



T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI



GFDRR
Global Facility for Disaster Reduction and Recovery



Administered by
THE WORLD BANK
IBRD • IDA | WORLD BANK GROUP



YENİLİKÇİ GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ TASARIM VE UYGULAMA KILAVUZU



Proje Ekibi

Dr. Timurhan Timur

Prof. Dr. Uğurhan Akyüz

İnş. Yük. Müh. Caner Soydaş

Dr. Cem Haydaroğlu

İnş. Yük. Müh. Sebla Çınar

Mimar Elif Senel Münir

Mak. Müh. Burç Güneri

Elk. Elkt. Müh. Emine Kazanç

İnş. Yük. Müh. Berkant Doğan

İnş. Yük. Müh. Enescan Sarıkaya

Grafik Tasarım

Yük. Şhr. Pln. Tuğçe Gürleyen

Uluslararası Finans Kaynaklı Sismik Güçlendirme Daire Başkanlığı

Proje Uygulama Birimi

Daire Başkanı Önder Yurdakul

AR-GE Şube Müdürü Dr. Duygu Özkır

İnş. Müh. Utku Özden

Dr. Ozan Demirel

Elk. Elkt. Müh. Özlem Erdem Yüksel

İnş. Yük. Müh. Zeynep Ünsal

Yapı İşleri Genel Müdürlüğü

Genel Müdür Murat Oral

Genel Müdür Yardımcısı Namık Güver

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı

Mustafa Kemal Mahallesi 2082. Cadde No:52 Çankaya / Ankara

Telefon: +90 312 410 10 00

Bu kitap, Japon Hükümeti adına faaliyet gösteren GFDRR (Küresel Afet Azaltma ve Yeniden Yapılanma Kurumu)'ın doğrudan desteği ve Dünya Bankası'nın finansmanı ile Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Yapı İşleri Genel Müdürlüğü, Uluslararası Finans Kaynaklı Sismik Güçlendirme Daire Başkanlığı tarafından yönetilen "WB/CS-TA-02" kodlu "İleri Mühendislik Uygulamaları ve Kapasite Geliştirme için Teknik Destek Danışmanlık Hizmetleri" projesi kapsamında ARUP tarafından hazırlanmıştır.

Bu kitapta yer alan bilgiler danışman firmanın araştırmaları ve güvenilir kaynaklardan derlenmiştir. Bu bilgiler genel rehber niteliği taşımakta olup, bina özelinde yapılacak çözümlerde doğrudan kullanılmadan önce gerekli mühendislik hizmetinin alınması gerekmektedir.

Kitabın içeriği, yasal, akademik veya mali tavsiye niteliği taşımaz. Kitapta yer alan görüşler uzman görüşleridir ve kurumları bağlamaz.

Bu kitapta kullanılan kaynaklar ve görseller ilgili sahiplerine aittir. Telif hakkı ihlali durumunda, lütfen bizimle iletişime geçiniz.

Bu çalışma telif hakkına tabidir. Dünya Bankası, bilgi yayılımını teşvik ettiği için, bu çalışma ticari olmayan amaçlarla, kaynak gösterildiği sürece, kısmen veya tamamen çoğaltılabilir.

Lütfen bu çalışmaya şu şekilde atıfta bulunun: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2025). *Yenilikçi Güçlendirme Yöntemleri Tasarım ve Uygulama Kılavuzu*. Ankara.

ARUP



İçindekiler

Tablolar	iii
Şekiller	iv
Fotoğraflar	1
Kısaltmalar	2
1. GİRİŞ	3
2. KAPSAM	5
3. BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLARIN BETONARME BİNALARIN GÜÇLENDİRMESİNDE KULLANIMI	7
3.1 GİRİŞ.....	7
3.2 TEMEL GEREKSİNİMLER VE KULLANIM KISITLARI.....	7
3.3 DEPLASMAN BAZLI ÖN TASARIM.....	8
3.3.1 Statik Kat İtme Eğrileri (Hızlı Ön boyutlama için bir yöntem).....	8
3.3.2 Hedef Performans Yer Değiştirmeleri.....	9
3.3.3 Gerekli İlave Rijitliğin Belirlenmesi.....	9
3.3.4 Gerekli BÖÇ Kesit ve Adedinin Belirlenmesi.....	11
3.4 KUVVET BAZLI ÖN TASARIM METODU.....	11
3.4.1 Kuvvet Talebinin Belirlenmesi.....	12
3.4.2 BÖÇ Elemanların Karşılması Gereken Kuvvetin Hesabı.....	12
3.4.3 Süneklik ve Akma Durumu.....	13
3.4.4 Yapısal Düzensizlik.....	13
3.5 KESİN TASARIM.....	14
3.5.1 Modelleme Kriterleri.....	14
3.5.2 Performans Kriterleri.....	15
3.5.3 Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ile Performans Kontrolü.....	15
3.5.4 Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Analiz ile Performans Kontrolü.....	16
3.6 TEST GEREKSİNİMLERİ.....	17
3.7 TEDARİK SÜRESİ.....	17
3.8 UYGULAMA.....	17
3.9 BAKIM VE ONARIM.....	20



4.	SÖNÜMLEYİCİ CİHAZLARIN BETONARME BİNALARIN GÜÇLENDİRMESİNDE KULLANIMI	21
4.1	GİRİŞ	21
4.2	TEMEL GEREKSİNİMLER VE KULLANIM KISITLARI	22
4.3	ŞEKİLDEĞİŞTİRMEYE DAYALI ÖN TASARIM	22
4.3.1	<i>Statik İtme Analizleri</i>	22
4.3.2	<i>Hedef Performans Yer Değiştirmeleri</i>	23
4.3.3	<i>Sönüm Oranının Belirlenmesi</i>	23
4.3.4	<i>Viskoz Sönümleyici Cihaz Özelliklerinin Belirlenmesi</i>	24
4.4	KUVVETE DAYALI ÖN TASARIM	27
4.4.1	<i>Sönüm Oranının Belirlenmesi</i>	27
4.4.2	<i>Viskoz Sönümleyici Cihaz Özelliklerinin Belirlenmesi</i>	28
4.5	KESİN TASARIM	31
4.5.1	<i>Doğrusal Olmayan Statik Hesap Yöntemi</i>	31
4.5.2	<i>Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Hesap Yöntemi</i>	32
4.6	ENERJİ SÖNÜMLEYİCİ CİHAZLARIN TEST GEREKSİNİMLERİ	34
4.6.1	<i>Prototip Testleri</i>	35
4.6.2	<i>Üretim Testleri</i>	39
4.7	TEDARİK SÜRESİ	39
4.8	UYGULAMA	40
4.9	BAKIM VE ONARIM	46
5.	Kaynakça	47



Tablolar

TABLO 3.1: BÖÇ ŞEKİLDEĞİŞTİRME SINIRLARI.....	15
TABLO 4.1: DEPREM TASARIM SINIFLARI	33
TABLO 4.2: DEPREM TASARIM SINIFINA GÖRE DAYANIM FAZLALIĞI KATSAYISI	33



Şekiller

ŞEKİL 3-1: KAT İTME EĞRİSİ VE MEVCUT/HEDEF RIJİTLİKLERİN BELİRLENMESİ	10
ŞEKİL 3-2: DD-1 SPEKTRUM TALEP EĞRİSİ VE YAPI MODAL KAPASİTE EĞRİSİ	10
ŞEKİL 3-3: BÖÇ KUVVET EKSENEL UZAMA GRAFIĞI VE EŞDEĞER RIJİTLİK TESPİTİ	11
ŞEKİL 4-1: DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME EĞRİSİ.....	31
ŞEKİL 4-2: SÖNÜMLEYİCİLİ ÇAPRAZ ELEMANDAKİ TELESKOPIK BAĞLANTI DETAYI (TAYLOR DEVICES INC.).....	42
ŞEKİL 4-3: KÜRESEL BAĞLANTI YATAKLARI.....	43



Fotoğraflar

FOTOĞRAF 1: BÖÇ ELEMANLARIN KAYNAKLI UÇ BAĞLANTISI	18
FOTOĞRAF 2: BÖÇ BİRLEŞİMİ, MEVCUT KOLONDA YAPILAN GÜÇLENDİRME VE BAĞLANTI DETAYI UYGULAMALARI	18
FOTOĞRAF 3: MEVCUT BETONARME ELEMANLARA BAĞLANTI İÇİN KULLANILAN KİMYASAL ANKRAJLAR	19
FOTOĞRAF 4: DIŞARIDAN BÖÇ ELEMANLARI İLE GÜÇLENDİRME VE MEVCUT BİNAYA ANKRAJ BAĞLANTILARI	20
FOTOĞRAF 5: BETON İÇERİSİNDE BIRAKILAN DÜĞÜM NOKTASI BAĞLANTI ELEMANLARI (TAYLOR DEVICES INC.)	40
FOTOĞRAF 6: MEVCUT KOLONU DELİP GEÇEN ANKRAJLAR (TAYLOR DEVICES INC.)	41
FOTOĞRAF 7: FRP İLE SARGILANMIŞ KOLONA BAĞLANTI	41
FOTOĞRAF 8: SÖNÜMLEYİCİLİ ÇAPRAZ ELEMANLARIN BİNA İÇERİSİNDEKİ NAKLIYESİ(TAYLOR DEVICES INC.).....	42
FOTOĞRAF 9: DÖNMEYE İZİN VEREN KÜRESEL UÇ BAĞLANTI NOKTALARI (TAYLOR DEVICES INC.)	43
FOTOĞRAF 10: SÖNÜMLEYİCİLİ ÇAPRAZ ELEMAN KÜRESEL BAĞLANTI DELİĞİ.....	44
FOTOĞRAF 11: YÜKSEK BASINÇLI VİSKOZ SIVI DOLUM NOKTASI	45

Kısaltmalar

Bakanlık	Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
ÇŞİDB	Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
BÖÇ	Burkulması Önlenmiş Çelik Çapraz
KADEV	Kamu Binalarında Deprem Dayanımı ve Enerji Verimliliği Projesi
TA-02	İleri Mühendislik Uygulamaları ve Kapasite Geliştirme için Teknik Destek Danışmanlık
TBDY-2018	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018
WB/CS-TA-02	İleri Mühendislik Uygulamaları ve Kapasite Geliştirme için Teknik Destek Danışmanlık

1. GİRİŞ

KADEV kapsamında geliştirilen ve Arup tarafından yürütülen “İleri Mühendislik Uygulamaları ve Kapasite Geliştirme için Teknik Destek Danışmanlık (WB/CS-TA-02)” projesi, Türkiye’deki kamu binalarındaki deprem güvenliğinin artırılmasında ve aynı zamanda enerji verimli hale getirilmesinde uygun yenilikçi yöntemlerin belirlenmesini amaçlamaktadır.

Proje temel olarak üç aşamadan oluşmaktadır:

- **Araştırma Safhası:** Bu aşamada alt başlıklar halinde aşağıdaki konularda araştırma yapılması ve sonuçların derlenmesi istenmiştir:
 - Türkiye’de binaların güçlendirilmesi ve enerji verimliliğinin artırılması alanlarındaki güncel uygulamalar
 - Dünya çapında binaların güçlendirilmesi ve enerji verimliliğinin artırılması alanlarındaki yenilikçi uygulamalar
 - Sürdürülebilir, afete dayanıklı ve enerji verimli yeni bina tasarımı için yenilikçi yaklaşımlar
 - Binaların deprem güvenliğinin hızlı ve düşük maliyetle belirlenebilmesi amacı için kullanılacak küresel en iyi yöntemler
 - Araştırma safhası sonunda bir çalıştay organize edilerek yenilikçi yöntemler hakkındaki araştırma bulgularının değerlendirilmesi
- **Geliştirme Safhası:** Bu aşamada aşağıdaki görevlerin tamamlanması hedeflenmektedir:
 - Çalıştay sonucu Türkiye kamu bina stoğunda kullanılmaya en elverişli minimum üç yenilikçi güçlendirme yönteminin beş farklı binanın detaylı analizlerinde kullanılarak değerlendirilmesi
 - Değerlendirme sonucu öne çıkan iki farklı yenilikçi güçlendirme yönteminin iki farklı kamu binasında uygulanması amacı ile detaylı projelerinin hazırlanması (Arup bu aşamada tasarımcı firmaya Bakanlık adına danışmanlık yapacaktır)
 - Uygulama projeleri hazırlanan bu iki binanın güçlendirme tasarımlarının yerinde uygulanması (Arup bu aşamada uygulamacı firmaya Bakanlık adına teknik destek verecektir)
- **Paylaşım Safhası:** Bu aşamada proje çerçevesinde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucundaki bulguların geniş kitlelere yayılması amacı ile seminerler ve eğitimler düzenlenmesi, eğitimlerin içeriği ve kapsamına ilişkin programlar yapılarak sunumların hazırlanması planlanmaktadır.

Projenin geliştirme safhasının sonunda seçilen güçlendirme yöntemlerine ilişkin detaylı tasarım ve uygulama kılavuzlarının hazırlanması istenmektedir. Bu çalışma söz konusu görev kapsamında tasarım ve uygulamacılara yol göstermesi amacıyla hazırlanmıştır.



2. KAPSAM

Bu çalışma TA-02 projesinin “Türkiye'deki Belirli Bir Bina Alt Kümesinde Seçilmiş Tekniklerin Pratik Uygulamasına Yönelik Teknik Destek” başlıklı dördüncü görevi kapsamında istenen; “Detaylı Tasarım ve Uygulama Kılavuzlarının Hazırlanması” kapsamında tasarım ve uygulamacılara yol gösterecek bir kılavuz niteliği taşıması amacıyla hazırlanmıştır.

Vaka çalışmalarında incelenmek üzere kamu yapı stoğunu yansıtan beş farklı bina seçilmiştir. Yüksek depremsellik koşullarında farklı taşıyıcı sistem karakteristiklerine sahip bu binalardan biri yığma, diğerleri ise betonarme taşıyıcı sisteme sahiptir. Betonarme taşıyıcı sisteme sahip olanların ikisi çerçeve diğer ikisi ise perdeli çerçeve özelliklerine sahiptir. Kolon, kiriş sarılma bölgesi özellikleri ve malzeme kaliteleri ise farklıdır.

Yapılan çalışmalarda görülmüştür ki; taşıyıcı sistem türleri için doğrudan önerilebilecek bir güçlendirme yöntemi bulunmamaktadır. Güçlendirme adeta “terzi işi” bir çalışmadır. Nasıl ki terzilerin her bireye özel diktiği elbiseler bir başkasına nadiren uyuyorsa, bir bina için seçilen güçlendirme yöntemi de çoğu zaman başka bir binaya doğrudan uygulanamaz. Binaların ortak özellikleri ne kadar fazla ise bu uyum da o oranda fazla olacaktır. Her ne kadar kamu binalarının genel karakteristiklerinin birbirlerine benzedikleri düşünülse de incelenen binaların geometrileri, malzeme özellikleri ve zafiyetleri farklıdır. Dolayısı ile bir bina için önerilebilecek yöntem benzer başka bir bina için uygun olmayabilir.

Yapılan incelemelerde, çalıştay sonuçlarında, vaka çalışmalarında ve çalışma gezileri sonucu tek bir yöntemin doğrudan uygulandığı güçlendirme örnekleri çok nadirdir. Birçok örnek uygulama, yenilikçi ve geleneksel yöntemlerin **birleşiminden** oluşmaktadır.

Çalıştay sonucunda yenilikçi yöntem olarak detaylı analizlerde kullanılmak üzere üç yöntem belirlenmiştir. Bunlar: **dışarıdan güçlendirmeler, burkulması önlenmiş çaprazlar (BÖÇ)** ve **sönümleyicilerdir**. Burkulması önlenmiş çaprazlar (BÖÇ) ve sönümleyiciler birer eleman olarak yapı içinde eklenen birimler iken, dışarıdan güçlendirmeler çeşitli şekillerde yapılabilir. Dışarıdan uygulanan güçlendirmeler çok farklı şekillerde, geleneksel yöntemler ile yapılabileceği gibi yenilikçi elemanlar ile de yapılabilir. Ayrıca tasarım ve yapım kuralları açısından mevcut yönetmelik ve diğer şartnamelerde yer alan hükümler, dışarıdan güçlendirmeler için de prensip olarak geçerlidir.

Bu nedenle, projenin ilgili aşamasında, BÖÇ ve sönümleyici elemanlar ile yapılan güçlendirmelere ilişkin tasarım ve yapım kurallarının belirlenmesi, proje açısından önemli hale gelmiştir.

Aşağıda sırası ile öncelikle **Burkulması Önlenmiş Çaprazlar (BÖÇ)** ile güçlendirme, sonrasında da **Viskoz Sönümleyici** elemanlar ile güçlendirme anlatılarak hem ön tasarım hem de nihai tasarım aşamaları okuyuculara aktarılmıştır.

