

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI BİLİM DALI**

**İZOLATÖRLÜ VE BETONARME PERDE İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
BİR YAPININ DEPREM ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Sayfuldeen Ali Abousalah ABOUSALAH

Danışman:

Doç. Dr. Halil NOHUTCU

MANİSA-2025

**Sayfuldeen Ali
Abousalah
ABOUSALAH**

**İZOLATÖRLÜ VE BETONARME PERDE İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
BİR YAPININ DEPREM ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

2025

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, tezin yazımında akademik ve etik kurallara aykırı herhangi bir yapay zeka ve program kullanmadığımı beyan ederim.

Sayfuldeen Ali Abousalah ABOUSALAH



ÖZET

Yüksek lisans tezi

Sayfuldeen Ali Abousalah ABOUSALAH
Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman:
Doç. Dr. Halil NOHUTCU

Türkiye'nin maruz kaldığı en büyük depremlerden biri olan Kahramanmaraş depremi 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelmiştir. 7.7 Mw büyüklüğündeki bu deprem yüksek oranda Can kaybına ve genel olarak binalarda ve altyapıda ciddi hasarlara neden olmuştur.

Bu hasar gören yapılar arasında, bölgede bulunan okullar da yer almaktadır. Deprem sonucunda pek çok okul binası hasar almıştır. Bu çalışmada Hatay ilinde ağır hasar gören bir okul binasının performans analizi yapılmıştır. Analiz kapsamında yapı SAP2000 yazılımı kullanılarak modellenmiş ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir. Binanın performans analizi güçlendirilmemiş model, mevcut güçlendirme perdesi modeli, perde eklenerek güçlendirilmiş model ve sismik izolatör kullanılan model olmak üzere dört farklı durumda gerçekleştirilmiştir.

Performans analizi sonuçları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre, gerçek deprem kayıtları yapıya uygulandığında, hem güçlendirilmemiş modelin hem de mevcut güçlendirme perdesi modelinin çökmeye maruz kaldığı, perde duvar eklenerek güçlendirilen modelin ise hasar kontrolü aşamasında olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın, sismik izolatör kullanılan modelin Kesintisiz Kullanım durumunda kaldığı gözlemlenmiştir. Farklı modelleri için doğal titreşim periyodu, kat deplasmanları, taban kesme kuvvetleri ve kolonlarda meydana gelen iç kuvvetler detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER

Deprem, Sismik İzolatör, Güçlendirilmiş Bina, Deprem Hasarı, Doğrusal Olmayan Analiz, Yapı Deprem Analizi, Deprem Performans Analizi, Betonarme Perde.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Sayfuldeen Ali Abousalah ABOUSALAH
Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Education
Department of Civil Engineering

Supervisor:
Assoc. Prof. Dr. Halil NOHUTCU

One of the largest earthquakes that Turkey has experienced, the Kahramanmaraş earthquake, occurred on February 6, 2023. This 7.7 Mw earthquake caused a high rate of human casualties and extensive damage to buildings and infrastructure. Among the damaged structures were schools in the region, many of which collapsed due to the earthquake.

Among the damaged structures, schools located in the region are also included. As a result of the earthquake, many school buildings sustained damage. This study analyzes the performance of a school building in Hatay province that was severely damaged. Within the scope of the analysis, the building was modeled using SAP2000 software, and nonlinear time-history analysis was performed. The performance analysis of the building was carried out in four different scenarios: the unstrengthened model, the model with the existing strengthening shear wall, the model strengthened by adding shear walls, and the model using seismic isolators.

The results of the performance analysis, according to the Turkish Seismic Code, revealed that when real earthquake records were applied to the structure, both the unreinforced model and one with the existing strengthening shear wall were subjected to collapse, while the model strengthened by adding shear walls was found to be at the damage control stage. In contrast, the model utilizing seismic isolators was observed to remain in the Continuous Serviceability state. The natural vibration period, story displacements, base shear forces, and internal forces occurring in the columns for different models were evaluated in detail.

KEY WORDS

Earthquake, Sismec rubber, reinforced, Elastomeric isolator, damaged, Time history earthquake loads, Nonlinear analyses, Structural earthquake analyses, Performance analyses, shear walls.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimde bana rehberlik eden ve her adımda destek olan değerli danışmanım Doç. Dr. Halil NOHUTCU'ya derin teşekkürlerimi sunarım. Aldığım derslerle bana bilgi kazandıran İnşaat Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm hocalarıma teşekkür etmek isterim.

Bu tez çalışması sürecinde bana birçok konuda yardım eden öğrenci Ömer Gazi'ye de teşekkür ve minnettarlığımı ifade ederim. Her zaman yanımda olan ve tüm eğitim hayatım boyunca bana destek veren sevgili aileme de şükranlarımı sunarım.

Sayfuldeen Ali Abousalah ABOUSALAH

Manisa, 2025

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1. Kahramanmaraş depremi nedeniyle binalar çöktü.....	1
Şekil 2. İlave perde uygulaması	3
Şekil 3. Perde ile mevcut taşıyıcı sistemin bağlantısı	4
Şekil 4. Ankastre mesnetli yapı ile izolatörlü yapının deprem anındaki hareketi.....	5
Şekil 5. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörü (LRB)	6
Şekil 6. Sürtünmeli sarkaç izolatörü (FPS).....	7
Şekil 7. Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi	8
Şekil 8. Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi'nde kullanılan izolatör.....	9
Şekil 9.Sabiha Gökçen Havalimanı	9
Şekil 10. Sabiha Gökçen Havalimanı'nda kullanılan sismik izolatörler	10
Şekil 11. İhsan Doğramacı Vakfı Özel Bilkent Erzurum Laboratuvar Lisesi	11
Şekil 12. California Bilim Merkezi.....	11
Şekil 13. Foothill Communities Hukuk ve Adalet Merkezi	12
Şekil 14. Foothill Communities Hukuk ve Adalet Merkezi'nde uygulanan sismik izolatörler	13
Şekil 15. Ulusal Batı Sanatları Müzesi ve uygulanan sismik izolatörler	13
Şekil 16. Deprem bölgesinde bulunan ve hasar gören bazı okul binaları	19
Şekil 17. Deprem bölgesinde bulunan ve hiç hasar görmeyen bazı güçlendirilmiş okul binaları	20
Şekil 18. Hayrettin Özkan Ortaokulu'nun mimari proje 1. Kat Planı	21
Şekil 19. Hayrettin Özkan Ortaokulu'nun mimari proje 2. Kat planı	22
Şekil 20. Hayrettin Özkan Ortaokulu'nun temel aplikasyon planı.....	22
Şekil 21. Hayrettin Özkan Ortaokulu.....	23
Şekil 22. Hayrettin Özkan Ortaokulu'nun perde ile güçlendirme planı	24
Şekil 23. Yapının üç boyutlu modeli	24
Şekil 24. Yapının perde ile mevcut güçlendirme modeli.....	25
Şekil 25. Yapının güçlendirilmesinde kullanılan perde detayları (birinci tip).....	25
Şekil 26. Yapının güçlendirilmesinde kullanılan perde detayları (ikinci tip)	26
Şekil 27. Yapının deprem hasarı-1	28
Şekil 28. Yapının deprem hasarı-2.....	28
Şekil 29. Yapının deprem hasarı-3.....	29
Şekil 30. Yapının deprem hasarı-4.....	29
Şekil 31. Yapının deprem hasarı-5.....	30
Şekil 32. Yapının deprem hasarı-6.....	30
Şekil 33. Yapının güçlendirme perdesi	31
Şekil 34. Yapının güçlendirme perdesi ile mevcut kolon arasındaki ayrışma	33
Şekil 35. Yapının güçlendirme perdesi ile mevcut kirişin arasındaki ayrışma	34
Şekil 36. DD-1 ve DD-3 tasarım spektrum.....	38
Şekil 37. Türkiye deprem tehlike haritası	38
Şekil 38. Kurşun çekirdekli izolatörler için kuvvet-yerdeğiştirme grafiği	39

Şekil 39. Hatay ili Antakya ilçesindeki Hayrettin Özkan Ortaokulu'nun çevresine yerleştirilen ivmeölçerler	42
Şekil 40. 3129 nolu istasyonu Pazarcık yer ivmesi kaydı.....	42
Şekil 41. TCU045 nolu istasyonu Chichi yer ivmesi kaydı.....	42
Şekil 42. Koeri330 nolu istasyonu Kocaeli yer ivmesi kaydı	43
Şekil 43. Sce 24 nolu istasyonu Lenders yer ivmesi kaydı.....	43
Şekil 44. Cue90 nolu istasyonu Kobe yer ivmesi kaydı	43
Şekil 45. USGS 1028 nolu istasyonu Hollsiter yer ivmesi kaydı	44
Şekil 46. CDMG 47381 nolu istasyonu Loma perita yer ivmesi kaydı	44
Şekil 47. Cdmg 24278 nolu istasyonu Northridge yer ivmesi kaydı	44
Şekil 48. Tolmezzo(000) nolu istasyonu Friuli yer ivmesi kaydı	45
Şekil 49. USGS 5115 nolu istasyonu Imperial Vally yer ivmesi kaydı.....	45
Şekil 50. Cdmg 1498 nolu istasyonu Trinidad yer ivmesi kaydı	45
Şekil 51. Pazarcık Depremi Hatay 3129 nolu istasyonu DD-1 spektrumları.....	46
Şekil 52. Pazarcık Depremi Hatay 3129 nolu istasyonu DD-3 spektrumları.....	46
Şekil 53. Kolonlar için M3 mafsallık özelliklerinin tanımlanması	47
Şekil 54. Kirişler için P-M2-M3 mafsallık özelliklerinin tanımlanması.....	47
Şekil 55. V2 mafsallık özelliklerinin tanımlanması	48
Şekil 56. V3 mafsallık özelliklerinin tanımlanması	48
Şekil 57. Mafsallık atanması	49
Şekil 58. Güçlendirme perdelerinin yerleşimini gösteren plan.....	50
Şekil 59. Güçlendirme perdelerinin yerleşimini gösteren üç boyutlu model.....	50
Şekil 60. Sismik izolatörlerin yerleşim planı	51
Şekil 61. Dört perdenin simetrik olarak eklenmesi üç boyutlu modeli.....	51
Şekil 62. Doğal titreşim periyotları.....	53
Şekil 63. Hiç güçlendirilmemiş binanın DD-1 ve DD-3 performans seviyesine göre plastik mafsallık durumu	54
Şekil 64. Mevcut güçlendirmeli binanın DD-1 ve DD-3 performans seviyesine göre plastik mafsallık durumu	55
Şekil 65. Perde ile güçlendirilmiş binanın DD-1 ve DD-3 performans seviyesine göre plastik mafsallık durumu	56
Şekil 66. Sismik izolatörlü binanın DD-1 ve DD-3 performans seviyesine göre plastik mafsallık durumu	57
Şekil 67. İzolatörlü yapı ve perdeli yapının performans sonuçları	63
Şekil 68. DD-1 gerçek ve tasarım depremi spektrum grafiği	64
Şekil 69. perde ile güçlendirilmiş binanın deplasmanları (dx)	64
Şekil 70. izolatörlü binanın deplasmanları (dx)	65
Şekil 71. perde ile güçlendirilmiş binanın deplasmanları (dy)	65
Şekil 72. izolatörlü binanın deplasmanları (dy)	66
Şekil 73. Perde ile güçlendirilmiş binanın 11 deprem için deplasmanların ortalaması	66
Şekil 74. İzolatörlü binanın 11 deprem için deplasmanların ortalaması.....	67
Şekil 75. perde ile güçlendirilmiş binanın deplasmanları (dx)	68
Şekil 76. İzolatörlü binanın deplasmanları (dx).....	69

Şekil 77. Perde ile güçlendirilmiş binanın deplasmanları (d_y)	69
Şekil 78. İzolatörlü binanın deplasmanları (d_y).....	70
Şekil 79. İzolatörlü binanın 11 deprem için deplasmanların ortalaması.....	70
Şekil 80. İzolatörlü binanın 11 deprem için deplasmanların ortalaması.....	71
Şekil 81. DD-1 deprem yer hareketi seviyesi Binanın taban kesme kuvveti (V_x)	72
Şekil 82. DD-1 deprem yer hareketi seviyesi binanın taban kesme kuvveti (V_y)	73
Şekil 83. DD-1 taban kesme kuvvetleri ortalaması (V_x)	74
Şekil 84. DD-1 taban kesme kuvvetleri ortalaması (V_y)	75
Şekil 85. DD-1 deprem hareketi seviyesi taban kesme kuvvetleri / yapının toplam ağırlığı (V_x/W).....	75
Şekil 86. DD-1 deprem hareketi seviyesi taban kesme kuvvetleri / yapının toplam ağırlığı (V_y/W).....	76
Şekil 87. DD-3 deprem yer hareketi seviyesi binanın taban kesme kuvveti (V_x)	76
Şekil 88. DD-3 deprem yer hareketi seviyesi binanın taban kesme kuvveti (V_y)	77
Şekil 89. DD-3 taban kesme kuvvetleri ortalaması (V_x)	78
Şekil 90. DD-3 taban kesme kuvvetleri ortalaması (V_y)	78
Şekil 91. Taban eksenel reaksiyon kuvvetleri belirlenen nokta.....	79
Şekil 92. Sonuçların karşılaştırılması amacıyla belirlenen kolon	80
Şekil 93. Perde ile güçlendirilmiş ve sismik izolatörlü binalarda kolon kuvvetleri ..	81
Şekil 94. DD-1 Pazarcık depremi deplasman grafiği (Perdeli).....	82
Şekil 95. DD-1 Pazarcık depremi deplasman grafiği (İzolatörlü)	83
Şekil 96. DD-1 Pazarcık depremi taban kesme kuvveti-deplasman grafiği (Perdeli)	84
Şekil 97. DD-1 Pazarcık depremi taban kesme kuvveti-deplasman grafiği (İzolatörlü)	85
Şekil 98. DD-1 Pazarcık depremi taban kesme kuvveti-deplasman grafiği (Son katı)	86
Şekil 99. DD-1- Pazarcık depremi taban kesme kuvveti-zaman grafiği (Perdeli).....	87
Şekil 100. DD-1- Pazarcık depremi taban kesme kuvveti-zaman grafiği (İzolatörlü)	88
Şekil 101. DD-1 Pazarcık depremi kolon eksenel kuvveti grafiği (Perdeli).....	89
Şekil 102. DD-1 Pazarcık depremi kolon eksenel kuvveti grafiği (İzolatörlü)	90

TABLolar DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1. Yapı genel bilgisi.....	21
Tablo 2. Kahramanmaraş depremlerinin büyüklükleri ve değerleri	27
Tablo 3. Bina kullanım sınıfları (BKS) ve bina önem katsayıları (I)	35
Tablo 4. Deprem tasarım sınıfları (DTS).....	36
Tablo 5. Deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik sınıfları.....	36
Tablo 6. Mevcut yerinde dökme betonarme, önüretimli betonarme ve çelik binalar (yüksek binalar dışında – $BYS \geq 2$) performans hedefleri.....	36
Tablo 7. Deprem spektrum verileri	38
Tablo 8. TBDY 2018 alt ve üst sınır değerleri.....	40
Tablo 9. Seçilen deprem ivme kayıtları	41
Tablo 10. Kullanılan sismik izolatörün özellikleri.....	52
Tablo 11. Hiç güçlendirilmemiş modelde DD-1 performansa göre hasar durumları	59
Tablo 12. Mevcut güçlendirme modelde DD-1 performansa göre hasar durumları..	59
Tablo 13. Perde ile güçlendirilmiş modelde DD-1 hasar durumları.....	60
Tablo 14. İzolatörlü modelde DD-1 performansa göre hasar durumları.....	60
Tablo 15. Perde ile güçlendirilmiş modelde DD-3 hasar durumları.....	61
Tablo 16. İzolatörlü modelde DD-3 performansa göre hasar durumları.....	62
Tablo 17. Perde ile güçlendirilmiş binanın görelî kat ötelemesi.....	67
Tablo 18. İzolatörlü binanın görelî kat ötelemesi	68
Tablo 19. Perde ile güçlendirilmiş binanın görelî kat ötelemesi.....	72
Tablo 20. İzolatörlü binanın görelî kat ötelemesi	72
Tablo 21. DD-1 deprem yer hareketi seviyesi için taban kesme kuvvetleri	74
Tablo 22. DD-3 deprem yer hareketi seviyesi için taban kesme kuvvetleri	77
Tablo 23. DD-1 deprem yer hareketi seviyesi için taban eksenel kuvvetleri	79

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	I
ABSTRACT	II
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	III
ŞEKİLLER DİZİNİ	IV
TABLolar DİZİNİ	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Geleneksel Güçlendirme Yöntemi.....	2
1.2. Sismik İzolatörler	4
1.3. Sismik İzolatör Türleri.....	5
1.4. Türkiye'de ve Dünyada Sismik İzolatör Uygulamaları	7
1.4.1. Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi.....	7
1.4.2. Sabiha Gökçen Havalimanı.....	9
1.4.3. İhsan Doğramacı Vakfı Özel Bilkent Erzurum Laboratuvar Lisesi	10
1.4.4. California Bilim Merkezi.....	11
1.4.5. Foothill Communities Hukuk ve Adalet Merkezi	12
1.4.6. Ulusal Batı Sanatları Müzesi.....	13
2. LİTERATÜR TARAMASI	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1. İncelenecek Binanın Tanımı	21
3.2. Binanın Özellikleri.....	23
3.3. Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri	26
3.4. Deprem Sonrası Binaların Durumu ve Yapısal Hasarlar.....	27
3.5. Sap2000 Yazılımı	34
3.6. Mevcut Yapılar İçin Performans Hedeflerinin ve Analiz Yöntemlerinin Belirlenmesi	35
3.7. Bina Modelleme ve Analizi	37
3.8. Sabit ve Hareketli Yüklerin Belirlenmesi ve Tanımlanması	37
3.9. Deprem Yükünün Belirlenmesi ve Tanımlanması	38
3.10. Sismik İzolatörün Boyutlandırılması ve Tasarımı	39

3.11. Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı Yöntemi	41
3.12. Yer Hareketi İvmelerinin Analizlerde Kullanımı için Seçilmesi.....	41
3.13. Mevcut Yapının Perde ile Güçlendirmesi	49
3.14. Binanın Sismik İzolatör ile Modellenmesi.....	51
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	53
4.1. Doğal Titreşim Periyotları	53
4.2. Zaman Tanımı Alanında Doğrusal Olmayan Deprem Analiz Sonuçları..	54
4.2.1. Yapılarının Mafsallaşma Durumları ve Performans Sonuçları	54
4.2.2. Kahramanmaraş Pazarcık Gerçek Deprem Verileri Uygulandığında Yapının Mafsallaşma Durumu ve Performans Sonuçları	62
4.2.3. Perde ile Güçlendirilmiş ve İzolatörlü Yapıların Deplasman Sonuçları .	64
4.2.4. Perde ile Güçlendirilmiş ve İzolatörlü Yapıların Taban Kesme Kuvvetleri.....	72
4.2.5. Perde ile Güçlendirilmiş ve İzolatörlü Yapılarda Taban Düşey Reaksiyon Kuvvetleri	79
4.2.6. Perde ile Güçlendirilmiş ve İzolatörlü Yapıda Kolon Kuvvetleri	80
4.2.7. Yapının Kahramanmaraş Depremi Deplasman ve Kuvvet Grafikleri ...	82
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	91
6. KAYNAKLAR:	93

1. GİRİŞ

Depremler, günümüzde insan hayatını tehdit eden doğal afetlerden biridir; çünkü binaları ve altyapıları yok eder. Türkiye Dünya'nın ana aktif fay hatları üzerinde bulunması nedeniyle sürekli deprem tehlikesi altındaki bölgelerden biridir. Bu durum gelecekteki depremlere dayanıklı olacak şekilde inşa edilecek binalar için gerekli tüm önlemlerin alınması ve iyi tasarımın yapılmasını zorunlu kılar. Ancak, sadece yeni binaların uygun tasarımı yeterli değildir; ayrıca, mevcut binaların da gözden geçirilmesi gerekmektedir. Çünkü bu binaların zayıflıkları ve beklenen deprem kuvvetlerine karşı yetersiz performansı tasarım depreminden daha büyük deprem oluşması tasarım aşamasında yönetmeliklere uymama veya kullanılan malzemelerin ve yönetmeliklerin uygun yapılmaması gibi birkaç nedenden kaynaklanabilir.



Şekil 1. Kahramanmaraş depremi nedeniyle binalar çöktü

Burada mevcut binaların hedeflenen performansını sağlamak için kullanılan birkaç geleneksel yöntemden bahsedilebilir. Bu yöntemlerden biri, yapıya dayanıklılık ve güç kazandıran betonarme perdeler gibi yapısal elemanların eklenmesidir. Ayrıca, istenilen performansı sağlamak ve deprem hasarını önlemek için modern bir yöntem olan deprem izolatörleri kullanmak güzel bir yöntemdir. Bu yöntem bina temelleri ile üst yapı arasında depremi izole eden (yalıtan) deprem izolatörleri ekleyerek uygulanır. Bu binanın doğal titreşim periyodunu artırır ve sönüm ile yapısal hasara neden olan yapıya gelen ivmeleri azaltır.

Dünya çapında yapılan birçok çalışma sismik izolatörlerin binaların deprem anındaki davranışını iyileştirme ve yapıların daha az hasar görmesini sağlama konusunda etkili olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle Japonya ve Kaliforniya gibi deprem kuşağında yer alan bölgelerde bu teknoloji aktif olarak kullanılmaktadır. Türkiye’de ise bu uygulamalar henüz başlangıç aşamasında olup daha fazla araştırma ve uygulama gerektirmektedir.

Bu tezin amacı, bir okulun betonarme perdeler ekleyerek geleneksel güçlendirme yönteminin uygulanması ve aynı binaya deprem izolatörleri kullanarak uygulanması etkilerini karşılaştırmaktır. Çalışmada binaların sismik performansları Türkiye’nin 2018 Deprem Yönetmeliği’ne dayanarak, doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizi ile değerlendirilecektir.

1.1. Geleneksel Güçlendirme Yöntemi

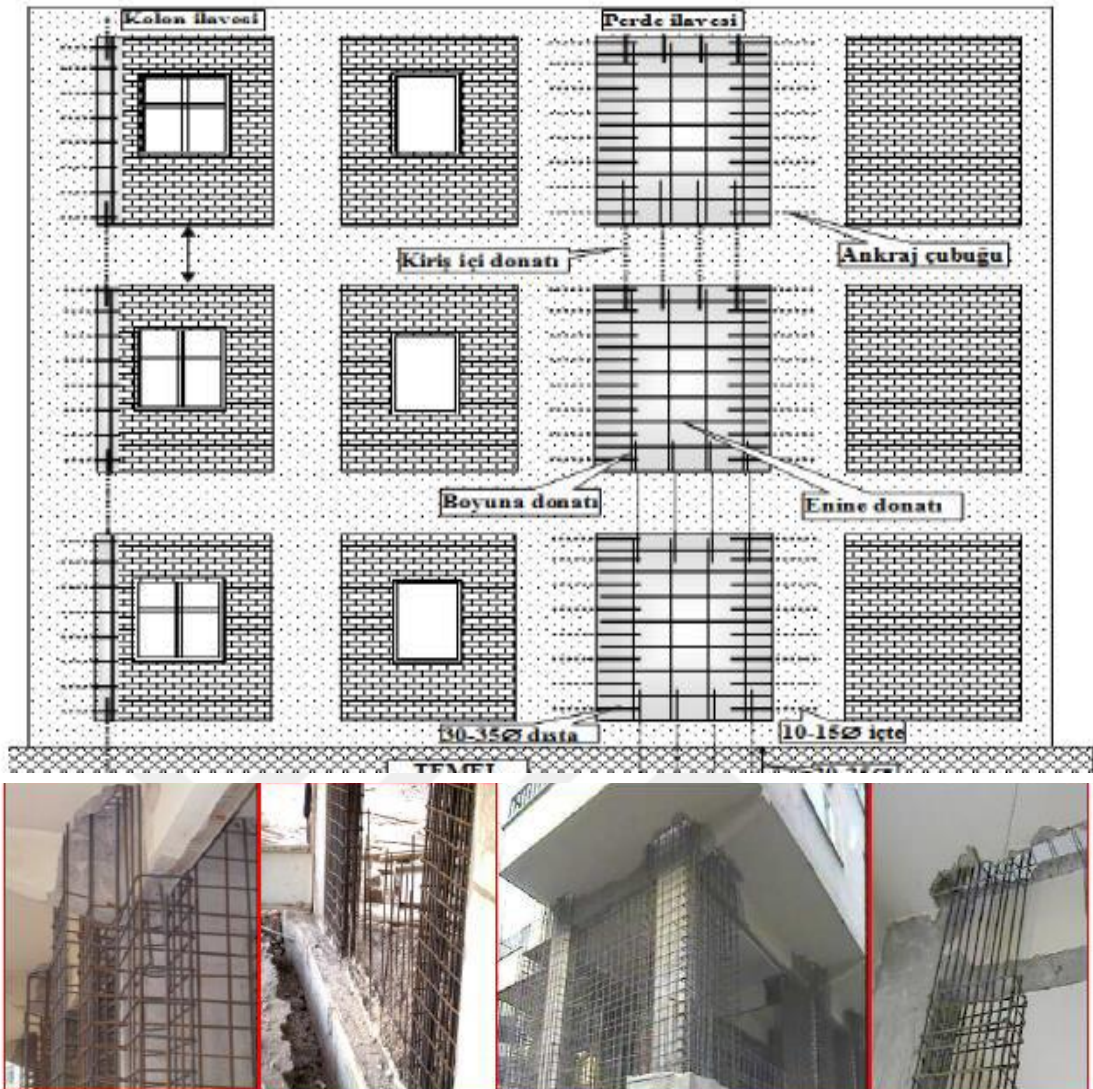
YİĞİT, S. 2019 çalışmasında aşağıdaki noktalara değinmiştir;

Bu yöntemde döşeme, kiriş, kolon, perde ve temel gibi yapı elemanlarının yönetmelik şartlarının sağlanması önemlidir. Örneğin, kirişleri güçlendirirken maksimum donatı oranını aşılmamalıdır. Aksi takdirde kiriş donatısı akmaya ulaşmaz ve bu da betonun kırılmasına neden olur. Kirişin taşıma kapasitesi kolona göre yüksekse güçlü kiriş - zayıf kolon durumuna neden olabilir. Bu çalışmada mevcut yapıya perde eklenerek güçlendirme uygulanmıştır.

Perde ekleme

Betonarme yapıların yatay yüklere karşı direncini arttırmak için ek perde eklenmektedir. Bu işlem sırasında aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir:

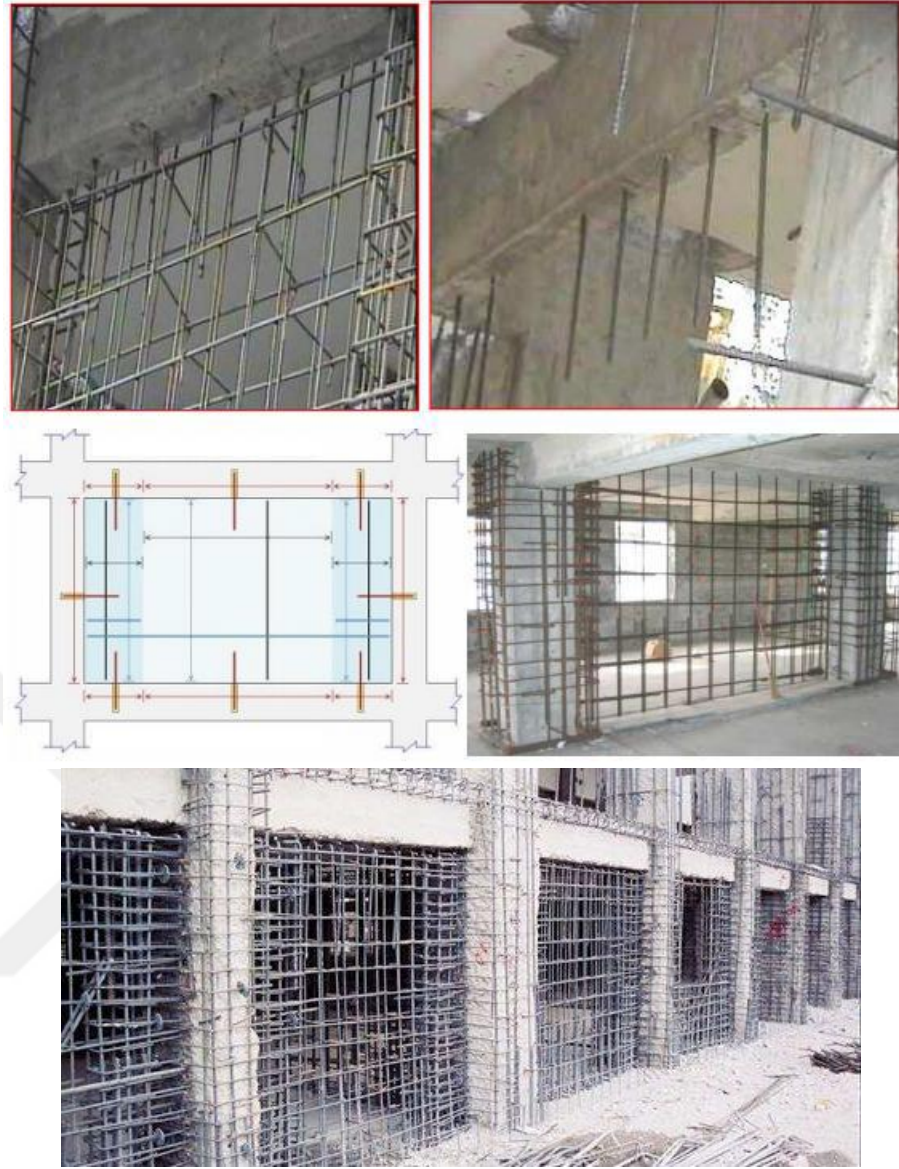
- Yapının rijitlik merkezini kütle merkezinden uzaklaştırmalarını önlemek için ek perde simetrik olarak yerleştirilmelidir. Aksi takdirde, düzensiz burulma meydana gelecektir (YİĞİT, S., 2019).
- Perde ile mevcut taşıyıcı sistem birleşimleri iyi yapılmalıdır. Perdenin yapı yüksekliği boyunca sürekliliğin sağlanması gerekmektedir (Şekil 2) (ATMACA, M., 2013)



Şekil 2. İlave perde uygulaması (ATMACA, M., 2013)

Perde eklenmesi binanın yatay rijitliğini arttırmanın en yaygın yöntemidir. Binaların güçlendirilmesi amacıyla uygulanan yöntemlerin büyük bir çoğunluğu, perde ile güçlendirme yöntemidir. Bu çalışma kapsamında incelenecek olan bina da daha önce perde ile güçlendirilmiştir.

Yeni perde taşıyıcı sistemin mevcut taşıyıcı sistem elemanları ile bağlantıların iyi olması için kenetlenme boyu kadar filizler ekilmelidir (Şekil 3) (ATMACA, M., 2013).

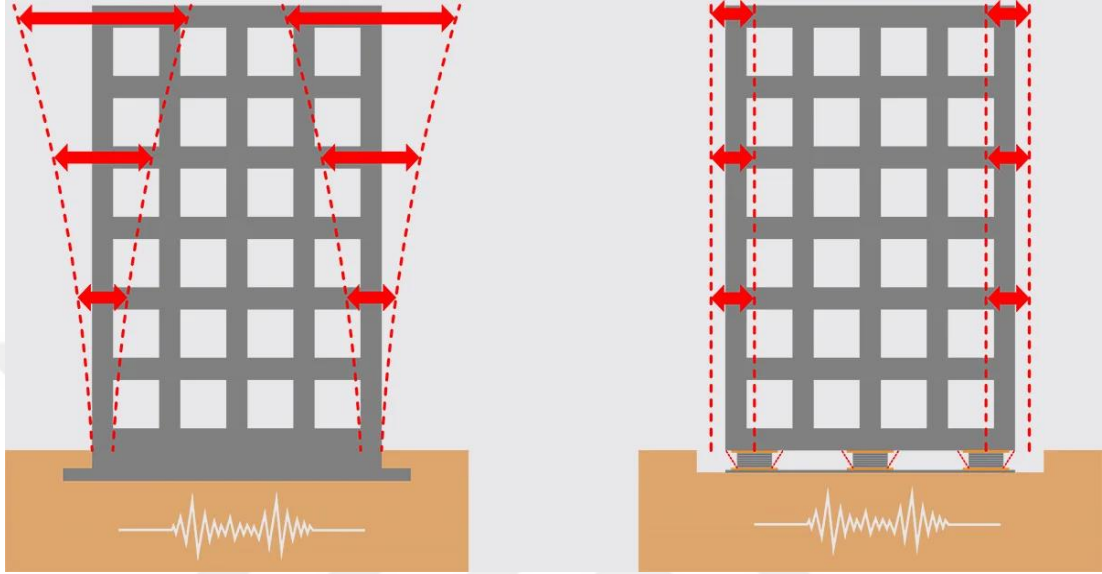


Şekil 3. Perde ile mevcut taşıyıcı sistemin bağlantısı (ATMACA, M., 2013)

1.2. Sismik İzolatörler

Sismik izolasyon temel ile üst yapı arasında bir süreksizlik yaratarak yer hareketi ivmesinin üst yapıya daha az aktarılmasını sağlar. Bu amaçla en sık kullanılan izolasyon sistemleri elastomer esaslı ve sürtünmeli sarkaç tipi izolasyon sistemleridir. Türkiye’de yaşanan orta ve büyük ölçekli depremler yıllar boyunca ciddi can ve mal kayıplarına yol açmıştır. Bu tür kayıpların önlenmesinde en etkili yöntemlerden biri sismik izolatörlerin kullanımıdır. Sismik izolatörler, deprem enerjisinin taşıyıcı elemanlara geçmesini büyük ölçüde engeller. Bir binada sismik izolatör kullanılması doğal titreşim periyotlarını artırarak katlar arası deplasmanları ve taban kesme

kuvvetlerini azaltır. Böylece, bu binalar normal yapılara göre deprem sırasında daha iyi performans gösterir ve daha güvenli olur. Günümüzde sismik izolatörler özellikle deprem sonrasında hemen kullanılacak binalarda yaygın olarak tercih edilmektedir (GAZİ, Ö., 2024).



Şekil 4. Ankastre mesnetli yapı ile izolatörlü yapının deprem anındaki hareketi

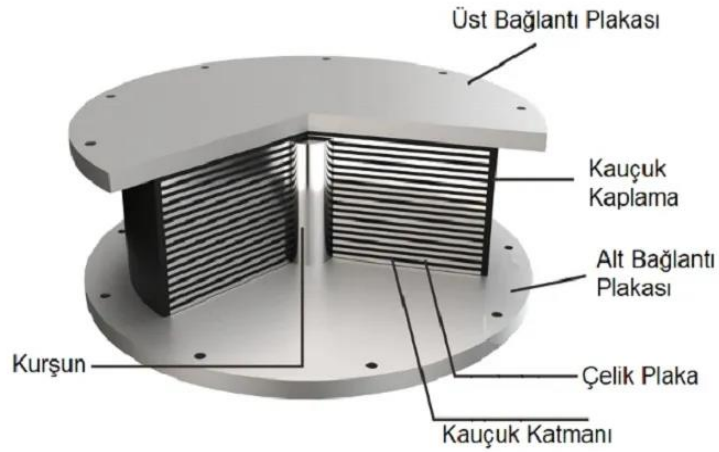
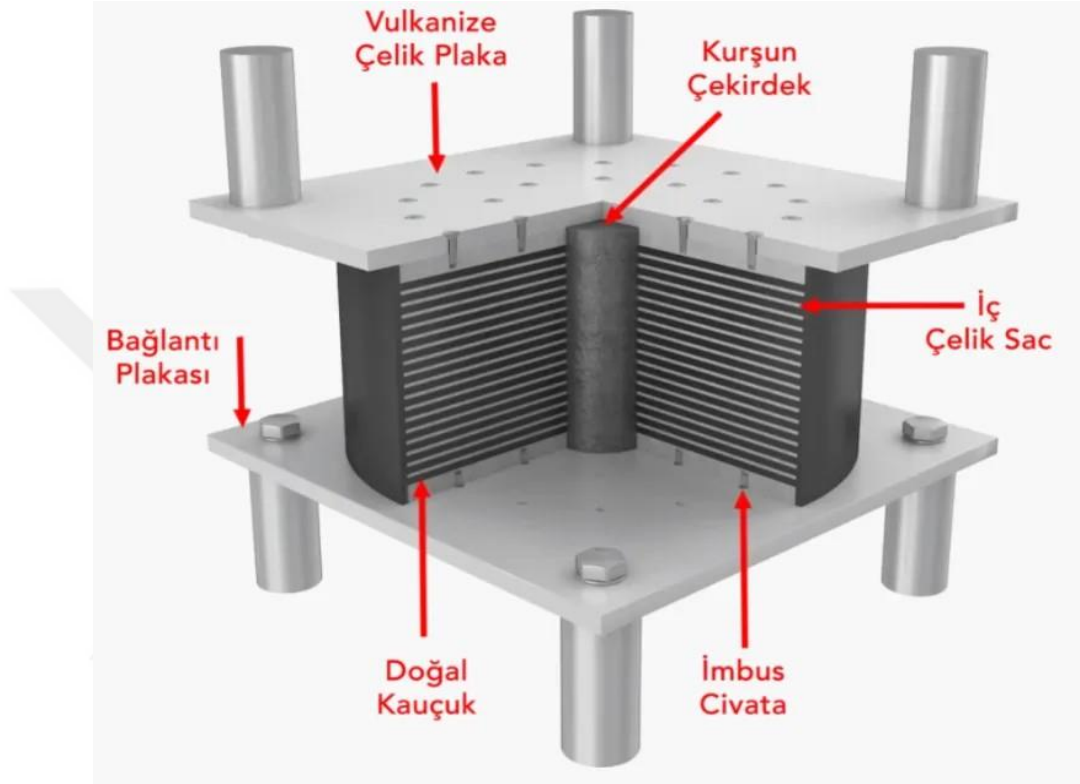
Sismik izolasyon yöntemleri, güçlendirme sürecinde yapının fonksiyonlarının korunmasını sağlar ve bu süreçte yapıda büyük değişikliklere gerek kalmaz. Bu durum özellikle tarihi binalar gibi çeşitli yapı tiplerine uygulanabilme olanağı sunar ve bu binaların mimari özelliklerinin korunmasını sağlar. Sismik izolasyonun kullanımı, binaların deprem sırasında performansını iyileştirirken yapının güvenliğini ve estetik bütünlüğünü muhafaza eder (GÖKHAN, E., 2009).

