

# Düzce İlindeki Betonarme Binaların Yeniden Yapılanma Sürecinde İncelenmesi

İlyas UYGUR  
Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü  
81620, DÜZCE

## ÖZET

17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremleri, yüzyılın en büyük deprem felaketlerinden birisi olup, Düzce ilinde çok büyük hasarlara neden olmuştur. Depremden sonra yapılan çalışmalarda, yıkılan veya hasar gören binaların çok katlı yapılar olduğu belirlenmiştir. Binaların hasar durumları Bayındırlık Bakanlığı elemanları tarafından belirlenerek ağır, orta ve hafif hasarlı yapılar şeklinde sınıflandırılmıştır. Bu sonuçlara göre orta ve ağır hasar olan yapılarda güçlendirme çalışmalarına başlanmıştır. Bu çalışmada, yıkılmış ve/veya hasar görmüş yapılardan, inşaat çelik numuneleri ve beton numuneleri alınmış ve malzemelerin mühendislik özellikleri incelenmiştir. Bununla birlikte yeniden yapılanma sürecine giren Düzce'deki yeni binalarda kullanılan beton ve çelik numunelerinde mühendislik özellikleri incelenmiştir. Korozyona uğramış çelik donatıların mühendislik özelliklerinde ne gibi değişiklikler olduğu deneylerle belirlenmiş olup, üç farklı durumda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Açık havada 1 yıl süre ile korozyona maruz bırakılan numunelerden elde edilen deney sonuçlarının da standartları sağlamadıkları gözlenmiştir. Ayrıca sabit olmayan çekme hızlarındaki mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile de deneyler yapılmıştır. Yüksek hızlardaki çekme deneylerinde malzeme hızla pekleşerek gevrekleşmekte ve aniden kırılmaktadır. Yerinde yapılan incelemelerde, genel olarak binalarda kullanılan çelik donatıların, bir çoğu hurda demirden soğuk ve sıcak olarak haddehanelerde şekillendirilmiş olduğu ve istenilen standartları sağlamadığı, buna karşılık yeni yapılan binalarda kullanılan donatıların ise standartları büyük ölçüde sağladığı yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir. Depremde yıkılmış veya hasar görmüş binalardan alınan beton numunelerin yaklaşık % 60'ının standart dışı olduğu, donatılarda ise bu oranın yaklaşık olarak %75 olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem, Beton, İnşaat Çeliği, Korozyon

## An Investigation of Reinforced Concrete Buildings Through Reconstruction Process in Düzce

### ABSTRACT

August, 17 and November, 12 1999 earthquakes were one of the most serious disasters of this century and Düzce has been struck by these two major earthquakes. After the earthquakes some studies shown that collapsed or damaged structures were high buildings. Damage situation of these buildings were determined by the Ministry of Public Work and Settlements staff. Buildings were classified light, medium, and heavy. They were maintained and reconstructed. In this study, concrete and steel samples from collapsed and damaged buildings were collected and investigated their engineering behaviors. Besides this, the recent concrete and steel samples which would be used in new buildings were also collected and tested. The effects of corrosion on engineering properties were also considered and compared with other groups of the mild steel. One year atmospheric pollution caused corrosion which decreases the engineering properties of this materials, hence they were out of standard. Also some tests were carried out to the effect of high deformation speed on the engineering properties. In high speed tensile test; reinforcement steel bars have suddenly strain hardened and this caused brittle fractures. The present study shown that the mild steel which had been used in the previous buildings were cold and hard rolled and they were produced in the local workshops. These were far from the standards. The reinforced bars used in the recent buildings have showed perfect mechanical behaviors within the standards. Parallel to the results of old mild steel (%75), concrete in old buildings have also shown nearly 60% out of standard.

**Key Words:** Earthquake, concrete, reinforcement steel bar, corrosion

### 1. GİRİŞ

#### 1.1. Genel Bilgiler

Düzce ili Batı Karadeniz bölgesinde İstanbul ve Ankara metropolü koridoru üzerinde konumlanmış olup kuzeyde Zonguldak, doğu ve güneyde Bolu, batısında Sakarya illeri ile komşudur. 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 Deprem felaketlerinde ilçe olan Düzce 9.12.1999 tarih 23091 sayılı resmi gazetede yayımlanan kanun hükmünde kararname ile il olmuştur. Düzce aktif dep-

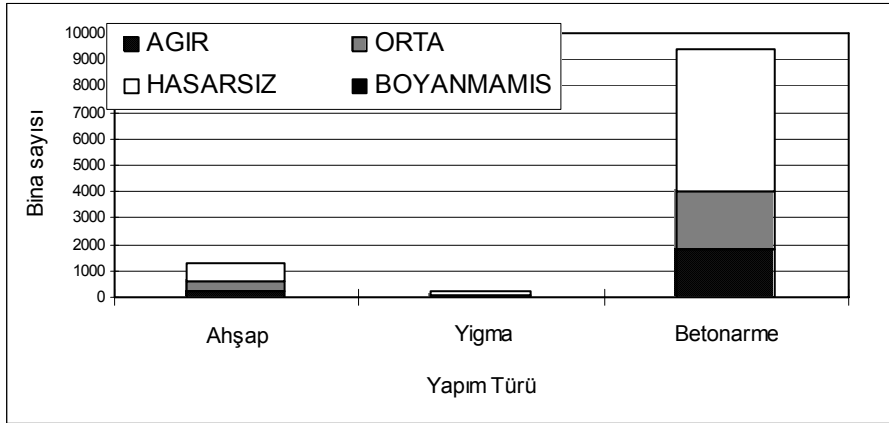
rem kuşağı içinde yer almaktadır. Düzce arazisi henüz oturmuş ve yerleşmiş değildir. Bu nedenle konveksiyon ve çökme hareketleri başlıca faktördür (1). İl, temel kayalardan uzak (en yakını 5 km) güney-batıya doğru 0.5-3 derecelik eğime sahip ovada yerleşmiştir. Akarsu, kanal ve taşkın ovası çökel alanları üzerinde bulunmakta ve genişlemektedir. Bu kesimlerdeki tortul kalınlığı 175-225 m arasındadır. Asar suyu ve Melen çayı şehrin içinden geçer ve düzenlenmemiş kanal yerlerinden taşma yapar. Aktif yerleşim alanlarının büyük çoğun-

luğu silt ve kil, daha az oranda kum ve çakıllardan oluşur. Düzce ovasının, taşkından korunan bölgelerinde kalın bir toprak örtüsü gelişmiştir. Buralarda yüzeyden itibaren su tablası derinliği 2.5-3.5 m arasındadır ve güneye doğru gittikçe sığlaşır.

