

## ARAŞTIRMA MAKALESİ

# Mevcut ve Güçlendirilmiş Bina Temel Sistemlerinin Karşılaştırılması

## *Comparison of Existing and Strengthened Building Foundation Systems*

Mustafa Esat Coşkun<sup>1,\*</sup> Şenol Gürsoy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, 78050, Karabük

<sup>2</sup> Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük

Geliş / Received: 11.01.2023

Kabul / Accepted: 19.04.2023

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Mustafa Esat Coşkun, [mustafaesatc@gmail.com](mailto:mustafaesatc@gmail.com)

**ÖZ:** Güncellenen deprem yönetmelikleri ile birlikte deprem performansı yapılan birçok binanın mevcut performansı yetersiz olduğu görülmüş ve talebe bağlı olarak söz konusu binalarda güçlendirme işlemi uygulanmaktadır. Güçlendirme projesi hazırlanan binalarda güçlendirme işlemi sadece üst yapıdaki yapısal elemanlara uygulanmakta ve bu şekilde hedef performans seviyesi sağlanmaktadır. Ancak güçlendirilen binaların kütlelerini mevcut durumlarına göre artırıldığından bununla orantılı olarak binaya etki eden deprem kuvveti de artırılmış olmaktadır. Ayrıca üst yapı elemanlarından temel sistemine aktarılan kuvvetler de büyüdüğü için mevcut temellerin üst yapı yüklerini taşıyamama durumu da oluşmaktadır. Diğer taraftan mevcut temel sistemlerinin yeni deprem yönetmeliğine göre taşıma gücünü ve zımbalama dayanımlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle güçlendirilen binaların mevcut temel sisteminde taşıma gücü, zımbalama dayanımı ve kesit yetersizliği oluşması durumunda temellerin güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu makalede örnek olarak seçilen okul binasının mevcut temel sistemi ve söz konusu temel sistemine farklı yöntemlerle yeni temeller ilave edilerek güçlendirilmiş temel sisteminin karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar üst yapıda uygulanan güçlendirme işlemi ile söz konusu yapı temelinin yetersiz kalabileceğini dolayısıyla hazırlanan güçlendirme projelerinde mutlaka temel sisteminin yeterliğinin kontrol edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca mevcut temel sistemi ile yönetmelik kriterlerini karşılamayan okul binasının güçlendirilmiş temel sistemiyle yeterli emniyet ve performansı sağladığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Güçlendirme, taşıma gücü, temellerde güçlendirme, zımbalama

**ABSTRACT:** With the updated earthquake regulations, it has been seen that the current performance of many buildings with earthquake performance is insufficient, and depending on the demand, the strengthening process is applied in these buildings. In buildings for which a retrofit project is prepared, the strengthening process is applied only to the structural elements of the superstructure, and in this way, the target performance level is achieved. However, since the masses of the strengthened buildings are increased according to their current conditions, the earthquake force acting on the building is increased proportionally. In addition, since the forces transferred from the superstructure elements to the foundation system increase, the existing foundations cannot carry the superstructure loads. On the other hand, the bearing capacity and punching strength of the existing foundation systems should be checked according to the new earthquake regulation. In other words, in case of insufficient bearing capacity, punching strength and cross-section in the existing foundation system of the reinforced buildings, the foundations should be strengthened. In this article, the existing foundation system of the school building chosen as an example and the reinforced foundation system by adding new foundations to the said foundation system with different methods were compared. The results obtained reveal that the foundation of the structure may be insufficient with the reinforcement process applied in the superstructure, therefore, the adequacy of the foundation system must be checked in the reinforcement projects prepared. In addition, it has been seen that the school building, which does not meet the regulation criteria with its existing foundation system, provides sufficient safety and performance with its strengthened foundation system.

**Keywords:** Strengthening, bearing capacity, strengthening the foundations, punching

## 1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar yaşanan depremler, özellikle eski deprem yönetmeliklerine göre tasarlanan, mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesini büyük ihtiyaç haline getirmiştir [1]-[5]. Ülkemizde geçmişte 1992 Erzincan, 1999 Kocaeli ve Düzce, 2011 Van, 2020 Elazığ depremleri ve yakın zamanda meydana gelen Düzce ili Gölyaka ilçesinde 6,1 büyüklüğünde depremi mevcut bina performanslarının incelenmesi gerektiğini gözler önüne sermektedir. Yapıların deprem performansını belirlemek için yapılan çalışmaların neredeyse tamamı üst yapı sistemiyle ilgili olup, olası güçlendirme projesi hazırlanan binaların temel sisteminin yeterliliğinin incelenmediği dikkat çekmektedir. Oysaki mevcut binaları güçlendirmek için taşıyıcı sisteme eklenen yapısal elemanlar binaların deprem davranışını değiştireceği gibi temele aktarılan yüklerin de artmasına neden olacaktır. Ayrıca temel güçlendirme projeleri tarihi yapıların korunması ve gelecek çağlara aktarılması için de yapılmaktadır. Ancak yapılacak güçlendirme işlemlerinin söz konusu yapıya uygun müdahale ve iyileştirmeleri içermelidir [6].

Bu makalede güçlendirme projesi hazırlanan bir okul binasının temelinde oluşan taşıma gücü farklılıkları Sta4-Cad yapısal çözümleme programı değerlendirilerek, ihtiyaç oluşması durumunda alternatif temel güçlendirme projesi hazırlanarak mevcut ve güçlendirilmiş temel sisteminin karşılaştırması ve üst yapının temel sistemine olan etkileri araştırılmaktadır [7]. Diğer bir ifadeyle Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY) göre temel güçlendirmelerinin de dikkate alınması gerektiği ve olası farklı temel güçlendirme yöntemleri belirtilerek bu konudaki literatür bilgilerinin zenginleştirilmesi amaçlanmaktadır.

## 2. DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİNDE İZLENECEK YÖNTEMLER

Deprem performansının belirlenmesi için bugün yürürlükte olan TBDY verilen tasarım kuralları dikkate alınacaktır [8]. Buna göre mevcut bir okul binasının TBDY'e göre performans analizi yapılmaktadır. Okul binasının deprem

performansının belirlenebilmesi için öncelikle söz konusu okul binası ile ilgili bilgilerin toplanması gerekmektedir. TBDY'e göre bilgi düzeyleri sınırlı ve kapsamlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [8]. Bunlardan sınırlı bilgi düzeyi; incelenecek olan bina ile ilgili mevcut bilgi ve verilerin kısıtlı olduğu anlamına gelmektedir. Kapsamlı bilgi düzeyinde ise mevcuttaki bilgi ve verilerin fazla olduğunu ifade etmektedir. Bu bilgi ve veriler ise söz konusu okul binasının projesinin ve detay çizimlerinin bulunmasıyla ifade edilmektedir. Ayrıca her iki bilgi düzeyi de kendi içinde farklı katsayılarla sahiptir. Dolayısıyla seçilecek bilgi düzeyine göre bu katsayılar performans analizinde kullanılmaktadır. Bu veriler ve yapılan çalışmalar aşağıdaki başlıklarda altında özetlenmiştir.