1.3. Sismik İzolatör Türleri

1-Kauçuk esaslı izolatör:

Çelik plakalarla desteklenen elastomer tabakalarından oluşan kauçuk esaslı izolatörler, yapısal sismik izolasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu izolatörlerin bileşenleri dairesel veya dikdörtgen şeklinde olabilir ve iç çaplı ya da iç çapsız olarak tasarlanabilirler. İç çaplı izolatörler, genellikle kurşun çekirdekli olarak üretilir ve bu çekirdek, izolatörün merkezi kısmında yer alır. İzolatörün geometrisi, kalınlığı, dış ve iç çapları, elastomer tabakalarının kalınlıkları ve kauçuk malzemesinin

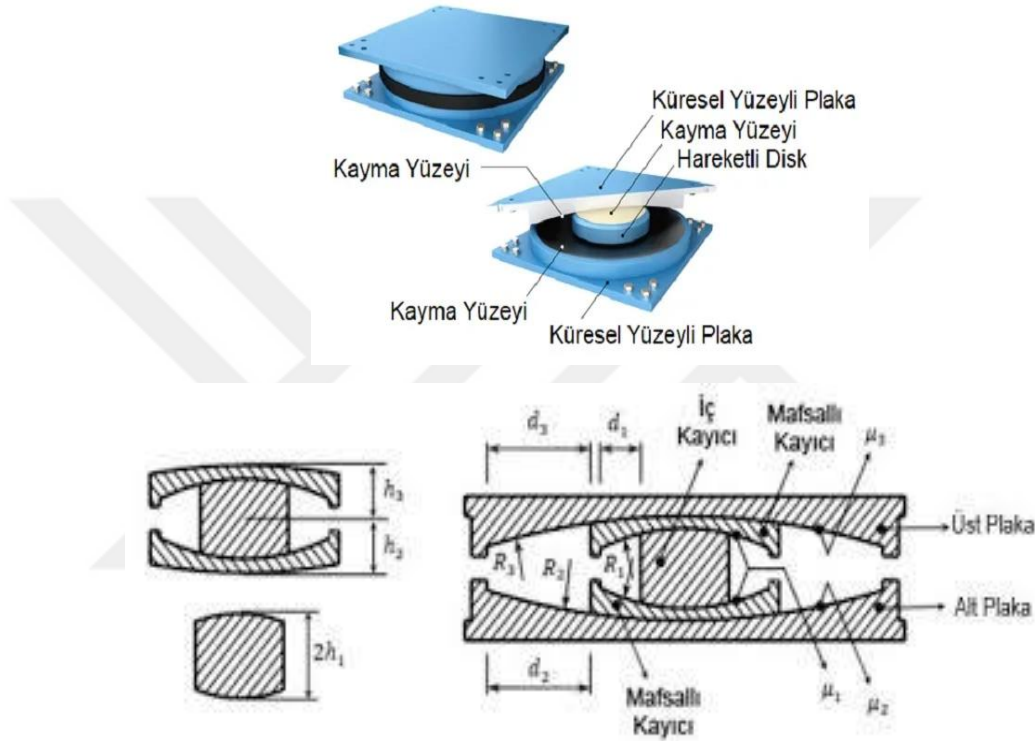
özellikleri izolatörün düşey ve yatay rijitliğini belirleyen temel parametrelerdir. Kauçuk esaslı izolatörlerin en etkili türü, yüksek enerji tüketimi ve sönüm kapasitesi sağlayan yüksek sönümlü elastomer esaslı izolatörlerdir. Bu izolatörler deprem enerjisinin büyük bir kısmını absorbe ederek yapıların sismik performansını önemli ölçüde artırır.



Şekil 5. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörü (LRB)

2-Sürtünmeli sarkaç izolatör:

Küresel içbükey yüzeyli özel sürtünme yüzeyine sahip izolatör, küresel mafsallı ve küresel kayıcı birimlerden oluşan bir yapıya sahiptir. Bu yapı koruyucu silindirik halka ve sızdırmazlık contasıyla çevrelenmiştir. İzolatör deprem enerjisini küresel kayıcı birimin içbükey yüzeyine sürtünerek absorbe eder ve böylece taşıyıcı elemanlardaki kesme kuvvetini azaltır ve yapının periyodunu artırır (GAZİ, Ö., 2024).



Şekil 6. Sürtünmeli sarkaç izolatörü (FPS)

1.4. Türkiye'de ve Dünyada Sismik İzolatör Uygulamaları

1.4.1. Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi

İstanbul'daki Başakşehir Çam ve Sakura Hastanesi, modern binalarda sismik izolatör kullanımına örnek olarak öne çıkmaktadır. Türkiye Sağlık Bakanlığı'nın 2009 yılında başlattığı şehir hastaneleri projesinin bir parçası olan bu hastane, dünya çapında en büyük taban izolatörlü yapı olarak kabul edilmektedir. 10 milyon metrekarelik bir alana yayılan hastane, 2000'den fazla üçlü sürtünmeli pendül yatakları (sürtünmeli izolatör) içermektedir. Binanın tasarımı, Türk inşaat standartlarına uygun olarak

yapılmış ve hemen kullanılabilirlik performans kriterlerini karşılayacak şekilde optimize edilmiştir (ZEKİOĞLU, A., GOGUS, A. BİNZET, S., CHOK, K., 2021).

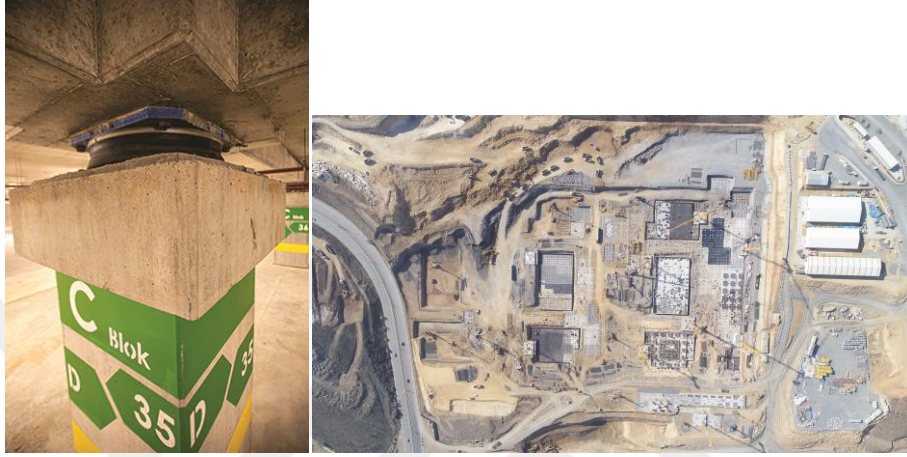
Hastane, 17 kat yüksekliğe kadar uzanan üç uzmanlık kulesi, altı klinik binası ve üç helikopter pistiyle tasarlanmış olup, hepsi 2068 sismik izolatörle desteklenen ortak bir podyuma sahiptir. Bu özellikler, yapının güçlü depremlerde bile istikrarlı kalmasına yardımcı olmaktadır. 2020 yılında açılışı yapılan hastane, İstanbul'da önemli bir sağlık merkezi haline gelmiş, günde 32700'den fazla hasta kabul etmekte olup, 90 ameliyathane odası ve 458 yoğun bakım ünitesine sahiptir (Türk İnşaat ve Tasarım Raporları).



Şekil 7. Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi

Başakşehir Çam ve Sakura Hastanesi, dünya çapında en büyük taban izolatörlü yapı olarak dikkat çekmektedir. Bu hastanenin taban izolatörleri, üçlü sürtünmeli pendül yatakları (sürtünmeli izolatör) olarak bilinir. Bu tip izolatörler, yapının deprem sırasında yerden bağımsız hareket etmesine olanak tanır. Bu tasarım, binanın deprem sırasında 68 cm'ye kadar hareket etmesini sağlar, bu da sismik etkileri büyük ölçüde azaltarak taban kesme kuvvetlerini düşürür ve binanın stabilitesini artırır (ZEKİOĞLU, A., GOGUS, A., BİNZET, S., CHOK, K., 2021).

Bu izolatörlerin en önemli özelliklerinden biri, sismik dalgaların enerjisini absorbe etmeleri ve yapının yalnızca sismik etkilerle değil, aynı zamanda yer hareketlerinin yol açtığı stresle de başa çıkabilmesidir. Başakşehir Hastanesi'nde kullanılan 2068 sismik izolatör, tüm yapıyı güvence altına alarak, olası büyük bir depremde bile binanın işlevini sürdürmesini sağlar (ZEKİOĞLU, A., GOGUS, A., BİNZET, S., CHOK, K., 2021).



Şekil 8. Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi'nde kullanılan izolatör

1.4.2. Sabiha Gökçen Havalimanı

İstanbul'daki Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı, sismik yalıtım teknolojisinin uygulandığı önde gelen projelerden biridir. Toplamda 15000 metrekarelik bir alana sahip olan bu yapı 20 metre yüksekliğe sahiptir. Kuzey Anadolu Fay Hattı'na yakın bir bölgede yer alan havalimanında depremin etkilerini azaltmak amacıyla 292 adet sürtünmeli pandül izolatör kullanılmıştır. Bu proje yalnızca 18 ayda tamamlanmış ve 31 Ekim 2009'da hizmete girmiştir (KURT, Z., 2019).



Şekil 9. Sabiha Gökçen Havalimanı

Bina, Richter ölçeğiyle 8 büyüklüğüne kadar olan depremler karşısında dayanıklılık gösterecek şekilde tasarlanmıştır, bu da herhangi bir sismik olay durumunda operasyonların sürekliliğini sağlamayı hedeflemektedir. Yapının sismik tespiti geleneksel yapı sistemlerine kıyasla %80 oranında azaltılmıştır. Bu mühendislik çözümü, binanın deprem etkilerinden korunmasına yönelik çok yönlü bir tasarım stratejisinin bir parçası olarak geliştirilmiş olup, bu süreçte deprem simülasyonu yazılımlarıyla yapılan kapsamlı testler yapının şiddetli yer hareketlerine karşı dayanma kapasitesinin doğrulanmasına olanak sağlamıştır.



Şekil 10. Sabiha Gökçen Havalimanı'nda kullanılan sismik izolatörler

1.4.3. İhsan Doğramacı Vakfı Özel Bilkent Erzurum Laboratuvar Lisesi

İhsan Doğramacı Vakfı Erzurum Bilkent Lisesi Erzurum ilinde yer alan ve sismik izolasyon teknolojisi uygulanan okullardan biri olarak dikkat çekmektedir. Okul kampüsü 10500 metrekarelik bir alana yayılmakta olup, yapı içinde toplamda 203 sismik izolatör kullanılmıştır. Bu izolasyon teknolojisi, olası bir deprem durumunda yapıyı büyük ölçüde koruyarak, sismik etkinin yapıya olan olumsuz etkilerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır (ERDİK, M., 2015).



Şekil 11. İhsan Doğramacı Vakfı Özel Bilkent Erzurum Laboratuvar Lisesi

1.4.4. California Bilim Merkezi

California Bilim Merkezi, Los Angeles Kaliforniya'da yer alan ve sismik izolasyon teknolojisinin kullanıldığı önde gelen projelerden biridir. Bina 46451 metrekarelik bir alanda yer almakta olup, bilimsel sergiler, laboratuvarlar ve konferans salonları gibi çeşitli fonksiyonel alanlara sahip çok katlı bir yapıdır. Bu proje Kaliforniya eyaletinin kamu binalarının deprem dayanıklılığını artırmaya yönelik geniş kapsamlı bir stratejinin parçası olarak önemli bir yer tutmaktadır.

Bina sismik güçlere karşı direnç sağlamak amacıyla 600 adet kauçuk tipi sismik izolatör kullanılmaktadır. Bu izolatörler yapının yatay ve dikey hareketlere karşı esneklik göstererek, deprem sırasında zemin hareketlerinin binaya iletilmesini önemli ölçüde azaltmaktadır.



Şekil 12. California Bilim Merkezi

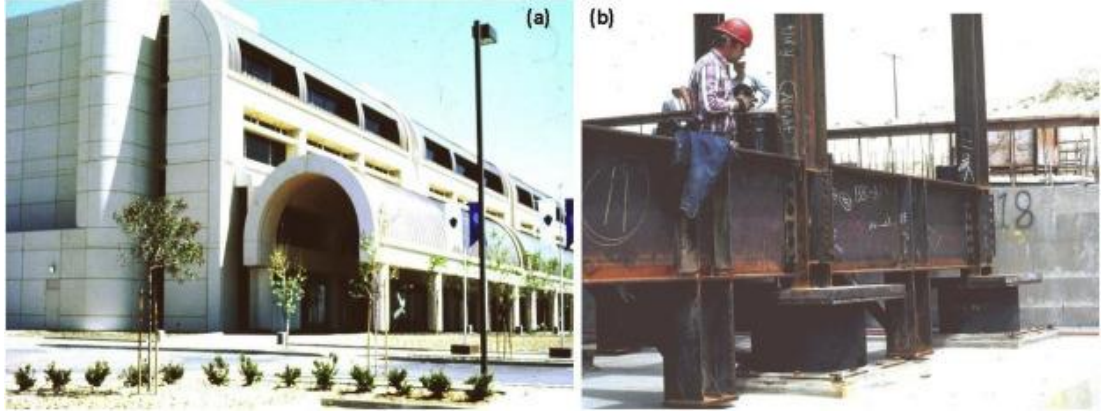
1.4.5.Foothill Communities Hukuk ve Adalet Merkezi

San Bernardino, Kaliforniya'da yer alan Foothill Communities Hukuk ve Adalet Merkezi Amerika Birleşik Devletleri'nde tam sismik izolasyon sistemiyle donatılmış ilk yapı olarak kabul edilmektedir. Merkez San Andreas fay hattına 21 km ve Los Angeles'a yaklaşık 100 km uzaklıkta bulunur. 1984 yılında yapımına başlanan bina, 1985 yılında tamamlanmıştır (GÖKHAN, E., 2009).



Şekil 13. Foothill Communities Hukuk ve Adalet Merkezi

Bu yapı toplamda yaklaşık 15794 metrekare inşaat alanına sahip olup, dört katlı ve bir bodrum katı içeren çelik bir çerçeve yapıya sahiptir. Bu proje yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörlerin (HDNR) kullanıldığı ilk sismik izolasyon uygulamalarından biridir ve izolatörler, Malezya Kauçuk Üreticileri Birliği (MRPRA) tarafından geliştirilmiştir. Binanın temellerinde toplamda 98 kauçuk izolatör yer almakta olup, bu yapı zemininde 8.3 büyüklüğündeki bir depreme dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, izolatörlerin hareketine izin vermek için binanın köşelerinde 40 cm'lik dilatasyon boşlukları bırakılmıştır (GÖKHAN, E., 2009).



Şekil 14. Foothill Communities Hukuk ve Adalet Merkezi'nde uygulanan sismik izolatörler

1.4.6. Ulusal Batı Sanatları Müzesi

Tokyo, Japonya'daki Ulusal Batı Sanatları Müzesi 1998 yılında yapılan güncellemeler sırasında sismik izolasyon teknolojilerini kullanarak yapısını deprem güvenliği açısından güçlendirmiştir. Bu süreçte binanın temel ve orta katlarına 49 adet kauçuk sismik izolatör yerleştirilmiştir. Bu izolatörler yatay ve dikey hareketlere karşı esneklik sağlayarak zemin hareketlerinin binaya iletilmesini önemli ölçüde azaltır. Böylece, yapı deprem sırasında daha stabil kalır ve sismik etkilerden daha az zarar görür.

Japonya'da kültürel ve tarihi önemi olan yapılar için bu tür sismik izolasyon teknikleri, binaların deprem dayanıklılığını artırmaya yönelik geniş kapsamlı bir stratejinin parçasıdır. Bu müze, UNESCO Dünya Mirası Listesi'ne dahil edilmiştir, bu da yapısal güvenlik önlemlerinin önemini daha da artırmaktadır.



Şekil 15. Ulusal Batı Sanatları Müzesi ve uygulanan sismik izolatörler

2. LİTERATÜR TARAMASI

Altıok, T.Y., Şevik. M., Demir. A., 2024 yılında yaptığı "Seismic Performance of Retrofitted and Non-Retrofitted RC School Buildings after the February 6th, 2023, Kahramanmaraş Earthquakes" adlı yayınlarında, Kahramanmaraş şehrinde güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş dört okuldan oluşan sayısal analizler ve saha gözlemleri üzerine çalışmıştır. Analizler, doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizi yöntemiyle ETABS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, okullara en yakın sismik gözlem istasyonundan elde edilen yer ivmesi verileri analizlerde kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, betonarme perde duvarlarla güçlendirilen binalarda kat ötelenmelerinin ve sismik enerji girdisinin azaldığını, böylece bu yapıların deprem etkilerine karşı yüksek performans sergilediğini göstermektedir. Çalışmada ayrıca, yapısal malzeme veya mühendislik hizmetlerinde eksiklikler bulunsa dahi, uygun bir güçlendirme tekniği kullanılarak okulların depreme dayanıklı hale getirilebileceği sonucuna ulaşmıştır.

Karabacak, S., 2020 yılında "Betonarme Bir Binada Geleneksel Yöntem ve Taban Yalıtım ile Güçlendirme Yönteminin Karşılaştırılması" adlı yüksek lisans tezinde, mevcut binaların deprem etkisine karşı güçlendirilmesinde takip edilen geleneksel yöntem ve eğri yüzeyli deprem izolasyon birimi gibi yöntemlerin başarılı olduğunu göstermiştir. Her iki yöntem de binanın deprem etkisi altındaki davranışını iyileştirmiştir. Geleneksel yöntemle yapılan güçlendirmede doğal titreşim periyodunun azaldığını, Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler kullanılan yöntemde ise arttığını göstermektedir. Çalışma Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler birimi kullanılarak güçlendirmenin maliyetinin geleneksel yöntemlere göre daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

Sezer, Y., 2020 yılında "Mevcut Betonarme Yapıların Güçlendirilmesinde Sismik İzolasyon Kullanılması" adlı yüksek lisans tezinde, 1975 deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış ve çökme aşamasına gelmiş varsayılan bir binanın performansı, doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmada söz konusu binanın güçlendirilmesi için iki farklı yöntem önerilmiştir. İlk yöntem yeni yapısal elemanların eklenmesini ve mevcut elemanların mantolanması içermektedir. İkinci yöntem ise binaya sismik izolatörlerin montajlanmasını önermektedir. Performans analizi sonuçlarına göre, sismik izolatörlerin kullanılmasıyla güçlendirilmiş bina, klasik güçlendirme yöntemine göre

daha iyi bir performans göstermektedir. Bu durum, doğal titreşim periyodu, taban kesme kuvvetleri ve kat yer değiştirmeleri gibi faktörler açısından gözlemlenmiştir.

Krishna, N. M., Siddiqui, M., 2019 yılında yaptığı "Non Linear Time History Analysis of Building with Seismic Control Systems" yayında, asimetrik binalarda perde eklenmesi ve taban izolasyon tekniklerinin kullanımı deprem etkilerine karşı istenen performansı sağlamada iyi sonuçlar göstermiştir. Analiz sonuçları izole edilmiş binaların kat ötelenmelerini perde eklenmesi sistemine göre daha fazla azalttığını, ayrıca izolasyon tabanlı sistemdeki taban kesme kuvvetlerinin perde eklenmesi sistemine göre %78 oranında azaldığını göstermektedir. Ayrıca, sonuçlar perde eklenmesi sisteminin yüksek binalarda temel kesme kuvveti ve burulma momentine daha fazla hakim olduğunu göstermektedir.

Kurt, Z., 2019 yılında “Ankastre ve Sürtünmeli Sarkaç Mesnetli Binaların Dinamik Davranışlarının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e Göre Belirlenmesi” adlı yüksek lisans tezinde, 12 katlı bir hastane binasına yerleştirilen sürtünmeli sarkaç izolatörler, kolonlar ve temel arasında sürtünmeli sarkaç izolatörler olarak kullanılmıştır. Bu izolatörlerin dinamik analizi TBDY 2018’e uygun şekilde seçilen 11 deprem kaydı üzerinde yapılmıştır. Bu kayıtlar 90 derece döndürülerek 22 kayıt oluşturulmuş ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Aynı binanın aynı deprem kaydıyla ankastre mesnetli olarak düşünülen dinamik analizi yapılmış ve sismik izolasyonun binanın yapısal davranışa etkisi incelenmiştir. Analiz sonuçları, izolatörlü yapıda taban kesme kuvvetlerinin, kat ivmeleri değerlerinin ve kat ötelenmelerin ankastre mesnetli yapıyla karşılaştırıldığında azaldığını göstermiştir.

Rakshith, K. J., Spandana, B., Ganesh, M., 2017 yılında “Ankastre Mesnetli ve Sismik İzolatörlü Betonarme Yapılar Performans Karşılaştırılması” adlı yayınlarında, Sismik izolatörlerin kullanımı en önemli etkilerinden birileri kat ivmeleri, kat arası sürtünmeler, kat arası deplasmanları ve taban kesme kuvvetleri azaltmak olduğunu göstermiştir.

Nassani, D. E., Abdulmajeed, M. W., 2015 yılında yaptığı "Seismic Base Isolation in Reinforced Concrete Structures" yayında, farklı izolatör türlerine odaklanılmış ve planda düzenli ve düzensiz olan iki farklı yapı modeli ankastre mesnetli ve taban izolasyonu kullanılarak analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Taban izolasyonu uygulanan yapıların, ankastre mesnetli yapılarla karşılaştırıldığında periyot

değerlerinin arttığı, taban kesme kuvvetlerinin ise %75 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Düzensiz yapılar üzerinde sismik izolasyonun performans açısından olumlu sonuçlar doğurduğu belirlenmiştir.

Güner, G., 2012 yılında "Bir Hastane Yapısının Klasik Yöntemle ve Sismik İzolatör Kullanılarak Tasarımının Dinamik Yönden Karşılaştırılmasının Yapılması" adlı yüksek lisans tezinde, 8 katlı çok katlı hastane yapısı geleneksel yöntemle betonarme kolonlar ve çerçeveler kullanılarak tasarlanmıştır. Ardından yapı kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılarak tekrar tasarlanmıştır. Bu çalışmada, yapısal dinamik özelliklerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan analizlerde, doğrusal olmayan zaman tanım alanı analiz yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, geleneksel güçlendirme yöntemiyle tasarlanan yapıda doğal titreşim periyodu izolatörlerin eklenmesinden sonra yapılan modele göre daha düşüktür. Ayrıca, izolatörlerin uygulandığı modelde katların ötelemeleri birbirlerine çok yakındır ve bu modelde katların ivmelerinde azalma gözlemlenmiştir.

Gökhan, E., 2009 yılında "Betonarme Yapılarda İzolatör Kullanımının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkileri" adlı yüksek lisans tezinde, ankastre mesnetli ve taban izolasyonlu yapılar için doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizler yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları, taban izolasyonlu binanın doğal titreşim periyodunun, ankastre mesnetli binanın periyodundan 4 kat daha büyük olduğunu göstermiştir. Tek modlu kütlelerin katılım oranı, izolasyonlu binalarda %99 iken, ankastre mesnetli binalarda %62 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada kat ötelenmeleri ve ivmeler, ankastre mesnetli binalarda üst katlara doğru ilerledikçe artmış, izolasyonlu binalarda ise çok düşük seviyelerde kalmıştır. Ayrıca, izolasyonlu binalarda deprem yüklerinden kaynaklanan taban kesme kuvvetlerinin, ankastre mesnetli binalara göre %70 daha düşük olduğu bulunmuştur.

Melkumyan, M., Mihul, V., Gevorgyan, E., 2011 yılında yaptığı "Retrofitting by Base Isolation of Existing Buildings in Armenia and in Romania and Comparative Analysis of Innovative vs. Conventional Retrofitting" yayınında, Ermenistan'daki 5 katlı taş apartman ve 3 katlı taş okul binasının tabanına yerleştirilen izolatörlerin montajı incelenmiştir. Ayrıca, Romanya'daki Yaş belediye binasının ankastre tabanlı ve sismik izolatör tabanlı modelleri oluşturulmuş, analizleri yapılmış ve ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Romanya'da geleneksel yöntemlerle güçlendirilmiş dört yapı seçilmiş ve Yaş belediye binası ile maliyet karşılaştırması yapılmıştır. Sismik

izolatörle yapılan güçlendirmenin, geleneksel güçlendirme yöntemlerine göre daha avantajlı olduğu belirlenmiştir.

Avcı, Y., 2007 yılında "Çerçevelerden Oluşan Bir Okul Yapısının Taban İzolatörleri Kullanılarak Analizi ve Güçlendirilmesi" adlı yüksek lisans tezinde, mevcut bir okul yapısının eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak analizi yapılmış ve yapının bulunduğu bölgedeki deprem gereksinimlerini karşılayamayacağı belirlenmiştir. Bu nedenle yapının güçlendirilmesi için iki yöntem kullanılmış ve bunların karşılaştırılması yapılmıştır. İlk yöntem kurşun çekirdekli izolatörlerin kullanılmasıydı, ikinci yöntem ise klasik yöntemdi ve bunun için binaya perdeler eklenmiştir. Analiz doğrusal olmayan zaman tanım alanı yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar kurşun çekirdekli izolatörlerin kullanıldığı modelde doğal titreşim periyodunun klasik yöntemle elde edilen modele göre 3 kat daha büyük olduğunu göstermiştir. Her iki yöntem de yapının gereken deprem performansına ulaşması için etkili olmuştur. Ayrıca, iki yöntemin maliyeti karşılaştırılmış ve izolatörlerin kullanıldığı yöntemin klasik yöntemle göre daha pahalı olduğu belirlenmiştir.

Ayhan, O., 2006 yılında "Binaların Depreme Karşı Güçlendirilmesinde Klasik Yöntem İle Sürtünmeli Sarkaç Sistemlerin Karşılaştırılması" adlı yüksek lisans tezinde, farklı kat sayısına sahip (4 ve 8 katlı) iki yapıda klasik güçlendirme yöntemleri ve sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler kullanılmıştır. Bu çalışmada, 8 farklı kayıt kullanılarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, yapıların doğal titreşim periyotlarının, izolasyon ile güçlendirilen yapıda klasik yöntemle güçlendirilen yapıya göre yaklaşık 3 kat arttığı, izolasyon sistemli yapıda taban kesme kuvvetlerinin ise klasik yöntemli yapıya göre azaldığı göstermiştir. Sonuç olarak, klasik güçlendirme yönteminin izolatöre göre daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

Urgu, İ., 2006 yılında yaptığı "Sismik İzolasyonlu Yapıların Tasarımı" adlı tez çalışmasının sonuçlarında Sismik izolatörü yapıların doğal titreşim periyotları 2-3 saniye mertebelerinde olmaktadır. Dolayısıyla yüksek yapılarda sismik izolatör kullanımı avantaj sağlamadığına ve incelenen deneysel çalışmalara göre gerçek deprem kayıtlarına dayalı olarak tasarlanmış sismik izolatörün etkili bir sonuç verdiğine değinmiştir. Ayrıca izolasyonlu yapıların sismik davranışında, taban kesme kuvvetlerinin azalmasını sağladığı görülmüştür.

Celal Bayar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden bir ekip tarafından yürütülen "Pazarcık ve Elbistan Depremleri Sonrasında Yaşanan Yapısal Hasarların/Yıkımların İncelenmesi ve Manisa ölçeğinde Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi" adlı 1002-C TÜBİTAK projesi raporunda konu ile ilgili ön çalışmalar yer almaktadır. 18 Şubat 2023 tarihinde Adana, Kahramanmaraş, Nurdağı, Osmaniye ve Hatay illerinde deprem sonrası binaların saha incelemesi çalışmalarının neticesinde o bölgedeki yıkılan veya hasar gören binalarda gözlemlenen eksiklik ve problemler ortaya konulmuştur. Gözlemlenen en önemli sorunlar arasında perde kullanılmaması, kolon sayısının veya boyutlarının yetersiz olması, birleşim bölgelerinde etriye eksikliği, asmolon döşeme, etriye aralıklarının büyük olması, beton kalitesinin yetersiz olması, kancaların 90 yapılması vb. sayılabilir.

Ekip ayrıca Kahramanmaraş, Adana, Hatay, Osmaniye ve Nurdağı'nda güçlendirilmiş veya güçlendirilmemiş birçok okul binasında inceleme yaptı ve incelemeler sonucunda güçlendirmesiz okulların bazısının yıkıldığı veya önemli ölçüde hasar gördüğü, güçlendirilen binaların birçoğunun herhangi bir hasara maruz kalmadığı görülmüştür.



Şekil 16. Deprem bölgesinde bulunan ve hasar gören bazı okul binaları



Şekil 17. Deprem bölgesinde bulunan ve hiç hasar görmeyen bazı güçlendirilmiş okul binaları

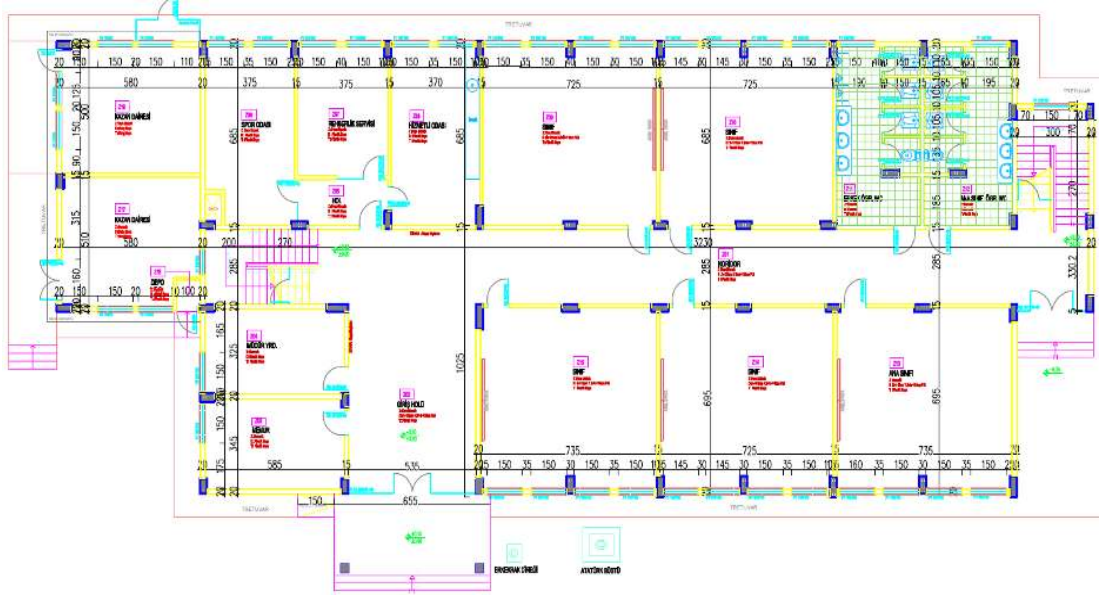
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. İncelenecek Binanın Tanımı

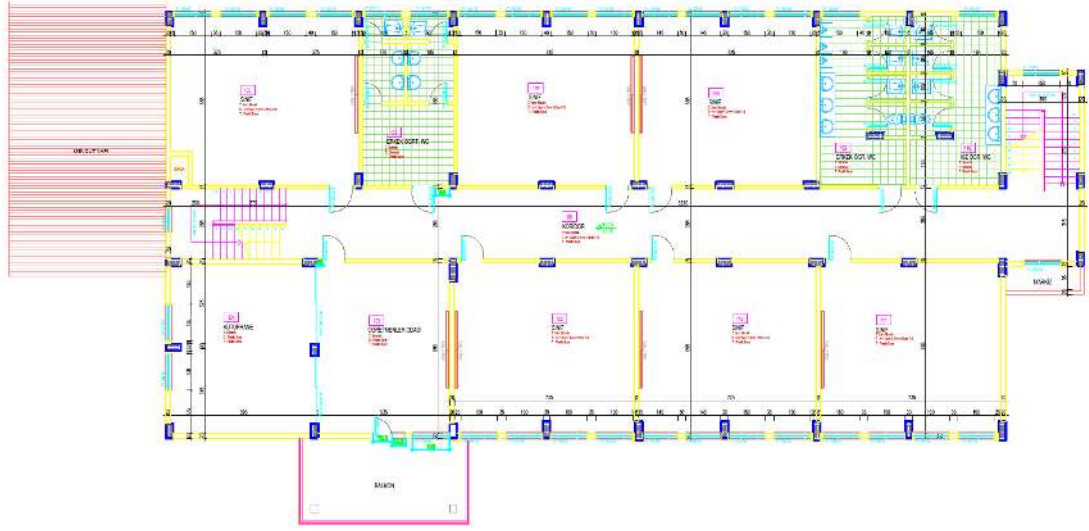
İncelenen yapı Hatay'ın Antakya ilçesinde bulunan Hayrettin Özkan Ortaokulu'dur. Bina, her bir katı 3.15 metre yüksekliğinde olmak üzere dört kattan oluşmaktadır. Yapının taşıyıcı sistemi, çeşitli boyutlarda kiriş ve kolonlardan meydana gelmektedir. Aşağıdaki tabloda yapıya ait teknik bilgiler detaylı olarak sunulmuştur.

