İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETON KALİTESİNE BAĞLI OLARAK MEVCUT BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Başar Necdet ÜLKER

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Program : Deprem Mühendisliği

ŞUBAT 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETON KALİTESİNE BAĞLI OLARAK MEVCUT BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Başar Necdet ÜLKER
(501061205)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Ocak 2009

Tez Danışmanları : Doç. Dr. Yılmaz AKKAYA (ITÜ)
Yrd. Doç. Dr : Beyza TAŞKIN (ITÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Kutlu DARILMAZ (ITÜ)
Doç. Dr. Nabi YÜZER (YTÜ)
Yrd. Doç. Dr : Sema Noyan ALACALI (YTÜ)

ŞUBAT 2009

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında 1968 yılında inşa edilmiş mevcut bir yapının taşıyıcı kolonlarından alınan karot numune basınç dayanım sonuçlarıyla elde edilmiş beton kalitesi ve statik projesinde belirtilmiş olan beton kalitesi kullanımı sonucu oluşan performans farkının DBYBHY 2007 7. bölümünde belirtilen yöntemlerle doğrusal olmayan değerlendirilmesi yapılmış, bu değerlendirme yapılırken tahribatsız değerlendirme yöntemiyle bina taşıyıcı kolonlarındaki hasar araştırılmıştır. Ayrıca binada kullanılan dolgu duvarların davranışının bina performansına etkisi de incelenmiştir. Bu tezin deneysel çalışmalarında 105 M 136 no'lu TUBİTAK projesinden yararlanılmıştır.

Tezin hazırlanması aşamasında bana değerli vaktini ayıran ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocalarım Doç. Dr. Yılmaz AKKAYA ve Y. Doç. Dr. Beyza TAŞKIN'a şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam esnasında, yoğun iş temposuna rağmen her türlü sorunuma yardım eli uzatan Yük. İnş. Müh. Alattin Ramoğlu'na da teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca hiçbir karşılık beklemeden bana sevgi ve desteklerini sunan değerli aileme ve dostlarıma bana yaşamı güzelleştirme gücünü sağladıkları için minnettarım.

Şubat 2009 Başar Necdet ÜLKER

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **xxiii**
SUMMARY ..... **xxv**
1. GİRİŞ **1**
2. BETONUN ÖZELLİKLERİ **5**
2.1 Beton Dayanımı ve Dayanıma Etkiyen Faktörler 5
2.1.1 Beton basınç dayanımı 5
2.1.2 Beton dayanımına etkiyen faktörler 6
2.2 Betonda Dış Etkenlere Karşı Dayanıklılık (Durabilite) ve Geçirimlilik 6
2.3 Betonarme Malzemede Korozyon 8
2.3.1 Korozyona etken faktörler 9
2.3.1.1 Betondaki pH değerinin etkisi 9
2.3.1.2 Karbonatlaşma 10
2.3.1.3 Klorür iyonu penetrasyonu 10
2.3.2 Korozyonun betonarme malzemeye etkisi 11
2.4 Mevcut Binalarda Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Geliştirilmiş Yöntemler 12
2.4.1 Tahribatlı yöntemler (Betondan karot numune alınması) 12
2.4.1.1 Yöntemin uygulanma prosedürü-TS 10465 13
2.4.1.2 Karot numunelerin analiz yöntemleri 13
2.4.2 Tahribatsız yöntemler 15
3. IMPACT-ECHO YÖNTEMİ **17**
3.1 Yöntemin Tanımı ve Tarihçesi 17
3.2 Yöntemin Kullanım Prosedürleri ve Formülleri 18
3.2.1 Prosedür 1- P-dalgası hızı ölçümü: 18
3.2.2 Prosedür-2 Impact-echo testi 19
3.2.3 Yöntemde kullanılan katsayı ve formüller 20
3.2.3.1 Beton içeriğinde varolabilecek değişimlere ilişkin geliştirilmiş katsayı ve formüller 21
3.2.3.2 Beton en kesitinin geometrisine bağlı değişen katsayı ve formüller 23
3.2.3.3 Darbe süresi ve çelik top çaplarının sonuç değerlendirmesine etkisi 27
3.3 Impact-Echo Yöntemi Kullanılarak Yapılan Bazı Deney Örnekleri 28
3.3.1 Beton kalınlığının tespiti ve çatlak analizi deneyi 29
3.3.2 Farklı malzemelere sahip köprü kirişi deneyi 30
3.3.3 Yapışma yüzeyi kalitesi deneyi 32
3.3.4 Korozyona maruz kalmış betonarme blok deneyi 35
3.3.5 Gözlemlenen deneylerin analizi 37
4. DOLGU DUVAR ÖZELLİKLERİ VE DUVAR DAVRANIŞININ BİNA PERFORMANSINA ETKİSİ **39**
4.1 Dolgu Duvarın Yapısal Özellikleri 39
4.2 Dolgu duvarların davranış biçimleri 40
4.3 Dolgu Duvarların Davranış Modelleri(Al-Chaar'ın Yöntemi) 43

5. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZLE MEVCUT BİR BİNANIN DAVRANIŞINI HESAPLAMA 47
5.1 Performansa Dayalı Tasarım 47
5.1.1 Performans hedefi 47
5.1.2 Performans seviyeleri 48
5.2 Doğrusal Olmayan Statik Analiz 48
5.2.1 Plastik mafsal hipotezi 48
5.2.1.1 Plastik mafsal hipotezinin esasları 49
5.2.1.2 Plastik davranışın idealleştirilmesi 50
5.2.2 Kapasite 50
5.2.2.1 Kapasite eğrisinin oluşturulması 50
5.3 İlgili DBYBHY-2007 Esasları 52
5.3.1 Yapı Elemanlarında hasar sınırları ve bölgeleri 52
5.3.2 Deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallar 52
5.3.3 Depremde bina performansının doğrusal elastik olmayan yöntemler ile belirlenmesi 54
5.3.3.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi 55
5.3.4 Bina deprem performansının belirlenmesi 60
5.3.5 Binalar için hedeflenen performans düzeyleri 61
6. UYGULAMA ÖRNEKLERİ 63
6.1 Örnek Bina Modelinin Özellikleri 63
6.1.1 Genel bina bilgileri 63
6.1.2 Mevcut bina performansına etken yapı bilgileri ve kabuller 64
6.1.2.1 Karot deney sonuçları ile belirlenmiş beton sınıfı 64
6.1.2.2 Betonarme malzeme için yapılmış kabuller 64
6.2 Impact-Echo Yöntemi Uygulamaları 66
6.2.1 Kolon örneklerinde yapılan deneylerin değerlendirilmesi 66
6.2.1.1 Örnek kolon özellikleri 66
6.2.1.2 Yapılan deneyler ve sonuçları 67
6.2.2 Örnek binada yapılan impact-echo uygulamaları 74
6.2.2.1 S 202 kolonundan alınan sonuçların değerlendirmesi 74
6.2.2.2 S203 kolonundan alınan sonuçların değerlendirmesi 80
6.2.2.3 S 204 kolonundan alınan sonuçların değerlendirmesi 83
6.2.3 Uygulama sonuçlarının değerlendirmesi 85
6.3 Dolgu Duvar Uygulaması 86
6.3.1 Uygulamada kullanılan kabuller 86
6.3.2 Uygulama verileri 87
6.4 Doğrusal Olmayan Statik Analiz Uygulaması 88
6.4.1 Kullanılan bilgisayar programları ve bina modelinin sunumu 89
6.4.2 Yapıya etki eden yükler 90
6.4.3 Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile deprem kuvvetlerinin hesaplanması 91
6.4.3.1 C10 dolgu duvarsız analiz 93
6.4.3.2 C14 dolgu duvarsız analiz 93
6.4.3.3 C10 dolgu duvarlı analiz 94
6.4.3.4 C14 dolgu duvarlı analiz 94
6.4.4 Kolon ve kirişlerdeki mafsal özelliklerinin belirlenmesi 95
6.4.4.1 Kiriş mafsal özelliklerinin belirlenmesi 95
6.4.4.2 Kolon mafsal özelliklerinin belirlenmesi 97
6.4.5 Sap2000 programı ile DBYBHY-2007 esaslarına göre yapılan statik itme analizi için bulunan performans noktaları 97

6.4.5.1 C10 dolgu duvarsız durum –x doğrultusu 98
6.4.5.2 C10 dolgu duvarlı durum-x doğrultusu 100
6.4.5.3 Durumların davranış spektrumu değerlendirmesi 102
6.4.6 DBYBHY-2007 esaslarına göre bina deprem performansının değerlendirilmesi 104
6.4.6.1 K206 kirişine ait birim şekildeğiştirme ve kesme kapasitesi değerlendirmesi (X-doğrultusu) 104
6.4.6.2 S1010 kolonuna ait birim şekildeğiştirme ve kesme kapasitesi değerlendirmesi(Y-doğrultusu) 108
6.4.6.3 Performans sonuçlarının karşılaştırması 110
6.4.6.4 IdeCAD v.5 ile elde edilen sonuçların değerlendirmesi 123
7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 127
KAYNAKLAR 131
EKLER 133
ÖZGEÇMİŞ 153

KISALTMALAR

ACI	**:** American Concrete Institute
ASTM	**:** American Society for Testing and Materials
DBYBHY	**:** Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
G	**:** Düşey Sabit Yükler
Q	**:** Düşey Hareketli Yükler
FEMA	**:** Federal Emergency Management Agency
NBS	**:** U.S. National Bureau of Standarts
NIST	**:** National Institute of Standarts and Technology
SAP2000	**:** Integrated Software for Structural Analysis and Design
XTRACT	**:** Cross-sectional X Structural Analysis of Components
MHB	**:** Minimum Hasar Bölgesi
BHB	**:** Belirgin Hasar Bölgesi
İHB	**:** İleri Hasar Bölgesi
GB	**:** Göçme Bölgesi
MN	**:** Minimum Hasar Sınırı
GV	**:** Güvenlik Sınırı
GÇ	**:** Göçme Sınırı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Beton sınıfları ve elastisite modülleri 5
Çizelge 2.2: Beton sınıfları ve mukavemetleri 14
Çizelge 3.1: 0,6< D/B<2 olması durumunda oluşan mod frekansları 26
Çizelge 3.2: Top çaplarına bağlı darbe süreleri ve maksimum kullanılabilir frekanslar 27
Çizelge 3.3: Kirişlerin yapışma yüzeyi deneyi karşılaştırması 34
Çizelge 4.1: Serbest basınç dayanımı bilinmeyen duvarların basınç emniyet gerilmeleri 39
Çizelge 4.2: Duvarların çatlama emniyet gerilmesi(τ_o) 40
Çizelge 5.1: Performans düzeylerine karşılık gelen performans şartları 61
Çizelge 5.2: Farklı aşılma olasılıklarına bağlı olarak bina kullanım türlerine ait performans düzeyleri 62
Çizelge 6.1: Bina genel bilgileri 63
Çizelge 6.2: Bina kolon özellikleri 63
Çizelge 6.3: S220 donatı çeliği malzeme özellikleri 65
Çizelge 6.4: Karot numunelerinden alınmış basınç dayanım sonuçları 85
Çizelge 6.5: Binanın kat kütleleri ve ağırlıkları 91
Çizelge 6.6: C10 dolgu duvarsız durum için katlara gelen deprem kuvvetleri 93
Çizelge 6.7: C14 dolgu duvarsız durum için katlara gelen deprem kuvvetleri 94
Çizelge 6.8: C10 dolgu duvarlı durum için katlara gelen deprem kuvvetleri 94
Çizelge 6.9: C14 dolgu duvarlı durum için katlara gelen deprem kuvvetleri 95
Çizelge 6.10: C10 dolgu duvarsız durum-x doğrultusu katların mod şekilleri ve modal kütleler 98
Çizelge 6.11: C10 dolgu duvarsız durumdaki performans eğrisine ait yerdeğiştirme-taban kesme kuvveti değerleri 98
Çizelge 6.12: C10 dolgu duvarlı durum-x doğrultusu katların mod şekilleri ve modal kütleler 100
Çizelge 6.13: C10 dolgu duvarlı durumdaki performans eğrisine ait yerdeğiştirme-taban kesme kuvveti değerleri 100
Çizelge 6.14: Durumlara ait performans noktaları 102
Çizelge 6.15: K206 kirişine ait akma eğrilik değerleri 105
Çizelge 6.16: K206 kirişine ait birim şekildeğiştirme değerleri ve hasar sınırları 106
Çizelge 6.17: K206 kirişi gevrek kırılma kontrolü 107
Çizelge 6.18: S1010 kolonuna ait birim şekildeğiştirme değerleri ve hasar sınırları 109
Çizelge 6.19: S1010 kolonu gevrek kırılma kontrolü 110

Çizelge 6.20: X doğrultusu-C10 dolgu duvarsız durumda kiriş hasar seviyeleri 119
Çizelge 6.21: X doğrultusu-C10 dolgu duvarsız durumda kolon hasar seviyeleri 119
Çizelge 6.22: Y doğrultusu-C10 dolgu duvarsız durumda kiriş hasar seviyeleri 119
Çizelge 6.23: Y doğrultusu-C10 dolgu duvarsız durumda kolon hasar seviyeleri 120
Çizelge 6.24: X doğrultusu-C14 dolgu duvarsız durumda kiriş hasar seviyeleri 120
Çizelge 6.25: X doğrultusu-C14 dolgu duvarsız durumda kolon hasar seviyeleri 120
Çizelge 6.26: Y doğrultusu-C14 dolgu duvarsız durumda kiriş hasar seviyeleri 121
Çizelge 6.27: Y doğrultusu-C14 dolgu duvarsız durumda kolon hasar seviyeleri 121
Çizelge 6.28: X doğrultusu-C14 dolgu duvar etkili durumda kiriş hasar seviyeleri 122
Çizelge 6.29: X doğrultusu-C14 dolgu duvar etkili durumda kolon hasar seviyeleri 122
Çizelge 6.30: Y doğrultusu-C14 dolgu duvar etkili durumda kiriş hasar seviyeleri 123
Çizelge 6.31: Y doğrultusu-C14 dolgu duvar etkili durumda kolon hasar seviyeleri 123
Çizelge 6.32: IdeCAD doğrusal elastik yöntemle x doğrultusu C14 dolgu duvarsız durumdaki hasar yüzdeleri 124
Çizelge 6.33: IdeCAD doğrusal elastik yöntemle x doğrultusu C14 dolgu duvarsız durumdaki kesme kuvveti oranları 124
Çizelge 6.34: IdeCAD doğrusal elastik yöntemle y doğrultusu C14 dolgu duvarsız durumdaki hasar yüzdeleri 124
Çizelge 6.35: IdeCAD doğrusal elastik yöntemle y doğrultusu C14 dolgu duvarsız durumdaki kesme kuvveti oranları 125
Çizelge 6.36: X doğrultusu göreli kat ötelemeleri 125
Çizelge 6.37: Y doğrultusu göreli kat ötelemeleri 125
Çizelge C.1: Kolonların çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri 139
Çizelge D.1: C10 dolgu duvarsız durum kolonları hasar konrolü-x doğrultusu 140
Çizelge D.2: C10 dolgu duvarsız durum kolonları hasar konrolü-y doğrultusu 141
Çizelge D.3: C14 dolgu duvarsız durum kolonları hasar konrolü-x doğrultusu 142
Çizelge D.4: C14 dolgu duvarsız durum kolonları hasar konrolü-y doğrultusu 143
Çizelge D.5: C14 dolgu duvarlı durum kolonları hasar konrolü-x doğrultusu 144
Çizelge D.6: C14 dolgu duvarlı durum kolonları hasar konrolü-y doğrultusu 145
Çizelge D.7: C10 dolgu duvarsız durum kirişleri hasar konrolü-x doğrultusu 147

Çizelge D.8: C10 dolgu duvarsız durum kirişleri hasar konrolü-y doğrultusu 148
Çizelge D.9: C14 dolgu duvarsız durum kirişleri hasar konrolü-x doğrultusu 149
Çizelge D.10: C14 dolgu duvarsız durum kirişleri hasar konrolü-y doğrultusu 150
Çizelge D.11: C14 dolgu duvarlı durum kirişleri hasar konrolü-x doğrultusu 151
Çizelge D.12: C14 dolgu duvarlı durum kirişleri hasar konrolü-y doğrultusu 152

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Korozyon başlangıcı 9
Şekil 2.2: Korozyon oluşumu 9
Şekil 3.1: Impact-echo ses dalgası hızı tayini gösterimi 18
Şekil 3.2: Impact-echo darbe gösterimi 19
Şekil 3.3: Uygun dalga datası 20
Şekil 3.4: Uygun olmayan dalga datası 20
Şekil 3.5: Dairesel kesite ait mod frekansları 24
Şekil 3.6: Kare ve dikdörtgen kesite ait mod frekansları 25
Şekil 3.7: Kolon enkesiti ve darbe gösterimi 26
Şekil 3.8: 6 ve 16 mm çaplı toplarla elde edilen kuvvet-zaman grafikleri 27
Şekil 3.9: Çatlaksız ve çatlaklı betonda genlik spektrumları 29
Şekil 3.10: İçi boş çelik borulu, içi dolu çelik borulu ve çelik borusuz bölgelerden alınmış spektrumlar 30
Şekil 3.11: Beton kesit 31
Şekil 3.12: İçi dolu çelik borulu kesit 31
Şekil 3.13: İçi boş çelik borulu kesit 31
Şekil 3.14: Yapışma yüzeyi kalitesi deneyi düzeneği ve deney fotoğrafı 32
Şekil 3.15: N Kirişi spektrumları 33
Şekil 3.16: E Kirişi spektrumları 33
Şekil 3.17: O Kirişi spektrumları 34
Şekil 3.18: Korozyona maruz bırakılan numuneler 35
Şekil 3.19: Korozyon derecesini ölçme düzeneği 35
Şekil 3.20: İvme spektrumu 36
Şekil 4.1: Tekrarlı ve yön değiştiren yüklemenin değişimi 40
Şekil 4.2: Tekrarlı ve yön değiştiren yükleme etkisinde sünekliklerin karşılaştırılması 41
Şekil 4.3: Tekrarlı ve yön değiştiren yükleme etkisinde yutulan toplam enerji miktarının karşılaştırılması 41
Şekil 4.4: Dolgu duvarlı sistemin yatay yük altındaki davranışı 42
Şekil 4.5: Çapraz gerilme sonucu oluşan orta şiddette çatlak 42
Şekil 4.6: Dolgu duvarlı çerçevenin yatay yük altında, dolgudan ayrılma noktaları ve sanal basınç çubuğunun oluşumu 43
Şekil 4.7: Eşdeğer basınç çubuklarının gösterimi 44
Şekil 5.1: Eğilme momenti – eğrilik diyagramı 48
Şekil 5.2: İdealleştirilmiş eğilme momenti – eğrilik bağıntısı 49
Şekil 5.3: Kapasite eğrisi 51
Şekil 5.4: Hasar sınır ve bölgeleri 52
Şekil 5.5: Modal kapasite diyagramı-$T_1 > T_B$ 59
Şekil 5.6: Modal kapasite diyagramı-$T_1 < T_B$ 60
Şekil 6.1: Sargılı ve sargısız beton birim şekildeğiştirme diyagramı 65

Şekil 6.2: Donatı çeliği birim şekildeğiştirme diyagramı 65
Şekil 6.3: 4nk kolonu korozyonsuz bölge-12 mm top 68
Şekil 6.4: 4nk kolonu korozyonsuz bölge-4 mm top 68
Şekil 6.5: Şekil 6.4'deki dalga kaydından R-dalgasının filtrelenmiş hali 69
Şekil 6.6: 4nk kolonu korozyonlu bölge-10 mm top 70
Şekil 6.7: 5nk kolonu korozyonsuz bölge-12 mm top 71
Şekil 6.8: 5nk kolonu korozyonsuz bölge-4 mm top 71
Şekil 6.9: 5nk kolonu korozyonsuz bölge kısa kenar-16 mm top 71
Şekil 6.10: 5nk kolonu korozyonlu bölge-4 mm top 72
Şekil 6.11: 8nk kolonu korozyonsuz bölge kısa kenar-16 mm top 72
Şekil 6.12: 8nk kolonu korozyonlu bölge-4 mm top 73
Şekil 6.13: Şekil 6.12'deki dalga kaydından R-dalgasının filtrelenmiş hali 73
Şekil 6.14: Deney uygulama gösterimi 74
Şekil 6.15: S202 kolonu enkesit özellikleri 74
Şekil 6.16: S202 kolonu-10 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları 76
Şekil 6.17: S202 kolonu-8 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları 77
Şekil 6.18: Şekil 6.17'deki son dalga kaydından R-dalgasının filtrelenmiş hali 77
Şekil 6.19: S202 kolonu-12 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları 78
Şekil 6.20: S202 kolonu-14 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları 78
Şekil 6.21: S202 kolonu-16 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları 78
Şekil 6.22: S202 kolonu-4 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları 79
Şekil 6.23: Şekil 6.22'deki dalga kayıtlarından R-dalgasının filtrelenmiş hali 79
Şekil 6.24: S203 kolonu enkesit özellikleri 80
Şekil 6.25: S203 kolonu-4 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları 81
Şekil 6.26: S203 kolonunda görülen geniş çatlak frekanslı spektrum 82
Şekil 6.27: S203 kolonu-8 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları 82
Şekil 6.28: S204 kolonu enkesit özellikleri 83
Şekil 6.29: S204 kolonu-4 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları 84
Şekil 6.30: S204 kolonu-8 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları 85
Şekil 6.31: Eşdeğer basınç çubuklu çerçeve ve boş çerçeve 87
Şekil 6.32: 1X2 diyagonal çubuğunun p.mafsal özelliklerinin Sap2000'deki gösterimi 88
Şekil 6.33: Sap2000'de modellenmiş eşdeğer basınç çubuklu çerçeve ve boş çerçeve 89
Şekil 6.34: Kiriş elemanın Xtract programında oluşturulan moment-eğrilik ve bilineer akma eğrilik diyagramı 90

Şekil 6.35: Kolon elemanın Xtract programında oluşturulan moment-eksenel kuvvet etkileşim diyagramı 90
Şekil 6.36: Kiriş 101 enkesit özellikleri 96
Şekil 6.37: Kiriş 101 moment-eğrilik diyagramı 96
Şekil 6.38: Eksenel kuvvet-moment etkileşim diyagramı 97
Şekil 6.39: C10 dolgu duvarsız durumun performans eğrisi 99
Şekil 6.40: C10 dolgu duvarlı durumun performans eğrisi 101
Şekil 6.41: X doğrultusundaki performans eğrileri 102
Şekil 6.42: Y doğrultusundaki performans eğrileri 103
Şekil 6.43: K206 kirişi enkesit özellikleri 104
Şekil 6.44: S1010 kolonu enkesit özellikleri 108
Şekil 6.45: X doğrultusu bodrum kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 111
Şekil 6.46: X doğrultusu zemin kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 111
Şekil 6.47: X doğrultusu 1. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 111
Şekil 6.48: X doğrultusu 2. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 112
Şekil 6.49: X doğrultusu 3. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 112
Şekil 6.50: Y doğrultusu bodrum kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 113
Şekil 6.51: Y doğrultusu zemin kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 113
Şekil 6.52: Y doğrultusu 1. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 113
Şekil 6.53: Y doğrultusu 2. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 114
Şekil 6.54: Y doğrultusu 3. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 114
Şekil 6.55: Y doğrultusu çekme kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 114
Şekil 6.56: X doğrultusu bodrum kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 115
Şekil 6.57: X doğrultusu zemin kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 115
Şekil 6.58: X doğrultusu 1. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 115
Şekil 6.59: X doğrultusu 2. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 116
Şekil 6.60: X doğrultusu 3. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 116
Şekil 6.61: Y doğrultusu bodrum kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 117
Şekil 6.62: Y doğrultusu zemin kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 117
Şekil 6.63: Y doğrultusu 1. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları 117

Şekil 6.64: Y doğrultusu 2. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları.....118
Şekil 6.65: Y doğrultusu 3. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları.....118
Şekil A.1: Bina bodrum kat kalıp planları.....135
Şekil A.2: Bina zemin kat kalıp planları.....136
Şekil B.1: Bina ön ve arka cephe fotoğrafları.....137
Şekil B.2: Binada tahribatlı ve tahribatsız deneylerin yapıldığı kolonlar.....138

SEMBOL LİSTESİ

$\mathbf{A_c}$: Kolon veya perdenin brüt kesit alanı
$\mathbf{A_{eç}}$: Eşdeğer diyagonal çubuk enkesit alanı
$\boldsymbol{A(T)}$: Spektral ivme katsayısı
$\boldsymbol{A_o}$: Etkin yer ivmesi katsayısı
$\mathbf{a}$: Eşdeğer diyagonal çubuk genişliği
$\mathbf{A_{sw}}$: Enine donatının kesit alanı
$\boldsymbol{a_1^{(i)}}$ **:** (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
$\boldsymbol{a_{y1}}$: Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
$\mathbf{B}$: Beton kesit genişliği
$\boldsymbol{b}$: Çelik sargıda yatay plakaların genişliği
$\boldsymbol{b_w}$: Kirişin gövde genişliği
$\boldsymbol{C_p}$: Katı maddede yayılan basınç dalgası hızı
$\boldsymbol{C_{p,plate}}$: Şekil faktörüne bağlı beton kesitinde yayılan basınç dalgası hızı
$\boldsymbol{C_{R1}}$: Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı
$\boldsymbol{D_c}$: Dairesel kesit kalınlığı
$\boldsymbol{D_k}$: Kare kesit kalınlığı
$\boldsymbol{D}$: Kesit kalınlığı
$\boldsymbol{D_{do}}$: Donatı çapı
$\boldsymbol{D_s}$: Çelik top çapı
$\boldsymbol{d}$: Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği
$\boldsymbol{d_d}$: Çatlak derinliği
$\boldsymbol{d^{(i)}_1}$ **:** (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yerdeğiştirme
$\boldsymbol{d^{(p)}_1}$ **:** Birinci moda ait modal yerdeğiştirme istemi
$\boldsymbol{d_{y1}}$: Birinci moda ait eşdeğer akma yerdeğiştirmesi
$\boldsymbol{E}$: Dolgu duvar elastisite modülü
$\boldsymbol{E_c}$: Kolon elastisite modülü
$\boldsymbol{(EI)_e}$: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$\boldsymbol{(EI)_o}$: Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği
$\boldsymbol{F_i}$: Eşdeğer deprem yükü yöntemi'nde i'inci kata etkiyen fiktif yük
$\mathbf{f_{EK}}$: Betonun eşdeğer küp mukavemeti
$\mathbf{f_{SK}}$: Betonun seri mukavemeti
f_{em} : Duvar basınç emniyet gerilmesi
$\mathbf{f_t}$: Beton kesiti kalınlık frekansı
$\mathbf{f_{t,değişmiş}}$: Değişmiş olan beton kesit kalınlık frekansı
$\mathbf{f_d}$: Beton kesiti çatlak ve boşluk frekansı
$\mathbf{f_{donatı}}$: Beton kesiti donatı çeliği frekansı
$\mathbf{f_{kor(i)}}$: Beton kesiti i. korozyon frekansı
$\mathbf{f_1}$: Beton kesit 1. mod frekansı
$\mathbf{f_{max}}$: Maksimum kullanılabilir frekans
$\boldsymbol{f_{cm}}$: Mevcut beton dayanımı
$\boldsymbol{f_{ctm}}$: Mevcut betonun çekme dayanımı
$\boldsymbol{f_{ywd}}$: Enine donatının tasarım akma dayanımı

g_i : i. kattaki zati yükler
H_i : Bina i. katının temelden itibaren ölçülen yüksekliği
h : Duvar yüksekliği
h_c : Kolon yüksekliği
h_i : Bina i. katı kat yüksekliği
I : Bina önem katsayısı
I_c : Kolon atalet momenti
$k_{eç}$: Eşdeğer diyagonal çubuk eksenel rijitliği
L_p : Plastik mafsal boyu
M_{x1} : x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle
M_p : Plastik moment
M_n : n.'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle
m_i : Bina i. katı kütlesi
N_D : Deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey yükler altında kolon veya perdede oluşan eksenel kuvvet
$N_{eç}$: Eşdeğer diyagonal çubuk eksenel kuvvet kapasitesi
q_i : i. kattaki hareketli yükler
R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a : Deprem yükü azaltma Katsayısı
R_{y1} : Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
r : Eşdeğer diyagonal çubuk boyu
s : Çelik sargıda yatay plakaların aralığı
$S(T)$: Spektrum katsayısı
S_{ae1} : Birinci moda ait elastik spektral ivme
S_{de1} : Birinci moda ait doğrusal elastik spektral
S_{di1} : Birinci moda ait doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme
T : Beton kesit kalınlığı
T_B : İvme spektrumundaki karakteristik periyod
T_{n1} : Birinci titreşim moduna ait doğal titreşim periyodu
t : Eşdeğer diyagonal çubuk kalınlığı
t_c : Darbe süresi
t_{do} : Donatının derinliği
$u_{eç}$: Eşdeğer diyagonal çubuk boy uzama kapasitesi
$u_{xN1}^{(i)}$: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme
$u_{xN1}^{(p)}$ **:** Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi
V_c : Betondan sağlanan kesme dayanımı
V_d : Kolon, kiriş ve perdede esas alınan tasarım kesme kuvveti
$V_{eç}$: Eşdeğer diyagonal çubuk kesme kuvveti kapasitesi
V_w : Çelik sargı ile sağlanan ek kesme dayanımı
V_r : Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı
V_t : Eşdeğer deprem yükü yöntemi'nde göz önüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
$V_{x1}^{(i)}$: x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci mod (hakim moda) ait taban kesme kuvveti
W : Bina ağırlığı
w_i : i.kat ağırlığı

ω_1 : Birinci moda ait doğal açısal frekans

ω_B : İvme spektrumunda karakteristik periyoda karşı gelen açısal frekans

ε_{cu} : Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi

ε_s : Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi

φ_p : Plastik eğrilik istemi

φ_t : Toplam eğrilik istemi

φ_y : Eşdeğer akma eğriliği

Φ_{xN1} : Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği

Γ_{x1} : x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı

η_{bi} : i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı

λ : Eşdeğer Deprem Yükü Azaltma Katsayısı

θ_p : Plastik dönme istemi

ρ_s : Kesitte mevcut bulunan enine donatının hacımsal oranı

ρ_{sm} : Kesitte bulunması gereken enine donatının hacımsal oranı

Δt : İletilen basınç dalgaları arasındaki süre farkı

β : Şekil faktörü

ζ : Donatı frekansı karakteristik faktörü

τ_o : Duvar çatlama emniyet gerilmesi

θ : Diyagonal çubuğun yatayla yapmış olduğu açı

$\lambda_{eç}$: Duvardan çerçeveye gelen bağıl rijitlik

γ : Çatlama dayanımına eksenel kuvvet etkisini yansıtan katsayı

BETON KALİTESİNE BAĞLI OLARAK MEVCUT BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

17 Ağustos ve 12 Kasım depremlerinden sonra ülkemiz bina stokunun büyük bir çoğunluğunu oluşturan 20 yılı aşkın yaşlı konutların deprem performansı açısından oldukça tehlikeli durumda olduğu gerçeğiyle karşılaşılmıştır. Bina bilgi düzeylerinin belirlenmesinde önem arz eden mevcut beton kalitesinin belirlenmesi sonucu binaların pek çoğunun projelendirildiği beton kalitesinden daha düşük beton kalitesine sahip olduğu görülmüştür.

Bu tezde tahribatlı değerlendirme yöntemiyle elde edilen beton kalitesi sonucundaki deprem performansı seviyesinin proje betonu kullanıldığında elde edilecek performans ile karşılaştırmalı değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca binada kullanılan dolgu duvarların modellenerek deprem performansına katkısı incelenmiştir.

Tez yedi bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde teze giriş yapılmış ve tez konusu faktörler anlatılmış, ele alınan bina hakkında yapısal bilgiler sunulmuştur.

İkinci bölümde beton kalitesinin değişimine neden olabilecek faktörler ele alınmış ve mevcut binaların beton kalitesinin değerlendirilmesi açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde tahribatsız değerlendirme yöntemi olan impact-echo yöntemi işlenmiş ve farklı uygulama türleri örneklerle gösterilmiştir.

Dördüncü bölümde dolgu duvarlı çerçeve modelleri işlenmiş ve dolgu duvar davranışının performansa etkisi incelenmiştir.

Beşinci bölümde doğrusal olmayan yöntemle performans değerlendirmesi işlenmiş, DBYBHY 2007 7. bölümünde yer alan kriterler belirtilmiştir.

Altıncı bölümde ele almış olduğumuz binanın uygulaması yapılmış, önce tahribatsız deney sonuçları değerlendirilmiş ardından da doğrusal olmayan yöntemle dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız durumlarda farklı beton kalitesindeki sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yedinci ve son bölümde yapılmış uygulama sonuçları ele alınmış ve değerlendirmede bulunulmuştur.

EVALUATION OF THE EARTHQUAKE PERFORMANCE OF AN EXISTING BUILDING DEPENDS ON THE CONCRETE QUALITY

SUMMARY

In Turkey, most of the buildings are over the 20 years old. After the August 17th and November 12th Eartquakes, the consciousness about the vulnerability of the buildings against earthquake has increased. It is known that the the concrete quality of the most existing buildings is less than the concrete quaility defined in the design projects.

This thesis compares the concrete quality of an existing building by destructive and non-destructive methods, and the quality defined in the design project. The contribution of infilling walls to the earthquake performance has also been studied.

This thesis includes seven sections. In the first section, the information about two existing buildings has been given and the factors effecting the performance has been described.

In the second section, the factors of the changing the concrete quality have been discussed and the evaluation has been made on the concrete quality of the building.

In the third section, Impact-echo, nondestructive evaluation method, has been explained and the different types of practices have been discussed.

In the fourth section, the analysis models with infilled walled frame have been demonstrated and their effects on the performance have been examined.

In the fifth section, the nonlinear performance evaluation method and the criterias of 7. section of the "Specification for Buildings to be Built in the Earthquake Regions" has been explained.

In the sixth section, the performance evaluation of the existing building has been made. At first, nondestructive test results were discussed and afterwards the performances have been evaulated by using nonlinear method in the cases of with or without infilled wall with different concrete quality.

At the seventh and last section, the results have been discussed and explained.

1. GİRİŞ

Gerek tarihsel gerekse de güncel olarak değerlendirdiğimizde ülkemizin özellikle sanayi ve ekonomik yönden merkezi konumda bulunan yerleşim yerlerinin çok ciddi bir şekilde deprem riskiyle karşı karşıya olduğuyla karşılaşmaktayız. Bu gerçek her ne kadar artık görülüyor ve buna göre düzenlemeler yapılıp ve tedbirler alınıyor olsa da 17 Ağustos 1999'da Gölcük'te ve bir kaç ay sonra da Kaynaşlı'da meydana gelen yıkıcı depremler olmasa belki bu tezin yapılmasına neden olan konular önem arz etmeyeceklerdi. Tezimiz işte bu çarpıcı gerçekten hareketle gelecek 30 yılda deprem olma olasılığı %60(±15) olan Kuzey Batı Marmara'nın ve tüm Türkiye'nin ekonomi ve sanayi başkenti olan İstanbul'dan seçilmiş mevcut bir konutta doğrusal olmayan yöntemle yapılmış deprem performansını ele almıştır.

Performansa dayalı tasarım yaklaşımı ülkemiz için yeni bir değerlendirme yöntemi olsa da ülkemiz gibi yüksek deprem riskiyle karşı karşıya olan pek çok ülkede uzun yıllardır bilinen bir yaklaşımdır. Performansa dayalı tasarım yaklaşımının ortaya çıkış sebebi yeni bina tasarımında kullanılan yöntemlerin yapısal hasarın belirlenmesinde yetersiz kalmasıdır. Yaklaşım belirli bir deprem yükü ve bu deprem yükü altında yapının gösterdiği davranışı temsil eden talep ve kapasite kavramlarına dayanır. Böylelikle gerçeğe daha yakın değerlerin elde edilmesi, risk bölgelerindeki yapıların deprem güvenliklerinin artırılması ve mevcut binaların güçlendirilmesinin sağlanması amaçlanmıştır.

Yapı sistemleri bazı durumlar haricinde işletme yükleri altında doğrusal davranış sergilerler. Doğrusal yöntemle yapılan değerlendirmelerde malzeme gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları doğrusal elastik olacak şekilde ele alınır ve yerdeğiştirmeler ihmal edilecek düzeyde kabul edilir[18]. Öte yandan dış etkiler işletme yüklerini aşıp yapının taşıma kapasitesine yaklaşınca gerilmeler ihmal edilemeyecek şekildeğiştirmelere neden olurlar ve doğrusal hesapla değerlendirilemeyecek sonuçlar doğururlar. Bundan dolayı doğrusal olmayan yöntemle gerçeğe daha yakın değerler elde edilebilir.

DBYBHY 2007'de mevcut binaların deprem performansının değerlendirilmesine ilişkin özel bir bölüm hazırlanmıştır. Yönetmeliğin 7. bölümünde mevcut bir binanın performans yaklaşımıyla değerlendirilmesi söz konusudur.

İlgili bina İstanbul'daki yapı stokunun önemlice bir kısmını kapsayan bir bina çeşidinin parçasıdır. 1968 yılında inşa edilmiş ve gerek yapım aşamasında gerekse de servis ömrü boyunca herhangi bir denetim ve kontrolden geçmemiştir. Bu özellik içine girdiği bina çeşidinin tipik özelliğidir. Bu tip binalar olası bir deprem karşısında yaklaşık aynı davranışı sergileyeceklerdir ve bu bakımdan ele alındığında, yapılan değerlendirme İstanbul dahilindeki binaların yarısına yakınını ilgilendirmektedir. Tezin amacı binanın mevcut haliyle gösterdiği davranışın nasıl olduğunu belirlemek ve bu davranışı binanın tasarlanırken gösterdiği düşünülen davranışla karşılaştırmaktır. Böylelikle servis ömrü boyunca bina davanışının nasıl değiştiği çok da detaylandırılmadan gösterilmek istenmiştir. Tahribatsız değerlendirme de pratik ve öngörüsel faydasından dolayı binadan alınan bilgiyi hızlı ve efektif kullanma açısından kullanılmıştır. Değerlendirmeye muhtaç onbinlerce aynı tip binanın olduğu çok kalabalık bir kent dikkate alındığında çözümlerin aciliyeti bakımından tahribatsız değerlendirmenin sonuç alma bakımından süreci hızlandıracağı şüphesizdir ve tez bu konuda da fikir sunmaktadır.