Yeni bina tasarımı veya güçlendirme uygulamalarında çeşitli sönümleyiciler kullanılabilir. İlgili çalışma kapsamında, viskoz sönümleyiciler aktarılacaktır. Sönümleyici çeşitlerinin içerisinde viskoz sönümleyicilerin bu çalışma çerçevesinde ele alınmasının esas sebebi diğer yenilikçi elemanlara nazaran daha farklı bir çalışma prensibinin bulunmasıdır. Viskoz



sönümleyiciler hız bazlı elemanlardır. Bu sönümleyiciler, etkiyen hıza bağlı olarak aktif hale gelirler. Hızın sıfır olduğu anda çalışmazlar. Diğer sönümleyici tiplere örnek olarak, sürtünme tipi sönümleyiciler ve akma sönümleyiciler örnek olarak verilebilir. Bunların her ikisi de deplasman bazlı çalışan elemanlardır. Burkulması önlenmiş çapraz elemanlar da deplasman bazlı çalışan elemanlardır. Tasarım kılavuzu içerisinde daha farklı bir çalışma prensibine de sahip olan sönümleyici tiplerinden viskoz sönümleyicilere ilişkin bilgiler verilmiştir. Bölümlerin sonunda, uygulama aşamasında dikkat edilmesi gereken hususlar ile bakım ve onarım gereksinimleri özetlenmiştir.

3. BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLARIN BETONARME BİNALARIN GÜÇLENDİRMESİNDE KULLANIMI

3.1 Giriş

Burkulması önlenmiş çaprazlar (BÖÇ), yenilikçi güçlendirme teknolojileri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Bu elemanlar, enerji sönmüleme kapasiteleri ile normal kuvvet etkisi altında gösterdikleri stabil çevrimsel davranış özellikleri sayesinde, betonarme binaların deprem performansını artırmada etkili bir yöntem olarak değerlendirilebilir.

Geleneksel çapraz elemanlardan farklı olarak, BÖÇ'ler basınç altında burkulma göstermeden yük taşıma kapasitesiyle dikkat çeker. Bu özellik, BÖÇ'lerin sadece çekme yükleri altında değil, aynı zamanda basınç yükleri altında da etkin bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Bu davranış, özellikle yüksek performans gerektiren ve mevcut yapıların deprem davranışını iyileştirmek için güvenilir bir çözüm sunmaktadır.

Bu bölüm, burkulması önlenmiş çaprazların betonarme binalarda güçlendirme amacıyla kullanımına ilişkin tasarım ve uygulama esaslarını sunmayı amaçlamaktadır. Öncelikle yöntemin temel avantajları ve kullanıldığı tipik senaryolar kısaca ele alınmakta, takip eden bölümlerde ise teknik detaylar ve ilgili tasarım prosedürleri aşamalar halinde açıklanmaktadır.

Bu çerçevede, BÖÇ'lerin kullanımı ile ilgili tasarım süreci aşağıdaki adımlarla detaylandırılmıştır:

- Temel gereksinimler ve kullanım kısıtları
- Ön tasarım ve kesin tasarım yaklaşımları
- Sahada uygulama esasları
- Bakım ve onarım gereksinimleri

Bu bölüm, özellikle TBDY-2018 ve uluslararası tasarım standartları ve kılavuzları (ASCE 41-23 v.d.) çerçevesinde ele alınmış olup hem mühendislerin hem de uygulayıcıların kullanımına yönelik pratik ve kapsamlı bilgiler sunmaktadır.

3.2 Temel Gereksinimler ve Kullanım Kısıtları

Burkulması önlenmiş çaprazların (BÖÇ) betonarme binalarda etkili bir şekilde kullanılabilmesi ve istenen performansın elde edilmesi için doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Bu bağlamda **doğrusal olmayan statik itme analizi**, bir yapının doğrusal ötesi davranışını değerlendirmede etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Ancak bazı yapı tiplerinde bu analiz yöntemi sınırlı bir etkinlik gösterebilir. Özellikle düzensiz geometrilere sahip yapılar veya yüksek binalar gibi birinci mod titreşim hareketinin hakim olmadığı durumlarda, **doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemleri** daha kesin ve güvenilir sonuçlar sağlamaktadır. Bu tür binalarda dahi,

mühendislerin yapının genel davranışını kavrayabilmesi için ilk aşamada statik itme analizi yapılması önerilmektedir.

BÖÇ elemanlarının tüm katlarda yer almadığı durumlarda, enerji sönümlenme kapasitesinin yapı yüksekliği boyunca eşit şekilde dağılması sağlanamayabilir. Bu durum, yapının deprem etkileri altındaki davranışında düzensizliklere ve daha karmaşık bir deprem performansı ile sonuçlanabilir. Bu nedenle, BÖÇ elemanlarının yapı yüksekliği boyunca sürekliliği sağlanmalı, üst katlarda kesit gerekliliklerinin azalabileceği göz önünde bulundurularak uygun şekilde tasarlanmalıdır.

Ayrıca, BÖÇ elemanlarının kat içindeki düzeni, yapının burulma etkilerine maruz kalmasını önleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Her iki ortogonal doğrultuda birleşim noktalarında, ağırlık merkezinin her iki tarafında simetrik olarak en az ikişer BÖÇ elemanı bulunmalıdır. Yapının kat alanına göre, ihtiyaç duyulması halinde bu elemanların sayısı artırılarak enerji sönümlenme kapasitesi artırılmalıdır. Bu yaklaşımla, yapının sönüm kapasitesinin düzgün bir şekilde dağılması ve hedeflenen performansın sağlanması mümkün olacaktır.

3.3 Deplasman Bazlı Ön Tasarım


Bu bölümde, BÖÇ ve sönümleyici elemanların ön tasarımı için iki farklı yaklaşım sunulmuştur. İlk sunulan yaklaşım daha detaylı ve zahmetli olmasına karşın, kesin tasarıma daha yakın sonuçlar verir ve deplasman bazlı bir yöntemdir. İkinci yöntem ise daha pratik, mühendislerin büyük çoğunluğunun aşına olduğu kuvvet bazlı bir yöntemdir. Projenin özel koşulları göz önünde bulundurularak, bu yöntemlerden biri ön tasarım aşamasında mühendis tarafından seçilebilir.

Mevcut bir yapının güçlendirme ihtiyacının belirlenmesi sürecinde, öncelikle yapıya ait doğrusal olmayan davranış sonuçlarının elde edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, binanın genel doğrusal ötesi davranışını anlamak ve hedeflenen performans seviyesine ulaşmak için hangi deplasman değerlerinin sağlanması gerektiğini tespit etmek için yapının taban kesme kuvveti-kontrol noktası öteleme grafiğinin belirlenmesi esastır. Bu grafik, yapıya ilişkin doğrusal olmayan statik itme analizinin gerçekleştirilmesiyle elde edilir.

3.3.1 Statik Kat İtme Eğrileri (Hızlı Ön boyutlama için bir yöntem)

Her kat için gerçekleştirilen doğrusal olmayan statik itme analizlerinde, ilgili katın altındaki katların sabit olduğu varsayılır. Bu analizlerde, davranışı incelenecek katın alt seviyeleri hareket etmeyecek şekilde tutulu kabul edilerek, yalnızca hedef kat belirli bir seviyede itilerek kat bazlı itme eğrileri elde edilir. Bu yöntem, analiz edilen kata özgü doğrusal olmayan davranışın ayrıntılı biçimde değerlendirilmesine ve bağımsız olarak incelenmesine olanak tanır.

Analizler, binanın her iki ortogonal doğrultusunda ve mod hareketlerinden bağımsız bir yaklaşımla gerçekleştirilir. Yapısal analiz sırasında, katlar arasında rijitlik veya kütle farklılıklarının bulunmadığı durumlarda, binanın tümü için yapılan statik itme analizlerinden elde edilen itme eğrisi, yapının genel davranışını değerlendirmek için yeterli bir yaklaşım sağlar. Bununla birlikte, düşey düzensizliklerin belirgin olduğu binalarda, genel itme eğrileri yerine her katın ayrı ayrı değerlendirilmesi daha doğru sonuçlar sağlayabilir. Bu aşamada, plan düzensizlikleri gibi etkenler dikkate alınmaz.



Her bir kata ait itme eğrileri çıkarılarak, yapı davranışının daha detaylı bir şekilde analiz edilmesi sağlanır. Bu kapsamda, katların akma noktaları, rijitlik değerleri ve yük taşıma kapasiteleri belirlenir. Elde edilen eğriler hem doğrusal hem de doğrusal olmayan davranışların değerlendirilmesine olanak tanır. Özellikle akma sonrası yük taşıma kapasitesindeki değişimler ve süneklik gibi kritik noktaların tespiti, güçlendirme tasarımı ve performans değerlendirmesi açısından önemli bilgiler sunar.

Ayrıca bu eğrilerin analizi, katlar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde kullanılarak, katların düşey doğrultuda birbirine yakın davranışlar sergilemesi sağlanır. Her katın itme eğrisi, değişen kütle ve rijitlik nedeniyle farklılık gösterebileceğinden, farklı güçlendirme talepleri ortaya çıkabilir. Yapı mevcut durumda düşey doğrultuda düzenliyse, katlarda belirlenen güçlendirme ihtiyaçlarındaki farklılıkların düşey düzensizlik yaratmasına izin verilmemelidir.

3.3.2 Hedef Performans Yer Değiştirmeleri

Yapının mevcut durumu için hedef performans ve hedef kat ötelemeleri, her iki ortogonal doğrultuda gerçekleştirilen kat itme analizleri ve doğrusal olmayan statik modal itme analizleri ile belirlenmiş olmalıdır. Binanın mevcut durumu için belirlenen hedef ötelemeler, yapının hâkim mod şekilleri dikkate alınarak her bir kat seviyesi için binanın tepe noktası hedef ötelemelerine oranla hesap edilmelidir.

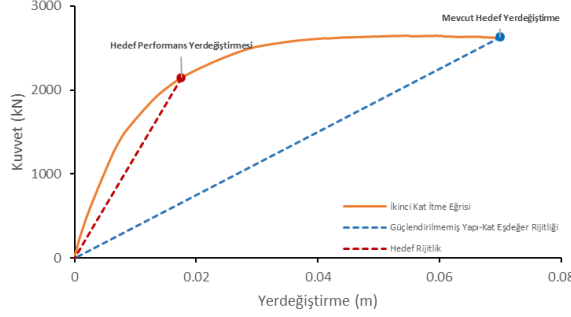
Güçlendirme aşamasında her bir kat seviyesi için belirlenecek hedef yer değiştirmeler ise; ilgili katın taşıyıcı elemanlarının performans seviyelerinin hedeflenen düzeye ulaştığı yatay öteleme seviyesi olarak göz önüne alınmalıdır. Bu aşamada TBDY-2018'de tanımlanan performans kriterleri ve sınır değerler göz önünde bulundurulmalıdır.

Yapının doğrusal olmayan davranışını tam olarak anlayabilmek; taşıyıcı elemanların akma, kapasite noktası ve dayanım kaybı gibi kritik noktalarını tespit edebilmek için her katın itme analizleri hedef performans seviyelerinin ötesine geçecek şekilde yeteri kadar devam ettirilmelidir. Böylece yapının genel performansı incelenebilir.

3.3.3 Gerekli İlave Rijitliğin Belirlenmesi

Yapının ilgili katı için, mevcut ve güçlendirilmiş durumlarda hedef performans yer değiştirmelerine karşılık gelen kat kesme kuvvetleri, daha önce elde edilen kat itme eğrisinden yararlanılarak belirlenir. Bu veriler doğrultusunda, mevcut yapının kat eşdeğer rijitliği ile hedef rijitlik değerleri tespit edilir. Yapıya ilave edilmesi planlanan BÖÇ elemanları, mevcut yapı taşıyıcı sistemine paralel olarak yatay yük taşıyacağından, mevcut yapı-kat rijitliği ile hedef rijitliği arasındaki aritmetik fark, yapının rijitlik ihtiyacı olarak belirlenebilir.

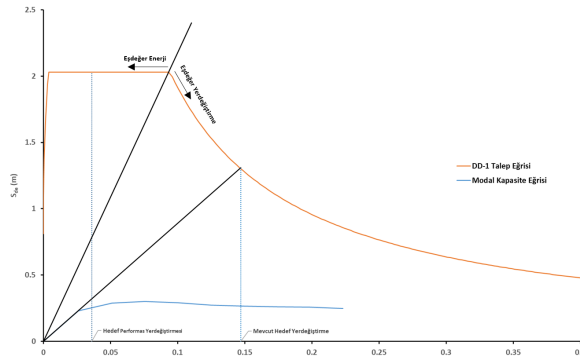
$$K_{gerekten} = K_{hedef} - K_{mevcut} \quad (3.1)$$



Şekil 3-1: Kat İtme Eğrisi ve Mevcut/Hedef Rijitliklerin Belirlenmesi

Bu yaklaşım, eşdeğer yer değiştirme kabulüne dayanmaktadır. Yapının rijitliğinde bir artış olacağı ve doğrusal olmayan davranışının değişeceği göz önünde bulundurulduğunda, hedef performans yer değiştirmesi için gerekli rijitlik, eşdeğer enerji yöntemi kullanılarak daha doğru bir şekilde hesaplanabilir. Söz konusu yöntemde, güçlendirilmiş yapı, ilgili katın mevcut hedef yer değiştirmesini sağlamak için gereken enerji ile eşdeğer enerjiye sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır. Denklem (3.2)'de belirtilen yapının mevcut hedef yer değiştirmesi için gerekli enerji, başlangıç ve mevcut hedef yer değiştirme arasında, kat itme eğrisi altında kalan alana eşittir. Bu enerjinin hedef performans yer değiştirmesinin karesine bölünmesiyle gereken rijitlik tespit edilebilir. Bu doğrultuda gerekli ilave rijitlik belirlenirken TBDY-2018 EK 5B kapsamında, eşdeğer enerji ve yer değiştirme kabulleri açısından uygulanabilir sınır, spektrum köşe periyoduna karşılık gelen elastik spektral yer değiştirme değeri olarak değerlendirilebilir. İlgili sınır ve kabul bölgeleri, Şekil 3-2'de ayrıntılı olarak sunulmuştur. Bahsedilen şekilde mevcut bir binanın belirlenen hedef performans yer değiştirmesinin eşdeğer enerji için belirtilen bölgede kaldığı görülmektedir.

$$K_{gerekten} = \frac{2 E_{mevcut}}{(\Delta_{hp})^2} - K_{mevcut} \quad (3.2)$$



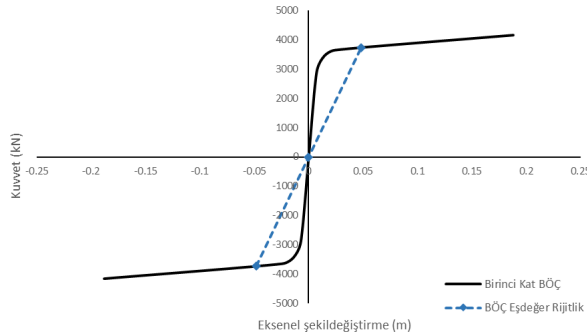
Şekil 3-2: DD-1 Spektrum Talep Eğrisi ve Yapı Modal Kapasite Eğrisi

3.3.4 Gerekli BÖÇ Kesit ve Adedinin Belirlenmesi

BÖÇ elemanlarının kesit ve adedinin belirlenmesi için, öncelikle hedef performans yer değiştirmeleri ve BÖÇ elemanlarının düşey doğrultudaki eğimi dikkate alınarak aksel birim şekil değiştirme talepleri hesaplanmalıdır. Mevcut durumda sünek davranış gösterebilen yapılar için BÖÇ kesiti seçilirken hedef deplasman değerinde BÖÇ elemanların plastik davranış gösterdiğinden emin olunmalıdır. BÖÇ'ün plastik davranış gösterebilmesi için akma limiti değerinin hedef performans yer değiştirmesinden elde edilecek olan aksel birim şekil değiştirme talebinden daha küçük olması sağlanmalıdır.

Üreticiler tarafından sağlanan kesitlerin mekanik özellikleri kullanılarak, BÖÇ elemanlarının eşdeğer rijitlikleri, hesaplanan aksel birim şekil değiştirme taleplerine göre belirlenir. Daha önce hesaplanan gerekli ilave rijitlik değeri, elde edilen BÖÇ eşdeğer rijitliğine bölünerek gerekli BÖÇ sayısı tespit edilir.

BÖÇ elemanlarının şekil değiştirme - kuvvet davranış grafikleri elastik, plastik ve rijit kabul edilen bağlantı bölgelerinin eşdeğer davranışından oluşmaktadır. Kullanılan kesitte gözlenen plastik şekil değiştirme seviyesini artırmak için elastik ve plastik bölgelerin göreceli boyları üretici tarafından izin verilen limitler arasında düzenlenebilir.