Tablo 1. Yapı genel bilgisi

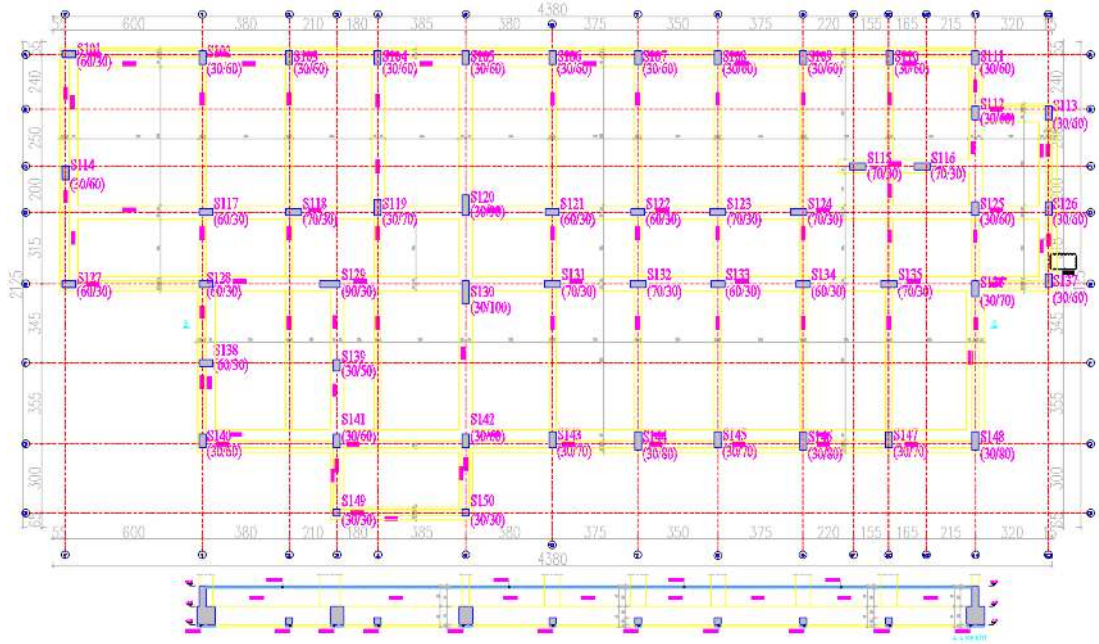
Bina Adı	Kat Adedi	Mevcut Beton Dayanımı (MPa)	Mevcut Donatı Sınıfı	Mevcut Temel Sistemi	Zemin Sınıfı	Zemin Taşıma gücü (kg/cm ²)	Yatak Katsayısı (ton/m ³)	Kolon Boyutları(cm)	Kiriş Boyutları(cm)
Hayrettin Özkan Ortaokulu	4	23.4	S220	Sürekli	ZC	3.7	1484	30x60 30x70 30x80 30x90	30x55 30x75



Şekil 18. Hayrettin Özkan Ortaokulu'nun mimari proje 1. Kat Planı



Şekil 19. Hayrettin Özkan Ortaokulu'nun mimari proje 2. Kat planı



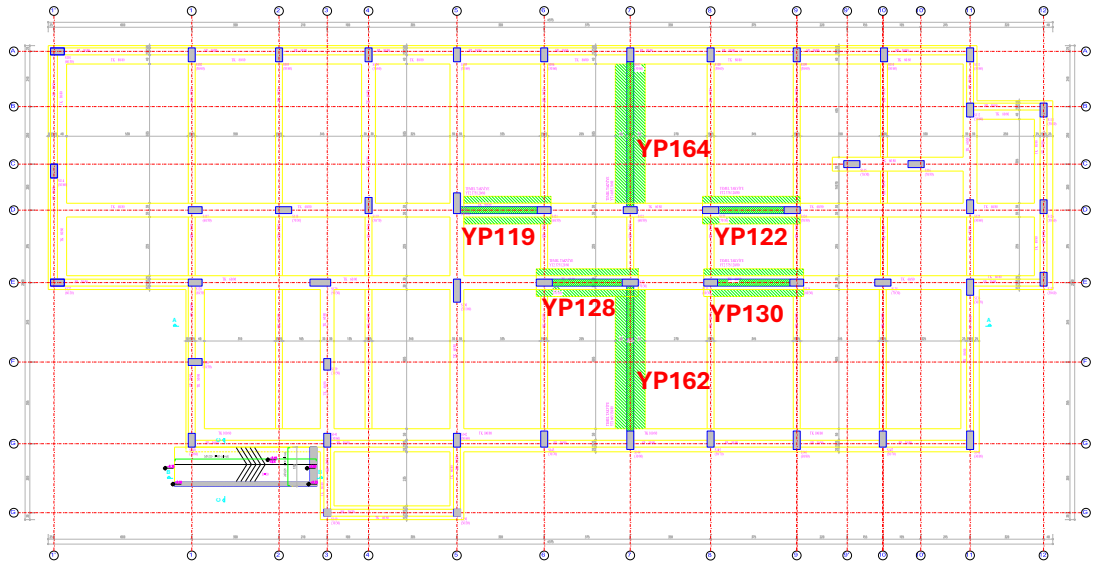
Şekil 20. Hayrettin Özkan Ortaokulu'nun temel aplikasyon planı



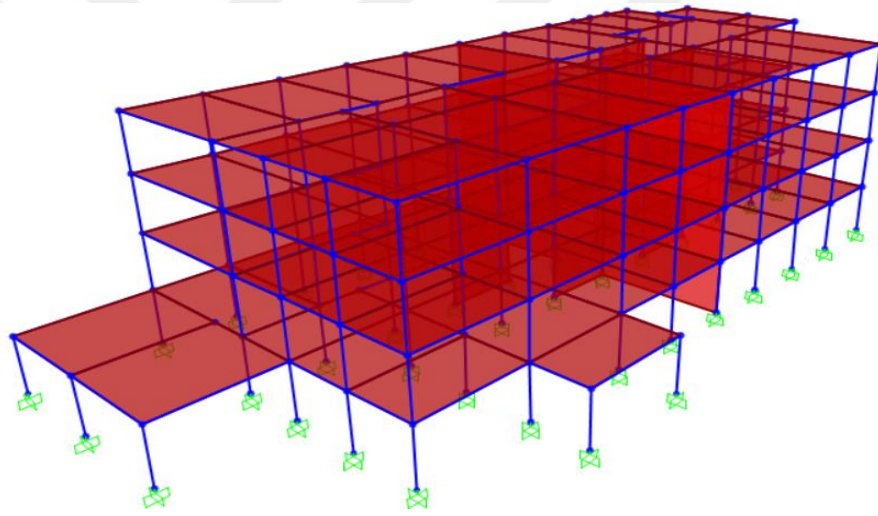
Şekil 21. Hayrettin Özkan Ortaokulu

3.2. Binanın Özellikleri

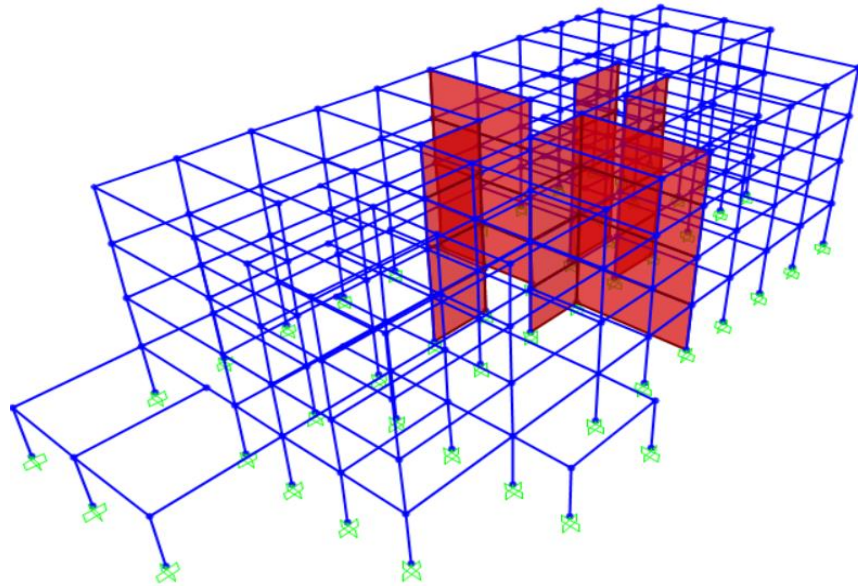
Hayrettin Özkan Ortaokulu, 1995 yılında inşa edilmiştir. Bina, 1975 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarlanmıştır ve 2022 yılında güçlendirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu güçlendirme çalışmaları kapsamında, yapıya C35 beton sınıfı ve S420 çelik sınıfında, 30 cm kalınlığında altı adet perde eklenmiş ve bu perdeler simetrik olarak yerleştirilmiştir.



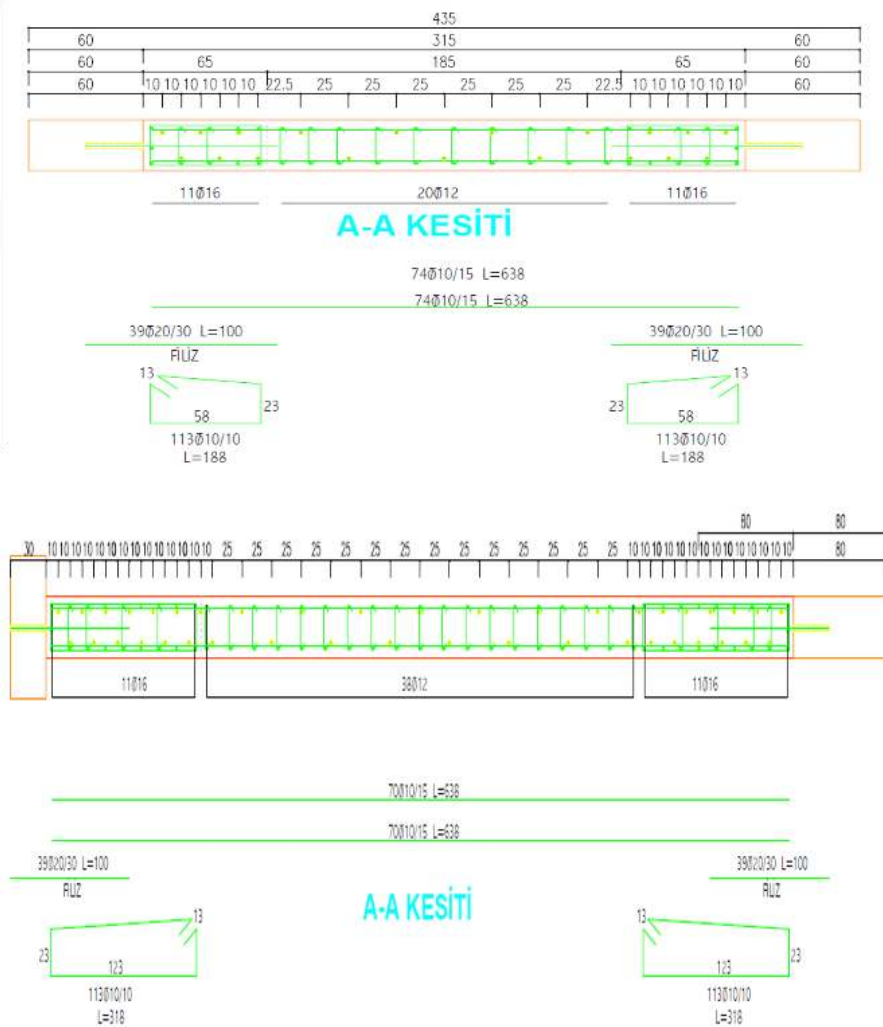
Şekil 22. Hayrettin Özkan Ortaokulu'nun perde ile güçlendirme planı



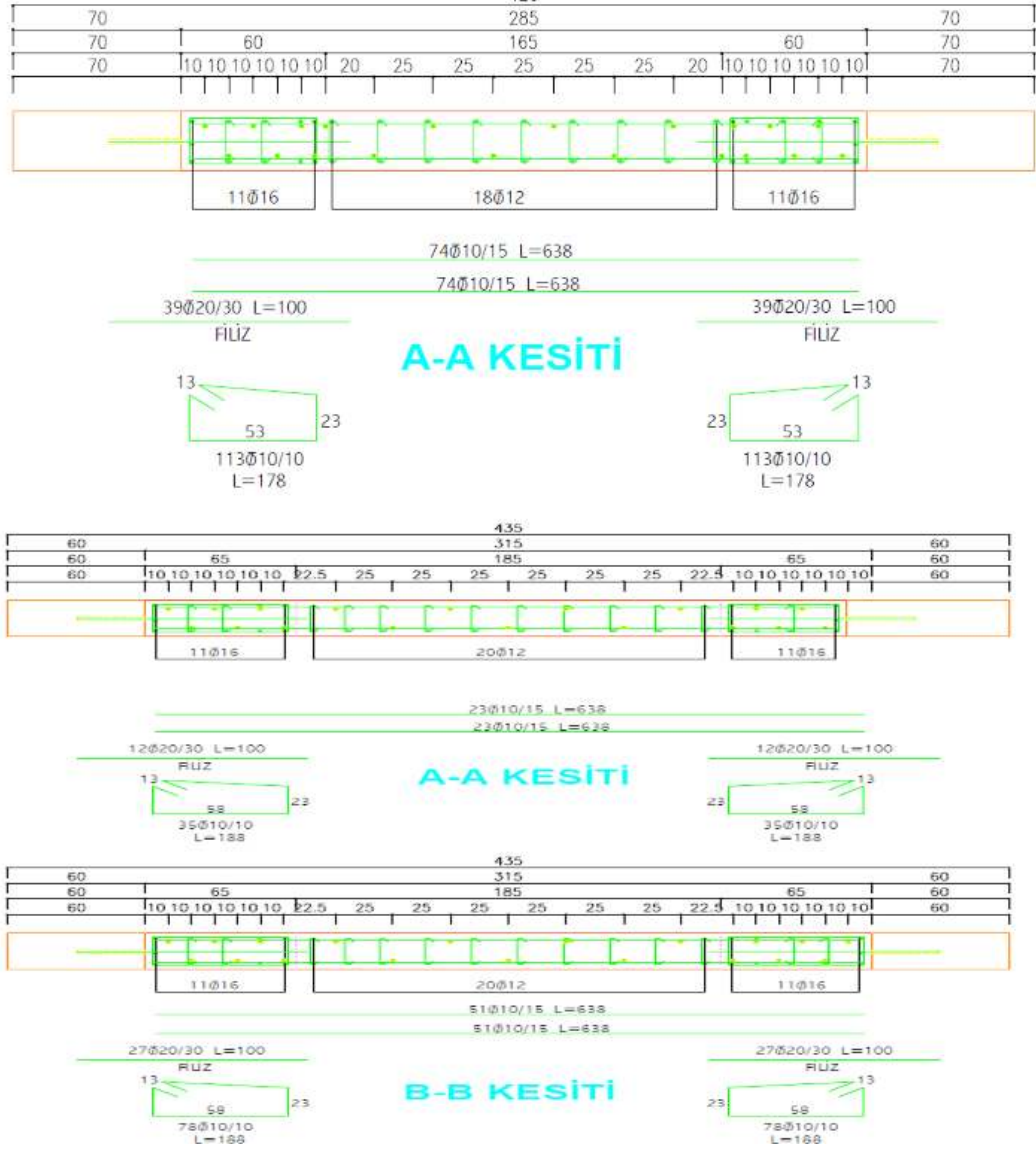
Şekil 23. Yapının üç boyutlu modeli



Şekil 24. Yapının perde ile mevcut güçlendirme modeli



Şekil 25. Yapının güçlendirilmesinde kullanılan perde detayları (birinci tip)



Şekil 26. Yapının güçlendirilmesinde kullanılan perde detayları (ikinci tip)

3.3. Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri

06 Şubat 2023 tarihinde Türkiye saati ile 04:17'de (GMT+3) Kahramanmaraş Pazarcık'ta (37.2880° enlem, 37.0430° boylam) Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre 8.6 km derinlikte $M_w=7.7$ büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Bu büyük depremin ardından yaklaşık 11 dakika sonra Türkiye saati ile 04:28'de (GMT+3) Gaziantep Nurdağı'nda (37.3040° enlem, 36.9200° boylam) 6.0 km derinlikte $M_w=6.6$ büyüklüğünde bir artçı deprem gerçekleşmiştir (TÜBİTAK, 2023).

Artçı sarsıntılar devam ederken, ilk depremde yaklaşık 9 saat sonra Türkiye saati ile 13:24'te (GMT+3) Kahramanmaraş Elbistan'da (38.0890° enlem, 37.2390° boylam) 7.0 km derinlikte Mw=7.6 büyüklüğünde yeni bir büyük deprem daha meydana gelmiştir. Bu durum Türkiye'nin aynı gün içerisinde iki büyük depremle sarsıldığı anlamına gelmektedir (TÜBİTAK, 2023).

Ayrıca bu depremlerden 14 gün sonra, Türkiye saati ile 20:04'te (GMT+3) Hatay'da (37.0° enlem, 36.0° boylam) 21.73 km derinlikte Mw=6.4 büyüklüğünde başka bir büyük deprem daha meydana gelmiştir. Bu depremlerin en büyük yer ivmeleri (PGA), en büyük yer hızları (PGV) ve en büyük yer değiştirmeleri (PGD) Tablo 2'de ayrıntılı olarak verilmiştir (TÜBİTAK, 2023).

Tablo 2. Kahramanmaraş depremlerinin büyüklükleri ve değerleri

Tarih İstasyon	Yer (Deprem ID)	Enlem (0)	Boylam (0)	Derinlik km	Büyüklük Mw	PGA cm/sn ² (g)	PGV cm/sn	PGD cm
06.02.2023 04:17 (543428)	Pazarcık K.Maraş	37.288	37.043	8.6	7.7	2178.71 (2.22 g)	186.78	132.68
06.02.2023 04:28 (543431)	Nurdağı Gaziantep	37.304	36.920	6.2	6.6	454.15 (0.46 g)	44.60	214.37
06.02.2023 13:24 (543593)	Elbistan K.maraş	38.089	37.239	7.0	7.6	635.45 (0.65 g)	170.79	90.99
20.02.2023 20:04 (551067)	Yayladağı Hatay	36.037	36.021	21.73	6.4	775.40 (0.79 g)	75.79	37.52

3.4. Deprem Sonrası Binaların Durumu ve Yapısal Hasarlar

Bina depreme maruz kaldıktan sonra yapısı önemli ölçüde zarar görmüş ve bu durum, binanın ciddi şekilde bozulmasına ve kullanılamaz hale gelmesine yol açmıştır. Kolonlar, kirişler ve duvarlarda ortaya çıkan derin hasarlar, yapısal stabilitesini tehdit etmiştir. Ayrıca, hasarlar elektrik ve sıhhi tesisat sistemlerini de kapsamaktadır.



Şekil 27. Yapının deprem hasarı-1



Şekil 28. Yapının deprem hasarı-2



Şekil 29. Yapının deprem hasarı-3



Şekil 30. Yapının deprem hasarı-4



Şekil 31. Yapının deprem hasarı-5



Şekil 32. Yapının deprem hasarı-6



Şekil 33. Yapının güçlendirme perdesi

Hayrettin Özkan ortaokulunun güçlendirilmesi güçlendirme için hatalı ve kötü bir örnektir. Şekil 33 güçlendirme perdesi YP162 ve YP130 şekilde görülmektedir. YP162'in mevcut kiriş ile olan ankrajlarının yeterli olmadığı, kolonu ankrajın kısmen çalıştığı görülmektedir. Burada S144 kolonunun kiriş alt hizasından kesmeye uğradığı görülmektedir. Bu güçlendirme perdesinin kirişe ankrajının yeterli olmamasından dolayı boşa çıkan perde bu kolonu kesmeye uğratmış ve kesme hasarı vermiştir. YP130 perdesini incelediğimizde yine kolon mevcut kolon ve güçlendirme perdesi arasındaki ankrajların görevini yerine getirmemesi ve görüldüğü gibi sanki ankrajlar hiç uygulanmamış gibi görülüyor. Çünkü yeterince uygulanmış olsaydı bağlandıkları kolonda ve güçlendirme perdesinde bir etkisi görülebilirdi. Maalesef bu ankrajların uygun yapılmadığı görülmekte, yine aynı şekilde güçlendirme perdesi ve mevcut kiriş ankrajı yeterince sağlıklı yapılmadığı için bu perde binanın deplasmanını engelleyememiş ve yatay deprem kuvveti alamamıştır. Bu yüzden sanki güçlendirme perdesi yokmuş gibi yatay deplasmanına devam etmiştir. Bunun sonucunda da çekiçleme etkisi yaparak güçlendirme perdesi kolonda ilk olarak kısa kolon oluşturup kolunun ucunda kesme hasarı oluşturmuş ve kolunun üst noktadan açılmasına sebep olmuştur. Bu açılma 15-20 cm'lere varan bir açılmadır. Bu da bu perdenin yatay yük etkisinin yani deprem yükü alma etkisinin olmadığını ve tabana ankastre yapıldığı için taban ankastrelerinin yerinde döküm olduğu için sağlam ama diğer yatay ve düşey ankrajların usulüne uygun yapamadığını göstermektedir. Buradan da görmekteyiz ki işçilik hatası veya uygunsuz işçilik ihtimali güçlendirme projelerinde belirli bir oranda yapılabilmektedir. Bu göz önünde bulundurularak şöyle bir öngörü yapılabilir, güçlendirme perdelerinin ucundaki kolonlar güçlendirme mantosu ile güçlendirilip güçlendirme perdesinin bir bütün halinde çalışılması sağlanması uygun bir çözüm olacaktır. Bu çözüm bu hataları ve uygunsuzlukları ortadan kaldıracaktır.

Diğer bir husus da güçlendirme işlerinde özellikle yatay ve düşey ankrajların kontrolünün daha etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir. Eğer bu YP130 güçlendirme perdesi yeterli deprem yükü alabilseydi, yani ankrajlar yeterli ve uygun bir şekilde yapılabilseydi bu bina az hasar alacaktı. Burada güçlendirme perdesinin ortasından hasar almaması bunu göstermektedir. Güçlendirme perdesinin yatay deplasman yapmadığı görülmektedir. Yatay ve düşey ankrajların etkisi çok önemli boyutlardadır. Buradan şunu da söylemek mümkün olabilir düşey ankrajlarda yer çekimi etkisinden dolayı epoksinin yeterli dayanıma ve dirence sahip olmaması sonucunu getirebilmektedir. Bu etki ayrıca deneylerle de görülebilir ve incelenebilir araştırılabilir. Bunun önüne geçebilmek için mevcut kirişler boydan boya delinmeli ve boydan boya ankraj uygulamalıdır. Böyle bir durum olduğunda ankraj sıyrılması söz konusu olmayacaktır. Mevcut kolonla ankraj çubuğunun aderansı iyi yapıldıktan sonra yatay yükü güçlendirme perdelerine aktarması sağlanacaktır ve bu da hesaplarda gösterilmelidir. Depremi tasarım depreminden büyük olması, veyahut da yetersiz sayıda güçlendirme perdeleri olmazsa, yani eksik perde konması da hasara sebep olur. Fakat bu durumda güçlendirme perdesinin de hasar alması söz konusudur. Burada güçlendirme perdesinin hasar almaması ankraj çubuklarının etkin bir şekilde yerleştirilmediğini ve uygun bir şekilde uygulanmadığını göstermektedir.



Şekil 34. Yapının güçlendirme perdesi ile mevcut kolon arasındaki ayrışma

Güçlendirme perdesi ile mevcut kolon arasındaki ayrışma görülmektedir. Mevcut kiriş ile güçlendirme perdesi arasındaki ankrajın yetersizliğinden dolayı güçlendirme perdesi çekiçleme etkisi yapıp kolonu birleşiminden nasıl kopardığı görülmektedir. 60 santimlik kolona 43 cm aralıklı ankraj yapılmış ve donatı çapının da 16 milimetre olduğu görülmektedir. Halbuki yönetmelikte maksimum ankraj aralığının 40 cm olduğu söylenmektedir. Hesaplar incelendiğinde ankraj donatısının $\phi 20/20$ cm olduğu görünmektedir ama uygulanmamıştır. Yeterli ankraj yapılmadığı için de kolonlardan ve kirişlerden güçlendirme perdesin de ayrılma görülmektedir.

Bu 16 mm ankraj donatıların görevini yaparak 45 cm çatlaklar oluşturduğu görülmektedir. Yeterli ankraj olmuş olsaydı bu hasar oluşmayacaktı. Güçlendirme perdesi usulüne uygun yapılmazsa binaya daha da zarar verebilmektedir.



Şekil 35. Yapının güçlendirme perdesi ile mevcut kirişin arasındaki ayrışma

3.5. Sap2000 Yazılımı

SAP2000 yapı mühendisliği ve inşaat sektöründe geniş bir kullanım alanına sahip olan bir yapısal analiz ve tasarım yazılımıdır. Bu yazılım, statik ve dinamik analizler ile birlikte doğrusal ve doğrusal olmayan analizler, zaman tanım alanı analizleri gibi çeşitli analiz seçenekleri sunar. SAP2000, köprüler, binalar, kuleler, tanklar gibi çeşitli yapı türleri için kapsamlı çözümler sunmanın yanı sıra, deprem mühendisliği ve performans tabanlı tasarım gibi özel mühendislik uygulamaları için de gelişmiş araçlar sağlar. Bu çok yönlü analiz ve tasarım özellikleri mühendislerin güvenilir ve ekonomik yapısal çözümler geliştirmelerine önemli ölçüde katkı sağlar. SAP2000 programı, yapı modellemesi ve analizlerinin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır.

3.6. Mevcut Yapılar İçin Performans Hedeflerinin ve Analiz Yöntemlerinin Belirlenmesi

TBDY 2018 yönetmeliğine göre tasarlanacak veya değerlendirilecek yapılar için belirlenmesi gereken bazı temel tanımlar bulunmaktadır. Bu tanımlar, bina kullanım sınıfları (BKS), bina yükseklik sınıfları (BYS), deprem tasarım sınıfları (DTS) ve bina önem katsayılarıdır (I). Yönetmelikte belirtilen tablolar yardımıyla uygun hesap yöntemi seçimi yapılır. Bu değerlere dayanarak gereken performans seviyesi ve analiz yöntemi belirlenir. TBDY 2018 yönetmeliğinin üçüncü bölümünde tanımlanan tablolar, aşağıda Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5 olarak sunulmuştur. Yapıya uygun kısımlar işaretlenmiştir. Tablo 6’da ise elde edilen değerler kullanılarak hesap yöntemi belirlenmiştir.

Tablo 3. Bina kullanım sınıfları (BKS) ve bina önem katsayıları (I)

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Tablo 4. Deprem tasarım sınıfları (DTS)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Tablo 5. Deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik sınıfları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Tablo 6. Mevcut yerinde dökme betonarme, önüretimli betonarme ve çelik binalar (yüksek binalar dışında – $BYS \geq 2$) performans hedefleri

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	—	—
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

Önceki tablolara göre, analiz edilecek yapının BKS=1 kullanım sınıfında, DTS=1a deprem tasarım sınıfında ve BYS=6 bina yükseklik sınıfında yer aldığı

belirlenmiştir. TBDY 2018 yönetmeliğine göre, bu yapı için uygulanacak performans hedefleri ve değerlendirme yaklaşımı aşağıda belirtilmiştir.

Yapı performansı Deprem Yer Hareketi Düzeyi (DD-1) için Kontrollü Hasar (KH), Deprem Yer Hareketi Düzeyi (DD-3) için Sınırlı Hasar (SH) performans seviyesini sağlamalıdır. Belirtilen performans düzeylerinin sağlanmaması durumunda güçlendirme çalışması yapılması gerekmektedir.

3.7. Bina Modelleme ve Analizi

Bu çalışmada, bina modellemesi ve analizi için SAP2000 programı kullanılacaktır. Modelleme sürecinde yapının çeşitli yapısal elemanlarının kesitleri tanımlanacak ve zati yükler, hareketli yükler ve deprem yükleri yapıya uygulanacaktır. İki model üzerinde çalışma yapılacaktır: İlk model yapının güçlendirilmesi amacıyla perde duvarlar eklenmiş şekilde güçlendirilmiş olacaktır. İkinci model ise, aynı yapının sismik izolatörler kullanılarak yeniden oluşturulmuş halidir. Analiz aşamasında, yapının davranışını daha hassas bir şekilde değerlendirebilmek için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem yapıların dinamik yükler altındaki tepkilerini daha gerçekçi bir şekilde simüle etme olanağı sağlar. Böylelikle, yapıların depremler karşısındaki performansı detaylı bir şekilde incelenebilir ve gerekli iyileştirmeler yapılabilir.

3.8. Sabit ve Hareketli Yüklerin Belirlenmesi ve Tanımlanması

Sabit ve hareketli yükler, TS498 standartlarına uygun olarak tanımlanmıştır. SAP2000 programı kullanılarak yapısal elemanların kendi ağırlıkları otomatik olarak hesaplanmakta, döşemelere sıva+kaplama yükleri manuel olarak eklenmektedir. Ayrıca, girişlere duvar yükleri tanımlanmaktadır.

Sabit Yük (sıva+kaplama yükü): **1.5 kN/m²**

Hareketli yük: **3.5 kN/m²** Merdiven yükü: **5 kN/m²**

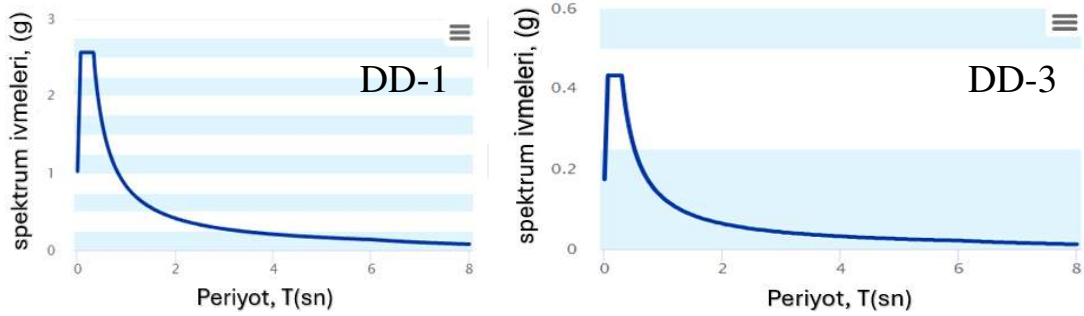
Duvarlar yükleri: **8 kN/m** Balkon yükü: **5 kN/m²**

3.9. Deprem Yükünün Belirlenmesi ve Tanımlanması

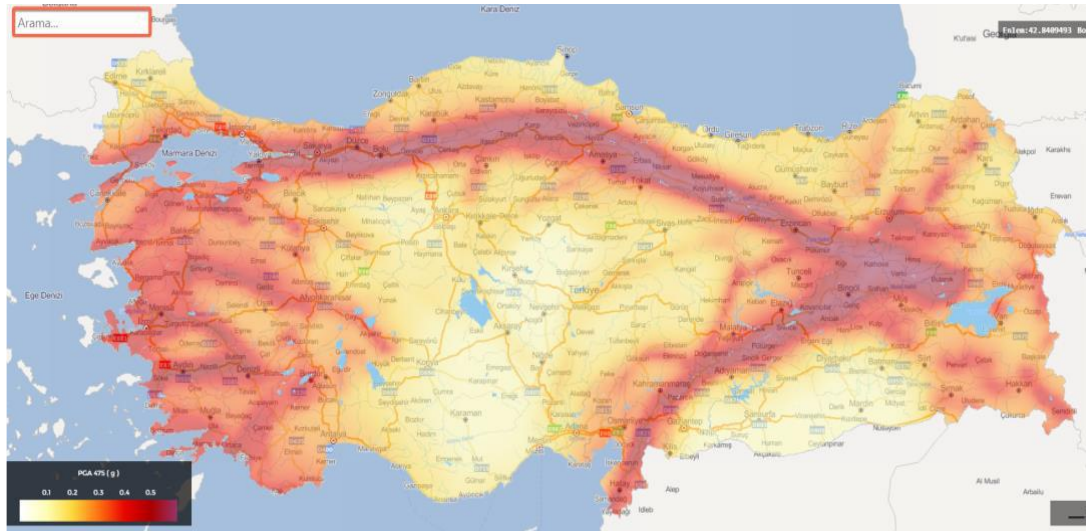
Hatay'da 36.2054 enlem ve 36.14713 boylam koordinatlarında bulunan bina için TBDY 2018'in 2.1.2 maddesi doğrultusunda Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kullanılarak dört farklı deprem yer hareketi seviyesi (DD-1, DD-2, DD-3, DD-4) için deprem verileri belirlenmiştir. Aşağıdaki tabloda bu veriler detaylı olarak sunulmaktadır. Binanın davranış katsayısı $R=1$ olarak alınmış olup zemin sınıfı ZC olarak belirlenmiştir.

Tablo 7. Deprem spektrum verileri

36.2054°, 36.14713°	S_s	S_1	S_{D5}	S_{D1}
DD-1	2.149	0.581	2.578	0.999
DD-2	1.051	0.273	1.135	0.561
DD-3	0.332	0.084	0.509	0.202
DD-4	0.224	0.057	0.358	0.137



Şekil 36. DD-1 ve DD-3 tasarım spektrum



Şekil 37. Türkiye deprem tehlike haritası

S : Şekil katsayısı.

$$k_v = E_v A_r / T_r \quad (\text{TBDY2018 Denk 14A. 9}) \quad (3.1.6)$$

k_v : Elastomer yalıtım biriminin düşey rijitliği, E_v : Düşey rijitlik modülü.

$$E_v = 1 / \left(\left(\frac{1}{E_c} \right) + \left(\frac{1}{K} \right) \right) \quad (\text{TBDY2018 Denk 14A. 10}) \quad (3.1.7)$$

E_c : Elastomer yalıtım biriminin basınç modülü, K : Kauçuk malzemenin Hacım Modülü (2000 MPa).

$$E_c = E_0 (1 + 2kS^2) \quad (\text{TBDY2018 Denk 14A. 11}) \quad (3.1.8)$$

E_0 : kauçuk Malzemenin Hacım modülü olup $E_0 = 4G_v$ bağlantısı ile hesaplanacaktır, K : Kauçuk Sertlik modülü katsayısı.

Elastomer Yalıtım Üst ve Alt sınırları:

Hesaplamalarda kullanılacak yalıtım birimlerinin parametrelerinin üst ve alt sınır değerleri, yalıtım birimi parametrelerinin nominal değerlerinin sırasıyla $\lambda_{üst}$ ve λ_{alt} katsayıları ile çarpılmasıyla elde edilecektir. $\lambda_{üst}$ ve λ_{alt} değerleri Denklem (14.9) ve Denklem (14.10)'da verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanacaktır.

$$\lambda_{üst} = \left(1 + 0.75(\lambda_{ae,üst} - 1) \right) \lambda_{deney,üst} \lambda_{spek,üst} \quad (\text{TBDY2018 14.9}) \quad (3.1.17)$$

$$\lambda_{alt} = (1 + 0.75(1 - \lambda_{ae,alt})) \lambda_{deney,alt} \lambda_{spek,alt} \quad (\text{TBDY2018 Denk 14.10}) \quad (3.1.18)$$

Eğer herhangi bir $\lambda_{üst}$ ve λ_{alt} değeri prototip veya üretim kontrol deneyleri ile belirlenemiyorsa, hesaplamalarda Tablo 8 'de verilen alt ve üst sınır değerleri kullanılacaktır.

Tablo 8. TBDY 2018 alt ve üst sınır değerleri

	Tip	F_Q		k_2	
		alt	üst	alt	üst
λ_{ae}	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.30
	YSE	1.00	1.30	1.00	1.40
λ_{deney}	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.30
	YSE	0.70	1.30	0.90	1.30
λ_{spek}	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15
	YSE	0.85	1.15	0.85	1.15

3.11. Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı Yöntemi

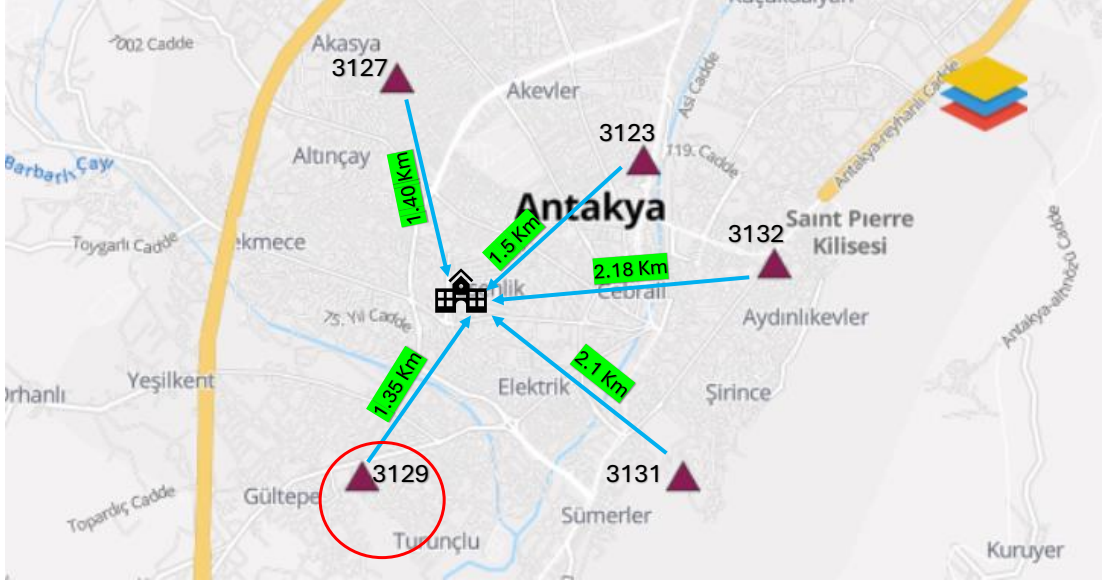
Doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz, belirli bir yer hareketinin zaman tanım alanındaki ivme kaydı ile yapıda meydana gelen elastik ötesi davranışı elde etmek için kullanılmaktadır (FEMA, 2005). Doğrusal olmayan artımsal itme analizinin aksine bu yöntemle deprem sırasındaki yer değiştirme talepleri doğrudan elde edilebilmektedir. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz, depremin tersinir etkisini temsil edebildiği için doğrusal olmayan artımsal itme analizine göre daha doğru sonuçlar vermektedir (Li, 1996). Doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi uygulamak için uygun yer ivmesi kayıtlarının seçilmesi gereklidir. Yapının bulunduğu konum ve zemin koşullarına bağlı olarak tasarım spektrumu oluşturulmalıdır.