Ele alınan binanın gerçeğe yakın deprem performansını değerlendirebilmek için ilgili bölümde yer alan kriterler ele alınmıştır. Bunun için binanın inşasında kullanılan mimari ve statik projeleri ele alınmış, proje çizim ve değerlerine uygun bir şekilde tasarımı yapılmıştır. Binanın mevcut beton kalitesinin belirlenmesi içinde TS-10465'de belirtilen kurallara uygun şekilde tahribatlı deneyler yapılmıştır. (Yönetmelikte kriterleri belirtilen bina bilgi düzeylerinde alınması gereken minimum karot numunesi 9'dur ve her kattan minimum 3 tane alınması şart konmuştur. Söz konusu binanın kolonları narin olduğu ve karot alınma koşulları elverişsiz olduğu için sadece zemin kat kolonlarının olmak üzere 3 adet karot alınmış; bodrum kat kolonlarından da schmidt çekici kullanılarak değerlendirme yapılmış, tüm bina sisteminin bu değerlendirme sonucu elde edilen beton kalitesine sahip olduğu kabul edilmiştir).

Tahribatsız değerlendirme yöntemi olan Impact-echo yöntemi karot numunelerin alınmış olduğu kolonlara uygulanmıştır. Ele alınan kolonların beton kalitesi bellidir ve birbirlerinden farklıdır. Bu farkın tahribatsız yöntemle incelenmesi yapılmıştır.

Bunun nedeni dünyanın gelişmiş ülkelerinde çok sık kullanılan bu tür tahribatsız değerlendirme yöntemlerinin kullanımları itibariyle tahribatlı yöntemlere göre daha pratik ve kolay uygulanır olması, daha ekonomik olması ve tabiki binaya ve çevresine zarar vermeden yapılıyor olmasıdır. Sonuçların paralel çıkması halinde tahribatsız yöntemlerle elde edilen sonuçların hızlı ve pratik karar verme durumunda nasıl etkili bir yöntem olduğu gösterilmiştir.

Tahribatsız yöntemler kesin sonuçlar veremeyebilirler. Öte yandan belli özellikleri bilinen uygulama numunesine ilişkin çabuk ve doğruya yakın sonuçlar verebilirler ve böylelikle öngörülerin geliştirilip planlamaların daha uygun yapılması sağlanmış olur. Örneğin hangi kolonun daha zayıt olduğu ya da tespit edilemeyen uzunluk veya yoğunluk gibi özellikler kesine yakın veya karar vermeye yetecek düzeyde değerler sunabilirler.

Uygulamalarda özellikle korozyon oluşumu ve tespiti konusu ele alınmış, korozyondan ileri gelen hasarlara ilişkin değerlendirmelere başvurulmuştur.

Impact-echo yöntemine ilişkin bilgiler 3. bölümde belirtilmiştir. Burada belirtebileceğimiz ekstra bilgi yapılan uygulamalara ilişkin olabilir. Bina kolonlarında yapılmış olan deneyler haricinde özellikleri ve durumu bilinen laboratuar numunelerinde de deneyler yapılmıştır. Bu deney sonuçları tezimizde kılavuz niteliği taşımaktadırlar.

Tezin 4. bölümünde detaylandırılmış olarak bulunan dolgu duvar etkisini kısaca belirtmek gerekirse;

Çerçeve sistemler genellikle duvarsız tasarlanırlar ve bu şekilde performansları değerlendirilir. Öte yandan gerçekte, yapılar dış ve iç cephelerinde dolgu duvarlar tarafından kuşatılırlar. Bu dolgu duvarlar binanın ağırlığını artırır ve binanın enerji yutma kapasitesini artırarak bina sünekliliğini artırır. Ayrıca bina rijitliğini artırarak bina titreşim periyodunu kısaltırlar. Böylelikle binanın performansına belirgin bir etkileri olabilir. Dolgu duvar modelleri çeşitlidir ve binaya en uygunu seçilmeye çalışılmıştır. Öte yandan bina dolgu duvar özellikleri, her ne kadar ne tür malzeme kullanılmış olduğu bilinse de, gerek harç malzemesi gerekse de tuğlaların mevcut özellikleri bilinmediği için tam olarak kullanılamamıştır. Bu nedenle bu çalışmada bazı kabuller yapılmıştır.

Karşılaştırmasını yapmış olduğumuz durumları dolgu duvar kullanımı ve beton kalitesindeki değişim belirlemiştir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız sistem davranışları ele alınmış ve bu durumlarda deprem performans değerleri karşılaştırılmıştır. Beton kalitesindeki farkı ise karot numuneleri sonucu ulaşılan güncel basınç dayanımı belirlemiştir. Binanın mevcut halinde sadece beton kalitesinde değişim olduğu, donatı çeliğinde varolan korozyon sonucu oluşan durumlar (donatı kesit kaybı, aderansın ortadan kalkması, vs.) dikkate alınmamıştır.

Binanın mevcut beton kalitesi C10'dur ve 1968'de yapılmış olan statik projede belirtilmiş proje betonu kalitesi C14(B160) olarak belirtilmiştir. Tezimizde bu iki beton kalitesine ilişkin durumlar incelenmiş, dolgu duvar etkisi de değerlendirilmiştir.

Binanın yapım yılına en yakın yönetmelik 1967 yılına aittir ve oldukça eski bir sistematiğe sahiptir. Ülkemiz gerçeği göz önüne alınırsa; binanın yapımına kılavuzluk eden yönetmeliğin yetersizliğinin yanında yapım esnasında maliyeti kısma yönünde çalışılan gayretlerin karşısında herhangi bir denetimin olmaması dolayısıyla kullanılan betonarme elemanların kuşatılmadıkları sarılma ve kuşatılmış kolon-kiriş bölgesine sahip olmadıkları kabul edilmiştir. Bilgisayar programlarında kuşatılmamış model kullanılmıştır. Statik projede kolon etriye özellikleri ve pas payı değerleri de verilmemiştir. Yapılan kabuller teze aittir.

Bina yukarıda belirtilmiş kabuller ışığında değerlendirmeye tabi tutulmuş durumların sonuçları 6. ve 7. bölümlerde ele alınmış, sonuç çizelgeleri eklerde verilmiştir.

2. BETONUN ÖZELLİKLERİ

2.1 Beton Dayanımı ve Dayanıma Etkiyen Faktörler

Malzemelerin bir birim alanının üzerinde etki yapan yük, "gerilme" olarak adlandırılmakta ve N/mm^2 veya MPa gibi birimlerle ifade edilmektedir.

"Beton dayanımı", üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekildeğiştirme ve kırılmalara karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnme olarak tanımlanmaktadır.

2.1.1 Beton basınç dayanımı

Betonun mekanik özelliklerden en önemli ve değeri en büyük olanı basınç dayanımıdır. Bunun yanı sıra betonun tüm olumlu nitelikleri basınç dayanımı ile paralellik gösterir. Bu nedenle betonun basınç dayanımını saptamakla betonun kalitesi ve betonun sınıfı belirlenir.

Betonun standart basınç dayanımı 28 gün boyunca 20°C sıcaklıkta ve %100 nemli ortamda kür edilen, çapı 150 mm, boyu 300 mm olan silindir numunelerin eksenel basınç altındaki dayanımı olarak tanımlanır. Gerilme cinsinden ifade edilen dayanım, kırılma yükünün, silindir alanına bölünmesi ile elde edilir. Betonun basınç dayanım sınıfını gösteren notasyonda "C" betonun İngilizcesi olan "concrete" kelimesinin ilk harfini, ilk rakam betonun karakteristik silindir dayanımını (N/mm^2;MPa), ikinci rakam ise betonun karakteristik küp dayanımını (N/mm^2) temsil etmektedir. Çizelge 2.1'de Beton sınıfları ve elastisite modülleri verilmiştir.

Çizelge 2.1: Beton sınıfları ve elastisite modülleri[Mpa]

Beton Sınıfı	Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Eksenel Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
C16	16.0	1.4	27000
C18	18.0	1.5	27500
C20	20.0	1.6	28000
C25	25.0	1.8	30000
C30	30.0	1.9	32000
C35	35.0	2.1	33000
C40	40.0	2.2	34000
C45	45.0	2.3	36000
C50	50.0	2.5	37000

2.1.2 Beton dayanımına etkiyen faktörler

Gerek taze betonun gerekse sertleşmiş betonun tüm özellikleri, beton karışımının oluşturulmasında kullanılan çimentonun, agreganın, suyun ve katkı maddelerinin özellikleri ve karışım içerisinde yer almış oldukları oranlar tarafından etkilenmektedir.

Çimento tipi ve miktarı çimentonun cinsi ve dozajı (1 m^3 betondaki çimento ağırlığı), beton basınç dayanımını etkiler. Yüksek dayanımlı çimentoların kullanıldığı ve çimento dozajının fazla olduğu durumda, beton kalitesinin arttığı bir yere kadar doğru olmakla beraber, beton basınç dayanımını belirleyen en önemli unsur su-çimento oranıdır. Karışım suyu'nun kalitesi ve miktarı da önemlidir.

Beton üretiminde en uygun miktarlarda su kullanılmalıdır. Suyun en uygun değerden az veya fazla kullanılması beton dayanımını düşürür.

Dış etkiler; kür koşulları betonun prizi ve sertleşmesi aşamasında çevre koşullarının etkisi çok büyüktür. Taze beton yeterli dayanımı kazanıncaya kadar, mümkün olduğunca yüksek nemli ortamda korumak gerekir. Taze beton için en olumsuz hava koşulları; yüksek sıcaklık, rüzgarlı ve kuru ortamlardır. Benzer şekilde sıfırın altındaki sıcaklıklarda önlem alınmaksızın beton dökümü sakıncalıdır. Taze betonun sıcaklığının +5 derece ile +32 derece arasında kalması istenir. Bu derecelerin altında ve üstündeki sıcaklıklarda önlem alınması gereklidir.

Şantiyede betonun dökümü esnasında ve sonrasında betonun mukavemetini etkileyen faktörler arasında beton imalinde kullanılan su miktarı (bir başka deyişle su / çimento oranı), betonun yerleştirilmesi sırasında vibratör kullanımı, soğuk veya sıcak hava gibi ortam şartları, kalıp sökme zamanı ve betonun korunması sayılabilir. Betondan numune alma ve basınç dayanım deneyi esnasında da bazı faktörler betonun mukavemetini etkiler. Bunlar; numunenin kalıplara yerleştirilmesi, saklama ve kür koşulları, numune kalıplarının boyutları, eğer yapıldıysa baslığın durumu, betonun yaşı, presin kalibrasyon durumu ve kırım koşullarının standarda uygunluğudur.

2.2 Betonda Dış Etkenlere Karşı Dayanıklılık (Durabilite) ve Geçirimlilik

Yapay bir malzeme olan betonarmenin olumlu özelliklerini sürdürebilmesi dış etkilere dayanıklı olmasına bağlıdır. Beton ve betonarme elemanların, bazen işlevleri gereği taşımaları gerekli dış yüklerin etkisi dışında zamanla zararlı dış etkilerle

bozulmaları mümkündür. Betonarme elemanların bazıları çok uzun süreler sonunda işlevlerini yerine getiremez konuma gelmesine karsın bazılarının ise çok kısa sürelerde bozulmaya başladıkları görülmektedir. Yapıların uzun ömürlü olması sadece doğru taşıyıcı sistemin seçimi, projelendirilmesi ve imal edilmesine bağlı değildir. Aynı zamanda, yapının mantıklı bir zaman süreci içerisinde "kalıcı" denecek kadar uzun ömürlü olmasını sağlayacak önlemler alınmalı ve en az bakımı gerektirecek şekilde yaşlanması yavaşlatılmalıdır. Bu da ancak betonun, betonarme veya ön gerilmeli yapıların bozulmasına neden olan etkenlerin bilinmesi ve bunlara karsı gereken önlemlerin alınmasıyla mümkündür. Sadece malzeme özelliğini iyileştirmek ile çevrenin yapı üzerindeki olumsuz etkilerini gidermek bazen olanaksız olabilir. Yapının kalıcı olması malzeme ile birlikte, mimari yapısal düzenlemelere, detaylara, işçilik kalitesine, denetime ve bakım işlemlerine bağlıdır. Bu nedenle yapıları dizayn eden mimar ve mühendisler önemli bozulma nedenleri ve bunları etkileyen faktörler hakkında temel bilgilere sahip olmalıdır.

Beton tasarımlandığı servis şartları altındaki işlevini uzun yıllar boyunca hasar görmeden ve yıpranmadan sürdürebilmelidir. Böyle bir betonun dayanıklı olduğu söylenir. Betonarme yapıların çeşitli bozulma süreçleri nedeniyle kısa sürede işlevselliklerini kaybetmeleri ekonomik ve teknik problem yaratmanın yanı sıra, kaynakların verimsiz kullanımına, çevresel ve ekolojik problemlere yol açar. Uygulamada önemli olan yapının işlevini, yeterince uzun süreli olarak verimli bir şekilde yerine getirebilmesidir. Yapının uzun zaman yeterli performansta olması, başlangıçtaki kalitesine ve bakım işlemlerine bağlıdır. Tüm bu faktörler yapının ekonomik ömrünü ve isletme giderlerini etkiler [1].

Betonun boşluksuz ve geçirimsiz olması dürabilite bakımından önemlidir. Betonda dürabilite ve geçirimlilik birbiriyle yakından ilgili olan iki olaydır. Beton imalatında kullanılan su/çimento oranının artması çimento hamuru içerisindeki kapiler boşluk oluşumunu hızlandırmaktadır. Ayrıca çimentonun ince olmaması da, kalitesiz olması, hızlı hidratasyonu engelleyerek kapiler boşlukların kapanmamasına neden olur.

Betonun geçirimsizliğindeki en büyük etkenler de dışa açık büyük boşluklar ve çatlaklardır. Geçirimsizlikte olumsuz etki yapan bu boşluklar ve çatlaklar betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega-çimento hamuru temas yüzeyinde daha belirgindir [2]. Çimento hamuru ve betondaki çatlak ve boşluklar; çoğunlukla beton teknolojisi ve kurallarına uyulmaması sonucu, yetersiz sıkıştırma, yetersiz kür, kimyasal

reaksiyona girmeyen fazla suyun terleme, buharlaşma olayları veya katkı maddeleri eklenmesi gibi nedenlerle oluşur. Çimento hamurundaki ve betondaki boşluklar, mikro, kapiler ve makro olarak gruplandırılabilir. Kalıcılığı büyük yönde etkileyen kılcal (kapiler) ve makro boşluklardır [1].

Betonun dürabilitesinin azalmasından dolayı oluşan hasarlar; fiziksel, kimyasal, biyolojik veya mekanik kökenli olabilir. Betonda hasarların nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Beton hasarlarının fiziksel nedenleri; donma-çözülme etkisi, buz çözücü tuzların etkisi, ıslanma-kuruma, aşınma, erozyon, oyulma, yüksek sıcaklıklar ve yangın, agrega ve çimento arasındaki ısıl uyumsuzluk, betonda rötreye duyarlı agregaların kullanılması, plastik rötre, kuruma rötresi veya rötre çatlağı, don etkisine duyarlı agregaların kullanılması

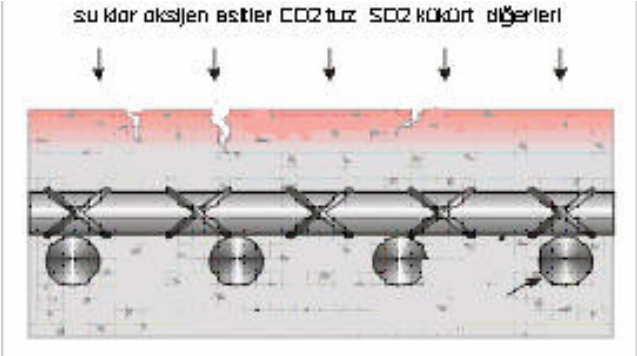
2. Beton hasarlarının fiziksel-kimyasal nedenleri; betonda çelik donatının korozyonuna baglı çatlama, alkali-silika reaksiyonuna bağlı hasarlar

3. Beton hasarlarının kimyasal nedenleri; klor etkisi, deniz suyu etkisi, asit etkisi, yer altı suyundaki veya yerel ortamdaki sülfat etkisi, alkali-silika reaksiyonu, alkali karbonat reaksiyonu, betonda ikincil etrenjit oluşumu

4. Beton hasarlarının biyolojik nedenleri; biyolojik oluşumlar ve çiçeklenme [1].

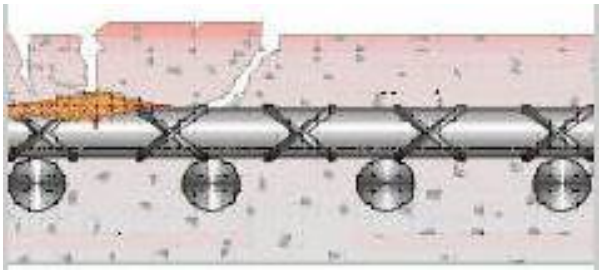
2.3 Betonarme Malzemede Korozyon

Korozyon metallerin çevreleri ile girdikleri bir elektro kimyasal reaksiyon sonucu aşınmaya ve bozunmaya uğrayarak niteliklerini kaybetmesi olarak tanımlanabilinir. Betonarme yapılarda özellikle donatılar korozyon etkisine maruz kalabilmektedir. Donatıda meydana gelen korozyon sonucu önemli kesit kayıplarının yanında donatı-beton aderansı da zamanla yok olmaktadır. Bunun sonucu bir bütün olarak çalışması gereken donatı ve beton birbirinden farklı davranmaya başlamaktadır. Taşıyıcı elemanlarda donatı korozyonu sonucu oluşan aderans düşüklükleri nedeni ile zamanla yapının taşıma gücünde önemli ölçüde azalma beklenebilir.



Şekil 2.1: Korozyon başlangıcı

Şekil 2.1 korozyon başlangıcını, Şekil 2.2 de korozyon oluşumunu göstermektedir. Beton ilk döküldüğünde içindeki demir donatıyı etkin bir şekilde sararak paslanmaya karşı korur. Ancak zaman içinde titreşim, sarsıntı, büyük ve küçük depremler, mekanik yorgunluk ve dış ortamdaki çeşitli nedenlerden dolayı betonda önce mikroskobik sonra da daha büyük gözenek ve çatlaklar oluşur [3].



Şekil 2.2: Korozyon oluşumu

2.3.1 Korozyona etken faktörler

Beton ortamında yer alan ve korozyonu etkileyen faktörlerin başlıcaları;

-pH değeri

-Karbonatlaşma

-Nemlilik

-Oksijen

-Klorür İyonu Konsantrasyonu

2.3.1.1 Betondaki pH değerinin etkisi

Bilindiği gibi, pH değeri, malzemelerin asit veya alkalin (bazik) karakterlerini 0-14 sayıları arasında ifade eden bir değerdir. pH değeri 7 olan bir malzeme nötr

malzemedir. Asitlik arttıkça, pH değeri 7 den küçük sayılara inmekte, alkalinite arttıkça bu sayı artmaktadır.

Taze beton pH değeri 12,5-13 civarındadır. Betondaki yüksek alkalinite portland çimentosu bileşenleri hidratasyonu sonucunda ortaya çıkan kalsiyum hidroksitler tarafından sağlanmaktadır.

Yüksek alkalinite ortamında, çelik çubukların yüzeyleri çok ince bir oksit tabakası ile kaplanmaktadır; çelik, korozyona karşı pasif durum kazanmaktadır. Bir başka deyişle, pH derecesi doğal olarak yüksek olan beton, içerisinde gömülü durumdaki çelik çubukları korozyona karşı koruyabilecek çok iyi bir malzemedir. Ancak, betonun içerisine sızan tuzların ve karbonatlaşma etkisiyle, zamanla, betondaki pH değerinde azalma olabilmektedir. Betonun pH değerinin 9-10 gibi sayılara düşmesiyle, çelik üzerindeki koruyucu oksit filmi kırılmakta, beton, içerisindeki çeliği korozyona koruyamaz duruma gelmektedir.

2.3.1.2 Karbonatlaşma

Bir fiziko-kimyasal süreç olan karbonatlaşma da betonun hasar görmesinde önemli bir faktördür. Karbonatlaşma, beton içindeki ortamın alkalinitesini düşürerek donatı demirlerinin yüzeyindeki koruyucu oksit tabakasının tahrip olmasına neden olur [4]. Betonun alkalinitesi, hidrate olmuş çimentonun içerdiği $Ca(OH)_2$ ile sağlanır ve pH değerini 12 civarında sabitler. Ancak $Ca(OH)_2$ zamanla havadaki CO_2 ile reaksiyona girerek $CaCO_3$'e dönüşür ve pH'ı 8'in altına düşebilir. Dış ortamdaki CO_2 konsantrasyonu, baca ve eksoz gazları ve endüstriyel kirlilik nedeni ile arttıkça karbonatlaşma oranı artar. Karbonatlaşma, beton içinde yüzeyden 10 cm'den derinlere kadar ulaşabilen bir bozulmadır.

Beton örtünün (pas payı) yeterli geçirimsizliğe sahip olmaması ve beton durabilitesinin azalması sonucu karbonatlaşır ve bazikliğini yitirir. Koruyucu tabakanın bozulması sonucu da donatı korozyona açık hale gelir.

2.3.1.3 Klorür iyonu penetrasyonu

Donatı korozyonu yurdumuzdaki yapılarda yaygın olarak karşılaşılan bir durabilite sorunudur. Betonun pH'ının düşmesiyle pasivasyon tabakası kaybolur. pH değerinin azalması karbonatlaşma dışında klor etkisiyle de olur. Demir iyonları ile klor iyonları, su ile reaksiyona girip, ferros hidroksit ve hidroklorik asit oluşturmaktadır.

Hidrolorik asitin, hidrojen iyonuna ve klor iyonuna dönüşmesiyle de, korozyon daha şiddetli şekilde devam etmektedir.

$$Fe^{++} + 2Cl^{-} + H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 + 2HCl \quad \textbf{(2.1a)}$$

$$HCl \rightarrow Cl^{-} + H^{+} \quad \textbf{(2.1b)}$$

Betonun içerisinde yer alan klorürler, değişik kaynaklardan gelebilmektedir:

$CaCl_2$ gibi priz-hızlandırıcı katkılardan,

Beton yapımında kullanılan deniz kumundan, veya tuzlu ortamdan elde edilmiş olan agregadan,

Kışın, betonun üzerindeki buzlanmanın çözülmesi için kullanılan sodyum klorür veya kalsiyum klorür gibi tuzlardan,

Deniz suyundan ve denize yakın bölgelerdeki sisten.

Beton içerisinde biriken klorürler kritik bir seviyeye ulaşınca (0,6 – 1,2 kg Cl^{-}/m^3), çeliğin korozyonu başlamaktadır.

2.3.2 Korozyonun betonarme malzemeye etkisi

Beton durabilitesinde oluşabilecek değişimler sonucu malzeme korozyona açık hale gelebilir ve örneğin alkali-agrega reaktivitesi sonucu betonda çatlaklar oluşabilir. Oluşan bu çatlaklar sonucu da betonarme malzeme dış etkilere karşı savunmasız kalabilir. Korozyona neden olabilecek diğer etkenler (karbonatlaşma, klor iyonu penetrasyonu, v.b.) sonucu da korozyon oluşabilir. Korozyon sonucu betonarme malzemenin taşıma gücünde ve servis ömründe azalma meydana gelir.

Betonun ve donatı demirlerinin korozyon süreçleri karşılıklı olarak birbirlerinin etkileşimindedir. Neticede taşıyıcı beton kiriş ve kolonlar ilk statik tasarımındaki mukavemet değerini büyük ölçüde kaybederler. Bu durum özellikle rutubetin etkili olduğu dış cephelerde, çatı altlarında, bodrumlarda, köprü, viyadük ve barajlarda gözlenir; denize yakın ve rutubetli, baca ve egzoz gazlarının yoğun olduğu, endüstriel kirlenmenin yaşandığı bölgeler ile tuzlu deniz kumunun kullanıldığı yapılarda hızlı seyreder [4].

Betonun içine sızan rutubet ve korozif maddeler, donatı demirlerinin paslanmasına ve kesit kaybına yol açar; paslanan demirin pasları da, hacimleri demirden daha fazla

olduğu için, betonu içerden sıkıştırarak betonun çatlamasına yol açar.Yeni çatlaklar ise içeri rutubet ve zararlı maddelerin sızmasını daha da kolaylaştırır. Korozyonu ve betonun daha da çatlamasını hızlandırır. Zincirleme etkiler neticesinde betondan parça kopması aşamasına kadar gelinebilir.

Donatıda meydana gelen korozyon hem malzeme özelliklerinde değişime neden olarak donatı çeliğinin taşıma gücünde değişime neden olur hem de kesit kaybına neden olur. Bu iki neden sonucu taşıma gücü daha da azalır. Beton ve donatı arasındaki aderans kaybolabilir ve malzemelerin birlikte çalışmamasına neden olabilir.

Tüm bu sonuçlar, korozyon sonucu ortaya çıkan çizelgeda ele alınan binanın proje safhasıyla güncel safhası arasında su götürmez farklılıkların olduğunu göstermektedir.

2.4 Mevcut Binalarda Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Geliştirilmiş Yöntemler

Bina malzeme özellikleri servis ömrü boyunca değişim gösterir. Yukarıda belirtilen özelliklere bağlı olarak beton malzemenin durabilitesinde meydana gelen değişimler ve tasarım aşamasında ortaya çıkabilecek değişimler, kullanılan malzemelere bağlı olarak, binanın servis ömrü boyunca aynı performansı sağlayamamasına, beklenenden çok daha önce sorunlar ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Ülkemiz gerçekleri göz önüne alındığında; özellikle 1999 Gölcük Depremi'ne kadar denetim ve kontrol sistemlerinin yeterli olmadığı ve pek çok yapının gelişigüzel inşaa edildiği bilinmektedir. Bu yüzden kullanılan malzeme özelliklerinin değişimi performansı oldukça yüksek seviyede etkiliyebilmektedir. Bu etkileri değerlendirip, mevcut binalarda meydana gelmiş, gelebilecek sorunlara karşı zamanında tahlillerde bulunabilmek adına bazı testler yapılmaktadır. Bu testler sonucu da yapı malzemesinin o anki özellikleri saptanabilmektedir. Bu testler uygulanırken yapıda hasar oluşabildiği gibi hiç hasarsız testlerde uygulanabilmektedir.

2.4.1 Tahribatlı yöntemler (Betondan karot numune alınması)

Yöntemler sertleşmiş betondan tahrip ederek numune alınmasını ve betonun (önemli çatlaklar, donma-çözünme hasarları, dayanım düşüklüğü izlenimi yaratacak yüzey bozuklukları ve herhangi bir tahribatsız yöntemle yapılan kontrol sonuçlarının beton

basınç dayanımına ilişkin endişe doğurması ya da herhangi bir zarar mevcutsa) kalite kontrolünü yapmayı amaçlarlar.

2.4.1.1 Yöntemin uygulanma prosedürü-TS 10465

Karot numune alınmasına ilişkin hususlar TS-10465 (Beton deney metotları- yapı ve yapı bileşenlerinde sertleşmiş betondan numune alınması ve basınç mukavemetinin tayini (tahribatlı metot) standartında belirtilmiştir. Bu standard bir yapı veya yapı bileşeni betonuna ait kalite kontrol bazında taze beton deney sonuçları yoksa, varolan sonuçlar yetersiz ise veya yapıdaki beton mukavemetinde bir şüphe ortaya çıkmışsa (Mesela; gözle görülebilen önemli çatlaklar, tabii don hasarları, dayanım düşüklüğü izlenimi yaratacak boyuttaki yüzey bozuklukları ve herhangi bir tarhibatsız metotla yapılan kontrol sonuçlarının beton basınç dayanımına ilişkin kuşku doğurması ya da herhangi bir zarar veya kısmi yıkılma mevcutsa) uygulanır [5].

Betonun yapısındaki gerçek dayanımın değerlendirilmesi betondan alınan karot numunelerinin basınç deneyi ile mümkündür. Sertleşmiş beton basınç mukavemeti elde edilişinde, mecbur kalınmadıkça tahribatlı ve tahribatsız deney metodlarının eş zamanlı uygulanması önerilir [5].

Karot alınmadan önce ölçüm yerinde test çekici ile yüzey sertliği denemeleri yapılarak tepme değerlerine ulaşılır. Bilyalı test çekici ile de vuruş bilyesinin beton yüzeyinde bırakmış olduğu iz çapı (dm) tespit edilir. Bu deney sadece betonun yüzey mukavemeti hakkında değer verebilir. Yüzey sertliği deney sonuçları, kalıp vibrasyon karbonatlaşmış yüzey, agrega tanecikleri, teçhizat ve onarım gibi betonun yüzeysel özelliklerinden oldukça etkilenir. Özellikle yangın, don ve kimyevi etkiler vasıtasıyla tahribata uğramış beton yüzeyinde yüzey sertliği deneyleri kullanışlı değildir. Yalnızca yüzey sertliği sonucu ile beton hakkında yeterli bilgi sahibi olunamaz, karot numune örneği gerekmektedir.

Karot numune sayısı yönetmelikte belirtilen sayıdan daha az olmamalıdır.

2.4.1.2 Karot numunelerin analiz yöntemleri

Deneyin hazırlanmasına ve uygulanmasına ilişkin maddeler TS-10465, “Beton deney metotları- yapı ve yapı bileşenlerinde sertleşmiş betondan numune alınması ve basınç mukavemetinin tayini (tahribatlı metot)” standartında belirtilmiştir.

Deney hesapları ve sonuçlarının gösterilmesi ise kısaca Çizelge 2.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 2.2: Beton sınıfları ve mukavemetleri

Beton Sınıfı	Silindir Basınç Mukavemeti N/mm^2	EK Eş Değer Küp Basınç Mukavemeti N/mm^2	$f_{SK} \geq f_{EK}$+3 N/mm^2 Seri Mukavemeti Her Seri Küpün Ortalama Mukavemetinin En Düşük Değeri N/mm^2
BS 14	14	16	19
BS 16	16	20	23
BS 20	20	25	28
BS 25	25	30	33
BS 30	30	35	38
BS 35	35	40	43
BS 40	40	45	48
BS 45	45	50	53
BS 50	50	55	58

Deneyin sonucunda elde edilen karot numune basınç mukavemetine ait en küçük tek değer ile ortalama değerler, Çizelge 2.2'deki eşdeğer küp mukavemeti ile seri mukavemetinin en az % 85 'ni sağlamalıdır.

Darbe deneyi dayanım sonuçları ile betondan alınan karot numunelerine ilişkin basınç dayanım değerleri arasında çeşitli farklılıklar ortaya çıktığında karot numunelerine ait dayanım değerleri dikkate alınmalıdır.

Elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde aşağıda belirtilen iki metot kullanılır.

- İstatistiki olmayan metot

- İstatistiki olan metot

İstatistiki olmayan değerlendirmede; 100 mm ve 150 mm çapında veya kenar uzunluğundaki deney numunelerine ait basınç mukavemeti değerleri kenar uzunluğu 200 mm olan Standard küp basınç mukavemeti değerlerine eşit kabul edilebilir.

Bu şekilde bulunan $f_{küp}$ 200 değerlerinin, aşağıdaki (a) ve (b) şartlarını aynı anda sağlaması gerekir.

a) Ortalama $f_{küp}$ 200 $\geq$ 0,85 f_{SK}

b) En Küçük Tek Değer $f_{küp}$ 200 $\geq$ 0,85 f_{EK}

Burada;

f_{EK} = Betonun eşdeğer küp mukavemeti (Örneğin BS14 için f_{EK} = 16N/mm^2)

f_{SK} = Betonun seri mukavemeti (Örneğin BS14 için f_{SK} = 19 N/mm^2) dir.

2.4.2 Tahribatsız yöntemler

Teknolojik gelişim sayesinde günümüzde pek çok çeşitli tahribatsız test uygulanabilmektedir. Sıkça kullanılan tahribatsız yöntemler arasında:

Ultrasonik Yöntem; ses dalgaları kullanılarak,

Radyografik Yöntem; bildiğimiz röntgen ışınları kullanılarak,

Manyetik Yöntem; manyetik özelliğe sahip sıvılar kullanılarak,

Infrared(Kızılötesi) Yöntem; Kızılötesi ışınlar kullanılarak,

bulunmaktadır.

Bu yöntemler sayesinde tahribatlı yöntemlere nazaran daha kolay ve daha çabuk sonuç verebilen testler uygulanabilmekte, ele alınan örneğe ilişkin bir ön-değerlendirme sunarak daha detaylı testlerin uygulanıp uygulanamayacağı kontrol edilebilmektedir [6].

Tahribatsız yöntemlerle net sonuçlar sunacak veriler elde edilemeyebilir, ancak ele alınan bölgeye ilişkin kayda değer değerlendirmeler sunarak daha detaylı testlerin önü açılabilir.

Impact-Echo Yöntemi de tahribatsız yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde beton yüzeyine uygulanan darbe ile bu darbe sonucu ortaya çıkan titreşim dalgalarının yüzeyden içeri doğru ilerlerken ortaya çıkan dalga ve frekans özelliklerinden yararlanılır [7].

3. IMPACT-ECHO YÖNTEMİ

3.1 Yöntemin Tanımı ve Tarihçesi

Impact-Echo yöntemi Amerikan Ulusal Standartlar Bürosu (U.S. National Bureau of Standards (NBS)) tarafından 1980'lerin ortalarında bulunmuş ve 1987-1997 yılları arası New York-Ithaka, Cornell Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir [7].

Aralık 1997 'de bir ASTM (American Society of Testing Materials) standartı çıkarılmıştır. Bu standart (ASTM C1383-98, Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method) olarak bilinir. Standart ilk olarak ASTM Standartları 1998 Yıllıkları'nda yer almıştır [7].

Ancak yöntemin standartlaşma çalışması başlamadan çok önce Impact-Echo deney çalışmaları da mevcuttur. 1970'lerin erken dönemlerinde özellikle derin kazık temellerin değerlendirilmesi ve kazık boylarının tespiti amacıyla düşük frekanslı (>1 kHz) dalgalar yayan çekiç vasıtasıyla bazı denemeler yapılmıştır. 1980 başlarında ise, yapılan araştırmalar sonucu kısa süreli mekanik darbelere bağlı ortaya çıkan dalgaların homojen ve heterojen malzemelerdeki frekanslarının değişimi tespit edilmiştir. Bu sayede betonarme malzeme arayüzlerinde ve içeriğindeki frekans değişimi sayesinde içerik hakkında(çatlak, boşluk, korozyon) ve geometri hakkında (pas payı, donato konfigürasyonu, kalınlık) bilgiler elde edilmiştir. 1990'larda yöntem yığma binalar üzerinde de uygulanmaya başlanmıştır [7].

Impact-Echo Yöntemi; üretilen kısa süreli elastik darbenin yüzeyden derinlere doğru yaydığı stres dalgalarının; yüzey sınırları, arayüzler, çatlaklar, boşluklar veya süreksizliklerden yansıyarak malzeme yüzeyinde konumlandırılmış bir dönüştürücü(transducer) vasıtasıyla anlamlandırılabilir verilere dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir. Üretilen titreşim dalgaları beton yüzeyinden yansıyıp beton yüzeyine konumlandırılmış dönüştürücülere ulaşır ve onlar vasıtasıyla elektriksel voltaj dalgalarına dönüştürülürler. Bu dönüşüm kullanılan bir bilgisayar yazılımı vasıtasıyla dalga kaydına ve genlik spektrumu olarak karşımıza çıkar. Verilerin dönüşümü için zaman tanım aralığında toplanan dalga kayıtlarının frekans tanım

aralığına çevrilmesi gerekmektedir. FFT (Fast Fourier Transformation) sayesinde yapılan bu dönüşüm, yayılan stres dalgalarına ait deplasman spektrumunu sunar. Bu spektrum malzeme hakkında ihtiyaç olan bilgiyi içermektedir. Bu bilgiler ışığında malzemenin geometrisi hakkında (kalınlık, tabaka derinliği, donatı konfigürasyonu), P(basınç) dalgası hızının tayini ve malzemede meydana gelmiş süreksizlikler(çatlak, boşluk, korozyon) hakkında değerlendirmeler yapılabilmiş olur [7].

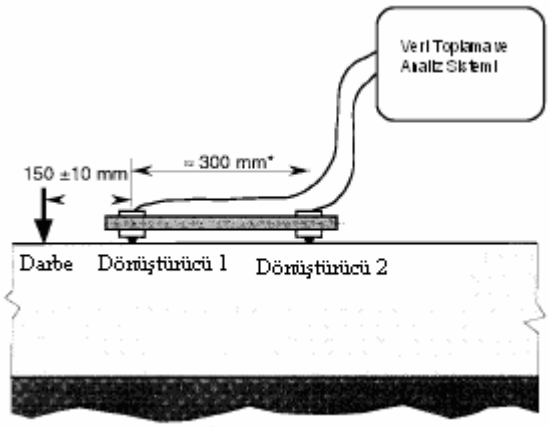
3.2 Yöntemin Kullanım Prosedürleri ve Formülleri

Impact-Echo yönteminin genel prensipleri, ASTM C1383-98 standartında ayrıntılı olarak belirtilmektedir. Standartta ilgili test yönteminin beton, pas payı ve duvar kalınlıklarının belirlenmesi amacıyla kullanıldığı belirtilmektedir. Bu amaçla iki ayrı prosedür takip edilir.