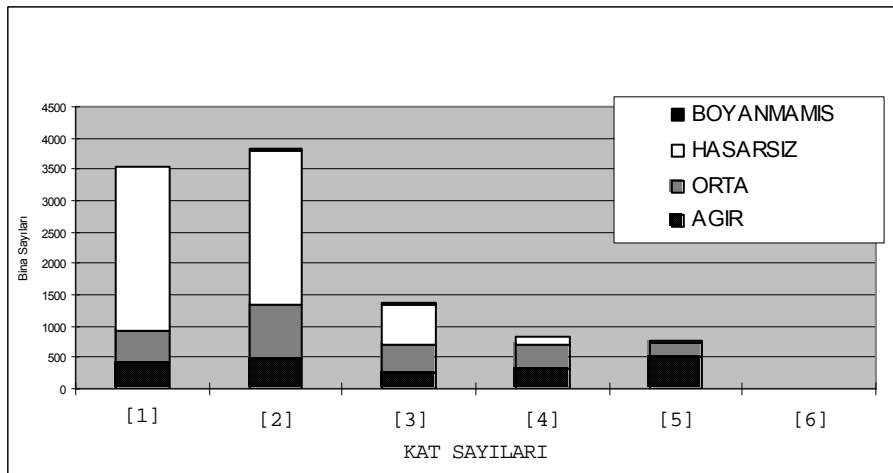
### 1.2. 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 Depremlerinin Düzce İline Etkileri

Düzce’de 1980-1998 yılları arasında endüstrinin hızla ilerlemesi ve paralelinde kente gelen göç, konut talebini arttırmış ve plansız yapılaşmaya neden olmuştur. Bunun yanı sıra, sağlıksız bir zemin üzerine kurulmuş olan eski binalara kat eklenmesi yoluna gidilmiştir. Yeni yapılar hızlı bir şekilde üretilirken, işçilik ve malzeme kalitesi büyük oranda göz ardı edilmiştir. Bu binaların yapım süreçlerinde sağlıklı bir denetimde yapılamamış olduğundan büyük bir çoğunluğunda statik ve mimari açıdan da ciddi hatalar mevcuttur. Binaların çoğunda ana caddeye cephesi olanların kat irtifalarına dikkat edilmemiştir. Ayrıca yeni yapılan binalardan, bitişik nizam şeklindeki yapılmış olanlar, mimari doku içerisinde eski yapılarla da birleşik yapılmış olup, bu durum eski binaların taşıyıcı konstrüksiyonuna zarar verecek yıkımların artmasına neden olmuştur.

Düzce’de 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinde büyük mal ve can kayıpları meydana gelmiştir. Resmi kayıtlara göre 16666 konut ve 3837 işyeri yıkılmış, 13541 konut ve işyeri orta hasar almış ve 14676 konut ve işyeri de az hasarlı hale gelmiştir. Bu yıkımda, 980 kişi hayatını kaybetmiş, 3840 kişide yaralanmıştır. Bir başka deyişle; Düzce il merkezindeki betonarme ve karkas yapıların yaklaşık % 90 yıkılmış veya hasar görmüştür (2-3). İki büyük deprem sonrası meydana gelen hasarlar incelendiğinde, betonarme binaların büyük oranda zarar gördükleri, özellikle 4 katın üzerindeki yapılarda ağır hasar meydana geldiği görülmüştür (Şekil 1). Kat adetlerine göre hasar durumları değerlendirildiğinde 5 katlı yapıların neredeyse tamamının (%97) hasar aldığı, 4 katlı binaların yaklaşık %85’inin, 3 katlı binaların yaklaşık %55’inin, 1 ve 2 katlı yapıların ise yarısından daha azının hasarlı oldukları görülmüştür (Şekil 2). Bu durumda, taşıma gücü zayıf zeminlere oturan yapılarda kat sayısı azaltılarak, deprem rezonansına maruz kalmaları engellenebilir. Böylece yıkım ve hasar miktarı azaltılabilir. Çok katlı binalar ise dinamik yüklemeye olan deprem esnasında deprem rezonansına maruz kalarak çok ciddi hasarlar almaktadırlar.



Şekil 1. Farklı türdeki yapıların deprem sonrası hasar durumları



Şekil 2. Yapıların Kat sayılarına göre hasar durumları

Düzce ilinde deprem sonrası hasar tespiti çalışmalarının tamamlanmasından sonra binalar ağır, orta ve hafif hasarlı olarak sınıflandırılmıştır. Ancak bu sınıflandırmalar teknik personel yetersizlikleri nedeniyle sağlıklı bir şekilde yapılamamıştır. Bu durum hasar sınıflandırılmasında değişiklikler yapılmasına yol açmıştır.