Bu kapsamda örnek olarak seçilen ilkokulu binası için kapsamlı bilgi düzeyi kullanılmıştır. Söz konusu bilgi düzeyinde verilen bilgilere göre taşıyıcı sistemde bulunan donatı adetleri, donatıların korozyon durumları ve beton basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir.

## 3. OKUL BİNASI HAKKINDA BİLGİLER

Okul binasının projesi bulunmadığı için mimari ve statik rölövesi çizilmiştir. Alınan karot numuneleri sonucunda zemin kattaki beton dayanımının 16 MPa, 1. ve 2. katlardaki beton dayanımının ise 14 MPa olduğu görülmüştür. Yapılan tahribatlı ve tahribatsız donatı tespit yöntemleri ile donatılar tespit edilmiş ve donatı gerçekleşme katsayısı % 85 olarak hesaplanarak donatı düzeni oluşturulmuştur.

Deprem performansı incelenecek okul binasına ilişkin deprem ve zemin parametreleri TBDY'de verilen zemin etüdü çalışmaları kapsamında belirlenmiştir (bkz. Tablo 1). Bu tablodaki veriler 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan (DD2) deprem düzeyi için belirlenen katsayılarıdır. TBDY'e göre mevcut binaların performans hedeflerinin belirlenmesinde Tablo 2'de verilen deprem düzeylerine göre performans analizlerinin yapılması gerekmektedir. Tablo 2'deki deprem tasarım sınıfına bağlı olarak incelenecek binalar *Normal* ve *İleri* olmak üzere iki performans hedefine ayrılmaktadır. Buna göre DD1 (50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan) deprem düzeyinde şekildedışırtmeye göre tasarım (ŞGDT) yaklaşımı

ile ileri performans hedefi olan Kontrollü Hasar (KH) performansının sağlanması ve DD3 (50 yılda aşılma olasılığı %50 olan) deprem düzeyinde ise ŞGDT yaklaşımı ile ileri performans hedefi olan Sınırlı Hasar (SH) performansının sağlanması gerekmektedir. Performans analizi yapılacak olan binada normal performans hedefinin seçilmesi

durumunda DD2 deprem düzeyinde ŞGDT yaklaşımı ile KH performansı sağlanacaktır. Bu makalede deprem performansı belirlenecek okul binasının DTS 1a olduğu için ileri performans hedefine göre performans analizleri gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1:** Okul binasına ilişkin deprem ve zemin parametreleri.

Deprem parametreleri		Zemin parametreleri	
S <sub>s</sub>	0,7025	Zemin yatak katsayısı (K <sub>o</sub> ), t/m <sup>3</sup>	2433
S <sub>1</sub>	0,2288	Zemin taşıma gücü gerilmesi (q <sub>i</sub> ), t/m <sup>2</sup>	43
S <sub>D5</sub>	0,87	Zemin Sınıfı	ZD
S <sub>D1</sub>	0,49	(V <sub>s</sub> ) <sub>30</sub> , m/s	244
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	1a		
Deprem Düzeyi (DD)	DD2		
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	4		
Dayanım fazlalığı katsayısı (D)	2,5		
Bina önem katsayısı (I)	1		
Hareketli yük katılım oranı (n)	0,6		
BYS	7		

**Tablo 2:** Mevcut binaların performans analizinde kullanılacak deprem düzeyleri [8]

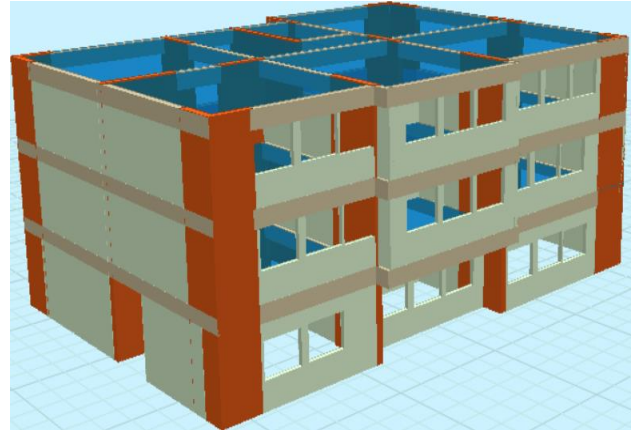
Deprem düzeyleri	DTS= 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS= 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme
DD3	-	-	SH	ŞGDT
DD2	KH	ŞGDT	-	-
DD1	-	-	KH	ŞGDT

### 3.1 Okul Binasının Statik ve Mimari Projeleri

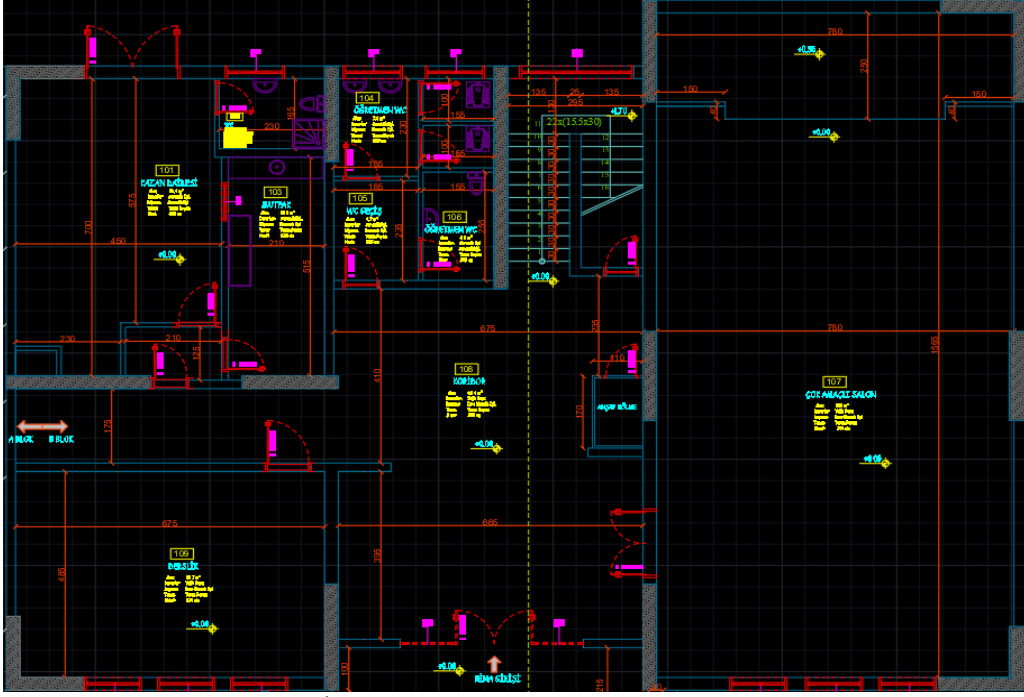
Dikkate alınan okul binasının ilişkin geometrik özellikleri ve Sta4-Cad programıyla oluşturulan üç boyutlu görünümü sırasıyla Tablo 3 ve Şekil 1’de verilmektedir. Ayrıca söz konusu okul binasının mevcut mimari projesi ise Şekil 2’de görülmektedir.