3.2.1 Prosedür 1- P-dalgası hızı ölçümü:

Düzenek iki transducer (dönüştürücü) ve elastik darbeyi yaratacak olan metal toptan oluşmaktadır. Darbe topu (impactor) 30±10 μs süreli darbeler üretir. Impactor 5 ila 8 mm arasında değişen çaplı toplardan ve bu topların bağlı olduğu esnek çelik telden meydana gelir. Bu tel 1. transducer'a bağlıdır. Transducer'ların aralarındaki mesafe ve metal topun transducer'lara olan uzaklığı bellidir. Dalgaların yansıyacağı derinliğin kalınlığı da belirlenmiş ise basit bir hesap sonucu P-dalgası hızı hesaplanabilir [8].

$$Cp = \frac{L}{\Delta t} \qquad \textbf{(3.1)}$$



Şekil 3.1: Impact-echo ses dalgası hızı tayini gösterimi

Şekil 3.1'de Ses dalgası hızı tayini gösterilmektedir. Yöntemde kullanılan P dalgası hızı hesaplanan hızın 0,96 katsayısıyla çarpımıdır.

$$C_{p,\,plate} = 0{,}96 \times C_p \qquad \textbf{(3.2)}$$

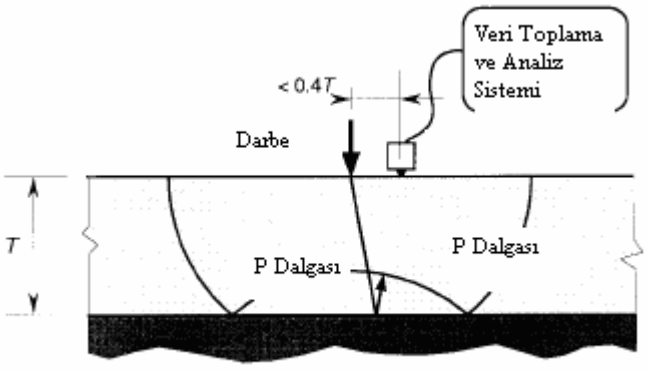
Bu katsayı beton kalınlığının hesaplanması amacıyla kullanılmaktadır. Dalga hızının belirlenmesi için gerekli diğer donanım bilgileri ilgili standartta belirtilmektedir.

Dalga hızının bulunması amacıyla kullanılacak yüzeyin muhakkak ki pürüssüz ve kuru olması gerekmektedir. Yüzey pürüzlülükleri eğer düzeltilebiliyorsa düzeltilmelidir.

Darbe, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi transducer-1'den 150 mm uzaklıkta konumlanmış metal topun kaldırılıp serbest bırakılmasıyla yaratılır. Elde edilen datalar analiz edilerek dalga hızı ölçülmüş olur. Test edilen her noktada iki darbe vurulmalı, aynı sonuç elde edilince diğer bir noktaya geçilmelidir. Unutulmamalıdır ki, beton homojen bir malzeme değildir, pek çok değişik sonuç elde edilebilir. Bu yüzden analizin sağlıklı olması için sınırlar içerisinde kalacak sonuçlar veren yeterli sayıda noktadan darbeler vurulmalı, sonuçta ortaya çıkan dalga hızlarının ortalaması hesaba katılmalıdır [8].

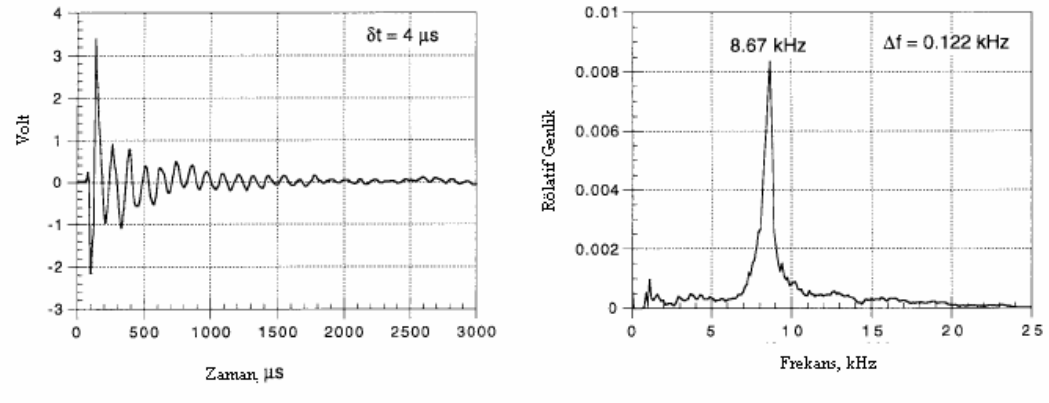
3.2.2 Prosedür-2 Impact-echo testi

Bu prosedürde de bir darbe topu (impactor) kullanılır, ancak ilk prosedürde olduğu gibi transducer'a olan uzaklığı 150mm değildir. Mesafe ele alınan malzemenin kalınlığının en az 0,4 katı olmalıdır, ayrıca metal topların çapları daha büyüktür, 8 ila 16mm arasıdır. Tek bir transducer'la data toplanır [9]. Şekil 3.2'de darbe deneyi gösterilmektedir.

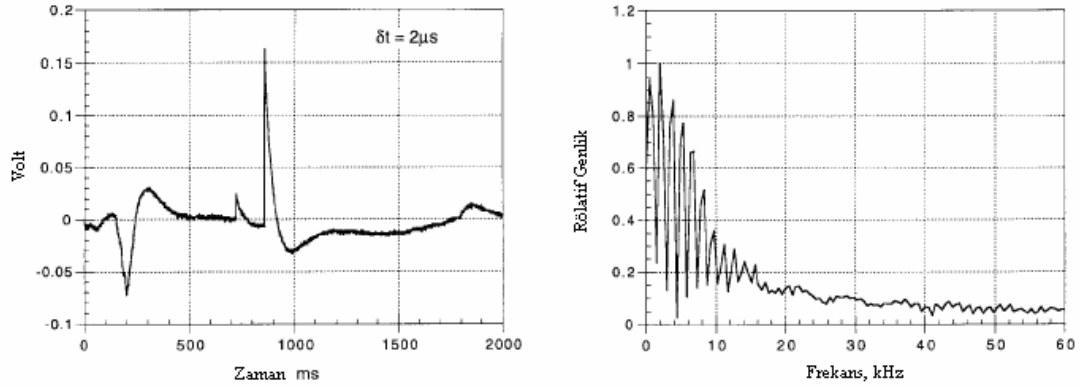


Şekil 3.2: Impact-echo darbe gösterimi

Dataların toplanmasına ilişkin diğer bilgiler ilgili standartta belirtilmiştir. Vurulan darbe sonucu elde edilen sonuçların kullanılabilir olup olmadığına karar verebilmek için elde edilen dalga kaydı ve deplasman spektrumuna ilişkin karşılaştırmalı örnekler Şekil 3.3 ve 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.3: Uygun dalga datası



Şekil 3.4: Uygun olmayan dalga datası

Ele alınan malzemenin kalınlığı Denklem (3.3)'de gösterilmektedir.

$$T = \frac{C_{p,plate}}{2 f_t} \qquad \textbf{(3.3)}$$

3.2.3 Yöntemde kullanılan katsayı ve formüller

Bu bölümde deney sonuçlarını analiz etmemizde kılavuz olarak kullanacağımız bazı formülleri ele alacağız.

Bilindiği gibi yöntemin test edildiği beton malzemesi, malzeme içeriğinde bulunan maddelerin özellikleri ve test edilen bölgenin geometrik özellikleri farklılık arz edebilir. Bu farklılıklarda zaten çok çeşitli ve karmaşık veriler sunan yöntemin analizini daha da zorlaştırabilir. Bu zorluğu ortadan kaldırmak veya asgari düzeye

çekebilmek için deneyin yapıldığı malzeme ve bölge özellikleri bilinmesi durumunda kullanılabilecek katsayı ve formüller geliştirilmiştir.

3.2.3.1 Beton içeriğinde varolabilecek değişimlere ilişkin geliştirilmiş katsayı ve formüller

Betonarme malzeme süreklilik arz eden bir bileşime asla sahip olamaz. Öncelikle betonun bileşiminde yer alan agrega ve çimentonun yapışma yüzeyleri farklı özellikte olabilirler. Betonarme malzemede kullanılan donatı çeliği betondan tamamen farklı özelliklere sahip bir malzemedir. Ayrıca beton içerisinde çatlak, boşluk bulunabilir, beton farklı tabakalar halinde dökülmüşse, tabakalar arasında farklılıklar da bulunabilir. Tüm bu değişkenleri anlamlandırabilmek için bazı katsayı ve formüller geliştirilmiştir.

Beton kalınlığı ve P-dalgası hızı biliniyorsa eğer; f_t, beton kalınlığı frekansı

$$f_t = \frac{\beta C_p}{2T} \qquad \textbf{(3.4)}$$

Burada β; şekil faktörünü temsil eder ve değeri 0,96'dır. C_p P-dalgası hızını, T ise beton kalınlığını temsil eder [9].

Çatlak veya boşluk analizinde kullanılacak formüllere geldiğimizde; betonda farklı genişlikte yatay çatlaklar bulunabilir. Bu çatlakların frekansının bulunmasında çatlağın derinliği ve genişliği etkilidir. Çatlaksız bir betonda frekansın Denklem (3.4)'de belirtildiği gibi bulunması gerekir.

Çatlak bulunan bir betonda; çatlak genişliği-çatlağın yüzeyden derinliği oranı frekansın bulunmasında kullanılır. Eğer çatlak genişliği derinliğin 1,5 katı ve üzerinde bir değere sahipse tüm dalgalar çatlak yüzeyinden yansıyacaktır ve baskın frekans çatlak frekansı olacaktır.

$$f_d = \frac{\beta C_p}{2d_d} \qquad \textbf{(3.5)}$$

burada f_d; çatlak frekansını, d ise çatlak derinliğini temsil eder.

Bu değerin altında kalan çatlak ve boşluklar(ince, ufak çatlaklar) spektrumdan belirlenebilirler, ancak çatlak küçüldükçe onu belirlemek de zorlaşacaktır. Baskın frekans da (kalınlık frekansı) çatlak genişliğine bağlı olarak değişecektir. Çatlak

daraldıkça dalganın kat edeceği mesafe kısalacak ve $f_{t,değişmiş}$(değişmiş frekans), f_t'na(kalınlık frekansı) yakınlaşacak, genişledikçe frekans azalarak kalınlık frekansından uzaklaşacaktır. Bunun nedeni dalganın çatlağın çevresinden dolanarak yol kat etmesidir [7].

Öte yandan betonda sığ çatlaklarda olabilir. Bu çatlaklar farklı frekanslar üretebilirler. Bu frekansları anlamak için çatlağın sığ olup olmadığını bilmek gerekir. Sığ ve geniş çatlaklar kalınlık frekansı modundan farklı modda frekanslar üretirler, bunlara bükülgen(flexual) mod frekansı denir. Bu modda üretilen frekans oldukça düşüktür ve darbe vurulması esnasında çıkan sesten de belli olabilirler (tok değil yankılı bir ses üretilir). Dataları analiz ederken kalınlık modu frekansları haricinde bükülgen mod frekanslarının da dikkate alınması gerekebilir [10].

Betonarme malzemede bulunan donatı çeliği, elde edilen spektrumda değişikliğe neden olabilirler. Yayılan dalgaların bir kısmı donatı yüzeyinden yansıyarak geri dönerler. Bu dalgaların frekansının spektrumda temsil ettikleri yerin belirlenmesi donatının derinliğine ve donatı çapına bağlıdır[7].

$$f_{donat\ ı} = \frac{\zeta C_p}{4 t_{do}} \qquad \textbf{(3.6)}$$

$$\zeta = \frac{-0{,}6 D_{do}}{t_{do}} + 1{,}5 \qquad ; \qquad 0{,}3 < \frac{D_{do}}{t_{do}} < 0{,}83 \qquad \textbf{(3.7)}$$

burada; ζ; donatı çapına bağlı bir katsayıyı,D; donatı çapını, t; donatının yüzeyden derinliğini temsil etmektedir.

D/t oranı 0,3 den küçükse donatı çeliğinin frekansı spektrumdan tespit edilemez. Eğer D/t oranı 0,83'den büyükse, spektrumdaki baskın frekans donatı frekansı olacaktır ve ζ=1 alınacaktır.

Donatı çeliğinde korozyon ortaya çıkabilir. Korozyonun olduğu bölgeden alınan spektrumda korozyon aynı çatlak veya boşluklu örneklerde olduğu gibi belirlenir. Baskın frekansı oluşturan kalınlık frekansı değişerek azalır. Bunun nedeni dalgaların korozyona uğramış donatının çevresinden dolaşarak yol kat etmesidir. Korozyona uğramış yerden yansıyan dalgaların spektrumda temsil ettiği frekans ise yüksek değerdedir. Ancak çatlaklı spektrumlardan farklı olarak korozyonlu spektrumun görüntüsü farklıdır. Korozyonlu spektrumda keskin iniş-çıkışlı frekanslar bulunmaz, korozyon bölgesinde daha geniş bir frekans aralığı yer alır [7].

3.2.3.2 Beton en kesitinin geometrisine bağlı değişen katsayı ve formüller

Beton en kesitinin geometrisi farklı türde olabilir. Dairesel, kare veya dikdörtgen şekillerdeki en kesitlerin farklı modlarda üretilen dalgaları ve bu dalgalara bağlı frekansları olur.

$$f_1 = \frac{\beta C_p}{2A} \tag{3.8}$$

Denklem (3.8)'de baskın frekansın veya birincil frekansın değerleri gösterilmektedir. Burada;

β; şekil faktörünü temsil eder ve kare olması halinde, 0,89; daire olması halinde, 0,92 değerindedir. Bu değer en düşük frekansa sahip mod için kullanılır, diğer modlar bu frekansın bir katsayıyla çarpılmasıyla bulunur. Bilindiği gibi geniş yüzeylerde (en kesitin ihmal edilebileceği) bu değer 0,96 idi [7].

A ise karakteristik uzunluğu temsil eder. Bu değer ilk frekans için en kesit kalınlığıdır.

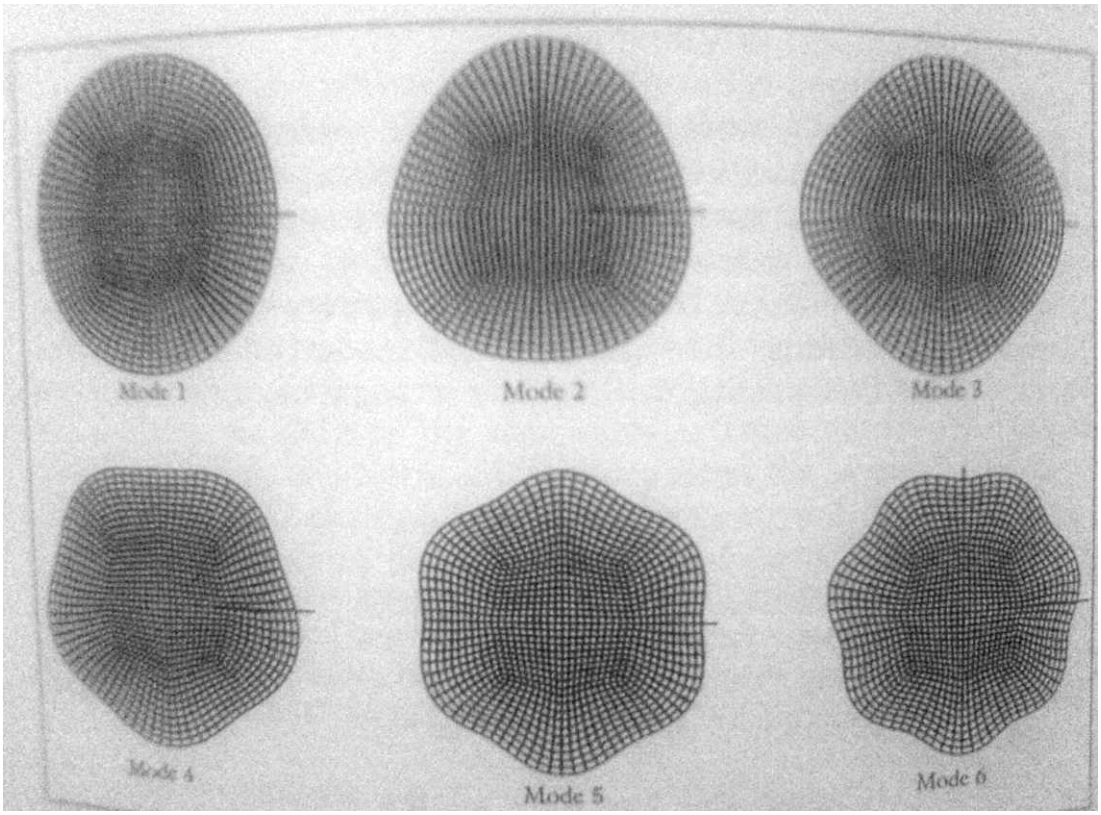
Dairesel en kesitli betonlar için kullanılan mod şekilleri için kullanılan formüller,

$$f_1 = \frac{0,92\, C_p}{2\, D_c} \tag{3.9}$$

D_c; dairenin çapını temsil etmektedir.

Diğer modlara ilişkin frekanslar; $f_2=1,5f_1$; $f_3=2,0f_1$; $f_4=2,5f_1$;$f_5=2,9f_1$;$f_6=3,3f_1$

Şekil 3.5'de dairesel kesite mod frekans şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Dairesel kesite ait mod frekansları

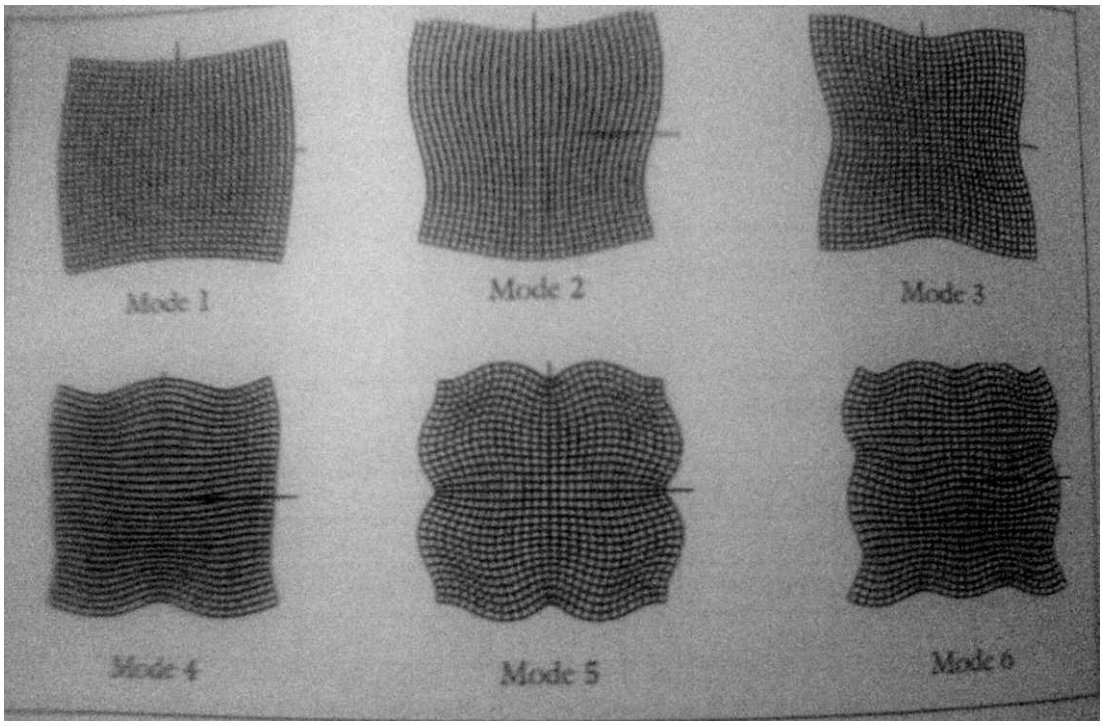
Kare en kesitte sahip bir betondaki birincil frekans

$$f_1 = \frac{0,89\, C_p}{2\, D_k} \qquad \textbf{(3.10)}$$

burada D_k; kare kenar boyunu temsil etmektedir.

Diğer modlara ilişkin frekanslar; $f_2=1,4f_1$; $f_3=1,9f_1$; $f_4=2,4f_1$;$f_5=2,8f_1$;$f_6=3,4f_1$

Şekil 3.6'da kare kesite ait mod frekans şekilleri gösterilmiştir.



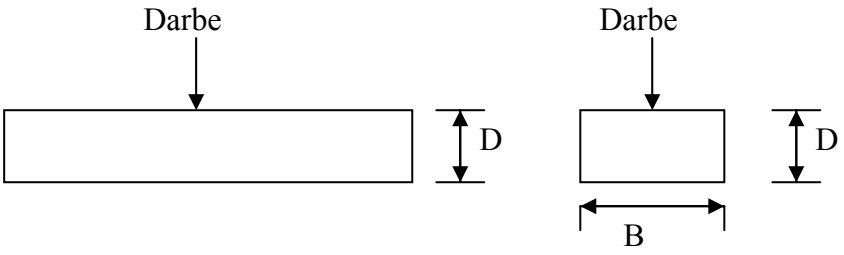
Şekil 3.6: Kare ve dikdörtgen kesite ait mod frekansları

Bulunan bu modlar spektrumda farklı değerlerde frekansları gösterirler. Çoklu modlu spektrum da denilen bu spektrumlardaki frekans değerlerinin tespitini yukarıda verilmiş olan katsayılar vasıtasıyla tespit etmiş oluruz.

Beton en kesitinde varolan çatlak veya boşluklarsa daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi mod frekanslarının değişip küçülmesine neden olur. Ayrıca yüksek frekanslı çatlak frekansı spektrumda tespit edilir. Yüksek seviyedeki mod frekansları(4., 5., 6.) da tespit edilemez olurlar.

Donatılar mod frekanslarını etkilemezler ancak yüksek frekans değerine sahip donatı frekansını ortaya çıkarabilirler.

Dikdörtgen en kesitli betonlarda (kolon-kirişler) daha farklı ve çeşitli mod frekansları mevcuttur. Şekil 3.7'de kolon enkesiti üzerinde uygulanan darbe gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Kolon enkesiti ve darbe gösterimi

Dikdörtgen en kesiti özelliklerine bağlı olarak, D/B oranına bağlı olarak,

D/B oranının; 0,6< D/B<2 arasında olması halinde bulunan değerler Çizelge 3.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1: 0,6< D/B<2 olması durumunda oluşan mod frekansları

D/B	B(Birincil Mod)	Mod 2(x*f1)	Mod 3(x*f1)	Mod 4(x*f1)	Mod 5(x*f1)	Mod 6(x*f1)
0,6	0,84	1,07	1,43	1,48	1,86	1,91
0,75	0,87	1,19	1,6	1,66	1,98	2,02
0,8	0,75	1,45	1,96	2,01	2,41	2,46
0,83	0,77	1,44	1,94	1,98	2,38	2,44
0,87	0,8	1,43	1,93	1,95	2,36	2,41
0,91	0,82	1,42	1,92	1,92	2,34	2,47
1	0,87	1,41	1,9	2,45	2,83	2,34
1,1	0,9	1,43	1,92	2,34	2,52	2,69
1,2	0,92	1,45	1,94	2,38	2,58	2,73
1,33	0,94	1,49	1,98	2,02	2,45	2,62
1,67	0,95	1,66	2,11	2,32	2,74	2,74
2	0,96	1,81	2,06	2,23	2,56	2,92

Eğer 0,2<D/B<0,6 ise,

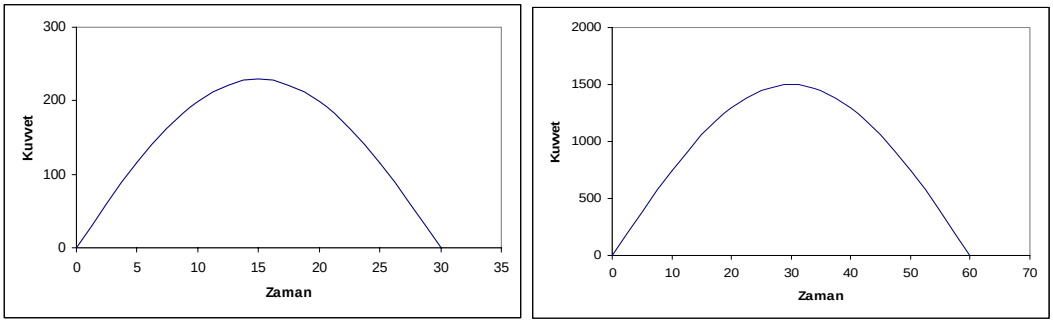
İki moda ait frekans tespit edilebilir.Diğer yüksek seviyedeki frekanslar tespit edilemezler. β=0,96 olarak kullanılır.

$$f2=2f1 \quad ; \quad 0,2<D/B<0,6 \qquad \textbf{(3.11)}$$

D/B oranı 0,2 den küçükse en kesit ihmal edilebilir düzeydedir ve β=0,96 alınarak tek bir hakim frekans elde edilir.

D/B oranının 2'den büyük olması halinde de tek bir frekans ve β=0,96 olarak kullanılır [7].

3.2.3.3 Darbe süresi ve çelik top çaplarının sonuç değerlendirmesine etkisi



Şekil 3.8: 6 ve 16 mm çaplı toplarla elde edilen kuvvet-zaman grafikleri

Şekil 3.8'de 6 mm ve 16 mm topla darbe uygulanmış Kuvvet/Zaman grafikleri verlmiştir. Kuvvet Newton, zaman µs cinsindendir. Görüldüğü gibi kullanılan topun çapı arttıkça açığa çıkan enerji ve temas süresi (darbe süresi) artmaktadır.

Çelik top çapına bağlı olarak bulunan darbe süresi Denklem (3.12)'ye göre bulunur.

$$t_c = 0{,}0043 D_s \qquad \textbf{(3.12)}$$

Burada D_s; çelik top çapını, t_c ise darbe süresini temsil eder.

Maksimum kullanılabilir frekans değeri ise;

$$f_{\max} = 291 / D_s \qquad \textbf{(3.13)}$$

Olarak bulunur.

Top çaplarına bağlı oluşan darbe süreleri ve maksimum kullanılabilir frekanslar Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2: Top çaplarına bağlı darbe süreleri ve maksimum kullanılabilir frekanslar

Top Çapı (mm)	Darbe Süresi(µs)	Maksimum Kullanılabilir Frekans F_{max} (kHz)
4	17,2	72,75
8	34,4	36,38
10	43	29,1
12	51,6	24,25
14	60,2	20,78
18	77,4	16,17

Top çaplarına bağlı olarak değişen darbe sürelerinin sonuç değerlendirmesine etkilerini maddelersek:

i- Açığa .çıkan enerjinin çoğalması ve darbe süresinin uzaması hassasiyeti azaltmakta, baskın frekanslara ait değerler daha kesin görülmekle beraber diğer frekanslar tespit edilemezler.

ii- Çelik donatı frekanslarının tespiti 8 mm üstü toplar kullanılırsa zorlaşmaktadır. Donatı frekansları 30 μs ve altı darbe süreli toplarla elde edilirler.

iii- Maksimum kullanılabilir frekans değeri top çapı büyüdükçe azalmaktadır ve gerek donatı frekans aralıkları olan 20-30 kHz ve çatlak, korozyon frekans aralığı olan 30-40 kHz değerleri 12 mm'den başlayarak okunamaz olurlar. Bu nedenle de korozyon ve çatlak frekansları 10 mm toptan itibaren tespit edilemez olurlar.

iv- Top çapı büyüdükçe mod frekansları azalır ve birincil frekans daha görünür ve hakim olur. Büyük toplar kalınlık ve kontrol amaçlı kullanılmalıdır [7].

3.3 Impact-Echo Yöntemi Kullanılarak Yapılan Bazı Deney Örnekleri

Impact-Echo testi pek çok farklı uygulamalar için kullanılabilmektedir. Bu tezin konusu olan korozyon ve çatlak tespitlerinde olabildiği gibi aşağıda sıralanan analiz konuları da ilgili yöntemin hedefleri arasındadır:

Yapışma yüzeyi kalitesi (Bond Quality) tayininde,

Ele alınan konu beton yol ise, beton kalınlığının tespitinde,

Açık yüzeydeki çatlakların derinliğinin tespitinde,

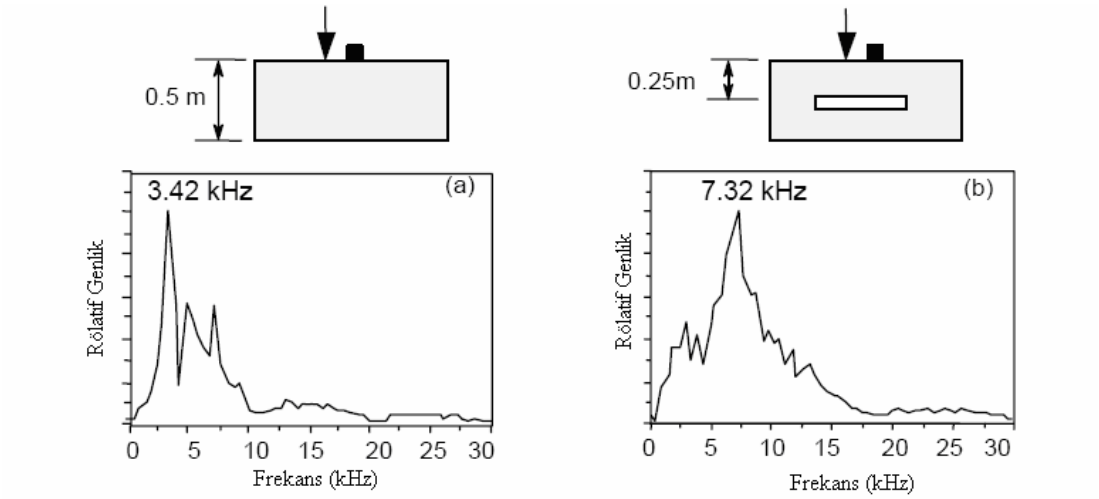
Farklı özelliklere sahip tabakaların arayüzlerinin tespitinde,

Ve betonarme yapılarda ihtiyaç olan pek çok özellik hakkında bilgi sahibi olabiliriz.

Yöntemin ortaya çıkışı ile yıllar içerisinde pek çok farklı test yolu da uygulana gelmiştir. Böylelikle analizlerin içerdiği karmaşık çıktılar daha anlaşılır zeminlere oturmuştur.

3.3.1 Beton kalınlığının tespiti ve çatlak analizi deneyi

İlk olarak derinlik boyunca enkesiti homojen dağılım gösteren bir beton bloğunu ele alacağız. Şelik 3.9 çatlaklı ve çatlaksız durumda elde edilen spektrumları göstermektedir.



Şekil 3.9: Çatlaksız ve çatlaklı betonda genlik spektrumları

Şekilde görüldüğü gibi ilk şekil iki yüzeyi arasında süreksizliği bulunmayan, homojen bir dağılıma sahip beton bloğa aittir. Bu bloktan alınmış olan dalga kayıtlarının spektrum grafiğine dönüştürülmesi sonucu elde edilen spektrum sol altta gösterilmiştir. Şeklin sağ tarafında ise yüzeyden 25 cm derinde boşluğa sahip olan bir beton blok yer almaktadır. Aynı şekilde sağ altta da bu bloğa ait spektrum eğrisi gösterilmektedir. Dikkat edilecek olursa ilk spektrumda baskın olan frekans aralığı(3.42 kHz) diğer spektrumdaki aralığın yaklaşık yarısına(7.32 kHz) denk gelmektedir. Denklem (3.4) ve (3.5)'de ifade edilen parametreler değerlendirildiğinde, P-dalgası hızı biliniyorsa eğer kalınlıklarda ters orantılı olarak birbirinin yarısı bulunur[8,10,11].

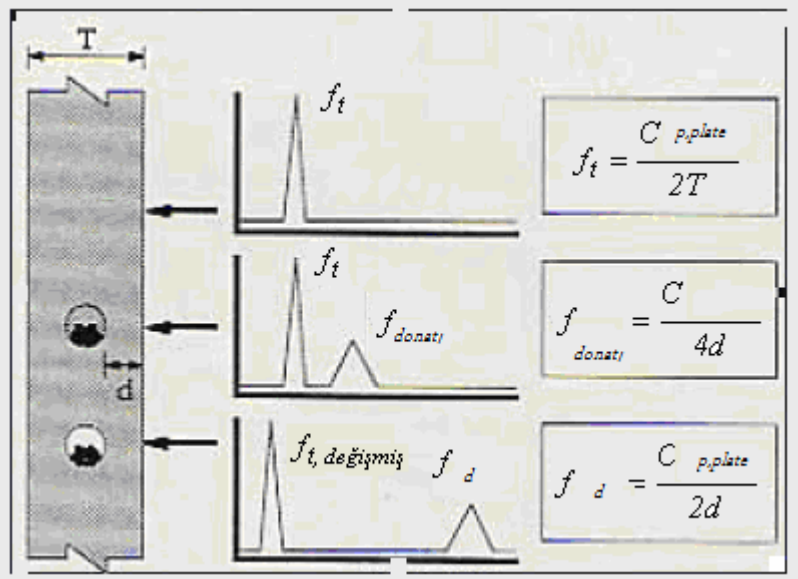
Elde edilen spektrumlar dalgaların yansıdığı yüzeyi göstermektedirler. 50 cm kalınlıktaki blokta, dalga ilk şekilde hiç bir engelle karşılaşmadan karşı yüzden yansıdığı için ve ikinci şekilde kalınlığın yarısında boşlukla karşılaşıp yansıdığı için, frekanslarda bu yansıyan dalgalara uygun olarak hesaplanmıştır. İkinci şekilde dalgalarımız karşı yüze ulaşamamakta, boşluktan geri yansımaktadırlar.

Bu analizden şu sonuç çıkmaktadır, spektrumda baskın olan frekans, dalgalarımızın çoğunun yansıyıp geri döndüğü sınır yüzeyi temsil etmektedir ve kalınlık büyüdükçe

frekans değeri küçülmektedir. Eğer kalınlığı bilinen bir blokta test yaparsak, baskın frekansın değerini de hesaplayabileceğimiz için, analiz sonucu çıkan frekans değerinin neyi temsil ettiğini de belirleriz.

3.3.2 Farklı malzemelere sahip köprü kirişi deneyi

İkinci örnekte bir köprü kirişini ve bu köprü kirişin içinde yer alan çelik boruyu ele alacağız. Bu örnekte önce dalgaların çelik boruya temas etmeden yansıdıkları, ikinci olarak içi beton dolu(grout) çelik boru ile temas ettikleri ve son olarak da içi boş çelik boru ile temas ettikleri üç ayrı analizi karşılaştırağız.

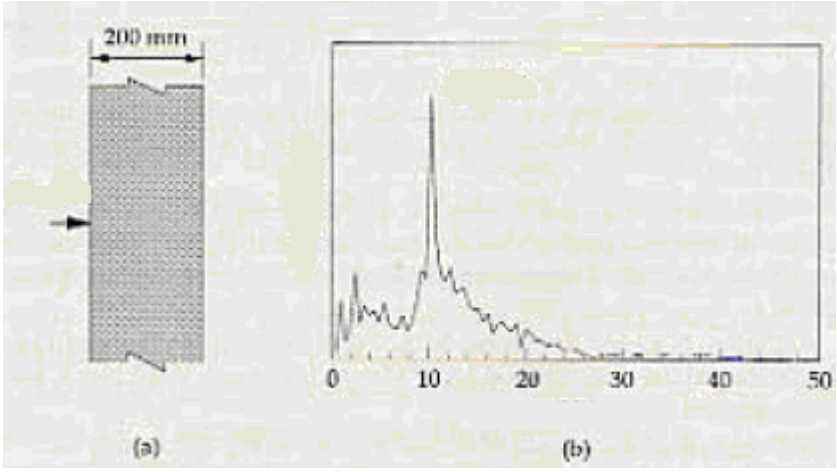


Şekil 3.10: İçi boş çelik borulu, içi dolu çelik borulu ve çelik borusuz bölgelerden alınmış spektrumlar

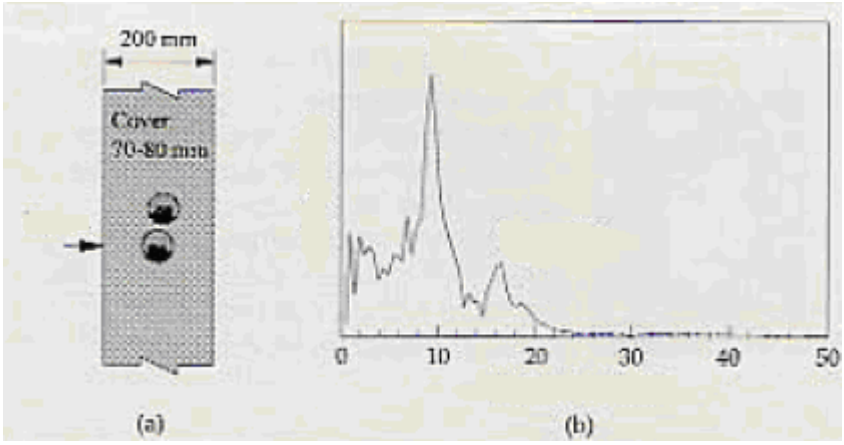
Şekil 3.10 da basit gösterimi sunulmuş olan örnekten çıkardıklarımız şunlardır:

Her spektrumda baskın olan frekans beton kirişin kalınlığına(f_t) aittir, çünkü yayılan dalgaların pek çoğu bu yüzeyden yansımaktadır. İkinci spektrumda f_t den daha büyük frekansa sahip bir frekans $f_{donatı}$ ile karşılaşmaktayız. Şekil üzerinde verilmiş olan denklemden de okuyabildiğimiz gibi bu frekans P-dalgası hızının içi dolu çelik borunun beton blok sınırlarına olan toplam mesafenin gidiş-geliş toplam mesafesine bölünmesinden elde edilmektedir. Üçüncü şekilde ise içi boş çelik borunun frekansı f_d P-dalgası hızının boşluktan yansıyan dalganın boyuna bölünmesiyle bulunmuştur. F_t'nin değişerek $f_{f\ değişmiş}$ olması ve frekans değerinin azalması, dalgaların boşlukta ilerleyememesi, borunun çevresinden dolanarak mesafeyi artırmasından ileri gelmektedir. Diğer iki frekansın genliğinin baskın frekans f_t genliğinden küçük

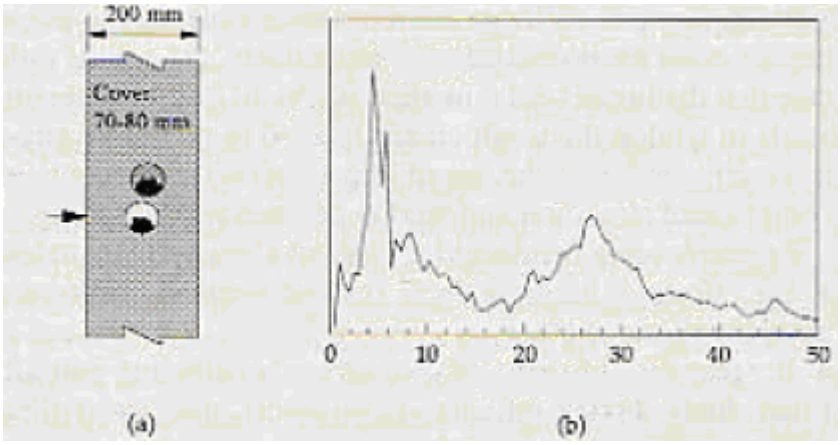
olması tüm dalgaların ancak bir kısmının bu yüzeylerden yansımış olmasından kaynaklıdır. Daha detaylı şekiller Şekil 3.11, 3.12 ve 3.13'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11: Beton kesit



Şekil 3.12: İçi dolu çelik borulu kesit



Şekil 3.13: İçi boş çelik borulu kesit

3.3.3 Yapışma yüzeyi kalitesi deneyi

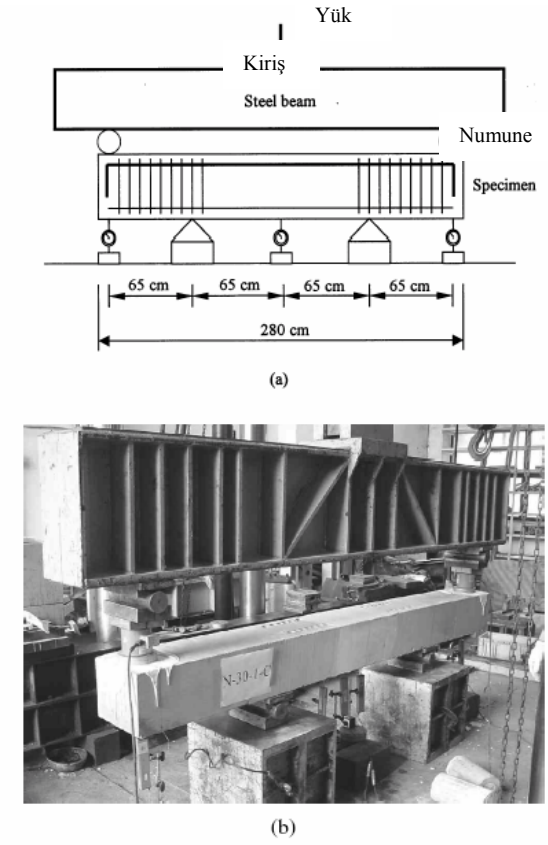
Üçüncü deneyde betonda yapışma yüzeyi kalitesi(Bond Quality) değerlendirilmiştir [10]. Deneyde kullanılan kirişlerin özellikleri şöyledir;

Kiriş N: Normal betonarme döküme sahiptir, donatılar normal yerleştirilmiştir.