Şekil 3-3: BÖÇ Kuvvet- Aksel Şekil Değiştirme Grafiği ve Eşdeğer Rijitlik Tespiti

3.4 Kuvvet Bazlı Ön Tasarım Metodu

BÖÇ elemanlarının boyutlarının ve adedinin belirlenmesi aşamasında daha önceki bölümde sunulan ön tasarım yöntemine alternatif olarak kuvvet bazlı bir yaklaşım da uygulanabilmektedir. Bu yöntemde, mevcut yapının doğrusal olmayan davranışı da dikkate alınarak yapının belirlenen hedef performans seviyesine ulaşabilmesi için sistemin karşılaması gereken yatay kuvvet talepleri hesaplanır.

Elde edilen kuvvet talepleri doğrultusunda, taşıyıcı sisteme uygulanacak ilave elemanların – bu bağlamda BÖÇ elemanlarının – sağlaması gereken kuvvet kapasiteleri belirlenir ve buna göre ön boyutlandırmaları gerçekleştirilir. Kuvvet bazlı ön tasarım yöntemi, esas olarak hedeflenen yer değiştirme seviyelerinde yapının karşılaması gereken kesit kuvvetlerinin

hesaplanmasına ve bu kuvvetleri karşılayabilecek yeni taşıyıcı elemanların tanımlanmasına dayanır.

Buradaki yaklaşımda, ön tasarımın ardından yapılacak kesin tasarım aşamasında; elemanların detaylı boyutlandırması, yapının bütüncül modellemesi, performans düzeyi kontrolü ve gerekli optimizasyonların gerçekleştirilmesi gereklidir.

3.4.1 Kuvvet Talebinin Belirlenmesi

Yapının elastik davranması dahilinde karşılaması gereken toplam kesme kuvveti yapının hakim periyoduna karşılık gelen elastik tasarım ivmesi ve toplam deprem kütlesi çarpılarak elde edilebilir. Doğrusal olmayan statik analiz sonuçlarına bağlı olarak yapının taşıyabileceği toplam kesme kuvveti bilinmektedir. Elastik deprem kuvvetleri, yapının beklenen davranışı doğrultusunda azaltılmış olarak karşılanmalıdır. Bu azaltma, yapının beklenen yeni sünek davranışına göre belirlenebilir.

Bu şekilde, yapı sisteminin hedef performans düzeyine uygun olarak karşılaması gereken yatay kuvvet talebi elde edilmektedir ve sisteme uygulanacak ilave taşıyıcı elemanların tasarımına temel oluşturulmaktadır.

3.4.2 BÖÇ Elemanların Karşılması Gereken Kuvvetin Hesabı

Elde edilen kuvvet talebi ile yapının mevcut yatay taşıma kapasitesi arasındaki fark, yapıya uygulanacak olan Burkulması önlenmiş çelik (BÖÇ) elemanların sağlaması gereken net kuvvet ihtiyacını tanımlar. Bu fark, doğrusal olmayan analizler sonucunda sistem düzeyinde belirlenen ilave yatay kuvvet gereksinimini ifade eder.

Tanımlanan bu ilave kuvvet, sistemdeki genel kuvvet ihtiyacının, BÖÇ elemanlarının yerleşim düzeni ve her bir elemanın taşıyabileceği kapasite göz önünde bulundurularak uygun biçimde dağıtılmasıyla her bir BÖÇ elemanına uygulanır. Bu dağılım, yapının geometrik özellikleri ile BÖÇ elemanlarının konumları, etki alanları ve kuvvet aktarım yolları dikkate alınarak yapılmalıdır.

Her bir BÖÇ elemanının karşılaması gereken yatay kuvvet talebi, sistemin toplam ihtiyaç duyduğu ilave kesme kuvvetinin, eleman sayısına ve yerleşim stratejisine bağlı olarak orantılı biçimde dağıtılmasıyla hesaplanabilir. Gerekli tasarım kuvveti, aşağıda verilen denklem aracılığıyla sayısal olarak ifade edilir:

$$n = \frac{F_{gerekten}}{nF_{BÖÇ} \cdot \cos\theta} \quad (3.3)$$

F_{gerekten}: Sistemin karşılaması gereken toplam yatay kuvvet farkı (talep – mevcut kapasite),

F_{BÖÇ}: Seçilen BÖÇ elemanının aksenal yük taşıma kapasitesi,

n: BÖÇ sayısı,

θ: BÖÇ elemanlarının yatayla yaptığı açı,

Ön tasarım aşamasında elde edilen BÖÇ adedi yapının üst katlarında da aynı kalacak şekilde referans olarak kullanılabilir. Bu yaklaşım, sistemin genel davranışını öngörmeye ve



ilk yerleşim planlamasını yapmaya olanak tanır. Ancak, her bir elemanın etkinliği ve katkısı yapıdaki konumuna, kat yüksekliğine ve yerel rijitlik özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterebileceğinden, eleman dağılımının ve kapasite oranlarının kesinleştirilmesi için daha detaylı analizler gereklidir.

Bu nedenle, tüm BÖÇ elemanlarının sayısı, konumu ve boyutları ile diğer katlardaki dağılımları, kesin tasarım aşamasında gerçekleştirilecek kapsamlı değerlendirmeler ve performans analizleri doğrultusunda optimize edilmelidir. Böylece hem yapı güvenliği hem de maliyet etkinliği açısından en uygun sistem çözümü elde edilebilir.

3.4.3 Süneklik ve Akma Durumu

Tasarımın sünek davranış sergileyebilmesi için seçilecek BÖÇ elemanların hedef performans seviyesinde plastisiteye ulaşması beklenmektedir. Bu durum sistemin deprem anında enerjiyi sünek şekilde sönmüleyebilme kapasitesini artırmak açısından kritik öneme sahiptir. Dolayısıyla, sistemin gevrek davranış göstermemesi ve kontrollü bir şekilde hasar alması için plastik şekil değiştirme kabiliyeti yüksek olan elemanların kullanılması tercih edilmelidir.

Bu doğrultuda, her bir BÖÇ elemanının taşıyabileceği akma kuvveti ile kendisine aktarılan kuvvet arasında bir denge kurulmalıdır. Bu denge, aşağıdaki koşul sağlanarak kontrol edilir:

$$F_{akma} < F_{BÖÇ}$$


Bu koşul sağlandığında, eleman elastik sınırlarını aşarak kontrollü şekilde akma davranışı gösterir. Böylelikle yapının enerji yutma kapasitesi artar, beklenen sünek davranış elde edilir ve sistem genelinde güvenli bir performans düzeyine ulaşılır. Ayrıca, bu yaklaşım yapının genel performans hedefleriyle uyumlu olacak şekilde bölgesel hasarların yayılımını sınırlı tutarak sistem bütünlüğünü korumayı amaçlar.

3.4.4 Yapısal Düzensizlik

Farklı düzlemlerde veya katlarda yerleştirilecek olan BÖÇ elemanlarının taşıması gereken kuvvetler yapı geometrisine, kat kütle dağılımına ve rijitlik farklılıklarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Ancak bu değişkenlik yapının düşey doğrultuda düzensiz bir davranış sergilemesine yol açmamalıdır. TBDY-2018 kapsamında tanımlanan düşey düzensizlik kriterleri göz önünde bulundurularak sistemin genel stabilitesini ve enerji dağılımını olumsuz etkileyecek ani kapasite değişimlerinden kaçınılmalıdır.

Bu kapsamda, her bir düzlemde veya katta yerleştirilecek BÖÇ elemanlarının kuvvet kapasiteleri birbirine yakın tutulmalı; böylece taşıyıcı sistemin dengeli ve düzenli bir davranış göstermesi sağlanmalıdır. Elemanlar arası kapasite farklarının sınırlı tutulması deprem etkisi altında yapının burulma davranışını azaltacak ve performans hedefine ulaşılmasına katkı sağlayacaktır.

Ayrıca, yerleştirilecek BÖÇ elemanlarının mimari tasarım ve taşıyıcı sistemle uyumu mutlaka göz önünde bulundurulmalı; yapı bütünlüğünü zedelemeyecek şekilde yerleşim planlaması yapılmalıdır. Bu yaklaşım, yalnızca yapısal güvenliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda uygulama kolaylığı ve maliyet etkinliği açısından da önemli avantajlar sağlar.



Bununla birlikte, yapıda mevcut olan düzensizliklerin giderilmesi için BÖÇ elemanlarının yerleşim planı, taşıyıcı sistemdeki rijitlik ve kütle dağılımlarına uygun şekilde tasarlanmalıdır. Bu düzenleme, yapıların daha verimli ve dengeli bir şekilde yük taşımalarını sağlamak amacıyla yapılmalıdır. Mevcut düzensizliklerin en aza indirilmesi için gerekli düzenlemeler, kesin tasarım aşamasında detaylı analiz ve simülasyonlar ile daha kesin bir biçimde belirlenebilir.

3.5 Kesin Tasarım

Performans kontrolü, ön tasarım sonucu belirlenen güçlendirme yöntemini düzenlemek, tasarımın hedeflenen deprem davranışını sağlayıp sağlamadığını değerlendirmek ve güçlendirme yöntemini doğrulamak için gerçekleştirilir.

3.5.1 Modelleme Kriterleri

Yapının doğrusal olmayan davranışlarının doğru bir şekilde analiz edilebilmesi için ilave edilen BÖÇ elemanlarının modelleme kriterleri büyük önem taşımaktadır. Bu kriterler, kullanılacak kesit özellikleri ve bu kesitlerin doğrulama deneylerine dayalı olarak belirlenmelidir. İlgili elemanların belirlenen yapısal katkıyı sağlayabilmesi amacıyla, doğrusal ötesi ve çevrimsel karakteristiklerin aşağıda belirtilen hususlara uygun şekilde modellenmesi gerekmektedir.

Doğrusal Ötesi Davranışın Modellenmesi:

Modelleme aşamasında, BÖÇ elemanlarının doğrusal ötesi davranışları genellikle plastik mafsallar veya doğrusal olmayan bağlantı (link) elemanları kullanılarak ifade edilir. Plastik mafsallar elemanın belirli bölgelerinde akma veya plastik deformasyonun olduğu noktaları temsil eder ve bu bölgelerdeki enerjinin dağılımını yansıtır.

Doğrusal olmayan bağlantı elemanları ise BÖÇ elemanlarının rijitlik ve taşıma kapasitesindeki değişimlere uygun olarak elastik ve plastik davranışları birlikte ele alır. Bu elemanlar, yapının doğrusal olmayan davranışını temsil ederek, BÖÇ'lerin elastik sınırlarının aşılması durumunda meydana gelen plastik deformasyonları gerçekçi bir şekilde modellemek için kullanılır.

BÖÇ Bileşenlerinin Eşdeğer Davranışı:

Tipik bir BÖÇ elemanı; birleşim detayını oluşturan rijit bölge, elastik davranış göstermesi beklenen elastik bölge ve doğrusal ötesi davranış sergileyen, burkulması önlenmiş plastik bölge olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bu üç bileşen her bir BÖÇ elemanının performansını şekillendirir ve her eleman için farklı özellik ve boyutlara sahip olacak şekilde tasarlanabilir.

BÖÇ elemanlarının performansını optimize etmek ve gerekli kesit özelliklerini sağlamak için bu bileşenlerin boyutları ve mekanik özellikleri ihtiyaçlara uygun şekilde tasarlanabilir. Bu bileşenler, birbirine seri bağlı olarak düşünülüp eşdeğer rijitlik ve şekil değiştirme özellikleri hesaplanarak link elemanı olarak modellenebilir. Alternatif olarak, rijit, elastik ve plastik bölgeler ayrı ayrı modellenerek doğrusal ötesi davranış özellikleri plastik mafsal ile ifade edilebilir.

Modellenen bileşenlerin davranışları, BÖÇ elemanının genel davranışı ve serbestlik uygunluğu ile tam olarak uyumlu olduğu sürece, belirtilen modelleme yöntemlerinden biri veya bir kombinasyonu analiz modelinde uygulanabilir. Bununla birlikte, BÖÇ elemanının pekleşme, plastik limit, elastik limit ve rijitlik gibi karakteristik özellikleri üreticiden temin edilerek kullanılacak kesite göre değerlendirilmelidir. Bu özellikler seçilen modelleme yöntemi ve eleman türüyle uyumlu bir şekilde modele uygulanarak analizin doğruluğu ve güvenilirliği sağlanmalıdır.

3.5.2 Performans Kriterleri

Güçlendirme tasarımının uygunluğu, mevcut yapı elemanlarının değerlendirme aşamasında belirlenen performans kriterleri uygunluğuna bağlıdır. Buna ek olarak, yapıya ilave edilen BÖÇ elemanlarının performans hedefleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu hedeflerin belirlenmesinde kullanılan BÖÇ elemanlarının akma şekil değiştirmesi, TBDY-2018 Madde 5C.3.3'e göre aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$\Delta_y = \frac{P_{b\ddot{o}c} l_{b\ddot{o}c}}{EA_{b\ddot{o}c}} \quad (3.4)$$

Δ_y : BÖÇ akma şekil değiştirmesi

$P_{b\ddot{o}c}$: BÖÇ eksenel çekme ve basınç dayanımı

$l_{b\ddot{o}c}$: BÖÇ boyu (m)

E : Yapı çeliği elastisite modülü, $E=2 \times 10^8$ (kN/m²)

$A_{b\ddot{o}c}$: BÖÇ enkesit alanı (m²)

BÖÇ elemanları için akma şekil değiştirmesine bağlı farklı performans hedefleri için şekil değiştirme sınırları, TBDY-2018 5C.4'e göre aşağıdaki gibi belirlenir.

Tablo 3.1: BÖÇ Şekil Değiştirme Sınırları

Performans Seviyesi	Şekildeğiştirme Sınırı
SH (Sınırlı Hasar)	$1\Delta_y$
KH (Kontrollü Hasar)	$10\Delta_y$
GÖ (Göçme Öncesi)	$13.3\Delta_y$

3.5.3 Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ile Performans Kontrolü

Doğrusal olmayan statik itme analizi, güçlendirilmiş yapının hedef performans seviyelerine ulaşip ulaşmadığını değerlendirmek için temel bir araçtır. Bu analiz yöntemi, yapının doğrusal olmayan davranışını ayrıntılı bir şekilde incelemeyi ve tasarım sürecinde yapılan güçlendirme müdahalelerinin etkinliğini doğrulamayı sağlar.

Güçlendirilmiş yapının analizi sırasında, kat içi rijitliklerin düzenlenmesi, burulma etkilerinin azaltılması ve mod şekillerinin uygun hale getirilmesi gibi kritik tasarım unsurları dikkate alınmalıdır. Bu kapsamda, aşağıdaki adımlar izlenerek güçlendirme tasarımının etkinliği değerlendirilir ve gerekli durumda tasarım parametreleri optimize edilir.

Düzensizliklerin Giderilmesi:

Kat içi rijitlikleri ve plan düzensizliklerini düzgün hale getirmek için farklı BÖÇ konfigürasyonları analiz edilerek en uygun yerleşim planı seçilir. Tespit edilen kat rijitlik değerleri ve eşdeğer performans öteleme değerleri dikkate alınarak katlar arasındaki uyum sağlanır. Ayrıca, kat içi BÖÇ yerleşim planı yapılırken, analiz modelinde döşemelerin düzlem içi rijitlikleri de doğru şekilde göz önüne alınmalıdır. Böylece birbirinden çok uzakta BÖÇ yerleşimlerinden kaynaklı etkiler de detaylı şekilde incelenebilir. Bu şekilde, mod şekillerinin kat düzlemi içinde oluşturduğu hareketler ve burulma etkileri göz önüne alınarak BÖÇ'lerin en uygun şekilde yerleştirilmesi sağlanmalıdır.

Güçlendirilmiş Yapının Analizi:

Yapı güçlendirildikten sonra doğrusal olmayan itme analizleri ile test edilir. Yapı, yapılan güçlendirme müdahaleleri ile düzenli hale getirileceği için mod şekline bağlı doğrusal itme analizine uygun hale gelmesi hedeflenmelidir.

Performans Hedeflerinin Kontrolü:

Yapılan analizler sonucu elemanların ve yapının hedef performans seviyelerine ulaşip ulaşmadığı kontrol edilir. Herhangi bir sapma durumunda tasarım parametreleri revize edilip gerekli takviyeler ve değişiklikler gerçekleştirilir. Bu değişiklikler yapıya eklenen BÖÇ kesitlerinin etkinliklerine ve performansına göre kesit değişikliği, rijitlik güncellemesi, yer değişikliği veya adet artırımı gibi olabilir. Bu analizler sonucu kullanılan BÖÇ kesitlerin etkinliği tekrar kontrol edilerek gerekli optimizasyonlar gerçekleştirilir.