**Tablo 3:** Okul binasının geometrik özellikleri.

Taşıyıcı sistem türü	Betonarme çerçeve + boşluksuz perde sistem
Kat sayısı	3
Okul binası Eni boyutları (m)	22,30
Okul binası Boy	16,25



**Şekil 1:** İlkokul binasının 3 boyutlu görünümü.



Şekil 2: İlkokul binasının zemin kat mimari planı

#### 4. DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Bu çalışmada dikkate alınan okul binasının taşıyıcı sistem elemanları Sta4-Cad programında kolonlar ve kirişler çubuk eleman ve betonarme perde duvarlar ise kabuk eleman olarak modellenmiştir. Söz konusu okul binasının performans analizi TBDY'e göre Sta4-Cad programı kullanılarak çok modlu artımsal itme analizi yöntemiyle yapılmıştır. Kapsamlı bilgi düzeyine göre okul binası mevcut durumu için gerçekleştirilen performans analizlerinden yapısal elemanlarda oluşan hasar oranları sırasıyla Tablo 4~Tablo 7'de verilmektedir. Bu tablolardan DD1 deprem düzeyinde *Göçme Bölgesinde* (GÖ) kolonların bulunduğu ve DD3 deprem düzeyinde de *Belirgin Hasar* (BH) bölgesinde kolonların bulunduğu için hedef performans seviyesinin sağlamadığı görülmektedir.

**Tablo 4:** Mevcut okul binasının DD1 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	Kiriş Hasar Yüzdeleri															
	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	45.5	54.5	0	0	54.5	45.5	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	36.4	63.6	0	0	27.3	72.7	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	36.4	63.6	0	0	27.3	72.7	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks					72.7											

**Tablo 5:** Mevcut okul binasının DD1 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	Kolon Kesme Kuvveti Yüzdeleri															
	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	97.1	2.9	0	0	3.4	47.1	0	49.5	3.4	47.1	0	49.5
2	100	0	0	0	100	0	0	0	5	42.5	0	52.4	5	42.5	0	52.4
1	100	0	0	0	64.3	35.7	0	0	9.8	11.6	0	78.6	9.8	11.6	0	78.6
Maks																

**Tablo 6:** Mevcut okul binasının DD3 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri.

Kat No	Kiriş Hasar Yüzdeleri															
	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks																

**Tablo 7:** Mevcut okul binasının DD3 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

Kat No	Kolon Kesme Kuvveti Yüzdeleri															
	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	79.4	20.6	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks																

Gerçekleştirilen yapısal çözümlerlerden elde edilen performans sonuçları Tablo 8'de verilmektedir. Bu tablodan söz konusu okul

binasının hem DD1 hem de DD3 deprem düzeylerinde hedef performans seviyelerini sağlamadıkları görülmektedir. Bu nedenle okul binasının güçlendirilmesi gerekmektedir.

**Tablo 8:** Mevcut okul binasının deprem performans sonucu.

Deprem Düzeyi	ŞGDT Değerlendirme		
	Mevcut Performans	Hedeflenen Performans	Güçlendirilmiş Bina Performansı
DD1	GB	KH	KH
DD3	KH	SH	SH
Sonuç	Okul binasının güçlendirilmesi gerekmektedir.		Okul binası hedeflenen performans kriteri sağlanmaktadır.

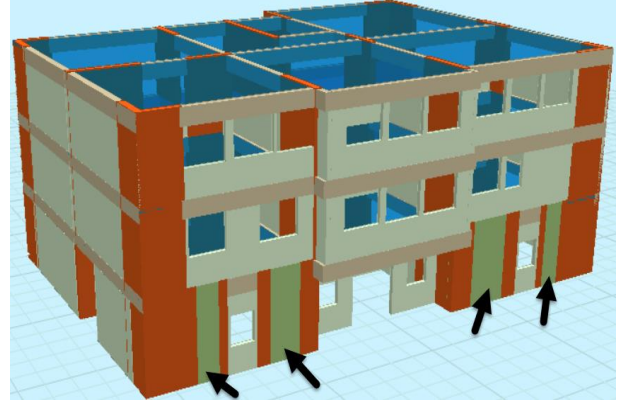
Okul binasının güçlendirme projesi, taşıyıcı sisteme güçlendirme perdeleri ilave edilerek hazırlanmıştır. Ancak güçlendirme projesi hazırlanırken sadece zemin kata 4 farklı güçlendirme perdesi eklenerek TBDY’de önerilen performans seviyesi hedeflenmiştir (bkz. Şekil 3 ve Şekil 4). Yapısal çözümlerden sadece zemin kata güçlendirme perdeleri kullanılarak gerekli performans hedefinin hem DD1 hem de DD3 deprem düzeylerinde sağlandığı görülmektedir.

Burada güçlendirme perdelerinin yetersiz olan dış akslara yerleştirildiğini söz konusu güçlendirme perdelerinin iç akslara yerleştirilmesi durumunda gerekli olan yapısal eleman yeterliliklerinin sağlanamadığını belirtmek yararlı olacaktır.

Güçlendirilmiş okul binasının kapsamlı bilgi düzeyine göre gerçekleştirilen performans analizlerinden yapısal elemanlarda oluşan hasar oranları sırasıyla Tablo 9-11’de verilmektedir. Bu tablolardan mevcut durumda DD1 deprem düzeyinde -y ve +y deprem doğrultularında göçme bölgesindeki kolonların ortadan kalktığı ve BH durumundaki kolonların sayılarının ise azaldığı görülmektedir. Ayrıca DD3 deprem düzeyinde ise tüm kolonlar SH bölgesinde bulunmakta ve yönetmelik koşulları sağlamaktadır.

Okul binasının mevcut ve güçlendirilmiş modelinin yapılan analizlerinden performans durumları sırasıyla Şekil 5-Şekil 8’de verilmektedir. Bu şekillerden mevcut ve güçlendirilmiş okul binası KH ve SH performans seviyelerine göre değerlendirildiğinde, güçlendirilmiş okul binasında daha iyi bir performans düzeyi elde

edilmektedir. Diğer bir ifadeyle, güçlendirilmiş okul binası KH ve SH performans seviyelerine göre değerlendirildiğinde hedeflenen performans düzeyi sağlanmaktadır.