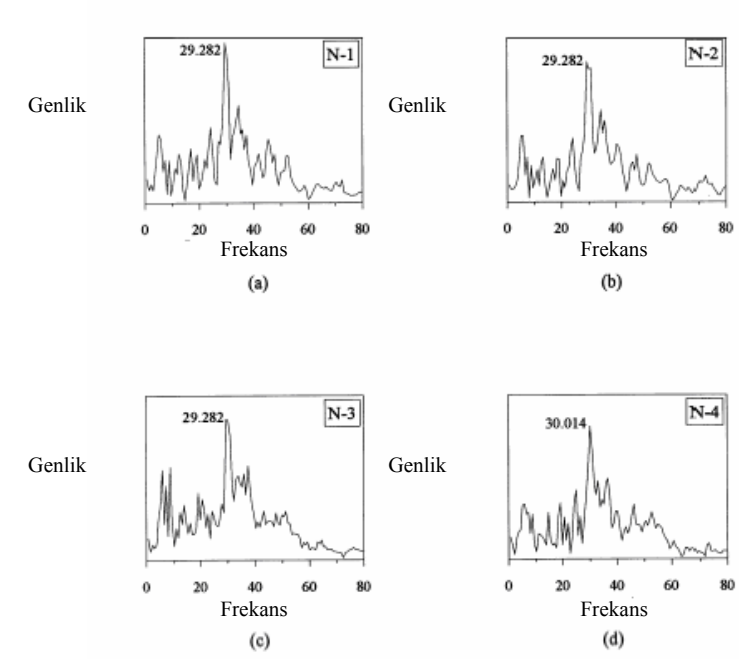
Kiriş E: Donatılar epoxy kaplanmıştır.

Kiriş O: Donatılarla beton arasında yapışma yüzeyi kaybına neden olması amacıyla donatılara yağ sürülmüştür.

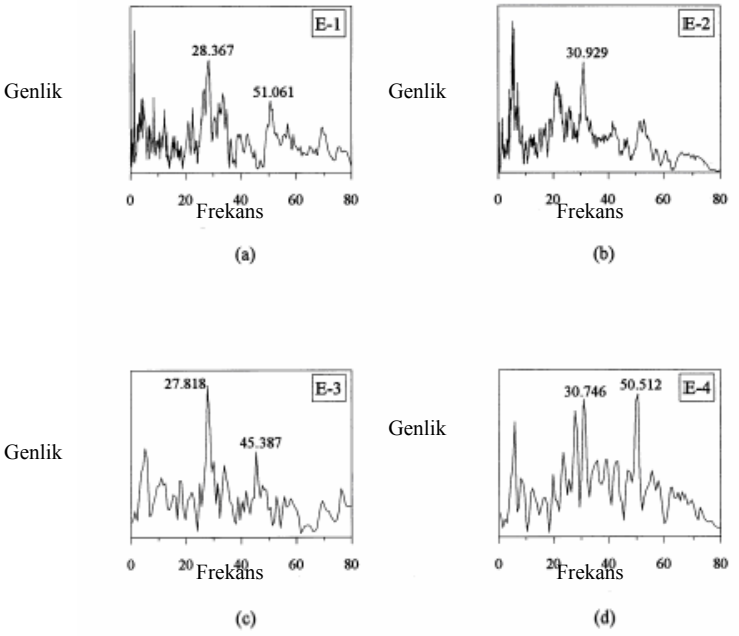
Basit mesnetlenmiş bu kirişlere düzgün yayılı yükleme yapılmıştır. Deney sonucu da impact-echo testi yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 3.14'de deney şeması gösterilmektedir.



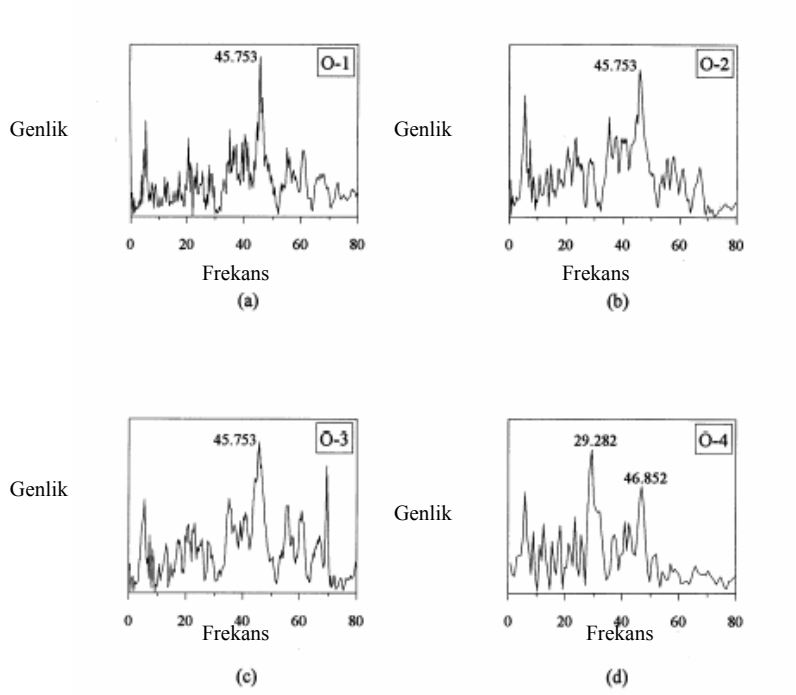
Şekil 3.14: Yapışma yüzeyi kalitesi deneyi düzeneği ve deney fotoğrafı



Şekil 3.15: N Kirişi spektrumları



Şekil 3.16: E Kirişi spektrumları



Şekil 3.17: O Kirişi spektrumları

Şekil 3.15, 3.16 ve 3.17'de kirişlerden elde edilen spektrumlar gösterilmiştir. Test sonucu ortaya çıkan sonuç çizelgesi ise Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.[10]:

Çizelge 3.3: Kirişlerin yapışma yüzeyi deneyi karşılaştırması

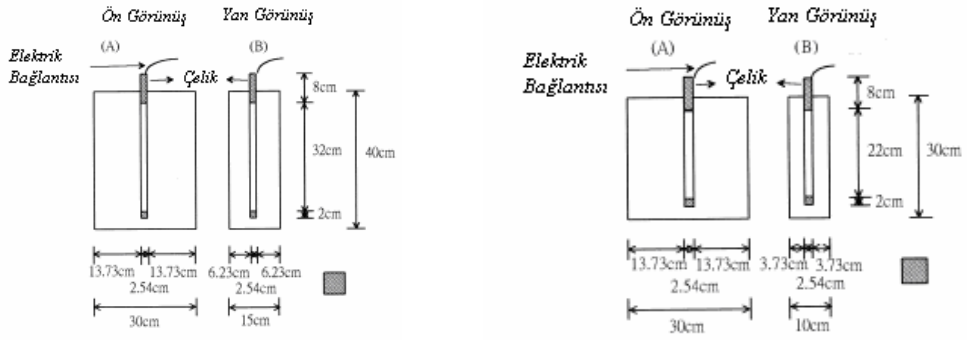
Numune Adı	Test Noktası	Çelik donatı frekansı(kHz)	Yüzeyler arası bölge frekansı(kHz)	Yapışma yüzeyi kalitesi	Yapışma yüzeyi mukavemeti, Mpa
Kiriş-N	1	29.282	-	Normal	4.96
	2	29.282	-		
	3	29.282	-		
	4	30.014	-		
Kiriş-E	1	28.367	51.061	Vasat	4.48
	2	30.929	-		
	3	27.818	45.387		
	4	30.746	50.512		
Kiriş-O	1	-	45.753	Kötü	4.10
	2	-	45.753		
	3	-	45.753		
	4	29.282	46.852		

Görüldüğü gibi kalite sonuçları frekans değerleriyle uyumlu sonuçlar vermiştir. Dayanımı ve kalitesi yüksek olan kiriş, Kiriş-N'de, frekans değerleri tek ve baskın olarak donatı çeliği frekansı olmuştur. Kiriş-E de ise baskın frekans donatı çeliği frekansı olmakla birlikte yüzeylerarası hasar frekansı da oldukça belirgin ortaya çıkmaktadır. Kiriş-O da ise sadece son noktada donatı çeliği frekansı

gözlenebilmekte diğer noktalarda frekanslar hasar yüzeylerinden yansıyan dalgaların sonucunu vermektedir, neredeyse hiç bir dalga karşı yüzeye ulaşamamaktadır.

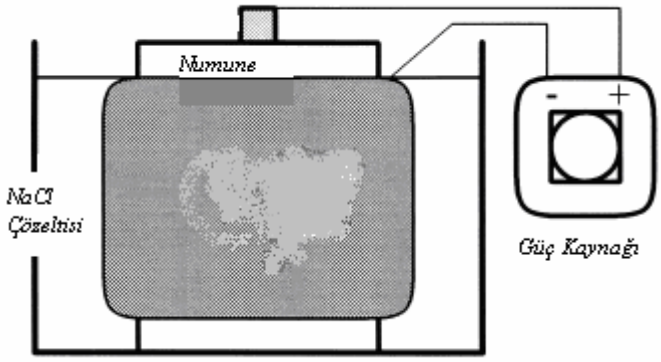
3.3.4 Korozyona maruz kalmış betonarme blok deneyi

Son olarak korozyona maruz bırakılmış bir betonarme blokta impact-echo deneyini irdeleyeceğiz [11].



Şekil 3.18: Korozyona maruz bırakılan numuneler

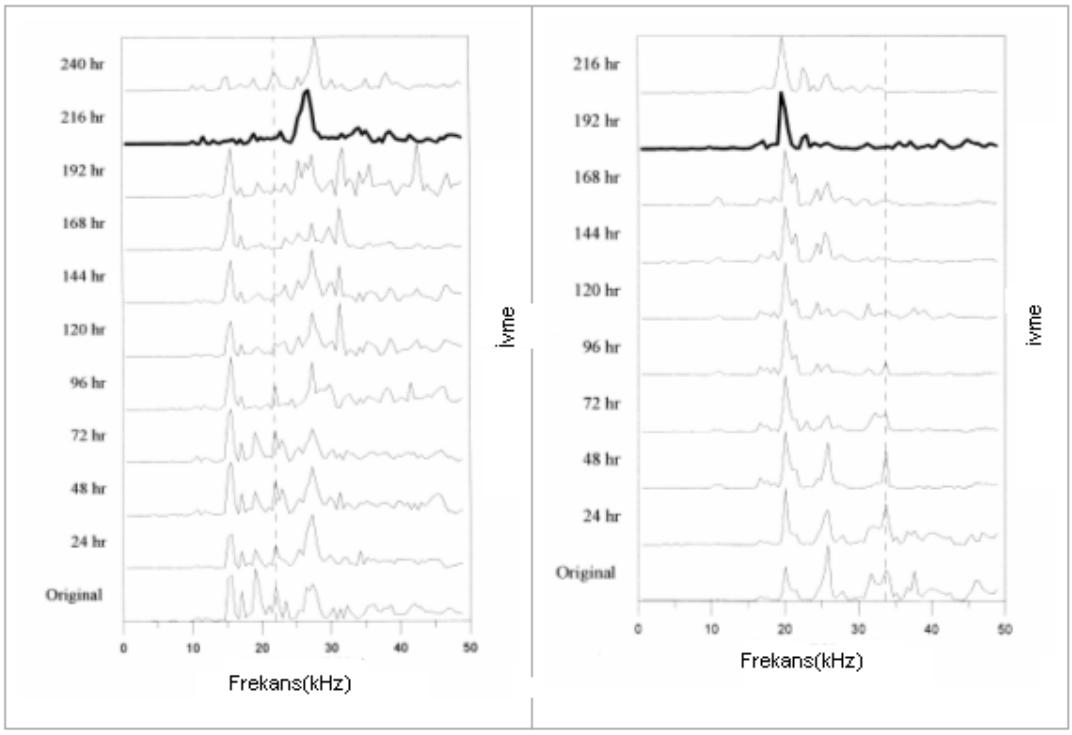
Şekil 3.18'de donatının beton bloklara nasıl yerleştirildiğini görmekteyiz, Şekil 3.19 ise beton blokların korozyona maruz bırakılışlarını göstermektedir.



Şekil 3.19: Korozyon derecesini ölçme düzeneği

Deneyler iki farklı geometriye sahip beton kalıbından dökülen farklı beton blokların zamana bağlı değişen korozyon derecelerini izlemektedir. Deneylerde belli zamanlarda impact-echo testleri yapılmış ve bu test sonuçları karşılaştırılmıştır. Dikkat edilmesi gereken nokta, impact-echo testleri sonucu analizi yapılan değerlerin ivme spektrumuna ait olmasıdır. Bilindiği gibi daha önceki spektrumlar genlik-deplasman spektrumuna aitti. Ancak bu deney örneğinde ivme spektrumları

değerlendirilmiştir, çünkü ivme kayıtları korozyon aktivitesini daha belirgin ortaya koymaktadır. Elde edilen ivme spektrumlar Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20: İvme spektrumu

İlk numunedeki ivme spektrumları göz önüne alınırsa, tireli gösterilen çizgi donatının ivme frekanslarını temsil etmektedir ve bu çizgide görülen frekans zamanla küçülerek 168. saatten sonra belirsizleştiği görünmektedir. Diğer yandansa daha baskın bir büyük frekans ortaya çıkmaktadır. Bu ilerleme, donatının korozyona maruz kalarak artık tamamen pasla kaplandığını ve dalganın bu yüzeydeki ivmelenmesinin durduğunu, öte yandan da çatlak oluşumunun artarak belirginleştiğini göstermektedir [11].

İkinci spektrumda yine tireli çizgi donatının ivme frekanslarını göstermektedir. Bu çizginin de 120. saatten sonra belirsizleştiği, hatta 192. saatten sonra sadece tek bir baskın frekans kaldığı gözlemlenmektedir. Eğer bu spektrum bir deplasman spektrumu olsaydı harika bir betonla karşı karşıya olduğumuzu hiç çekinmeden söyleyebilirdik, ancak söz konusu olan bir ivme spektrumu olunca maalesef ki çok ciddi bir korozyon sorunuyla karşı karşıya kaldığımız aşikardır. Bu saatten sonra dalgalarımız herhangi bir ivmelenme yaratacak (genellikle donatı) bir şeye rastlamadan iki yüzey arasında yol almaktadır. Dikkat edilmesi gereken husus, ivme spektumundaki frekans değerlerinin deplasman spektrumundakilerle

karıştırılmamasıdır. İvme spektrumunda ivmelenmeyi sağlayacak bir kaç baskın frekans elde edilebilir, bilinmesi gereken korozyonun bu ivmelenmeyi engelleyerek açığa çıkan enerjiyi soğurmaya dönük çalışması, ona göre frekans değerlerinde değişime neden olmasıdır [11].

Öte yandan uygulamalarda ayrıntılı analiz edeceğimiz numunelerde ne yazık ki ivme spektrumları göz önüne alınmamıştır; bunun nedeni deneylerin periyodik değil gündelik yapılmasıdır. İvme spektrumunun analizinin yararlı olabilmesi için periyodik testler yapılarak değişimin her safhada gözlemlenmesi gerekmektedir. Yaptığımız testler her ne kadar kontrollü olsada korozyona maruz kalmış kolonların ne zamandan bu yana korozyonlu olduğunu tespit edemeyeceğimizden ivme spektrum analizi de etkisiz kalacaktır.

3.3.5 Gözlemlenen deneylerin analizi

Uygulamalar kısmında ele alacağımız testlere referans olması amacıyla örneklenmiş yukarıdaki deneyler sonuç olarak şunları sunmaktadırlar:

Birinci deney sonucu görmüş oluyoruz ki kalınlığı ve dalga hızı bilinen bir betonda kalınlığa tekabül eden bir baskın frekans elde edilir, eğer ki bu değerden farklı (istisnai sapmalar değerlendirmeye alınmazsa) bir değer baskın frekans olarak elde edilmişse beton içerisinde bir süreksizlikle karşı karşıya olduğumuzu anlarız. Bu süreksizlik boşluk, çatlak veya tabaka arayüzünden kaynaklı olabilir. İkinci deney örneğinde ise yüzey boyunca devam etmeyen süreksizliklerin sonuca etkisi gözlemlenmiş, dolu ve boş çelik borular söz konusu olunca genlik spektrumunun nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Görüldüğü gibi baskın frekans kalınlığa tekabül etmekte, içi dolu çelik boru söz konu olduğunda ortaya çıkan frekans ise içi boş olan çelik boruya nazaran daha küçük olmaktadır, bunu ilgili denklemlerle de belirlemekteyiz. Üçüncü deney örneğinde yapışma yüzeylerinin kalitesine bağlı olarak donatı ile beton arasındaki yüzey farklılıklarının sonuca etkisi incelenmiş ve iyi yapışmış yüzeylerin sonucunun daha homojen bir sonuç verdiği, tek ve baskın bir frekans; iyi yapışmamış yüzeylerin ise kötü sonuç verdiği, baskın frekansın yapışma yüzeyinde meydana gelen çatlaktan yansıyan dalgalar tarafından meydana getirildiği gözlemlenmiştir. Son örnekte ise ivme spektrumunun elde edilmesiyle korozyonun nasıl gözlenebildiği, korozyona uğramış donatılarda donatı spektrumunun sönümlenerek belirsizleştiği ve çatlak ihtimalinin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

4. DOLGU DUVAR ÖZELLİKLERİ VE DUVAR DAVRANIŞININ BİNA PERFORMANSINA ETKİSİ

4.1 Dolgu Duvarın Yapısal Özellikleri

Dolgu duvarın bina performansına etkisi geçmişte çokta dikkate alınmayan bir hususken son yıllarda yapılan incelemeler neticesinde; sadece düşey yük bağlamında ele alınan dolgu duvarların bina rijitliğine, periyoduna, ağırlığına ve etkiyen deprem kuvveti büyüklüğüne etkisinin olduğu ve bu etkilerin bina davranışını belirgin şekilde değiştirdiği gösterilmiştir. Bu bağlamda dolgu duvarların yapısal özellikleri de önem kazanmıştır. Bilindiği gibi binalarımızda pek çok farklı türde dolgu duvar çeşidi kullanılmaktadır. Bu tezde sadece standart fabrika üretimi tuğla duvar söz konusu olacaktır.

Türkiye'de inşa edilen yapılarda harman tuğlası, düşey delikli tuğla, dolu fabrika tuğlası, yatay delikli tuğla ve son yıllarda gaz beton kullanılmaktadır. Aşağıda, dolgu duvar malzemesi olarak kullanılan duvar çeşitlerine ilişkin DBYBHY-2007'de verilmiş olan değerler Çizelge 4.1 ve 4.2'de gösterilmektedir.

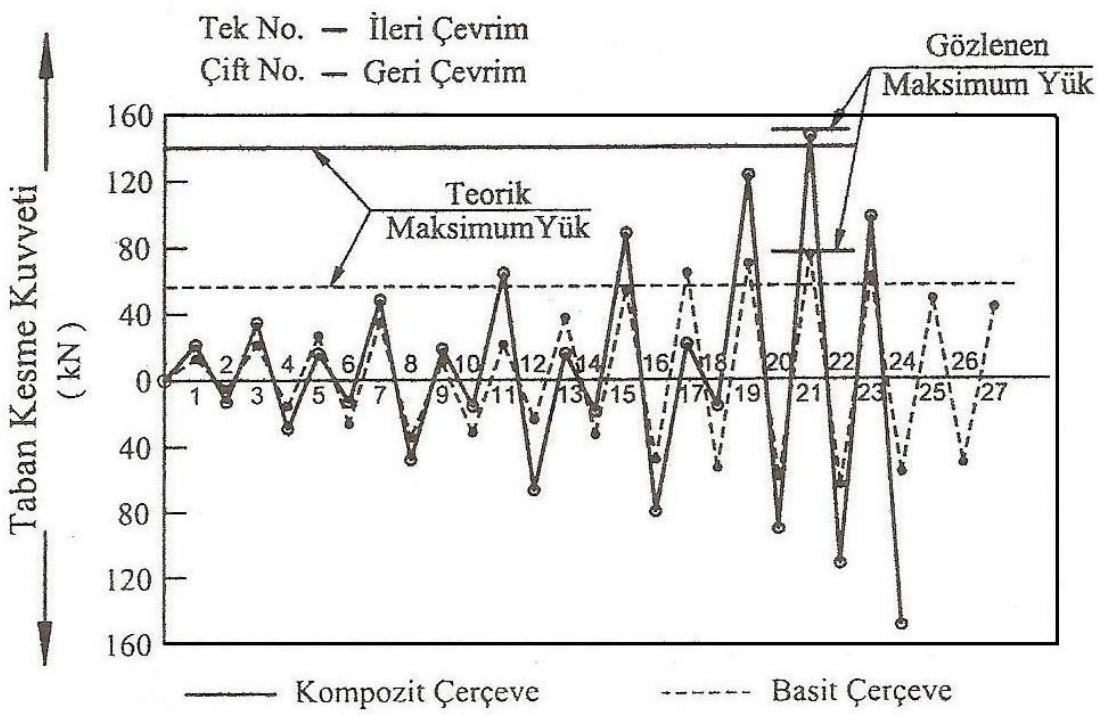
Çizelge 4.1: Serbest basınç dayanımı bilinmeyen duvarların basınç emniyet gerilmeleri

Duvarda Kullanılan Kargir Birim Cinsi ve Harç	**Duvar Basınç Emniyet Gerilmesi f_{em} (MPa)**
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35'den az, çimento takviyeli kireç harcı ile)	1.0
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35- 45 arasında, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.8
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %45'den fazla, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.5
Dolu blok tuğla veya harman tuğlası (çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.8
Taş duvar (çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.3
Gazbeton (tutkal ile)	0.6
Dolu beton briket (çimento harcı ile)	0.8

Çizelge 4.2: Duvarların çatlama emniyet gerilmesi(τ_o)

Duvarda Kullanılan Kargir Birim Cinsi ve Harç	Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi τ_o (MPa)
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35'den az, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.25
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35'den fazla, çimento takviyeli kireç harcı ile	0.12
Dolu blok tuğla veya harman tuğlası (çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.15
Taş duvar (çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.10
Gazbeton (tutkal ile)	0.15
Dolu beton briket (çimento harcı ile)	0.20

Dolgu duvarlı betonarme yapıların dolgu duvarsız betonarme yapılara göre 2 kat daha fazla yük taşıma kapasitesine sahip olduğu Şekil 3.21'de de gözükmektedir [12].

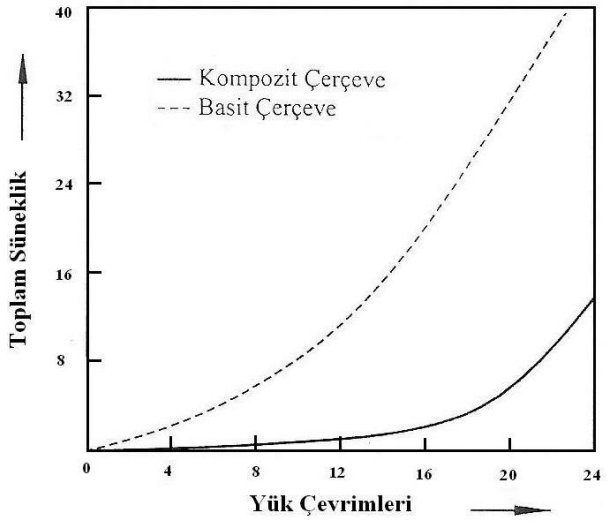


Şekil 4.1: Tekrarlı ve yön değiştiren yüklemenin değişimi

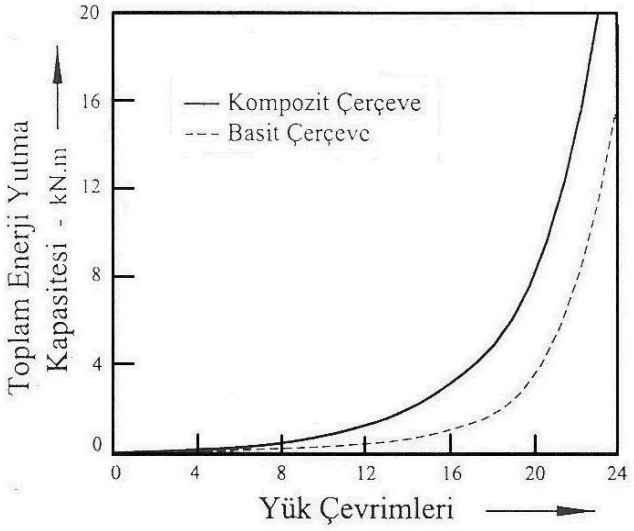
4.2 Dolgu duvarların davranış biçimleri

Dolgu duvarlar binanın yatay rijitliğini ve enerji yutma kapasitesini(süneklik) artırırlar. Yapı rijitliğine sağladıkları artım nedeniyle, yapının mod şeklini ve periyodunu değiştirirler.

Yapıyı daha sünek hale getirerek binanın daha fazla enerji yutmasını, ani göçmelere imkan tanımamasını sağlarlar. Şekil 4.2 ve 4.3'de yapının dolgu duvarlı(kompozit)-d.duvarsız süneklik ve enerji yutma grafikleri gösterilmektedir [12].



Şekil 4.2: Tekrarlı ve yön değiştiren yükleme etkisinde sünekliklerin karşılaştırılması

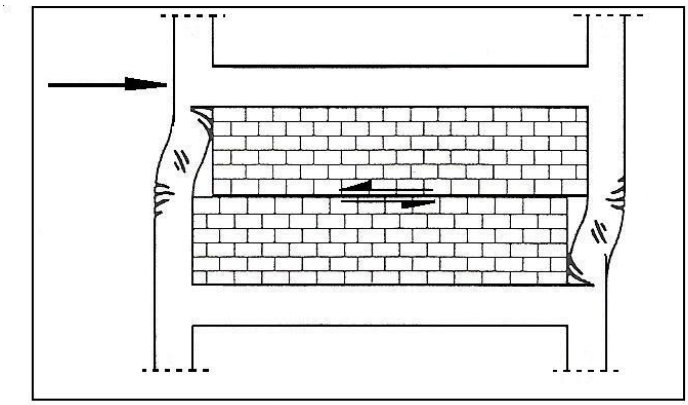


Şekil 4.3: Tekrarlı ve yön değiştiren yükleme etkisinde yutulan toplam enerji miktarının karşılaştırılması

Dolgu duvarlar çeşitli şekillerde davranış yapabilirler. Bunların bazıları aşağıda özetlenmiştir:

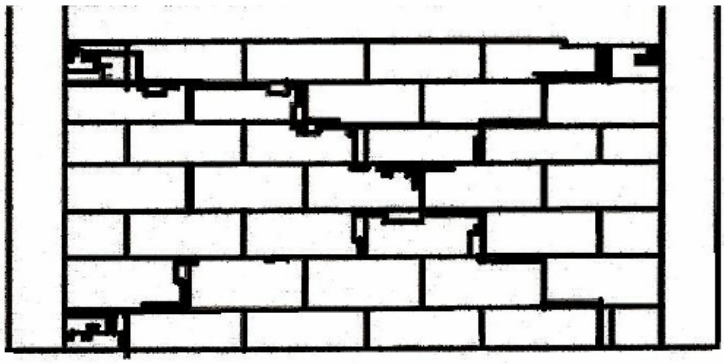
Yatay Derz Kayması: Düzlemi içinde etkiyen yatay kuvvetin küçük değerlerinde çerçeve dolgu duvarları tamamen uyum içinde, bir perde duvar gibi birlikte hareket edeceklerdir. Yatay yerdeğiştirmenin artmaya başlamasıyla bu davranış çok karmaşık hal alır. Çerçeve elemanları eğilme davranışı biçiminde şekildeğiştirmeye çalışırken, dolgu duvar paneli de kayma davranışı biçiminde Şekil 3.24'deki gibi

şekildeğiştirmeye çalışacaktır. Bunun sonucunda dolgu duvarları kesme kuvvati taşıyamaz duruma gelmekte ve yerdeğiştirmeler artarak kolonlardaki kesme kuvvati ve eğilme momentini artırmaktadır. Durum Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Dolgu duvarlı sistemin yatay yük altındaki davranışı

Çapraz Çatlama: Dolgu duvarlı bir çerçevenin yatay yüklemelere maruz kalması durumunda duvarın köşegenleri doğrultusunda ve yüklemenin yönüne göre çekme ve basınç bölgeleri oluşur. Çerçeve sistemdeki birim yerdeğiştirme değerleri dolgu duvarın değerlerini aştığı zaman bu tür çatlaklar meydana gelmektedir. Katlar arasındaki yerdeğiştirmeler arttıkça çatlaklar köşelere doğru ilerleme eğilimi gösterirler.

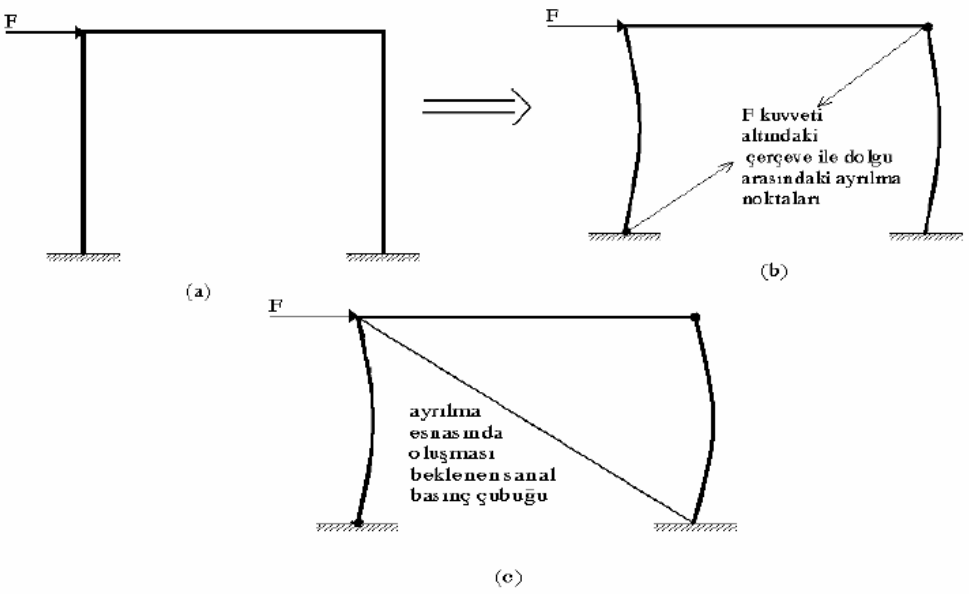


Şekil 4.5: Çapraz gerilme sonucu oluşan orta şiddette çatlak

Köşe Kırılması: Yatay yükleme altındaki çerçevenin dolgu duvarlarında oluşan diyagonal gerilmelerin köşelerden herhangi birinde yüksek değerlere ulaşması ile meydana gelir. Rijit kolonların ve kirişlerin birleşim bölgeleri zayıf olduğundan dolayı bu tip köşe kırılmaları oluşmaktadır.[13].

Düzlem Dışı Kırılma: Yapının dolgu duvar düzlemine dik gelişen aşırı yükler ile zorlanması sonucu bu tür kırılmalar ortaya çıkmaktadır. Bu durumda dolgu

duvarlarda hem düşey hem de diyagonal çatlaklar meydana gelmektedir. Durum Şekil 4.6'da görülmektedir

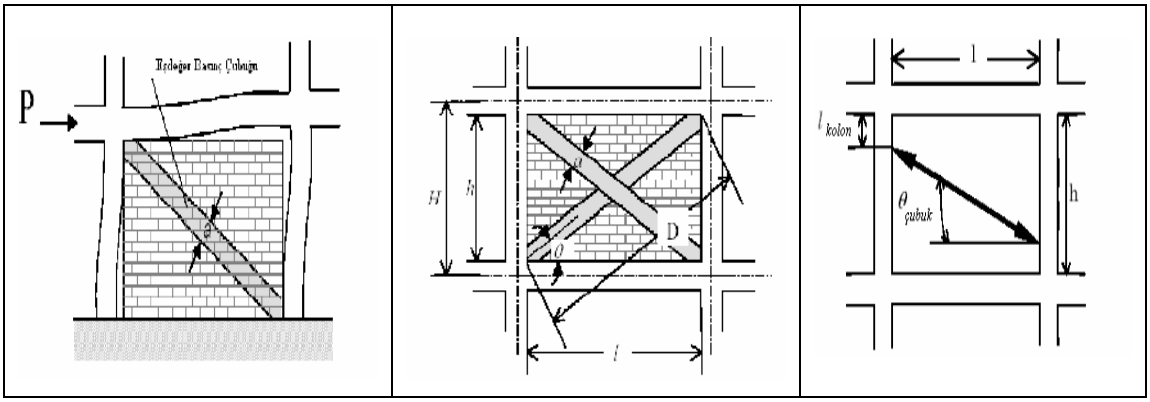


Şekil 4.6: Dolgu duvarlı çerçevenin yatay yük altında, dolgudan ayrılma noktaları ve sanal basınç çubuğunun oluşumu

4.3 Dolgu Duvarların Davranış Modelleri(Al-Chaar'ın Yöntemi)

Yöntem yatay yükler altında dolgu duvarlı binanın şekildeğiştirmesi esas alınarak yapılmıştır. Modelin test edilmesi sırasında, panelin merkezinde diyagonal çatlaklar gözlenir ve modelin karşılıklı çapraz yüklenmemiş köşelerinde çerçeveyle dolgu arasında boşluklar oluşur, bu arada da yüklenmiş iki çapraz köşede de tam bir temas gözlenir. Bu davranış ilk olarak Polyakov tarafından belirlenmiştir. Eşdeğer duvar çubuklarının kalınlığı, a, dolgunun kendi net kalınlığı ve mekanik özellikleri (elastisite modülü gibi) aynıdır ve çerçeve tarafından kuşatılmış kabul edilir. Eşdeğer kalınlığı a'nın belirlenmesi araştırmacıların yaptıkları kabuller doğrultusunda değişim göstermektedir. En kolay yaklaşımlar Paulay ve Priestley (1992), Angel ve diğerleri (1994) tarafından sunulan çubuk kalınlığı, a, sabit bir değer olarak (dolgunun ya da çerçevenin özelliklerini göz önüne almaksızın) dolgunun diyagonal boyutlarının %12.5 - %25 i arasında kabul edildiği yaklaşımdır [14]. Stafford Smith ve Carter (1969) [15], Mainstone (1971) ve diğerleri eşdeğer çubuk kalınlığı, a, hakkında fikir vermek için daha kompleks bir ifade çıkarmışlardır [15]. Kolon/kiriş arasındaki temas boyu gibi parametreleri ve dolgu ile çerçeve arasındaki nispi rijitliği göz önünde tutmuşlardır. Mainstone (1971) ve Stafford-Smith ve Carter (1969)'ın

dolgu çerçevenin doğrusal davranış ile ilgili hesapları, Mainstone (1971); ve Al-Chaar (1998)'ın deneysel sonuçları ile karşılaşıldığında yaklaşık değerler gösterdiğinden, bu çalışmada kullanılan eşdeğer genişlik ifadeleridir [16]. Şekil 4.7'de eşdeğer basınç çubuklarının yerleştirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.7: Eşdeğer basınç çubuklarının gösterimi

$$\lambda = \left(\frac{Et \sin 2\theta}{4E_c I_c h} \right)^{1/4} \qquad \textbf{(4.1)}$$

$$a = 0{,}175 r (\lambda h_c)^{-0{,}4} \qquad \textbf{(4.2)}$$

$$A_{eç} = at \qquad \textbf{(4.3)}$$

Burada;

$\lambda_{eç=}$ duvardan çerçeveye gelen bağıl rijitlik

h_c= kolon boyu

h=dolgu duvar boyu

r=diyagonal boyu

E= dolgu duvar elastisite modülü

$E_{c=}$ kolon elastisite modülü

t= dolgu duvar kalınlığı

I_c= kolon atalet momenti

θ= diyagonal çubuğun yatayla yaptığı açı

a= eşdeğer çubuk genişliği

$A_{eç}$=eşdeğer çubuğun enkesit alanı

Olarak bilinir.