### 1.3. Düzce İlinde Güçlendirme Çalışmaları

2004 Ekim ayı itibarıyla Düzce ilinde güçlendirme yapılmış bina sayısı yaklaşık 1200'dür. Güçlendirme çalışmalarının 2004 yılı sonuna kadar tamamlanması planlanmıştır. İl bazında güçlendirme ve onarım çalışmaları 17 Ağustos depreminin hemen akabinde başlamış, fakat 12 Kasım depreminin meydana gelmesi bu çalışmaları durdurmuştur. 12 Kasım depreminden kısa bir süre sonra hasarlı binalar tespit edilmiş ve 2000 yılı itibarıyla çalışmalar başlamıştır. Bayındırlık Bakanlığı ve Belediyenin talimatlarıyla bu işlemlerin iki yıl içerisinde bitirilmesi planlanmıştır. Bu çerçevede Düzce ilinde yoğun olarak güçlendirme çalışmaları 2000-2001 tarihleri arasında yapılmıştır (Tablo1). Ancak, halen şehir merkezinde ve kenar mahallelerde, hasarlı olmasına rağmen herhangi bir güçlendirme ve onarım yapılmamış binalar bulunmaktadır. Bu binalar, yeniden meydana gelebilecek olası bir depremde potansiyel risk durumundadırlar. Güçlendirme çalışmalarının yapımı için gerekli ön şart, güçlendirme yapacak kişi yada kuruluşlarda PM belgesine sahip personel bulundurulması zorunluluğudur. Güçlendirme çalışmalarında öncelikli kriter; projenin ilk mimari projesine uygunluğudur. Di-



Şekil 3. Tipik kolon güçlendirmesi

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada birinci olarak, Düzce il merkezinden yirmi adet yıkılmış çok katlı binaların taşıyıcı elemanları olan, kolon, kiriş, perdelerden  $\phi 8-10-12-14$  ve  $\phi 16$ 'lık donatılardan ikişer adet numune alınmıştır. Çelik donatıların alındıkları binalara ait detaylar Tablo 2 de verilmiştir. Bu numunelerin çekme, akma ve kopma mukavemetleri belirlenmiştir.

Tablo.1 2000-2001 Yılları Arasında Yapılan Güçlendirme Çalışmaları (4)

YILLAR	AYLAR												Güçlendirilen Bina Sayısı Toplamı	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
2000										39	103	115	71	328
2001	66	114	61	36	35	68	43	80	18	40	24	71	656	

ğer bir kriter ise projenin ruhsattaki kat adedi, çatı katı vs. açısından uygunluğudur. Düzce ilindeki güçlendirme çalışmaları Yapı denetim şirketlerinin yanı sıra belediye tarafında da denetlenmektedir. Depremden sonra hasar gören kolonların etrafı nervürlü inşaat çelikleri kullanılarak mantolanmış ve perde duvar haline dönüştürülerek güçlendirilmiştir (Şekil 3).

Bu çalışmada, hasar görmüş veya yıkılmış betonarme binalardan geometrik şekli bozulmamış kolon, kiriş, perde vb. taşıyıcı elemanlardan donatılar ve beton numuneleri alınarak bunların mühendislik özellikleri araştırılmıştır. Bununla birlikte hızla yapılaşan ilde, yeni yapılardan da numuneler alınarak, beton ve çelik donatıların mühendislik özellikleri de belirlenmeye çalışılmıştır.

İkinci olarak ise, 12 Kasım 1999 Depremi sonrasındaki yapılaşmanın ne kadar sağlıklı olduğunu belirlemek amacıyla, Düzce ilinde inşaat malzemesi satan büyük ve orta ölçekli 10 farklı işletmeden, ve 7 farklı binalardan, muhtelif çaplarda nervürlü donatı örnekleri alınarak çekme deneyine tabii tutulmuştur. Bunlara ilaveten A.İ.B.Ü Düzce kampüsündeki inşaatlardan açık havada korozyona maruz kalmış (1 yıl) çeliklerden numuneler alınarak bu numuneler de yeni ve eski çeliklerle karşılaştırılmıştır. Tüm çekme deneyleri TS 708'e göre yapılmış olup (6), numune boyları standartta belirtildiği üzere 10 d (çap) olarak alınmıştır. Çekme deneyi 0.14-1.15mm/sn hızla laboratuvar ortamında yapılmıştır. Deneylerde kullanılan donatıların kimyasal bileşenleri Tablo 3' te verilmiştir.

Tablo 2. Düz inşaat çelik malzemelerin alındığı binalara ait bilgiler

No	Kat Adedi	Bina Yaşı	Alınan Numuneler	Alınan kısımlar	Binanın Durumu
1	5	15	φ8-φ12	Kolon	Yıkık
2	5	34	φ8	Etriye	Yıkık
3	4	14	φ8-φ12-φ16	Kolon-Kiriş-Etriye	Yıkık
4	6	18	φ12-φ16	Kolon-Kiriş	Yıkık
5	6	23	φ10-φ16	Kolon-Kiriş	Ağır Hasar
6	5	25	φ14	Kolon	Yıkık
7	3	16	φ8-φ14	Etriye-Kiriş	Yıkık
8	6	27	φ8-φ16	Etriye-Kolon	Yıkık
9	7	20	φ8-φ10-φ12-φ16	Kolon-Kiriş-Etriye-Döşeme	Ağır Hasar
10	6	12	φ8-φ16	Etriye-Kolon	Yıkık
11	6	23	φ8	Döşeme Beton	Yıkık
12	6	28	φ8-φ14-φ16	Kolon-Kiriş-Etriye-Döşeme	Yıkık
13	5	34	φ12	Kiriş	Yıkık
14	3	25	φ8-φ12-φ16	Etriye-Kolon	Ağır Hasar
15	6	18	φ8-φ16	Döşeme-Kolon	Yıkık
16	4	19	φ12-φ16	Etriye-Kolon	Ağır Hasar
17	5	24	φ10-φ12-φ16	Döşeme-Kolon	Yıkık
18	6	26	φ8-φ12	Kiriş-Kolon	Yıkık
19	6	27	φ10	Kolon	Ağır Hasar
20	6	21	φ10-φ12-φ16	Kolon-Kiriş-Döşeme	Yıkık

Tablo 3. Deneylerde kullanılan tipik inşaat çeliklerinin temel kimyasal elementleri

Malzeme	Elementsel % Ağırlık Kütlece	C	P	S
ST I - Düz inşaat çeliği		0.25	0.05 max	0.05 max
ST III Nervürlü inşaat çeliği		0.40	0.05 max	0.05 max

Atom Teknik Üniversal Çekme-Basma Hidrolik Test Cihazı ile yapılmış olup, deneylerde uygulanan yük ve uzama-kısalma değerleri otomatik olarak ölçülüp bilgisayarda Excel dosyası olarak kayıt edilmiştir. Deneylerin yapıldığı cihaz 500-500000 N kapasiteli ve 100 N hassasiyetli olup laboratuvar sıcaklığı da 23 °C'dir.