**Şekil 3:** Güçlendirilmiş okul binasının 3 boyutlu modeli

**Tablo 9:** Güçlendirilmiş okul binasının DD1 deprem düzeyinde kiriş hasar yüzdeleri.

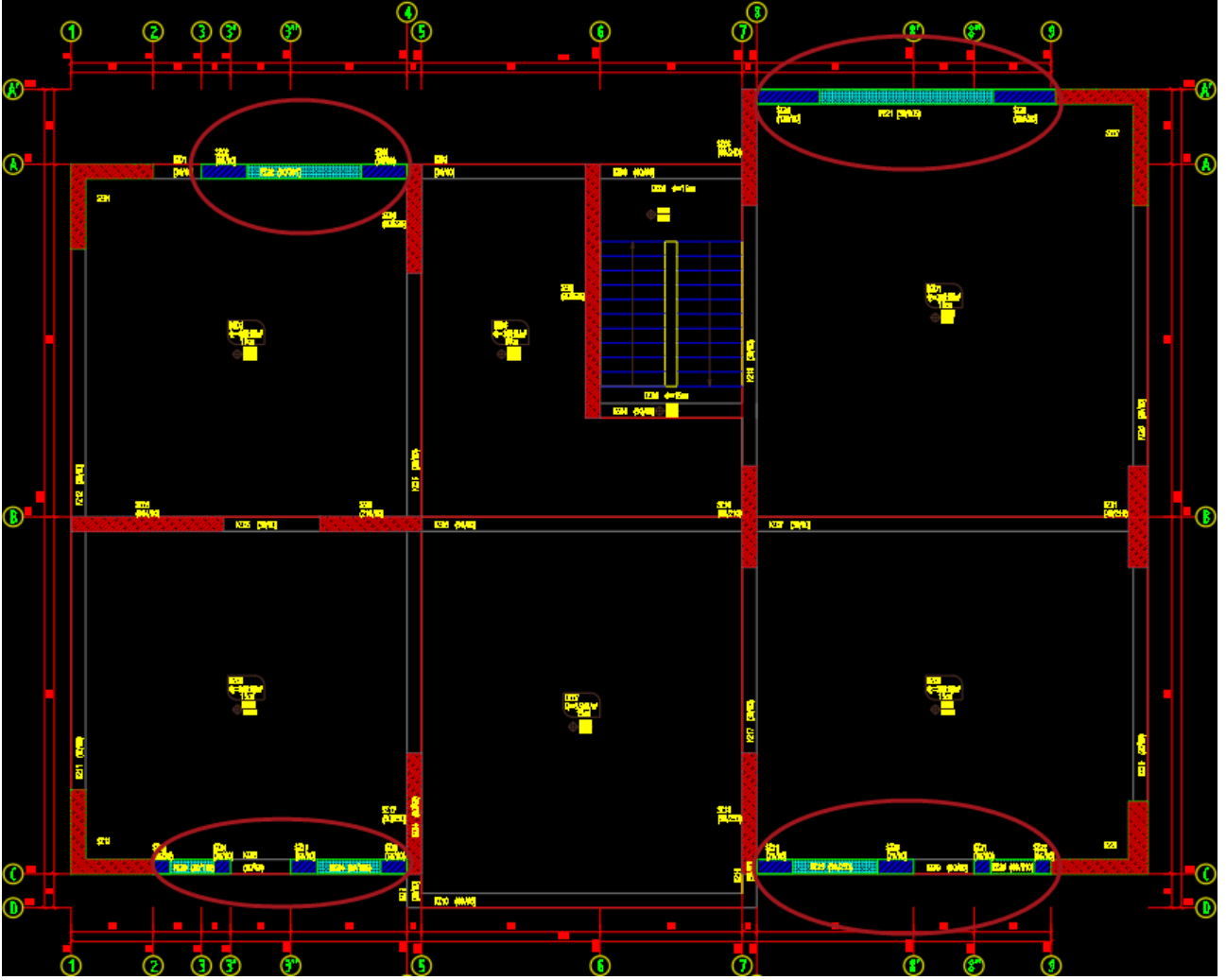
Kat No	Kiriş Hasar Yüzdeleri															
	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	36.4	63.6	0	0	36.4	63.6	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	18.2	81.8	0	0	18.2	81.8	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks																

**Tablo 10:** Güçlendirilmiş okul binasının DD1 deprem düzeyinde kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

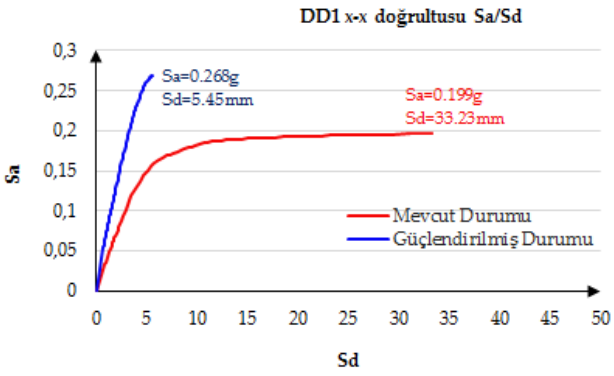
Kat No	Kolon Kesme Kuvveti Yüzdeleri															
	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	53	47	0	0	53	47	0	0
2	100	0	0	0	95.6	4.4	0	0	66	34	0	0	63.6	36.4	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	87.8	12.2	0	0
Maks																

**Tablo 11:** Güçlendirilmiş okul binasının DD3 deprem düzeyinde kiriş hasar ve kolon kesme kuvveti yüzdeleri.

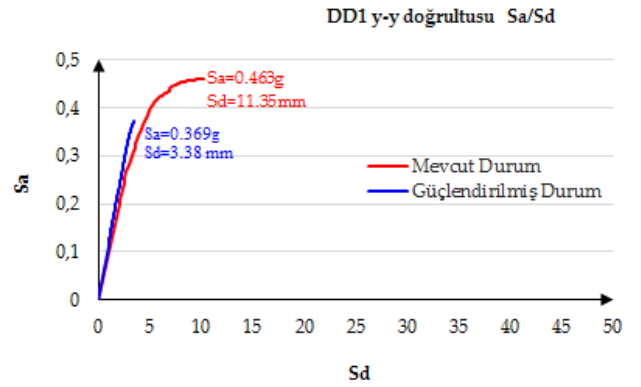
Kat No	Kiriş Hasar ve Kolon Kesme Kuvveti Yüzdeleri															
	-X				+X				-Y				+Y			
	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB	SH	BH	İH	GB
3	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
1	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0
Maks																



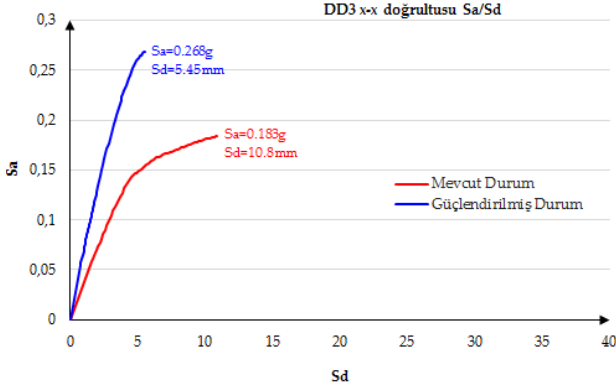
Şekil 4: Güçlendirilmiş okul binasının kalıp planı.



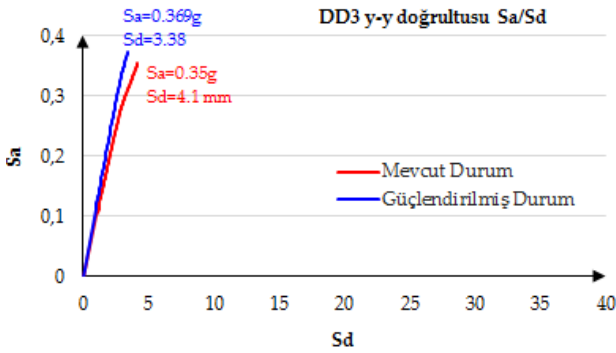
Şekil 5: Mevcut ve güçlendirilmiş okul binasının x-x doğrultusunda DD1 deprem düzeyindeki performans durumları.