Eşdeğer çubuğun plastik mafsal değerleri belirlenecekken kullanılacak olan eksenel kuvvet kapasitesi ve eksenel rijitlikleri Denklem (4.4) ve (4.5)'e göre belirlenir [17].

$$k_{eç} = \frac{a\,t\,E}{r} \tag{4.4}$$

$$N_{pç} = \frac{V_{eç}}{cos\theta} \tag{4.5}$$

$$V_{eç} = A\tau \tag{4.6}$$

Burada;

$K_{eç}$= eşdeğer çubuğun eksenel rijitliği

$N_{pç}$= eşdeğer çubuğun eksenel kuvvet kapasitesi

$V_{eç}$= eşdeğer çubuğun kesme kuvveti kapasitesi

τ= dolgu duvarın çatlama emniyet gerilmesi(değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir)

Buradan da eşdeğer çubuğun Denklem (4.7) ile eksenel kuvvetine karşılık gelen uzama kapasitesi bulunmuş olur.

$$N_{pç} = k_{eç} u_{eç} \tag{4.7}$$

$u_{eç}$= eşdeğer çubuğun uzama miktarı

5. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZLE MEVCUT BİR BİNANIN DAVRANIŞINI HESAPLAMA

5.1 Performansa Dayalı Tasarım

Binanın olası depremler karşısında göstereceği sismik davranışa performans kavramı denir. Sismik performans, belirlenmiş deprem tesiri altında, önceden kabul edilmiş sınırlar içerisinde binalarda oluşabilecek azami hasar durumlarının belirlenmesi şeklinde de tanımlanabilir [18]. Yapı performansı seçilen bir yer hareketi seviyesine göre bir çok gelişmiş yöntemle belirlenebilir. Bunlar doğrusal elastik, doğrusal olmayan statik, doğrusal dinamik, doğrusal olmayan dinamik, yöntemler olrak sıralanabilir. Doğrusal yöntemler beklenen doğrusal olmayan davranışın az olması halinde, statik yöntemler yüksek olmayan sıradan binalar söz konusu olduğunda, dinamik yöntemler ise yüksek ve burulma ihtimali yüksek olan binalarda kullanılabilirler. Doğrusal olmayan yöntemler ise her tür yapı için kullanılabilirler. Doğrusal olmayan statik analiz diğerleri arasında çözümü en basit olanıdır.

5.1.1 Performans hedefi

Tasarlanmış bir deprem hareketi altında, bina için geliştirilmiş yapısal performans, performans hedefi olarak belirtilir. Yapının taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarının performans seviyeleri yapısal performansı ifade eder.

Performansa dayalı tasarım yaklaşımında yapılmak istenen, yapı için uygun bir yerin seçimi de dahil olmak üzere yapıyı inşa edip, oluşabilecek bir deprem için yapının davranışını ve performansını belirleyecek bir yöntem oluşturmaktır. Burada kullanılan yapı performansı yapının deprem etkisi altında ne kadar bir hasarı karşılayacağının ve hasar boyutlarının ölçüsüdür.

Bir performans amacı, yalnızca bir deprem durumu dikkate alınarak belirlenebilecegi gibi, birden fazla deprem durumu dikkate alınarak da belirlenebilir. Birden fazla deprem etkisini göz önüne alan bu performans amacı, “Çoklu Performans Amacı” olarak isimlendirilir.

5.1.2 Performans seviyeleri

Deprem sonrası yapıda oluşabilecek hasarların öngörülerek bu hasarların oluşturabileceği can güvenliği tehditlerinin ve hizmet durumunun belirlenmesi performans seviyelerini oluşturur. Yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans seviyeleri ayrı ayrı belirlenir ve öngörülmüş bir deprem sonrasında istenilen seviyeye göre yapısal ve yapısal olmayan elemanlara ilişkin ortak bir seviye belirlenir, böylece yapıya ait performans seviyesi belirlenmiş olur [18].

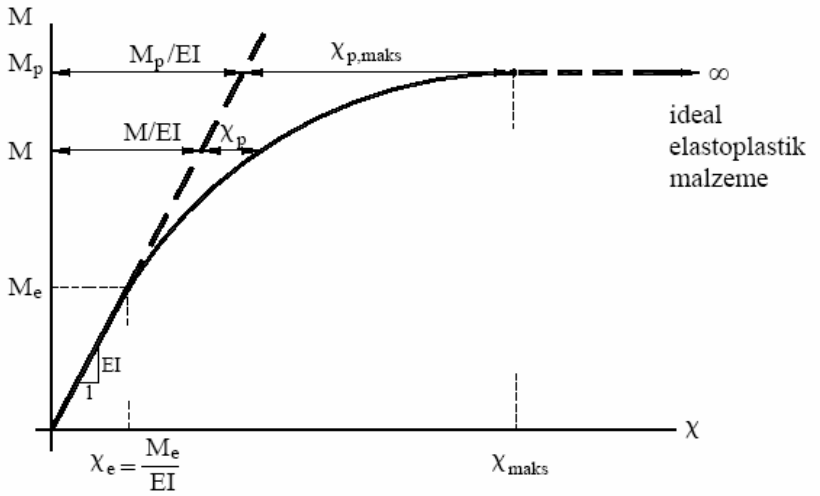
Performans seviyeleri oluşturan hasar sınırları DBYBHY 7.bölümde ayrıntılı olarak işlenmiştir.

5.2 Doğrusal Olmayan Statik Analiz

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik sekildegiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır.

5.2.1 Plastik mafsal hipotezi

Doğrusal olmayan eğilme şekildeğiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen kesit uçlarında toplandığı ve bu bölgeler haricinde sistemin doğrusal elastik davranış sergilediği kabul edilir. Bu hipoteze plastik mafsal hipotezi denir. Şekil 5.1'de momen-eğrilik diyagramı gösterilmiştir.



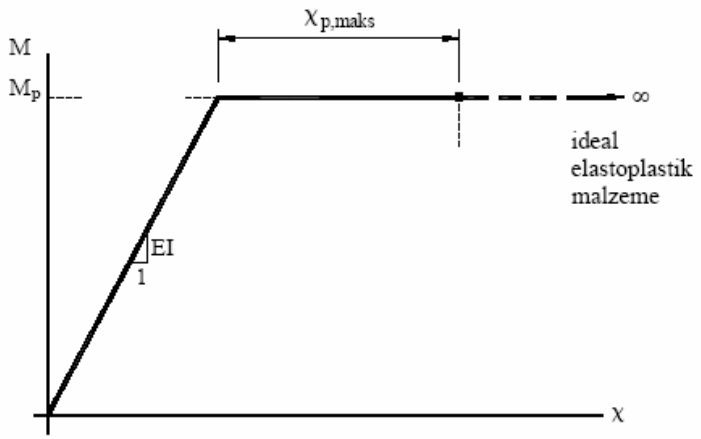
Şekil 5.1: Eğilme momenti – eğrilik diyagramı

Hipoteze göre, l_p uzunluğundaki bir bölgeye yayılan doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmelerin

$$\varphi_p = \int_{l_p} \chi_p ds \qquad \textbf{(5.1)}$$

şeklinde, plastik mafsal olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada,

$\varphi_{p=}$ plastik mafsalın dönmesini göstermektedir.



Şekil 5.2: İdealleştirilmiş eğilme momenti – eğrilik bağıntısı

İdealleştirilmiş moment-eğrilik bağıntısı diyagramı Şekil 5.2'de gösterilmektedir. Dönme kapasitesinin değerindeki değişim yapıdan beklenen performans düzeyinden ileri gelebileceği gibi aşağıda sıralanan nedenlere de bağlıdır:

a- beton ve donatı çeliğindeki sınır birim boy değişmeleri,

b- betonarme elemandaki sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni,

c- plastik davranış gösteren elemanın enkesit boyutları,

d- eğilme momenti diyagramının şeklidir.

5.2.1.1 Plastik mafsal hipotezinin esasları

1- eğilme momenti artışı, M_p plastik moment değerine ulaşınca durur ve plastik mafsal oluşmuş olur. Plastik mafsal oluştuktan sonra artık eğilme momenti değişmez olur ve plastikleşen kesit serbestçe dönebilmeye başlar. Bu dönem değeri kesitin maksimum dönme kapasitesine erişince kesit kullanılamaz duruma gelir.

2- sistemin plastik davranışlar arasında doğrusal elastik çalıştığı kabul edilir..

3- Kolon gibi eğilme momenti haricinde normal kuvvet etkisi altında da çalışan kesitlerde, M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik moment (M_p) değeri esas alınır.

5.2.1.2 Plastik davranışın idealleştirilmesi

DBYBHY'de, doğrusal olmayan davranışın plastik kesitlerde geliştiği belirtilmiştir. Basit eğilme durumunda *plastik mafsal hipotezi*'ne karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olustuğu varsayılmaktadır. Basit eğilme durumunda *plastik mafsal boyu* olarak adlandırılan *plastik şekildeğiştirme bölgesi*'nin uzunluğu (L_p), çalısan dogrultudaki en kesit yüksekligi (h)'nın yarısına esit alınmaktadır, ($L_p = 0.5\ h$).

Sadece eksenel kuvvet altında plastik sekildegistirme yapan elemanların plastik sekildegiştirme bölgelerinin uzunlugu, ilgili elemanın serbest boyuna esit olarak alınır.

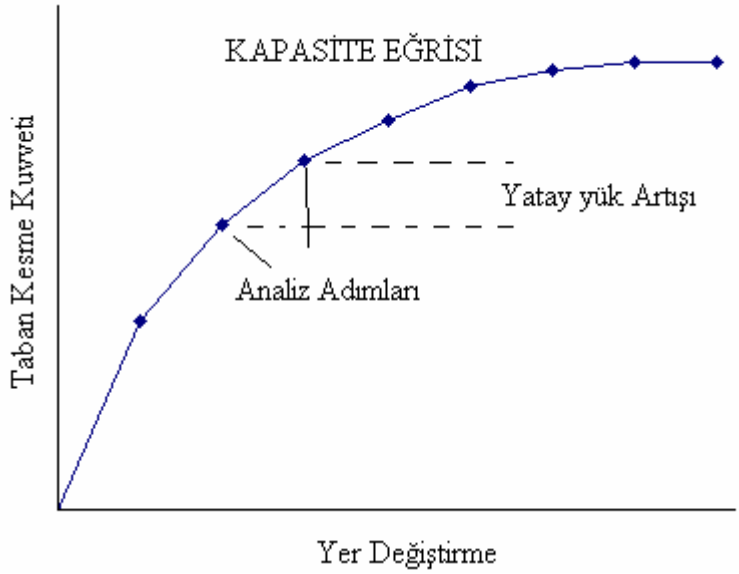
5.2.2 Kapasite

Kapasite, yapının beklenen talep deprem etkisini karşılayabilme özelliğidir. Yapıyı oluşturan elemanların dayanım ve şekildeğiştirme kapasitelerine bağlı olan yapının genel kapasitesidir. Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan sistemlerin ve elemanların kapasiteleri ile yapının kapasitesi tanımlanabilir. Yapıda performans amacında tanımlanan deprem etkisine karşı koyabilecek kapasitenin bulunması gerekir. Yapının performansı, kapasitenin talep deprem etkisini karşılayabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Elastik sınır ötesindeki kapasitenin bulunması için doğrusal olmayan statik analiz kullanılabilir. Bu, tüm yapının, kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin yaklaşık olarak çıkartılması işlemidir.

5.2.2.1 Kapasite eğrisinin oluşturulması

Yapı kapasitesi, itme eğrisine bağlı olarak itme eğrisinin eksenleri, taban kesme kuvveti ve yapının en üst noktasındaki yerdeğiştirme değerleridir. Yapının, belirlenen yatay yük modeli ile, limit duruma erişene kadar artarak itilmesi ile elde

edilir. Kapasiteye erişen kesitler akma sonrası rijitliklerine eşitlenir ve yeni durumda doğrusal analiz tekrarlanır. Tekrar eden her bir doğrusal analizler sonucu, ilgili adımdaki taban kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmelerin birleştirilmesiyle kapasite eğrisi oluşturulur. Şekil 5.3'de kapasite eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 5.3: Kapasite eğrisi

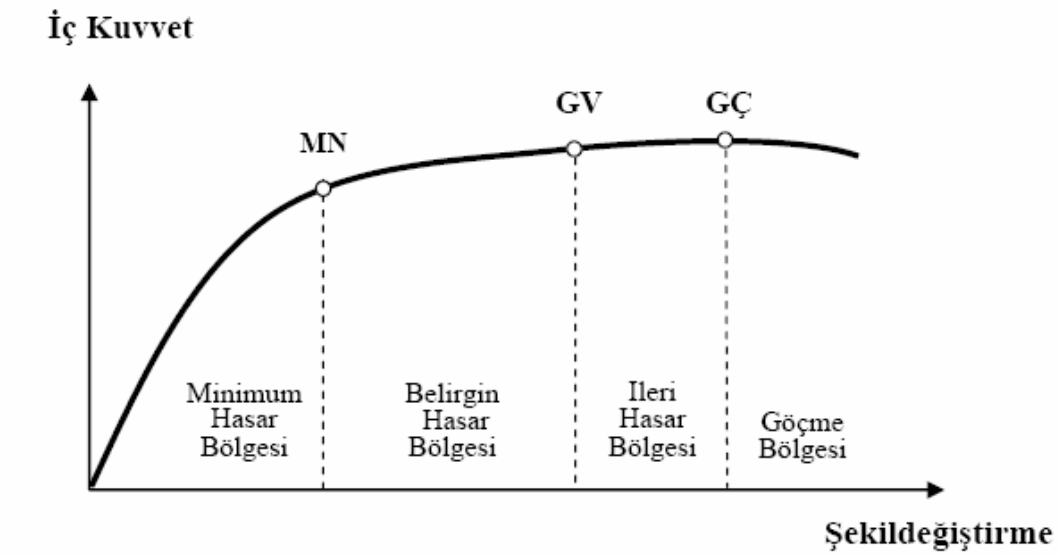
Eğer yapının sonsuz elastik kapasitesi olsaydı, kapasite eğrisi eğimi yapı rijitliği olan düz bir çizgi olarak karşımıza çıkardı. Ancak kapasite eğrisi, yapıların sonsuz elastik kapasitesi bulunmadığından, doğru parçalarından oluşur. Artan yatay kuvvetler sonucu oluşan akmalardan ve hasarlardan yapıda oluşan rijitlik azalmaları, doğru parçaları eğimlerinin giderek azaltmaktadır. Eğri üzerinde herhangi bir yerdeğiştirme noktasından ve orijinden geçen doğrunun eğimi, o noktadaki yapı etkili rijitliğini verir. Yükler artarken kesitlerden biri veya birkaçı taşıma gücüne erişir ve bu kesitlerde plastik mafsallar oluşur. Plastik mafsal oluşan kesitler, taşıma güçlerinde değişme olmaksızın, dönmeye devam ederler. Plastik mafsallar arasında sistem lineer elastik davranır. Her adımda değişen rijitlik matrisleri ile lineer hesap yapılır. Takip eden seviyelerde sistem mekanizma durumuna gelir ve göçme yüküne ulaşılır

5.3 İlgili DBYBHY-2007 Esasları

5.3.1 Yapı Elemanlarında hasar sınırları ve bölgeleri

Yönetmelikte elemanlar için üç sınır tanımlanmıştır. Kesit düzeyindeki bu sınır durumlar; *Minimum Hasar Sınırı* (MN), *Güvenlik Sınırı* (GV) ve *Göçme Sınırı* (GÇ)'dır**.** Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir [19].

İlgili kesitlerinin deformasyonu MN'ye ulaşmayan kritik elemanlar *Minimum Hasar Bölgesi*'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar *Belirgin Hasar Bölgesi*'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar *İleri Hasar Bölgesi*'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise *Göçme Bölgesi*'nde yer alırlar. Eleman hasarı, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenecektir. Şekil 5.4'de hasar sınırları ve bölgeleri gösterilmiştir.



Şekil 5.4: Hasar sınır ve bölgeleri

5.3.2 Deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallar

Deprem yönetmeliği kapsamında mevcut veya güçlendirilmiş binaların doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin her ikisi içinde kullanılacak genel ilke ve kurallar tariflenmiştir [19]:

1- Deprem hesabında bina önem katsayısı uygulanmayacaktır (I=1.0). Farklı aşılma olasılıklı depremler için elastik spektrum üzerinde gerekli düzeltmeler yapılacaktır.

2- Deprem Performansında kullanılacak kütle hesabı için, yönetmeliğin ikinci bölümünde tariflenen değerler kullanılacaktır.

$$W = \sum_{i=1}^{N} w_i \quad ; \quad w_i = g_i + nq_i \qquad \textbf{(5.2)}$$

3- Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.

4- Deprem hesabında kullanılacak zemin özellikleri **(DBYBHY-bölüm-6)**'ya göre belirlenecektir.

5- Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri göz önüne alınacaktır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanacak, ayrıca ek dışmerkezlik uygulanmayacaktır.

6- **(DBYBHY-bölüm-3)**'ne göre tariflenen kısa kolon durumuna düşürülmüş olan kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanacaktır.

7- Betonarme kesitlerin etkileşim diyagramları bu paragraftaki bilgiler doğrultusunda tanımlanır. Beton ve donatı çeliği için, yönetmelikteki binalardan bilgi toplanması bahsinde tanımlanan mevcut dayanımları kullanılır. Betonun en büyük basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin en büyük birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 alınabilir. Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılabilir.

8- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınabilir.

9- Çatlamış kesit etkin eğilme rijitlikleri aşağıdaki tariflenmiştir. N_D'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

Kirişlerde $(EI)_e = 0.40\ (EI)_0$

Kolon ve Perdelerde, $N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0.10$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.40\ (EI)_0$

$N_D/(A_c f_{cm}) \geq 0.40$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.80\ (EI)_0$

10- Betonarme tablalı kirişlerin pozitif ve negatif plastik momentlerinin hesabında tabla betonu ve içindeki donatı hesaba katılabilir.

11- Betonarme elemanlarda kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olması durumunda, kesit kapasite momentinin hesabında ilgili donatı akma gerilmesi kenetlenme veya bindirme boyundaki eksikliği oranında azaltılabilir

12- Zemindeki şekildeğiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zeminin şekildeğiştirme özellikleri yapı modeline yansıtılacaktır.

13- **(DBYBHY-bölüm-2)**'de modelleme ile ilgili diğer esaslar geçerlidir.

5.3.3 Depremde bina performansının doğrusal elastik olmayan yöntemler ile belirlenmesi

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekildeğiştirme istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, bu bölümde tanımlanan şekildeğiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılacaktır. Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir [19].

Artımsal itme analizi veya zaman tanım alanında hesap sonucunda çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen θp plastik dönme istemine bağlı olarak *plastik eğrilik istemi*, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \qquad \textbf{(5.3)}$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de göz önüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki eksenel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan φ_y *eşdeğer akma eğriliği*, Denklem (5.3) ile tanımlanan φ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki φ_t *toplam eğrilik istemi* elde edilecektir:

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \qquad \textbf{(5.4)}$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekildeğiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme istemi, Denklem (5.4) ile tanımlanan toplam eğrilik

istemine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanacaktır. Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı system elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır:

(a) Kesit *Minimum Hasar Sınırı (MN)* için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0{,}0035 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0{,}010 \qquad \textbf{(5.5)}$$

(b) Kesit *Güvenlik Sınırı (GV)* için sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0{,}0035 + 0{,}01(\rho_s / \rho_m) \le 0{,}0135 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0{,}040 \qquad \textbf{(5.6)}$$

(c) Kesit *Göçme Sınırı (GÇ)* için sargılı bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0{,}0040 + 0{,}014(\rho_s / \rho_m) \le 0{,}018 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0{,}060 \qquad \textbf{(5.7)}$$

Eleman hasar sınırlarından bağımsız olarak, tüm betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının gevrek kırılma kontrollerinde kullanılacak kesme kuvveti dayanımları TS-500'e göre belirlenecektir. Kesme kuvveti dayanımı hesabında, bilgi düzeylerine göre belirlenen *mevcut dayanım* değerleri kullanılacaktır.

Alt bölümde doğrusal olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için genel hesap adımları özetlenmiştir.

5.3.3.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi

Binaların deprem performanslarının Artımsal İtme Analizi yöntemi ile değerlendirmesinde izlenen adımlar aşağıda özetlenmiştir:

a) **(DBYBHY-bölüm-2.2.3)**'te tanımlanan genel ilke ve kurallara ek olarak, taşıyıcı system elemanlarında (5.2.1), plastik mafsal hipotezi bölümünde bahsi geçen doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesine ve analiz modelinin oluşturulmasına yönelik kurallar esas alınır.

b) Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik taşıyıcı sistem analizi yapılır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır.

c) Artımsal itme analizinin Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile yapılması durumunda, koordinatları "modal yerdeğiştirme-modal ivme" olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait "modal kapasite diyagramı" elde edilir. Bu diyagram ile birlikte, farklı aşılma olasılıklı depremler için elastik davranış spektrumu göz önüne alınarak, birinci (hakim) moda ait modal yerdeğiştirme istemi belirlenir. Son aşamada, modal yerdeğiştirme istemine karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet değerleri hesaplanır.

d) Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve ardından toplam eğrilik istemleri elde edilir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için yönetmeliğin ilgili bölümünde tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, yönetmelikte tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır. Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin amacı, birinci (deprem doğrultusundaki hakim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kümülatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır. Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için, **(DBYBHY-bölüm-2.2.4)**'ün 2. paragrafında belirtilmiş olan koşullara ek olarak (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlenin toplam bina kütlesine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması koşulu sağlanmalıdır.

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal

titreşim mod şeklinin genlikleri olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay öteleme ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme göz önüne alınır.

Sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, koordinatları "tepe yerdeğiştirmesi–taban kesme kuvveti" olan itme eğrisi elde edilir. Tepe yerdeğiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, göz önüne alınan x deprem doğrultusunda, her itme adımında hesaplanan yerdeğiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır. İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümüyle, koordinatları "modal yerdeğiştirme – modal ivme" olan modal kapasite diyagramı aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

(a) (i)'inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal ivme $a_1^{(i)}$ aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \qquad \textbf{(5.8)}$$

Denklem (5.8)'de $V_{x1}^{(i)}$ deprem doğrultusunda birinci (hakim) moda ait (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen taban kesme kuvvetini, Mx1 deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütleyi göstermektedir.

(b) (i)'inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal yerdeğiştirme $d_1^{(i)}$'nin hesabı için ise, aşağıdaki bağıntıdan yararlanılabilir:

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1}\Gamma_{x1}} \qquad \textbf{(5.9)}$$

Birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal katkı çarpanı $\Gamma_{x1,}$ deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin başlangıç adımındaki doğrusal elastik davranışı için tanımlanan L_{x1} ve birinci doğal titreşim moduna ait modal kütle M_1'den yararlanılarak aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \qquad \textbf{(5.10)}$$

Yukarıda tariflendiği üzere sabit bir yük dağılımı ile yapıyı itmeye alternatif olarak, artımsal itme analizi sırasında eşdeğer deprem yükü dağılımı, her bir itme adımında

öncekilere göre değişken (single mode adaptive pushover) olarak göz önüne alınabilir. Bu durumda yük dağılımı, her bir itme adımı öncesinde taşıyıcı sistemde oluşmuş bulunan tüm plastik kesitler göz önüne alınarak hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) titreşim mod şeklinin genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olarak tanımlanacaktır.

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile farklı aşılma olasılıkları için tanımlanan elastik davranış spektrumu göz önüne alınarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yerdeğiştirme, diğer deyişle modal yerdeğiştirme istemi hesaplanacaktır. Tanım olarak modal yerdeğiştirme istemi, $d_1^{(p)}$ doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme S_{di1}'e eşittir:

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \qquad \textbf{(5.11)}$$

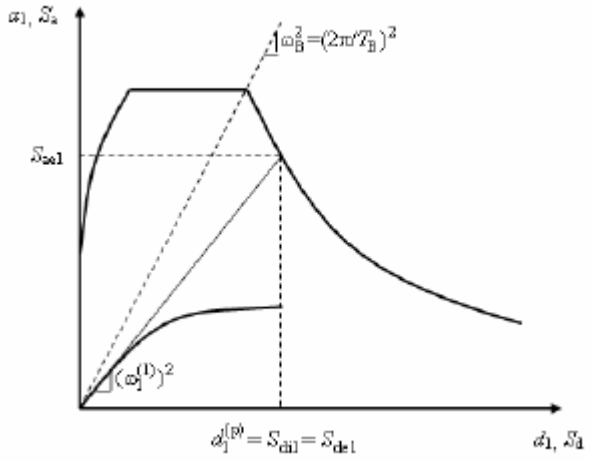
Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme, S_{di1}, itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(i)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme S_{de1}'e bağlı olarak Denklem (5.12) ile elde edilir:

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \qquad \textbf{(5.12)}$$

Doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme, S_{di1}, itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1}'den hesaplanır:

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \qquad \textbf{(5.13)}$$

Burada C_{R1} 1. moda ait spektral yerdeğiştirme oranıdır. Herhangi bir doğrultu için doğrusal elastik davranan binanın etkin rijitlik kullanılarak hesaplanan hakim periyodu zeminin T_B periyodundan Şekil 5.5'te gösterildiği gibi büyük ise C_{R1} değeri Denklem (5.14)'de verilmiştir. Eğer yukarıdaki şart sağlanmaz ise Şekil 5.6'da görülen α_{y1} esas alınarak C_{R1} aşağıda Denklem (5.15)'de verildiği şekilde tanımlanır. C_{R1} ardışık yaklaşım yapılarak bulunacaktır. Ardışık yaklaşımın ilk adımında C_{R1}=1 kabulü yapılır.



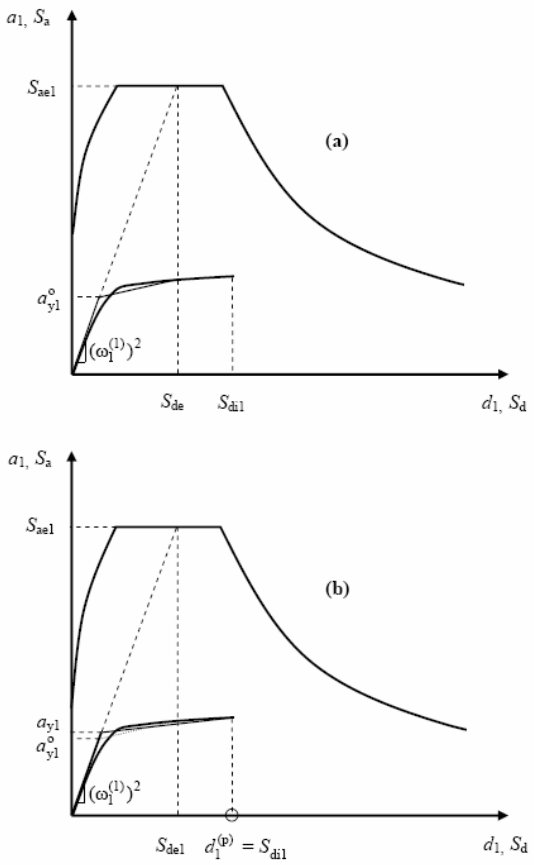
Şekil 5.5: Modal kapasite diyagramı-$T_1>T_B$

$$C_{R1} = 1 \qquad \textbf{(5.14)}$$

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_y - 1)T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \qquad \textbf{(5.15)}$$

Bu bağıntıda R_{y1} Denklem (5.16)'de verilen birinci moda ait *dayanım azaltma katsayısı*'nı göstermektedir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ael}}{a_{y1}} \qquad \textbf{(5.16)}$$



Şekil 5.6: Modal kapasite diyagramı-$T_1<T_B$

Son itme adımı i = p için Denklem (5.11)'e göre belirlenen modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$'nin Denklem (5.17)'de yerine konulması ile, x deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilir:

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1}\Gamma_{x1}d_1^{(p)} \qquad \textbf{(5.17)}$$

Buna karşı gelen diğer tüm istem büyüklükleri (yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ve iç kuvvet istemleri) mevcut itme analizi dosyasından elde edilecek veya tepe yerdeğiştirmesi istemine ulaşıncaya kadar yapılacak yeni bir itme analizi ile hesaplanacaktır.

5.3.4 Bina deprem performansının belirlenmesi

Binaların deprem güvenliği, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için istenen performans şartları Çizelge 5.1'de tanımlanmıştır. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile

bina deprem performans düzeyi belirlenir. Bunun sonucuna göre gerekiyorsa bina için güçlendirme stratejileri oluşturulur.

Çizelge 5.1: Performans düzeylerine karşılık gelen performans şartları

Performans Düzeyi	Performans Şartları
Hemen Kullanım	1) Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %10'u BHB'ne geçebilir. 2) Hiç bir katta düşey taşıyıcı elemanlar BHB'ne geçmemelidir. 3) Gevrek hasar gören eleman varsa güçlendirilmelidir.
Can Güvenliği	1) Herhangi bir katta kirişlerin en fazla %30'u İHB'ne geçebilir. 2) Her bir katta İHB'ne geçen düşey taşıyıcılar tarafından taşınan kesme kuvvetinin o kattaki toplam kesme kuvvetine oranı % 20'yi aşmamalıdır. Bu oran çatı katında %40'ı geçmemelidir. 3) Her iki ucu MN'yi geçmiş düşey taşıyıcı elemanların taşıdığı kesme kuvveti, kat kesmesinin %30'unu aşmamalıdır. 4) Gevrek hasar gören eleman varsa güçlendirilmelidir.
Göçme Öncesi	*Tüm gevrek elemanlar göçme bölgesindedir varsayımı yapılır. 1) Kirişlerin en fazla % 20'si GB'ne geçebilir. 2) Her iki ucu MN'yi geçmiş düşey taşıyıcı elemanların taşıdığı kesme kuvveti, kat kesmesinin %30'unu aşmamalıdır. 3) Diğer tüm elemanlar MHB, BHB veya İHB'ndedir
Göçme Durumu	Göçmenin önlenmesi durumu sağlanmıyorsa, göçme durumundadır.

5.3.5 Binalar için hedeflenen performans düzeyleri

Yönetmelikte yeni bina tasarımı için tanımlanan ivme spektrumu 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi esas almaktadır. Mevcut binaların değerlendirilmesinde ve güçlendirme tasarımında 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depreme ek olarak aşağıda iki farklı deprem tanımlanmıştır:

• 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, 50 yılda aşılma olasılığı %10 depremin ivme spektrumunun ordinatlarının yaklaşık olarak 0.5 katı alınacaktır.

• 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremin ivme spektrumunun ordinatlarının yaklaşık olarak 1.5 katı alınacaktır.

Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2: Farklı aşılma olasılıklarına bağlı olarak bina kullanım türlerine ait performans düzeyleri

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	***Depremin Aşılma Olasılığı***		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	**HK**	**CG**
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	-	**HK**	**CG**
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	**HK**	**CG**	-
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	**HK**	**GÖ**
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	**CG**	-

6. UYGULAMA ÖRNEKLERİ

6.1 Örnek Bina Modelinin Özellikleri

6.1.1 Genel bina bilgileri

Tezde ele alınan binaya ilişkin genel bilgiler Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1: Bina genel bilgileri

Adres	Yapım Yılı	Beton Sınıfı	Kat Adedi
Gürbalkan Apt. Samatya Sancaktar Hayrettin Mah.Org. Nafiz Gürman Caddesi No:95	1968	C14(B160)	Bodrum + Zemin + 4 Normal kat + Çekme katı

Binaya ilişkin fotoğraflar Ek B'de verilmiştir.

Bina x doğrultusunda 5,15 m, y doğrultusunda ise 10,05 m genişliğindedir. Tekil temellerin üzerinde 10 adet kolon oturmaktadır. Çekme katta 6 diğer tüm katlarda 10 kolon bulunmaktadır. Binada kullanılan kolon bilgi ve özellikleri Çizelge 6.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 6.2: Bina kolon özellikleri

Kolon	Donatı	Etriye
25X25	4Φ14	Φ8/200
25X30	4Φ14	Φ8/200
25X35	4Φ14	Φ8/200
25X40	4Φ16	Φ8/200
25X45	6Φ14	Φ8/200
25X50	6Φ14	Φ8/200
25X55	6Φ14	Φ8/200
25X60	6Φ16	Φ8/200
25X65	6Φ16	Φ8/200

Zemin kat kalıp planı Ek A'da verilmiştir.

Binada çeşitli boyutlarda kirişler kullanılmıştır. Kiriş bilgileri ayrıca belirtilmeyecektir. Binaya ilişkin yapı bilgileri bir sonraki sayfada özetlenmiştir:

Deprem bölgesi 1.Deprem Bölgesi

Bina önem katsayısı I=1

Etkin yer ivmesi katsayısı	A_0=0,4
Zemin sınıfı	Z3
Spektrum karakteristik periyotları	T_A=0,15s T_B=0,60s
Beton sınıfı	C14(Beton 160)
Çelik sınıfı	S 220
Bina kullanım amacı	Konut

6.1.2 Mevcut bina performansına etken yapı bilgileri ve kabuller

Bilindiği gibi performans kriterleri inşa aşamasındaki bina proje bilgileri ile elde edilen tahribatlı deney sonucunda ortaya çıkan ortalama dayanıma göre tasarlanmış bina performansı karşılaştırmasıdır. Öncelikle binadan alınan karot numune deney sonuçlarını öğrenmek gerekmektedir.

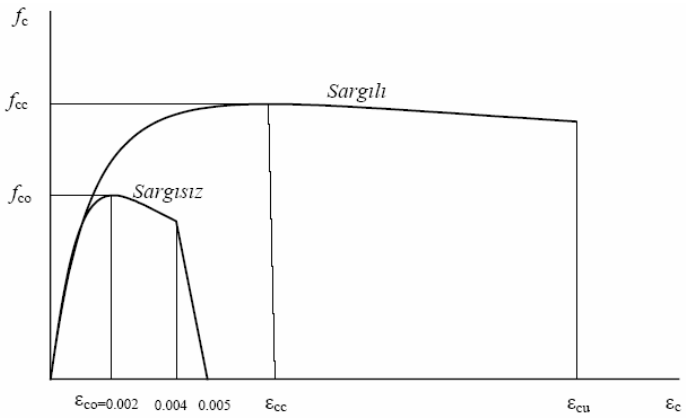
6.1.2.1 Karot deney sonuçları ile belirlenmiş beton sınıfı

İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuarı tarafından verilmiş olan değerlendirme raporuna göre;

Alınan karot numuneler ve yapılan Schmidt çekici vuruş sonuçlarından TS 10465'e göre yapılan değerlendirme sonucu $f_{c,ort}$=12,8 N/mm^2 ve $f_{c,min}$=10,2 N/mm^2 bulunmuştur. Bu değerler sonucu bina bodrum ve zemin kat betonlarının C10 sınıfı kalitesinde olduğu raporlanmıştır. Bu tezde mevcut binanın tamamının C10 kalitesinde olduğunu kabul edilmiştir.

6.1.2.2 Betonarme malzeme için yapılmış kabuller

Binadaki taşıyıcı kolon ve kirişlerin tamamının, sıklaştırma ve birleşim bölgelerindeki etriye aralıklarının, etriye yerleşim planlarının yönetmelik şartlarına uymadığı için sargısız modelle tasarlandığı kabul edilmiştir. Sargısız modelle tasarım DBYBHY'de de belirtildiği gibi Şekil 6.1'de gösterilmektedir [19].



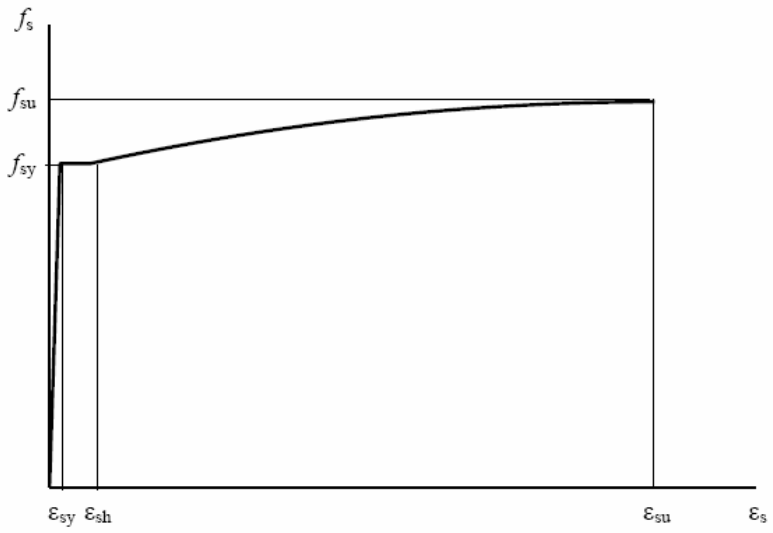
Şekil 6.1: Sargılı ve sargısız beton birim şekildeğiştirme diyagramı

Burada f_{co} sargısız beton basınç dayanımını temsil etmektedir. Tezimizde bu değer 14 ve 10 MPa olarak kullanılmıştır.

Kullanılan donatı çeliği ise gerek projede gerekse de mevcut halde değişmemiş, elastisite modülündeki ve kesit kaybındaki değişimler ihmal edilmiştir. Yönetmelikte S 220 donatı çeliğine ilişkin bilgiler Çizelge 6.3 ve Şekil 6.2'de gösterilmiştir;

Çizelge 6.3: S220 donatı çeliği malzeme özellikleri

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} (Mpa)
S 220	220	0,0011	0,011	0,16	275



Şekil 6.2: Donatı çeliği birim şekildeğiştirme diyagramı

Bina taşıyıcı kolon ve kirişlerinin etkin rijitlikleri Ek C'de verilmiştir.