3.5.4 Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Analiz ile Performans Kontrolü

Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz, güçlendirilmiş yapının dinamik yükler altındaki davranışını daha gerçekçi bir şekilde değerlendirmek için kullanılan ileri düzey bir yöntemdir. Bu analiz yöntemi, yapı elemanlarının ve sistemin performansını, deprem hareketleri gibi zamana bağlı yükler altında detaylı bir şekilde incelemeyi sağlar. TBDY-2018 yönetmeliğine uygun olarak gerçekleştirilen bu analizler, doğrusal olmayan statik yöntemlerle elde edilen sonuçların doğrulanmasına ve güçlendirme tasarımının eksiksiz bir şekilde optimize edilmesine olanak tanır. Aşağıdaki süreçler kapsamında, güçlendirilmiş yapının performans hedefleri karşılanıp karşılanmadığı değerlendirilirken, elemanların dayanımı, rijitliği ve enerji sönmüleme kapasiteleri yeniden incelenir.

Zaman Tanım Alanında Performans:

Güçlendirilmiş yapının son hali TBDY-2018'e uygun olarak zaman tanım alanında analiz edilir. Bu analizler ile, yapının dinamik yükler altındaki davranışını daha detaylı bir şekilde değerlendirilir.

Kesitlerin Performans Kontrolü:

İlgili BÖÇ kesitlerinin uygunluğu ve performansı yeniden değerlendirilerek sistemin güvenilirliği doğrulanır. Bu süreçte doğrusal olmayan statik itme analizi kontrolleri tekrarlanarak tasarım kriterlerine uyum sağlanır.

3.6 Test Gereksinimleri

Enerji sönümleyici cihazlar ile ilgili test gereksinimleri genel olarak ortaktır. Bu nedenle BÖÇ 'ler ile ilgili test koşulları da sönümleyiciler ile birlikte Bölüm 4.6'da verilmiştir.

3.7 Tedarik Süresi

BÖÇ elemanlarının tedarik süreleri genellikle proje özellikleri, sipariş hacmi, tedarikçinin stok durumu ve üretim kapasitesi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Standart kesitler genellikle daha kısa sürede temin edilebilirken özel tasarım veya ölçülerdeki sönümleyicilerin tedarik süreleri daha uzun olabilir.

Özellikle büyük projelerde BÖÇ'lerin tedarik süresi genellikle proje planlamasının erken aşamalarında dikkate alınmalı ve tedarikçiyle erken iletişim kurulmalıdır. Ayrıca, kesitlerin uluslararası tedarikçilerden sağlanması durumunda nakliye süreleri ve gümrük işlemleri de tedarik sürelerini etkileyebilir. Bu nedenle, proje yöneticileri ve mühendisler, sönümleyicilerin zamanında temin edilmesini sağlamak için tedarik sürelerini önceden değerlendirmeli ve gerekli önlemleri almalıdır.

Genel itibarıyla burkulması önlenmiş çaprazların tedarik süreleri; üretim, nakliye, yurt içi ve yurtdışı temin koşulları dikkate alınarak 2 ila 6 ay olarak düşünülebilir.

3.8 Uygulama

Burkulması önlenmiş çapraz (BÖÇ) elemanlar, uygulama açısından geleneksel yöntemler ile güçlendirilmiş çelik taşıyıcı sistem elemanlarıyla benzerlik gösterir. Yerinde uygulamaları, çelik ile güçlendirme uygulamaları ile büyük ölçüde aynıdır. Ancak BÖÇ eleman için bırakılacak boşluklarda toleransların çok iyi saptanması gerekir. Dolayısıyla düğüm noktası bağlantılarındaki ankrajların hatta düğüm noktası imalatının yerinde tamamlanması gereklidir.

Öte yandan, sipariş ve üretim süreçlerinde geçen süreler sebebiyle teknik uygulamada bulonlu birleşim yapılamıyorsa, kaynaklı birleşim seçeneği de değerlendirilebilir. Her ne kadar saha kaynak uygulamasının kalitesinin kontrolü açısından tasarımcılar tarafından tercih edilmese de, üretim kolaylığı sebebi ile yükleniciler çoğu durumda ilk tercih olarak değerlendirir. BÖÇ elemanları, yerinde kaynak ile birleşime uygun şekilde üretilebilir. Bu durumda, BÖÇ elemanlarının birleşim yapılacak uçlarında montaj delikleri bırakılır ve montaj deliklerinden bağlanan elemanlar, uygun saha kaynağı ile güvenli bir şekilde bağlanabilir.

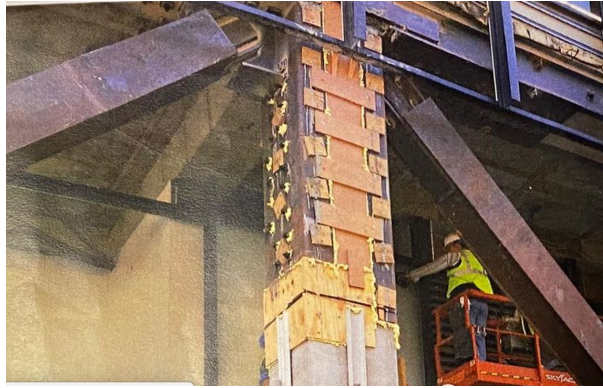
Saha kaynağı kullanılmasına karar verilmiş ve tasarım sorumlusu mühendis tarafından da onaylanmış ise ilgili imalatın uygulanmasına izin verilebilir. Bu tip durumlarda kaynak kalitesi bağımsız üçüncü taraflarca güvenilir testler ile kontrol edilmelidir. Yapılan kaynak uygulamasının, kapasite korumalı elemanlardan akabilecek yük kapasitesini karşılayacak düzeyde yeterli olduğu gösterilmelidir. Özellikle bölgesel bir yırtılmaya ve yük konsantrasyonuna yol açabilecek kaynak kusurlarından kaçınılmalıdır.



Fotoğraf 1: BÖÇ Elemanların Kaynaklı Uç Bağlantısı

Uygulamaya başlamadan önce mevcut betonarme elemanlarda mantolama gibi geleneksel birtakım güçlendirme uygulamaları yapılması gerekli ise öncelikle bunların tamamlanması gerekir. Bunun için mevcut beton örtüsü sıyrılır ardından eski ve yeni betonların birlikte çalışabilmesi için kimyasal ankraj ile donatı ekimi yapılır. Bu esnada BÖÇ elemanların bağlantı detayları için gerekli kimyasal ankraj ya da beton içerisinde bırakılacak stud uygulamaları yapılmalıdır. Bu bağlantılar hazırlanıp ilgili düğüm noktası ankraj plakaları yerleştirildikten sonra ölçü alınarak BRB elemanlar için imalat siparişi verilmesi, yerinde yapılacak uygulamalardaki sorunları en aza indirecektir.

Bağlantı yapılacak betonarme elemanlarda, FRP ile güçlendirme uygulaması yapılacaksa öncelikle bağlantı delikleri açılmalı ve ankraj bulonları yerleştirilmelidir. Ardından FRP sargı uygulaması gerçekleştirilmelidir. FRP elemanları delinmemeli; delik etrafındaki sürekliliği korunmalıdır.



Fotoğraf 2: BÖÇ Birleşimi, Mevcut Kolonda Yapılan Güçlendirme ve Bağlantı Detayı Uygulamaları

Eğer mevcut betonarme elemanlar BÖÇ elemanların bağlanması sonucu oluşacak ilave kuvvetleri karşılamaya yetiyorsa, doğrudan mevcut betonarme elemanlara bağlantı da yapılabilir. Yapılacak bağlantılarda, kimyasal ankrajlar yerine mümkün olduğunca mevcut

betonarme elemanı delip geçen bulonlar kullanılmalıdır. Bu bulonların yerleştirilmesine olanak sağlamak için açılacak delikler matkap ile açılmalı ve delik açılması sırasında mevcut donatıların zarar görmemesine özen gösterilmelidir. Bulonların montajı sonrasında delik ile bulon arası rötne yapmayan yüksek mukavemetli çimento harcı ile doldurulmalıdır. Ankraj elemanlarının aralıkları açılmalı ve bölgesel yük dağılımına sebep olmayacak şekilde ankraj yerleşimine dikkat edilmelidir.



Fotoğraf 3: Mevcut Betonarme Elemanlara Bağlantı için Kullanılan Kimyasal Ankrajlar

BÖÇ elemanlarının bina içerisindeki nakliyesi, uygulama sırasında çeşitli lojistik sorunlara yol açabilir. Çalışma prensibi gereği bu elemanlar tek parça/sürekli halde kullanılmalıdır. Özellikle uzun elemanların mevcut bir bina içerisinde montajının yapılacağı bölgeye taşınmasında önemli problemlere sebep olabilir. Bu sebeple tasarım aşamasında BÖÇ elemanlarının kullanılacakları bölgenin doğru seçimi önemlidir. BÖÇ ile güçlendirme mümkünse bina dışarıdan veya ulaşımı kolay cepheye yakın akslardan yapılmalıdır.



Fotoğraf 4: Dışarıdan BÖÇ Elemanları ile Güçlendirme ve Mevcut Binaya Ankraj Bağlantıları

3.9 Bakım ve Onarım

BÖÇ elemanlarının hizmet süresi boyunca düzenli bir bakıma ihtiyacı yoktur. Yalnızca binada ciddi bir hasara sebep olabileceği değerlendirilen zemin oturması gibi olaylardan sonra BÖÇ elemanının çekirdeğinde bir burkulma yaşanıp yaşanmadığı uç noktaları arasındaki net mesafeden kontrol edilebilmektedir.

Ayrıca, yaşanan büyük bir deprem sonrası da sahada bu elemanların bir uzman tarafından kontrolü tavsiye edilir. BÖÇ elemanlarında tespit edilen hasar durumuna göre kullanımına devamı ya da yenilenmesine karar verilebilir.

Ek olarak, olası bir yangın sonrası BÖÇ elemanlarının ne ölçüde etkilendiği üretici tarafından kontrol edilmelidir. Genel olarak sönümleyici elemanların bağlandığı diğer çelik elemanların standart yangın dayanımları bu çerçevede dikkate alınabilir. Ancak BÖÇ elemanları için özel bir husus olarak, çekirdek elemanını çevreleyen ve burkulmaya engel olan sürtünmesi düşük dolgu elemanının yangından etkilenme durumudur. Bu elemanların yangın sonrası performansı, elemanın bulunduğu ortamın sıcaklığına, sıcaklığa maruz kalma süresine ve sönümleyici içerisindeki akışkanın özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterecektir. Proje özelinde BÖÇ elemanlarının yangın dayanımı belirlenerek, üreticiden buna uygun bir üretim yapması talep edilebilir.

Öte yandan, BÖÇ elemanların çevresel koşullardan etkilenmesine karşı özel kaplamalar kullanılabilir. Genellikle yangın dayanımını artırmak için veya korozyon etkisine karşı özel boya ve kaplama kullanılabilir. Bunlara ilaveten estetik sebeplerle de paslanmaz ve galvaniz kaplama uygulamaları tercih edilebilir.

4. SÖNÜMLEYİCİ CİHAZLARIN BETONARME BİNALARIN GÜÇLENDİRMESİNDE KULLANIMI

4.1 Giriş

Sönümleyiciler, yapıya tasarım aşamasında veya sonradan eklenerek toplam sistem sönümünü artıran ve günümüz teknolojileri arasında önemli bir yeri olan cihazlardır. Bu cihazlar, yer hareketiyle birlikte şekil değiştirerek, yapıya etkiyen toplam deprem enerjisini sönümlemeyi amaçlar. Bu sayede yapı istenilen performans düzeyini sağlayacak şekilde gereken özelliklere sahip sönümleyici cihazlar ile güçlendirilerek yer hareketinin yapı üzerindeki etkileri en aza indirilmeye çalışılır.

Seçilen sönümleyici cihazların özellikleri ve çalışma prensiplerinin, yapı hedef performans talepleri göz önüne alınarak belirlenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde yapı davranışını iyileştirmesi amaçlanan sönümleyici cihazların, hedef performans düzeyi koşullarının sağlanması için yeteri kadar etkili çalışmayacağı unutulmamalıdır.

Sönümleyiciler çalışma prensipleri ve sönüm mekanizmaları bakımından farklılık göstermektedir. Sönümleyici seçimine; yapının taşıyıcı sistemine, yapıda hangi zayıflıkların olduğuna, deprem yer hareketi düzeyine, yapı performans düzeyine ve çevresel etkilere göre karar verilebilir. Seçilen sönümleyicinin yapıda mevcut eksiklikleri giderecek yeterli kapasiteye sahip olması ve aynı zamanda yapı karakteristiği ile uyumlu olması büyük önem taşır. Yapıların deprem davranışını iyileştirmek için bu faktörler göz ardı edilmemeli ve tasarım sonrası gerekli kontroller yapılmalıdır. Böylece sönümleyici cihazlar, hedeflenen performansı sağlamak için önemli bir mühendislik uygulaması olacaktır.

Bu bölüm, **viskoz sönümleyici** cihazların betonarme binalarda güçlendirme amacıyla kullanımına ilişkin tasarım ve uygulama esaslarını sunmayı amaçlamaktadır. Giriş bölümünde, bu yöntemin temel avantajları ve kullanıldığı tipik senaryolar kısaca ele alınmakta ve takip eden bölümlerde ise teknik detaylar ile tasarım prosedürleri adım adım açıklanmaktadır.

Bu çerçevede, sönümleyici cihazların kullanımı ile ilgili tasarım süreci aşağıdaki adımlarla detaylandırılmıştır:

- Temel gereksinimler ve kullanım kısıtları,
- Ön tasarım ve kesin tasarım yaklaşımları,
- Sahada uygulama esasları,
- Bakım ve onarım gereksinimleri,

TBDY-2018'de sönümleyiciler ile ilgili bir bölüm bulunmamaktadır. Bu nedenle bu bölüm uluslararası tasarım standartları ve kılavuzları (ASCE 41-23, ASCE 7-22 v.d.) çerçevesinde ele alınmış olup hem mühendislerin hem de uygulamacıların kullanımına yönelik pratik ve kapsamlı bilgiler sunmaktadır.

4.2 Temel Gereksinimler ve Kullanım Kısıtları

Sönümleyici cihazların betonarme binalarda etkili bir şekilde kullanılabilmesi ve istenilen performansın elde edilebilmesi için doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Bu bağlamda, **doğrusal olmayan statik itme analizleri** yapıların doğrusal ötesi davranışlarını değerlendirmede etkili bir yöntemdir. Bu analiz yöntemi birinci mod hareketi etkin olmayan ve kütle katılım oranları düşük olan yapılar için uygun değildir. Yapı genel davranışının anlaşılabilmesi için doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemi bir seçenektir. Öte yandan bu yapıların gerçek performansları **zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik** analizler ile kontrol edilmelidir.

Sönümleyici cihazların sisteme bağlandığı noktalarda sönüm oranı daha yüksektir. Her ne kadar viskoz sönümleyicilerin yapıya ek rijitlik yaratmadığı sıkça ifade edilse de, ihmal edilebilecek düzeydeki rijitlik göz ardı edilmemeli, planda ve düşeyde yapıda herhangi bir düzensizliğe sebep olmayacak şekilde düzgün olarak yerleştirilmelidir. Sönümleyici cihazların kat içindeki düzeni yapının burulma etkilerine maruz kalmasını önleyecek şekilde konumlanmalıdır. İlgili şartların sağlanamadığı durumlarda yapıya etkiyecek ek burulma etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.

Her iki ortogonal doğrultuda ve ağırlık merkezinin her iki tarafında en az ikişer sönümleyici cihaz olacak şekilde her katta en az 4 sönümleyici cihaz bulunması tavsiye edilir. Yapının her katında sönümleyici cihaz bulunmuyorsa **zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler dışında yapılan diğer analizler** hatalı sonuçlara sebep olabilir.

4.3 Şekildeğiştirmeye Dayalı Ön Tasarım

Sönümleyici cihazların şekildeğiştirmeye dayalı ön tasarımı için oluşturulan bu bölüm, **Taylor Devices Inc. Damper Design Manual** [1] 'dan uyarlanmıştır.

Mevcut bir yapının güçlendirme ihtiyacının belirlenmesi sürecinde, öncelikle yapıya ait doğrusal olmayan davranışın incelenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, hedeflenen performans seviyesine ulaşabilmesi için gerekli yer değiştirme değerlerinin tespiti amacıyla, yapının taban kesme kuvveti ile kontrol noktası ötelemesi arasındaki ilişkiyi gösteren grafik belirlenmelidir. Bu grafik yapıya ilişkin doğrusal olmayan statik itme analizinin gerçekleştirilmesiyle elde edilebilir.

4.3.1 Statik İtme Analizleri

Statik itme analizi, yapı davranışının detaylı bir şekilde analiz edilmesini sağlamayı amaçlar. Analizlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda kat rijitlikleri ve eleman performansları belirlenir. Bu analizler, yapının hem doğrusal hem de doğrusal olmayan davranışların değerlendirilmesine olanak tanır. Özellikle akma sonrası yük taşıma kapasitesindeki değişimler ve süneklik gibi kritik parametrelerin tespiti, güçlendirme tasarımı ve performans değerlendirmesi açısından önemli bilgiler sunar.