Şekil 6: Mevcut ve güçlendirilmiş okul binasının y-y doğrultusunda DD1 deprem düzeyindeki performans durumları.



**Şekil 7:** Mevcut ve güçlendirilmiş okul binasının x-x doğrultusunda DD3 deprem düzeyindeki performans durumları



**Şekil 8:** Mevcut ve güçlendirilmiş okul binasının y-y doğrultusunda DD3 deprem düzeyindeki performans durumları

#### 4.1 Mevcut Temel Sisteminin Tespit Edilmesi

Üst yapı güçlendirme projesi hazırlanan okul binasının mevcut temel sisteminin belirlenerek temellerin taşıma gücü gerilmesi ve zımbalama dayanımlarının da belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu okul binasının temel sistemi iş makineleriyle iç ve dış cephede kazı işlemi yapılarak ortaya çıkarılmıştır (bkz. Şekil 9 ve Şekil 10). Şekil 9 ve 10'dan görüldüğü gibi okul binasında kirişli radye temel sistemi tespit edilmiştir. Radye temelin plak yüksekliğinin 30 cm, kirişlerin genişliğinin 110 cm ve yüksekliğinin ise 80 cm olduğu tespit edilmiştir. Radye temelde sıyırma işlemi yapılarak x doğrultusunda Ø12/15 ve y doğrultusunda ise Ø12/30'luk donatıların olduğu görülmüştür (bkz. Şekil 10). Tespit edilen temel sisteminin enkesiti şematik görünüm Şekil 11'de verilmektedir.

Temel taşıma gücü hesabı TBDY'de verilen karakteristik dayanım ( $q_k$ ) formülasyonu kullanılarak yapılmıştır. Okul binasının temel

sisteminin statik ve deprem yüklemeleri altındaki taşıma gücü kontrolü Tablo 11'de verilmektedir. Bu tablodan tasarım dayanımı değeri ( $q_t$ ) gerilmeleri karşılaştırıldığında en olumsuz durumun 1.4G+1.6Q yük kombinasyonundan oluştuğu görülmektedir. Diğer taraftan okul binası temel sisteminin kayma kontrolü TBDY'e göre yapılarak Tablo 12'de verilmiştir. Bu tabloda  $P_{tv}$ , temel tabanına etkiyen düşey tasarım basınç kuvvetini,  $\delta$  temel tabanı ile zemin arasındaki sürtünme açısını,  $\gamma_{Rh}$ , sürtünme direnci dayanım katsayısını,  $R_{th}$ , tasarım sürtünme direncini,  $R_{pk}$ , karakteristik pasif direnci,  $\gamma_{Rp}$ , pasif direnç dayanım katsayısını,  $R_{pt}$ , tasarım pasif direncini ve  $V_{th}$ , temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvvetini göstermektedir.

**Tablo 11:** Okul binasının temelde statik ve deprem yüklemelerindeki tasarım gerilmeleri

Maksimum tasarım gerilmesi ( $t/m^2$ )	G	Q	E	W	1.4G+1.6Q	G+Q+E	G+Q+W
	11.74	4.426	10.84	0.214	23.517	20.095	16.190

**Tablo 12:** Okul binasının temel sisteminin kayma kontrolü

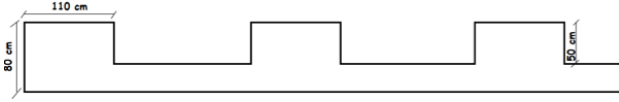
Yük bileşeni	Doğrultu	$P_{tv}$ (kN)	$\tan\delta$	$\gamma_{Rh}$	$R_{th}$ (kPa)	$R_{pk}$ (kPa)	$\gamma_{Rp}$	$R_{pt}$ (kPa)	$R_{th}+0.3 R_{pt}$	$V_{th}$ (kN)	Sonuç
1.4G+1.6Q	x-x	0	0	1,1	0	179,01	1,4	127,86	38,359	0	Yeterli
	y-y	0	0	1,1	0	235,51	1,4	168,22	50,466	0	Yeterli



**Şekil 9:** İlkokulunun tespit edilen temel boyutları.



**Şekil 10:** İlkokulu temel sisteminin donatılarının belirlenmesi.

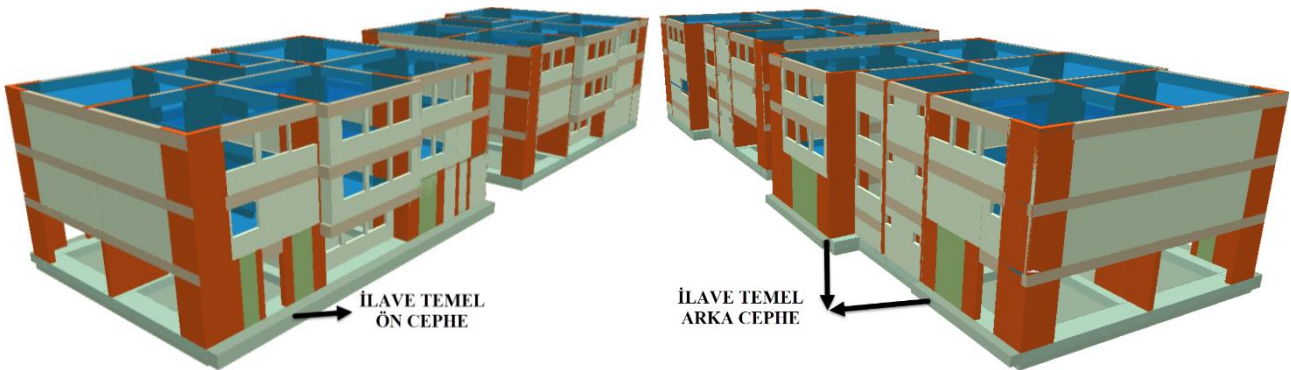


**Şekil 11:** Okul binasının mevcut temel sisteminin enkesit görünümü.

Mevcut kirişli radye temel sisteminin bütün bölgelerinin sıyrılarak donatılarının tespit edilmesi işlemi çok zahmetli ve hasarlı yöntem olduğundan, okul binasının yapıldığı 2001 yılında yürürlükte olan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğe (ABYYHY) göre donatı ataması yapılarak minimum donatı oranı kabulü yapılmıştır [9]. Ayrıca mevcut temel sisteminin beton dayanımını girebilmek için açılan temel sisteminden karot numuneleri alınmıştır. Elde edilen karot numuneleri ortalama basınç dayanımları 0,85 katsayısı ile çarpılarak mevcut temel sisteminin C28 beton sınıfına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