6.2 Impact-Echo Yöntemi Uygulamaları

Bölüm 3'de ayrıntılı olarak yazılmış olan impact-echo yöntemi uygulamalarında en başta dikkati çeken şey, yöntemin oldukça çeşitli özellikleri içermesi ve bu nedenle de sonuç analizlerinin yorumlanmasının zorluğudur. Bu nedenle örnek binada yapılan impact-echo deneyleri dışında, malzeme özellikleri bilinen örnek kolonlarda da yöntem test edilmiş, kolonların korozyona maruz kalmış ve kalmamış bölgelerinden sonuçlar alınmıştır. Böylelikle korozyonlu – korozyonsuz malzeme davranışının aynı test aleti ve aynı darbe topları kullanılarak yapılan karşılaştırmalı değerlendirmesi ışığında binadan alınan sonuçlar değerlendirilmiştir.

Uygulamalarda German Instruments firmasının çıkarmış olduğu DOCter impact-echo cihazı kullanılmış, bu cihazla elde edilen veriler Viking v6.0 bilgisayar yazılımı aracılığıyla değerlendirilmiştir. Aşağıda görülecek olan elektriksel voltaj dalgaları ve genlik spektrumları bu yazılım tarafından oluşturulmuştur.

6.2.1 Kolon örneklerinde yapılan deneylerin değerlendirilmesi

6.2.1.1 Örnek kolon özellikleri

Yöntemin sonuçlarına kılavuzluk edecek örnek kolonlar incelenecek olursa;

İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı .Anabilim Dalı Betonarme Çalışma Grubu'ndan Doç. Dr. Alper İlki yönetiminde sürdürülen bir doktora çalışmasında kullanılan bazı betonarme kolonlar deneyimizde kullanılmıştır.

Basınç mukavemeti dayanımları 5MPa ve 20MPa olan bu kolonlardan 5MPa olanları taşıyıcı özellikleri açısından çok etkili bir sonuç vermeyecekleri için kullanılmamıştır.

20MPa basınç dayanımına sahip kolonların 20 cm / 30 cm boyutlarında en kesitleri vardır. Kolonların orta yüksekliklerinde geçirimsiz bir lif yardımıyla korozyon sınırları oluşturulmuştur. Kolonlar belirli sürelerle korozyona maruz bırakılmışlardır.

Deney farklı çaplarda toplar kullanılarak üç ayrı kolonda korozyonlu ve korozyonsuz bölgelere uygulanmıştır.

6.2.1.2 Yapılan deneyler ve sonuçları

Deneylerde birbirinin eşi üç kolon kullanılmıştır. Kolon numunelerinin adları 4nk, 5nk ve 8nk dır.

Impact – Echo test sonuçlarından yararlanılan kolon özellikleri:

Kolonlarda bulunan P-dalgası hızı ortalaması 3250 m/s dir.

Kolon enkesti oranı; D/B = 0,20 / 0,30 = 0,67 dir.

Buna göre kolonda bulunması gereken mod frekansları;

$\beta = 0{,}854$ ve $f_1 = \dfrac{0{,}854 \times 3250}{2 \times 0{,}20}$ =6,938 kHz dir.

Bu değere göre belirlenen diğer frekanslar ise enterpole edilerek;

$f_2 = 1{,}126 f_1; f_3 = 1{,}5 f_1; f_4 = 1{,}56 f_1; f_5 = 1{,}92 f_1; f_6 = 1{,}96 f_1$ olacak şekilde

f_2=7,8 kHz f_3=10,4 kHz f_4=10,8 kHz f_5=13,3kHz f_6=13,6 kHz bulunur.

Çapı 16mm olan donatılar için; 4cm ön yüz ve 4cm arka yüz arasında donatı ile rastlantısal karşılaşılacağı varsayılarak belirlenmiş donatı frekansları;

D/t oranları; 16/40=0,4 ve 16/160=0,1 bulunur. Dış yüzdeki donatı frekansı, D/t oranı 0,3 den küçük olduğu için tespit edilemez. Ön yüzdeki frekans ise Denklem (3.6) ve (3.7)'den yararlanılarak

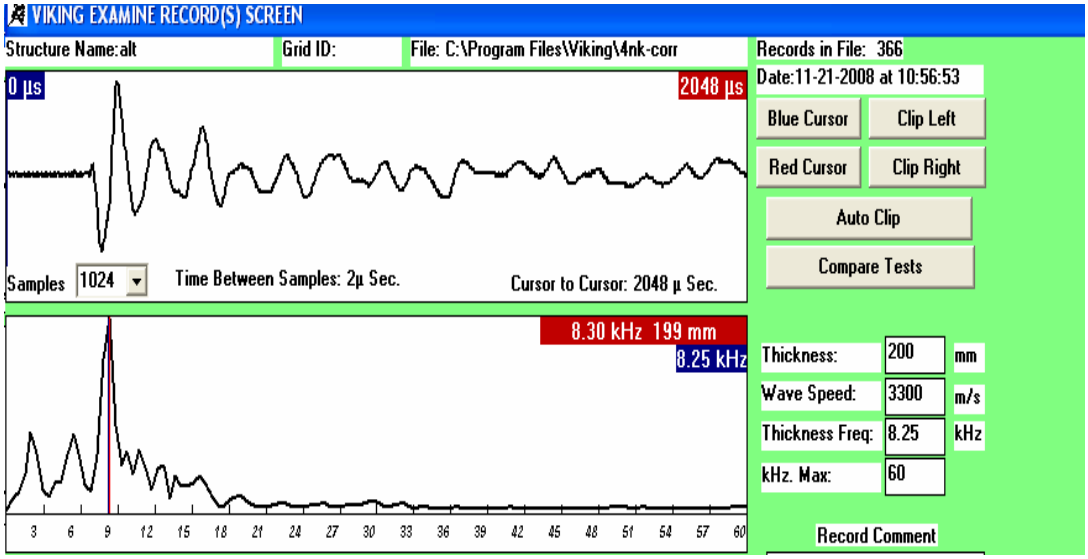
$f_{donatı}$=25,6 kHz bulunur.

Spektrumda karşılaşılan frekans değerlerinin bu değerlere yakın bulunması gereklidir. Eğer daha farklı değerler bulunursa, P-dalgasındaki değişim de kontrol edilerek tekrar sonuçlar değerlendirilir. Eğer bu sonuçlar sonucunda da değerler farklılık arz ediyorsa kolon içerisinde bir süreksizlik (çatlak, boşluk, korozyon) bulunabileceği ortaya çıkar. Dikkat edilecek husus; kullanılacak topun çapına bağlı olarak değişen darbe süresinin frekansları etkileyeceğidir. Donatı frekansı yüksek darbe süresine sahip spektrumlarda tespit edilemezler ve yüksek seviyedeki mod frekanslarının da tespit edilememe durumu olabilir.

4nk kolonu deney değerlendirmesi

Korozyonsuz bölgeye uygulanmış test değerlendirmelerine bakılacak olursa;

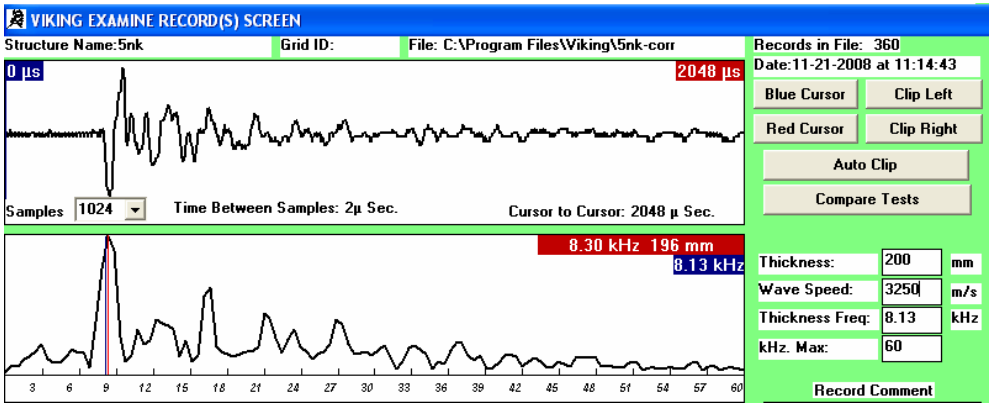
İlk örnek 12 mm çaplı bir topla uygulanmıştır ve darbe süresi yüksek olacağından donatı frekansı tespit edilememiştir. Şekil 6.4'de elde edilen spektrum görülmektedir.



Şekil 6.3: 4nk kolonu korozyonsuz bölge-12 mm top

Görüldüğü gibi dört ayrı frekans tespit edilmiştir. Baskın frekans 8,3 kHz olarak bulunmuştur. Bu değer bulunurken kullanılan β değeri 0,96 dır. Eğer bu değer hesaplamada kullanılan değer olan 0,854 olsaydı 7,38 kHz bulunacaktı ve bu 6,94 kHz lik değere oldukça yakındır. Diğer frekanslar ise 8, 10 ve 13 kHz civarındadır. Bu değerlerinde mod frekanslarına yakın değerler olduğu görünmektedir. Ele alınan bölgede herhangi bir sorun bulunmadığı görülmektedir.

Aynı bölgede kısa süreli darbe üreten top kullanılarak yapılan deney sonucu ise;

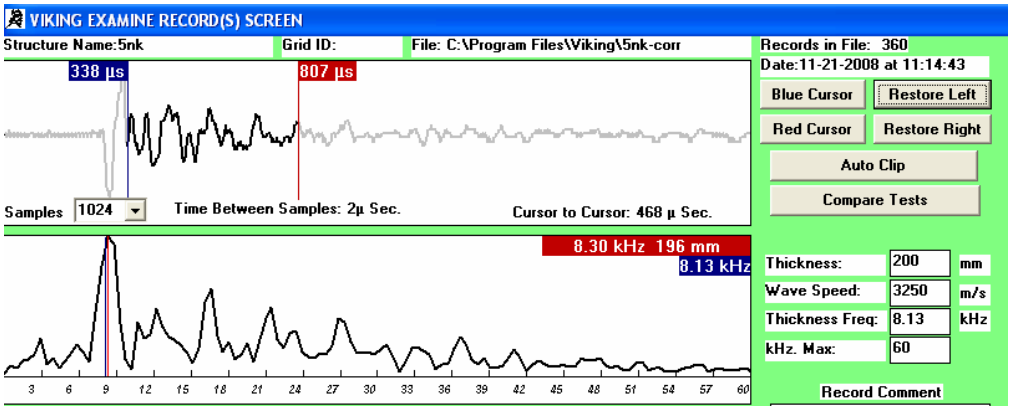


Şekil 6.4: 4nk kolonu korozyonsuz bölge-4 mm top

Şekil 6.4'den görüldüğü gibi donatı frekansları oldukça net tespit edilmektedir. Baskın frekanstan sonra bulunan 9-15 kHz aralığı mod frekanslarına ilişkindir. Donatı frekansları ise şekilden de görüldüğü gibi; 17, 21, 23 ve 27 kHz civarındadır.

Daha sonraki frekanslar ise ya dalga kirliliğinden ya da betonun konsolidasyonunda varolabilecek sorunlardan kaynaklıdır. Ancak 27 kHz nin bir sınır değer olduğu ve 25,6'lık değerle örtüştüğü göze çarpmaktadır.

Şekil 6.5'de aynı deneyin darbe dalgası ve sönüm dalgaları atılarak oluşturulmuş spektrumu verilmiştir.



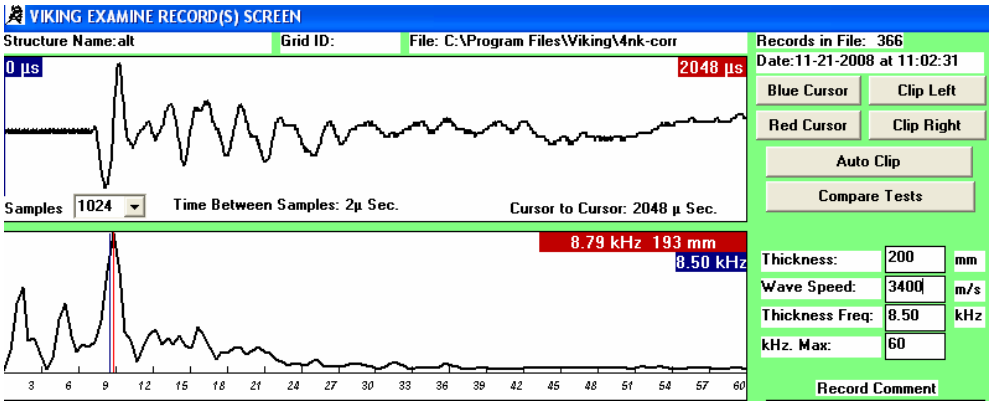
Şekil 6.5: Şekil 6.4'deki dalga kaydından R-dalgasının filtrelenmiş hali

Kolonun korozyona maruz bırakılan bölgesinde ise, korozyon tespiti için kullanılan sınır değerler t=0,04m ve t=0,16m ve β=0,854 için;

$$f_{kor1} = \frac{0{,}854 \times 3250}{2 \times 0{,}04} \qquad f_{kor2} = \frac{0{,}854 \times 3250}{2 \times 0{,}16}$$

f_{kor1}=34,7 kHz ve f_{kor2}=8,7 kHz dir.

Görüldüğü gibi bu sınır değerler arasında korozyon oluşabilir. Korozyonlu bir spektrumda mod frekansları da yakın değerlere tekabül edeceği için sonuçlar karmaşa yaratabilir. Ancak bölüm-3'de de belirtildiği gibi korozyonlu bölgede mod frekansları çoğunlukla sınırlı sayıda bulunurlar ve kat edilen mesafe artacağından birincil frekans da dahil olmak üzere frekans değerleri azalır. Genellikle 3. ve üstü mod frekansları tespit edilemez ve ilk frekanslarda olması gerekenden daha küçük değerlerde tespit edilirler. Ayrıca korozyon frekansları keskin iniş-çıkışlarla değil daha az eğimli iniş-çıkışlarla karakterize olmuşlardır. Yapılacak analizler karmaşayı ortadan kaldırabilir.



Şekil 6.6: 4nk kolonu korozyonlu bölge-10 mm top

Şekil 6.6'da görüldüğü gibi orta darbe süreli top kullanılarak yapılan testte donatı frekansları tespit edilememiştir. 12-17 kHz arasında varolan frekans yükseltisi mod frekanslarından değil başka bir nedenden dolayı oluşmuşlardır. Bunun nedeni korozyondur. Ayrıca 1 kHz civarında bükülgen(flexual) modda oluşmuş bir frekans da mevcuttur. Bu frekans sığ bir çatlaktan yansıyan dalgalar sonucu oluşmuş olabilir.

5nk kolonu deney değerlendirmesi

5nk kolonu da 4nk ile aynı malzeme ve enkesit özelliklerine sahiptir. Bu kolonda ayrıca kısa kenar yüzeyinden de veriler alınmıştır. Bu kenara ilişkin özelliklere gelince;

D/B oranı; 1,5 bulunmuştur.

Buna göre kolonda bulunması gereken mod frekansları;

$\beta = 0{,}945$ ve $f_1 = \dfrac{0{,}945 \times 3250}{2 \times 0{,}30}$ =5,12 kHz dir.

Bu değere göre belirlenen diğer frekanslar ise enterpole edilerek;

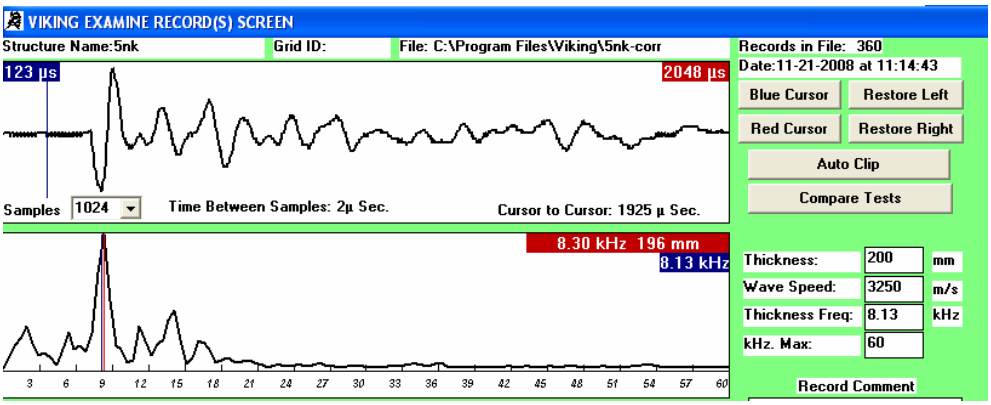
$f_2 = 1{,}575 f_1; f_3 = 2{,}05 f_1; f_4 = 2{,}17 f_1; f_5 = 2{,}6 f_1; f_6 = 2{,}68 f_1$ olacak şekilde

f_2=8,1 kHz f_3=10,5 kHz f_4=11,1 kHz f_5=13,3kHz f_6=13,7 kHz bulunur.

Çapı 16mm olan donatılar için; 4cm ön yüz ve 4cm arka yüz arasında donatı ile rastlantısal karşılaşılacağı varsayılarak belirlenmiş donatı frekansları;

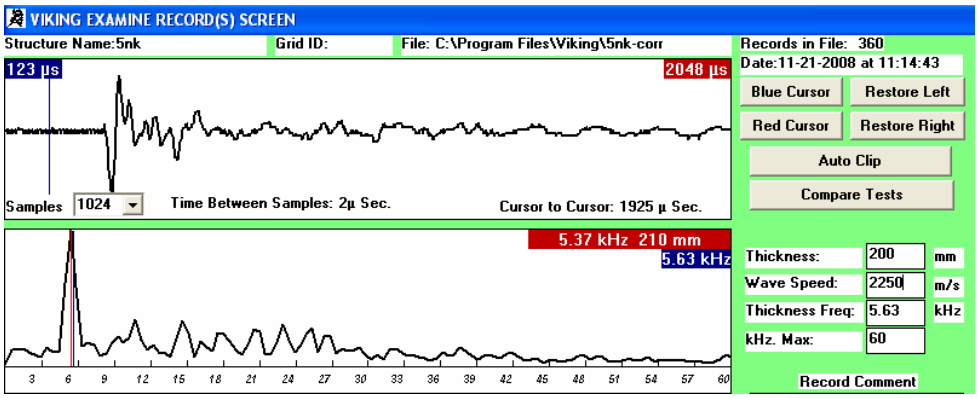
D/t oranları; 16/40=0,4 ve 16/260=0,06 bulunur. Dış yüzdeki donatı frekansı, D/t oranı 0,3 den küçük olduğu için tespit edilemez. Ön yüzdeki frekans ise Denklem (3.6) ve (3.7)'den yararlanılarak

f_{donati}=25,6 kHz bulunur.



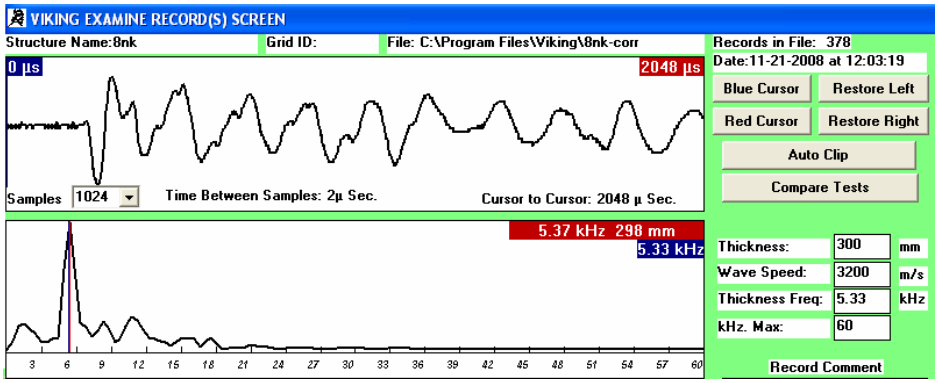
Şekil 6.7: 5nk kolonu korozyonsuz bölge-12 mm top

Orta darbe süreli topla (12mm) elde edilen sonuçlarda donatı frekansı tespit edilememiştir. Elde edilen sonuçlar mod frekanslarla örtüşmektedir.



Şekil 6.8: 5nk kolonu korozyonsuz bölge-4 mm top

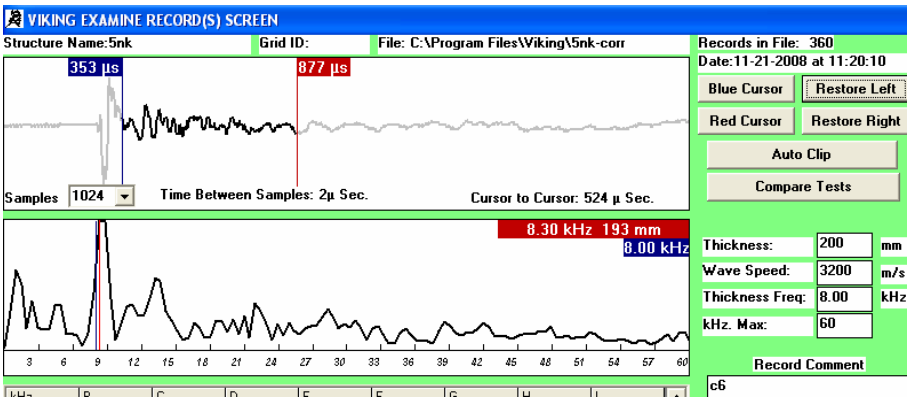
Kısa darbe süreli topla 4mm elde edilen spektrumda Şekil 6.8'den de görüldüğü gibi donatı frekansları 18-27 kHz arasında bulunmaktadır ve hesaplanan değerlerle örtüşmektedir.



Şekil 6.9: 5nk kolonu korozyonsuz bölge kısa kenar-16 mm top

Şekil 6.9'da kısa kenardan alınmış sonuçlar bulunmaktadır ve ana frekansın 5,37 kHz bulunduğu görülmektedir. Göze çarpan diğer iki frekans ise 8 ve 11 kHz

aralığındadır ve bu sonuçlarda mod frekanslarla örtüşmektedir. Darbe süresi yüksek(14mm çaplı top) olduğu için mod frekansları azalmıştır ve donatı frekansı tespit edilememiştir.

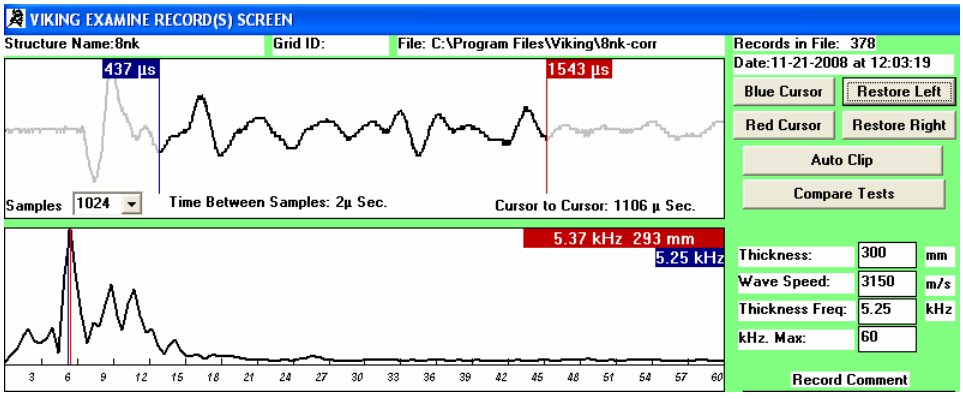


Şekil 6.10: 5nk kolonu korozyonlu bölge-4 mm top

Kısa süreli darbe üreten topla (4mm) yapılan deney sonucu elde edilen değerlere bakıldığında. Şekil 6.10 korozyonlu kolon sonuçlarını vermektedir. Donatı frekansları görülmektedir ve sınır değerleri 27 kHz bölgesindedir. Ayrıca 18-27 arasındaki frekanslarda donatı frekansına ait olabilirler. Öte yandan korozyona ilişkin sonuçlara 33-42 kHz arasında bulunan frekanslardan görülebilmektedir. Ayrıca 1 kHz civarında bükülgen modda frekans elde edilmiştir. Bu frekans sığ bir korozyon çatlağından ileri geliyor olabilir.

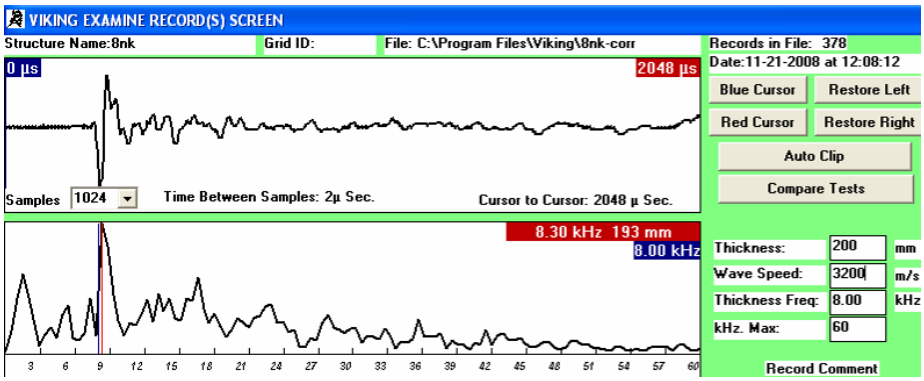
8nk kolonu deney değerlendirmesi

8nk kolonu da diğer kolon örnekleriyle aynı malzeme ve en kesit özelliklerine sahiptir.



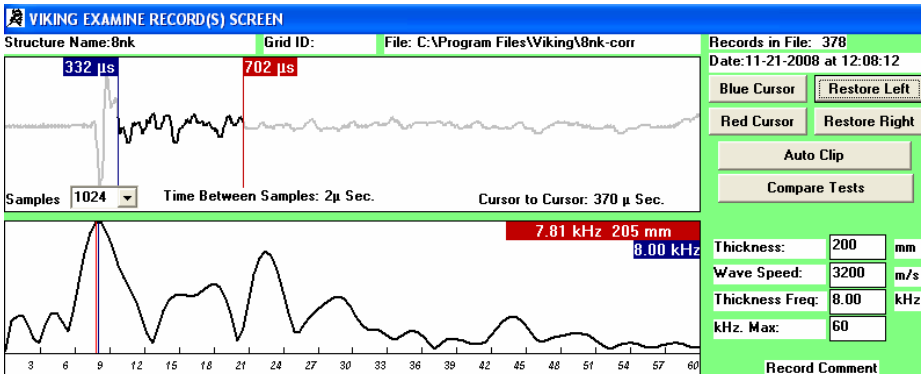
Şekil 6.11: 8nk kolonu korozyonsuz bölge kısa kenar-16 mm top

Şekil 6.11'den de görüleceği gibi kısa kenardan alınmış yüksek darbe süreli topla yapılan deney sonucunda birincil frekans 5,37 diğer frekanslar ise 9 ve 11 kHz arasında bulunmuştur. Bu sonuçlar mod frekanslarıyla örtüşmektedir.



Şekil 6.12: 8nk kolonu korozyonlu bölge-4 mm top

Kısa darbe süreli topla (4mm) yapılmış deney sonucunda korozyonlu bölgeden alınmış sonuçlara bakıldığında; Şekil 6.12'de donatı frekansları 16-27 arasında, korozyon frekansları ise 34-42 kHz arasında görülmektedir. Aynı dataların darbe dalgası ve sönüm dalgaları atıldığında alınan spektrumuna bakıldığında sonuçlar daha anlaşılır ortaya çıkmaktadır.

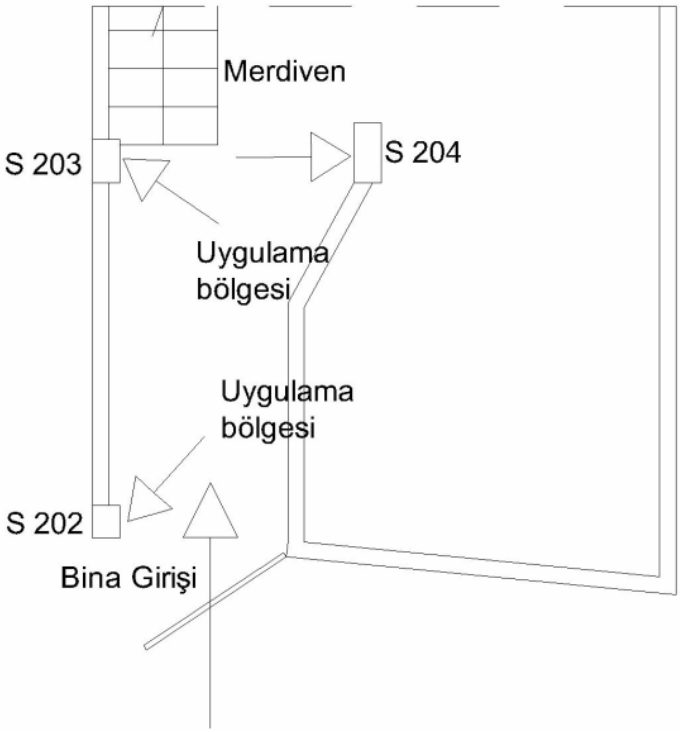


Şekil 6.13: Şekil 6.12'deki dalga kaydından R-dalgasının filtrelenmiş hali

Dikkat edilecek olursa 44 kHz de ve 30 kHz de korozyon frekansları, 22 kHz de donatı frekansı, 16-18 kHz de mod frekansları ve 7,8 kHz de birincil frekans tespit edilebilir.

6.2.2 Örnek binada yapılan impact-echo uygulamaları

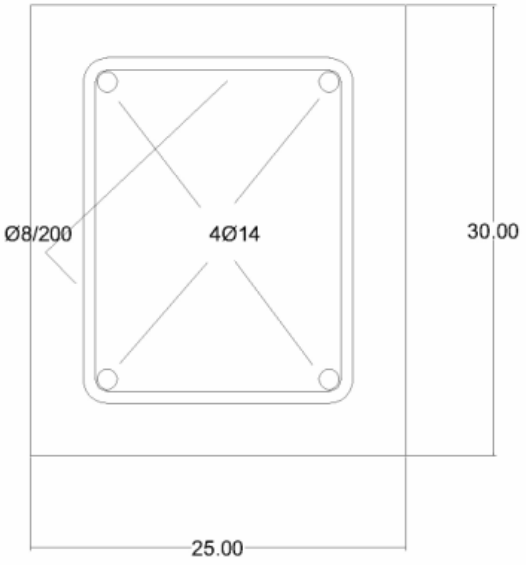
Bina uygulama planı Şekil 6.14 de verilmiştir.



Şekil 6.14: Deney uygulama gösterimi

Üç ayrı kolona ilişkin bilgiler ve test sonuçları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

6.2.2.1 S 202 kolonundan alınan sonuçların değerlendirmesi



Şekil 6.15: S202 kolonu enkesit özellikleri

Kolon en kesiti Şekil 6.15'de görüldüğü üzere 25 / 30 cm dir. Kolonda köşelerde toplam 4 adet Φ14 boyuna donatı ve Φ8 etriye bulunmaktadır. Projede etriye aralığı 200 mm olarak verilmiştir. Pas payı 35 mm kabul edilmiştir.

Bu bilgilere göre yapılan ölçümlerde P-dalgası hızı ortalama 3000 m/s olarak hesaplanmıştır. Kolon birincil frekansı ve mod frekansları;

D/B oranı; 0,83 bulunmuştur.

Buna göre kolonda bulunması gereken mod frekansları;

$\beta = 0{,}77$ ve $f_1 = \dfrac{0{,}77 \times 3000}{2 \times 0{,}25}$=4,62 kHz dir.

Bu değere göre belirlenen diğer frekanslar ise enterpole edilerek;

$f_2 = 1{,}44 f_1 ; f_3 = 1{,}94 f_1 ; f_4 = 1{,}98 f_1 ; f_5 = 2{,}38 f_1 ; f_6 = 2{,}44 f_1$ olacak şekilde

f_2=6,7 kHz f_3=9 kHz f_4=9,1 kHz f_5=11kHz f_6=11,3 kHz bulunur.

Çapı 8 mm olan etriyeler için; 35 mm ön yüz ve 35 mm arka yüz derinlikte;

D/t oranları; 8/35 = 0,229 ve 8/207 = 0,039 bulunur. Her iki yüzdeki donatı frekansı. D/t oranı 0,3 den küçük olduğu için tespit edilemez.

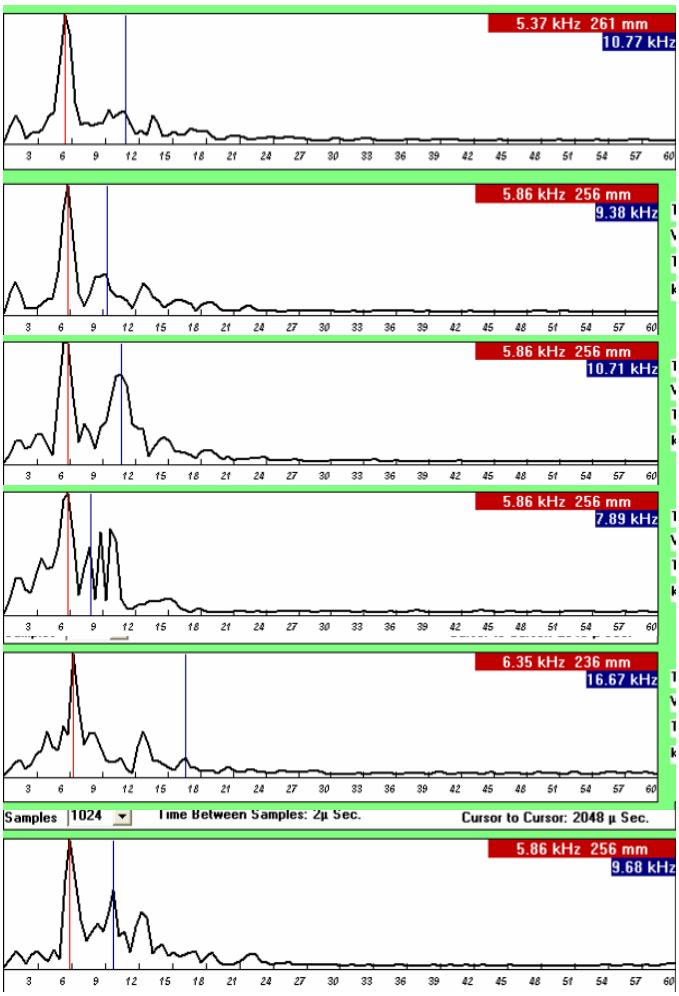
Boyuna donatılar için ise; D/t oranı; 14/45 = 0,31 ve 14/190 = 0,07 bulunur ve sadece ön yüzdeki donatılar için frekans elde edilir. Ancak bu donatılar köşelerde bulunmaktadır ve testin köşe noktalar üzerinden yapılabilme olanağı olmadığı için, bu frekanslarında tespit edilebilmesi zorlaşmaktadır. Bu frekans tespit edilirse eğer, Denklem (3.6) ve (3.7)'den;

$f_{donatı}$=21,9 kHz bulunur.

Eğer donatıda korozyon varsa korozyon frekansı da; β=0,77 için, d=35 mm'de 33 kHz ve d=207 mm'de 5,6 kHz bulunur. Frekanslar bu aralıkta ya da bu aralığa yakın bulunmalıdır.

Şekil 6.16-6.23 arasında ilgili kolondan alınmış sonuçlar verilmiştir. Alınan sonuçlarda kullanılan β değerinin 0,96 olduğunu ve hesaplanmış değer olan 0,77'ye göre oranlanması gerektiğini belirmek isteriz.

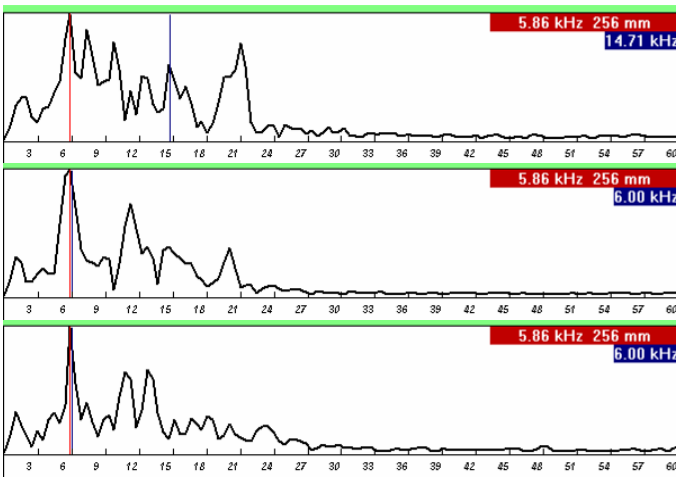
10 mm topla elde edilmiş bir kaç spektrumu ard arda gösterirsek;



Şekil 6.16: S202 kolonu-10 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları

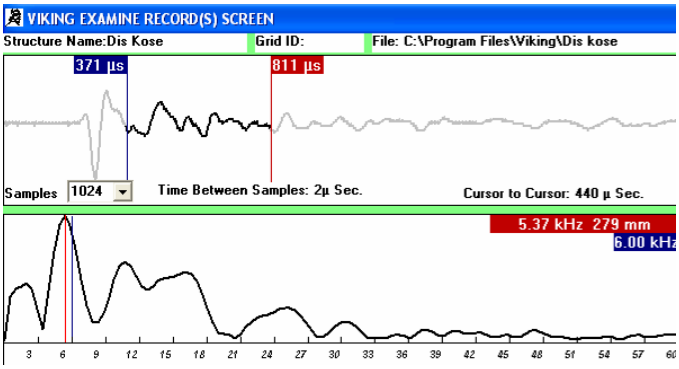
Spektrumların sağ üst köşesinde kırmızı renkte verilmiş veriler ölçülen değerlerdir ve dikkat edilecek olursa 5,37-6,35 kHz arasında değişmektedir. 4,62 kHz lik hesap değeri kullanılan β katsayısı 0,96 olsaydı eğer; 5,76 kHz olacaktı. Dört değerin bu değerle aynı olduğu görülmektedir. 5.spektrumda frekans büyümüştür. Bunun nedeni o bölgedeki P-hızının 3000 m/s den yüksek olmasıdır. İlk spektrumda ise bunun nedeni korozyondan dolayı kat edilen mesafenin uzaması olabilir. Ancak korozyon frekanslarına rastlanmadığına göre bu değişim ihmal de edilebilir. Görüleceği gibi diğer frekanslar mod frekanslarıyla örtüşmektedir ve darbe süresi donatı frekansının tespiti için oldukça yüksek olduğu için donatı frekansı tespit edilememiştir. 3., 4. 6. spektrumlar mod frekanslarının gösterimi açısından iyi örnekleri teşkil ederler.