Statik itme analizi, yapının ilgili doğrultuda mod şekline uygun olarak itildiği durumda, katlar arasındaki rijitlik ve deformasyon farklılıklarının belirlenmesinde olanak sağlamaktadır. Bu sayede, yapının yatay ve düşey doğrultulardaki düzensizliklerin kontrolü mümkün olur. Statik itme analizine göre, her kat seviyesinde değişen kütle ve rijitlik nedeniyle katların

davranışları farklılık gösterebileceğinden her bir kat seviyesi için farklı güçlendirme talepleri ortaya çıkabilir. Katlarda belirlenen güçlendirme ihtiyaçlarındaki farklılık var ise düzey düzensizlik oluşturmasına izin verilmemelidir.

4.3.2 Hedef Performans Yer Değiştirmeleri

Mod şeklinin düzgün ve kütle katılımının yüksek olduğu durumlarda, binanın mevcut durumu için belirlenen hedef performans yer değiştirmeleri, mod şekli dikkate alınarak kullanılan analiz programından veya TBDY-2018 Ek 5B'ye göre belirlenebilir. Mod şeklinin düzgün ve kütle katılımının yüksek olmadığı durumlarda yapı mod şeklinden bağımsız ve düğüm noktalarının kütleleriyle orantılı olarak ilgili doğrultular için ayrı ayrı itilebilir.

Güçlendirme durumunda her bir kat seviyesi için belirlenecek hedef yer değiştirmeler ise; ilgili katın taşıyıcı elemanlarının performans seviyelerinin hedeflenen düzeye ulaştığı yatay öteleme seviyesi olarak göz önüne alınmalıdır. Bu aşamada TBDY-2018'de tanımlanan performans kriterleri ve sınır değerler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sebeple statik itme analizler sonucu yapı elemanlarının performanslarını daha iyi anlamak amacıyla hedef yer değiştirme değerinin ötesine geçecek şekilde uzatılmaktadır.

4.3.3 Sönüm Oranının Belirlenmesi

Yapıya sönümleyici cihazlar eklenerek deprem kuvvetleri kaynaklı taleplerin azaltılması hedeflenmektedir. Hıza bağlı sönümleyici cihazlar, statik itme analizlerinde yapıya ilave rijitlik sağlamazlar. Bu tür analizlerde sönümleyici cihazların etkisi, spektral ivme değerleri azaltılarak dikkate alınır. Buna karşılık, dinamik analizlerde sönümleyici kuvvetler; sönüm katsayıları ve etkin rijitlikleri matematiksel modele dahil edilerek, eleman uçlarındaki göreceli hızlara bağlı olarak hesaplanır.

Gerekli sönüm oranı belirlenirken, öncelikle TBDY-2018 Ek 5B'ye göre, ilgili doğrultunun hâkim modu göz önünde bulundurularak her kat seviyesi için yer değiştirme talepleri belirlenmelidir. Bu kat seviyeleri için, TBDY-2018 Bölüm 15.8.4'e göre belirlenen hedef performans düzeyi limitlerini sağlayan en büyük yer değiştirme değerleri ayrıca bulunur. Bulunan yer değiştirme talepleri, her kat seviyesinde hedef performans değerlerini sağlayan yer değiştirme değerlerine bölünmelidir. Bulunan oran ilgili katlarda gerekli olan talepleri azaltma katsayısı, diğer bir deyişle sönüm düzenleme katsayısı (η), olarak adlandırılabilir. Denklem (4.1), sönüm düzenleme katsayısı kullanılarak elde edilen sönüm oranını ifade etmektedir.

$$\frac{\Delta_{hp,ij}}{\Delta_{h,ij}} = \eta_{1,ij} = \sqrt{\frac{10}{5 + \beta_{ij}}} \quad (4.1)$$

$\Delta_{h,ij}$: i doğrultusu kat j için hedef yer değiştirme

$\Delta_{hp,ij}$: i doğrultusu kat j için hedef performans yer değiştirmesi

$\eta_{1,ij}$: i doğrultusu kat j için sönüm düzenleme katsayısı

β_{ij} : i doğrultusu kat j için sistem sönüm oranı (%)

Sönümleyici cihazların kullanıldığı güçlendirme tasarımlarında, sönüm oranına ilişkin kesin bir üst sınır bulunmamaktadır. Bununla birlikte, cihazların uygulama sırasında gösterebileceği davranış farklılıkları ile analiz sonuçları arasındaki olası sapmalar dikkate alınarak, tasarım aşamasında sönüm oranı için pratik bir üst limit olarak %30 değerinin kabul edilmesi uygun görülmektedir.

Sönüm oranının %30'a eşit olduğu durumda, sönüm düzenleme katsayısı (η_{ij}) yaklaşık olarak 0.55 hesaplanmıştır. Bu nedenle, yer değiştirme talepleri %45 azaltılan yapılar, azaltılmış yer değiştirme değerlerinde hedef performans limitlerini sağlamıyorsa yapıların öncelikle geleneksel güçlendirme yöntemleriyle güçlendirilip şekil değiştirme kapasitelerinin ve gerekli olması halinde rijitliklerinin artırılması gerekmektedir. Güçlendirilen yapılar için, yukarıda tarif edilen sönüm oranını belirlemek üzere izlenen aşamalar tekrarlanarak yeni sönüm oranları belirlenmelidir.

4.3.4 Viskoz Sönümleyici Cihaz Özelliklerinin Belirlenmesi

Sönümleyici cihazların özellikleri belirlenirken, planda her iki ortogonal doğrultu için sönümleyici cihaz yerleşimleri ve adetleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla birlikte sönümleyici cihazların düşeydeki dağılımları hem analiz yöntemi hem de sönümleyici özellikleri belirlenirken dikkat edilmesi gereken unsurlardan biridir. Bu faktörler dikkate alınarak sönümleyici cihazlar uygun gruplar halinde sınıflandırılarak ekonomik bir tasarım yapılabilir. Sönümleyici cihazlar, toplam sayıları uygun olduğu takdirde her çeşitten en az 8 adet olacak şekilde seçilerek optimum tasarım elde edilebilir.

Sönümleyici cihazların sönüm katsayıları, C_{ij} , hedef performans düzeyinin gerektirdiği deprem yer hareketine göre belirlenecektir. Bu nedenle sönümleyici cihazların sönüm katsayılarının hesaplarında kullanılacak olan statik itme analizlerinden veya TBDY-2018 Ek 5B'ye göre elde edilen yer değiştirme talepleri performans düzeyine göre seçilen tasarım spektrumları kullanılarak bulunacaktır.

Sönümleyici cihazların yük taşıma kapasiteleri, F , her zaman en büyük deprem yer hareketi düzeyine göre hesaplanacaktır. Bu durumda yer değiştirme talepleri DD-1 tasarım ivme spektrumuna göre belirlenip buna göre sönüm düzenleme katsayıları bulunmalıdır. Bulunan bu sönüm düzenleme katsayılarına ve elde edilen sönüm oranlarına göre hesap edilen sönüm katsayıları, C , kullanılarak sönümleyici cihaz kapasiteleri belirlenecektir.

Yapılan statik itme analizleri yardımıyla her kat seviyesi için kat rijitlikleri belirlenip, doğrusal sönüm katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$C_{L,ij} = \beta_{ij} \frac{k_{ij} T_i}{n_{ij} \pi} \frac{1}{\cos^2 \theta_{ij}} \quad (4.2)$$

β_{ij} : i doğrultusu kat j için sönüm oranı

k_{ij} : i doğrultusu kat j kat rijitliği

n_{ij} : i doğrultusu kat j için sönümleyici cihaz sayısı

T_i : i doğrultusu için yapı hakim periyodu



θ_{ij} : i doğrultusu kat j için sönümleyici düşey açısı

$C_{L,ij}$: i doğrultusu kat j için sönümleyici doğrusal sönüm katsayısı

Viskoz sönümleyici kuvvetleri aşağıdaki adımlar takip edilerek bulunacaktır. Ancak öncelikle her bir sönümleyici cihaz tipi için ilgili kattaki tasarım hız değeri hesaplanmalıdır.

$$v_{ij} = \frac{2\pi}{T_i} d_{ij} \quad (4.3)$$

v_{ij} : i doğrultusu kat j için sönümleyici tasarım hız değeri

d_{ij} : i doğrultusu kat j için hedef performans yer değiştirmesine göre uç yer değiştirmeler

Tasarım hız değeri hesabında kullanılan hedef yer değiştirme aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$d_{ij} = H_j \times \%SDR_{ij} \times \cos\theta_{ij} \quad (4.4)$$

H_j : Kat i yüksekliği

$\%SDR_{ij}$: i doğrultusu kat j için hedef performans görelisi ötelemesi

Viskoz sönümleyici cihazlar için doğrusal tasarım kuvveti, doğrusal sönüm katsayısı ve sönümleyici tasarım hız değerinin çarpımı ile aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$f_{ij,L} = C_{ij,L} \times |v_{ij}|^\alpha \quad (4.5)$$

$f_{ij,L}$: i doğrultusu kat j için sönümleyici doğrusal eksenel kuvveti

α : Hız üs değeri

Yukarıda hesaplanan sönümleyici kuvveti, hız üs değerinin, α , 1'e eşit olduğu, hız ile kuvvetin doğrusal etkileşim içinde olduğu durum için hesaplanan doğrusal kuvvettir. Sönümleyici cihazın eksenel kuvveti, doğrusal olmayan kuvvet-hız ilişkisi kullanılarak doğrusal olarak hesaplanan değerden daha düşük bir değere, aynı sönüm kapasitesini sağlayacak şekilde indirilebilir. Bu durumda çalışma kapsamında kullanılan Taylor Inc. kataloglarına göre α katsayısı 0.4 seçilmelidir. Bu değer üreticilerin yaptığı testlere göre elde edilen ve kataloglarda belirtilen değerler dikkate alınarak seçilmelidir. Birtakım üreticiler doğrusal olmayan tek eğri kuvvet-hız diyagramı yerine çift doğrusal (bilinear) kuvvet-hız etkileşim diyagramları sunmaktadır. Bu durumda, söz konusu diyagram doğrudan matematiksel modele tanımlanmalı veya tek eğrili eşdeğer davranış modeli tercih seçilmelidir.

Doğrusal olmayan sönüm katsayısı ve sönümleyici cihazın eksenel kuvvetini hesaplamak için aşağıdaki formüllerden yararlanılabilir.

$$C_{ij,NL} = C_{ij,L} v_{ij}^{(1-\alpha)} \quad (4.6)$$

$C_{ij,NL}$: i doğrultusu kat j için sönümleyici doğrusal olmayan sönüm katsayısı



$$f_{ij,NL} = C_{j,NL} x |v_{ij}|^{\alpha} \quad (4.7)$$

$f_{ij,NL}$: i doğrultusu kat j için sönümleyici doğrusal olmayan eksenel kuvveti

Hesaplanan $f_{ij,NL}$, sönüm katsayısı $C_{ij,NL}$, t anındaki hızı, v_{ij} , olan sönümleyici cihazın, t anındaki eksenel yüküdür.

En büyük deprem yer hareketine göre belirlenecek olan sönümleyici cihaz kapasitesinin hesaplamalarında kullanılacak olan sönümleyici hızı, $v_{i,DD-1}^*$, Denklem (4.8)'e göre düzeltilecektir.

$$v_{ij,DD-1}^* = A_1 A_v v_{ij,DD-1} \quad (4.8)$$

$$A_v = 1.1 + 0.1n_s \quad (4.9)$$

$$A_1 = 0.85 \frac{\Delta_2/h_{s,2}}{\Delta_1/h_{s,1}} \quad (4.10)$$

$v_{ij,DD-1}$: DD-1 deprem yer hareketine göre belirlenen ötelemeler kullanılarak hesaplanan sönümleyici cihaz tasarım hız değeri

A_1 : 1. Kat akması için büyütme katsayısı

A_v : Yapı yüksek modları için büyütme katsayısı

n_s : Sönümleyici olan toplam kat sayısı

Δ_1, Δ_2 : Kat 1 ve kat 2 için hedef performans yer değiştirmesi

$h_{s,1}, h_{s,2}$: 1. ve 2. kat yükseklikleri

$$f_{ij,NL,DD1} = C_{ij,NL} x |v_{ij,DD-1}^*|^{\alpha} \quad (4.11)$$

$f_{ij,NL,DD1}$: i doğrultusu kat j için en büyük deprem yer hareketine göre bulunan sönümleyici kapasitesi

Sönümleyici cihazın çapraz yerleştirileceği durumda bağlandığı çelik elemanın rijitliği belirlenirken dayanım fazlası katsayısı ile artırılan tasarım hız değerleri ve sönümleyici cihaz üst limit özellikleri kullanılarak sönümleyici cihazın eksenel kuvveti belirlenmeli ve bulunan değere göre çelik çapraz eleman kesiti seçilmelidir.

$$F_{ij,NL} = R_v x C_{ij,NL} x |\Omega_v v_{ij,DD-1}^*|^{\alpha} \quad (4.12)$$

$$K_E = \frac{5F_{ij,NL}}{d_{ij}} \quad (4.13)$$

$$A_E = \frac{K_E L_{ij}}{E} \quad (4.14)$$



F_{ij,NL}: Dayanım fazlası sönümleyici cihaz eksenel kuvveti

R_v: Sönümleyici üst limit katsayısı

Ω_v: Dayanım fazlası katsayısı

K_E: Gereken çelik çapraz eksenel rijitliği

L_{ij}: i doğrultusu kat j için sönüm sistemi bağlantıları arası mesafe

A_E: Gereken çelik bağlantı elemanı kesit alanı

Çelik çapraz kesitlerinin belirlenmesiyle birlikte, sönümleyici sistemin eşdeğer rijitliği hesaplanıp sönümleyici cihaz ön tasarımı tamamlanacaktır. Sönümleyici cihaz rijitlikleri üreticilerin sağladığı kataloğlardan alınacaktır.

$$\frac{1}{K_D} + \frac{1}{K_B} = \frac{1}{K_E} \quad (4.15)$$

K_D: Sönümleyici cihaz rijitliği

K_B: Çelik çapraz eksenel rijitliği

K_E: Sönüm sistemi eşdeğer rijitliği

4.4 Kuvvete Dayalı Ön Tasarım

Kuvvete dayalı yöntemde doğrusal olmayan statik itme analizlerinden elde edilen kapasite eğrisi ve hedef performans yer değiştirmeleri sırasıyla 4.3.1 ve 4.3.2'de tarif edildiği gibi bulunacaktır.

4.4.1 Sönüm Oranının Belirlenmesi

Sönümleyici cihazların eklenmesiyle yapıya ilave edilecek sönüm oranı için, yapı doğal sönüm oranı ile birlikte başlangıç değeri olarak %30 kabul edilebilir.. Doğrusal olmayan statik itme analizlerinde bu sönüm oranına göre azaltılmış spektrum dikkate alınarak hedef yer değiştirme belirlenip, belirlenen yer değiştirmede yapı performansı kontrol edilir. Seçilen sönüm oranı, en çok %30 olması koşuluyla, hedef performans düzeyi kriterleri sağlanacak şekilde değiştirilebilir. Bu aşamada belirlenen sönüm oranı, sönümleyici cihaz ön tasarımında kullanılacaktır.

Sönüm oranının %30 olarak alındığı durumda hedef performans koşulları sağlanmaması halinde, bu sönüm oranına karşılık gelen azaltılmış tasarım ivme spektrumu esas alınarak hesap edilen taban kesme kuvvetine göre gerekli güçlendirme uygulamaları yapılmalıdır. Gereken güçlendirme uygulamalarının belirlenmesinde esas alınacak taban kesme kuvvetlerinin hesabında, doğrusal olmayan statik itme analizlerinden elde edilen yapı davranış katsayısı dikkate alınmalıdır. Bu yöntemle, yapılacak güçlendirme uygulamalarının en uygun şekilde belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Sönümleyici cihazların sistem içerisindeki sönüm katkısı, bu cihazların uçları arasındaki göreceli yer değiştirmeye bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla, başlangıç sönüm oranının

seçiminde, güçlendirilen yapının taşıyıcı sistem özellikleri dikkate alınmalı ve yapılacak iterasyonları azaltmak amacıyla başlangıçta uygun bir sönüm oranı varsayılmalıdır.

4.4.2 Viskoz Sönümleyici Cihaz Özelliklerinin Belirlenmesi

Sönümleyici cihazların planda her iki ortogonal doğrultu için sönümleyici cihaz yerleşimleri ve adetleri ön tasarım aşamasında cihaz özellikleri belirlenirken göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla birlikte, sönümleyici cihazların düşeydeki dağılımları, hem analiz yöntemi hem de sönümleyici cihaz özellikleri belirlenirken dikkat edilmesi gereken unsurlardan biridir. Bu faktörler dikkate alınarak ön tasarımda sönümleyici cihazlar uygun gruplar halinde sınıflandırılarak ekonomik bir tasarım yapılabilir. Sönümleyici cihazlar, toplam sayıları uygun olduğu takdirde kullanılan her bir sönümleyici elemandan en az 8 adet olacak şekilde seçilerek optimum tasarım elde edilebilir.