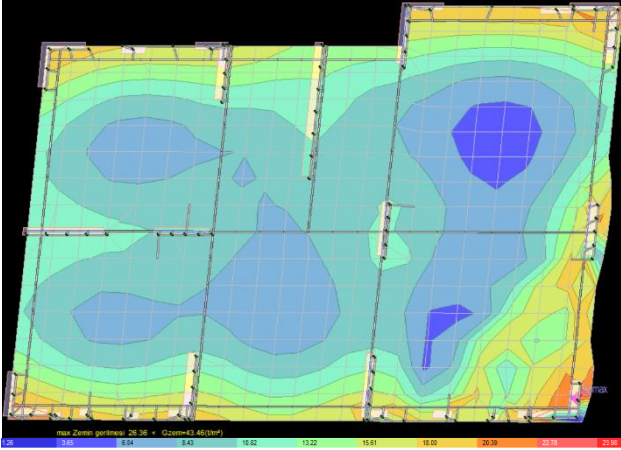
Okul binasının mevcut ve güçlendirilmiş temel sisteminin Sta4-Cad programıyla oluşturulan 3 boyutlu görünümü Şekil 12’de verilmektedir. Sta4-Cad programıyla söz konusu okul binası temel sistemiyle birlikte ABYYHY’e göre analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda donatı ataması yapıldıktan sonra mevcut temel sisteminin taşıma gücü gerilmesi ve zımbalama kontrolü yapılmıştır (bkz. Şekil 13 ve Şekil 14). Şekil 13’ten meshlere ayrılan temel sisteminin maksimum zemin gerilmesi 23,517 t/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu değer zemin taşıma gücü gerilmesi olan ( $q$ )

43,46 t/m<sup>2</sup> değerinden küçük olduğundan taşıma gücü yeterlidir. Şekil 14’te zımbalama dayanımı yetersiz bölgeler yeşil daire içine alınmıştır. Buna göre özellikle başlık bölgesi olarak tasarlanan kolonların altındaki temel sisteminin zımbalama dayanımını karşılamadığı görülmektedir. Bu durumda zımbalama dayanımının artırılması için mevcut temel sistemine ilave temel tasarlanabilir ya da ilave temeller güçlendirme perdelerinden gelen yükün daha düzgün şekilde aktarılması için de yapılabilmektedir. Bu çalışmada yeterli zemin taşıma gücü gerilmesinin ve zımbalama dayanımlarının sağlanması için mevcut temel sistemi ilave temellerle güçlendirilmiştir. Şekil 15’te dış cephelere eklenen turkuaz renkli kısımlar ilave temel sistemini ifade etmektedir. Tasarlanan ilave temeller plak 1 (PL1), plak 2 (PL2) ve plak 3 (PL3) olarak adlandırılmakta ve bunların malzeme özellikleri ve donatı bilgileri Tablo 13’te verilmektedir. Gerçekleştirilen yapısal çözümlerden güçlendirilmiş temel sisteminin zımbalama dayanımının yeterli olduğu görülmektedir (bkz. Şekil 16). Ayrıca temel güçlendirilmesiyle temellerin efektif alanı artırıldığından üst yapıdan gelen yükler daha sağlıklı aktarılmaktadır. Diğer taraftan yapı-temel etkileşimli yapısal çözümler yapıldığında söz konusu temellerin daha rijit davranış göstermesi nedeniyle üst yapıdaki yapısal elemanlarda oluşan kesit tesirlerinin azaldığı görülmüştür.

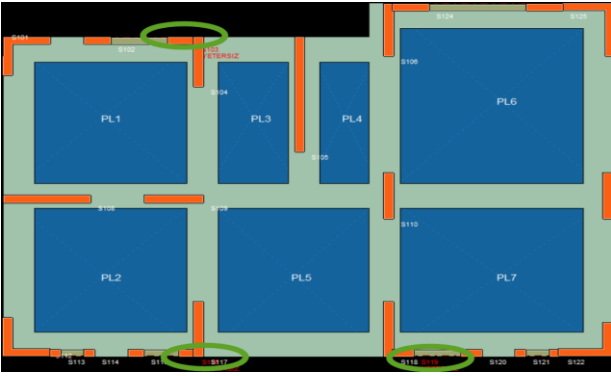


**Şekil 12:** Okul binasının mevcut ve güçlendirilmiş temel sisteminin üç boyutlu modeli.

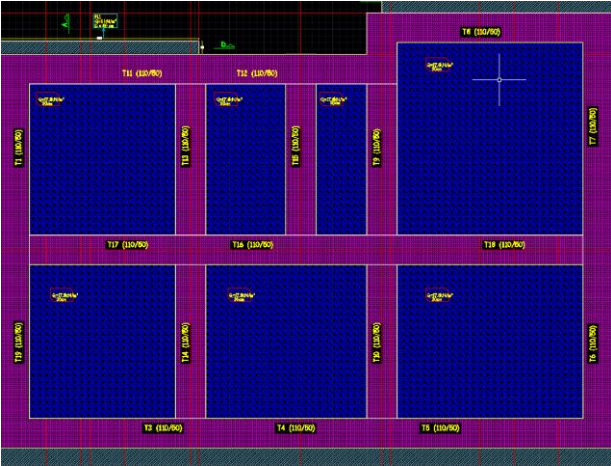




Şekil 13: Kirişli radye temel sisteminin maksimum zemin gerilmesi analiz sonucu



Şekil 14: Okul binasının temel sisteminin zımbalama dayanımı sonucundan bir görünüm



Şekil 15: İlkokulu binasının temel sistemi güçlendirme uygulaması

Uygulama anlamında ilave temellerin mevcut temele ankre edilmesi için kullanılacak ankraj donatıları manuel olarak oluşturulacaktır. Ankraj donatıları; minimum çapı Ø16 mm, gömülme derinliği en az çapının on katı olan (10Ø) ve aralığı en fazla 40 cm olan ankraj donatıları kullanılacaktır [10]. Buna ek olarak ankraj donatısının kenetlenme

boyunun belirlenebilmesi için  $l_b$  boyunun belirlenmesi gerekmektedir [11]. Buna göre  $l_b$  boyu çekmeye çalışan elemanlarda;

$$l_b \geq \begin{cases} 0,12 * (f_{yd} / f_{ctd}) * \emptyset \\ 20\emptyset \end{cases} \quad (1)$$

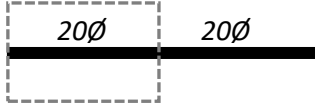
bağlılarına göre hesaplanmalıdır. Yönetmeliğe göre basınca çalışan elemanlarda ise kenetlenme boyunun 20Ø'den az olmaması gerektiği belirtilmektedir [10]. Ankraj donatılarının uygulanmasında kullanılan epoksi malzemesi de çok büyük önem arz etmektedir. Epoksinin kalitesine göre yeni temelin mevcut temele olan aderansı değişiklik göstermektedir.