8 mm topla elde edilmiş spektrumlar aşağıda verilmiştir. Darbe süresi kısa olduğu için donatı ve korozyon frekanslarının tespit edilmesi kolaylaşacaktır, ancak donatı frekansları için gerekli değerlerin yeterli olmadığı, yeterli olanların ise köşelerde olduğu ve tespitinin zor olacağı hatırlanmalıdır.



Şekil 6.17: S202 kolonu-8 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları

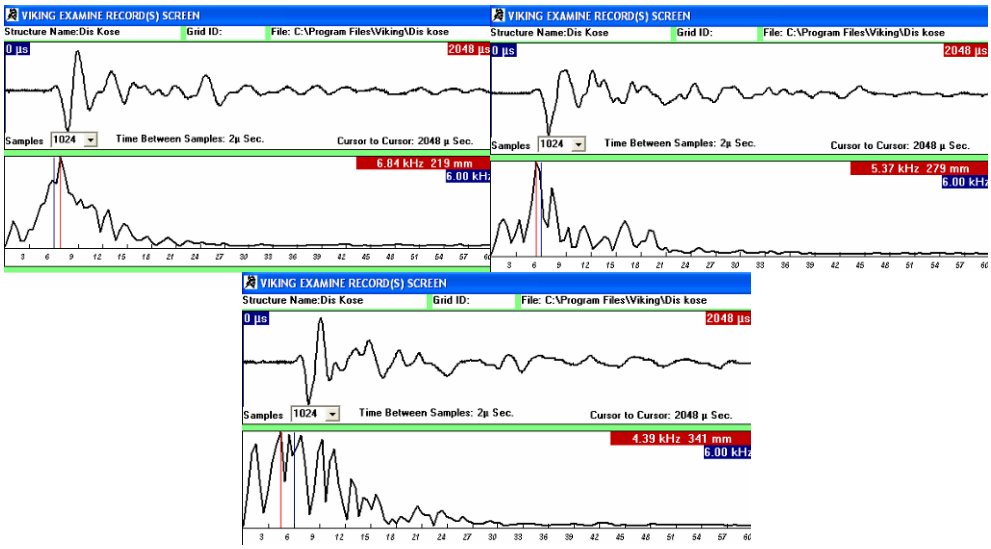
Birincil frekansın 5,86 kHz olduğunu ve değerimizle örtüştüğü görülmektedir. Tespit edilmesi zor olsada ilk ikisinde çok net olarak, sonuncuda ise az da olsa 21 kHz çevresinde donatı frekansı görülmektedir. Diğer frekanslar mod frekanslarıdır. Son spektrumdan R-dalgası ve sönüm dalgaları çıkarıldığında,



Şekil 6.18: Şekil 6.17'deki son dalga kaydından R-dalgasının filtrelenmiş hali

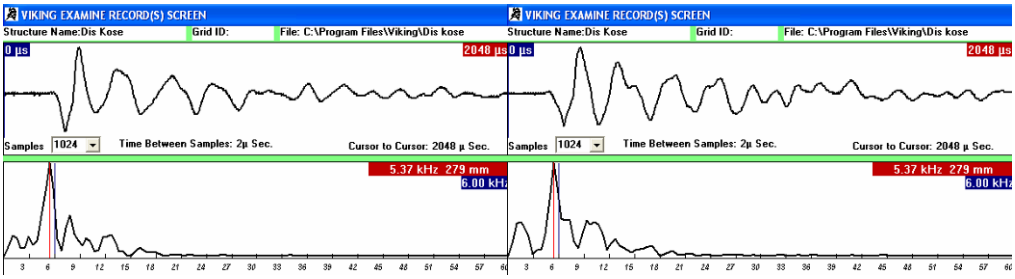
Şekil 6.18'de 32 kHz bölgesinde korozyon frekansı çok açık olarak görülmektedir. Aynı şekilde 1 kHz çevresinde de bükülgen(flexual) modda sığ çatlak frekansı mevcuttur. Bu iki frekansın varlığı korozyon olasılığını artırmaktadır.

Çelik topların çapları arttıkça hassasiyet dereceleri küçülmekte ve darbe süreleri artmaktadır. Yüksek enerjili darbelerin kolonda varolan donatı ve korozyon frekanslarını gözlemekte zorluk çıkardığı daha önce belirtilmişti. Sadece bu kolon için çap boyutları büyük olan toplarla yapılmış test sonuçları Şekil 6.19, 6.20 ve 6.21'de verilmiştir.



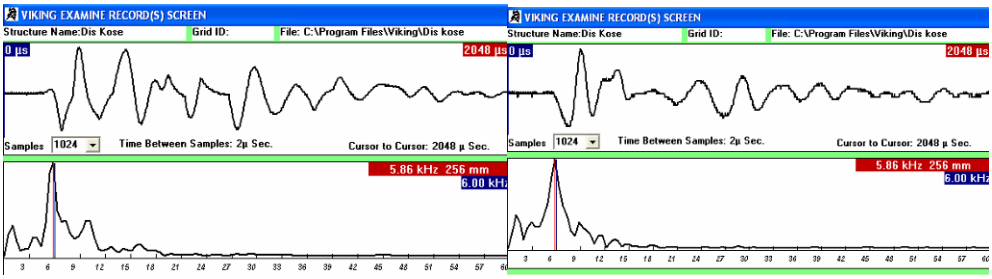
Şekil 6.19: S202 kolonu-12 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları

12 mm topla yapılan testlerde hassasiyetin düştüğü görülmektedir.



Şekil 6.20: S202 kolonu-14 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları

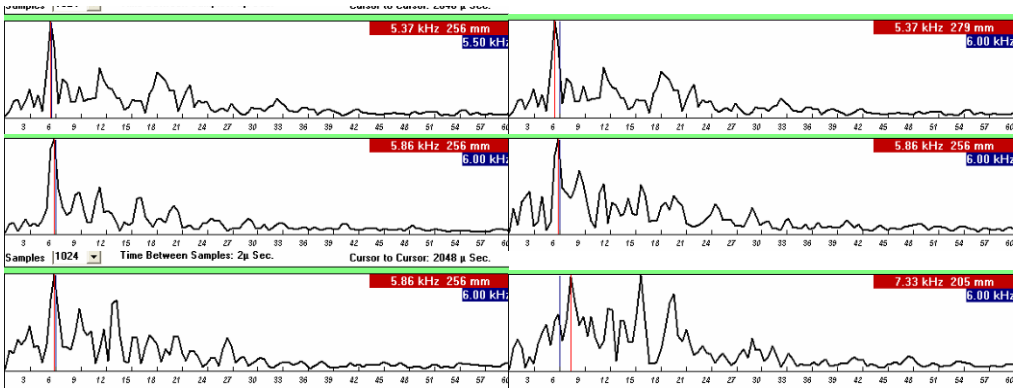
14 mm topla yapılan testlerde sadece birincil ve 2., 3. mod frekansları tespit edilebilmektedir.



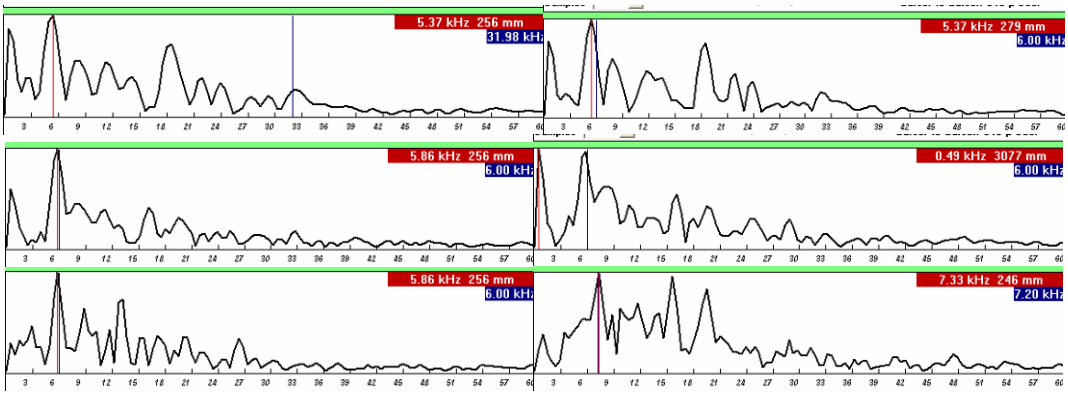
Şekil 6.21: S202 kolonu-16 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları

16 mm topla yapılan testlerde ise birincil frekans dışında neredeyse hiç bir frekans net olarak tespit edilemez. Dikkat edilecek olursa büyük toplarla yapılan denemelerde birincil frekans, yani kalınlık frekansı çok net ve baskındır. Bu da bu büyüklükteki topların doğrulama ve kalınlık tespiti için daha uygun oldukları ancak bileşim araştırması için uygun olmadıkları sonucunu vermektedir.

En küçük top olan 4 mm çaplı topla alınan veriler Şekil 6.22 ve 6.23 de gösterilmiştir. Bu verilerin en uygun spektrumları sağladığı da görülmektedir.



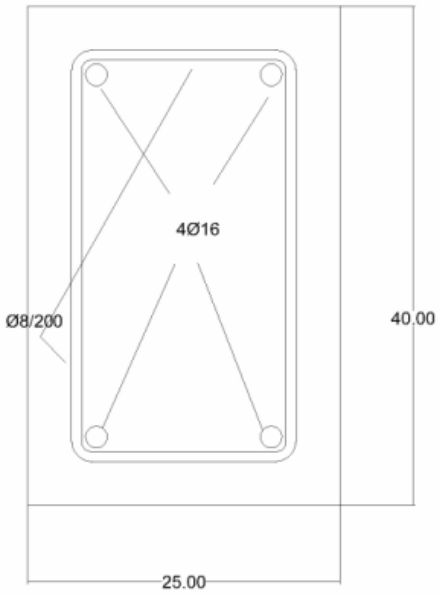
Şekil 6.22: S202 kolonu-4 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları



Şekil 6.23: Şekil 6.22'deki dalga kayıtlarından R-dalgasının filtrelenmiş hali

Şekil 6.23'de şekil 6.22'de verilen spektrum R-dalgası ve sönüm dalgaları çıkarılmış halde verilmiştir. Dikkat edilecek olursa 1. ve 2. spektrumda 33 kHz civarında korozyon frekansı görülmektedir. Aynı spektrumlarda birincil frekans 5,86 dan 5,37 kHz'ye düşmüştür. Ayrıca bükülgen modda frekans belirmiştir. 4. ve 6. spektrumlarda da 30-36 kHz civarında korozyon frekansı tespit edilebilir. Mod ve donatı frekansları her bir spektrumdan kolayca okunabilmektedir.

6.2.2.2 S203 kolonundan alınan sonuçların değerlendirmesi



Şekil 6.24: S203 kolonu enkesit özellikleri

Kolonun en kesiti Şekil 6.24'de görüldüğü üzere 25cm / 40cm dir. Kolonda köşelerde toplam 4 adet Φ16 boyuna donatı ve Φ8 etriye bulunmaktadır. Projede etriye aralığı 200mm olarak verilmiştir. Paspayı 35 mm kabul edilmiştir.

Bu bilgilere göre yapılan ölçümlerde P-dalgası hızı ortalama 3000 m/s olarak hesaplanmıştır. Kolon birincil frekansı ve mod frekansları;

D/B oranı; 0,63 bulunmuştur.

Buna göre kolonda bulunması gereken mod frekansları;

$\beta = 0{,}84$ ve $f_1 = \dfrac{0{,}84 \times 3000}{2 \times 0{,}25}$ =5 kHz dir.

Bu değere göre belirlenen diğer frekanslar ise enterpole edilerek;

$f_2 = 1{,}07f_1; f_3 = 1{,}43f_1; f_4 = 1{,}48f_1; f_5 = 1{,}86f_1; f_6 = 1{,}91f_1$ olacak şekilde

f_2=5,4 kHz f_3=7,2 kHz f_4=7,5 kHz f_5=9,4 kHz f_6=9,6 kHz bulunur.

Çapı 8 mm olan etriyeler için; 35 mm ön yüz ve 35 mm arka yüz derinlikte;

D/t oranları; 8/35 = 0,229 ve 8/207 = 0,039 bulunur. Her iki yüzdeki donatı frekansı. D/t oranı 0,3 den küçük olduğu için tespit edilemez.

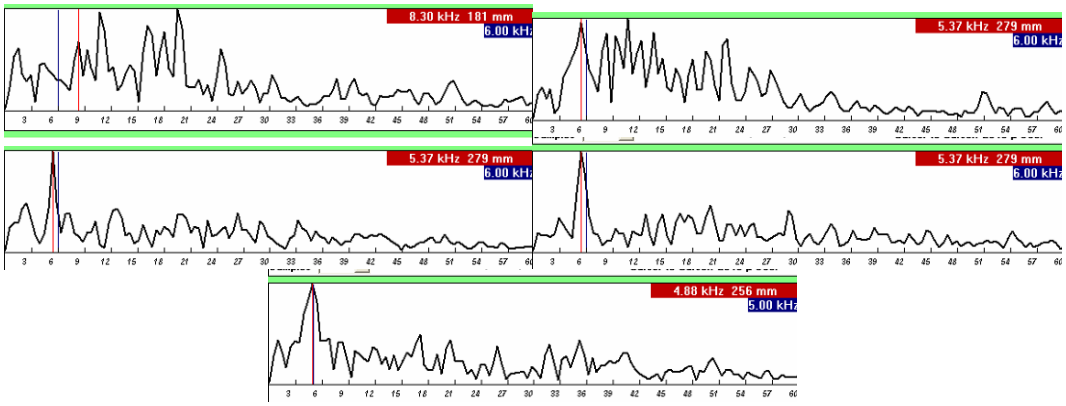
Boyuna donatılar için ise; D/t oranı; 16/45 = 0,36 ve 16/190 = 0,08 bulunur ve sadece ön yüzdeki donatılar için frekans elde edilir. Ancak bu donatılar köşelerde bulunmaktadır ve testin köşe noktalar üzerinden yapılabilme olanağı olmadığı için, bu frekanslarında tespit edilebilmesi zorlaşmaktadır. Bu frekans tespit edilirse eğer, Denklem (3.6) ve (3.7)'den;

f_{donati}=21,4 kHz bulunur.

Eğer donatıda korozyon varsa korozyon frekansı da; β=0,84 için, d=35 mm'de 36 kHz ve d=207 mm'de 6,1 kHz bulunur. Frekanslar bu aralıkta ya da bu aralığa yakın bulunmalıdır.

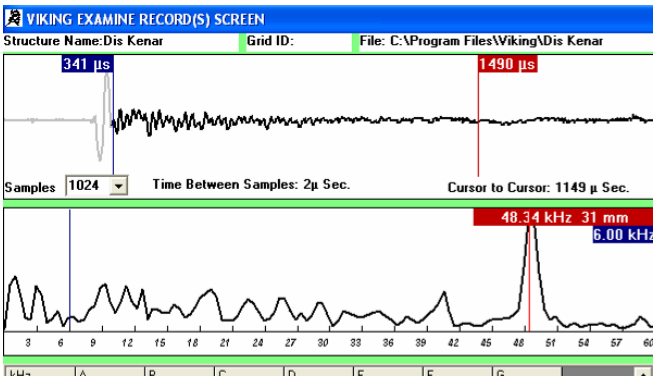
Şekil 6.25, 6.26 ve 6.27'de ilgili kolondan alınmış sonuçlar verilmiştir. Alınan sonuçlarda kullanılan β değerinin 0,96 olduğunu ve hesaplanmış değer olan 0,84'ye göre oranlanması gerektiği bilinmelidir. Ayrıca bu β değerinde baskın frekansın 3. mod frekansı olma ihtimali de yüksektir.

4 mm topla elde edilen spektrumlar;



Şekil 6.25: S203 kolonu-4 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları

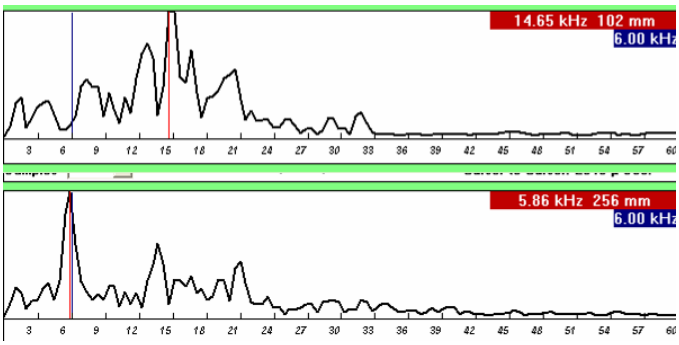
Şekilden de görüldüğü gibi baskın frekansın 3. mod olduğu bazı spektrumlar mevcuttur. 1. ve 2. spektrumda 3. mod frekansı baskındır. Tüm spektrumlarda 30-36 kHz çevresinde korozyon frekansı bulunmaktadır. Bu kolonda ayrıca Şekil 6.26'da görüldüğü gibi sığ olmasına rağmen kalınlık modunda ortaya çıkmış bir çatlak frekansı da mevcuttur.



Şekil 6.26: S203 kolonunda görülen geniş çatlak frekanslı spektrum

Hesaplamalar sonucu 30 mm civarındaki bu çatlağın baskın frekans olmasının nedeni çatlak genişliğinin derinliğin 1,5 katından fazla olmasıdır. Sığ bir çatlak olduğu içinde hemen tüm dalgalar çatlaktan yansımıştır. Bazı dalgalarında çatlak bölgesindeki korozyon sınırından 39-42 kHz den yansıdığı görülmektedir.

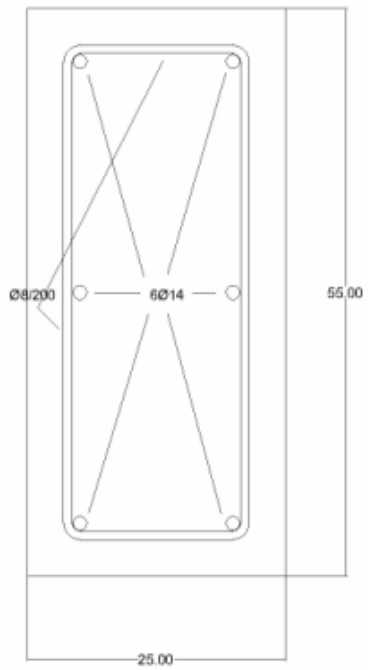
8 mm topla alınan veriler;



Şekil 6.27: S203 kolonu-8 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları

Görüldüğü gibi ilk spektrumda 100 mm derinlikte geniş bir çatlak göze çarpmaktadır. Her iki spektrumda da 30-36 kHz çevresinde korozyon frekansları mevcuttur. İkinci spektrumda çatlak tespit edilmemiştir.

6.2.2.3 S 204 kolonundan alınan sonuçların değerlendirmesi



Şekil 6.28: S204 kolonu enkesit özellikleri

Kolonun en kesiti Şekil 6.28'de görüldüğü üzere 25cm / 55 cm dir. Kolonda köşelerde toplam 6 adet Φ14 boyuna donatı ve Φ8 etriye bulunmaktadır. Projede etriye aralığı 200 mm olarak verilmiştir. Paspayı 35 mm kabul edilmiştir.

Bu bilgilere göre yapılan ölçümlerde P-dalgası hızı ortalama 3000 m/s olarak hesaplanmıştır. Kolon birincil frekansı ve mod frekansları;

D/B oranı; 0,45 bulunmuştur. Bu değer 0,6 oranının altındadır. β değerimiz 0,96 olacaktır ve sadece 2 mod frekansı tespit edilebilir.

Buna göre kolonda bulunması gereken mod frekansları;

$$\beta = 0{,}96 \text{ ve } f_1 = \frac{0{,}96 \times 3000}{2 \times 0{,}25} = 5{,}8 \text{ kHz dir}$$

$f_2 = 2f_1 = 11{,}6$ kHz bulunur.

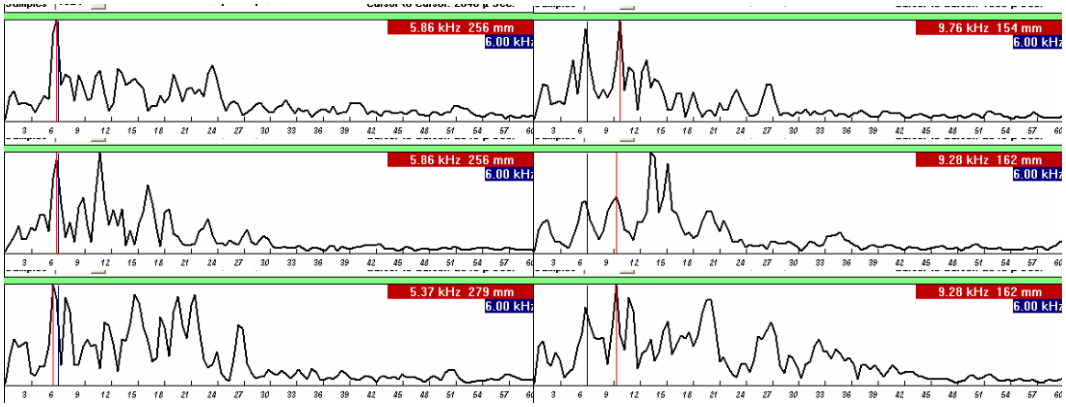
Çapı 8 mm olan etriyeler için; 35 mm ön yüz ve 35 mm arka yüz derinlikte;D/t oranları; 8/35 = 0,229 ve 8/207 = 0,039 bulunur. Her iki yüzdeki donatı frekansı. D/t oranı 0,3 den küçük olduğu için tespit edilemez.

Boyuna donatılar için ise; D/t oranı; 14/45 = 0,31 ve 14/190 = 0,07 bulunur ve sadece ön yüzdeki donatılar için frekans elde edilir. Diğer kolonların aksine bu kolonda gövde donatısı mevcuttur ve donatı frekansı daha etkili olabilir. Bu frekans tespit edilirse eğer, Denklem (3.6) ve (3.7)'den;

$f_{donatı}$=21,9 kHz bulunur.

Eğer donatıda korozyon varsa korozyon frekansı da; β=0,96 için, d=35mm'de 41 kHz ve d=207mm'de 7 kHz bulunur. Frekanslar bu aralıkta ya da bu aralığa yakın bulunmalıdır.

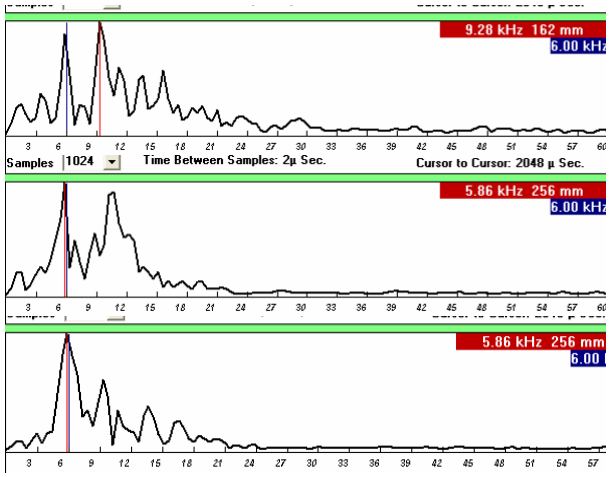
4 mm topla alınan sonuçlar;



Şekil 6.29: S204 kolonu-4 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları

Şekil 6.29'da 6 spektruma bakıldığında ilki haricinde hemen hepsinin mod frekanslarının 6 ve 12 civarında olduğunu ve hesap eğerlerimizle örtüştüğü görülmektedir. Ayrıca 20-27 kHz arasında donatı frekansları da görülmektedir. 1., 3. ve 6. spektrumlarda 30 kHz ve üzeri frekanslarda korozyon frekansları tespit edilmiştir. Dikkat edilecek diğer husus, bu kolonun diğer kolonlara nazaran korozyona karşı daha korunabilir bir bölgede, binanın iç orta kısmında olmasından kaynaklı korozyon frekanslarının küçük çıkması ancak 3. ve sonraki spektrumlardan da görüldüğü üzere ciddi bir konsolidasyon sorunu olmasıdır. Bu kolonda P-dalgası hızı ortalaması diğerlerine nazaran daha küçük çıkmıştır ki bu sonuç da konsolidasyon tespitini desteklemektedir.

8 mm topla alınan sonuçlar;



Şekil 6.30: S204 kolonu-8 mm top vasıtasıyla alınmış genlik spektrumları

1. ve 2. mod frekansları çok net olarak görülmektedir. Öte yandan konsolidasyon sorunu da görülebilmekle birlikte donatı ve korozyon frekanslarını tespit etmek güçleşmektedir.

6.2.3 Uygulama sonuçlarının değerlendirmesi

Impact Echo tahribatsız değerlendirme uygulama sonuçlarının tahribatlı değerlendirme sonuçlarıyla paralellik taşıyıp taşımadığını karşılaştırabilmek için 6. bölümün başında verilmiş olan karot deney sonuçlarının ilgili kolonlara ait kısımlarına dönmek gerekmektedir.

Çizelge 6.4: Karot numunelerinden alınmış basınç dayanım sonuçları

Kolon No	Karot No	Karot Basınç Dayanımı (N/mm^2)	Eşdeğer Küp Basınç Dayanımı (N/mm^2)
S 202	K 66	15,7	15,6
S 203	K 65	12,3	12,3
S 204	K 64	11,3	11,2

Çizelge 6.4'de belirtilen sonuçlara bakıldığında en uygunsuz şartlarda bulunan S 202 kolonunun en iyi dayanım sonucunu verdiği, şartları daha uygun olan S 204 kolonunun ise en düşük dayanım sonucunu verdiği görülmektedir. Bu sonuç ilk etapta yapılan testlerin tahribatlı sonuçlarla uygun düşmediği düşüncesini doğurabilir, ancak tahribatlı deneyin donatılara zarar vermeden yapılmaya çalışıldığı ve impact echo sonuçlarından yorumladığımız üzere S 204 kolonunun diğer iki kolona nazaran konsolidasyon sorunuyla daha fazla yüz yüze olduğu bilinmektedir. Ayrıca S 203 kolonunda geniş çatlaklara ve korozyon çatlaklarına rastlanmıştır. S

202 kolonundan okunan değerlere bakıldığında, korozyona maruz kalma olasılığı daha yüksek olan bu kolonda diğer kolonlarla aynı seviyede korozyon görülmektedir.

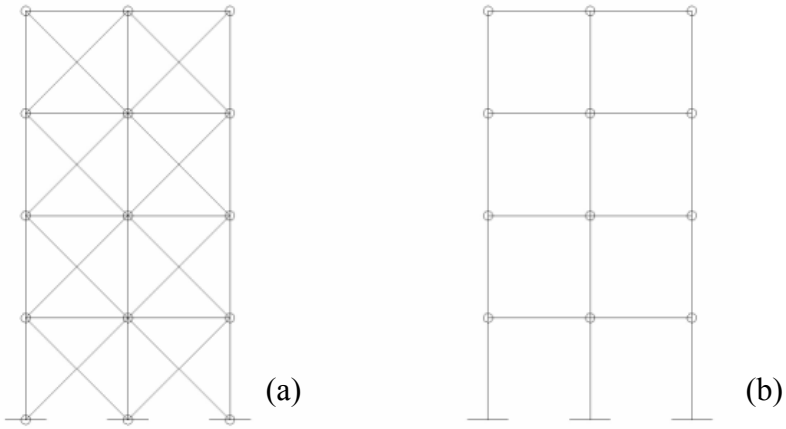
Bu karşılaştırma sonucu dayanımın korozyondan ziyade konsolidasyon ve çatlaklar dolayısıyla sapmalara uğradığı, korozyon etkisinin ise ancak donatılarında test edilebileceği ayrı bir tahribatlı deney sonucu karşılaştırılabileceği görülmektedir. Tahribatsız uygulamanın kesin sonuçlar vermemekle birlikte bazı spektrum okumalarından korozyon olasılığı yadsınamaz frekanslar tespit edildiği de bir gerçektir.

Son bir sıkıntıyı da belirtmekte fayda vardır. Bina bitişik nizam inşa edilmiştir ve teste konu olan kolonlarımızın ancak iç yüzlerinden sonuçlar toplanmıştır. İç yüzün dışarıya göre çevre şartlarından daha az etkilendiği ve iç yüzden dışarıya ait frekanların toplanamaması gerçeğiyle karşı karşıya kalınmıştır. Dış yüzde korozyon riski çok daha fazladır, ancak belirtildiği gibi dış yüzlerden uygulama yapma olasılığı bulunmamaktadır. İç yüzden tespit edilen korozyon frekanslarının dış yüzden çok daha belirgin tespit edilebileceği belirtilmelidir..

6.3 Dolgu Duvar Uygulaması

6.3.1 Uygulamada kullanılan kabuller

Binada dolgu duvar davranışının peformansa etkisinin belirlenmesi için Al-Chaar'ın modeli uygulanmıştır. Modele göre dolgu duvar bulunması gerekli yerlere, ki mimari projede kullanılan iç cephe duvarları ve dış cephe duvarları aynen uygulanmıştır, tasarım ve analiz sonuçlarına ulaşmada kullanılan bilgisayar programında (Sap2000 v11.08) düğüm noktaları arası diyagonal olacak şekilde çapraz çubuklar yerleştirilmiştir. Her bir duvar cephesine iki çapraz gelecek şekilde yerleştirilen bu eşdeğer diyagonal çubukların sadece eksenel kuvvet altında çalışacağı kabul edilmiştir. Ayrıca bu çubukların çekme bölgesinde çalışmayacakları ve çekmeye karşı sınırlandırıldıkları da belirtilmiştir. Çubuk enkesit özellikleri yöntem denklemleri kullanılarak bulunmuştur. Şekil 6.31'de eşdeğer çapraz çubuklu çerçeve gösterilmiştir.



Şekil 6.31: Eşdeğer basınç çubuklu çerçeve ve boş çerçeve

Dolgu duvar malzemesi olarak içi dolu blok tuğla kullanılmış, iç cephede 150 mm, dış cephede ise 200 mm kalınlıkta olduğu kabul edilmiştir. Dolgu duvar malzemesinin 1000 MPa elastisite modülüne sahip olduğu, etkin eksenel rijitliğinin, eksenel rijitliğinin yarısı olarak kabul edildiği de belirtilmiştir [17].

Dış ve iç cephelerdeki boşluklar ihmal edilmiş, kapı ve pencereler dolu kabul edilmiştir.

6.3.2 Uygulama verileri

Denklem (4.1) ve (4.2) yardımıyla her eşdeğer diyagonal çubuğa ait enkesit değerleri bulunur. Denklem (4.4), (4.5) ve (4.6) kullanılarak eşdeğer diyagonal çubukların kesme kuvveti kapasiteleri, eksenel kuvvet kapasiteleri, eksenel rijitlikleri ve maksimum uzama kapasiteleri bulunur. Bulunan bu değerler yardımıyla eşdeğer çubukların her bir ucuna eksenel rijitlik ve şekildeğiştirme kapasiteleri baz alınarak plastik mafsal atanır. Çubukların plastikleştikten hemen sonra çalışamaz oldukları yani gevrek davrandıkları kabul edilmiştir. Sap 2000 programında bu mafsal özelliği P (eksenel) mafsal olarak tanımlanmıştır.

Bir örnek vermek gerekirse;

Y doğrultusunda çalışacağı varsayılmış ve 1 nolu cephe olarak işaretlenmiş dış cephenin Zemin katında yer alan eşdeğer çubuk özellikleri,

Diyagonal boyu = 5187 mm

Kat ve kolon yüksekliği = 2900 mm

Duvar yüksekliği = 2400 mm

C14 elastisite modülü = 24277 Mpa

Dolgu duvar elastisite modülü = 1000 Mpa [17]

Duvar sol kenarındaki kolonun atalet momenti =5,63x108 mm4

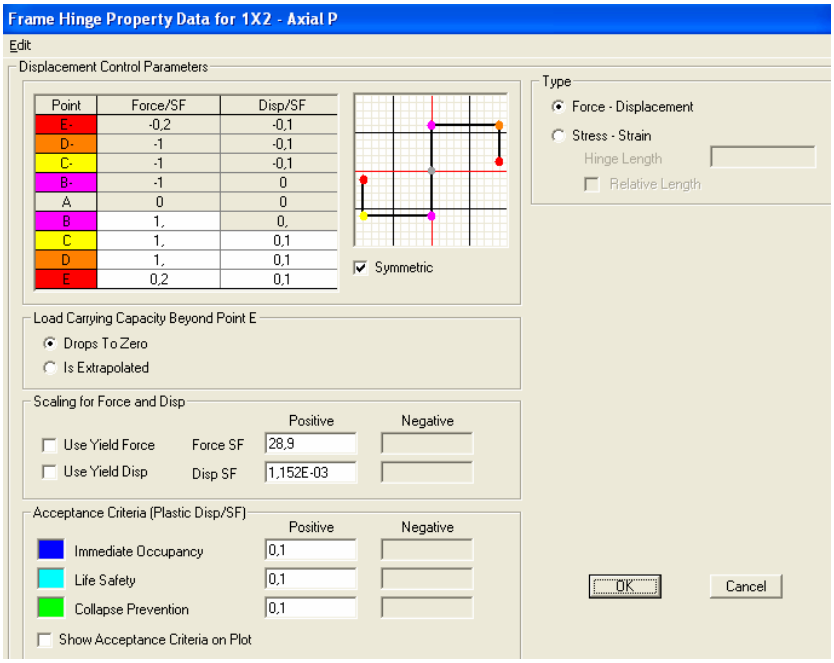
Duvar sağ kenarındaki kolonun atalet momenti =$5,63x10^8$ mm^4

Duvar kalınlığı =200 mm

Duvar genişliği = 4300 mm

Dolgu duvar çatlama emniyet gerilmesi = 0,15 MPa

Öncelikle diyagonalin yatayla açısı olan θ=0,59 bulunur ve oradan Denklem (4.1) yardımıyla $\lambda_{eç}$=$96x10^{-5}$ bulunur. a, çubuk genişliği Denklem (4.2)'den 651 mm bulunur. Bu değerler programdaki çubuğa atanır. Ardından çubuğa ait kesme kuvveti kapasitesi 19,5 kN, eksenel kuvvet kapasitesi de 28,9 kN olarak bulunur. Bu değeri ve eksenel rijitliği kullanarak ulaşılan maksimum akma şekildeğiştirme değeri, 1,15 mm Şekil 6.32'de gösterildiği gibi plastik mafsal özelliği olarak programa girilir.



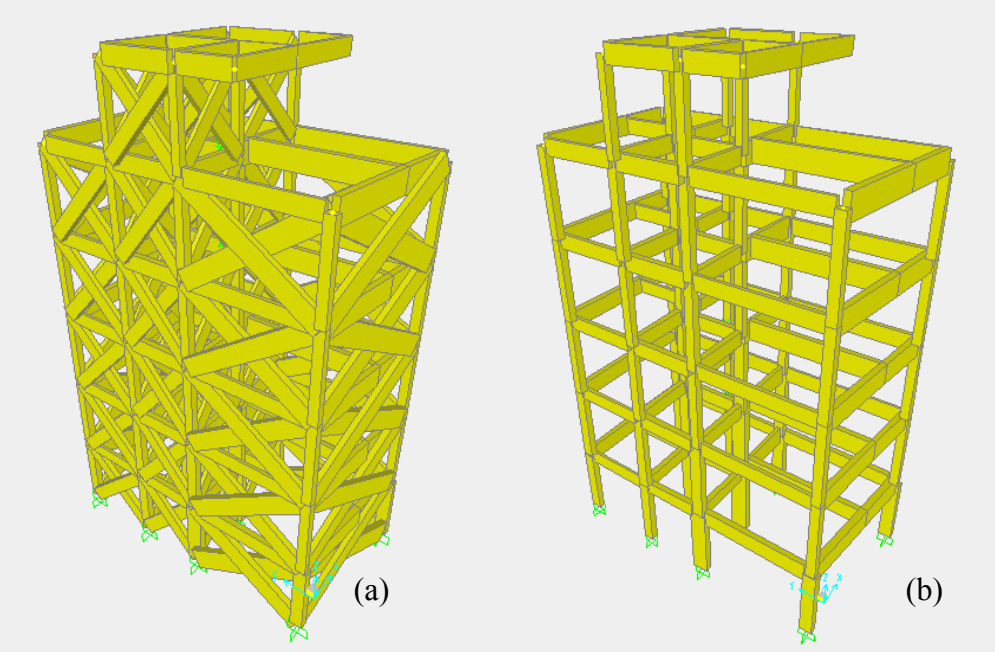
Şekil 6.32: 1X2 diyagonal çubuğunun p.mafsal özelliklerinin Sap2000'deki gösterimi

6.4 Doğrusal Olmayan Statik Analiz Uygulaması

Tezde DBYBHY-2007'nin ilgili bölümlerine ilişkin bir özet bulunmaktadır. Binanın deprem performansının incelenmesi de bu ilgili bölüm üzerinden yapılmaktadır.

Önceki bölümde binanın tasarım depremi etkisi altındaki davranış spektrumu ve performans eğrisi/noktası incelendi. Bu bölümde ise belirlenen doğrusal olmayan davranış istemi altında bina taşıyıcı elemanlarının kapasiteleri belirlenecek, belirlenen kapasiteler üzerinden de önce kesit düzeyinde ardından da bina düzeyinde hasar düzeyleri belirlenecektir. Öncelikle kullanılan performans değerlendirme yöntemi ve bu yöntem kullanılırken izlenilen yolu açıklamak gerekir. Doğrusal olmayan değerlendirme yöntemleri 5.3.3'de belirtilmiştir. Belirtilen sınır şartlar uyarınca da binanın performans değerlendirme yöntemi belirlenmiştir. Buna göre depremin doğrultuları dikkate alındığında hiçbir doğrultu ve durumda etkin titreşim moduna ait etkin kütle toplamının toplam bina kütlesine oranı 0.70'den az çıkmamıştır. IdeCAD programıyla elde edilen doğrusal davranış sonuçlarına göre hesaplanan burulma düzensizliği, η_{bi}, çekme kat haricinde 1.4'den büyük çıkmamıştır. Bu sonuçlar üzerinden de değerlendirme yöntemi olarak artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır.

