318 Hesap Değerleri		Deney Sonuçları	
				Tasarım Day. kN	Göçme Modu	Çekme Kuvveti (kN)	Göçme Modu
K60-L60	46.53	7.27	53.79	7.27	KK	18.88	BY
K60-L80	46.53	8.24	53.79	8.24	KK	28.84	BY
K60-L100	46.53	9.21	53.79	9.21	KK	25.49	KK
K60-L120	46.53	10.18	53.79	10.18	KK	27.92	KK
K100-L60	46.53	13.15	53.79	13.15	KK	53.21	BY
K100-L80	46.53	14.40	53.79	14.40	KK	42.03	S
K100-L100	46.53	15.65	53.79	15.65	KK	43.55	S
K100-L120	46.53	16.91	53.79	16.91	KK	41.38	S
K120-L60	46.53	16.46	53.79	16.46	KK	47.52	S
K120-L80	46.53	17.83	53.79	17.83	KK	44.42	S
K120-L100	46.53	19.20	53.79	19.20	KK	41.79	S
K120-L120	46.53	20.58	53.79	20.58	KK	54.97	S
K150-L60	46.53	21.85	53.79	21.85	KK	50.13	S
K150-L80	46.53	23.39	53.79	23.39	KK	50.08	S
K150-L100	46.53	24.92	53.79	24.92	KK	47.66	S
K150-L120	46.53	26.46	53.79	26.46	KK	50.72	S
K180-L60	46.53	27.72	53.79	27.72	KK	39.01	S
K180-L80	46.53	29.40	53.79	29.40	KK	42.28	S
K180-L100	46.53	31.08	53.79	31.08	KK	39.83	S
K180-L120	46.53	32.76	53.79	32.76	KK	42.32	S
K240-L60	46.53	40.74	53.79	40.74	KK	52.26	S
K240-L80	46.53	42.68	53.79	42.68	KK	51.69	S
K240-L100	46.53	44.62	53.79	44.62	KK	50.16	S
K240-L120	46.53	46.56	53.79	46.53	DK	51.2	S

KK: Konik kopma, DK: Donatı Kapasitesi, BY: Beton yarılması, S: Sıyırılma.



**Şekil 6.** Güvenlik katsayısı (GK) değerleri

Hesaplanan aderans gerilmeleri incelendiğinde gömme derinliği arttıkça gerilme değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Kenar mesafeleri ile ilgili bir değerlendirme yapılmamıştır. Enerji yutma kapasiteleri hem gömme derinliği hem de kenar mesafesi arttıkça artmıştır.

Analitik çalışma kısmında Amerikan Beton Enstitüsü tarafından yayınlanan standart kullanılmıştır. ACI 318 Ek-D’de belirtilen formülasyon kullanılarak analitik donatı, koni ve sıyırılma kapasitesi hesaplanmıştır. Tasarım değeri; hesaplanan donatı, koni ve sıyırılma kapasitesi değerlerinin en küçük olanıdır. Dayanım azaltma katsayısı olarak; sıyırılma hasarı, konik kopma, beton hasarı, donatısız beton, işçilik kalitesi ve ortam koşullarından çok etkilenen, güvenilirliği düşük hassasiyetli durum için olan 0.75 ve 0.65 değerlerinden ek donatı düzenlenmesi yapılmadığı için 0.65 değeri seçilmiştir. Tasarım değeri kapasite değeri ile dayanım azaltma katsayısının çarpımıdır.

Test sonuçları tasarım dayanımlarına oranlanmış ve güvenlik katsayısı değerleri bulunmuştur. Yapılan çalışmada tüm numuneler için güvenlik katsayısı 1’in üzerinde çıkmıştır. Gömme derinliği ve kenar mesafesi arttıkça güvenlik katsayı azalmıştır. Ama tüm deney numuneleri için güvenilir tarafta kalmıştır. Yapılan çalışma sonucunda kimyasal ankraj kapasite ve tasarım hesabı için ACI 318 Ek-D’nin uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Bu çalışma tekil ankraj üzerinedir. Uygulamada birden fazla ankraj sık aralıklarla ekilmektedir. Birden fazla ankraj ekildiği, kenar ve ankrajlar arası mesafelere uyulmadığı takdirde hesaplanan ankraj kapasite değerlerine ulaşmak zor olacaktır. Bunun için ASTM E 488’de [26] verilen ankraj ekme aralıkları ve kenar uzaklıkları değerleri kullanılabilir. Ancak yapılan çalışmalar incelendiğinde derin ankrajlar (ekme boyu > 8Ø) için verilen alt sınırlar yeterli olurken sığ derinlikteki ankrajlar (ekme boyu < 6Ø) için artırılması gerektiği belirtilmiştir. Bunun dışında uygulayıcıların ankraj ekimi sırasında dikkat etmesi gereken başka hususlar da bulunmaktadır. Bunlar açılan deliklerin temizliği, nemden ve tozdan arındırılması, uygun malzemenin seçilmesi, ankraj çubuklarının hava kabarcığı kalmayacak şekilde yerleştirilmesi vb. şeklindedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Cook RA. Behavior of chemically bonded anchors, ASCE Journal of Structural Engineering 1993; 119; 2744-2762.
- [2] Özen M.A. Düşük ve normal dayanımlı betonlarda epoksi ankrajların çekme davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye, 2010.
- [3] Çalışkan Ö. Mevcut betonarme binaların dış perde duvar ile güçlendirilmesinde ankraj uygulamalarının deneysel olarak araştırılması. Doktora tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 2010.
- [4] ACI 349. Qualification of post-Installed mechanical anchors in concrete and commentary, American Concrete Institute, Detroit, USA, 2007.
- [5] PCI design handbook-precast and prestressed concrete, 5th ed. Chicago: Precast/Prestressed Concrete Institute; 1999.
- [6] Darwin D, Zavaregh SS. Bond strength of grouted reinforcing bars. ACI Structural Journal 1996; 93: 486-495.