Yukarıda belirtilen çalışmalara ek olarak deprem öncesi ve sonrası betonarme binalarda beton kalitesini belirlemek amacı ile Ultrasonic Pundit ve Schmidt test çekiciyle ölçümler yapılmıştır. Deneylerde kullanılan CNS Farnell Ultrasonik Dijital Test Cihazının, zaman ölçüm oranı: 0.1 µs ~ 9999 µs, hassasiyeti: ± 0.1 µs, giriş aralığı: 250µV ~ 5kHz ve 1 MHz, 2 sn aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Ölçüm öncesinde ölçüm yapılacak taşıyıcı yapı elemanlarında düzgün bir yüzey elde edilmiştir. Ölçümler iki prob yüzeyine de ultrasound iletimini kolaylaştıran özel gress yağı sürülerek yapılmıştır. İncelenen kolon, kiriş, ve döşeme betonlardan alınan ölçüm değerlerinden karakteristik beton dayanımı belirlenmiş ve minimum olan değer, binanın beton kalitesi olarak ifade edilmiştir. Bu ölçümlerde elde edilen beton kaliteleri, Deprem Afet Yönetmeliğine göre Tablo 4' te gösterilmiştir. Bu çalışmada elde edilen bütün beton karot numuneleri konutlardan alınmış ve karşılaştırma-

lar yönetmeliğin konutlar için zorunlu kıldığı minimum mukavemet sınırı olan 16 MPa değerlerine göre yapılmıştır.

Tablo 4. Deprem Afet Yönetmeliğine göre beton kaliteleri (7)

Sınıfı	Beton sınıfı	Basınç Dayanımı (MPa)
Deprem sonrası hemen kullanılması gereken hastane, itfaiye, haberleşme, ulaşım, okul, cezaevi, yurt, askeri binalar ve müzeler	C 20/25	20-25
Normal yapı konutları	C16/20	16-20

### 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Betonarme kompozit olarak adlandırılan; farklı malzemelerin bir araya gelmesi sonucu ortaya çıkan bir yapıdır. Bu yüzden; betonarme içerisindeki demir ve betonun mekanik özelliklerinin iyi irdelenip, hasar ve yıkımlardaki payı tespit edilmelidir. Bu çerçevede demir ve betonun sadece çekme, basma, eğme ve kesme davranışlarını incelemek yeterli olmamaktadır. Çünkü bir çok mühendislik yapıları makine titreşimleri, deniz dalgaları, rüzgar ve kar yükleri, araç trafiği ve deprem gibi tekrarlı yüklere maruz kalmaktadır. Yorulma olarak da adlandırılan bu mekanik yükler binanın rijitliğini azaltmakta ve çatlak ve kırıkların oluşup büyümesine neden olmaktadır. Genel olarak 1 ila 100 arasındaki yüklenme sayısı; düşük tekrarlı yorulma (Low Cycle Fatigue) olarak adlandırılır ve bu durum depremlerde ortaya çıkar. Kısa sürede yüksek değerlerdeki mekanik kuvvetlerin yapı sistemine uygulanması, sistemin rijitlik ve dayanımını azaltarak ciddi hasarlar görmesine neden olur (8).

Betonarme yapı; kırık, yarık, çatlak, hava boşluğu, segregasyon (kaba agregaların bir yerde toplanması) ve çekme çatlakları gibi bir çok hatanın doğal olarak meydana geldiği heterojen bir yapıdır. Yorulma, gerilmelerin bu noktalara yoğunlaşmasına neden olmakta ve en büyük hatanın bulunduğu yerde çatlak oluşmaktadır. Daha sonra, bu çatlak yavaş ve sürekli olarak büyümekte ve kritik büyüklüğe ulaşmaktadır. Sonuç olarak, bu mikro çatlaklar birleşerek ana çatlak oluşturmakta ve yapının yıkılmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda, yorulma dayanımı, beton ve demirin mekanik özelliklerinden direkt olarak etkilenmektedir. Bunun yanı sıra

%60'ının elastik modüllerinin çok yüksek olduğu görülmektedir. Bir çok düşük/orta karbonlu çelik için ortalama elastik modülü 207 GPa olarak verilmiştir (9). Yüksek elastik modül ve yetersiz mekanik özellikler, soğuk çekme ve hurda demir kullanımından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Hurda demir içerisindeki karbon, silisyum, kükürt ve fosfor gibi elementler kritik değerleri geçtiğinde, çeliğin mekanik dayanımlarında önemli düşümlere neden olmaktadır. BS 4449'a göre maksimum S= % 0.06, P = %0.06, Mn= %0.65 Si= %0.25 ve C= %0.25'ten fazla olmamalıdır (10). Bu değerlerin kontrolü hurda demirlerde mümkün

Tablo 5. 12 Kasım Düzce depremi sonrası yıkılan veya ağır hasar gören yapılardan alınan düz inşaat çelik malzemelerin çekme deney sonuçları

Deney No	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Elastik Modül (GPa)	Kopma Uzunluğu (%)
1	500	350	378	215	18
2	579	363	500	213	9
3	330	312	240	220	6
4	320	215	210	209	13.2
5	430	300	332	212	19
6	500	391	452	207	12
7	331	210	223	199	10.93
8	450	312	295	217	11
9	438	403	300	190	18.56
10	525	397	393	190	14.9
11	433	308	315	211	4.6
12	452	290	342	201	21.03
13	335	218	213	189	11.7
14	432	335	317	191	13.6
15	324	205	227	217	8.38
16	480	320	342	207	18.7
17	458	297	330	151	11.02
18	330	249	218	207	5.23
19	427	303	270	193	7.61
20	294	202	183	101	10

yorulma, yükleme türüne, sıklığına, büyüklüğüne, adedine, betonarme elemanlarının miktarına ve kimyasal bileşenlerine bağlı olarak değişmektedir. Betonarme içerisindeki çelik, çekme gerilmelerini karşılamaktadır. Beton ise basma dayanımı karşılamaktadır. Bu iki öğenin bir araya gelmesiyle aderans sağlanır ve mükemmel bir kompozit ortaya çıkar. Bu yapı ideal bir yük taşıma kapasitesine sahip olup, çelik sayesinde kırılma çatlakları da yavaş ilerler. Bu durum yapının daha sünek kırılmasına neden olur.