<b>S113/S112</b>		
d= 43 cm	Ac =2.424m <sup>2</sup>	ϕx=0, ϕy=0
Ex =-19.3 cm		Ey =-63.7 cm
Ix = 1.941681 m <sup>4</sup>		Iy = 2.178079 m <sup>4</sup>
Up = 563.78 cm		fctd=127.71 t/m <sup>2</sup>
Mx = 69.12 (tm)		My = 34.20 (tm)
Xt= 138.85 cm	Yx=1.0	Yt= 121.76 cm
Vd =116.21/116.21 (t)		Vdq= 33.08 (t)
Vp = Y · fctd · Up · d > Vd - Vdq		
Vxd=83.12 < Vp= 309.60 (t)	ZİMBALAMA YETERLİ.	
Vyd=83.12 < Vp= 309.60 (t)	ZİMBALAMA YETERLİ.	
<b>S118/S119</b>		
d= 43 cm	Ac =7.186m <sup>2</sup>	ϕx=0, ϕy=0
Ex =-58.4 cm		Ey =-238. cm
Ix = 20.508765 m <sup>4</sup>		Iy = 33.652683 m <sup>4</sup>
Up =1671.23 cm		fctd=127.71 t/m <sup>2</sup>
Mx = 0.20 (tm)		My = 68.24 (tm)
Xt= 276.82 cm	Yx=1.0	Yt= 381.74 cm
Vd = 60.37/ 60.37 (t)		Vdq= 21.29 (t)
Vp = Y · fctd · Up · d > Vd - Vdq		
Vxd=39.07 < Vp= 917.76 (t)	ZİMBALAMA YETERLİ.	
Vyd=39.07 < Vp= 917.76 (t)	ZİMBALAMA YETERLİ.	
<b>S122/S123</b>		
d= 43 cm	Ac =1.575m <sup>2</sup>	ϕx=0, ϕy=0
Ex =-45.1 cm		Ey =-73.1 cm
Ix = 0.334542 m <sup>4</sup>		Iy = 1.081410 m <sup>4</sup>
Up = 366.47 cm		fctd=127.71 t/m <sup>2</sup>
Mx =155.02 (tm)		My = 2.68 (tm)
Xt= 79.97 cm	Yx=1.0	Yt= 88.35 cm
Vd =177.75/177.75 (t)		Vdq= 13.23 (t)
Vp = Y · fctd · Up · d > Vd - Vdq		
Vxd=164.52 < Vp= 201.26 (t)	ZİMBALAMA YETERLİ.	
Vyd=164.52 < Vp= 201.26 (t)	ZİMBALAMA YETERLİ.	

Şekil 16: Güçlendirilmiş temel sisteminin zımbalama dayanımının yeterliliği

Tablo 13: İlave temellerin malzeme özellikleri ve donatı bilgileri.

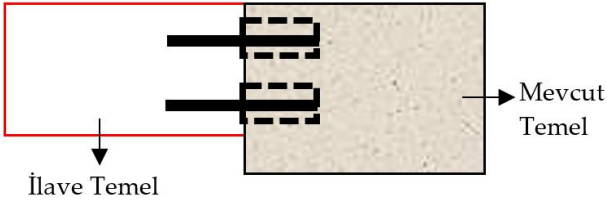
	PL1	PL2	PL3
H (cm)	50	50	75
Beton Sınıfı	C30	C30	C30
Donatı Sınıfı	B420C	B420C	B420C
X üst	Ø12/24	Ø12/24	Ø14/18
X alt	Ø12/25	Ø12/25	Ø14/16
Y üst	Ø12/25	Ø12/25	Ø12/16
Y alt	Ø12/24	Ø12/24	Ø12/16



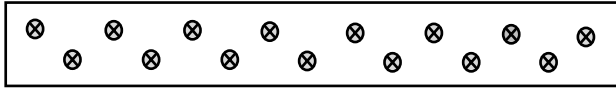
Şekil 17: Örnek ankraj donatı detayı.

Teknik literatürde temellerde aderansın sağlanması ile ilgili ACI 318 ve TS 500 yönetmeliklerinin kıyaslaması yapılmıştır [10, 12]. Buna göre TS 500'ün çok düşük aderans gerilmeleri tanımladığı dolayısıyla tekrar gözden geçirilerek düzenlemeler yapılması gerektiği ifade edilmiştir [13].

Bu makalede yapılan temel güçlendirmesinde kullanılacak ankraj donatıları şaşırtmalı olarak ankre edilmiştir. Okul binasının temel güçlendirme projesi için tasarlanan ankraj kesitleri Şekil 18 ve ankraj detayının boy kesiti ise Şekil 19'da verilmektedir. Şekil 18 incelendiğinde ankraj donatılarının şaşırtmalı olarak ankre edildiği görülmektedir. Yapılan bu tasarımda Ø20/30 L=80 cm olan ankraj donatıları kullanılmıştır.



Şekil 18: İlave temelin mevcut temel sistemine ankre edilmesi örneği.



Şekil 19. İlave temelin ankraj donatıları detayı.

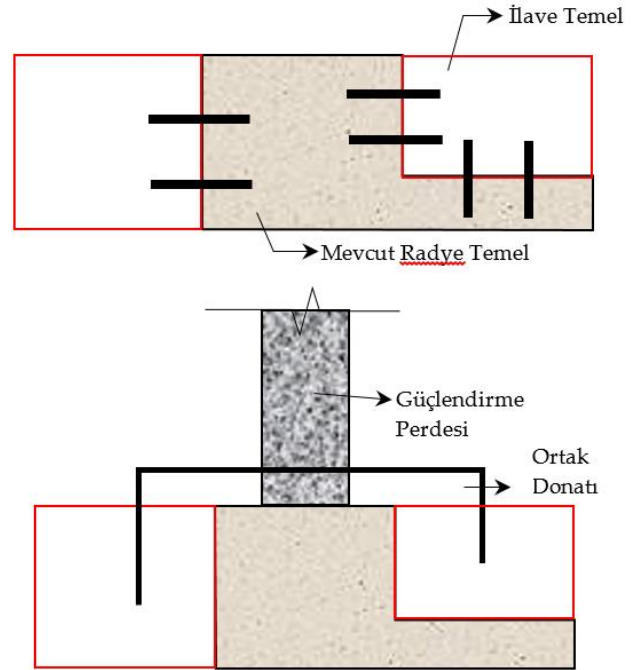
#### 4.2. Güçlendirme Amacıyla İlave Edilen Temelin Tasarım Yöntemleri

Temel güçlendirmesinde birçok tasarım uygulaması yapılabilmektedir. Bu makale kapsamında kirişli radye temel sisteminde aşağıdaki verilen temel güçlendirme yöntemleri tercih edilmiştir.

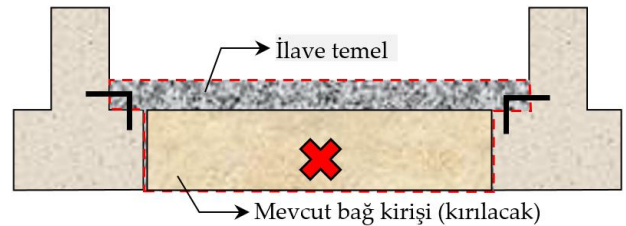
**Yöntem 1:** Bu yöntemde göre hem dış aksta hem de iç aksta ilave temel tasarımı gerçekleştirilmiştir. Buna göre mevcut temel sistemine yatay ankrajlarla ankre edilen ilave temeller eklenmektedir. Ayrıca mevcut radye temel sistemine denk gelmeleri

durumunda dikey ankrajlarla da ankre edilmesi yararlı olacaktır. İlave temellerin donatı düzeni aşağıdaki gibi yapılabilmektedir (bkz. Şekil 20). Bu şekilden görüldüğü gibi ilave temellerde donatılar ortak kullanılarak her iki ilave temelden daha fazla katkı alınabilmektedir. Güçlendirme perdesinin donatıları yerleştirilmeden önce her iki ilave temeli birbirine bağlayan donatılar oluşturulduktan sonra güçlendirme perdeleri oluşturulması faydalı olacaktır.