3.12. Yer Hareketi İvmelerinin Analizlerde Kullanımı için Seçilmesi

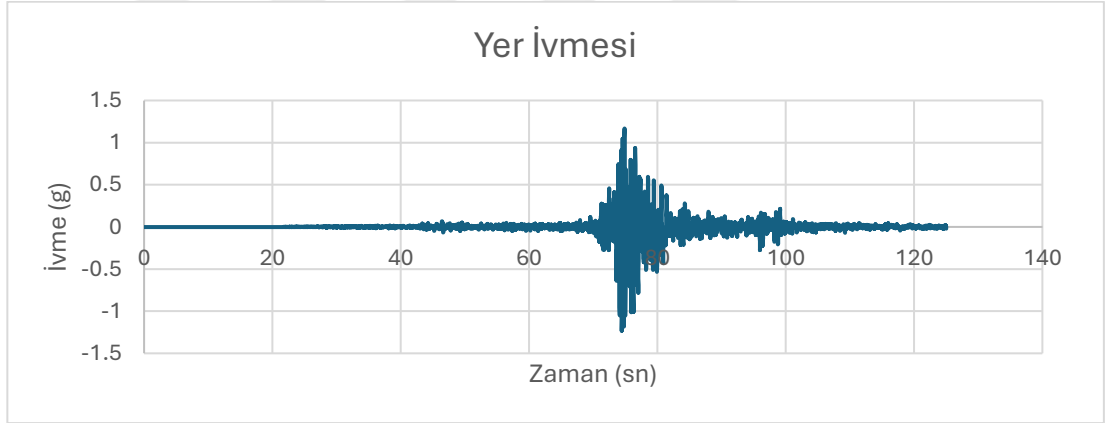
TBDY 2018'in 2.5.2 ve 4B.3.5 maddeleri uyarınca farklı büyüklüklerde 11 adet deprem hareketi kaydı özenle seçilmiştir. Bu seçimler deprem büyüklükleri, fay hatlarına olan uzaklıklar ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılmıştır. Seçilen bu kayıtlar arasında, özellikle çalışmanın yapıldığı binaya en yakın sismik gözlem istasyonundan elde edilen Kahramanmaraş Pazarcık depremine ait yer ivme kaydı da bulunmaktadır. Bu kayıtlar, 2018 Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne göre uygulanmıştır.

Tablo 9. Seçilen deprem ivme kayıtları

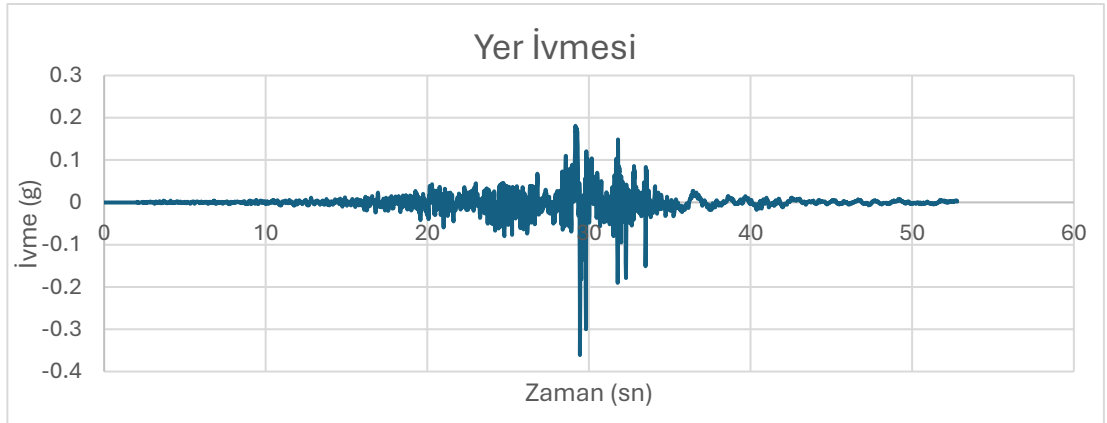
Deprem İvme Kaydı	Ülke	İstasyon	Büyüklük	Yıl
Kahramanmaraş (Pazarcık)	Türkiye	3129	7.7	2023
Chichi	Tayvan	TCU045	7.62	1999
Kocaeli	Türkiye	Koeri330	7.4	1999
Landers	ABD	Sce 24	7.3	1992
Kobe	Japonya	Cue90	7.2	1995
Hollister	ABD	USGS 1028	6.9	1961
Loma perita	ABD	CDMG 47381	6.9	1989
Northridge	ABD	Cdmg 24278	6.9	1994
Friuli	İtalya	Tolmezzo(000)	6.5	1976
Imperial vally	ABD	USGS 5115	6.5	1979
Trinidad	Trinidad	Cdmg 1498	5.8	1983



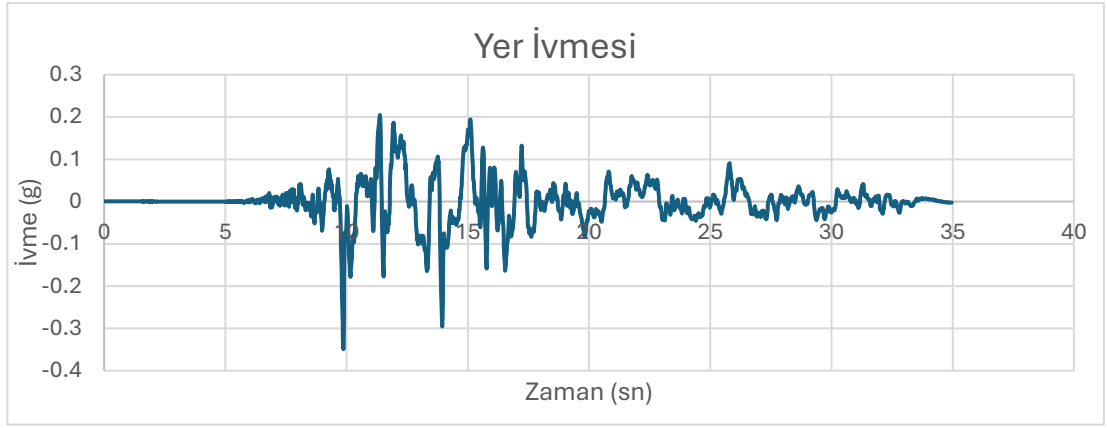
Şekil 39. Hatay ili Antakya ilçesindeki Hayrettin Özkan Ortaokulu'nun çevresine yerleştirilen ivmeölçerler



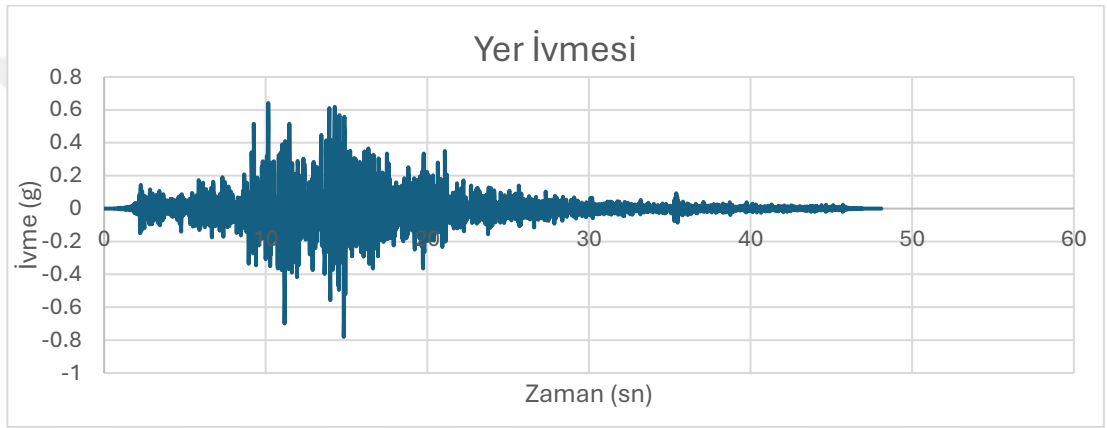
Şekil 40. 3129 nolu istasyonu Pazarcık yer ivmesi kaydı



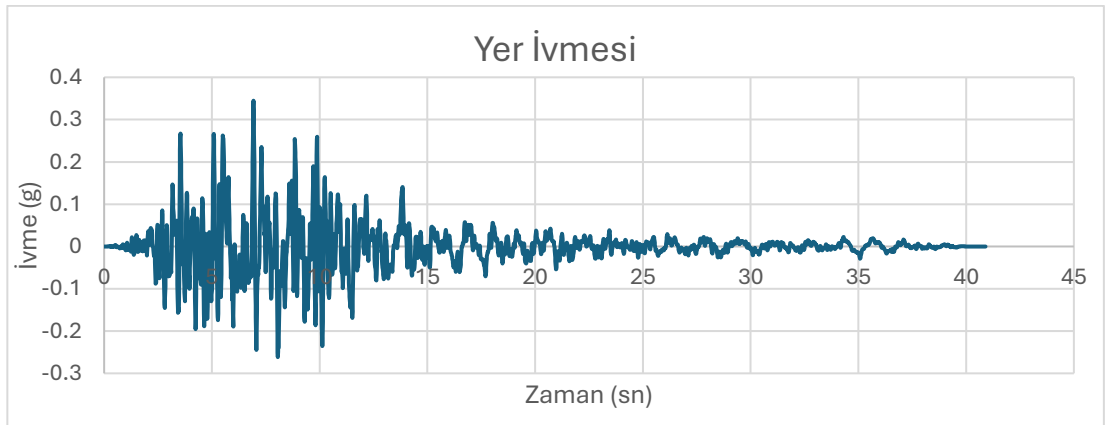
Şekil 41. TCU045 nolu istasyonu Chichi yer ivmesi kaydı



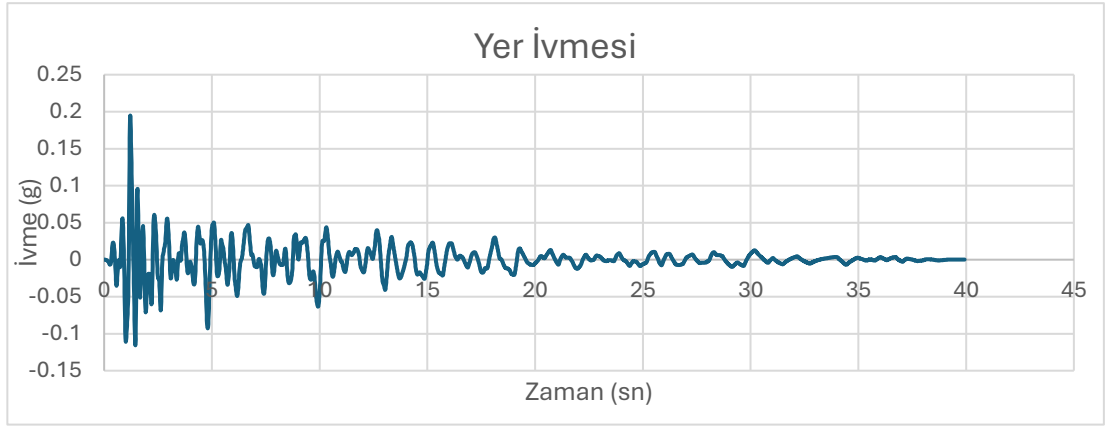
Şekil 42. Koeri330 nolu istasyonu Kocaeli yer ivmesi kaydı



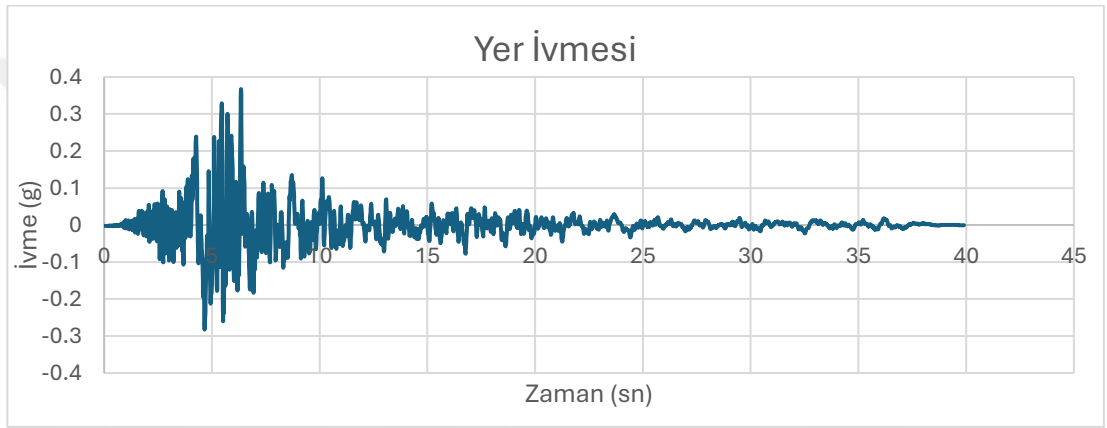
Şekil 43. Sce 24 nolu istasyonu Lenders yer ivmesi kaydı



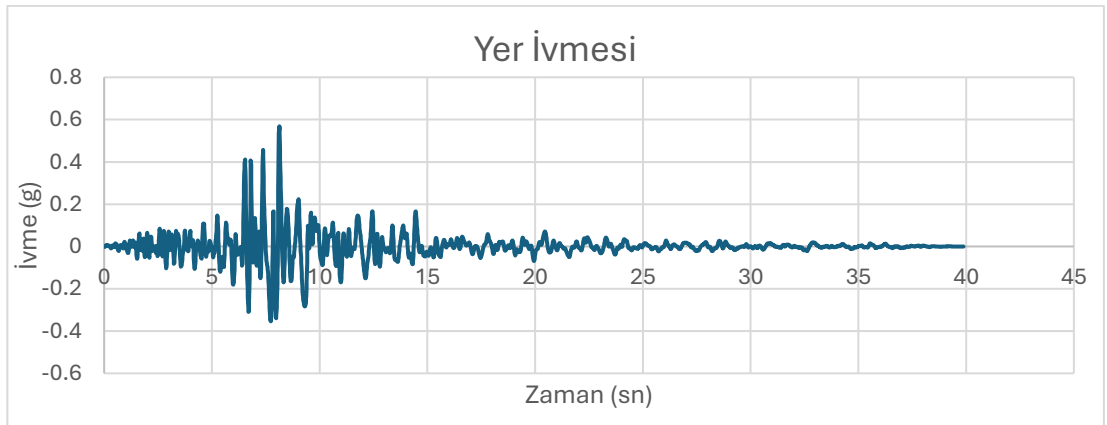
Şekil 44. Cue90 nolu istasyonu Kobe yer ivmesi kaydı



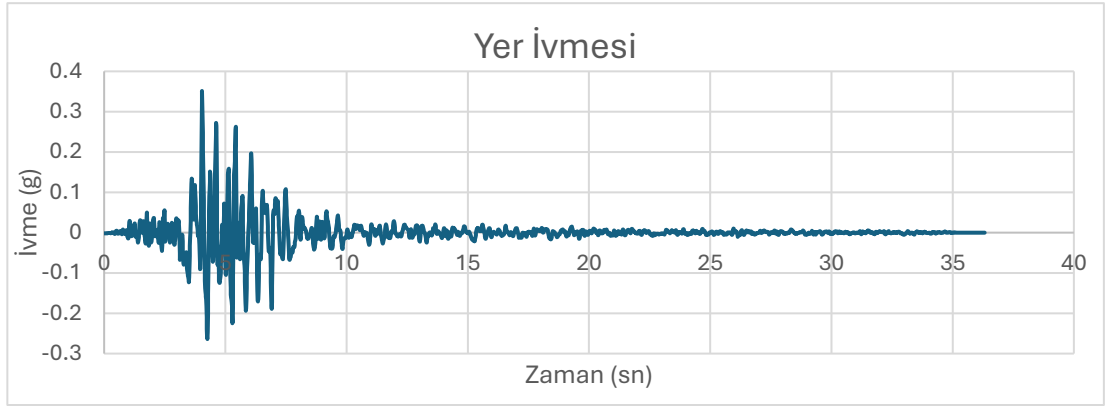
Şekil 45. USGS 1028 nolu istasyonu Hollsiter yer ivmesi kaydı



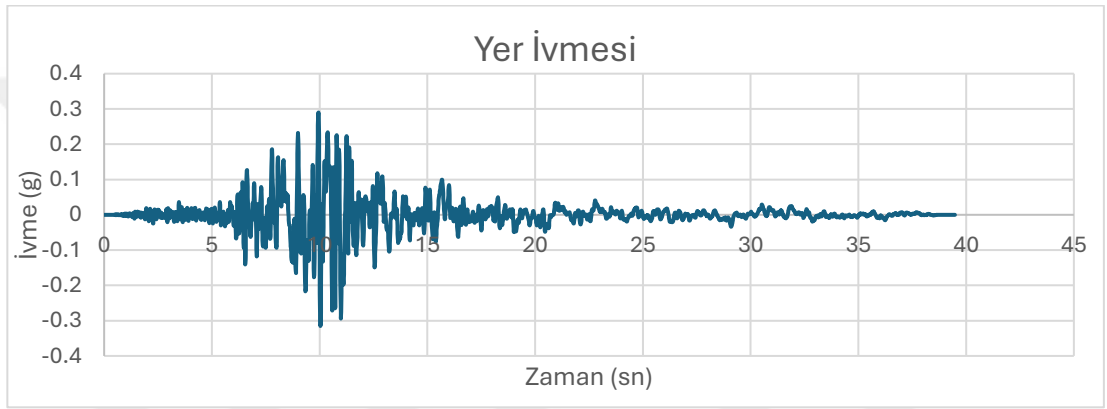
Şekil 46. CDMG 47381 nolu istasyonu Loma perita yer ivmesi kaydı



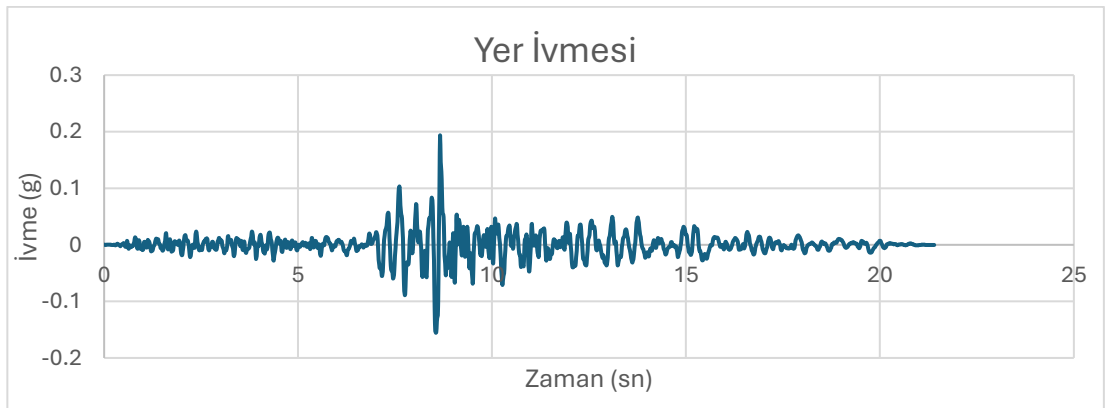
Şekil 47. Cdmg 24278 nolu istasyonu Northridge yer ivmesi kaydı



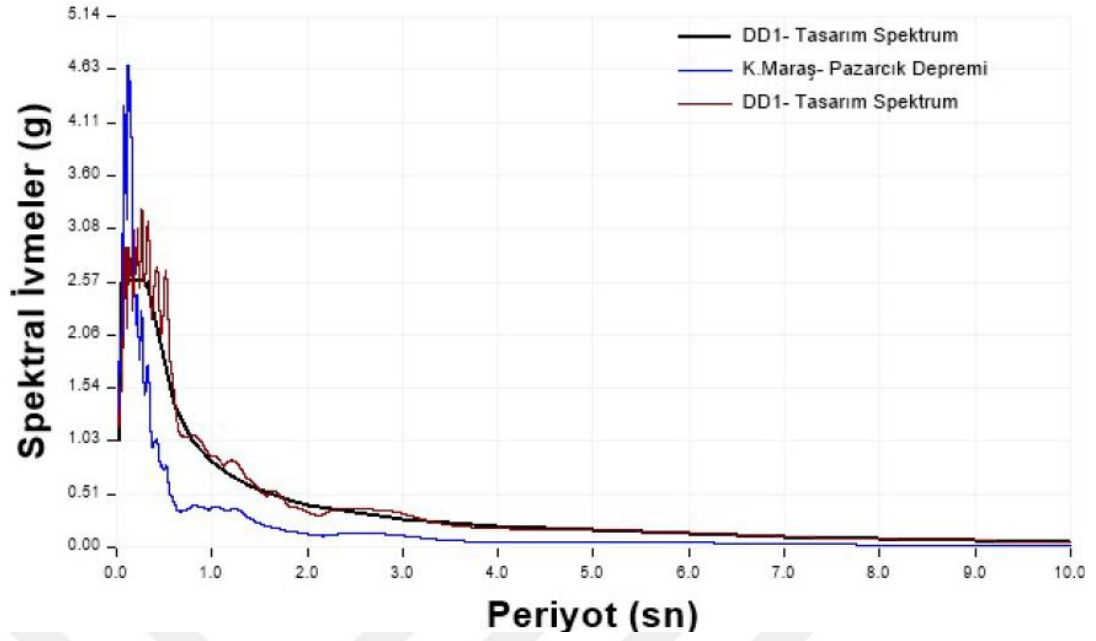
Şekil 48. Tolmezzo(000) nolu istasyonu Friuli yer ivmesi kaydı



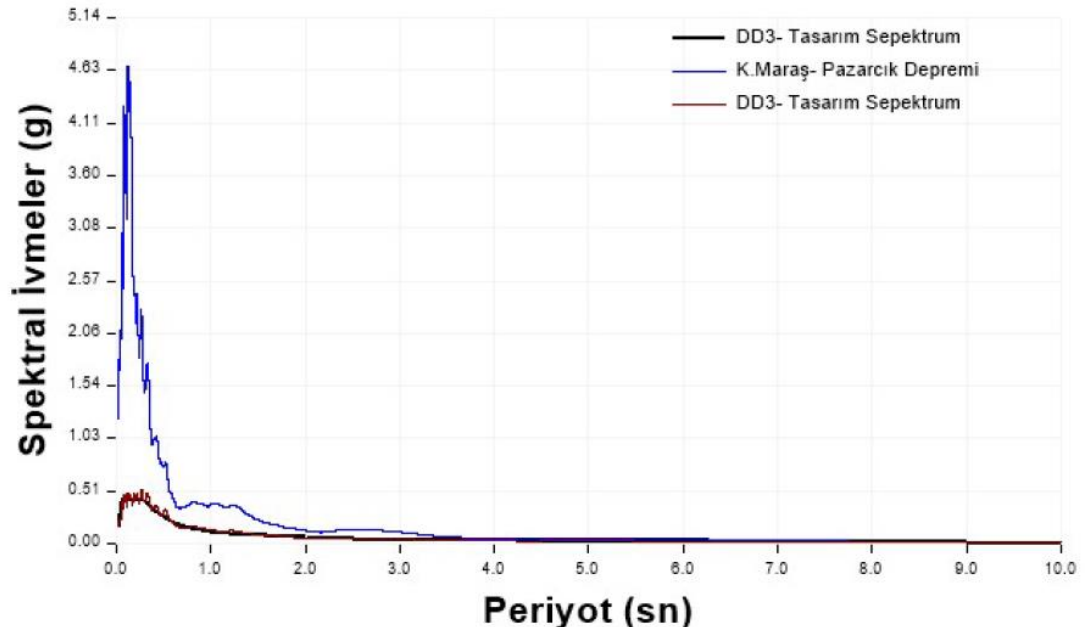
Şekil 49. USGS 5115 nolu istasyonu Imperial Vally yer ivmesi kaydı



Şekil 50. Cdmg 1498 nolu istasyonu Trinidad yer ivmesi kaydı



Şekil 51. Pazarcık Depremi Hatay 3129 nolu istasyonu DD-1 spektrumları



Şekil 52. Pazarcık Depremi Hatay 3129 nolu istasyonu DD-3 spektrumları

TBDY2018 yönetmeliğinin 5. bölümüne göre doğrusal olmayan analizlerin gerçekleştirilmesi ve hasar sınırlarının hesaplanması amacıyla kolonlar için tanımlanan mafsallar P-M2-M3, V2 ve V3'tir. Kirişler için tanımlanan mafsallar ise M3, V2 ve V3'tür. Şekil 53. ve Şekil 54. bu mafsalların tanımını detaylı olarak göstermektedir.

Frame Hinge Property Data for m3 - Moment M3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E	-0,2	-0,025
D	-0,2	-0,015
C	-1,1	-0,015
B	-1	0
A	0	0
B	1,1	0,015
C	1,1	0,015
D	0,2	0,015
E	0,2	0,025

☒ Symmetric

Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length

☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero

☐ Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

☒ Use Yield Moment Moment SF

☐ Use Yield Rotation Rotation SF

(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

☒ Immediate Occupancy 3,000E-03

☒ Life Safety 0,012

☒ Collapse Prevention 0,015

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Şekil 53. Kolonlar için M3 mafsıl özelliklerinin tanımlanması

Moment Rotation Data for pmm - Interacting P-M2-M3

Edit

Select Curve

Axial Force Angle Curve #1

Units

Moment Rotation Data for Selected Curve

Point	Moment/Yield Mom	Rotation/SF
A	0,1	0,1
B	1,1	0,1
C	1,1	0,015
D	0,2	0,015
E	0,2	0,025

Copy Curve Data Paste Curve Data

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / SF)

☒ Immediate Occupancy 3,000E-03

☒ Life Safety 0,012

☒ Collapse Prevention 0,015

☐ Show Acceptance Points on Current Curve

3D View

Plan 315 Elevation 35 Aperture 0

Axial Force

☐ Hide Backbone Lines

☐ Show Acceptance Criteria

☐ Show Thickened Lines

☒ Highlight Current Curve

3D RR MR3 MR2

Moment Rotation Information

Symmetry Condition

Number of Axial Force Values

Number of Angles

Total Number of Curves

Angle Is Moment About

0 degrees = About Positive M2 Axis

90 degrees = About Positive M3 Axis

180 degrees = About Negative M2 Axis

270 degrees = About Negative M3 Axis

OK Cancel

Şekil 54. Kirişler için P-M2-M3 mafsıl özelliklerinin tanımlanması

S Frame Hinge Property Data for m3 - Shear V2

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E	-0,2	-0,025
D-	-0,2	-0,015
C-	-1,1	-0,015
B-	-1	0
A	0	0
B	1,1	0
C	1,1	0,015
D	0,2	0,015
E	0,2	0,025

☒ Symmetric

Type

☒ Force - Displacement

☐ Stress - Strain

Hinge Length

☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero

☐ Is Extrapolated

Scaling for Force and Disp

☒ Use Yield Force Force SF

☐ Use Yield Disp Disp SF

(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

☒ Immediate Occupancy

☐ Life Safety

☐ Collapse Prevention

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Şekil 55. V2 mafsallık özelliklerinin tanımlanması

S Frame Hinge Property Data for v3 - Shear V3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E	-0,2	-0,025
D-	-0,2	-0,015
C-	-1,1	-0,015
B-	-1	0
A	0	0
B	1,1	0
C	1,1	0,015
D	0,2	0,015
E	0,2	0,025

☒ Symmetric

Type

☒ Force - Displacement

☐ Stress - Strain

Hinge Length

☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero

☐ Is Extrapolated

Scaling for Force and Disp

☒ Use Yield Force Force SF

☐ Use Yield Disp Disp SF

(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

☒ Immediate Occupancy

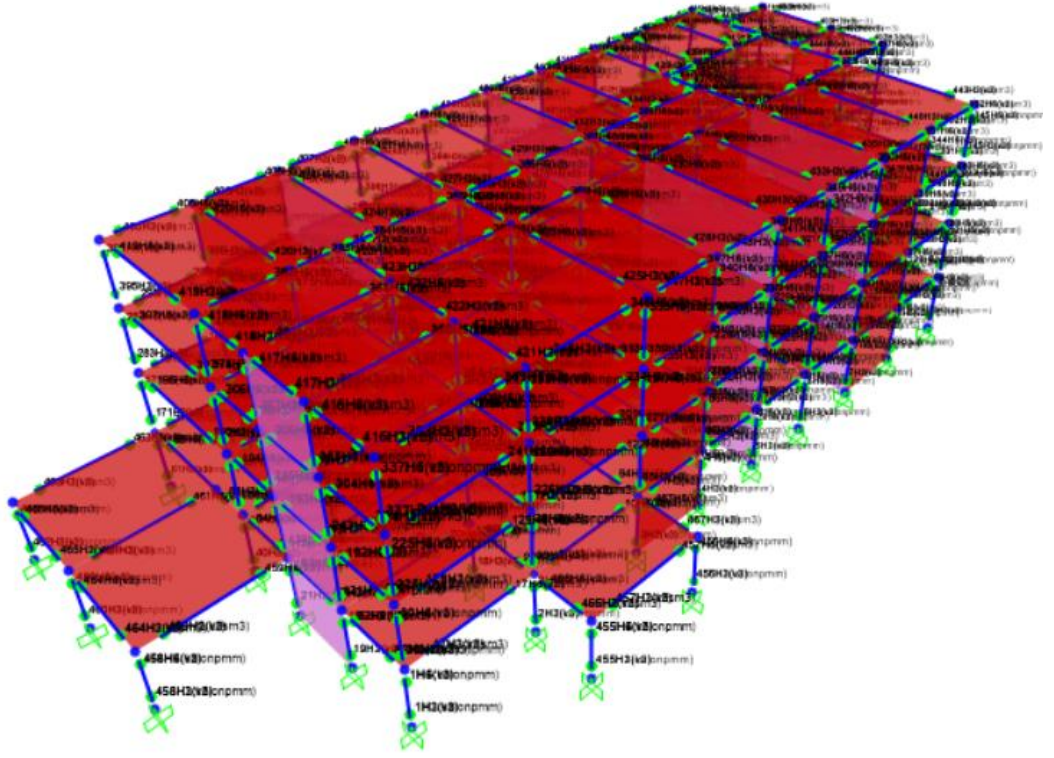
☐ Life Safety

☐ Collapse Prevention

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

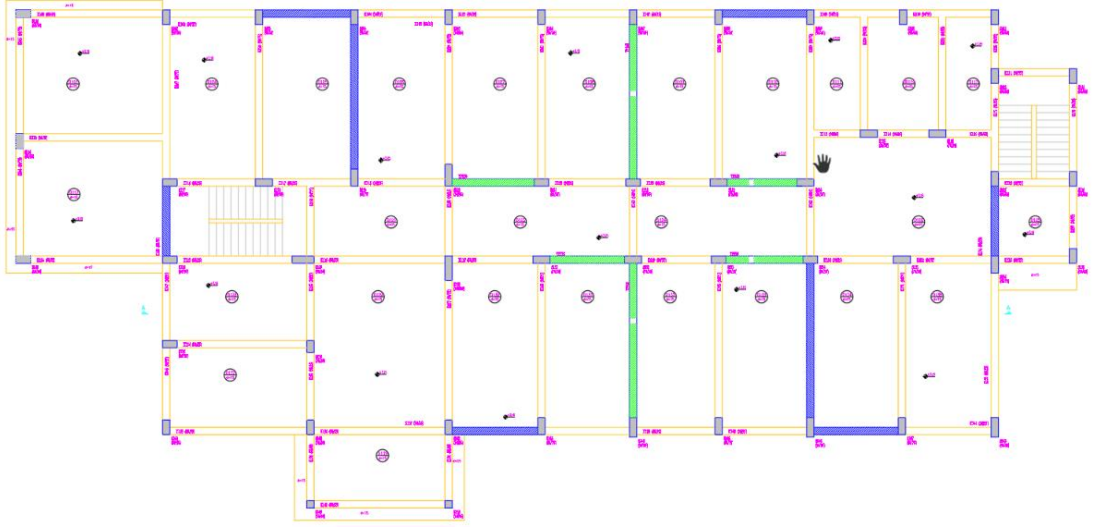
Şekil 56. V3 mafsallık özelliklerinin tanımlanması



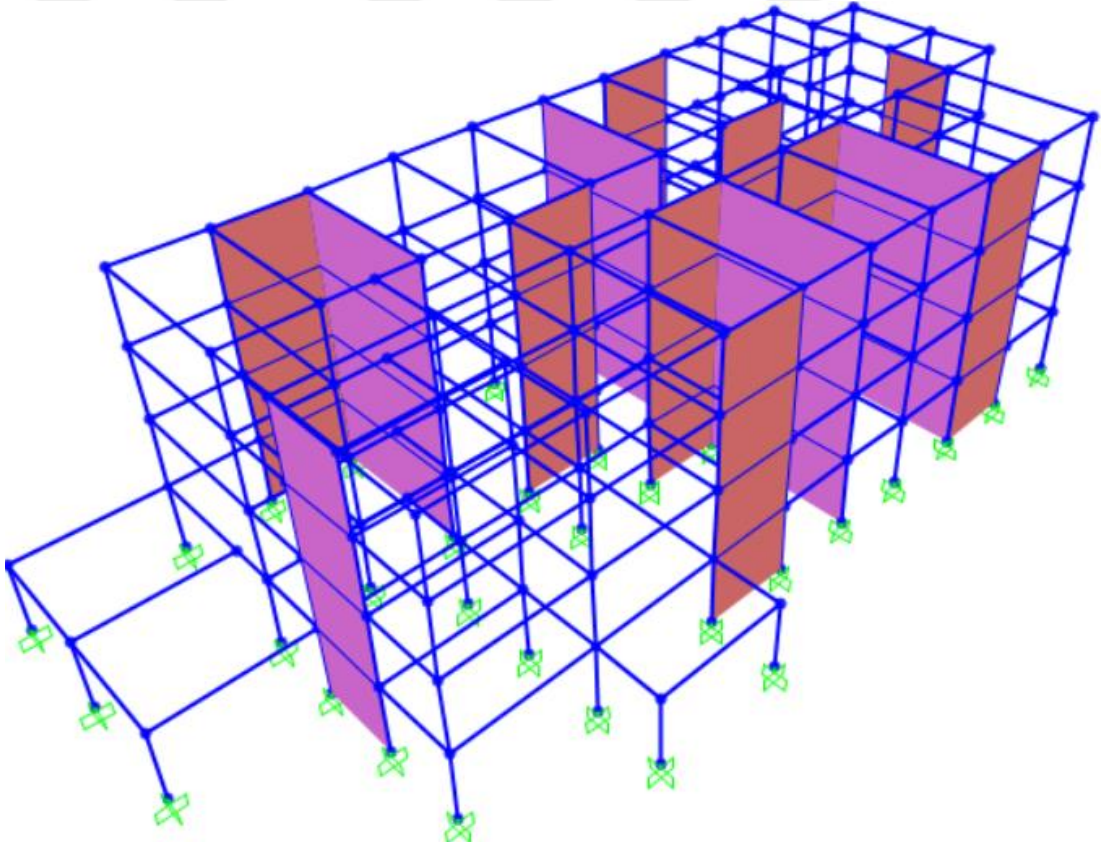
Şekil 57. Mafsal atanması

3.13. Mevcut Yapının Perde ile Güçlendirmesi

Bu bölümde, mevcut yapı 30 cm kalınlığında, simetrik olarak yerleştirilmiş 8 adet C35 beton ve S420 donatılı perde eklenerek güçlendirilmiştir. Güçlendirme perdelerinin yerleşimi Şekil 58’te plan görünümde detaylı bir şekilde gösterilmiş olup, eklenen perdeler mavi renkte, mevcut perdeler ise yeşil renkte gösterilmiştir. Şekil 59.’da üç boyutlu modelde ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Ayrıca, bu perdelerin yapının genel yük taşıma kapasitesine ve stabilitesine katkıları, yapılan analizlerle desteklenmiştir.