Sönümleyici cihazların sönüm katsayıları, C_{ij} , hedef performans düzeyine uygun olarak belirlenen deprem yer hareketine göre Denklem (4.16) kullanılarak hesaplanacaktır. Denklem (4.16) göre sönümleyici cihazın aksel kuvveti ile sönüm katsayısı arasındaki ilişki α ile belirlenmektedir. Bu durumda, sönümleyici cihaz tasarım hız üs değerinin 1'e eşit olduğu takdirde, sönümleyici cihazın aksel kuvveti ile sönüm katsayısı arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Sönümleyici cihazın aksel kuvveti için doğrusal olmayan kuvvet-hız etkileşimi kullanılarak daha küçük değerler hesaplanabilir. Bu sebeple α katsayısı için 1'den küçük bir değer seçilmelidir.

$$f_{ij} = C_{ij} x |v_{ij}|^{\alpha} \quad (4.16)$$

f_{ij} : i doğrultusu kat j için sönümleyici cihaz aksel yükü

C_{ij} : i doğrultusu kat j için sönümleyici cihaz sönüm katsayısı

v_{ij} : i doğrultusu kat j için sönümleyici cihaz tasarım hız değeri

α : Doğrusal olmayan sönümleyici hız üs değeri

Burada belirtilen sönümleyici cihaz aksel yükü hedef performans düzeyine uygun olarak belirlenen deprem yer hareketine karşılık gelen tasarım ivme spektrumu kullanılarak hesaplanmaktadır. Öncelikle karar verilen tasarım ivme spektrumu, 4.4.1'de seçilen sönüm oranına göre elde edilen sönüm düzenleme katsayısı (Bkz. Denklem (4.1)) veya doğrusal olmayan statik itme analizlerinden elde edilen yapı davranış katsayısından, R , karşılaştırılarak küçük olan değer ile azaltılacaktır. Azaltılan spektrum kullanılarak yapının taban kesme kapasitesi hesaplanmaktadır. Hesap edilen taban kesme kuvveti eşdeğer deprem yükü varsayımıyla katlara dağıtıldıktan sonra toplam kat kesme kuvvetleri bulunacaktır. Ön tasarım aşamasında sönümleyici cihazların taşıyacağı yatay yükler buldukları kat seviyesinde hesap edilen kat kesme kuvveti değerlerinin %20'si olarak kabul edilebilir. Bu kuvvetlerin hesabında sönümleyici cihazların kat düzlemiyle yaptığı açı dikkate alınmalıdır.

$$f_{ij} = \frac{V_{ij}}{n_{ij}} * \%20 \quad (4.17)$$

$$V_i = \frac{S_a(T)}{\min(R, \eta)} m \quad (4.18)$$

V_{ij}: i doğrultusu kat j için toplam kat kesme kuvveti

n_{ij}: i doğrultusu kat j için sönümleyici cihaz sayısı

V_i: i doğrultusu için taban kesme kuvveti

S_a(T_i): i doğrultusu için yatay elastik tasarım ivmesi

m: Yapı sismik kütlesi

Denklem (4.16)'de bulunan sönümleyici cihaz tasarım hız değeri aşağıda verilen denklem yardımıyla hesaplanabilir.

$$v_{ij} = \frac{2\pi}{T_i} d_{ij} \quad (4.19)$$

T_i: i doğrultusu için yapı hakim periyodu

d_{ij}: i doğrultusu kat j için belirlenen hedef yer değiştirmeye göre sönümleyici uç yer değiştirmeleri

Tasarım hız değeri hesabında kullanılan sönümleyici uç yer değiştirmeleri aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$d_{ij} = H_i \times \%SDR_{ij} \times \cos\theta_{ij} \quad (4.20)$$

H_i: Kat i yüksekliği

%SDR_{ij}: i doğrultusu kat j için hedef performans görelisi ötelemesi

θ_{ij}: i doğrultusu kat j için sönümleyici düşey açısı

Sönüm katsayısı (**C_{ij}**) bulunduktan sonra seçilecek sönümleyici cihazların taşıma kapasitesi (**f_{ij,DD-1}**) her zaman en büyük deprem yer hareketi düzeyine göre (DD-1) belirlenecektir ve üreticilerin sağladığı kataloglara göre uygun olan sönümleyici cihaz seçilecektir.

$$f_{ij,DD-1} = C_{ij} \times |v_{ij,DD-1}^*|^{\alpha} \quad (4.21)$$

f_{ij,DD-1}: i doğrultusu kat j için en büyük deprem yer hareketine göre bulunan sönümleyici kapasitesi

En büyük deprem yer hareketine göre belirlenen sönümleyici cihaz kapasitesinin hesaplamalarında kullanılacak olan sönümleyici hızı, **v_{ij,DD-1}***, aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanabilir.

$$v_{ij,DD-1}^* = A_1 A_v v_{ij,DD-1} \quad (4.22)$$



$$A_v = 1.1 + 0.1n_s \quad (4.23)$$

$$A_1 = 0.85 \frac{\Delta_2/h_{s,2}}{\Delta_1/h_{s,1}} \quad (4.24)$$

$v_{ij,DD-1}$: DD-1 deprem yer hareketine göre belirlenen ötelemeler kullanılarak hesaplanan sönümleyici cihaz tasarım hız değeri

A_1 : 1. Kat akması için büyütme katsayısı

A_v : Yapı yüksek modları için büyütme katsayısı

n_s : Sönümleyici olan toplam kat sayısı

Δ_i : Kat i hedef performans yer değiştirmesi

h_i : Kat yüksekliği

Sönümleyici cihazın çapraz yerleştirileceği durumda bağlandığı çelik elemanın rijitliği belirlenirken dayanım fazlası katsayısı ile artırılan tasarım hız değerleri ve sönümleyici cihaz üst limit özellikleri kullanılarak sönümleyici cihazın eksenel kuvveti belirlenmeli ve bulunan değere göre çelik çapraz eleman kesiti seçilmelidir.

$$F_{ij,NL} = R_v \times C_{ij,NL} \times |\Omega_v v_{ij,DD-1}^*|^{\alpha} \quad (4.25)$$

$$K_E = \frac{5F_{ij,NL}}{d_{ij}} \quad (4.26)$$

$$A_E = \frac{K_E L_{ij}}{E} \quad (4.27)$$

$F_{ij,NL}$: Dayanım fazlası sönümleyici cihaz eksenel kuvveti

R_v : Sönümleyici üst limit katsayısı

Ω_v : Dayanım fazlası katsayısı

K_E : Gereken çelik bağlantı elemanı eksenel rijitliği

L_{ij} : i doğrultusu kat j için sönüm sistemi bağlantıları arası mesafe

A_E : Gereken çelik bağlantı elemanı kesit alanı

Çelik çapraz kesitlerinin belirlenmesiyle birlikte sönümleyici sistemin eşdeğer rijitliği hesaplanıp sönümleyici cihaz ön tasarımı tamamlanacaktır. Sönümleyici cihaz rijitlik değerleri üreticilerin sağladığı kataloglardan alınacaktır.

$$\frac{1}{K_D} + \frac{1}{K_B} = \frac{1}{K_E} \quad (4.28)$$

K_D : Sönümleyici cihaz rijitliği

K_B: Çelik çapraz aksenal rijitliği

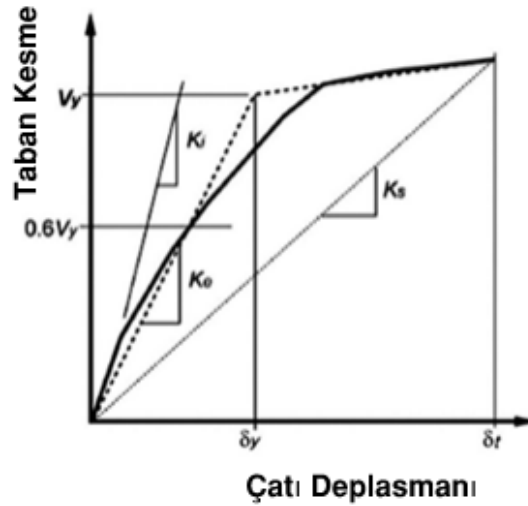
K_E: Sönüm sistemi eşdeğer rijitliği

4.5 Kesin Tasarım

Ön tasarımda belirlenen sönümleyici cihaz özelliklerine en yakın özelliklere sahip sönümleyici cihazlar üretici kataloglarından seçilecektir. Belirlenen özellikler kullanılan analiz programına uygun bir şekilde tanımlanarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler ile sönümleyici cihazların kesin tasarımı tamamlanacaktır.

4.5.1 Doğrusal Olmayan Statik Hesap Yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlere başlamadan önce, seçilen sönümleyici cihazlar ile sistemin sönüm oranı ve yapı performansını değerlendirmek amacıyla doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilebilir.



Şekil 4-1: Doğrusal Olmayan Statik İtme Eğrisi

Bu analiz yönteminde, başlangıç sistem sönüm oranı belirlendikten sonra, yatay elastik spektrum bu sönüm oranına göre azaltılıp, elde edilen azaltılmış spektrum için TBDY-2018 Ek 5B'ye göre yapı hedef yer değiştirilmesi, δ_r , bulunacaktır. Belirlenen hedef yer değiştirme için sönümleyici cihazların sisteme ekledikleri sönüm oranı aşağıdaki denklemler kullanılarak elde edilecektir. Başlangıç tahmini ve hesaplanan sistem sönümü birbirine eşit oluncaya kadar işlem adımları tekrarlanmalıdır. Başlangıç tahmini ile yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen sönüm oranının eşit olduğu durumda, hedef yer değiştirme kullanılarak yapının performans değerlendirilmesi yapılacaktır.

$$\beta_i = \beta + \frac{\sum_j W_j}{4\pi W_k} \quad (4.29)$$

β_i : i doğrultusu m 'inci mod etkin sönüm oranı

β : Yapı doğal sönümü

W_j : Sönümleyici j tarafından, bir tam döngüde, kat yer değiştirmesinde yapılan iş

W_k : Maksimum birim şekil değiştirme enerjisi

$$W_j = \frac{2\pi^2}{T_{ss}} C_j \delta_{rj}^2 \quad (4.30)$$

T_{ss} : Yapı sekant hakim periyodu (viskoz sönümleyici rijitlikleri dahil)

C_j : Sönümleyici j için sönüm sabiti

δ_{rj} : Hedef deplasmanda sönümleyici j uçları arası görelî yer değiştirme

$$T_{ss} = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_{si}}} \quad (4.31)$$

T_i : i doğrultusu için yapı elastik hakim periyodu

K_i : i doğrultusu için yapı elastik rijitliği

K_{si} : i doğrultusu için hedef deplasmanda yapı eşdeğer rijitliği

Doğrusal olmayan statik itme analizlerine göre yapılan kontrollerde elde edilen sönüm oranları ve yapı performansı ön tasarımda kabul edilen değerlere çok uzaksa yapılan ön tasarım ve seçilen sönümleyici cihaz özellikleri gözden geçirilmelidir. Ayrıca, doğrusal olmayan statik itme analizlerinde, sönümleyici cihazları modellemek amacıyla kullanılan bağlantı (link) elemanları yük taşıma kapasitesine sahip değildir. Bu nedenle, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilen sonuçlar ile doğrusal olmayan statik itme analizlerinden elde edilen sonuçların birbirlerinden farklı olabileceği unutulmamalıdır.

4.5.2 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Hesap Yöntemi

Seçilen sönümleyici cihaz özelliklerinin uygunluğu, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları kullanılarak kontrol edilmelidir. Sönümleyici cihazların aktaracağı kuvvetler ve cihazların kapasiteleri, sönümleyici nominal özellikleri kullanılarak, beklenen en büyük deprem yer hareketi için seçilen kayıtlardan elde edilen sonuçların ortalaması alınarak hesaplanabilir. Kapasite korumalı tasarlanacak elemanlar için dikkate alınacak yüklemeler, en büyük deprem yer hareketi ile oluşan sönümleyici eksenel kuvvetlerinin %120'si olarak alınacaktır. Yapı performansı tasarım depremi ile değerlendiriliyorsa, tasarım depremi analiz sonuçlarından elde edilen sönümleyici cihaz hızları hesaplanarak, bu hız değerlerinin %150 si esas alınmak suretiyle, en büyük deprem yer hareketi sonucunda oluşacak sönümleyici cihazın eksenel kuvvetleri hesap edilebilir. Burada not etmek gerekir ki %150 değeri ABD uygulamalarında en büyük deprem (MCE) ile tasarım depremi arasındaki ivme oranlarının 1.5 olarak sabit kabul edilmesinden ileri gelmektedir. Türkiye'de kullandığımız deprem tehlike haritalarında ise bu oran sabit değildir. Dolayısı ile ülkemizdeki tasarımlarda sahaya özgü olarak bu oran göz önünde bulundurulmalıdır.

Bununla birlikte seçilecek en büyük atım boyu, sönümleyici cihazların alt sınır özellikleri esas alınarak ve beklenen en büyük deprem yer hareketi için seçilen kayıtlar üzerinden elde

edilen sonuçların en büyüğü dikkate alınarak belirlenir. Üretici kataloglarında belirtilen cihaz kapasitelerinin, analizlerden elde edilen en yüksek değerleri karşılayacak düzeyde olduğu doğrulanmalıdır. Elde edilen sonuçlar Denklem (4.32)'ten elde edilecek sonuçlarla ayrıca kıyaslanmalıdır.

Yapı doğal sönüm oranının, sönümleyici viskoz etkilerine göre değiştirilmesine izin verilmemektedir. Bu oran, yönetmeliklerce belirlenen kabuller esas alınarak seçilecek ve sönümleyici cihazların sisteme sağladığı sönüm, yapılan analizler sonucu elde edilecektir. Sönümleyici cihazların sağladığı sönüm miktarının kontrolü yapıp, hesap edilen ek sönüm oranının ön tasarımda yapılan başlangıç kabullerine uygunluğu kontrol edilmelidir.

Sönümleyici cihazların performansı, hareket frekansı, sıcaklık (hareket kaynaklı sıcaklık dahil), deformasyon, hız ve sürekli veya çift doğrultulu yüklerden etkileniyorsa, bu etkiler cihazların alt ve üst sınır özellikleri kullanılarak dikkate alınmalıdır.

Gerekli atım boyu ise, kat hedef performans yer değiştirmeleri ile bulunan sönümleyici yer değiştirmeleri, A_1 katsayısı, bina önem katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı dikkate alınarak belirlenecektir. Dayanım fazlalığı katsayısı, bina kullanım sınıfı ve depremelliğe göre Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'te gösterildiği gibi değişmektedir. Bulunan gerekli atım boyu, %3 görelî öteleme için hesaplanan minimum atım boyu S_{min} 'den küçük olmayacaktır.

$$S_{gerekten} = A_1 \times I \times \Omega_d \times d_{ij} \geq S_{min} \quad (4.32)$$

$$S_{min} = 0.03 \times H_i \times \cos\theta_{ij} \quad (4.33)$$

$S_{gerekten}$: Gerekli atım boyu

S_{min} : Atım boyu alt limiti

I: Bina önem katsayısı

Ω_d : Dayanım fazlalığı katsayısı

Tablo 4.1: Deprem Tasarım Sınıfları

Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Değeri	Deprem Tasarım Sınıfları	
	BKS=1	BKS=2,3
$S_{DS} < 0.33$	4a	4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	3a	3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	2a	2
$0.75 \leq S_{DS}$	1a	1

Tablo 4.2: Deprem Tasarım Sınıfına göre Dayanım Fazlalığı Katsayısı

Kat Sayısı	Deprem Tasarım Sınıfı = 3, 3a, 4, 4a			Deprem Tasarım Sınıfı = 1, 1a, 2, 2a		
	$n_s \leq 4$	$5 < n_s < 12$	$12 \leq n_s$	$n_s \leq 8$	$8 < n_s < 14$	$14 \leq n_s$
Ω_d	3.5	$4.0 - 0.125n_s$	2.5	3.5	$4.5 - 0.125n_s$	2.75

4.6 Enerji Sönümleyici Cihazların Test Gereksinimleri

Seçilen enerji sönümleyici cihazların matematiksel modelde kullanılan özellikleri uygulama öncesi yapılacak olan test sonuçlarıyla doğrulanmalı veya daha önce yapılmış olan testlerle cihaz özelliklerinin doğruluğu kanıtlanmalıdır. Ayrıca, hıza bağlı sönümleyicilerin hız üs değerleri de test sonuçları ile uyumlu olmalıdır. Cihaz özellikleri zamana ve/veya sıcaklığa bağlı olarak değişiyorsa bu etki direkt olarak veya sönümleyicilerin alt ve üst sınır özellikleri kullanılarak modellenmede dikkate alınmalı ve alt ve üst sınır özellikleri de yapılmış testlerde doğrulanmış olmalıdır. Bu çerçevede hazırlanan bu bölüm **ASCE 41-23** [2]'ten uyarlanmıştır. Bu bölüm hem Burkulması Önlenmiş Çapraz (BÖÇ) elemanlar hem de viskoz sönümleyici elemanlar için ilgili istisna ve özel koşullar belirtilerek hazırlanmıştır.