### 3.1. İnşaat Çeliklerine Ait Deneysel Verilerin Değerlendirilmesi

12 Kasım Düzce depremi sonrası yıkılmış veya hasar görmüş binalardan alınan düz inşaat çeliklerine (ST I) ait deneysel veriler Tablo 5'te, deprem sonrası yapılarda kullanılan ST III tipi nervürlü inşaat çeliklerine ait deneysel veriler ise Tablo 6'da gösterilmiştir. Tablo 5'te görüldüğü gibi inşaat çeliklerinin ancak %25'inin istenilen özelliklerde, %35'inin kısmen istenilen özelliklerde ve %40'da tamamen standart dışı mekanik özelliklerdedir. Yine aynı tablodan, çeliklerin

olmadığından, mekanik değerler standartların altında kalmıştır. Benzer bulgular Gana'da tespit edilmiştir. Haddehanelerde üretilmiş inşaat çeliklerinin çok değişik gerilim-gerinim özellikleri gösterdikleri belirlenmiş ve bir çoğunun ülke standartları altında kaldığı tespit edilmiştir. Özellikle gevrek olarak kırılan bu demirleri yapılarda kullanmak deprem ve dinamik yükleme şartlarında çok tehlikelidir (11). Ülkemizde 17 Ağustos ve 12 Kasım depremlerine kadar çok yüksek miktarlarda gemi sacı veya hurda demir olarak ifade edilen farklı bileşen ve kesitlerdeki demir-çelik ürünleri haddehanelerde muhtelif çaplarda soğuk veya sıcak olarak şekillendirilmiş ve bir çok yapıda kullanılmıştır. Bu demirler ST I tipi inşaat çeliği olarak adlandırılmıştır. Aşağıdaki tabloda verilen oranlara benzer değerlerin, ülkenin bir çok yerinde de ortaya çıkabileceği muhtemeldir. Bu yüzden, birinci derece deprem bölgelerindeki binalarda, herhangi bir hasar oluşmadan gerekli bakım onarım ve güçlendirme çalışmalarının bir an önce başlatılması yerinde olacaktır. Ayrıca bu bölgelerdeki betonarme harici yapılar da güçlendirilerek, depremlerden en az hasarla kurtulması sağlanabilir. Valluzi ve arkadaşları (12),

İtalya'da hasar görmüş veya yıpranmış bir çok tarihi eseri nervürlü çelikleri çok yönlü gömme tekniği (multi-directional) kullanmak suretiyle güçlendirmişlerdir.

demirler de sünek olarak kırılmıştır. Bu malzemelerde, kesit daralması ve uzama oranları ST III çeliği kadar olmasa da, dış kısımlarda belli miktarlarda boyun verme

Tablo 6. Düzce bölgesinde yapılan yeni binalarda kullanılan ST III tipi nervürlü inşaat çeliklerine ait çekme deney sonuçları

Deney No	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Elastik Modül (GPa)	Kopma Uzunluğu (%)
1	608	506	400	208	11.02
2	765	456	586	207	14.7
3	709	425	528	196	12.2
4	651	421	555	250	13.3
5	545	360	500	207	12.4
6	681	481	544	220	19.3
7	590	487	340	205	12.3
8	743	523	611	210	14.8
9	676	434	524	213	12.2
10	628	462	442	204	11.12
11	622	429	560	208	12.87
12	664	420	484	203	10.12
13	466	380	304	176	8.66
14	690	422	583	200	12.92
15	675	436	419	220	12.75
16	726	453	574	204	16
17	728	443	555	207	14
18	724	444	559	205	16
19	758	457	632	198	17.6
20	584	430	400	193	18

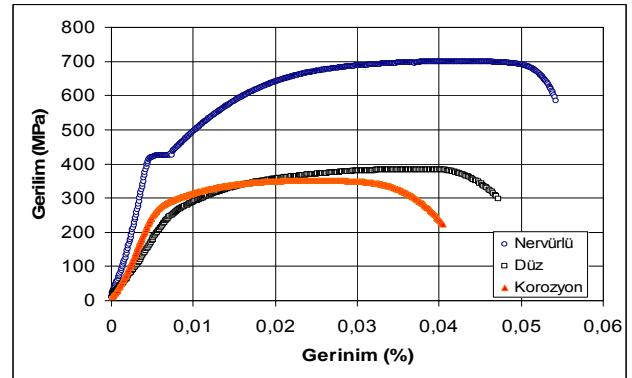
Tablo 7'de ise, Deprem Afet Yönetmeliği'nde (7) tavsiye edilen nervürlü inşaat çeliklerine ait dayanım değerleri verilmiştir. ST I tipi çeliklerinin tersine %95 oranındaki test edilen ST III çelikleri, istenilen mekanik değerleri sağlamıştır. Fakat halen az bir oranda da olsa, standart dışı inşaat çelikleri piyasada bulunmakta ve yapılarda kullanılabilirlerdir.