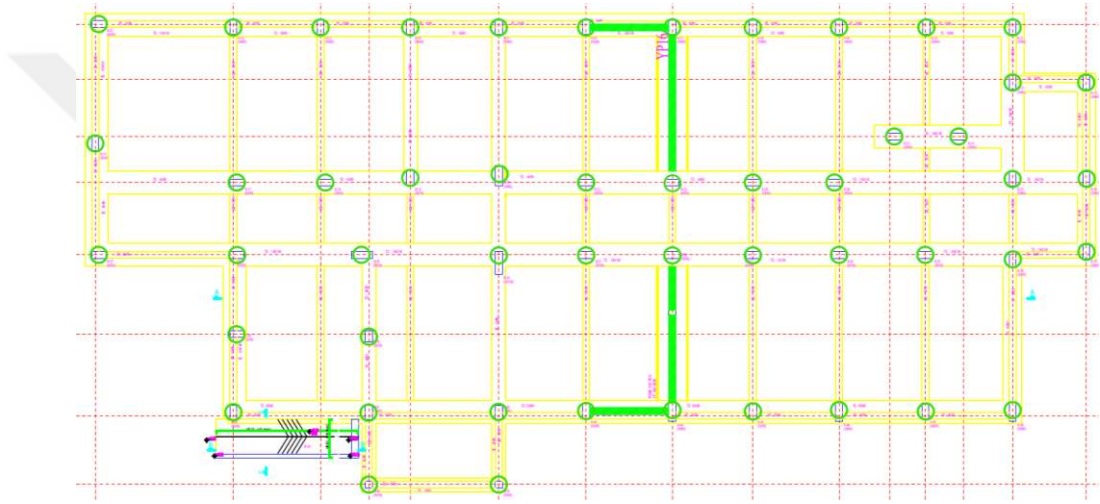
Şekil 58. Güçlendirme perdelerinin yerleşimini gösteren plan



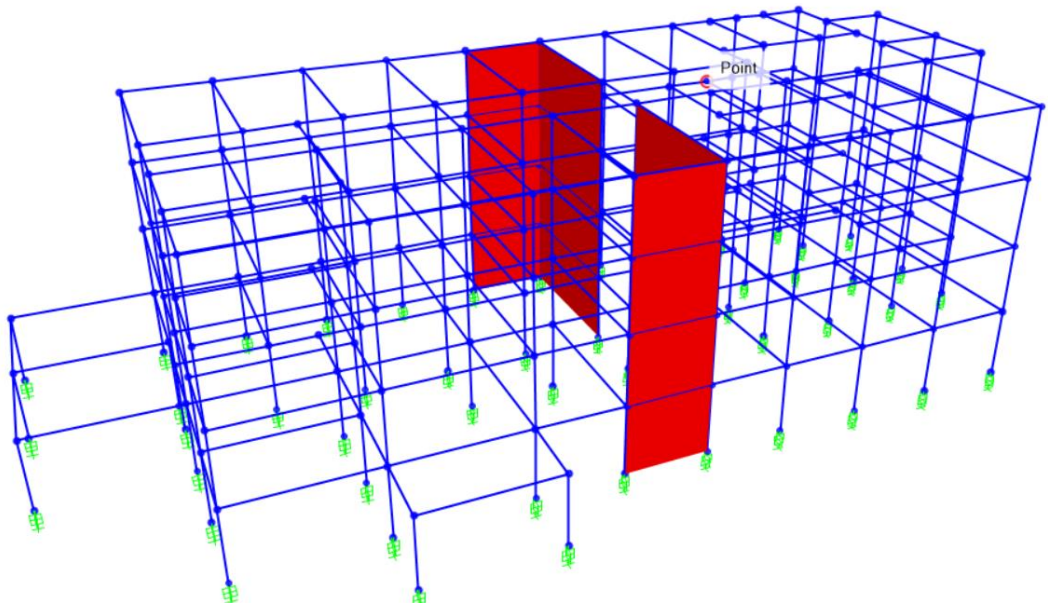
Şekil 59. Güçlendirme perdelerinin yerleşimini gösteren üç boyutlu model

3.14. Binanın Sismik İzolatör ile Modellenmesi

Güçlendirilmemiş yapının zemin katının altındaki her kolonun ucuna toplamda 50 adet kurşun çekirdekli elastomerik kauçuk izolatör yerleştirilerek yeni yapı olarak modellenmiştir. İzolatör seçilip gerekli deprem performans TBDY 2018'e göre analizleri yapılmıştır. Ayrıca, yapının rijitliğini artırmak amacıyla X ekseninde 2 ve Y ekseninde 2 olmak üzere simetrik olarak 4 adet betonarme perde eklenmiştir. Perdelerin eklenmemesi durumunda yapının rijitliği düşük olduğundan sismik izolatör sisteminin etkinliği sağlanamamaktadır. Aşağıdaki tablo kullanılan sismik izolatörün özelliklerini göstermektedir.



Şekil 60. Sismik izolatörlerin yerleşim planı



Şekil 61. Dört perdenin simetrik olarak eklenmesi üç boyutlu modeli

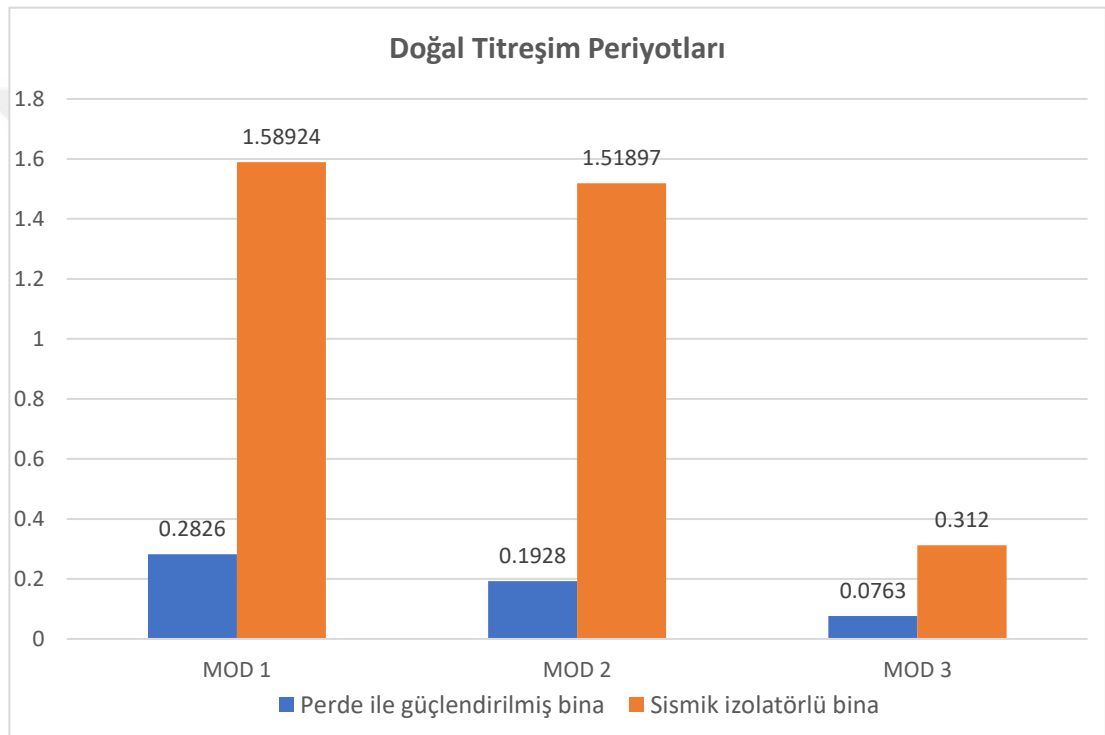
Tablo 10. Kullanılan sismik izolatörün özellikleri

Kauçuk ve kurşun malzeme özellikleri	
Elastomer Kayma modül (G_v)	0.7 MPa
Kurşun kayma modülü (τ_{yp})	8 MPa
Elastomer Hacim Modülü (K)	2000 MPa
Elastomer rijitlik (k)	0.75
Mevcut binanın yapının izolatör parametreleri (Kurşun çekirdekli elastomerik izolatör)	
İzolatör boyutları	
Dış çap (B)	700 mm
İç çap (B_L)	120 mm
Yükseklik (T_r)	330 mm
Tabaka kalınlığı (t)	10 mm
Tabaka sayısı (N)	33
Dış alan (A)	384844.78 mm ²
İç alan (kurşun çapı) (A_p)	11309.724 mm ²
Halka çapı (A_r)	373535.05 mm ²
Şekil faktörü (S)	16.98571
Rijitlik ve sönüm değerler	
Elastomerin Hacim modülü (E_0)	2.8 N/mm ²
Elastomerin basınç modülü (E_c)	2602.63 N/mm ²
Düşey rijitlik modülü (E_v)	1130.93 N/mm ²
Düşey rijitlik (k_v)	1280129 N/mm
İkincil rijitlik (k_2)	1154.94 N/mm
Karakteristik dayanım (F_0)	131883 N
Birincil rijitlik (k_1)	13188.3 N/mm
Doğrusal Yatay etkin rijitlik (k_{eff})	1093.94 N/mm
Maksimum yatay deplasman (D_{max})	300 mm
$Pk_3: 0.9G \pm Ed$	9389260 N
K_2 e gelen kuvvet (F_2)	293168 N
Sönüm oranı (β)	12.6%
Bir yükleme döngüsünde tüketilen enerji (W_d)	123212723 N.mm

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde mevcut yapının betonarme perde duvarlar eklenerek güçlendirilmesi ve yapının sismik izolatörler kullanılarak inşa edilmesi durumlarına ait analiz sonuçları sunulmuştur. Performans seviyeleri, doğal titreşim periyodu, kat yer değiştirmeleri ve taban kesme kuvvetleri gibi çeşitli parametreler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

4.1. Doğal Titreşim Periyotları



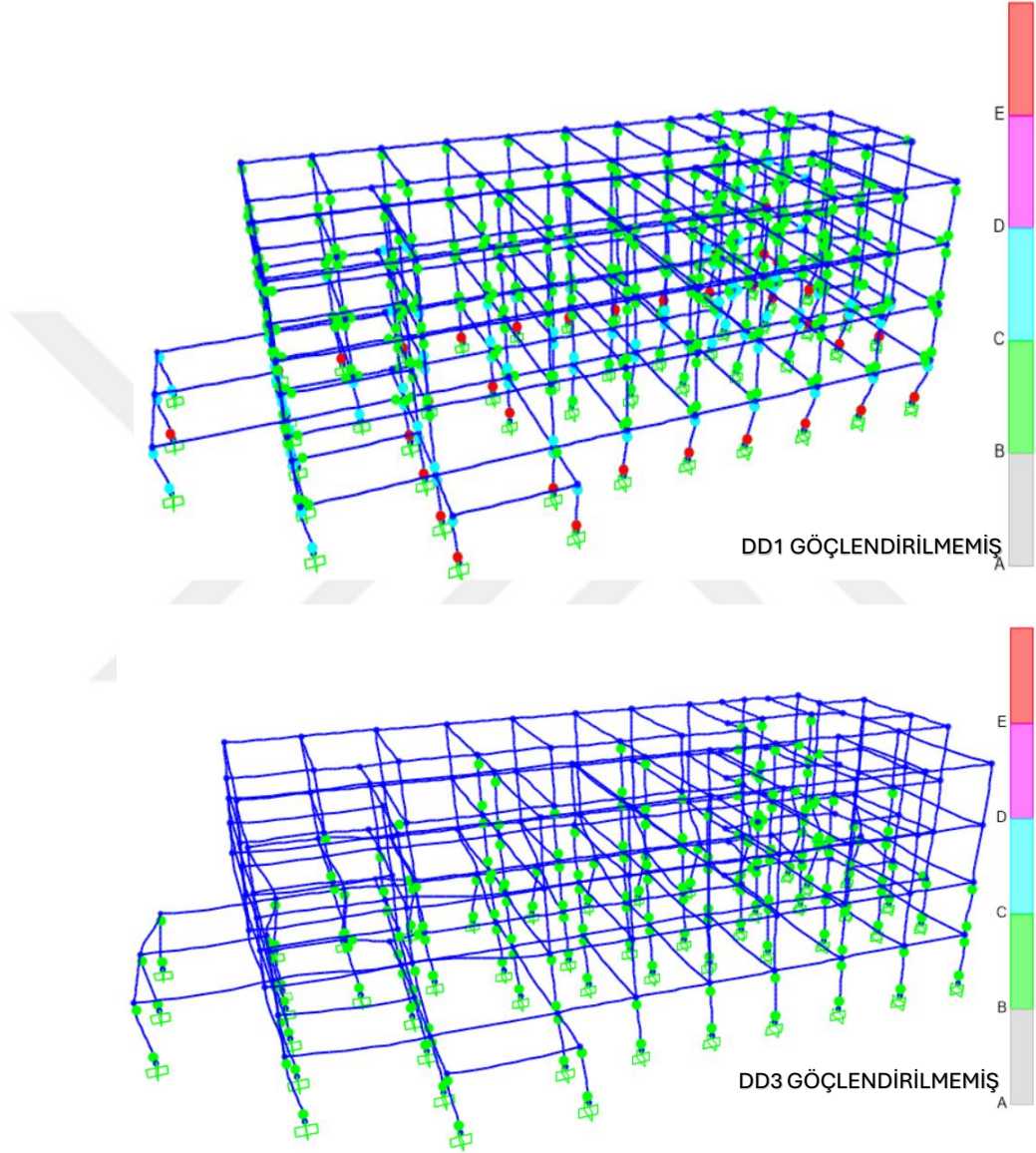
Şekil 62. Doğal titreşim periyotları

Yukarıdaki grafiklerden elde edilen verilere göre betonarme perdeler ile güçlendirilmiş binada ve sismik izolatör kullanılan binada Doğal Titreşim Periyotları olarak belirlenmiştir. Bu değerler, sismik izolatörlerin kullanıldığı binanın doğal titreşim periyodunun betonarme perde ile güçlendirilmiş binanın yaklaşık 5 katına arttığı göstermektedir.

4.2. Zaman Tanımı Alanında Doğrusal Olmayan Deprem Analiz Sonuçları:

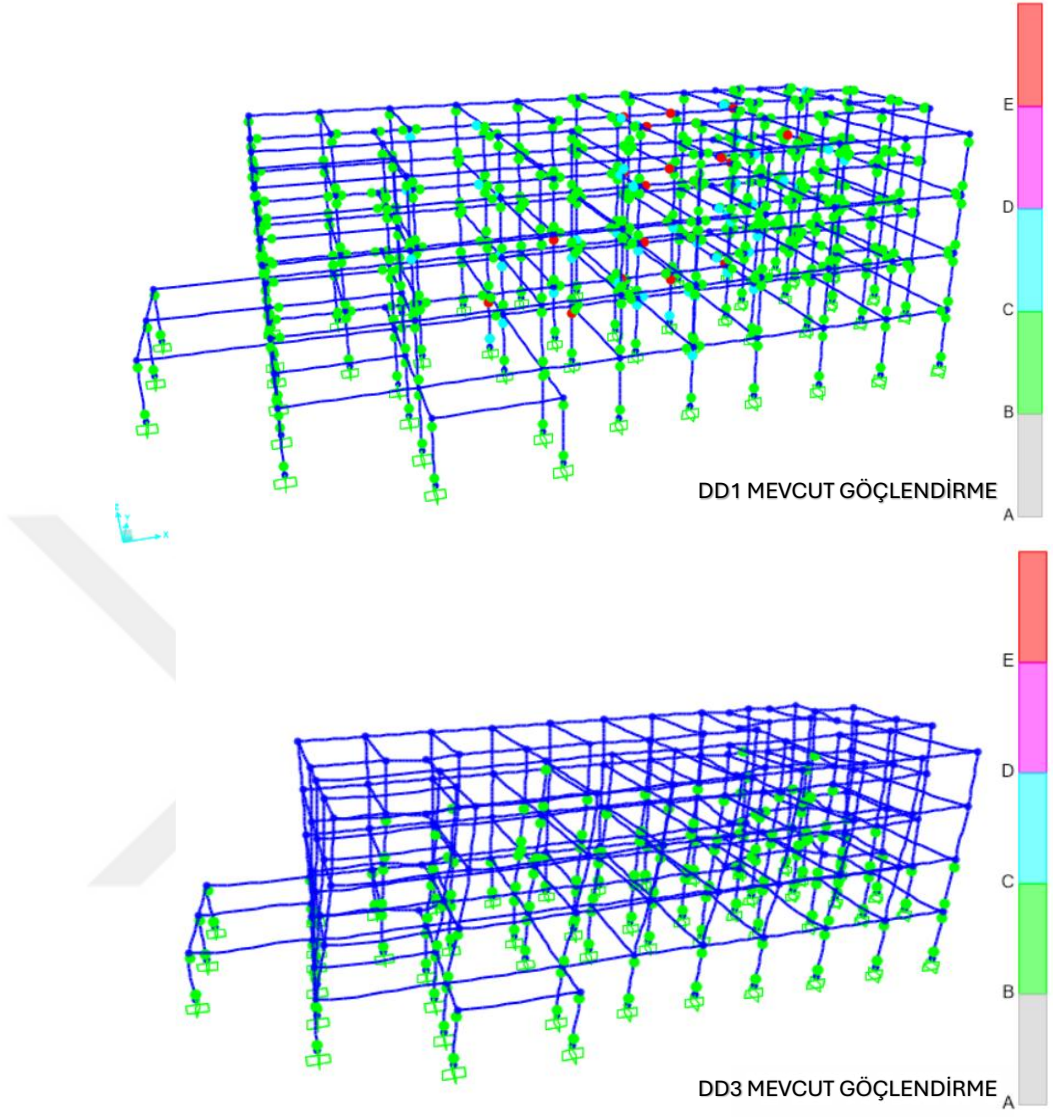
4.2.1. Yapıların Mafsallaşma Durumları ve Performans Sonuçları

Hiç güçlendirilmemiş (Perdesiz) yapı:



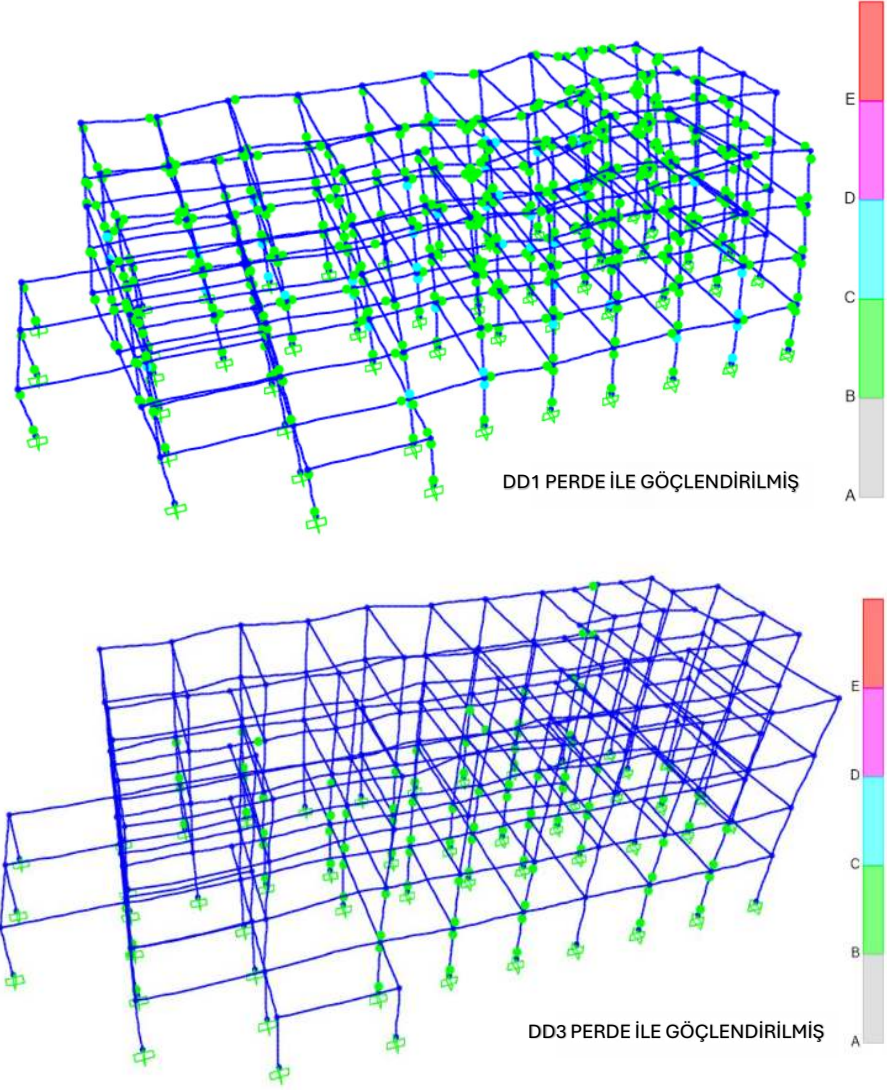
Şekil 63. Hiç güçlendirilmemiş binanın DD-1 ve DD-3 performans seviyesine göre plastik mafsıl durumu

Mevcut güçlendirmeli yapı:



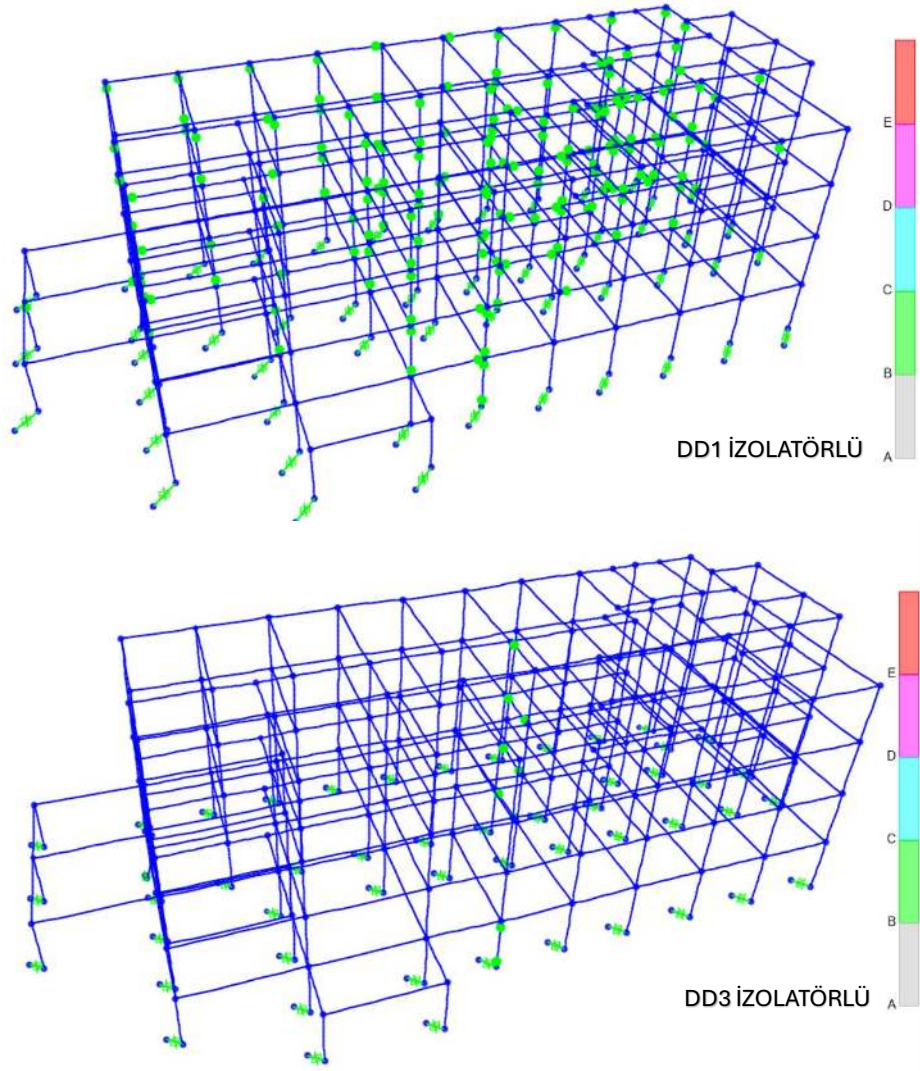
Şekil 64. Mevcut güçlendirmeli binanın DD-1 ve DD-3 performans seviyesine göre plastik mafsall durumu

Güçlendirilmiş yapı:



Şekil 65. Perde ile güçlendirilmiş binanın DD-1 ve DD-3 performans seviyesine göre plastik mafsalları durumu

İzolatörlü yapı:



Şekil 66. Sismik izolatörlü binanın DD-1 ve DD-3 performans seviyesine göre plastik mafsalları durumu

TBDY2018 yönetmeliğinin 15.8.3., **Mevcut Binalarda Sınırlı Hasar Performans Düzeyi**, maddesine göre “*Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20’si Belirgin Hasar Bölgesi’ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Sınırlı Hasar Bölgesi’ndedir*”, 15.8.4 **Mevcut Binalarda Kontrollü Hasar Performans Düzeyi** maddesine göre ise “*Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin ileri hasar bölgesine en fazla %35i geçiyorsa binaların Kontrollü Hasar Performans Düzeyi’nde olduğu kabul edilir*”, 15.8.5 **Mevcut Binalarda Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi** maddesine göre ise “*Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20’si Göçme Bölgesi’ne geçebilir*”, 15.8.6 **Göçme Durumu** maddesine göre ise “*Bina Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi’ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu’ndadır*”.Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır” denilmektedir .

Yukarıdaki şekillerde plastik mafsalların renkleri, aşağıdaki performans düzeylerini ifade etmektedir: Gri renk "Kesintisiz Kullanım", Yeşil renk "Sınırlı Hasar", Gökyüzü rengi "Belirgin Hasar", Mor renk "İleri Hasar" ve Kırmızı renk "Göçme Bölgesi"ni temsil etmektedir. Buna göre yapılarıdaki sağlanan performans düzeyleri aşağıdaki tablolarda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Tablo 11. Hiç güçlendirilmemiş modelde DD-1 performansa göre hasar durumları

Kat No	Hasar Bölgesi	Kolon		Kiriş	
		Kolon ve perde sayısı	Kolon-perde yüzdesi (%)	Kiriş sayısı	Kiriş yüzdesi (%)
1	SH	0	0	10	12.5
	BH	16	32	5	6
	İH	0	0	0	0
	GB	33	66	7	10
2	SH	23	49	22	29.3
	BH	5	10	4	5
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0
3	SH	10	21.2	7	9.3
	BH	0	0	3	4
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0
4	SH	7	14	5	6.6
	BH	0	0	2	2.67
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0

Tablo 11’ deki verilere göre, **DD-1** seviyesindeki performans sonuçları hiç güçlendirilmemiş yapıda "**Göçme Durumu**" düzeyinde gerçekleşmiştir.

Tablo 12. Mevcut güçlendirme modelde DD-1 performansa göre hasar durumları

Kat No	Hasar Bölgesi	Kolon		Kiriş	
		Kolon ve perde sayısı	Kolon-perde yüzdesi (%)	Kiriş sayısı	Kiriş yüzdesi (%)
1	SH	28	56	13	16.25
	BH	11	22	7	8.75
	İH	0	0	0	0
	GB	6	12	3	4
2	SH	25	62.25	15	20
	BH	7	15	6	8
	İH	0	0	0	0
	GB	3	6.4	3	5.3
3	SH	23	49	14	18.6
	BH	3	6.38	6	8
	İH	0	0	0	0
	GB	2	4.25	4	5.33
4	SH	24	51	9	12
	BH	2	4.25	7	9.3
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	6	8

Tablo 12’ daki verilere göre, **DD-1** seviyesindeki performans sonuçları mevcut güçlendirilmiş yapıda "**Göçmenin Önlenmesi**" düzeyinde gerçekleşmiştir.

Tablo 13. Perde ile güçlendirilmiş modelde DD-1 hasar durumları

Kat No	Hasar Bölgesi	Kolon		Kiriş	
		Kolon ve perde sayısı	Kolon-perde yüzdesi (%)	Kiriş sayısı	Kiriş yüzdesi (%)
1	SH	32	64	27	33.75
	BH	11	22	0	0
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0
2	SH	37	78.7	22	29.3
	BH	3	6.4	2	2.67
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0
3	SH	40	80	20	26.6
	BH	0	0	3	4
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0
4	SH	40	80	21	28
	BH	0	0	2	2.67
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0

Tablo 14. İzolatörlü modelde DD-1 performansa göre hasar durumları

Kat No	Hasar Bölgesi	Kolon		Kiriş	
		Kolon ve perde sayısı	Kolon-perde yüzdesi (%)	Kiriş sayısı	Kiriş yüzdesi (%)
1	SH	6	12	7	8.75
	BH	0	0	0	0
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0
2	SH	8	17	4	5.33
	BH	0	0	0	0
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0
3	SH	7	14.9	3	4
	BH	0	0	0	0
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0
4	SH	7	14.9	2	2.67
	BH	0	0	0	0
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0

Tablodaki verilere göre, **DD-1** seviyesindeki performans sonuçları perde duvarlarla güçlendirilmiş yapıda "**Kontrollü Hasar**" düzeyinde gerçekleşmiştir. Buna karşılık sismik izolatörlerin kullanıldığı modelde ise yapı "**Kesintisiz Kullanım**" performans seviyesine ulaşmıştır. Bu sonuçlar sismik izolatörlerin yapısal hasarı önemli ölçüde azalttığını ve yapının kullanım sürekliliğini sağladığını göstermektedir.

Tablo 15. Perde ile güçlendirilmiş modelde DD-3 hasar durumları

Kat No	Kolon		Kiriş		
	Hasar Bölgesi	Kolon ve perde sayısı	Kolon-perde yüzdesi (%)	Kiriş sayısı	Kiriş yüzdesi (%)
1	SH	20	40	0	0
	BH	0	0	0	0
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0
2	SH	18	38.3	2	2.67
	BH	0	0	0	0
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0
3	SH	0	0	2	2.67
	BH	0	0	0	0
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0
4	SH	0	0	1	1.33
	BH	0	0	0	0
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0

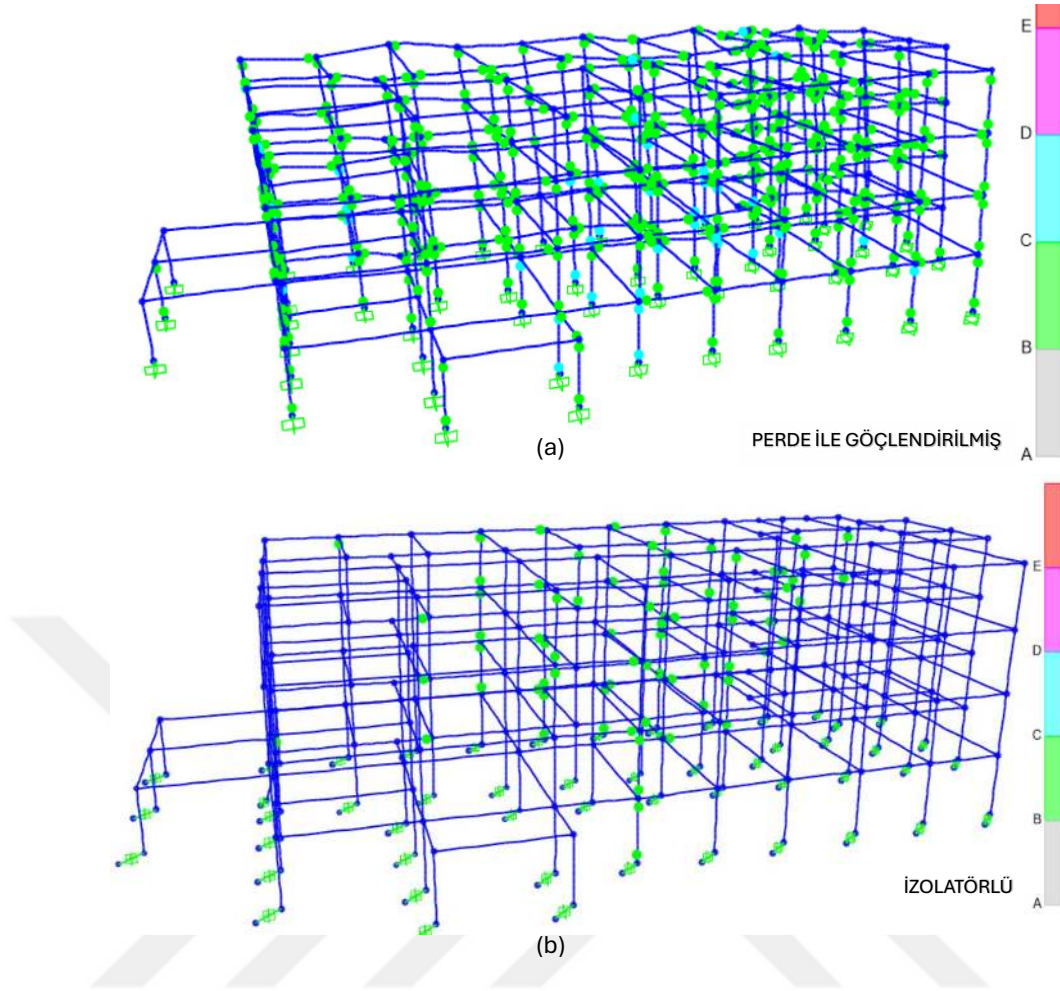
Tablo 16. İzolatörlü modelde DD-3 performansa göre hasar durumları

Kat No	Kolon			Kiriş	
	Hasar Bölgesi	Kolon ve perde sayısı	Kolon-perde yüzdesi (%)	Kiriş sayısı	Kiriş yüzdesi (%)
1	SH	0	0	2	2.5
	BH	0	0	0	0
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0
2	SH	1	2.32	1	1.33
	BH	0	0	0	0
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0
3	SH	0	0	1	1.33
	BH	0	0	0	0
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0
4	SH	0	0	1	1.33
	BH	0	0	0	0
	İH	0	0	0	0
	GB	0	0	0	0

Tablodaki verilere göre, **DD-3** seviyesindeki performans sonuçları perde duvarlarla güçlendirilmiş yapıda "**Sınırlı Hasar**" düzeyinde gerçekleşmiştir. Buna karşılık sismik izolatörlerin kullanıldığı modelde ise yapı "**Kesintisiz Kullanım**" performans seviyesine ulaşmıştır. Bu sonuçlar sismik izolatörlerin yapısal hasarı önemli ölçüde azalttığını ve yapının kullanım sürekliliğini sağladığını göstermektedir.

4.2.2. Kahramanmaraş Pazarcık Gerçek Deprem Verileri Uygulandığında Yapının Mafsallaşma Durumu ve Performans Sonuçları

Bu bölümde betonarme perde ile güçlendirilmiş ve sismik izolatörlü yapı üzerinde gerçek deprem verileri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin amacı, yapının mafsallaşma durumlarını ve performans sonuçlarını gerçek deprem hareketlerinin etkisi altında değerlendirmektir. Kahramanmaraş Pazarcık depremine ait ivme verileri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) çerçevesinde deprem hareketi düzeyleri DD-1 ve DD-3 gibi aralıklar yerine doğrudan gerçek verilerle uygulanmıştır. Bu yaklaşımın temel hedefi, yapının gerçek deprem etkilerine karşı mafsallaşmanın tepkisini incelemek ve yapısal performansını daha hassas ve gerçekçi bir biçimde değerlendirmektir.



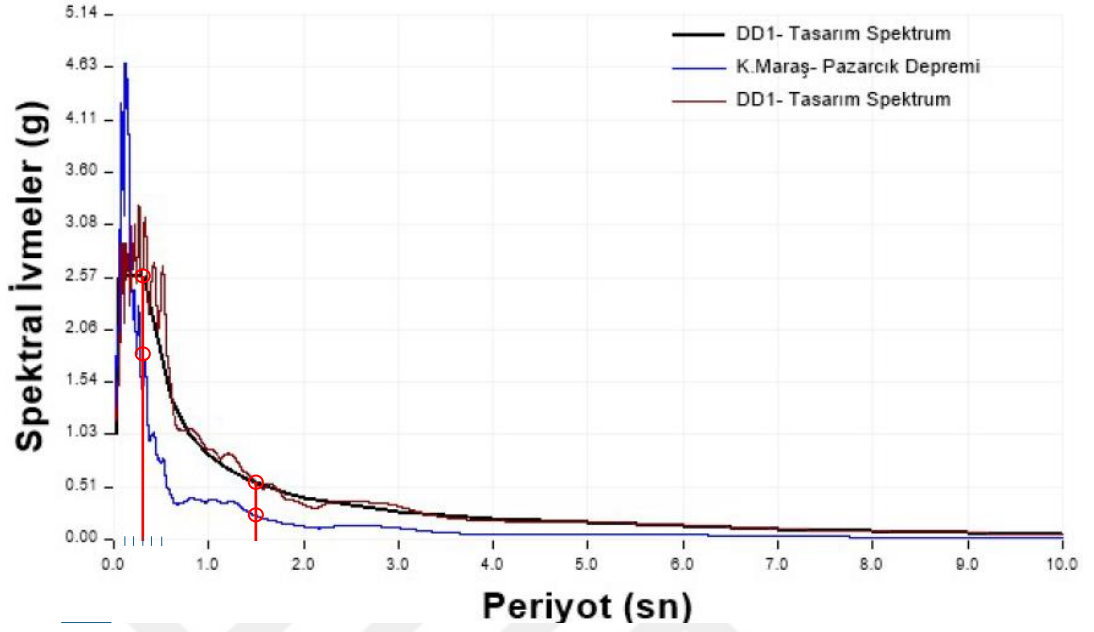
Şekil 67. İzolatörlü yapı ve perdeli yapının performans sonuçları

Şekildeki görüntülerde mafsal görünümünde olduğu için perde duvarlar görünümünden otomatikman program çıkarmaktadır.