**Yöntem 2:** Yerinde tespit edilen temel türü bağ kirişleri ile birbirine bağlanan tekil temellerden de oluşabilir. Bu tür temellerde bağ kirişleri çekmeye çalıştığı için üstüne gelen güçlendirme perdeleri eğilmeye çalışacaktır. Dolayısıyla mevcut temel sisteminin radye temellerle güçlendirilmesi durumunda bağ kirişlerinin kırılarak monolitik bir plak oluşturulması gerekmektedir (bkz. Şekil 21).

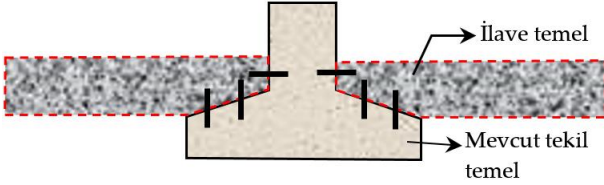


Şekil 20: Birinci yöntemle ilişkin ilave temel sistemine ilişkin ortak donatı düzenlemesi.



Şekil 21: İkinci yöntemle ilişkin ilave temel tasarımı.

**Yöntem 3:** Mevcut temel sistemindeki temel yüklerinin ilave edilen temellere taşınması için kesme ve çekme ankrajlarının epoksi ile ankre edilmesi gerekmektedir. Bu yöntemde ilave temeller mevcut temelin yükünü ilk yapıldığında taşımayacak, ancak zamanla gerçekleşen konsolidasyon oturmasıyla ilave temeller düşey yükleri taşımaya başlayacaktır.



Şekil 22: Üçüncü yönteme ilişkin ilave temel tasarımı.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deprem performansı yeterli olmayan ve üst yapı için güçlendirme projesi hazırlanan binaların temellerinin de performansının artırılması gerekebilmektedir. Temel altındaki zemin taşıma gücü ve yatak katsayısının iyileşmesi temellerin performansının artmasını sağlamaktadır. Temel güçlendirmesine karar verirken;

- Zeminde oluşan gerilmelerin ilgili zeminin taşıma gücü gerilmesini aşması durumunda,
- Projedeki donatılardan daha fazla miktarda donatı ihtiyacının oluşması durumunda,
- Zımbalama yetersizliği olması durumunda,

Yapı temellerinde güçlendirme işlemi yapılması gerekmektedir. Bu makalede örnek olarak seçilen okul binasının temel sistemine yapılan ilave temel uygulaması ile ilgili olarak;

- Mevcut temel sisteminde uygulanan güçlendirme işlemi ile yetersiz olan zımbalama dayanımı sağlanmıştır. Mevcut temel sistemi ile ilave temellerle güçlendirilmiş temel sistemi arasındaki farklılıklar Tablo 14'te görülmektedir

**Tablo 14:** Mevcut temel sistemi ile güçlendirilmiş temel sistemi sonuçları.

	Mevcut temel sistemi	Güçlendirilmiş temel sistemi
Mak zemin gerilmesi (t/m <sup>2</sup> )	31,47	22,977
Zımbalama durumu	Yetersiz	Yeterli
Kesit yetersizliği	Yok	Yok
Beton dayanımı (MPa)	28	30

Mevcut durumda tespit edilen kirişli radye temel sistemi ve bundan alınan karot değerlerinin yüksek çıkması taşıma gücünün yeterli gelmesinde büyük rol oynamıştır. Zımbalama dayanımının yetersiz gelmesi yeni eklenen güçlendirme perdesinin başlık bölgesinde bulunan kolonlardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca elde edilen bu sonuçlar teknik literatürdeki çalışmalardan [4], [5] elde edilen sonuçlarla uyumludur.

- Temel sisteminde yapılan güçlendirme işlemi sabit bir uygulamadan ibaret olmayıp birçok yöntem içermektedir. Diğer bir ifadeyle tespit edilen temel türüne göre güçlendirme işlemi farklılıklar göstermektedir.
- Üst yapıya yapılan güçlendirme işlemleri sonucunda temellerin taşıma gücünün ve zımbalama dayanımlarının kontrol edilmesi gerektiği üzerinde durulması gereken en önemli husus olduğu açıkça ortadadır.
- Üst yapı ve temel güçlendirme çalışmalarında eski beton ve yeni betonun arasında soğuk derzin önlenmesi için solüsyonlar kullanılarak daha iyi aderansın sağlanması da önem arz etmektedir.

**Yazar Katkısı:** Bu makale Prof. Dr. Şenol GÜRSOY'un danışmanlığında Mustafa Esat COŞKUN'un "Betonarme Okul Binalarında Güçlendirme İlkelerinin 2007 ve 2019 Türk Deprem Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırılması" başlıklı Yüksek Lisans tezinin gelişmesi amaçlanarak temel güçlendirme sistemlerinin önemini vurgulamak için hazırlanmıştır.

**Teşekkür:** Bu çalışmamda okul bilgilerini kullanmama imkan tanıyan Karabük İl Özel İdaresi yetkililerine minnettar olduğumu bildirmek isterim.

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] Coşkun, M.E. (2022), "Betonarme okul binalarında güçlendirme ilkelerinin 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.

- [2] Coşkun, M.E. Gürsoy, Ş. ve Garip, Z.Ş. (2023). Betonarme bir okul binasında güçlendirme ilkelerinin 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılması, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13 (2): (GÜFBED/GUSTIJ), (DOI:10.17714/gumusfenbil.1170731)
- [3] Mahrebel, H. A. (2006). "Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri", Yüksek Lisans, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Şahin E. (2004) "Hasarlı betonarme yapılarda onarım-güçlendirme esasları ve bir uygulama örneği", Yüksek Lisans, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Özdemir H.O. (2002) "Betonarme perdeli bir binada deprem güvenliğinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi", Yüksek Lisans, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Fırat S. vd. "Tarihi Yapıların Temel Sistemlerinin Güçlendirilmesi", Bingöl Üniversitesi Türk Doğa ve Fen Dergisi, 9, 182-189 (2020).
- [7] Sta4-CAD (2021), "Structural analysis for computer aided design", ver.14.1. [www.sta.com.tr](http://www.sta.com.tr)
- [8] TBDY (2019), "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği", Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 30364 Sayılı Resmi Gazete.
- [9] ABYYHY (1998), "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [10] TS-500 2000, "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [11] Doğançün A. (2018) "Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı", Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [12] ACI Standard 318-83, Building Code Requirements for Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Detroit, Michigan 1983.
- [13] Turan M. "Temellerde Kolon Donatı Çubuklarının Aderansı", Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1, 111-118 (1999).