Tablo 7. Düz ve Nervürlü inşaat çeliklerine ait TS 708 de istenilen bazı mekanik değerler

Malzeme	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Akma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma Uzunluğu (%)
ST I Düz	340	220	18
ST III Nervürlü	500	420	10-12

Şekil 4'te de, düz, nervürlü ve korozyona maruz kalmış düz inşaat çeliğinin gerilim-gerinim grafikleri gösterilmiştir. Nervürlü inşaat çeliği tipik düşük karbonlu çelik özelliklerini göstermekte, üst ve alt akma dayanımları net olarak tespit edilebilmektedir. Yüksek dayanımlara sahip nervürlü demir, aynı zamanda çok iyi bir uzama ve kesit daralması da göstererek, sünek bir şekilde kopmuştur (Şekil 5). Benzer kırılma eğrisi ve şekli hemen hemen tüm nervürlü demirlerde gözlemlenmiştir. Buna karşın düz demir, düşük gerilim ve gerinim özellikleri göstermiş, alaşım elementlerinin kontrolsüzlüğü sebebiyle, net bir akma noktası gözlemlenmemiştir. Ayrıca, soğuk şekillendirme oranının fazla olması, kükürt, fosfor ve silisyum gibi elementlerin de fazla miktarlarda bulunmasından dolayı, bir çok numune gevrek olarak aniden kırılmıştır (Şekil 6). Bununla birlikte standartlara uygun olan az miktardaki düz

olmakta ve makro görüntünün sünekliğini sağlamaktadır.



Şekil 4. Nervürlü inşaat çeliği, düz inşaat çeliği ve bir yıl açık havada korozyona maruz kalmış düz inşaat çeliğinin gerilim-gerinim grafiklerinin karşılaştırılması.



Şekil 5. ST III tipi numunenin sünek kırılması



Şekil 6. ST I numunenin gevrek kırılması

İnşaat çeliklerinin mekanik özelliklerine etki eden diğer bir faktör de korozyondur. Korozyon, metal ve alaşımları doğal koşulların (rutubet, nem, hava kirliliği) etkisiyle aktif olan elementler, metal ile reaksiyona girerek stable (denge) hale gelmeleri olarak tanımlanabilir. Korozyona maruz kalmış metalik malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilenir. Atmosferik korozyona maruz kalan demir, betonarme yapının kullanım ömrünü düşürdüğü gibi, deprem gibi ani yüklemelerde de en zayıf noktayı teşkil ederek çatlak ve kırıkların buradan oluşumuna neden olarak, yapının yıkılmasına yol açabilmektedir. Özellikle bodrum katlar rutubet ve nemin fazla olduğu yerlerdir. Yapı elemanındaki pas payı da yetersiz ise, donatılar korozyona maruz kalarak, çapları azalmakta ve bu durum mekanik özellikleri düşürerek, yapının daha çabuk zayıflamasına neden olmaktadır. Ülkemizde demir malzemeler gerek nakliye gerekse yapı imalatı sırasında atmosferik korozyona maruz kalmakta, hatta bazı durumlarda toprak üzerine konulan demir donatılar uzun süre inşaat altında bekletildikten sonra kullanılmaktadır. Korozyona maruz kalmış demir donatılar, beton ile istenilen aderansı oluşturamamakta ve böylece betonarme yapının yük taşıma kabiliyetini olumsuz yönde etkilemektedir(13).

Şekil 4'te görüldüğü gibi 1 yıl süreyle açık havada korozyona maruz kalmış düz demirin gerilim-gerinim grafiği de verilmiştir. Korozyonun, başlangıçta hızlı bir şekilde dayanım değerlerini artırdığı, fakat malzemenin yüzde (%) uzaması, kesit daralması ve gerinin değerlerinde düşüşe neden olduğu görülmektedir. Bu durum; çeliğin daha erken ve gevrek olarak kırılmasına sebep olacak, deprem gibi tekrarlı yük uygulamalarında; demirin yük taşıma kabiliyetini olumsuz yönde etkileyecektir. Korozyon miktarı aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanabilir.

$$\text{Korozyon miktarı } (\mu\text{m/yıl}) = 8,76 \cdot 10^7 \frac{W}{A \cdot T \cdot D} \quad 1$$

Burada, W= İnşaat çeliğindeki ağırlık kaybı (g), A= Kesit alanı (cm<sup>2</sup>), T = Korozyona maruz kalış süresi (Saat), D= Demirin yoğunluğu (g/cm<sup>3</sup>)

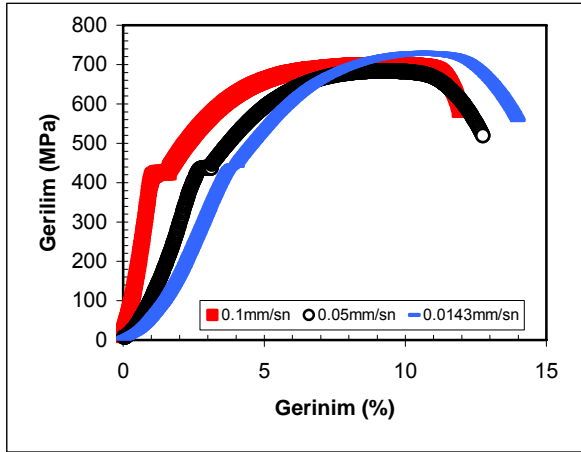
Yukarıdaki formülden yararlanarak, bu çalışmada kullanılan düz inşaat çeliğinin korozyon miktarı 36.67

μm/yıl olarak hesaplanmıştır. Benzer çevre şartlarına sahip Yunanistan'da yapılan çalışmada yaklaşık olarak aynı korozyon miktarı tespit edilmiştir (14). Yukarıda da belirtildiği gibi artan korozyon miktarı beton ile çeliğin aderans dayanımını düşürecektir. Örneğin yapılan bir çalışmada; 122 günlük açık hava korozyonuna maruz kalan bir inşaat çeliğindeki bağlanma dayanımı %53 oranında azalmıştır (14). Yalnız aderans dayanımı değil, çelik malzemenin korozyon ile azalan kesitinden dolayı, çekme dayanımı da azalmaktadır. Şekil 7'de de görüldüğü gibi, uzun süre açık havada korozyona maruz kalan inşaat çeliklerine yeterli pas payı vermediği takdirde kesit azalması meydana gelmekte, bu da yük taşıma kabiliyetini olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 7. Yeterli pas payı verilmemiş kolon içerisindeki inşaat çeliklerinin kesit daralması ve atmosferik korozyon