Elde edilen bulgulara göre yapıya etkiyen gerçek ivmenin, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) kapsamında belirli periyotlar arasında tasarım spektrumundaki ivmeden daha büyük olmasına rağmen çökme aşamasına ulaşmamıştır. DD-1'e göre yapı performansı yönetmelik depremi spektrumu ile deprem performansı ile oluşan mafsallar bakımından benzerlik göstermektedir.

Şekil 68'de görüldüğü gibi 3129 nolu istasyonda DD-1'de 0.3 saniyelik periyoda sahip olan ankastre sistemin mavi ile gösterilen deprem ivmesinde aldığı değerler yönetmelikteki deprem ivme değerlerinden daha küçüktür. Ama gerçekte yaklaşık 0.1 saniye periyoda denk gelen bölgede gerçek deprem evreleri 4.63 g'ye kadar yükselmektedir. Aynı şekilde 1.5 saniyedeki izolatörlü sistemin doğal titreşim

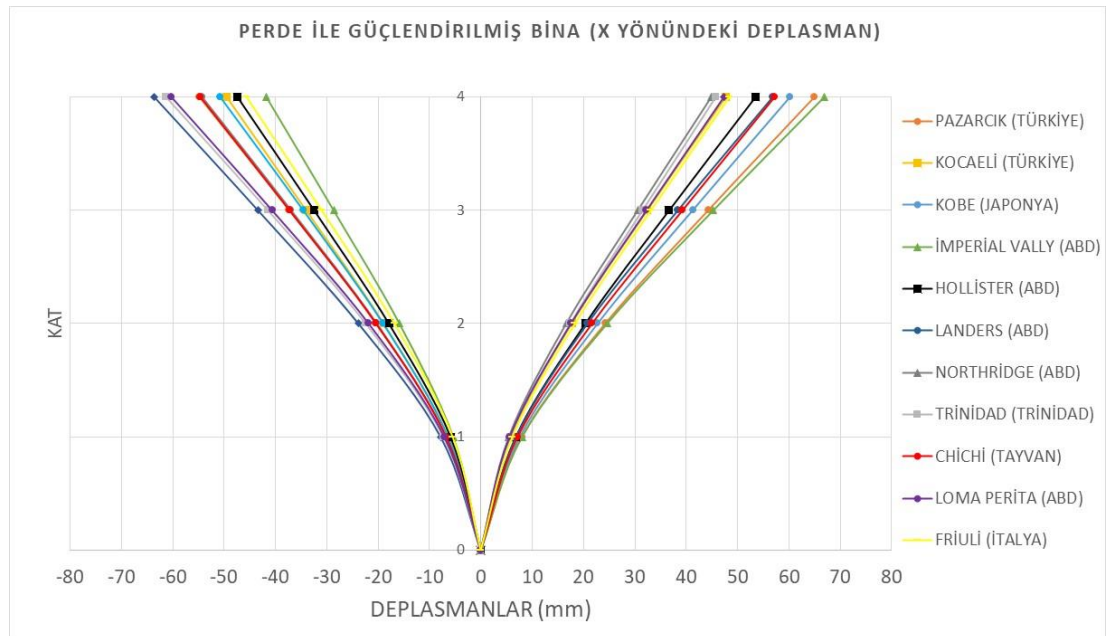
periyodunda gerçek depremin ivme değerleri yönetmelik depreminin ivme değerlerinden küçük olduğu görülmektedir.



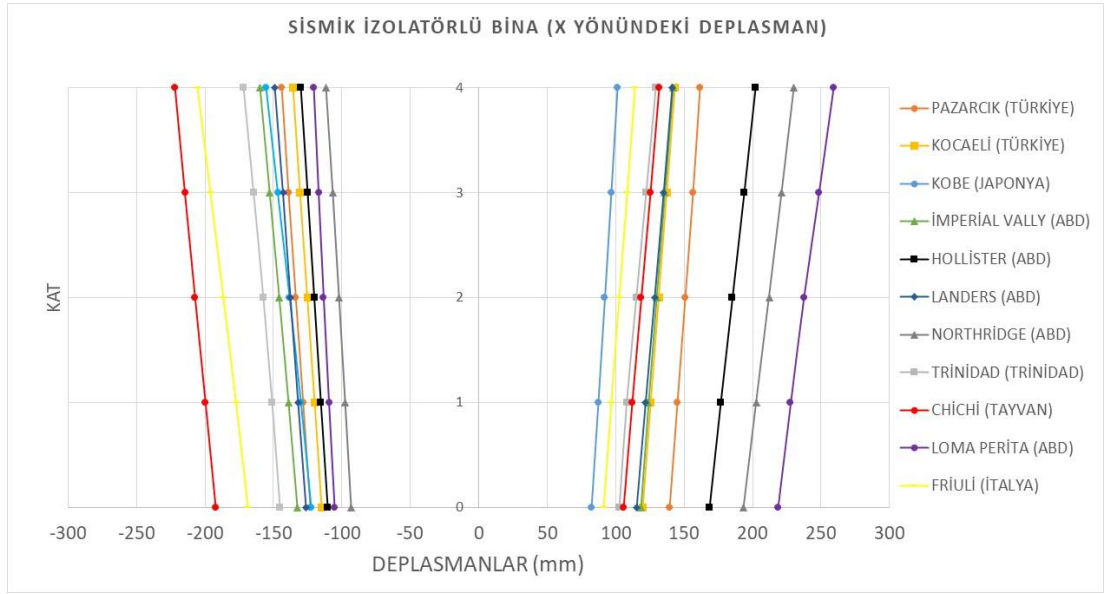
Şekil 68. DD-1 gerçek ve tasarım depremi spektrum grafiği

4.2.3. Perde ile Güçlendirilmiş ve İzolatörlü Yapıların Deplasman Sonuçları

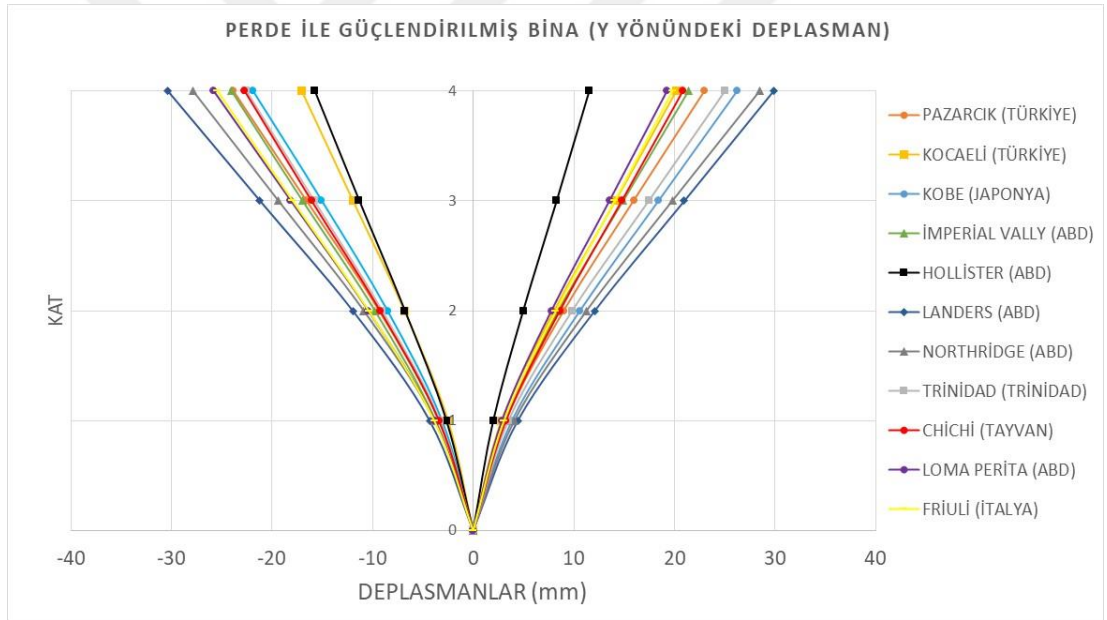
DD-1 deprem yer hareketi seviyesi için hesaplanan deplasman değerleri:



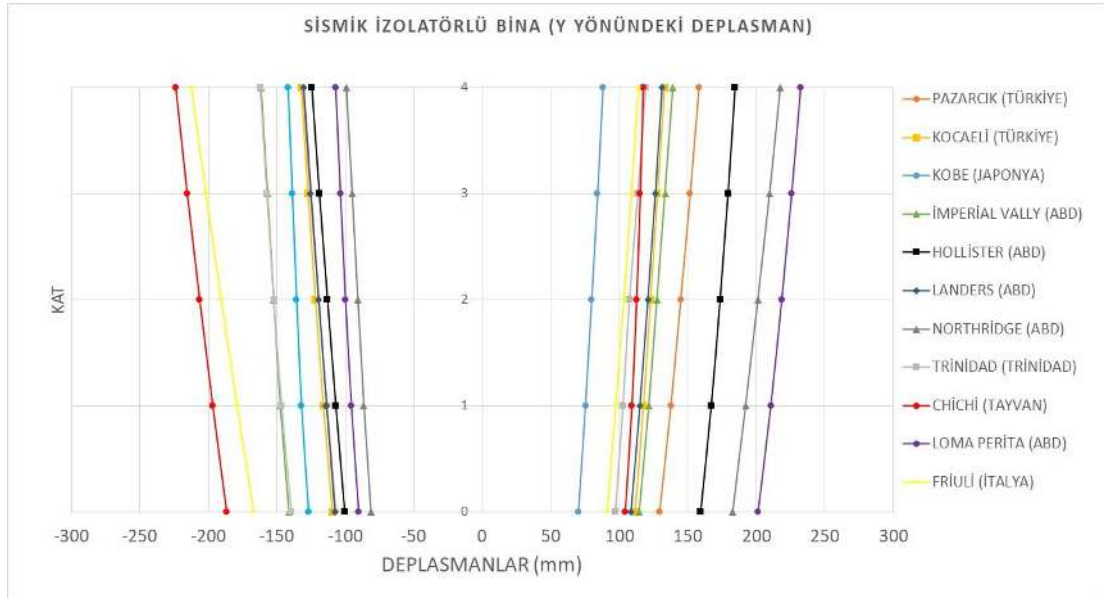
Şekil 69. perde ile güçlendirilmiş binanın deplasmanları (d_x)



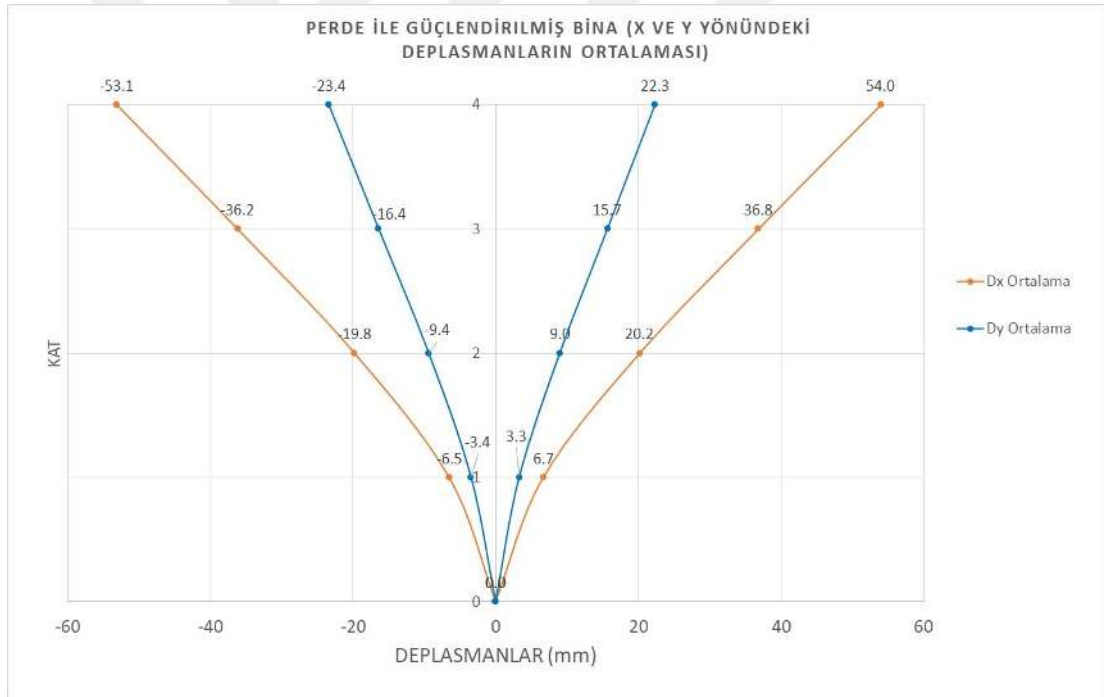
Şekil 70. izolatörlü binanın deplasmanları (d_x)



Şekil 71. perde ile güçlendirilmiş binanın deplasmanları (d_y)



Şekil 72. izolatörlü binanın deplasmanları (d_y)



Şekil 73. Perde ile güçlendirilmiş binanın 11 deprem için deplasmanların ortalaması



Şekil 74. İzolatörlü binanın 11 deprem için deplasmanların ortalaması

Yukarıdaki grafiklerden elde edilen verilere göre betonarme perdeler ile güçlendirilmiş binada DD-1 yer hareketi seviyesinde en üst katta meydana gelen maksimum kat deplasmanı yaklaşık 7 cm olarak belirlenmiştir. Bu değerler özellikle Pazarcık ve İmperial Vally depremleri sırasında tespit edilmiştir. Diğer yandan, sismik izolatör kullanılan binada DD-1 yer hareketi seviyesinde temel seviyesindeki maksimum deplasman 22 cm, en üst katta ise yaklaşık 26 cm olarak kaydedilmiştir. Bu veriler özellikle Loma Perita depremi sırasında kaydedilmiştir.

DD-1 deprem yer hareketi seviyesi için hesaplanan görel kat ötelemesi değerleri:

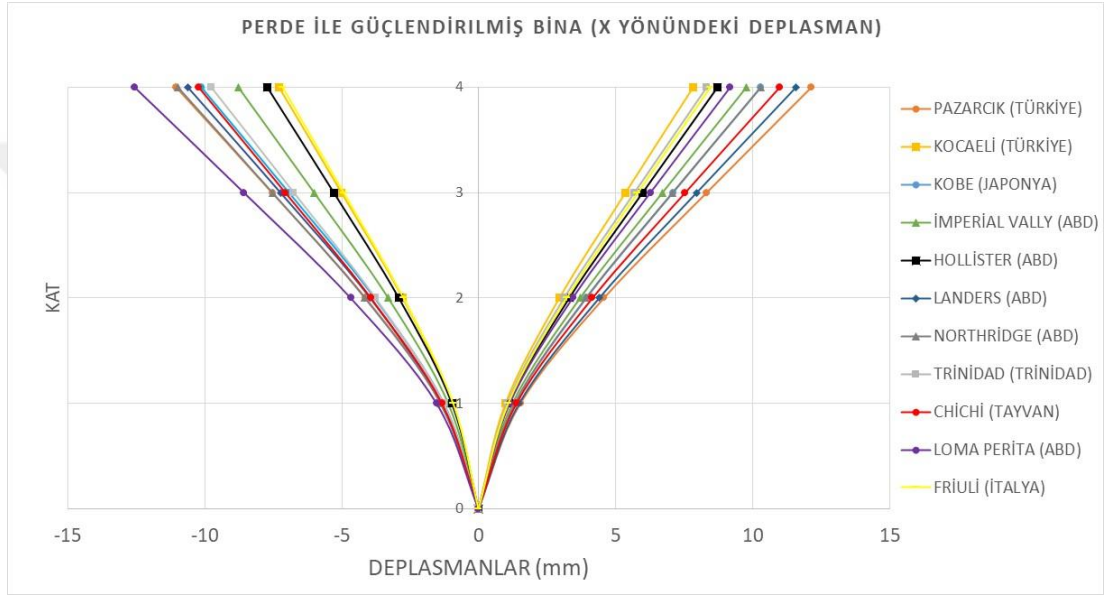
Tablo 17. Perde ile güçlendirilmiş binanın görel kat ötelemesi

Kat	görel kat ötelemesi δ_i (mm)			
	X+	X-	Y+	Y-
1	6.67	-6.51	3.29	-3.44
2	13.51	-13.25	5.69	-5.93
3	16.63	-16.38	6.67	-7.02
4	17.14	-16.92	6.67	-7

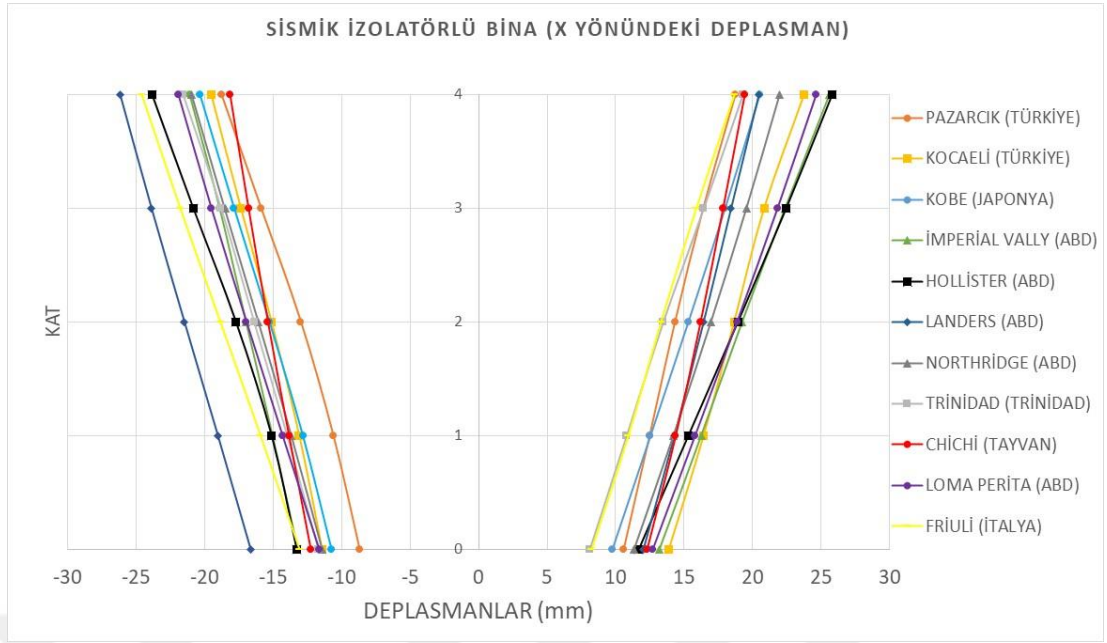
Tablo 18. İzolatörlü binanın görelî kat ötelemesi

Kat	görelî kat ötelemesi δ_i (mm)			
	X+	X-	Y+	Y-
1	6.56	-5.95	6.86	-7
2	6.87	-6.15	6	-6.17
3	7	-6.26	5.76	-5.82
4	6.8	-6.23	6.28	-5.5

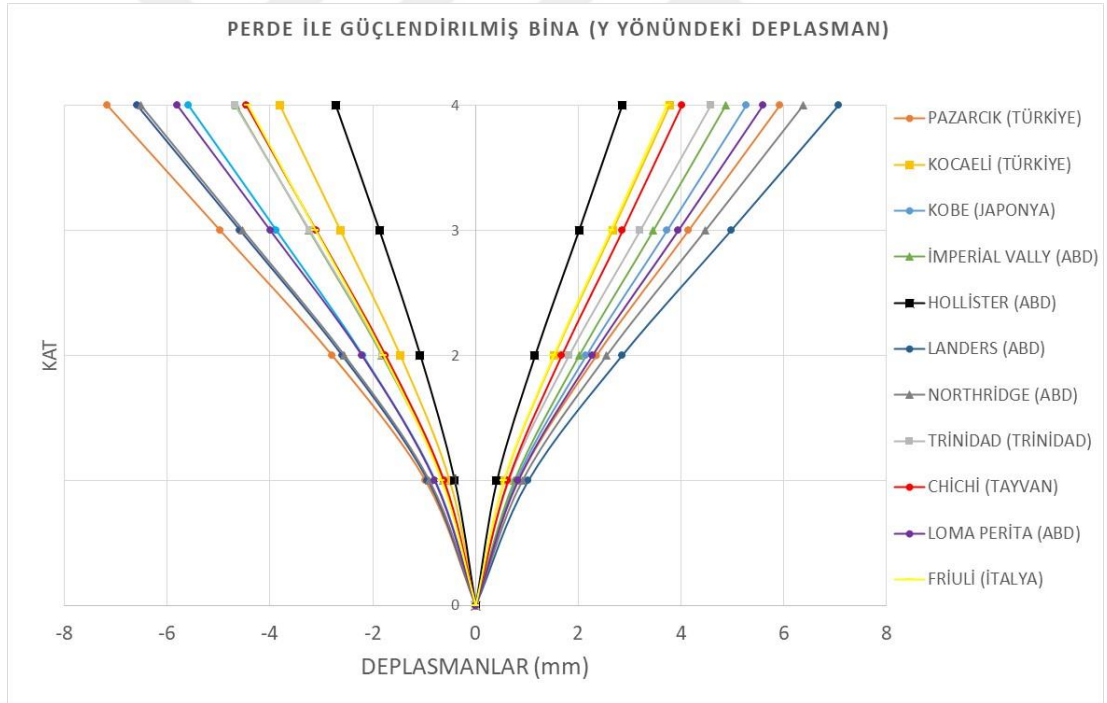
DD-3 deprem yer hareketi seviyesi için hesaplanan deplasman değerleri:



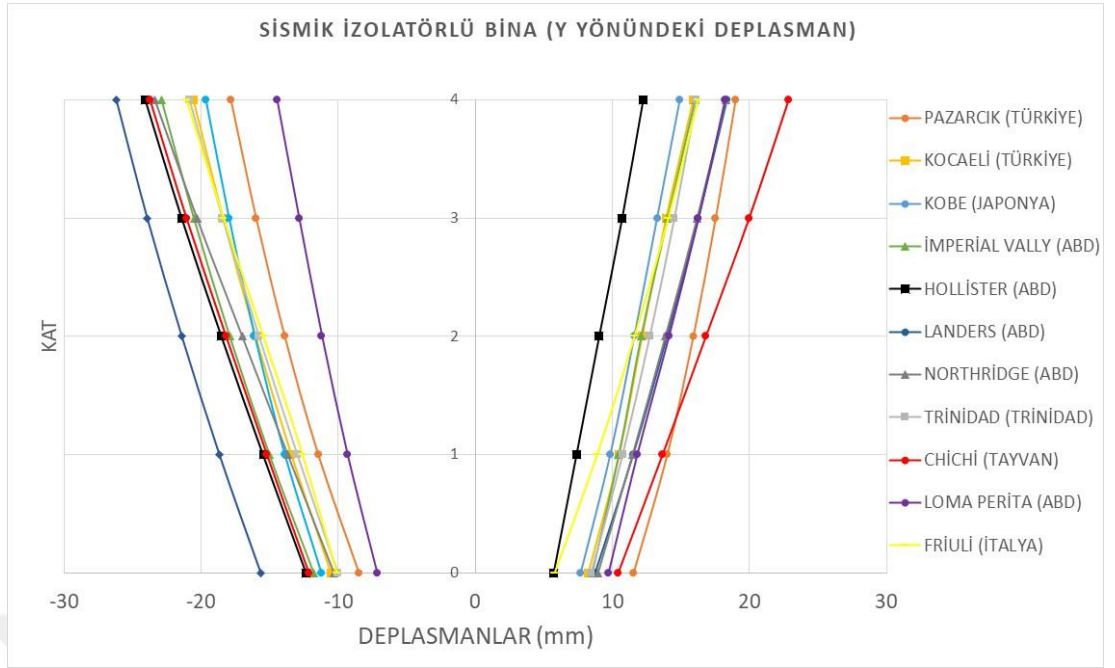
Şekil 75. perde ile güçlendirilmiş binanın deplasmanları (d_x)



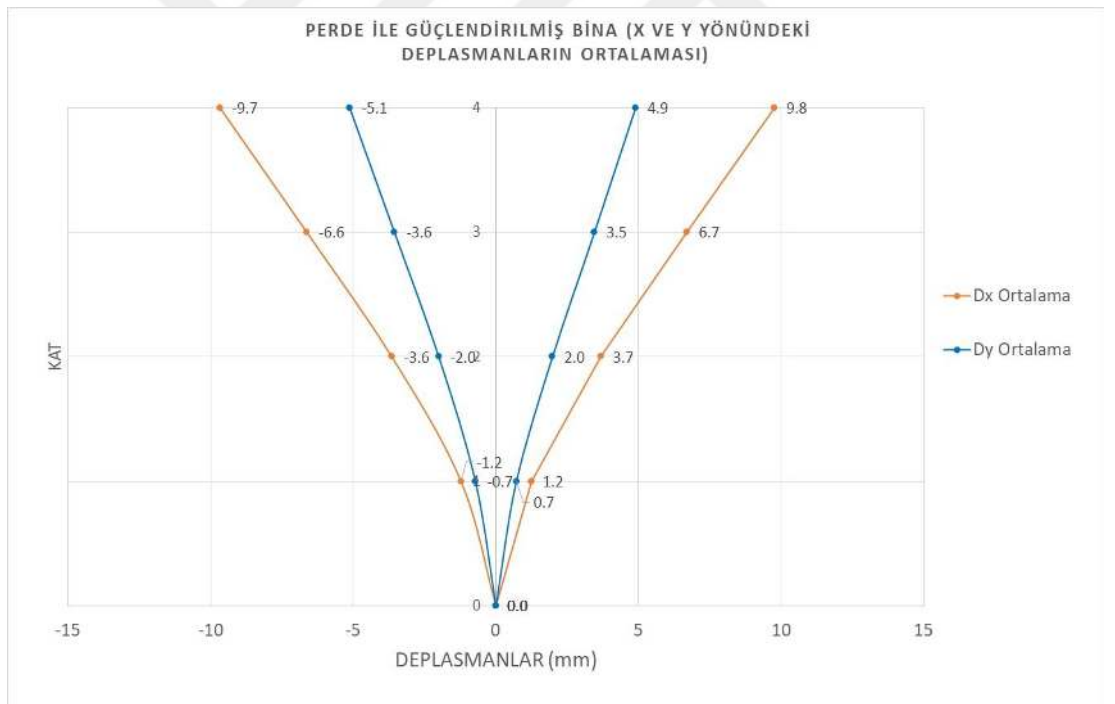
Şekil 76. İzolatörlü binanın deplasmanları (d_x)



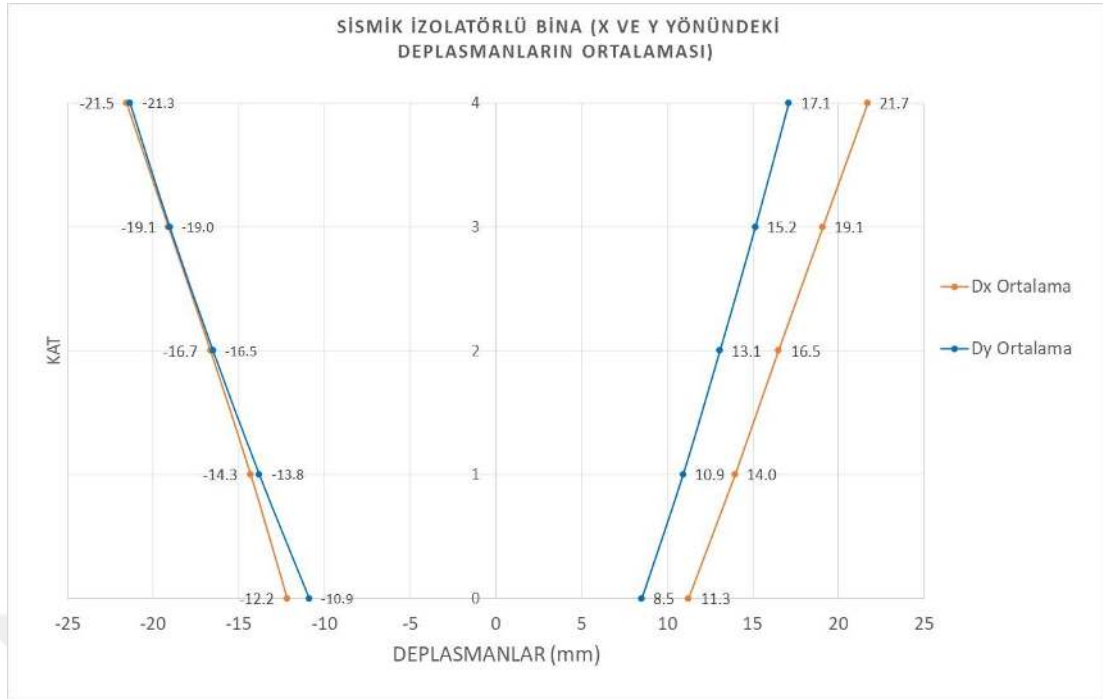
Şekil 77. Perde ile güçlendirilmiş binanın deplasmanları (d_y)



Şekil 78. İzolatörlü binanın deplasmanları (d_y)



Şekil 79. İzolatörlü binanın 11 deprem için deplasmanların ortalaması



Şekil 80. İzolatörlü binanın 11 deprem için deplasmanların ortalaması

Yukarıdaki grafiklerden elde edilen verilere göre betonarme perdeler ile güçlendirilmiş binada DD-3 yer hareketi seviyesinde en üst katta meydana gelen maksimum kat deplasmanı yaklaşık 1.2 cm olarak belirlenmiştir. Bu değerler özellikle Pazarcık depremi sırasında tespit edilmiştir. Diğer yandan, sismik izolatör kullanılan binada DD-3 yer hareketi seviyesinde temel seviyesindeki maksimum deplasman 1.5 cm, en üst katta ise yaklaşık 3 cm olarak kaydedilmiştir. Bu veriler özellikle Hollister depremi sırasında kaydedilmiştir.

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde, sismik izolatörlü binada yer değiştirme miktarının büyük ölçüde izolatör seviyesinde yoğunlaştığı ve üst katlara doğru çıkıldıkça yer değiştirme değerlerinde yalnızca sınırlı bir artış gözlemlendiği anlaşılmaktadır. Buna karşılık perde duvarlarla güçlendirilmiş binada kat seviyeleri yükseldikçe yer değiştirmelerde belirgin bir artış meydana gelmektedir. Bu bulgular doğrultusunda sismik izolatörlü binanın farklı deprem etkilerine karşı üstün performans sergilediği ve yüksek bir dayanıklılık sağladığı söylenebilir.