Enerji sönümleyici cihazların nominal tasarım özellikleri olarak kabul edilen kuvvet-hız-yer değiştirme ilişkileri ve sönümlenme değerleri, yapılacak testlerle doğrulanmalı veya benzerlik koşullarını karşılayan cihazlara ait önceki test sonuçlarına dayanmalıdır. Bu testler, inşaat için cihazların üretimine başlanmadan önce gerçekleştirilmelidir.

Bu nominal tasarım özellikleri;

- Üretim toleransları,
- Testler sırasında açıkça hesaba katılmayan cihaz özellikleri,
- Çevresel etkiler ve yaşlanma,

gibi faktörleri dikkate alacak şekilde özellik değişimi (λ) katsayıları ile değiştirilmelidir. Bu sayede, enerji sönümleyici yapıların tasarımı ve analizinde kullanılmak üzere alt ve üst sınır özellikleri elde edilir.

Prototip testleri ile belirlenen cihaz nominal özellikleri aşağıda belirtilen $\lambda_{specmax}$ ve $\lambda_{specmin}$ kullanılarak oluşturulan kabul kriterlerini sağlamalıdır. Bu kriterler, malzeme özelliklerindeki olası değişimleri dikkate almalıdır.

$$\lambda_{max} = \lambda_{testmax} \times \lambda_{specmax} \times (1 + SPAF \cdot (\lambda_{aemax} - 1)) \geq 1.2 \quad (4.34)$$

$$\lambda_{min} = \lambda_{testmin} \times \lambda_{specmin} \times (1 - SPAF \cdot (1 - \lambda_{aemin})) \leq 0.85 \quad (4.3536)$$

λ_{test} : Testlerden elde edilen lambda katsayıları

λ_{spec} : Üretim testlerinin ortalamasının, nominal tasarım değerine göre değişimi

λ_{ae} : Cihazın yaşlanma ve çevresel etkilerden kaynaklı özellik değişim katsayısı

SPAF: Sistem özellik ayarlama katsayısı, tüm performans hedefleri için 0.67 olarak alınır.

Analiz yönteminde gerekli olan her bir modelleme parametresi için ayrı ayrı maksimum ve minimum analiz/tasarım özellikleri belirlenmelidir. Burada kastedilen, her parametrenin alabileceği en yüksek ve en düşük değerlerin, yapının davranışı ve sönümleyici cihaz performansı ile ilişkisini anlatmaktır.

Maksimum analiz ve tasarım durumu; maksimum hız katsayıları, rijitlik, dayanım ve enerji sönümlenme kapasitesi ile birlikte değerlendirilmelidir. Minimum analiz ve tasarım durumu da aynı şekilde birlikte değerlendirilmelidir.

Her bir "Sismik Tehlike Seviyesi" için yükler ve yer değiştirmelere karşılık gelen ayrı maksimum ve minimum özellikler belirlenmelidir.

Tüm prototip ve üretim cihazlarında kullanılan imalat ve kalite kontrol prosedürleri aynı olmalıdır. Bu prosedürler, prototip cihazların imalatına başlamadan önce tasarımdan sorumlu mühendis tarafından onaylanmalıdır.

Tüm prototip ve üretim testleri için her bir test döngüsüne ait kuvvet-hız-yer değiştirme ilişkisi elektronik olarak kaydedilmelidir.

4.6.1 Prototip Testleri

Bu bölümde belirtilen testler, tasarımda kullanılan her bir tip ve boyuttaki sönümleyici cihazdan iki adet tam boy cihaz üzerinde ayrı ayrı yapılmalıdır ve belirtilen sıraya göre gerçekleştirilmelidir.

Temsili boyutlardaki her bir cihaz tipi aşağıdaki iki koşul sağlandığı takdirde prototip testleri için kullanılabilir:

1. Yapıda kullanılan her cihaz tipi ve boyutu için imalat ve kalite kontrol prosedürleri aynıdır.
2. Temsili boyutlardaki prototip testleri, yapının tasarımından sorumlu mühendis tarafından onaylanmıştır.

Test numuneleri, yapının tasarımından sorumlu mühendis tarafından onaylanmadıkça ve prototip ile üretim test gereksinimlerini karşılamadıkça inşaatta kullanılmamalıdır.

Aşağıda belirtilen tüm test sıralamaları için, her bir sönümleyici cihaz, monte edildiği durumları temsil eden yerçekimi yükü etkilerine ve termal çevre koşullarına maruz bırakılmalıdır.

Prototip testlerinin bu bölümde tanımlanan sıralamasından önce, 4.6.2'ye uygun olarak bir üretim testi gerçekleştirilmelidir ve bu testten elde edilen veriler, üretim sönümleyicileri üzerindeki sonraki testlerle karşılaştırma yapmak için referans olarak kullanılmalıdır.

1. Her bir cihaz tasarımda öngörülen fırtına yüklemesi kadar çevrim sayısı ile ancak en az 2.000 tam tersinir çevrimsel yük (yer değiştirmeye bağlı ve viskoelastik cihazlar için) veya yer değiştirme (viskoz cihazlar için) altında test edilmelidir. Bu testler, tasarlanan fırtınadaki genlikte ve yapının temel periyodunun tersi frekansında gerçekleştirilmelidir.

İSTİSNA: Rüzgâr kaynaklı kuvvetlere veya yer değiştirmelere maruz kalmayan cihazlar bu testlere tabi tutulmak zorunda değildir. Toplam rüzgâr yer değiştirmesini statik, psuedo-statik ve dinamik bileşenlere ayıran alternatif yükleme protokolleri de kabul edilebilir.

2. Her bir cihaz aşağıdaki test sıralamasına tabi tutulmalıdır. Tüm testler, güçlendirilmiş yapının temel titreşim periyodunun tersi frekansında yapılacaktır:
 - (a) Enerji sönümleyici cihazda, DD-1 yer değiştirmesinin %33'ü veya DD-2 yer değiştirmesinin %67'sine karşılık gelen yer değiştirme ile 10 tam tersinir çevrim.
 - (b) Enerji sönümleyici cihazda, DD-1 yer değiştirmesinin %67'si veya DD-2 yer değiştirmesinin %133'üne karşılık gelen yer değiştirme ile 5 tam tersinir çevrim.
 - (c) Enerji sönümleyici cihazda, DD-1 yer değiştirmesinin %100'ü veya DD-2 yer değiştirmesinin 2 katına karşılık gelen yer değiştirme ile 3 tam tersinir çevrim.
3. Eğer sönümleme cihazının özellikleri çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişiyorsa, madde 2'deki (a) ila (c) testleri en az iki farklı sıcaklıkta (tasarım sıcaklık aralığını kapsayan minimum ve maksimum sıcaklıklar) en az bir cihaz üzerinde gerçekleştirilmelidir.

İSTİSNA: Aşağıdaki tüm koşullar sağlandığı sürece, enerji sönümleyici cihazlar için yukarıda belirtilmeyen farklı test yöntemlerine izin verilir:

- (a) Önerilen yöntem ile çevrimsel testler arasında eşdeğerlik gösterilebilmelidir,
 - (b) Önerilen yöntem, cihazın çevresel sıcaklığa, yükleme frekansına ve test sırasında sıcaklık artışına karşı tepkisini yansıtmalıdır,
 - (c) Önerilen yöntem tasarımdan sorumlu mühendis tarafından onaylanmalıdır.
4. Eğer sönümleyici cihazın kuvvet-deformasyon özellikleri, DD-1 yer değiştirmesine (veya sınırlı performans hedefi (LPO) için DD-2'nin iki katına) kadar herhangi bir yer değiştirmede, test frekansı $1/(1.5T_1)$ ile $2.5/T_1$ arasında değiştiğinde %15'ten fazla değişiyorsa yukarıda belirtilen testler [2(a)–2(c)] ayrıca $1/T_1$ ve $2.5/T_1$ frekanslarında da gerçekleştirilmelidir.

İSTİSNA: Tam boyutlu dinamik testlerin, test cihazı kapasite ve boyut sınırlamaları nedeniyle yapılamaması durumunda, ölçeklendirme prensipleri ve benzerlik kuralları uygulanarak tasarlanmış ölçek küçültülmüş prototipler kullanılarak sönümleyici cihazların hız-bağımlı özelliklerinin doğrulanmasına izin verilir.

Benzer Cihazların Test Edilmesi

Aşağıdaki tüm koşulların sağlanması halinde daha önce prototip testi yapılmış belirli bir sönümleme cihazı için prototip testlerinin yapılmasına gerek yoktur:

1. Söz konusu sönümleme cihazıyla benzer boyutsal özelliklere, iç yapıya ve varsa statik ve dinamik iç basınçlara sahip,
2. Söz konusu sönümleme cihazıyla aynı türde ve aynı malzemelerden üretilmiş,
3. Söz konusu cihazla aynı belge özelliklerine sahip imalat ve kalite kontrol prosedürleri ile üretilmiş,
4. Söz konusu cihazla benzer en büyük atım ve kuvvetler altında test edilmiş,

Ayrıca aşağıdaki koşullar da sağlanmalıdır:

1. Tüm ilgili test verileri, tasarımdan sorumlu olan mühendise sunulmalı ve onaylanmalıdır.
2. Üretici, daha önce test edilmiş cihazların benzerliğini, tasarım sorumlusu mühendisi tatmin edecek düzeyde belgelemelidir.
3. Önceki test programına ilişkin verilerin sunumu, tasarım sorumlusu mühendis tarafından yazılı onay ile doğrulanmalıdır.

Kuvvet–Hız–Yerdeğiştirme Özelliklerinin Belirlenmesi

Enerji sönümlenme cihazının kuvvet–hız–yer değiştirme karakteristikleri, 4.6.1'de belirtilen çevrimsel yük ve yer değiştirme testlerine ve aşağıdakilere dayalı olarak belirlenmelidir:

1. Her deformasyon çevrimi için:
 - o Sıfır yer değiştirmedeki maksimum ve minimum kuvvet,
 - o Maksimum cihaz yer değiştirmesindeki maksimum ve minimum kuvvet,
 - o Histerezis döngüsünün alanı (E_{loop}) hesaplanmalıdır.

Gerekirse, rijitlik gösteren bir enerji sönümlenme cihazının etkin rijitliği, (K_{eff}), her deformasyon çevrimi için aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmalıdır:

$$K_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} \quad (4.37)$$

Burada F^+ ve F^- , sırasıyla Δ^+ ve Δ^- yer değiştirmelerinde hesaplanan kuvvetlerdir. Etkin rijitlik, 4.6.1'de verilen test yer değiştirmelerinde belirlenmelidir.

(a) Rijitlik gösteren bir enerji sönümlenme cihazının eşdeğer viskoz sönümlenmesi (β_{eff}) her deformasyon çevrimi için aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmalıdır:

$$\beta_{eff} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{E_{loop}}{K_{eff} \cdot \Delta_{ave}^2} \quad (4.38)$$

Burada:

- o K_{eff} , yukarıdaki denklem kullanılarak hesaplanır.
 - o E_{loop} , bir tam kuvvet-yer değiştirme çevriminde oluşan döngü alanıdır.
 - o Δ_{ave} , Δ^+ ve Δ^- mutlak değerlerinin ortalamasıdır.
2. Analiz ve tasarım için sönümlenme cihazının nominal test özellikleri, belirli bir yer değiştirme için yapılan testin ilk üç çevriminin ortalama değeri baz alınarak belirlenmelidir. Her testin çevrimsel etkiler için lambda faktörleri (λ_{test}), nominal değerlerle karşılaştırılarak hesaplanmalıdır.

3. Hız ve sıcaklık için lambda (λ) faktörleri, tam boyutlu prototip test verileri mevcutsa, çevrimsel etkiler de göz önünde bulundurularak belirlenmelidir. Eğer bu veya benzer etkiler ayrı testlerle tespit edilmişse, prototip test koşullarında elde edilen özellikler ile, ilgili değişkenin test koşulları altında belirlenen özellikler karşılaştırılarak lambda faktörleri hesaplanmalıdır.

Cihazın Yeterliliği

Bir prototip cihazın performansı, aşağıdaki koşulların tümü sağlandığında yeterli kabul edilir. Aşağıda belirtilen %15'lik sınırlar, yapının tasarımından sorumlu mühendis tarafından artırılabilir; ancak bu artışın, analiz yoluyla yapının davranışı üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığı gösterilmelidir.

Prototip sönümleyici cihazların performansı aşağıdaki koşullar ile yer değiştirmeye ve hıza bağlı cihazlar için ayrı ayrı verilen tüm koşullar sağlanırsa kabul edilebilir sayılır:

1. Test 1: Cihazda hasar, sızıntı, akma ya da kırılma gibi işaretler görülmemelidir.
2. Test 2, 3 ve 4: Cihazın herhangi bir çevrimdeki sıfır yer değiştirmedeki maksimum ve minimum kuvvetleri, aynı testteki tüm çevrimlerde hesaplanan ortalama değerlere göre %15'ten fazla farklılık göstermemelidir (spesifik frekans ve sıcaklıkta).
3. Test 2, 3 ve 4: Cihazın herhangi bir çevrimdeki histerezis döngüsü alanı (E_{100p}), aynı testteki tüm çevrimlerden elde edilen ortalama değere göre %15'ten fazla sapma göstermemelidir.
4. Testlerde elde edilen değerler, 4.6 bölümünün başında belirtildiği gibi tasarım sorumlusu mühendis tarafından belirlenen sınırları aşmamalıdır.


Yer değiştirmeye Bağlı Cihazlar

Yer değiştirmeye bağlı prototip sönümlenme cihazlarının performansı, yukarıdaki genel koşullara ek olarak, aşağıdaki kriterlerin de sağlanması durumunda yeterli kabul edilir:

1. Test 2, 3 ve 4: Cihazın herhangi bir çevrimdeki maksimum yer değiştirmedeki maksimum ve minimum kuvvetleri, aynı testteki tüm çevrimlerden elde edilen ortalama değerlerden %15'ten fazla sapmamalıdır (spesifik frekans ve sıcaklıkta).
2. Test 2, 3 ve 4: Her bir test için, sıfır ve maksimum yer değiştirmedeki ortalama maksimum/minimum kuvvetler ile histerezis alanı (E_{100p}), tasarım sorumlusu mühendis tarafından belirlenen hedef değerlerden %15'ten fazla sapmamalıdır.
3. Bölüm 4.6, Madde 2(c)'deki test için, yukarıdaki ortalama kuvvet ve enerji değerleri, tasarım sorumlusu mühendis tarafından tanımlanan nominal özellikler ve spesifikasyon toleransı lambda faktörleri ($\lambda_{speC,max}$ ve $\lambda_{speC,min}$) sınırları içinde olmalıdır.

Hıza Bağlı Sönümlenme Cihazları

Hıza bağlı prototip sönümlenme cihazlarının performansı, genel gerekliliklerin yanı sıra aşağıdaki koşullar da sağlanıyorsa yeterli kabul edilir:

- 
1. Eğer cihaz rijitlik gösteriyorsa: Test 2, 3 ve 4'te herhangi bir çevrimdeki etkin rijitlik, aynı testteki tüm çevrimlerden hesaplanan ortalama etkin rijitlikten %15'ten fazla farklılık göstermemelidir (spesifik frekans ve sıcaklıkta).
 2. Prototip testlerinden 2(c) için hesaplanan:
 - o Sıfır yer değiştirmedeki ortalama maksimum/minimum kuvvetler,
 - o Etkin rijitlik (sadece rijitlik gösteren cihazlar için),
 - o Histerezis döngüsü alanı (E_{100p}), sorumlu tasarım mühendisi tarafından tanımlanan nominal özellikler ve lambda tolerans faktörleri ($\lambda_{speC,max}$ ve $\lambda_{speC,min}$) sınırları içinde kalmalıdır.

4.6.2 Üretim Testleri

Bir binaya monte edilmeden önce, tüm sönümleme cihazları bu bölümdeki koşullara göre test edilmelidir. Seri üretim sönümleyici cihazlar için test programı tasarım sorumlusu mühendis tarafından oluşturulmalıdır.

Bu program:

- Nominal özellikleri doğrulamalı,
- Tüm cihazların %100'ünü, aşağıdaki koşullarda test etmelidir:
 - o $0.67 \times DD-1$ atım veya
 - o $1.33 \times DD-2$ atım (sınırlı performans hedefi -LPO- için)
 - o $1/(1.5T)$ frekansında üç çevrim boyunca.