Yapı çeliklerinin mekanik özelliklerini etkileyen diğer önemli etkenlerden birisi de deformasyon hızıdır. Şekil 8'de farklı çekme hızlarındaki ST III tipi inşaat çeliğinin grafikleri verilmiştir. Bütün deney hızlarında alt ve üst akma noktaları net olarak görülmekte, yüksek çekme hızlarında malzeme hızla gevrekleşerek sertleşmekte, maksimum çekme noktasından sonra az miktardaki deformasyonla kırılmaktadır. Düşük çekme hızlarında malzemelerin, akma dayanımı, maksimum çekme dayanımı ve elastik modülleri düşmekte, fakat standart değerlerini koruyarak daha sünek bir şekilde kırılmaktadır. Yukarıdaki deney hızları depremlerde meydana gelen ani yük uygulamalarına benzetildiğinde, ST III tipi çeliklerin arzu edilen standart değerler içerisinde bulunduğu ve betondaki çekme gerilimlerini iyi bir şekilde karşıladıkları görülmektedir. 1995 Kobe depreminde, yapı çeliklerinde makro çatlaklar oluşmuş, sürekli ve yavaş olarak çatlaklar ilerlemiş ve ani gevrek olarak kırılmıştır. Malzemeye uygulanan ani yük, metalin pekleşmesine, sertleşmesine ve atomik yapısının bozulmasına neden olmakta ve normal çekme esnasında yüksek süneklik gösteren çelik, yüklem hızı ve tekrarin artışıyla gevrek olarak kırılmaktadır (15).



Şekil 8. Nervürlü İnşaat çeliğine çekme hızının etkisi

## 6.2. Beton test sonuçlarının değerlendirilmesi:

Betonarme yapıları yalnızca çelik olarak incelemek yetersiz olacaktır. Bu bağlamda eski ve yeni yapılardan alınan karot numuneleri ve Schmidt çekici ve ultrasonik cihaz ile yapılan ölçümler de Tablo 8’de ve-

rilmiştir. Beton mukavemeti Schmidt test çekici, ultrasonik hız değerleri ve karot numunesi değerleri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. Ancak karot numuneler silindirik olduğundan elde edilen değerlerden C30 ve üzeri olanlardan 8, C30-20 arasında olanlardan 6 ve C20 altındaki betonlardan ise 4 MPa çıkartılarak standart beton sınıfı yaklaşık olarak bulunmuştur (16).

$$\sigma = 0.00153 (R^3 \cdot V^4)^{0,611} \quad 2$$

Burada, V= Ultrasonik değer (km/sn) , R = Schmidt çekiç değeri (MPa) ve  $\sigma$  = Beton basınç (MPa) değerini göstermektedir.

Deprem Afet Yönetmeliği’ne göre (7) deprem sonrası hemen kullanılması gereken yerler olan hastane, itfaiye, haberleşme, ulaşım, okul, cezaevi, yurt ve askeri binalar ve müzelerde kullanılacak betonun minimum basınç dayanımı 20 MPa (C20) konutlarda ise 16 MPa (C16) olarak belirlenmiştir. Ayrıca tablodaki ilk 20 değer yeni yapılan binalar ve doğrudan beton santrallerinden alınan numunelere ait verilerdir. Bunların dışındakiler ise depremde yıkılan ve hasar gören numunelere

Tablo 8. Schmidt çekici, Ultrasonik Pundit cihazı ve karot deneylerine göre Beton dayanım sonuçları

Numune No	Schmidt çekici değeri	Ultrasonik değerler (Km/sn)	Karot numunelerinin Basınç dayanımları (MPa)	Deprem Afet Yönetmeliğine göre durumun uygunluğu (16MPa)
1	41	3,6	24	Uygun
2	44	3,7	29	Uygun
3	41	3,6	23	Uygun
4	41	3,9	31	Uygun
5	42	4,1	37	Uygun
6	41	3,9	31	Uygun
7	40	3,6	24	Uygun
8	39	4,1	30	Uygun
9	38	3,7	24	Uygun
10	37	3,9	23	Uygun
11	41	3,9	31	Uygun
12	39	3,5	21	Uygun
13	39	3,7	23	Uygun
14	44	3,8	33	Uygun
15	31	3,6	16	Uygun
16	40	3,6	23	Uygun
17	39	3,7	23	Uygun
18	43	2,6	11	Uygun Değil
19	37	3,1	14	Uygun Değil
20	35	3,7	19	Uygun
21	30	3,7	14	Uygun Değil
22	30	3,4	12	Uygun Değil
23	36	3,8	23	Uygun
24	35	3,6	18	Uygun
25	35	3,4	14	Uygun Değil
26	37	3,4	16	Uygun
27	44	3,8	34	Uygun
28	30	3,3	11	Uygun Değil
29	33	3,2	12	Uygun Değil
30	35	3,5	13	Uygun Değil
31	34	3,5	14	Uygun Değil
32	32	3,5	14	Uygun Değil
33	32	3,6	16	Uygun
34	30	3,6	14	Uygun Değil



ait basınç dayanımlarıdır. Yapılan çalışmada numuneler konutlardan alındığı için elde edilen deney sonuçlarında minimum beton basınç dayanımı 16 MPa (C16) olarak alınmıştır. Tablo 8 incelendiğinde yeni yapılan binalardan ve beton santrallerinden alınan numunelerin yaklaşık olarak %10'unun standart dışı olduğu, buna karşılık depremde yıkılan ya da hasarlı binalardan alınan numunelerin ise %57'sinin standartlara uymadığı görülmektedir. Ayrıca bir çok bina depremlerde yorulmuştur. Beton binalardaki yorulma dayanımını, yükleme sıklığı, yük miktarı, kimyasal kompozisyon, tekrar sayısı ve gerilme oranı gibi faktörler etkilemektedir. Bu nedenle yeni yapılan yapılarda beton içine seramik fiberler atılmak suretiyle, deprem ve dinamik yüklemelerde oluşabilecek yorulma çatlakları en aza indirilerek betonarme binaların yorulma dayanımları artırılabilir (16).