DD-3 deprem yer hareketi seviyesi için hesaplanan görelî kat ötelemesi değeri:

Tablo 19. Perde ile güçlendirilmiş binanın görelî kat ötelemesi

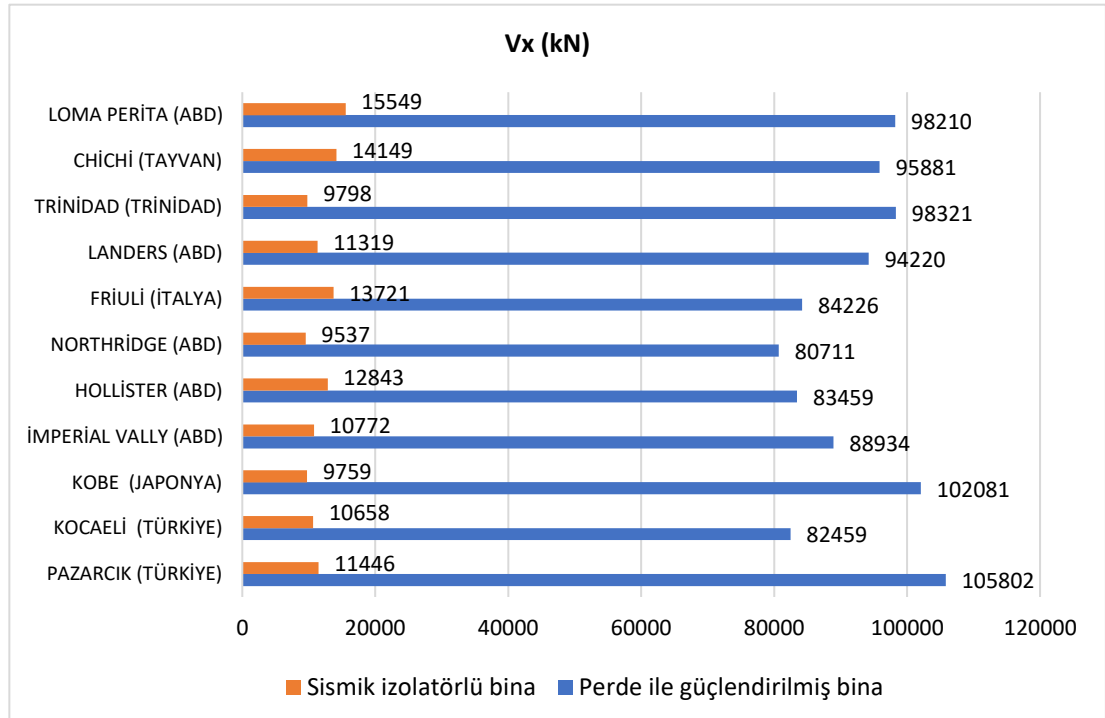
Kat	görelî kat ötelemesi δ_i (mm)			
	X+	X-	Y+	Y-
1	1.24	-1.22	0.71	-0.72
2	2.45	-2.42	1.27	-1.28
3	3	-2.97	1.47	-1.55
4	3.06	-3.03	1.45	1.45

Tablo 20. İzolatörlü binanın görelî kat ötelemesi

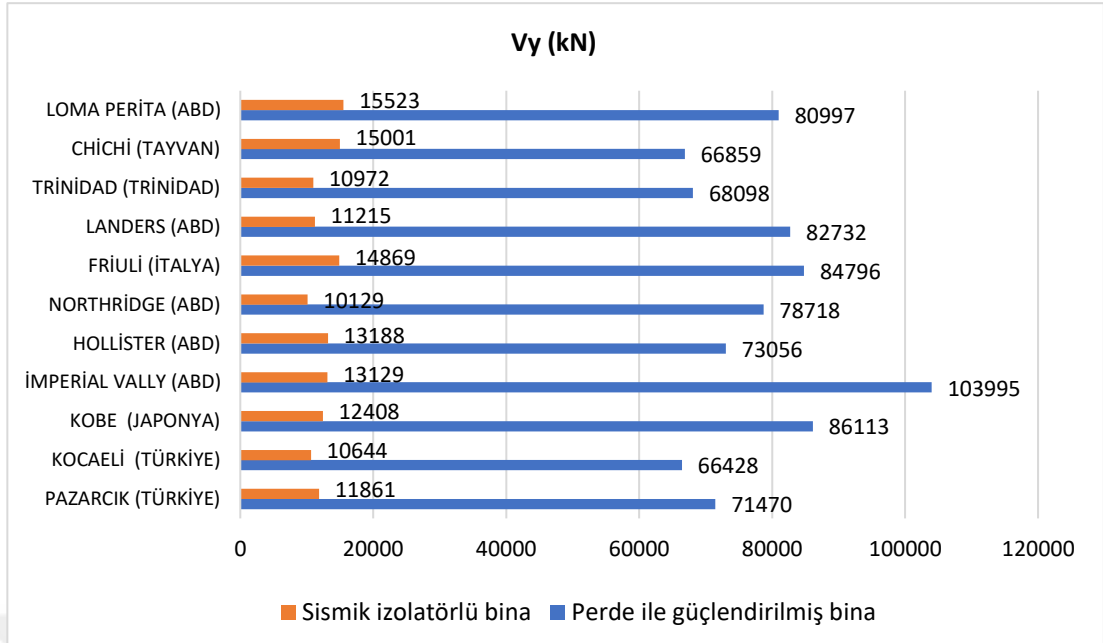
Kat	görelî kat ötelemesi δ_i (mm)			
	X+	X-	Y+	Y-
1	2.68	-2.12	2.41	-2.91
2	2.56	-2.33	2.15	-2.69
3	2.57	-2.45	2.07	-2.52
4	2.62	-2.43	1.95	-2.31

4.2.4. Perde ile Güçlendirilmiş ve İzolatörlü Yapıların Taban Kesme Kuvvetleri

DD-1 Deprem Yer Hareketi Seviyesi İçin Hesaplanan Taban Kesme Kuvvetleri :



Şekil 81. DD-1 deprem yer hareketi seviyesi Binanın taban kesme kuvveti (V_x)

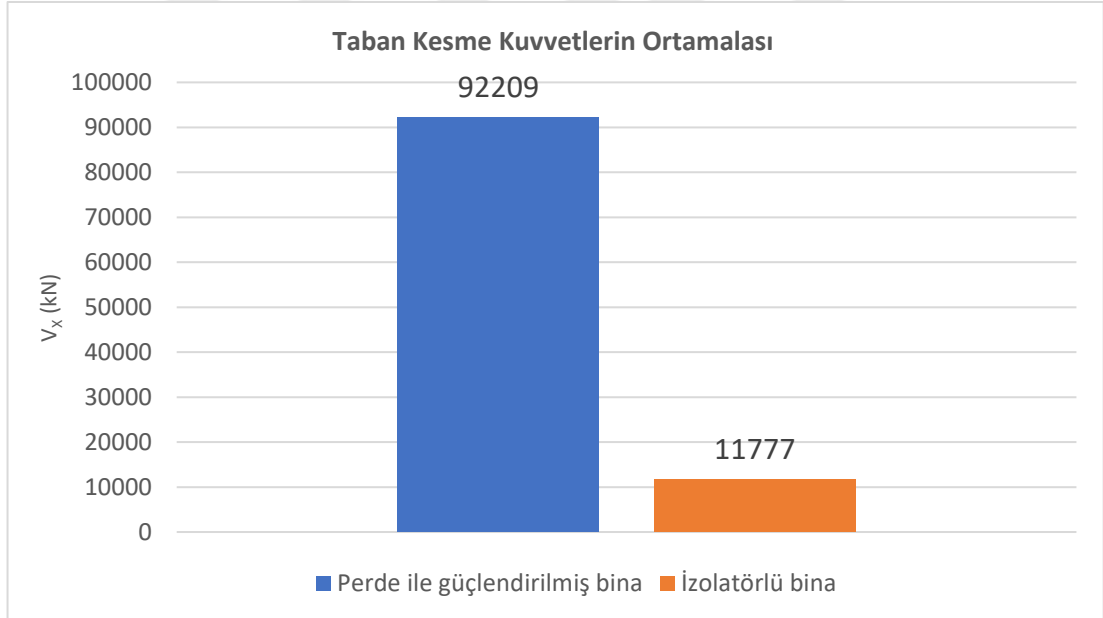


Şekil 82. DD-1 deprem yer hareketi seviyesi binanın taban kesme kuvveti (V_y)

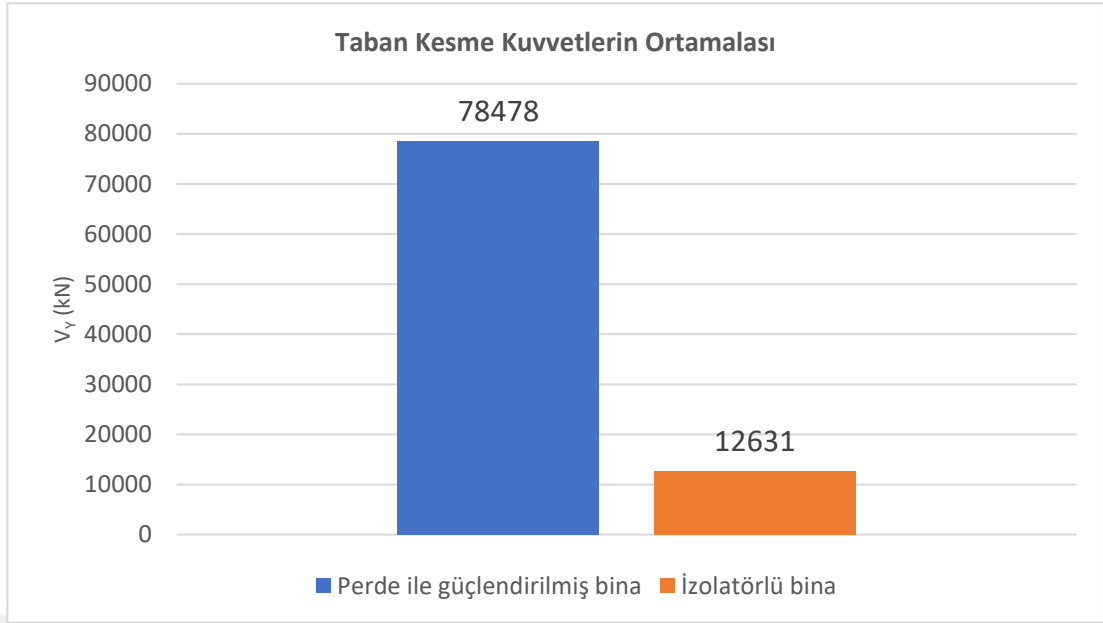
Yukarıdaki grafiklerden elde edilen verilere göre betonarme perdeler ile güçlendirilmiş binada DD-1 yer hareketi seviyesinde maksimum taban kesme kuvveti yaklaşık 105801 kN olarak belirlenmiştir. Bu değerler özellikle Pazarcık depremi sırasında tespit edilmiştir. Diğer yandan, sismik izolatör kullanılan binada DD-1 yer hareketi seviyesinde maksimum 15549 kN olarak kaydedilmiştir. Bu veriler özellikle Loma Perita depremi sırasında kaydedilmiştir.

Tablo 21. DD-1 deprem yer hareketi seviyesi için taban kesme kuvvetleri

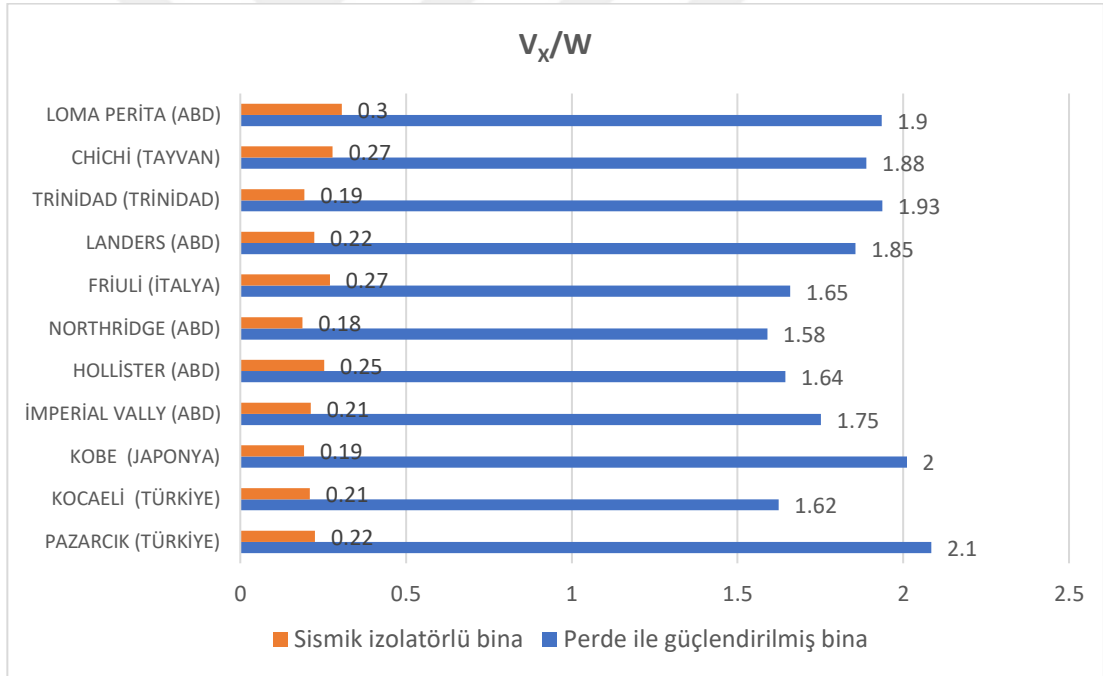
Binanın taban kesme kuvvetleri (kN)				
Deprem ivme kaydı	V _x perde ile	V _x izolatörlü	V _y perde ile	V _y izolatörlü
PAZARCIK (TÜRKİYE)	105801	11446	71469	11861
KOCEALİ (TÜRKİYE)	82458	10657	66427	10643
KOBE (JABONYA)	102080	9759	86113	12408
İMPERİAL VALLY (ABD)	88933	10771	103995	13128
HOLLİSTER (ABD)	83458	12843	73055	13188
NORTHRIDGE (ABD)	80711	9537	78717	10129
FRIULİ (İTALYA)	84225	13720	84796	14869
LANDERS (ABD)	94220	11318	82732	11215
TRİNİDAD (TRİNİDAD)	98320	9798	68097	10971
CHİCHİ (TAYVAN)	95881	14149	66859	15001
LOMA PERİTA (ABD)	98210	15549	80997	15522



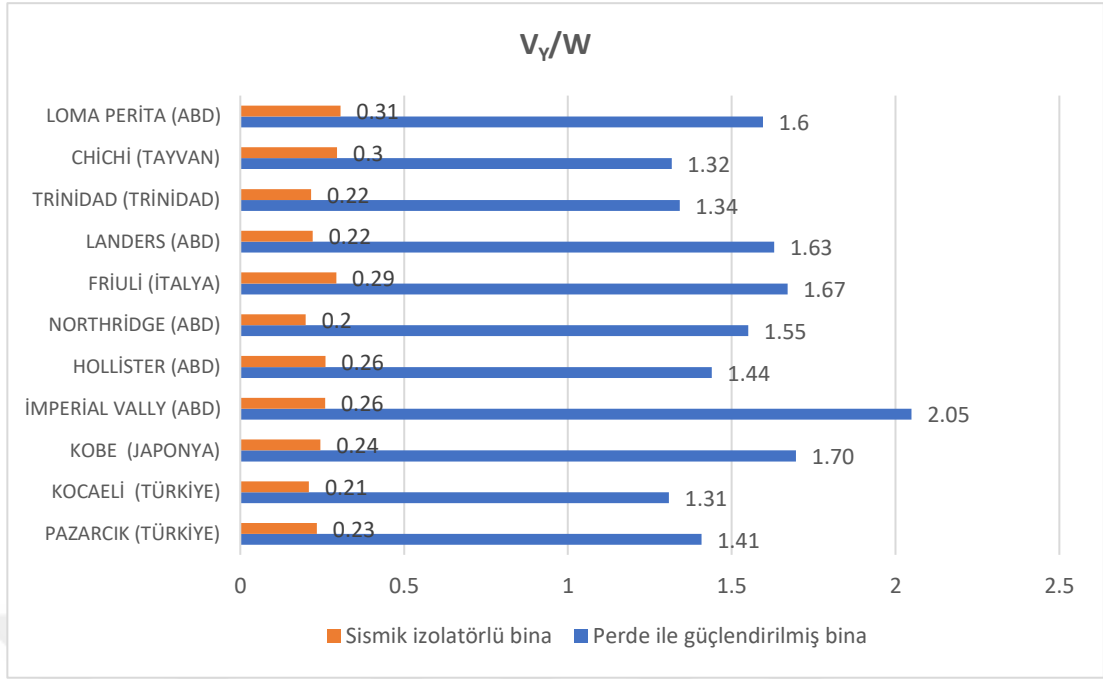
Şekil 83. DD-1 taban kesme kuvvetleri ortalaması (V_x)



Şekil 84. DD-1 taban kesme kuvvetleri ortalaması (V_y)

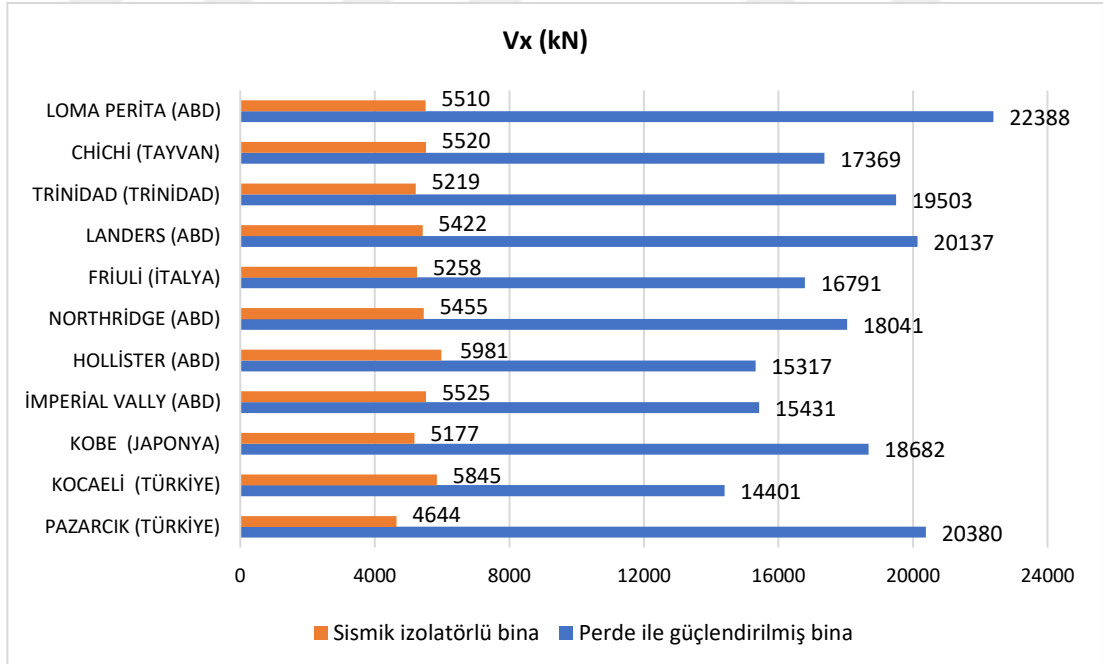


Şekil 85. DD-1 deprem hareketi seviyesi taban kesme kuvvetleri / yapının toplam ağırlığı (V_x/W)

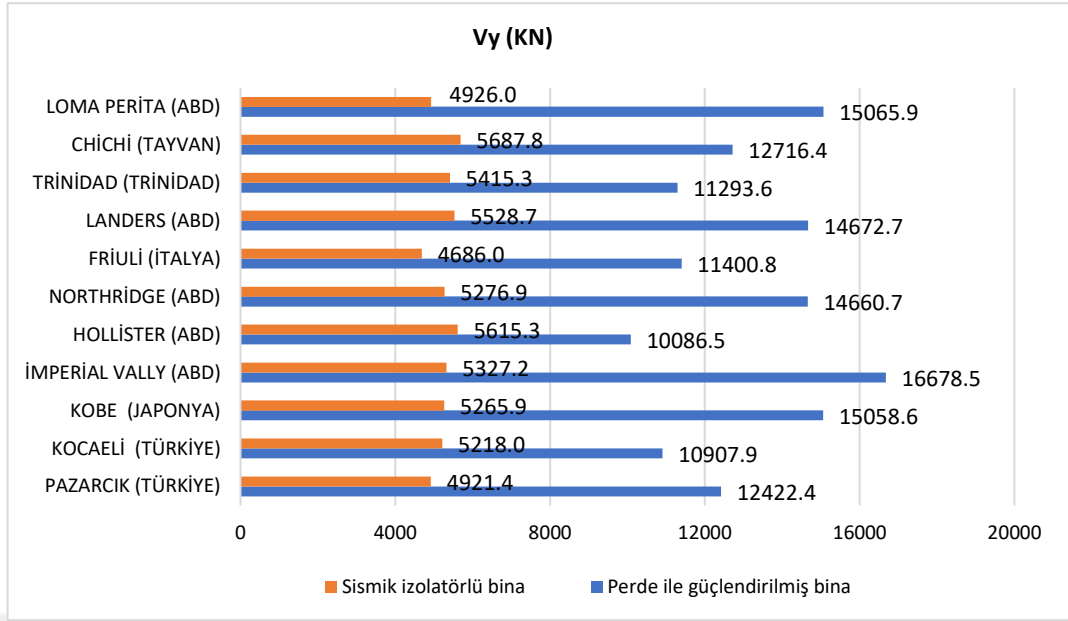


Şekil 86. DD-1 deprem hareketi seviyesi taban kesme kuvvetleri / yapının toplam ağırlığı (V_y/W)

DD-3 Deprem Yer Hareketi Seviyesi İçin Hesaplanan Taban Kesme Kuvvetleri:



Şekil 87. DD-3 deprem yer hareketi seviyesi binanın taban kesme kuvveti (V_x)

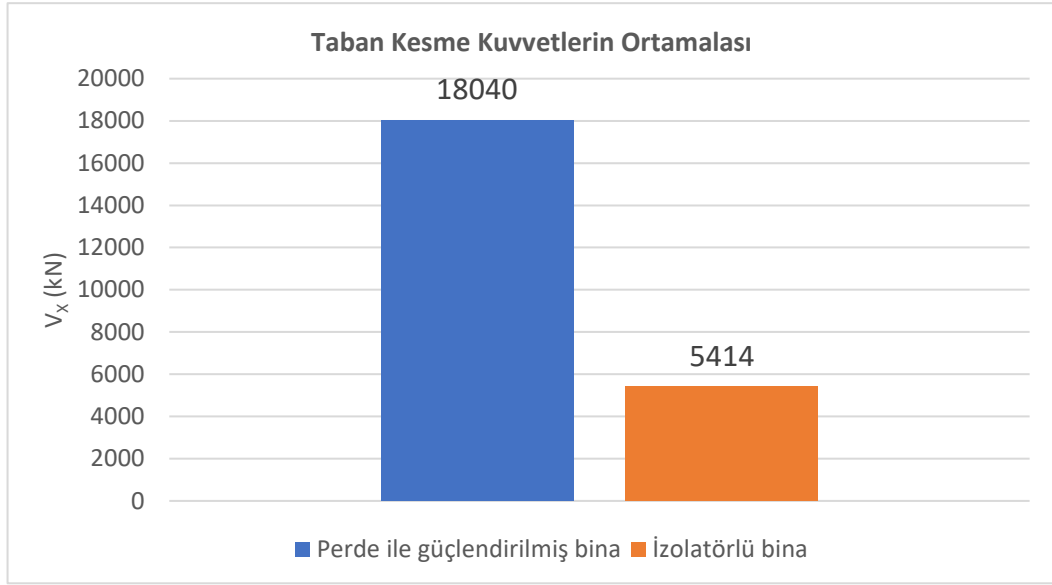


Şekil 88. DD-3 deprem yer hareketi seviyesi binanın taban kesme kuvveti (V_y)

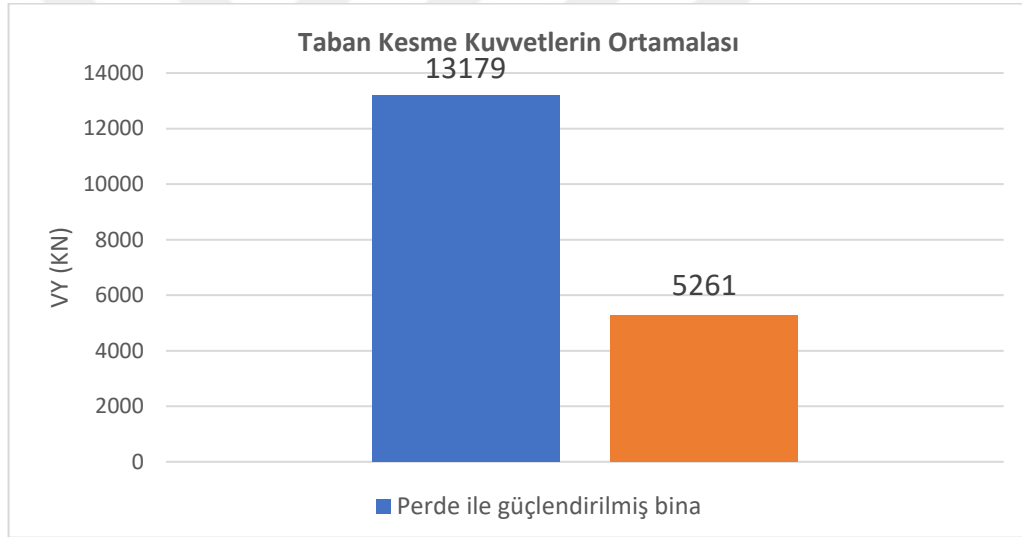
Yukarıdaki grafiklerden elde edilen verilere göre, betonarme perdeler ile güçlendirilmiş binada DD-3 yer hareketi seviyesinde maksimum taban kesme kuvveti yaklaşık 22388 kN olarak belirlenmiştir. Bu değerler özellikle Loma Perita depremi sırasında tespit edilmiştir. Diğer yandan, sismik izolatör kullanılan binada DD-3 yer hareketi seviyesinde maksimum 5980 kN olarak kaydedilmiştir. Bu veriler özellikle Hollister depremi sırasında kaydedilmiştir.

Tablo 22. DD-3 deprem yer hareketi seviyesi için taban kesme kuvvetleri

Binanın taban kesme kuvvetleri (kN)				
Deprem ivme kaydı	V_x perde ile	V_x izolatörlü	V_y perde ile	V_y izolatörlü
PAZARCIK (TÜRKİYE)	20379.771	4643.748	12422.361	4921.427
KOCEALİ (TÜRKİYE)	14400.719	5845.002	10907.937	5217.983
KOBE (JAPONYA)	18682.377	5177.255	15058.602	5265.941
İMPERİAL VALLY (ABD)	15430.647	5524.653	16678.516	5327.189
HOLLİSTER (ABD)	15317.172	5980.623	10086.489	5615.324
NORTHRIDGE (ABD)	18040.58	5454.831	14660.749	5276.897
FRIULİ (İTALYA)	16790.766	5258.263	11400.839	4686.017
LANDERS (ABD)	20137.044	5421.877	14672.706	5528.683
TRİNİDAD (TRİNİDAD)	19503.006	5219.38	11293.645	5415.264
CHİCHİ (TAYVAN)	17369.369	5519.817	12716.397	5687.79
LOMA PERİTA (ABD)	22388.147	5509.648	15065.918	4926.033



Şekil 89. DD-3 taban kesme kuvvetleri ortalaması (V_x)

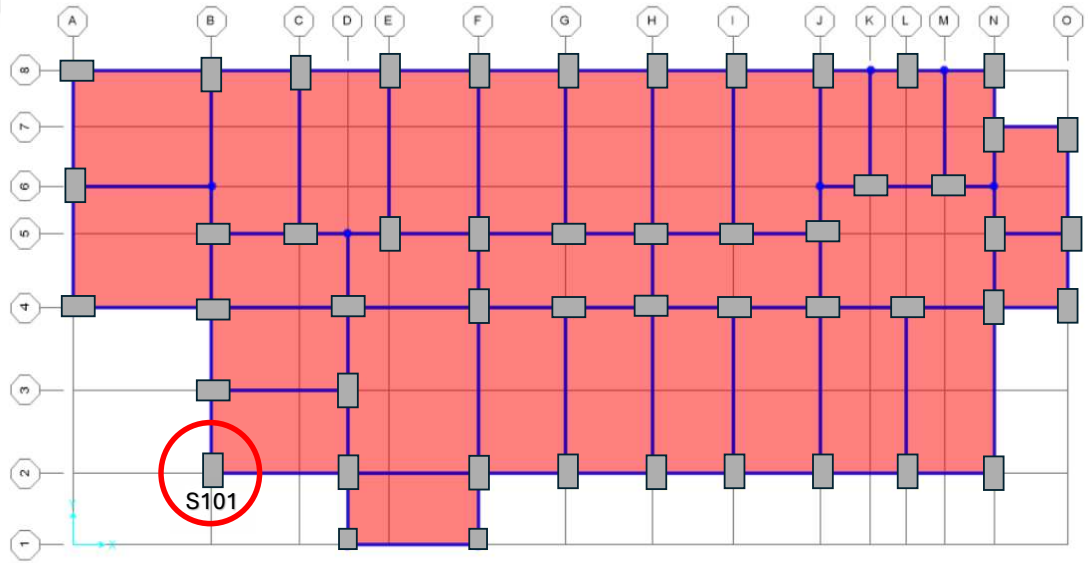


Şekil 90. DD-3 taban kesme kuvvetleri ortalaması (V_y)

Yukarıdaki grafiklerden açıkça görülmektedir ki sismik izolatörlü yapılarda taban kesme kuvvetleri perde duvarlarla güçlendirilmiş yapılara kıyasla oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır. Bu durum sismik izolatörlerin deprem enerjisini daha verimli bir şekilde sönmüleyerek yapının maruz kaldığı yatay yükleri azalttığını göstermektedir. Ayrıca, izolatörlü binalarda V/W oranları perde duvarlarla güçlendirilmiş yapılara göre katlarca daha düşük olup, bu da izolatörlerin yapıya kazandırdığı ek hareket kabiliyetini doğrulamaktadır. Sonuç olarak sismik izolatörlerin kullanımı hem yapının güvenliğini artırmakta hem de deprem etkilerine karşı daha dayanıklı bir yapı performansı sağlamaktadır.

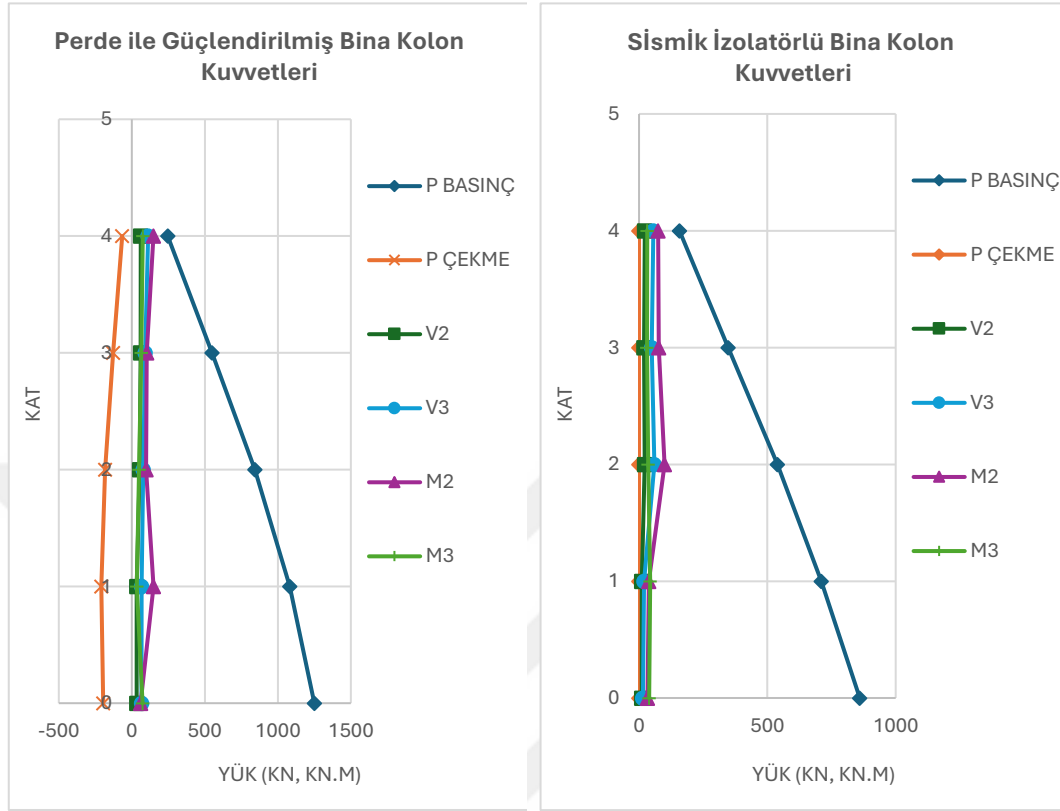
4.2.6. Perde ile Güçlendirilmiş ve İzolatörlü Yapıda Kolon Kuvvetleri

S101 numaralı kolon deprem ivmelerinin kolonlar üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla Şekil 92. ile gösterilen yapının planından seçilmiştir. Her bir kolon için 4 farklı kat seviyesinden elde edilen kesit etkileri analiz edilmiş, böylece depremin etkileri daha doğru bir şekilde belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların ortalaması alınarak, perde duvarlarla güçlendirilmiş yapılar ile sismik izolatörlü yapılar arasındaki karşılaştırmalar yapılmış ve böylece yapıların deprem altındaki performansları hakkında daha kapsamlı bir anlayış sağlanmıştır. Ayrıca, elde edilen verilerin detaylı incelenmesi mühendislik uygulamaları açısından önemli bilgiler sunmaktadır. Sonuçlar farkları açıkça gösteren grafikler halinde sunulmuştur.



Şekil 92. Sonuçların karşılaştırılması amacıyla belirlenen kolon

DD-1 deprem yer hareketi seviyesi için kolon eksenel, kesme kuvveti ve momentler:



Şekil 93. Perde ile güçlendirilmiş ve sismik izolatörlü binalarda kolon kuvvetleri

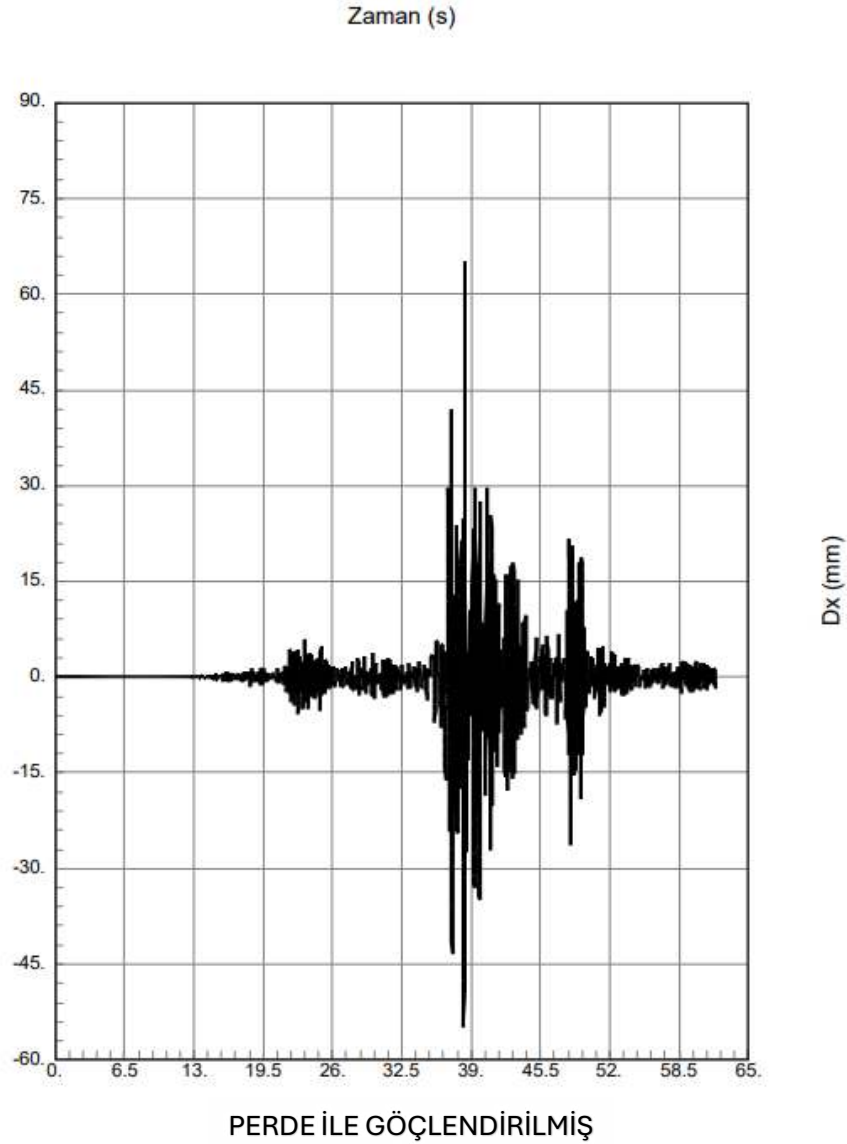
Bu çalışmada grafiklerde gösterilen kolon etkilerine ilişkin sonuçlar çalışmanın ana karşılaştırma konusu olarak ele alınan Kahramanmaraş Pazarcık deprem analizlerinden elde edilmiştir. Bu depremin yapılar üzerindeki sismik performansın değerlendirilmesindeki önemi göz önünde bulundurulmuştur.

Yukarıdaki grafiklerden görüldüğü üzere sismik izolatörlü yapılarda kolonları etkileyen kesme ve moment kuvvetleri perde duvarlarla güçlendirilmiş yapılara göre daha düşük seviyelerdedir. Ayrıca, sismik izolatörlü yapılarda kolonlarda çekme etkisi bulunmazken perde duvarlarla güçlendirilmiş yapılarda çekme etkisi görülmektedir. Grafiklerde dikkat çeken başka bir nokta ilk kat kolonlarının en yüksek kesme ve moment kuvvetlerine maruz kalmasıdır.

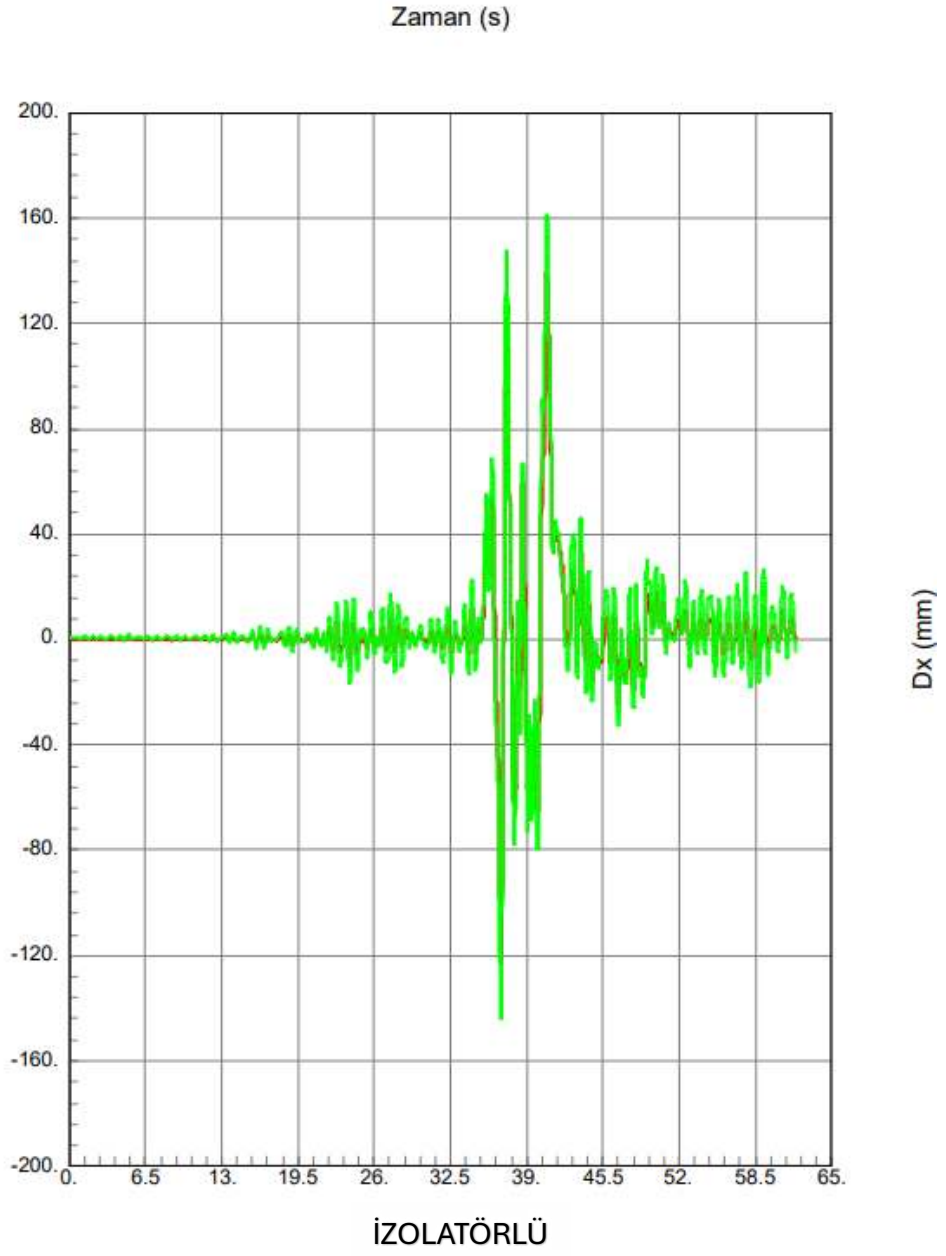
4.2.7. Yapının Kahramanmaraş Depremi Deplasman ve Kuvvet Grafikleri

Kahramanmaraş Pazarcık Depremi DD-1 deprem yer hareketi seviyesinde ivme kaydı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Aşağıda sunulan grafikler son katın deplasmanının zamana bağlı değişimini ve sismik izolatörlü yapılarda son kat ile izolatör deplasmanları arasındaki ilişkileri detaylı bir şekilde göstermektedir. Sismik izolatörlü yapılarda yeşil çizgi son katın deplasmanını, kırmızı çizgi ise izolatörün deplasmanını temsil etmektedir. Ayrıca, deplasman ile taban kesme kuvvetleri arasındaki ilişki ve taban kesme kuvvetlerinin zamana göre değişimini gösteren grafikler de analiz kapsamına dahil edilmiştir.