- [7] McVay M, Cook, RA., Krishnamurthy K. Pull out simulation of post-installed chemically bonded anchors. *Journal of Structural Engineering* 1996; 122: 1016-1024.
- [8] Obata M, Inoue M, Goto Y. The failure mechanism and the pull-out strength of a bond-type anchor near a free edge. *Mechanics of Materials* 1998; 28: 113-122.
- [9] Lotze D, Klingner RE, Graves HL. Static behavior of anchors under combinations of tension and shear loading. *ACI Structural Journal* 2001; 98: 525-536.
- [10] Zamora NA, Cook RA, Konz RC, Consolazio GR. Behavior and design of single, headed and unheaded, grouted anchors under tensile load. *ACI Structural Journal* 2003; 100: 222-230.
- [11] Shirvani M, Klingner RE, Graves HL, Breakout capacity of anchors in concrete part 1: tension. *ACI Structural Journal* 2004; 101: 813-820.
- [12] Strba M, Karmazinova M. Actual behavior and objective load-carrying capacity of tension steel expansion anchors to concrete. *Steel Structures and Bridges* 2012; 40: 440-444.
- [13] Kim J, Jung W, Kwon M, Ju B. Performance evaluation of post-installed anchor for sign structure in South Korea. *Construction and Building Materials* 2013; 44: 496-506.
- [14] Eligehausen R, Cook RA, Behavior and design adhesive bonded anchors. *ACI Structural Journal* 2006; 103: 822-831.
- [15] Higgins CC, Klingner RE, Effects of environmental exposure on the performance of cast-in-place and retrofit anchors in concrete. *ACI Structural Journal* 1998; 95: 506-517.
- [16] Gross JH, Klingner RE, Graves HL. Dynamic behavior of single and double near-edge anchors loaded in shear. *ACI Structural Journal* 2001; 98: 665-676.
- [17] Cook RA, Konz RC. Factoring fluencing bond strength of adhesive anchors. *ACI Structural Journal* 2001; 98: 76-86.
- [18] Özkul H, Mutlu M, Sağlam AR. Beton ankrajları. *Sika Teknik Bülten* 2001; 4.
- [19] Bajer M, Barnat J. The glue-concrete interface of bonded anchors. *Construction and Building Materials* 2012; 34: 267-274.
- [20] Epackachi S, Esmaili O, Mirghaderi SR, Behbahani AST. Behavior of adhesive bonded anchors under tension and shear loads. *Journal of Constructional Steel Research* 2015; 114: 269-280.
- [21] Tondolo F. Bond behaviour with reinforcement corrosion. *Construction and Building Materials* 2015; 93: 926-932.
- [22] Turker HT, Ozbay E, Balcıkanlı M. Pullout capacity development of cast in place anchors with embedded studs. *Construction and Building Materials* 2016; 102: 39-43.
- [23] Richardson AE, Dawson S, Campbell L, Moore G, Mc Kenzie C. Temperature related pull-out performance of chemical anchor bolts in fibre concrete. *Concrete and Building Materials* 2019; 196: 478-484.

- [24] Hlavicka V, Lubloy E. Concrete cone failure of bonded anchors in thermally damaged concrete. *Construction and Building Materials* 2018; 171: 588-597.
- [25] ACI 318. Building code requirements for reinforced concrete. American Concrete Institute. Detroit, USA, 2008.
- [26] ASTM E 488. Standard test methods for strength of anchors in concrete and masonry elements. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia 1984.