Elde edilen değerler, proje spesifikasyonlarında tanımlanan sınırlar içinde olmalıdır. Bu sınırlar, bölümün başında belirlenen toleranslarla uyumlu olmalıdır.

İSTİSNA:

Eğer bu cihazların özelliklerinin proje şartnamelerine uygun olduğu başka yollarla gösterilebiliyorsa, bu test programı uygulanmak zorunda değildir. Bu durumda, tasarım sorumlusu mühendis alternatif bir program belirlemeli ve aşağıdaki koşulları sağlamalıdır:

- Eğer kullanılacak cihazlar için projeye özel prototip testleri yapılmamışsa, her tip ve boyutta en az bir cihaz üzerinde üretim testi yapılmış olmalıdır.
- Bu test sırasında elastik sınır ötesine geçen ya da zarar gören cihazlar sahada kullanılmamalıdır.

4.7 Tedarik Süresi

Sönümleyicilerin tedarik süreleri, genellikle proje özellikleri, sipariş hacmi, tedarikçinin stok durumu ve üretim kapasitesi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Standart sönümleyiciler genellikle daha kısa sürede temin edilebilirken, özel tasarım veya ölçülerdeki sönümleyicilerin tedarik süreleri daha uzun olabilir. Özellikle büyük çaplı projelerde, sönümleyicilerin tedarik süresi genellikle proje planlamasının erken aşamalarında dikkate

alınmalı ve tedarikçi ile erken iletişim kurulmalıdır. Ayrıca, sönümleyicilerin uluslararası tedarikçilerden sağlanması durumunda, nakliye süreleri ve gümrük işlemleri de tedarik süreleri unutulmamalıdır. Bu nedenle, proje yöneticileri ve mühendisler, sönümleyicilerin zamanında temin edilmesini sağlamak için tedarik sürelerini önceden değerlendirmeli ve gerekli önlemleri almalıdır.

Genel itibarıyla sönümleyicilerin tedarik süreleri, üretim ve nakliye süreleri dikkate alınarak 2 ila 6 ay olarak göz önüne alınmalıdır.

4.8 Uygulama

Sönümleyiciler, uygulama açısından geleneksel yöntemler ile güçlendirilmiş çelik taşıyıcı sistem elemanlarıyla benzerlik gösterir. Ayrıca sönümleyici eleman için bırakılacak boşlukların toleranslarının çok iyi saptanması gerekir. Dolayısıyla, sönümleyici elemanlar ile montajı yapılacak çelik ve çapraz elamanların bağlanacağı düğüm noktalarındaki betonarmeye olan ankrajlarının montaj öncesinde tamamlanmış olması istenir. Hatta çelik elemanların doğru boyda üretiminin yapılabilmesi için üretim öncesinde bu bağlantıların da tamamlanması gerekmektedir.

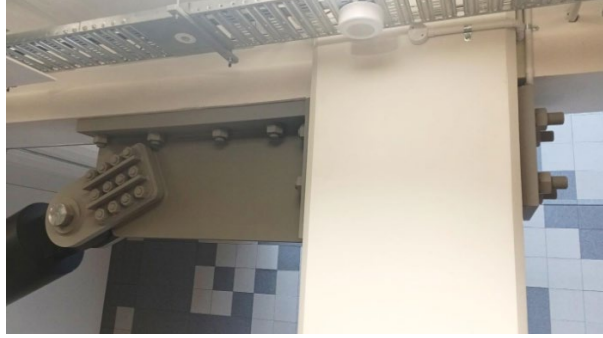
Uygulamaya başlamadan önce mevcut betonarme elemanlarda mantolama gibi geleneksel birtakım güçlendirme uygulamaları yapılması gerekiyorsa öncelikle bunların yapılması gerekir. Bunun için mevcut beton örtüsü sıyrılır ardından eski ve yeni betonların birlikte çalışabilmesi için kimyasal ankraj ile donatı ekimi yapılır. Bu aşamada, sönümleyicili çelik elemanların bağlantı detayları için gerekli kimyasal ankraj ya da beton içerisinde bırakılacak stud uygulamaları gerçekleştirilebilir. Bu bağlantılar hazırlanıp ilgili düğüm noktası ankraj plakaları yerleştirildikten sonra ölçülerin alınması ve sönümleyicili çelik elemanlar için imalat siparişi verilmesi, sahadaki uygulamalarda oluşabilecek sorunları en aza indirecektir.



Fotoğraf 5: Beton İçerisinde Bırakılan Düğüm Noktası Bağlantı Elemanları (Taylor Devices Inc.)

Eğer mevcut betonarme elemanlar sönümleyicili çapraz elemanların bağlanması sonucu oluşacak ilave kuvvetleri karşılamaya yetiyorsa, doğrudan mevcut betonarme elemanlara bağlantı da yapılabilir. Yapılacak bağlantılarda, kimyasal ankrajlar yerine mümkün olduğunca mevcut betonarme elemanı delip geçen bulonlar kullanılmalıdır. Bu bulonların yerleştirilmesine olanak sağlamak için açılacak delikler matkap ile açılmalı ve delik açılması sırasında mevcut donatıların zarar görmemesine özen gösterilmelidir. Bulonların montajı sonrasında delik ile bulon arası rötre yapmayan yüksek mukavemetli çimento harcı ile

doldurulmalıdır. Ankraj elemanlarının aralıkları açılmalı ve homojen yük dağılımını sağlayacak şekilde ankraj yerleşimine dikkat edilmelidir.



Fotoğraf 6: Mevcut Kolonu Delip Geçen Ankrajlar (Taylor Devices Inc.)

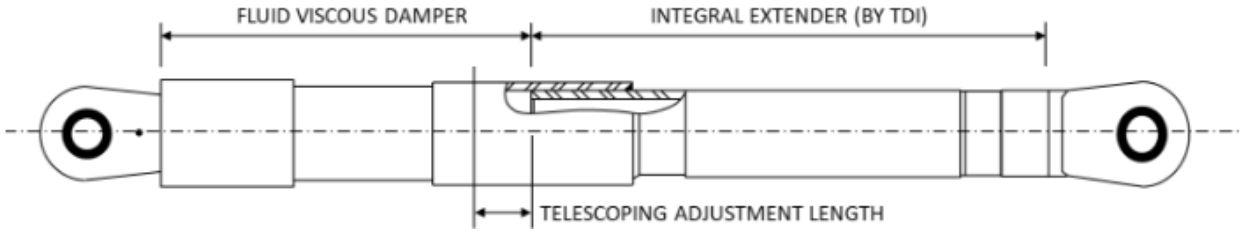
Saha kaynağından mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Ancak güçlendirmenin bir gereği olarak bağlantıların teşkilinde saha kaynağı zorunlu olabilir. Ayrıca, çapraz elemanların bağlantısı da kaynakla yapılabilir. Bu tip durumlarda kaynak kalitesi bağımsız üçüncü taraflarca güvenilir testler ile kontrol edilmelidir. Yapılan kaynak uygulamasının, kapasite korumalı elemanlardan akabilecek yük kapasitesini karşılayacak düzeyde yeterli olduğu gösterilmelidir. Özellikle bölgesel bir yırtılmaya ve yük konsantrasyonuna yol açabilecek kaynak kusurlarından kaçınılmalıdır.

Bağlantı yapılacak betonarme elemanlarda, FRP ile güçlendirme uygulaması yapılacaksa öncelikle bağlantı delikleri açılmalı ve ankraj bulonları yerleştirilmelidir. Ardından FRP sargı uygulaması gerçekleştirilmelidir. FRP elemanları delinmemeli; delik etrafındaki sürekliliği korunmalıdır.



Fotoğraf 7: FRP ile Sargılanmış Kolona Bağlantı

Viskoz sönümleyicilerin yerinde mevcut bir bağlantıya tam olarak uyum sağlayabilmesi amacıyla, çelik bağlantı elemanlarında teleskopik ara bağlantı detayları geliştirilmiştir. Teleskopik ayar sayesinde çelik elemanın yerleşeceği açıklık içerisinde küçük boşluklar da tolere edilebilmektedir. Bu elemanlar ayrıca sönümleyicili çapraz elemanların bina içerisindeki nakliye ve montajında da kullanılabilir. Böylece sönümleyicili çapraz elemanı ihtiyaca göre iki veya üç parça halinde montaj alanına getirilebilmekte ve montaj sırasındaki küçük boşluklar tolere edilebilmektedir.

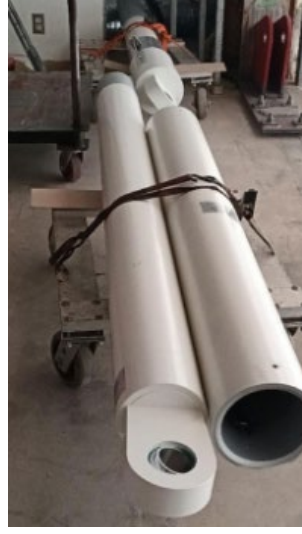


Şekil 4-2: Sönümleyicili Çapraz Elemandaki Teleskopik Bağlantı Detayı (Taylor Devices Inc.)



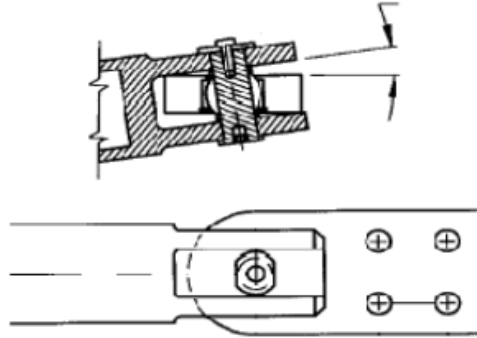
Fotoğraf 8: Sönümleyicili Çapraz Elemanların Bina İçerisindeki Nakliyesi (Taylor Devices Inc.)

Sönümleyicili çapraz elemanların siparişleri düğüm noktalarındaki bağlantı noktalarının lazer ölçüm cihazları ile aralarındaki mesafe ve doğrultu açılarının gerçeğe en yakın şekilde elde edilmesi sonrası verilmelidir. Ancak yine de montaj aşamasında birtakım sorunlar ortaya çıkabilir. Bu tür durumların önlenmesi amacıyla, sönümleyicili elemanların uç düğüm noktalarında sınırlı dönmeye izin veren hareketli bağlantı noktaları da tercih edilebilir. Böylece uçlar arasındaki doğrultu eğriliklerini tolere edilebilir ve sahadaki montaj süreci önemli ölçüde kolaylaştırılmış olmaktadır.



Fotoğraf 9: Dönmeye İzin Veren Küresel Uç Bağlantı Noktaları (Taylor Devices Inc.)

Bu tip bir detay, özellikle iki plaka arasına girecek çapraz elemanların montajı sırasında gereken ilave toleransa da olanak tanımaktadır. Ayrıca sahada yapılan bağlantı plakası montajları çelik eleman eksenini ile tam olarak uyuşmayabilir. Bu tip bir küresel bağlantı deliği sahada karşılaşılabilecek bu tip uyumsuzlukları tolere edebilir. Küresel yatakların tipik $\pm 5^\circ$ dönme açısı, kurulum sırasında karşılaşılan nispeten küçük sapmalar için düzlem dışı hareketi karşılayabilir.



Şekil 4-3: Küresel Bağlantı Yatakları

Sönümleyicileri düğüm noktasına bağlamak için kullanılan montaj pimleri genellikle sönümleyici üreticisi tarafından sağlanır. Çoğu durumda üretici yapıya bağlantıda kullanılacak diğer plakaları da temin eder. Bunun nedeni, pimlerin bağlantı plakaları ve küresel yataklara çok hassas şekilde oturması gerektiğidir; bu da bağlantının herhangi bir hissedilir boşluk içermemesini sağlar. Her bir yatakta izin verilen maksimum toplam boşluk (serbest oynama) genellikle 0,01 mm civarında olmalıdır.



Fotoğraf 10: Sönümleyicili Çapraz Eleman Küresel Bağlantı Deliği

Viskoz sönümleyici elemanlar üzerinde, basınçlı akışkanın doldurulmasına yönelik bir dolum deliği bulunmaktadır. Üretim sürecinde bu delik kapatılmakla birlikte, üzerinde yer alan somunun sonradan açılması güvenlik açısından risklidir. Kötü niyetli müdahalelere karşı erişime açık olmamasına dikkat edilmelidir. Bu riskin en aza indirilebilmesi için söz konusu noktanın ilave kapak veya koruyucu elemanlarla kapatılması, ve sönümleyicilerin mümkün olduğunca erişimden uzak konumlandırılması önerilmektedir. Bu doğrultuda, sönümleyici elemanların çapraz çelik elemanların alt uçları yerine üst uçlarına yerleştirilmesi de bir tasarım seçeneği olarak değerlendirilebilir.



Fotoğraf 11: Yüksek Basıncı Viskoz Sıvı Dolum Noktası

4.9 Bakım ve Onarım

Viskoz sönümleyici üreticileri genellikle ürünlerinin bakım gereksinimi olmadığını belirtmektedir. Fakat bazı üreticilerin farklı özel koşulları olabilir. Ancak hiçbir durumda sönümleyicideki sıvının akması, sızması ya da ısınması beklenmez. Üreticiler bakım gereksinimi olmadığına dair ürünleri için 35 ila 50 yıl arasında garanti verebilmektedir.

Standart bir bakım gerektirmese de sönümleyici eleman üzerinde bir akışkan kaçağı tespit edilirse muhakkak üreticiye başvurmak gerekir. Belli belirsiz durumlarda sönümleyici içerisindeki basıncın tespiti gerekir ancak saha ortamında bunun yapılabilmesi oldukça zordur. Eksik tespit edilmesi durumunda, yine saha ortamında tekrar dolum yapılamamaktadır. Bu durumda sönümleyici parçasının tamamen yeniden üretilip yerinde montajı yapılmalıdır. Böyle bir durumun ortaya çıkması olağan değildir ve yalnızca istisnai koşullarda karşılaşılabilmektedir.

Yaşanan büyük bir deprem sonrası da yerinde yine bir uzman tarafından kontrolü tavsiye edilir. Teorik olarak, sönümleyici içerisinden herhangi bir akıntı olmadığı sürece tekrar kullanılabilir. Ancak yalnızca sönümleyicinin kendisinin değil; sönümleyiciyi taşıyan kapasite korumalı elemanlar ile bunların bağlantılarının da deprem sonrası zarar görmediğinin yerinde tespiti gereklidir. Ayrıca, özellikle piston çevresindeki contalarda aşırı hareketten kaynaklanan aşınmalar meydana gelebilir. Bu tür durumların, üretici tarafından düzenli olarak kontrol edilmesi gerekir.

Viskoz sönümleyiciler -40°C ve $+70^{\circ}\text{C}$ gibi geniş bir sıcaklık aralığında standart bir performans gösterirler. Bu aralık bazı üreticiler tarafından çok daha geniş tanımlanmaktadır. Üstelik, yangın dayanımı yüksek toksik olmayan ve zamanla bozulmayan akışkanlarla üretildiği belirtilen sönümleyiciler de mevcuttur. Tanımlanan bu genel aralık, üreticiden üreticiye değişiklik gösterse de Türkiye'nin iklim şartları içinde hemen her yerde çalışabilecek niteliktedir.

Öte yandan olası bir yangın sonrası ne kadar etkilendiğinin üretici tarafından kontrol edilmesi gereklidir. Bu elemanların yangın sonrası performansı, elemanın bulunduğu ortamın sıcaklığına, sıcaklığa maruz kalma süresine ve sönümleyici içerisindeki akışkanın özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterecektir. Dolayısıyla, yangın dayanımlarının ne kadar olacağını söyleyebilmek güçtür. Ayrıca genel olarak sönümleyici elemanların bağlandığı diğer çelik elemanların standart yangın dayanımları da betonarmeye göre daha düşüktür. Ancak proje özelinde sönümleyicinin maruz kalacağı servis sıcaklık aralığı ve istenilen yangın dayanımı belirlenerek üreticiden buna uygun bir üretim yapması istenebilir.

Diğer bir açıdan, sönümleyici elemanların çevresel koşullardan etkilenmesine karşı özel kaplamalar kullanılabilir. Genellikle yangın dayanımını artırmak için veya korozyon etkisine karşı bir özel boya ve kaplamalar kullanılabilir. Bunlara ilaveten estetik sebeplerle de paslanmaz ve galvaniz kaplama uygulamaları tercih edilebilir.



5. Kaynakça

- [1] Taylor Devices, Inc., «Damper Design Manual,» Taylor Devices, Inc., North Tonawanda, NY, 2024.
- [2] S. E. Institute, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings ASCE/SEI 41-23, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2023.



**T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI**



GFDRR
Global Facility for Disaster Reduction and Recovery



Administered by
THE WORLD BANK
IBRD • IDA | WORLD BANK GROUP