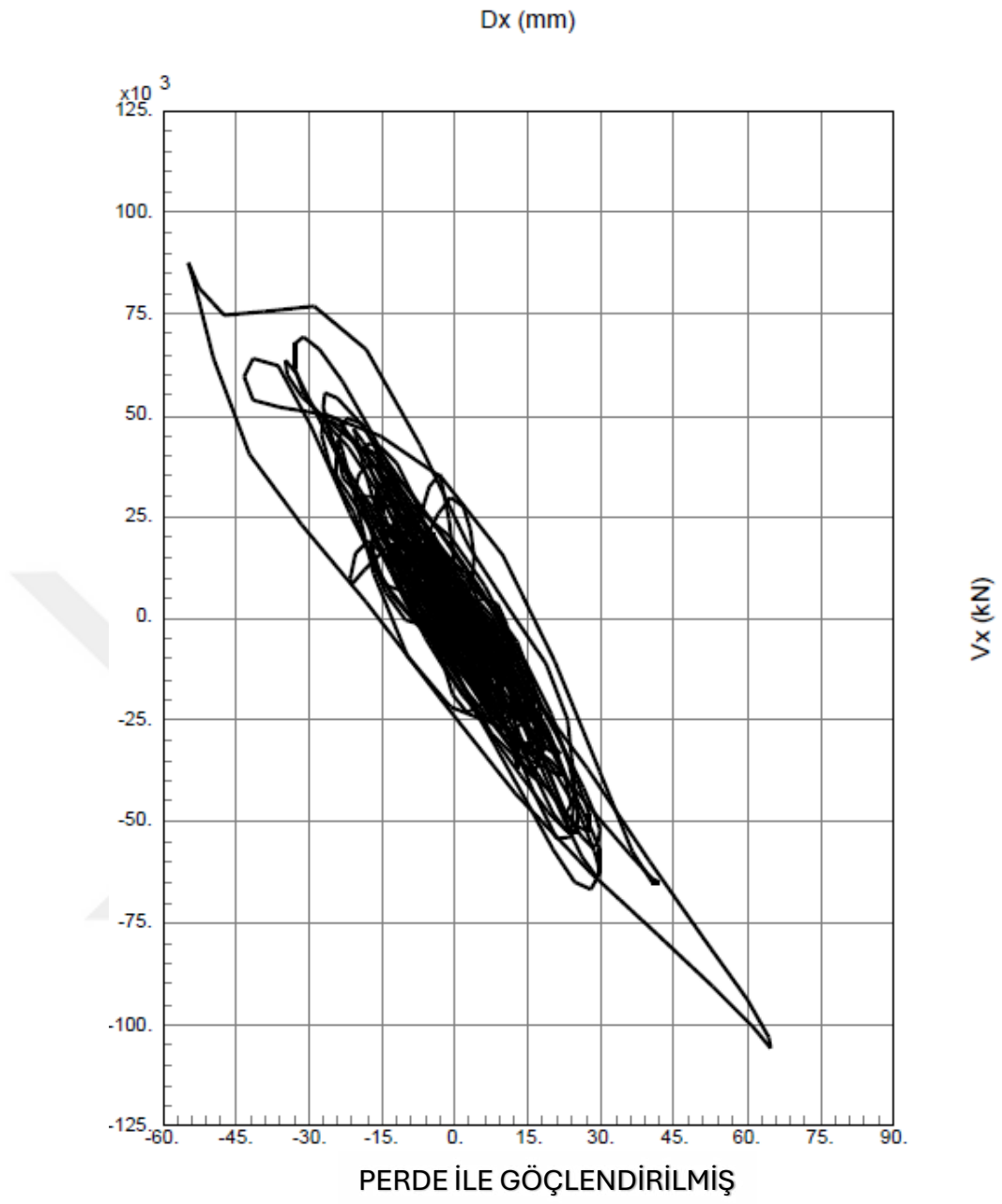
x yönünde deplasmanlar:



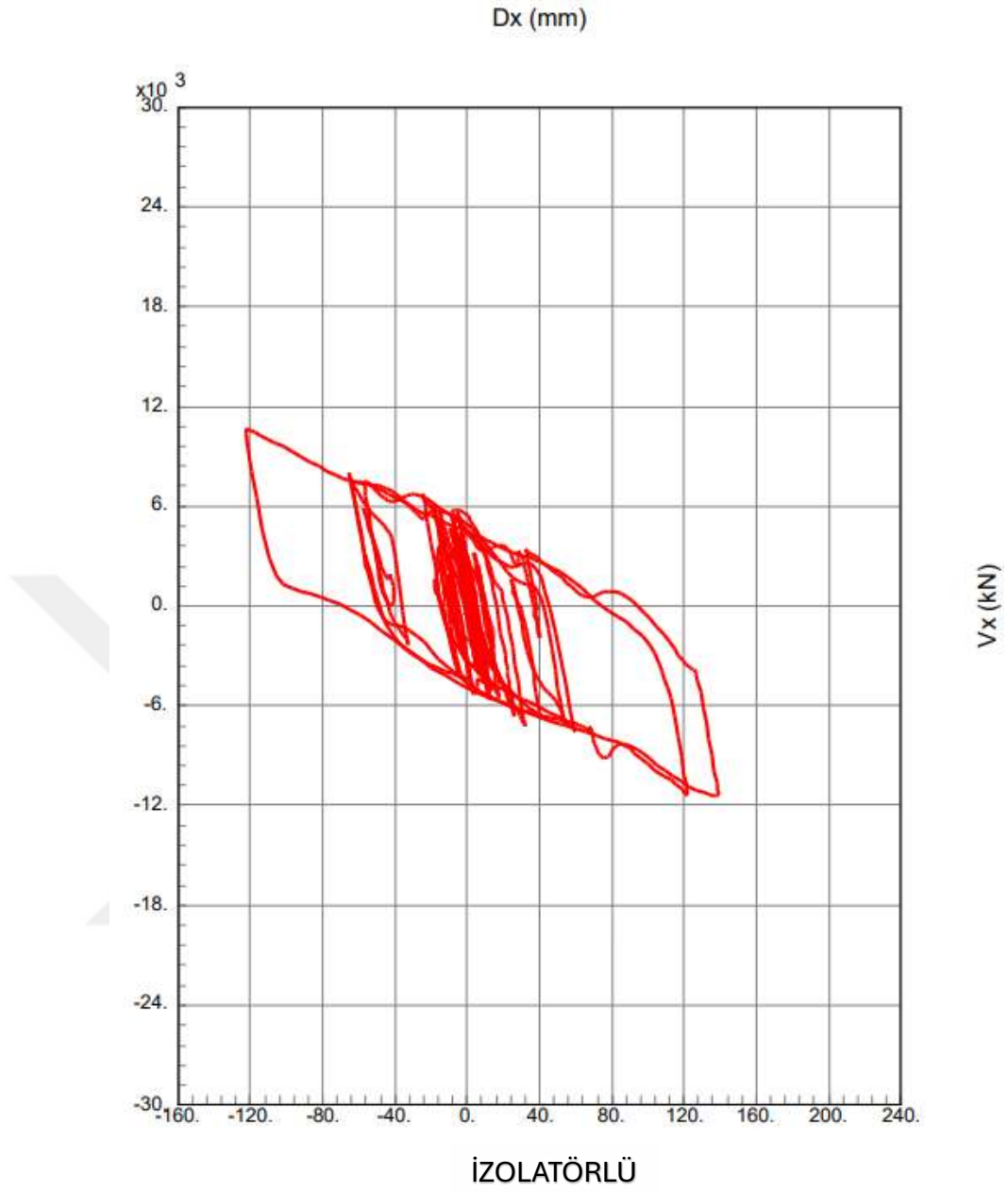
Şekil 94. DD-1 Pazarcık depremi deplasman grafiği (Perdeli)



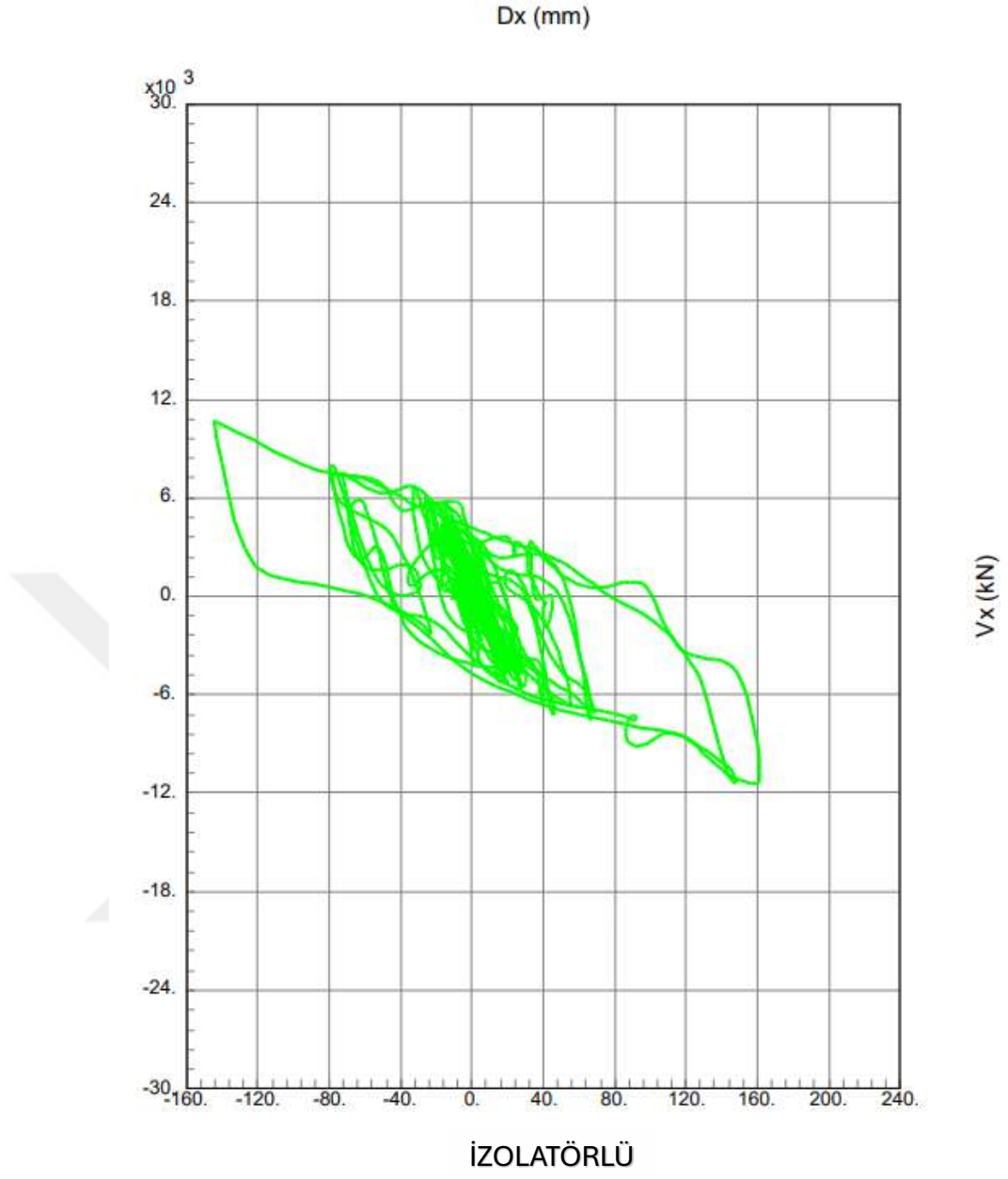
Şekil 95. DD-1 Pazarcık depremi deplasman grafiği (İzolatörlü)



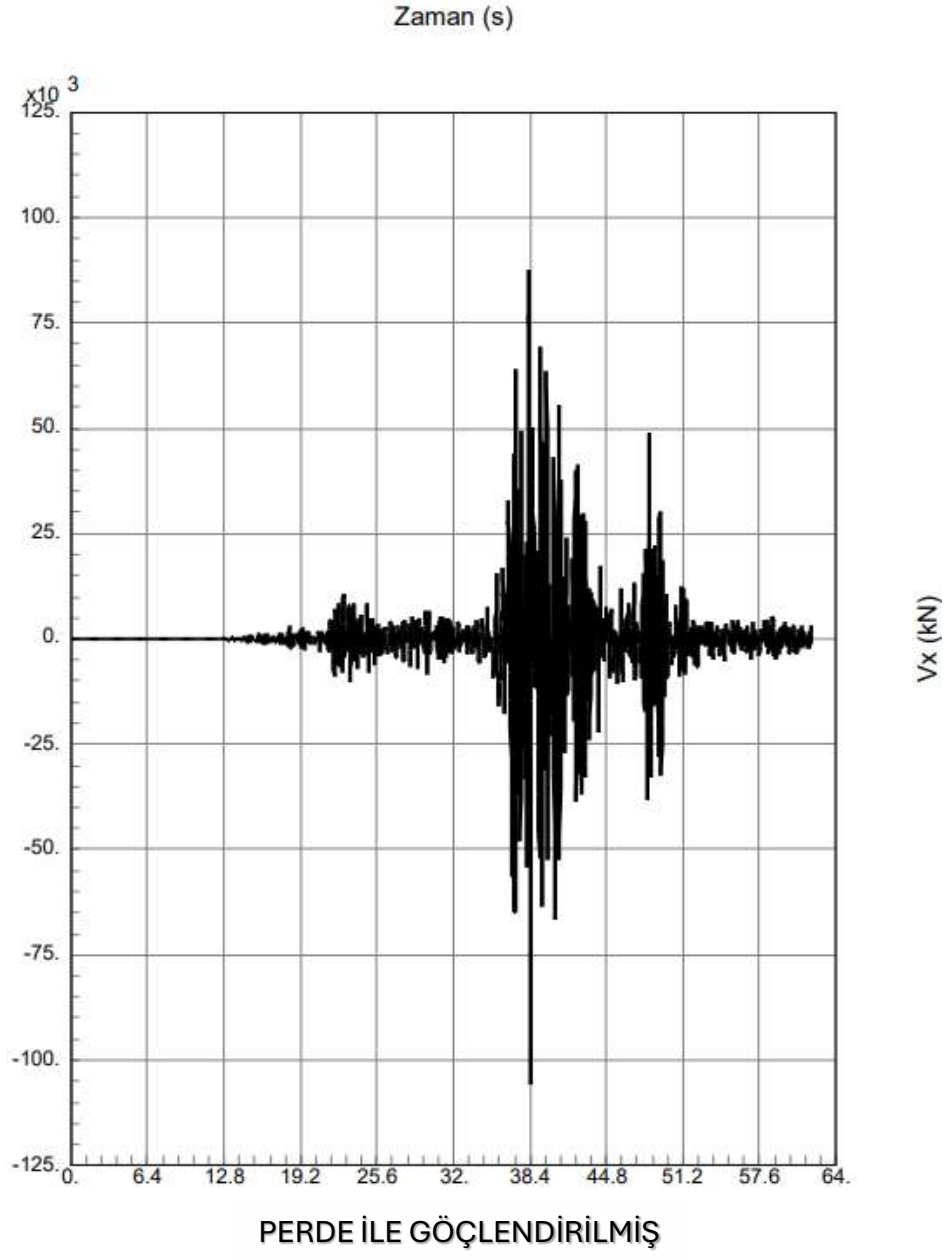
Şekil 96. DD-1 Pazarcık depremi taban kesme kuvveti-deplasman grafiği (Perdeli)



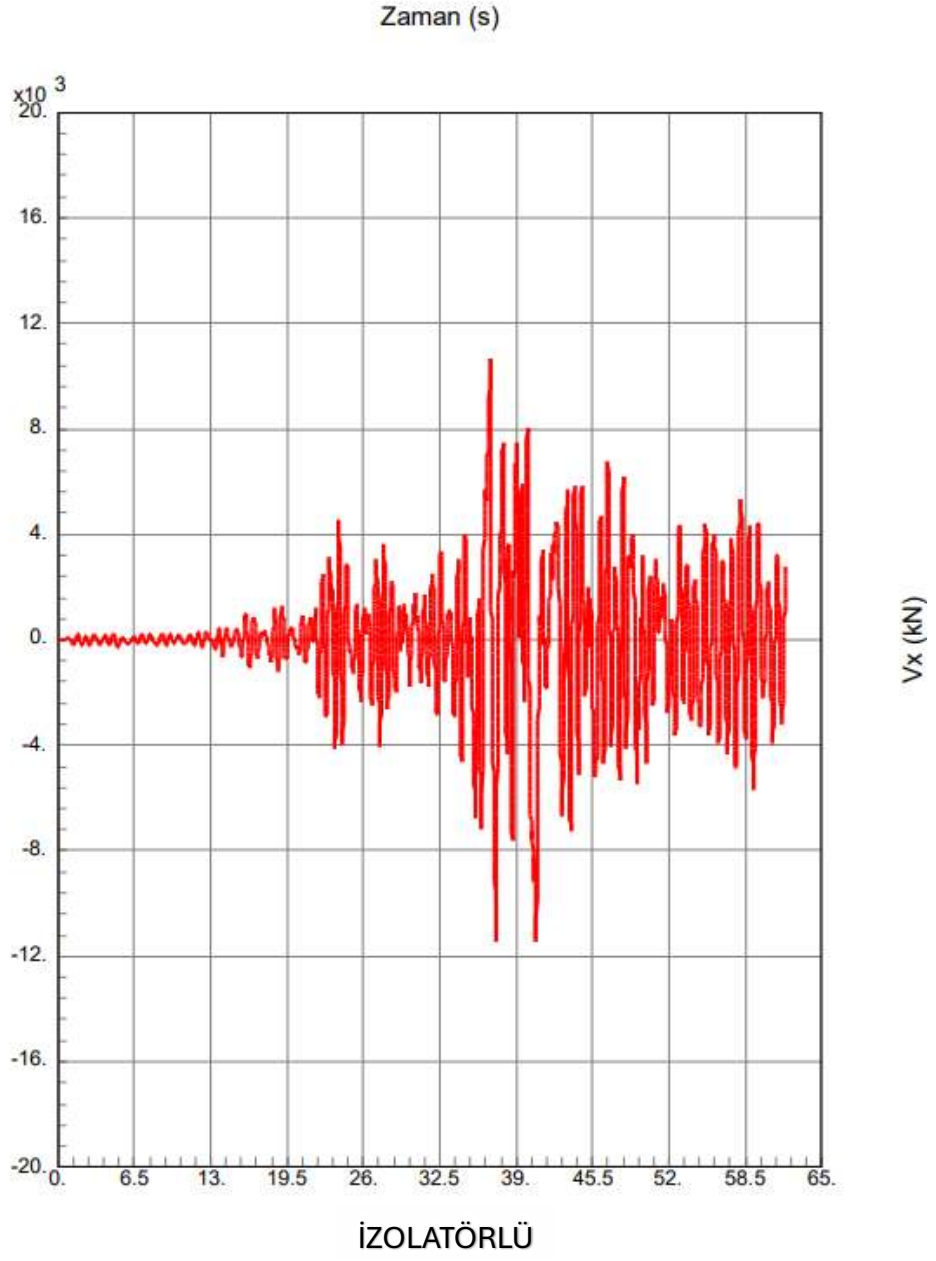
Şekil 97. DD-1 Pazarcık depremi taban kesme kuvveti-deplasman grafiği (İzolatörlü)



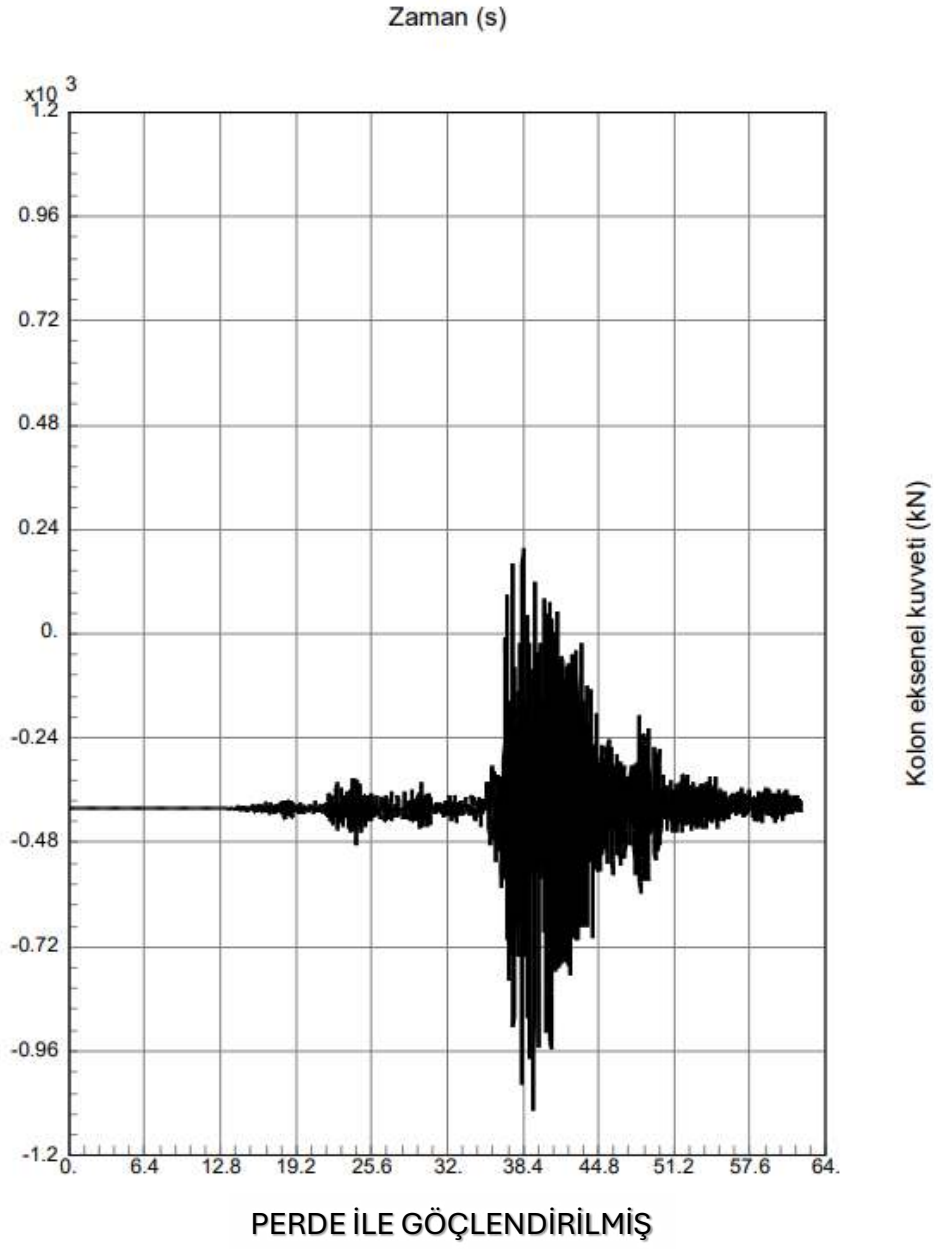
Şekil 98. DD-1 Pazarcık depremi taban kesme kuvveti-deplasman grafiği (Son katı)



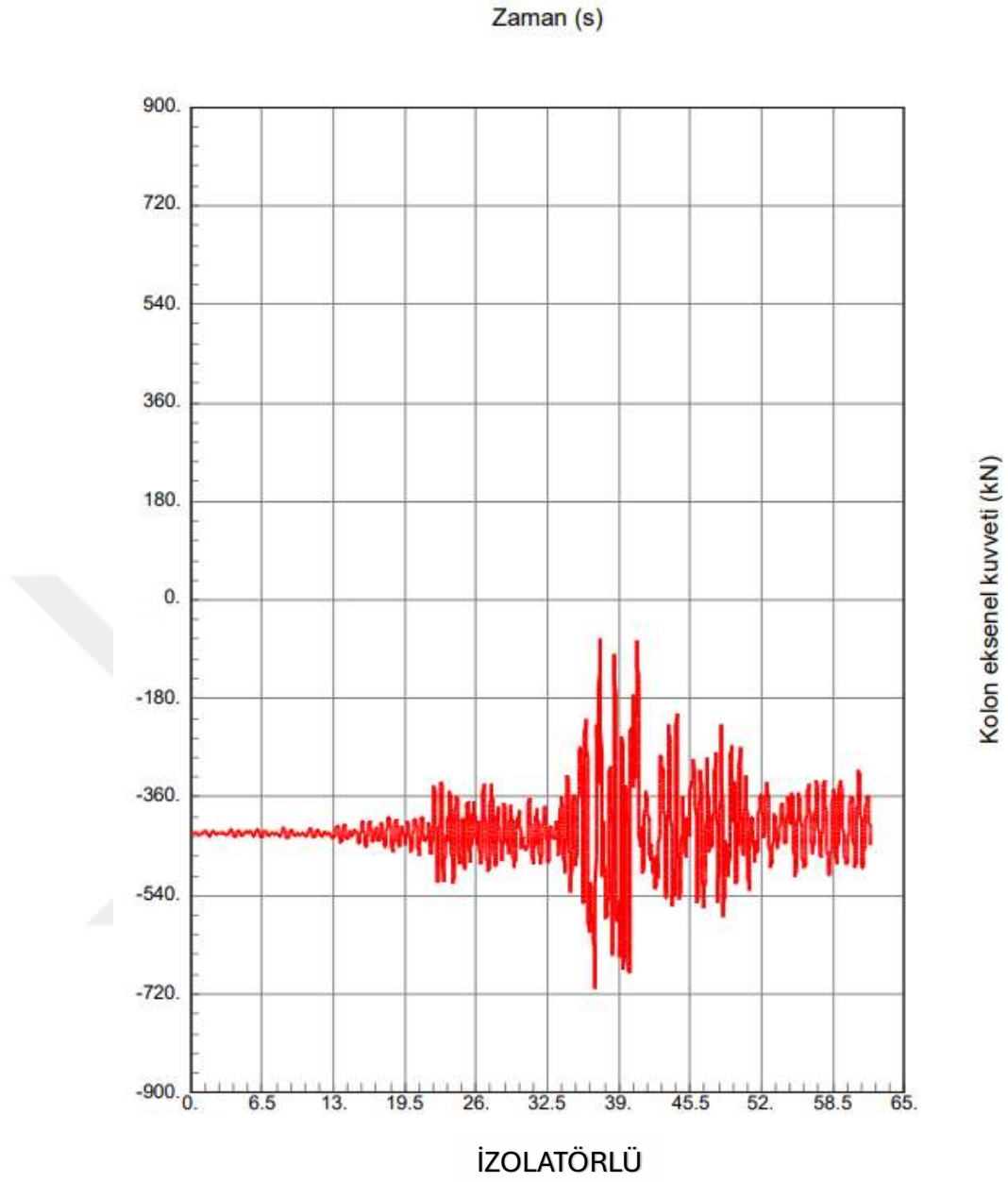
Şekil 99. DD-1- Pazarcık depremi taban kesme kuvveti-zaman grafiği (Perdeli)



Şekil 100. DD-1- Pazarcık depremi taban kesme kuvveti-zaman grafiği (İzolotörlü)



Şekil 101. DD-1 Pazarcık depremi kolon eksenel kuvveti grafiği (Perdeli)



Şekil 102. DD-1 Pazarcık depremi kolon eksenel kuvveti grafiği (İzolatörlü)

Grafiklerden hem katların maksimum deplasmanlarının hem de yapıların maruz kaldığı maksimum taban kesme kuvvetlerinin, perdeler ile güçlendirilmiş veya sismik izolatörlü binalarda deprem sırasında özellikle 37. saniye ile 40. saniye arasında meydana geldiği gözlemlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türkiye'nin Hatay ilinde betonarme perdelerle güçlendirilmiş Hayrettin Özkan Ortaokulu binası depremden ağır hasar almıştır. Bu bina daha önce güçlendirilmiş olmasına rağmen, 2 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Pazarcık Kahramanmaraş depremi sırasında göçme seviyesine ulaşmıştır. Bina üzerinde yapılmış olan çözümler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- İlk olarak yapının güçlendirilmemiş hali (perdesiz) çözülmüştür.
- İkinci olarak yapının mevcut güçlendirilmiş hali (6 perdeli) ile çözülmüştür.
- Üçüncü olarak yapının yeterli güçlendirme perdesi (14 perdeli) ile çözülmüştür.
- Dördüncü olarak yapı izolatörlü olsaydı davranışı nasıl olurdu denilerek ilk haline çözebilmek için bir miktar perde eklenerek çözülmüştür.

İlk ve İkinci çözümler;

Binanın güçlendirilmemiş ilk hali ve deprem öncesindeki mevcut hali (6 betonarme perde ile güçlendirilmiş) incelendiğinde her iki modelin performans analizi sonuçları DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde yapının göçme durumuna ulaştığı görülmüştür. Bu sonuç, eklenen betonarme perdelerin analiz sonucuna göre yetersiz ve istenen performans seviyesini sağlamadığını ortaya koymaktadır.

Üçüncü ve Dördüncü çözümler;

Binanın yeterli sayıda betonarme perde ile güçlendirilmesi ve sismik izolatörlerle donatılması olmak üzere iki farklı varsayım altında gerçekleştirilmiş ve bu iki modelin yapısal performansı karşılaştırılmıştır.

Çalışmada SAP2000 programı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, sismik izolatör kullanımının betonarme perde güçlendirilmesine kıyasla daha iyi bir performans sağladığını ve sismik etkiler karşısında binanın dayanıklılığını artırdığını göstermektedir.

Ayrıca, kurşun çekirdekli elastomerik sismik izolatör kullanımı betonarme perdelerle güçlendirilmiş binaya kıyasla taban kesme kuvvetinde %82 oranında bir azalma sağlamıştır. Sismik izolatörler aynı zamanda yapının doğal titreşim periyotlarını yaklaşık 5 kat artırmıştır.

Betonarme perde ile güçlendirilmiş bina DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde "**Kontrollü Hasar**" performans seviyesine ulaşırken, DD-3 deprem yer hareketi düzeyinde "**Sınırlı Hasar**" performans seviyesine ulaşmıştır. Buna karşın, sismik izolatörlü bina hem DD-1 hem de DD-3 deprem yer hareketi seviyelerinde "**Kesintisiz Kullanım**" performans seviyesine ulaşmıştır ve sismik izolatörlerin depreme karşı daha etkili bir çözüm sunduğunu ortaya konmuştur.

Betonarme perdelerle güçlendirmede mevcut güçlendirme perdelerin yeterli olmadığı görülmüş ve binaya simetrik şekilde dağıtılmış ve 8 perde eklenmesi gerekerek toplam 14 perde konmuştur. Ancak bu durum yapısal olarak pratik değildir. Çünkü binadaki birçok kapı, pencere ve havalandırma boşluğunun kapanmasına neden olabilmektedir.

Okul gibi deprem sonrasında hemen kullanılması gereken binalarda izolatör kullanımı çok büyük öneme sahiptir. Yani depremden sonra bu okullar hemen kullanılacaktır. Bu okulları betonarme perde ile güçlendirdiğimizde binanın ağırlığı artmakta, rijitliği artmakta ve dolayısıyla binaya gelen deprem yükü de artmaktadır. Bu kısır döngü oluşturmaktadır. Aynı zamanda her halükârda binada hasar oluşmaktadır. Fakat izolatörlü tasarlanan binalarda, görmüş olduğumuz gibi, bina kesintisiz kullanımda kalmakta, yani binada hiç hasar görülmemektedir. Bu yüzden izolatör kullanımının önemi bu çalışma neticesinde bir kez daha anlaşılmaktadır.

Bu bulgular ışığında sismik açıdan aktif bölgelerde özellikle okul, hastane, üniversite gibi yüksek öneme sahip yapıların inşasında sismik izolatörlerin kullanılması önerilmektedir. Bu sayede insan hayatının ve mülklerin korunması ile olası felaket kaynaklı kayıpların en aza indirilmesi sağlanabilir.

6. KAYNAKLAR:

ALTIOK, T., ŞEVİK, M., DEMİR, A., 2024, Seismic performance of retrofitted and non-retrofitted RC school buildings after the February 6th, 2023, Kahramanmaraş earthquakes, *Bulletin of Earthquake Engineering*, doi:10.1007/s10518-024-01941-w.

ATMACA, M., 2013, Betonarme yapılarda performans analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir

YİĞİT, S., 2019, Mevcut Betonarme Yapıların Güçlendirilmesinde Sismik İzolasyon Kullanılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

RAKSHİTH, K. J., SBANDANA, B., GANESH, M., 2017, Ankastre Mesnetli ve Sismik İzolatörlü Betonarme Yapılar Performans Karşılaştırılması, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, p-ISSN: 2395-0072, Karantaka, India.

TBDY 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018, Türkiye.

TS498, Türk Standardı, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, 1987, Türkiye.

TS500, Türk Standardı, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, 2000, Türkiye.

ZEKİOĞLU, A., GOGUS, A., BİNZET, S., CHOK, K., 2021, Performance-Based Seismic Design Succeeds in Turkey, *Civil Engineering Magazine Archive*, doi.org/10.1061/cieag.0001564.

GÖKHAN, E., 2009, Betonarme Yapılarda İzolatör Kullanımının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

KRİSHNA, N. M., SİDDİQUİ, M., 2019, Non Linear Time History Analysis of Building with Seismic Control Systems, *International Journal of Science Technology and Engineering (IJSTE)*, ISSN: 2349-784X

KARABACAK, S., 2020, Betonarme bir binada geleneksel yöntem ve taban yalıtım ile güçlendirme yönteminin karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

NASSANI, D. E., ABDULMAJEED, M. W., 2015, Seismic base isolation in reinforced concrete structures, *International Journal of Research Studies in Science (IJRSSET)*, Engineering and Technology, ISSN 2349-4751.

GAZİ, Ö., 2024, Yüksek Yapılarda Sismik İzolatörün Kullanım Etkisi İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.

AYHAN, O., 2006, Binaların Depreme Karşı Güçlendirilmesinde Klasik Yöntem ile Sürtünmeli Sarkaç Sistemlerin Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

SAP 2000, 2023, Structural Analysis Program, Computers and Structures, Inc ,Berkeley, California, USA.

URGU, İ., 2006, Sismik İzolasyonlu Yapıların Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

AVCI, Y., 2007, Çerçevelerden Oluşan Bir Okul Yapısının Taban İzolatörleri Kullanılarak Analizi ve Güçlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

MELKUMYAN, M., MIHUL, V., GEVORGYAN, E., 2011, Retrofitting by Base Isolation of Existing Buildings in Armenia and in Romania and Comparative Analysis of Innovative vs. Conventional Retrofitting, III ECCOMAS Thematic Conference Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, 2011, Corfu, Greece.

Güner, G., 2012, Bir Hastane Yapısının Klasik Yöntemle ve Sismik İzolatör Kullanılarak Tasarımının Dinamik Yönden Karşılaştırılmasının Yapılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ERDIK, M., 2015 State of The Art on Application, R&D And Design Rules for Seismic Isolation and Energy Dissipation for Buildings, Bridges and Viaducts, Cultural Heritage and Chemical Plants in Turkey, 14th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures September 9-11, 2015, San Diego, Ca USA.

KURT, Z., 2019, Ankastre ve sürtünmeli sarkaç mesnetli binaların dinamik Davranışlarının türkiye bina deprem yönetmeliği 2018’ e göre Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

FEMA, 2005, Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings and other Structures, FEMA-440, Washington, USA.

TÜBİTAK, (2023), 1002-C Doğal Afetler Odaklı Saha Çalışması Acil Destek Programı Araştırma Sonuç Raporu, TÜBİTAK, Ankara, Türkiye.

AFAD, 2024, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Daire Başkanlığı, T.C. İçişleri Başkanlığı, <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/>

Li, Y.R., 1996, Non-Linear Time History And Pushover Analyses for Seismic Design and Evaluation, *Doktora Tezi*, Texas Üniversitesi, Austin, ABD.