#### 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Düzce ili özelinde yapılan bu çalışmanın depremlerde zarar görmüş olan yada zarar görme ihtimali olan yerleşim yerlerindeki yapılarda görülebilecek muhtemel malzeme problemlerinin incelenmesi açısından fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Buna göre;

- Düzce il merkezi çok katlı konut yapımına uygun olmayan bir jeolojik yapıya sahiptir. Depremlerde yıkılan ve hasar alan binaların daha çok 4 kat ve üzeri olduğu görülmüştür. Bu nedenle mevcut yapılarda gerekli iyileştirmeler yapılmalı ve yeni yapılarda da zemin şartları dikkate alınarak projeler hazırlanmalıdır.
- Hali hazırda Düzce'de hasar görmüş binaların çoğu (%85) güçlendirilmiş olup, halen hiçbir işlem yapılmamış binalarda bulunmaktadır. Bu binalar potansiyel tehlike arz etmektedir. Bu nedenle yıkılmaları veya güçlendirilmeleri konusunda gereken yapılmalıdır.
- Depremlerde yıkılmış veya hasar görmüş yapılardan alınan çelik numunelerinde yaklaşık %20 oranında standarda uygunluğu belirlenmiştir. Deprem öncesi yapılan binalarda ST I tipi düz inşaat çelikleri kullanılmıştır. Bu çelikler genellikle hurda demirden haddehanelerde soğuk veya sıcak çekilmek suretiyle üretilmiş olup, istenilen standartlardan uzaktırlar. Bu tür çeliklerin kullanılmaması yerinde olacaktır.
- Yeni yapılan binalarda kullanılan ST III tipi çeliklerin genelde standarda uygunluğu tespit edilmiştir. Ancak bu çalışmada %7 oranında standart dışı çeliğin halen kullanılmakta olduğu belirlenmiştir.
- Nervürlü inşaat çelikleri ideal bir gerilim-gerinim özellikleri yanında mekanik dayanımlara uygunluk göstermiştir. Yüksek

süneklik, dayanım ve adezyon özelliği gösteren bu malzemeler birçok yönden düz inşaat çeliklerinden üstündürler.

- Açık hava korozyonuna maruz kalan inşaat çeliklerinde önemli dayanım kayıpları ortaya çıkmakta ve malzeme gevrek olarak aniden kırılmaktadırlar. Bu tür çeliklerin binalarda kullanılması, betonarme elemandaki donatının aderansını azaltarak dinamik yüklemelerde yıkımlara neden olmaktadır.
- Nervürlü çeliklerin dinamik yüklemelerde hızlı çekilmesi durumunda dayanım ve elastik modülünü artırdığı, buna karşılık uzama miktarının azaldığı ve sonuç olarak donatının gevrek kırıldığı görülmüştür.
- Depremde yıkılmış ya da hasar görmüş binalardan alınan beton numunelerinde yaklaşık %60'ının, donatılarda ise yaklaşık %75 standart dışı olduğu belirlenmiştir.
- Yeni yapılan binalardan alınan beton numunelerden elde edilen sonuçlarda beton dayanımının yaklaşık %10'unun standart dışı olduğu belirlenmiştir.

• Bu çalışmanın genişletilmesi amacıyla, beton ve çelik malzemelerin mukavemetlerinin yanında, diğer fiziksel, kimyasal özelliklerinin de belirlenerek; aralarındaki ilişkilerin tespit edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma A.İ.B.Ü Araştırma fonu tarafından desteklenmiştir. Ayrıca projeye büyük katkılar sağlayan, Öğrt. Gör. T.Kap, Öğrt. Gör. M. Uzunoğlu, Arş.Gör. H.Arslan, Okt. A. Kuyumcu'ya teşekkür ederim.

#### 6. KAYNAKLAR

1. Düzce Belediyesi, Düzce Revizyon ve İlave İmar Planı Raporu, 2002
2. Uygur, İ, Düzce ilindeki betonarme binaların yeniden yapılanma sürecinde incelenmesi, A.İ.B.Ü Araştırma Projesi BAP:2002.06.02.130
3. Yeni Kent Yeni Yaşam, Düzce Belediyesi Basımı, 2002
4. Düzce Belediyesi İmar İşleri, Özel görüşme, 2004
5. Düzce Valiliği, Özel görüşme, 2004
6. Türk Standartları Enstitüsü "Beton Çelik Çubukları" TSE 708 ICS77-140.60 Mart 1998, Ankara
7. Afet Bölgelerindeki Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Türkiye Hazır Beton Birliği, p.12-32. 2001
8. Hsu, T.C. "Fatigue of Plain Concrete" ACIJ. 78, p.292-305, 1981
9. Juvinall,R.C., Marshek,K.M., Fundamentals of Machine Component Design, John Wiley & Sons Inc., NY, USA , 2000

10. BS 4449, Hot Rolled Steel Bars for the Reinforcement of Concrete” London, British Standards Institution, 1978
11. Kankam, C. K., Adom-Asamoah, M. “Strength and Ductility Characteristics of Reinforcing Steel Bars Milled from Scrap Metals” Mater. & Design 23, p.537-545, 2002
12. M.R. Valluzzi, L. Binda, C. Modena, “Mechanical Behavior of Historic Structures Strengthened by Bed Joints Structural Repainting” Construction and Building Materials, In Pres 2005
13. Batis, G. Rakanta, E. “Corrosion of Steel Reinforcement due to Atmospheric Pollution” Cement and Concrete Composites, In Pres , 2005
14. Kuwamura,H. “ Fracture of Steel During an Earthquake- State- of- the- Art in Japan”, Engineering Structures, 20 (4-6), p.310-322, 1998
15. Güner, M.S. “Malzeme Bilimi- Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi”, Aktif Yayınevi, İstanbul, p.419-420, 1999
16. Lee, M.K. Barr, B.I.G. “An Overview of the Fatigue Behavior of Plain and Fibre Reinforced Concrete” Cement & Concrete Composites 26 (4): p.299-305 MAY 2004