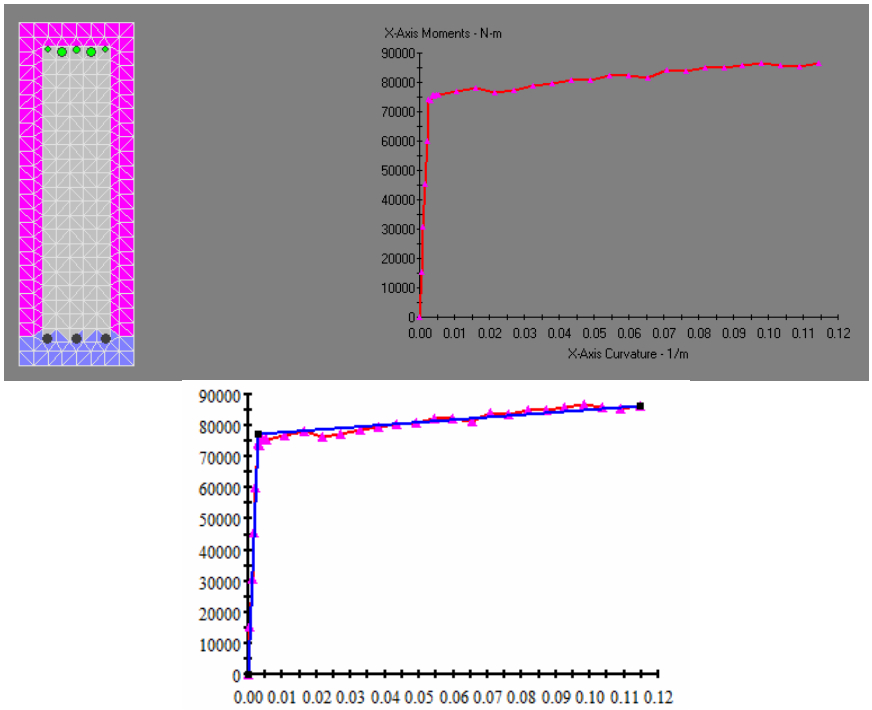
6.4.1 Kullanılan bilgisayar programları ve bina modelinin sunumu



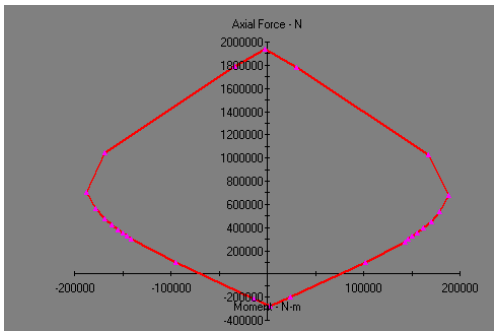
Şekil 6.33: Sap2000'de modellenmiş eşdeğer basınç çubuklu çerçeve ve boş çerçeve

Şekil 6.33'de binanın bilgisayar programı modeli görülmektedir. Doğrusal olmayan statik analizde üç ayrı bilgisayar programı kullanılmıştır. Bina modelinin oluşturulması, bina ve deprem yüklemeleri sonucu doğrusal olmayan itme analizinin uygulanmasında Sap2000 v11.08 sonlu elemanlar programı, taşıyıcı betonarme kiriş

akma momenti ve eğriliğinin bulunmasında, moment-eğrilik diyagramının bilineerize (iki parçalı doğru) edilmesinde, taşıyıcı betonarme kolon moment-eksenel kuvvet etkileşim diyagramları ve akma yüzeylerinin bulunmasında, tüm taşıyıcı elemanların birim şekildeğiştirmelerinin okunmasında Xtract v3.03 (Şekil 6.34,6.35), doğrusal olmayan analizin doğrusal analizle kontrol edilmesinde ise ideCad Statik v.5 sonlu eleman programı kullanılmıştır.



Şekil 6.34: Kiriş elemanın Xtract programında oluşturulan moment-eğrilik ve bilineer akma eğrilik diyagramı



Şekil 6.35: Kolon elemanın Xtract programında oluşturulan moment-eksenel kuvvet etkileşim diyagramı

6.4.2 Yapıya etki eden yükler

Zati yükler döşeme, kiriş, kolon ve duvar yüklerinin toplamıdır. Döşemelerin 10 cm kalınlığa sahip olduğu ve şap+kaplamanın 1.5 kN/m^2 birim ağırlığa sahip olduğu kabul edilmiştir [20]. Döşemenin betonarme birim ağırlığı, 2.5 kN/m^2 hesaba

katılırsa 4 kN/m^2 döşeme ağırlığı belirlenmiştir. Bodrum kat döşemesinin temele aktarıldığı ve hesaba katılmadığı kabul edilmiştir. Bina çekme katında değişikliğe gidilmiş, taşıyıcı kolon ve kiriş kullanılmadan kat tam kata dönüştürülmüştür. Bu nedenle proje dahilinde olmayan ek bölümlerin döşeme(çatı döşemesi) ve duvar yükleri 3. normal kata aktarılmıştır. Burada fazladan yük mevcuttur.

Binaya etkiyen duvar yüklerinin sadece dış cephe duvarları olduğu ve cephede varolan pencere ve balkon boşlukları hesaptan çıkarılmıştır. Kullanılan birim ağırlık dış duvarlar için 3.2 kN/m^2 dir [20]. Hareketli yük birim ağırlığı 2 kN/m^2 dir [21]. Çatıda hareketli yük ve kar yükü hesaba katılmamıştır. Hareketli yük katılım katsayısı "n", konut tipi bir yapı olduğu için 0.3 alınmıştır [19]. Bu hesaptan bina toplam ağırlığı W;

$$W = \sum_{i=1}^{N} w_i \qquad \textbf{(6.1)}$$

$$w_i = g_i + n \cdot q_i \qquad \textbf{(6.2)}$$

Çizelge 6.5'de binanın kat kütleleri ve ağırlıkları verilmiştir.

Çizelge 6.5: Binanın kat kütleleri ve ağırlıkları

Kat	w_i(kN)	m_i(kNs^2/m)
Çekme Kat	178.15	18.16
3. Normal Kat	727.21	74.13
2. Normal Kat	582.62	59.39
1. Normal Kat	584.75	59.61
Zemin Kat	591.35	60.28
Bodrum Kat	577.12	58.83
Toplam	3279.29	334.28

6.4.3 Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile deprem kuvvetlerinin hesaplanması

Bina performans değerlendirmesinde dört farklı durum için sonuçlar bulunmuştur. İlk olarak bina projesinde kullanıldığı belirtilmiş olan C14 kalitesinde beton kullanılarak yapılmış performans analizi, karot deney sonuçlarında kabul edilmiş olan C10 kalitesine göre yapılmış performans analizi ve bu iki beton kalitesine göre yapılmış modellerde dolgu duvar etkisi göz önüne alınarak yapılmış performans analizi. Bu şekilde 4 farklı yatay yük kombinasyonu elde etmiş oluruz. Beton kalitesi farkı kombinasyonlarda çok düşük bir fark yaratmaktadır, bu fark elastisite modülüne bağlı olarak rijitlik farklarından ileri gelmektedir.

Bina bütününe etkiyen eşdeğer deprem kuvveti,

$$V_t = \frac{W \times A(T_1)}{R} \geq 0.10 \times A_0 \times I \times W \qquad \textbf{(6.3)}$$

Spektral ivme katsayısı,

$$A(T) = A_0 \times I \times S(T) \qquad \textbf{(6.4)}$$

denklemlerinden bulunur. Bina önem katsayısı ve etkin yer ivmesi katsayısı daha önce belirtilmişti. Spektrum katsayısı ise DBYBHY-2007 bölüm-2 de belirtildiği gibi;

$$S(T) = 1 + 1.5 \times T / T_A \qquad (0 \leq T \leq T_A) \qquad \textbf{(6.5)}$$

$$S(T) = 2.5 \qquad (T_A \leq T \leq T_B) \qquad \textbf{(6.6)}$$

$$S(T) = 2.5 \times (T_B / T)^{0.8} \qquad (T \geq T_B) \qquad \textbf{(6.7)}$$

şeklinde bulunur.

Katlara etkiyen toplam eşdeğer deprem yükleri ve bina en üst katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ile her bir kata etkiyen eşdeğer deprem yükleri aşağıdaki şekilde bulunurlar.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^{N} F_i \qquad \textbf{(6.8)}$$

$$\Delta F_N = 0.0075 \times N \times V_t \qquad \textbf{(6.9)}$$

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i \cdot H_i}{\sum_{j=1}^{N} w_j H_j} \qquad \textbf{(6.10)}$$

Bu dört ayrı kombinasyona ait deprem kuvvetleri hesaplarına sırasıyla değinilmiş olursa;

6.4.3.1 C10 dolgu duvarsız analiz

X doğrultusu deprem kuvvetleri;

X doğrultusunda bulunan bina doğal periyodu 0.95 saniye bulunmuştur. Spekrum katsayısı S(T), Denklem (6.7)'den 1.73 spektral ivme katsayısı A(T) ise 0.69 bulunur. V_t taban kesme kuvveti Denklem (6.3)'den 568.65 kN bulunur. ΔF_N, 25.59 kN bulunur.

Y doğrultusu deprem kuvvetleri;

Y doğrultusunda bulunan bina doğal periyodu 0.80 saniye bulunmuştur. Spekrum katsayısı S(T) Denklem (6.7)'den 1.99 spektral ivme katsayısı A(T) ise 0.79 bulunur. V_t taban kesme kuvveti Denklem (6.3)'den 652.88 kN bulunur. ΔF_N 29.38 kN bulunur.

Her bir kat için hesaplanmış deprem kuvvetleri Çizelge 6.6 da belirtilmiştir.

Çizelge 6.6: C10 dolgu duvarsız durum için katlara gelen deprem kuvvetleri

Kat	H_i(m)	w_i(kN)	w_iH_i	F_{ix}(kN)	F_{iy}(kN)
Ç.Kat	16.7	178.15	2975.1	80.5	92.4
3.Kat	14.1	727.21	10253.7	189.2	217.3
2.Kat	11.24	582.62	6548.6	120.9	138.8
1.Kat	8.37	584.75	4894.6	90.3	103.7
Zemin Kat	5.5	591.35	3252.4	60	68.9
Bodrum Kat	2.6	577.12	1500.5	27.7	31.8
Toplam	-	3279.3	29424.9	568.7	652.9

6.4.3.2 C14 dolgu duvarsız analiz

X doğrultusu deprem kuvvetleri;

X doğrultusunda bulunan bina doğal periyodu 0.91 saniye bulunmuştur. Spekrum katsayısı S(T) Denklem (6.7)'den 1.79 spektral ivme katsayısı A(T) ise 0.71 bulunur. V_t taban kesme kuvveti Denklem (6.3)'den 585.90 kN bulunur. ΔF_N 26.37 kN bulunur.

Y doğrultusu deprem kuvvetleri;

Y doğrultusunda bulunan bina doğal periyodu 0.77 saniye bulunmuştur. Spekrum katsayısı S(T) Denklem (6.7)'den 2.05 spektral ivme katsayısı A(T) ise 0.82 bulunur. V_t taban kesme kuvveti Denklem (6.3)'den 672.68 kN bulunur. ΔF_N, 30.27 kN bulunur.

Her bir kat için hesaplanmış deprem kuvvetleri Çizelge 6.7 de belirtilmiştir.

Çizelge 6.7: C14 dolgu duvarsız durum için katlara gelen deprem kuvvetleri

Kat	H_i(m)	w_i(kN)	w_iH_i	F_{ix}(kN)	F_{iy}(kN)
Ç.Kat	16.7	178.15	2975.1	82.9	95.2
3.Kat	14.1	727.21	10253.7	195	223.9
2.Kat	11.24	582.62	6548.6	124.5	143
1.Kat	8.37	584.75	4894.6	93.1	106.9
Zemin Kat	5.5	591.35	3252.4	61.9	71
Bodrum Kat	2.6	577.12	1500.5	28.5	32.8
Toplam	-	3279.3	29424.9	585.9	672.7

6.4.3.3 C10 dolgu duvarlı analiz

X doğrultusu deprem kuvvetleri;

X doğrultusunda bulunan bina doğal periyodu 0.59 saniye bulunmuştur. Spekrum katsayısı S(T) Denklem (6.6)'dan 2.5 spektral ivme katsayısı A(T) ise 1 bulunur. V_t taban kesme kuvveti Denklem (6.3)'den 819.82 kN bulunur. ΔF_N, 36.89 kN bulunur.

Y doğrultusu deprem kuvvetleri;

Y doğrultusunda bulunan bina doğal periyodu 0.50 saniye bulunmuştur. Spekrum katsayısı S(T) Denklem (6.6)'dan 2.50 spektral ivme katsayısı A(T) ise 0.1 bulunur. V_t taban kesme kuvveti Denklem (6.3)'den 819.82 kN bulunur. ΔF_N 36.89 kN bulunur.

Her bir kat için hesaplanmış deprem kuvvetleri Çizelge 6.8 de belirtilmiştir.

Çizelge 6.8: C10 dolgu duvarlı durum için katlara gelen deprem kuvvetleri

Kat	H_i(m)	w_i(kN)	w_iH_i	F_{ix}(kN)	F_{iy}(kN)
Ç.Kat	16.7	178.15	2975.1	116.1	116.1
3.Kat	14.1	727.21	10253.7	273.8	273.8
2.Kat	11.24	582.62	6548.6	174.2	174.2
1.Kat	8.37	584.75	4894.6	130.2	130.2
Zemin Kat	5.5	591.35	3252.4	86.5	86.5
Bodrum Kat	2.6	577.12	1500.5	39.9	39.9
Toplam	-	3279.3	29424.9	819.8	819.8

6.4.3.4 C14 dolgu duvarlı analiz

X doğrultusu deprem kuvvetleri;

X doğrultusunda bulunan bina doğal periyodu 0.59 saniye bulunmuştur. Spekrum katsayısı S(T) Denklem (6.6)'dan 2.5 spektral ivme katsayısı A(T) ise 1 bulunur. V_t taban kesme kuvveti Denklem (6.3)'den 819.82 kN bulunur. ΔF_N, 36.89 kN bulunur.

Y doğrultusu deprem kuvvetleri;

Y doğrultusunda bulunan bina doğal periyodu 0.49 saniye bulunmuştur. Spekrum katsayısı S(T) Denklem (6.6)'dan 2.50 spektral ivme katsayısı A(T) ise 0.1 bulunur. V_t taban kesme kuvveti Denklem (6.3)'den 819.82 kN bulunur. ΔF_N 36.89 kN bulunur.

Her bir kat için hesaplanmış deprem kuvvetleri Çizelge 6.9 da belirtilmiştir.

Çizelge 6.9: C14 dolgu duvarlı durum için katlara gelen deprem kuvvetleri

Kat	H_i(m)	w_i(kN)	w_iH_i	F_{ix}(kN)	F_{iy}(kN)
Ç.Kat	16.7	178.15	2975.1	116.1	116.1
3.Kat	14.1	727.21	10253.7	273.8	273.8
2.Kat	11.24	582.62	6548.6	174.2	174.2
1.Kat	8.37	584.75	4894.6	130.2	130.2
Zemin Kat	5.5	591.35	3252.4	86.5	86.5
Bodrum Kat	2.6	577.12	1500.5	39.9	39.9
Toplam	-	3279.3	29424.9	819.8	819.8

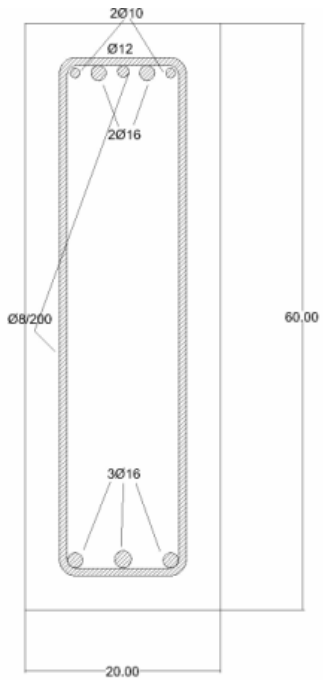
6.4.4 Kolon ve kirişlerdeki mafsal özelliklerinin belirlenmesi

Taşıyıcı elemanlardaki mafsal özellikleri Sap2000 ve Xtract programları kullanılarak belirlenmiştir.

6.4.4.1 Kiriş mafsal özelliklerinin belirlenmesi

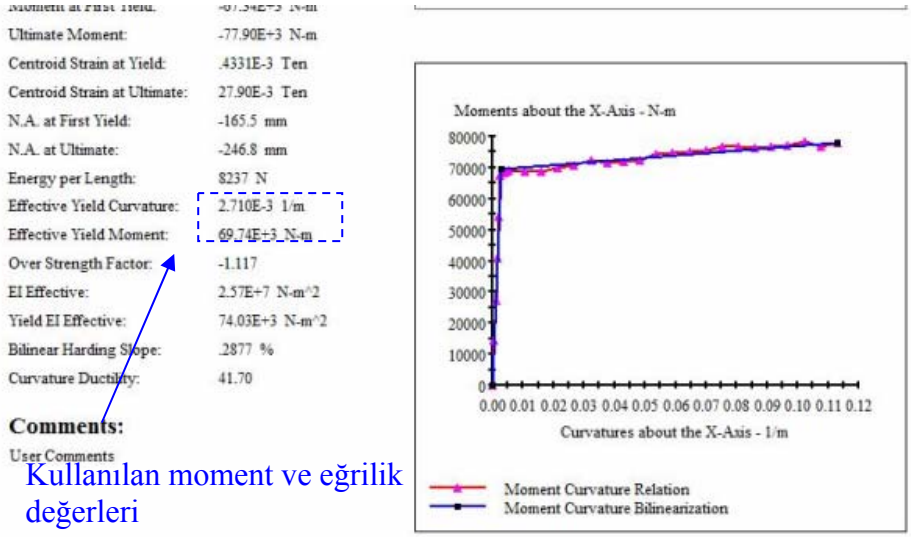
Bina projesinde çizilmiş olan kiriş kesitleri ve donatı konfigürasyonu yardımıyla Xtract programına kirişlerin kesit ve malzeme özellikleri girilir. Kesitlerin yalnızca uç bölgelerindeki donatılar yerleştirilmiştir. Bunun nedeni mafsalın yalnızca uç bölgede toplanması kabulüdür. Malzeme özelliklerinin nasıl olduğu daha önce belirtilmişti. Örnek bir kirişe ait mafsal özelliklerini belirtmek gerekirse;

Projede Kiriş101 olarak adlandırılmış kiriş aynı adla kullanılmış ve tasarlanmıştır. Şekil 6.36'da kiriş enkesit özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 6.36: Kiriş 101 enkesit özellikleri

C14 kalitesinde beton kullanıldığında program kirişin pozitif eksenine ait moment-eğrilik grafiğini aşağıdaki gibi verir.

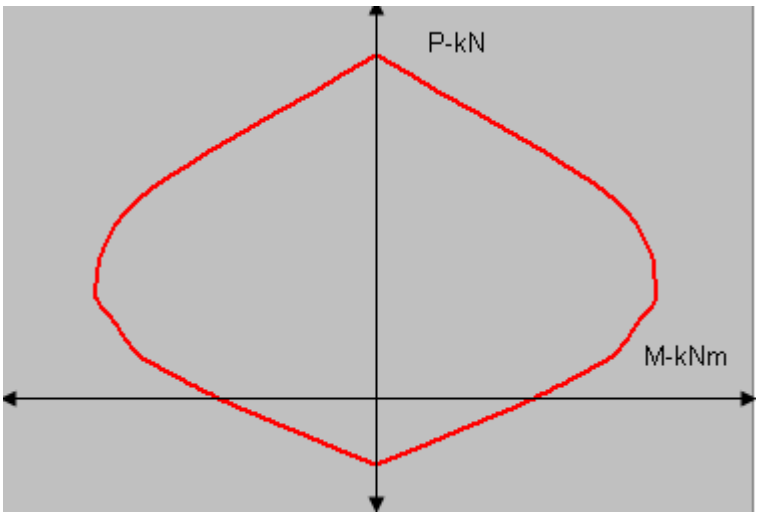


Şekil 6.37: Kiriş 101 moment-eğrilik diyagramı

Kirişte efektif akma eğriliği;0,00271 rad/m ve efektif akma momenti de 69,74 kNm bulunmuştur. Bu değerler Sap2000'de mafsal özelliklerinin atandığı yere M3 mafsalı olarak girilir. Plastik mafsal boyu kiriş yüksekliğinin yarısı olarak belirlenir.

6.4.4.2 Kolon mafsal özelliklerinin belirlenmesi

Kolonlardaki mafsal özellikleri kirişlerden daha farklıdır. Bunun nedeni kolonların eksenel kuvvet altında çalışmalarıdır. Kirişler eksenel kuvvet almadıklarından akma noktaları ve akma noktasındaki moment-eğrilik değerleri kesit dahilinde değişmez, ancak eğer pekleşme değeri farklı kirişler söz konusu ise bu değerlerde küçük artışlar olabilir. Öte yandan kolonlar her farklı eksenel kuvvete karşılık farklı bir moment değeri ve bu moment değerlerine karşılık da farklı eğrilikler verir. Böyle olduğu içinde M3 mafsalıyla değil, PMM (eksenel kuvvet ve x-y doğrultularındaki moment) ile tarif edilen farklı bir mafsalla tanımlanırlar. Bu mafsalın tanımlanabilmesi için Xtract programında kesit ve malzeme özellikleri girilmiş kolonun eksenel kuvvet-moment etkileşim grafiği elde edilir. Bu şekilde kolonun akma yüzeyi tariflenmiş olur. Bu yüzeyin tarifi için en az üç ayrı açı için (0, 45, 90) elde edilmiş eksenel kuvvet –moment değerleri mafsal özelliklerine girilir. Örnek bir moment-eksenel kuvvet etkileşim grafiği Şekil 6.38'de verilmiştir.



Şekil 6.38: Eksenel kuvvet-moment etkileşim diyagramı

6.4.5 Sap2000 programı ile DBYBHY-2007 esaslarına göre yapılan statik itme analizi için bulunan performans noktaları

Her bir durum için ayrı olarak yapılan bu çalışmada Sap2000 programında modellenen çalışmalar için DBYBHY-2007 bölüm-7'de tariflenen performans eğrileri elde edilmiştir. Ardından da karşılıklı kıyaslamalarla değerlendirmelerde bulunulmuştur.

6.4.5.1 C10 dolgu duvarsız durum –x doğrultusu

X doğrultusu için hesapta kullanılacak çizelge ve bilgiler Çizelge 6.10'da belirtilmiştir.

Çizelge 6.10: C10 dolgu duvarsız durum-x doğrultusu katların mod şekilleri ve modal kütleler

Kat	$m_i(kNs^2/m)$	Φ_{xin}	$L_{xn}(m_i \times \Phi_{xin})$	$M_n(m_i \times \Phi^2_{xin})$
Çekme Kat	18.16	0.082	1.49	0.122
3.Kat	74.13	0.076	5.62	0.426
2.Kat	59.39	0.064	3.80	0.243
1.Kat	59.61	0.048	2.87	0.138
Zemin Kat	60.28	0.031	1.86	0.058
Bodrum Kat	58.83	0.013	0.75	0.009
Toplam	330.40	-	16.39	0.997

Bina etkin kütlesi 269,023 kNs^2/m bulunmuştur. Bu değerin toplam bina kütlesine oranı 0,81 çıkmıştır. Bina performans analizi artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılmıştır.

Birinci(deprem doğrultsunda hakim) moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1}, 16.41 bulunur. Bina tepe noktasında maksimum mod genliği, Φ_{xN1}, 0,082 olarak bulunmuştur.

X doğrultusu performans eğrisine ait taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirme istemi ve bu değerlerin spektral ivme ve yerdeğiştirmeye dönüştürülmüş halleri Çizelge 6.11'de belirtildiği gibidir.

Çizelge 6.11: C10 dolgu duvarsız durumdaki performans eğrisine ait yerdeğiştirme-taban kesme kuvveti değerleri

Adım	Yerdeğiştirme(mm)	Taban kesme Kuvveti(kN)	Modal İvme($a_1^{(i)}$)	Modal yerdeğiştirme($d_1^{(i)}$)
0	0,0005	0,00	0,000	0,000
1	0,0072	55,02	0,206	0,005
2	0,0217	162,96	0,609	0,016
3	0,0360	222,66	0,832	0,027
4	0,0411	235,07	0,878	0,031
5	0,0554	255,40	0,954	0,041
6	0,0695	267,75	1,000	0,052
7	0,0848	279,16	1,043	0,063
8	0,1001	287,88	1,076	0,074
9	0,1201	300,01	1,121	0,089
10	0,1400	312,06	1,166	0,104
11	0,1544	319,91	1,195	0,115
12	0,1717	328,77	1,228	0,128
13	0,1884	335,78	1,255	0,140
14	0,2104	342,43	1,280	0,156
15	0,2105	342,48	1,280	0,156

Denklem (6.6) ve (6.3)'den

$S_{ae1} = (2{,}5 \times (\frac{0{,}6}{0{,}9479})^{0{,}8}) \times 9{,}81 \times 1 \times 0{,}4 = 6{,}8$ olarak bulunur.

$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} = S_{de1} = \frac{6{,}8}{43{,}9} = 0{,}15$ bulunur.

T_1 T_B'den büyük olduğu için spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1}=1 olarak alınır, böylece doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme, S_{di1} eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğrusal elastik spektral yerdeğiştirmeye eşit alınır.

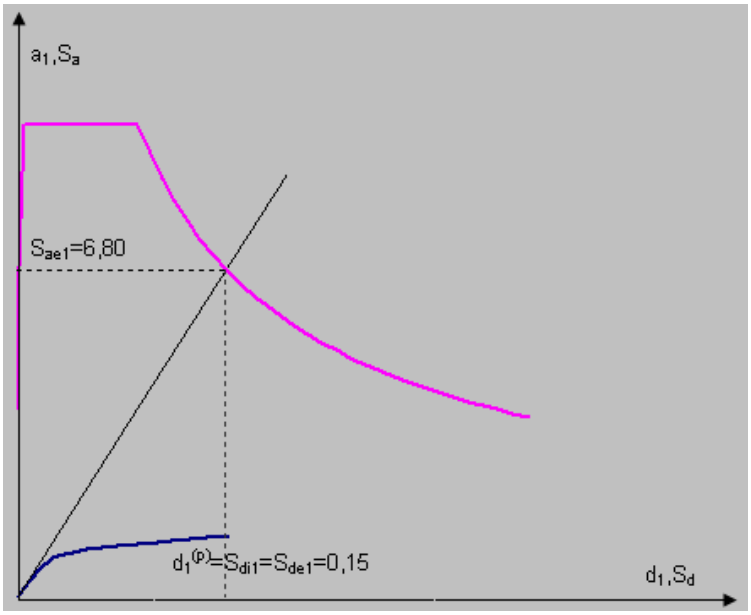
Belirlenen değerlere göre birinci titreşim moduna ait ve koordinatları (d_1, a_1) olan modal kapasite diyagramı ile koordinatları "spektral yerdeğiştirme (S_d)- spektral ivme (S_a)" olan davranış spektrumu çizilir. Bu spektrumda S_{ae1}'nin S_a eğrisini kestiği noktanın apsisi modal yerdeğiştirme istemi olan $d_1^{(p)}$'yi verir.

C_{R1}=1 olduğundan S_{de1}=1 x S_{di1} olacağından S_{di1}, 0,15 ve Denklem (5.11)'den

Modal yerdeğiştirme istemi de 0,15 alarak bulunur.

Bina performans noktamızı ise;

Denklem (5.17)'den $u_{xN1}^{(p)} = 0{,}082 \times 16{,}41 \times 0{,}15 = 0{,}208$ m = 208 mm olarak bulmuş oluruz. Şekil 6.39'da performans noktası eğri üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 6.39: C10 dolgu duvarsız durumun performans eğrisi

6.4.5.2 C10 dolgu duvarlı durum-x doğrultusu

X doğrultusu için hesapta kullanılacak çizelge ve bilgiler Çizelge 6.12'de belirtilmiştir..

Çizelge 6.12: C10 dolgu duvarlı durum-x doğrultusu katların mod şekilleri ve modal kütleler

Kat	$m_i(kNs^2/m)$	Φ_{xin}	$L_{xn}(m_i \times \Phi_{xin})$	$M_n(m_i \times \Phi^2_{xin})$
Çekme Kat	18.16	0.081	1.47	0.120
3.Kat	74.13	0.073	5.42	0.396
2.Kat	59.39	0.062	3.69	0.230
1.Kat	59.61	0.048	2.83	0.134
Zemin Kat	60.28	0.031	1.87	0.058
Bodrum Kat	58.83	0.013	0.79	0.011
Toplam	330.40	-	16.39	0.949

Bina etkin kütlesi 271,430 kNs^2/m bulunmuştur. Bu değerin toplam bina kütlesine oranı 0,82 çıkmıştır. Bina performans analizi artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılmıştır.

Birinci(deprem doğrultsunda hakim) moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1}, 16.88 bulunur. Bina tepe noktasında maksimum mod genliği, Φ_{xN1}, 0,081 olarak bulunmuştur.

X doğrultusu performans eğrisine ait taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirme istemi ve bu değerlerin spektral iveme ve yerdeğiştirmeye dönüştürülmüş halleri Çizelge 6.13'de belirtildiği gibidir.

Çizelge 6.13: C10 dolgu duvarlı durumdaki performans eğrisine ait yerdeğiştirme-taban kesme kuvveti değerleri

Adım	Yerdeğiştirme(mm)	Taban kesme Kuvveti(kN)	Modal İvme($a_1^{(i)}$)	Modal yerdeğiştirme($d_1^{(i)}$)
0	0,0004	0,00	0,000	0,000
1	0,0004	0,35	0,001	0,000
2	0,0155	224,09	0,827	0,011
3	0,0251	290,71	1,073	0,018
4	0,0358	323,92	1,196	0,026
5	0,0444	334,91	1,236	0,032
6	0,0590	344,56	1,272	0,043
7	0,0645	345,83	1,276	0,047
8	0,0658	346,34	1,278	0,048
9	0,0831	351,15	1,296	0,061
10	0,0990	354,18	1,307	0,072
11	0,1280	353,21	1,304	0,093

Denklem (6.7) ve (6.3)'den

$S_{ae1} = 2,5 \times 9,81 \times 1 \times 0,4 = 9,81$ olarak bulunur.

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} = S_{de1} = \frac{9,81}{111,15} = 0,09 \text{ bulunur.}$$

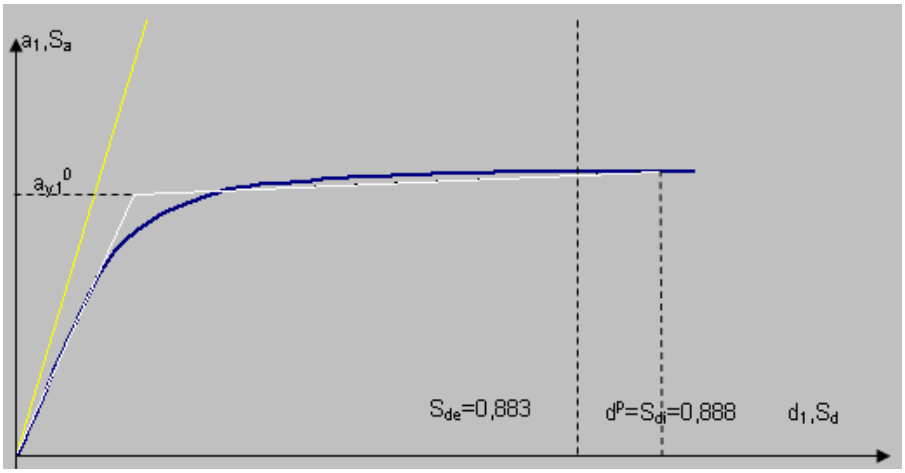
T_1 T_B'den küçük olduğu için spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1}=1 olarak alınamaz, ardışık yaklaşımla hesaplanır. Modal kapasite diyagramı yaklaşık olarak iki doğrulu (bi-lineer)bir diyagrama dönüştürülür. Eşdeğer akma noktası'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir.

Denklem (5.14), (5.15) ve (5.16) kullanılarak, eşdeğer akma noktasının bulunması için kullanılan bilineer eğrinin hesabı aşağıda verilmiştir.

1.adım; S_{de}=0,0883 ve C_{R1}=1; S_{di}=0,0883

a_{y1}=1,19; R_{y1}=8,18 ve C_{R2}=1,01 bulunur.

S_{di}=C_{R2} x S_{de} =0,0888 ve a_{y2}=1,20; R_{y2}=8,18 ve C_{R3}=1,01 bulunur. Her iki adım arasındaki fark ihmal edilecek düzeye geldiği için bu değer üzerinden yapılan hesap sonucu U_{xN1}=0,1217 m olarak bulunur. Sonuç grafiği Şekil 6.40'da gösterilmiştir.



Şekil 6.40: C10 dolgu duvarlı durumun performans eğrisi

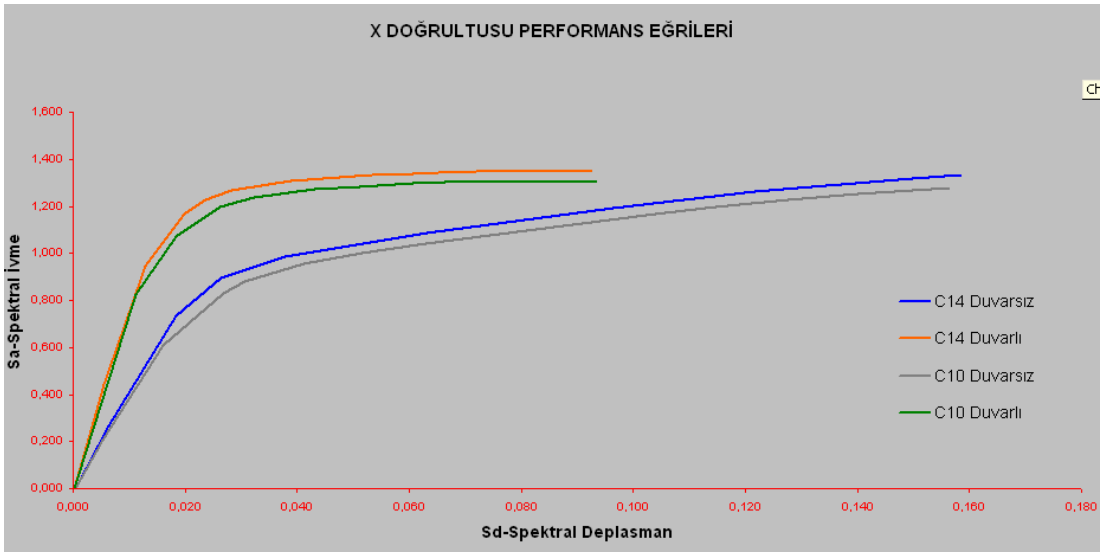
6.4.5.3 Durumların davranış spektrumu değerlendirmesi

Çizelge 6.14'de her bir duruma ait olan performans noktaları gösterilmektedir.

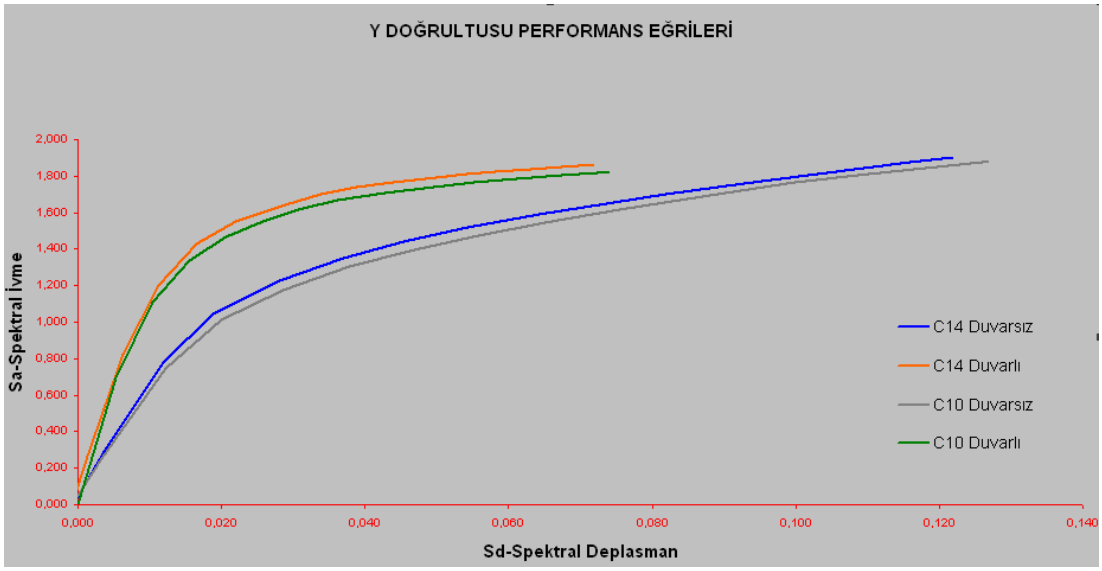
Çizelge 6.14: Durumlara ait performans noktaları

Durum	$d^{(p)}$	$u^{(p)}$(m)
C10-Dvsız-X	0,15	0,208
C10-Dvsız-Y	0,13	0,173
C14-Dvsız-X	0,15	0,199
C14-Dvsız-Y	0,12	0,165
C10-Dvr-X	0,09	0,122
C10-Dvr-Y	0,07	0,097
C14-Dvr-X	0,09	0,119
C14-Dvr-Y	0,07	0,095

Durumların performans eğrilerini grafik üzerindeki gösterimleri ise Şekil 6.41 ve 6.41'de gösterilmektedir.;



Şekil 6.41: X doğrultusundaki performans eğrileri



Şekil 6.42: Y doğrultusundaki performans eğrileri

Davranış spektrumlarına bakıldığında beton kalitesinden dolayı oluşan farkın spektrum üzerinde çok az bir farka neden olduğu görülmektedir. C14 sınıfı betonun daha rijit olması, elastisite modülünün C10 sınıfı betona göre daha yüksek oluşu performans eğrisinin az da olsa yüksek olmasına neden olmaktadır. Ancak bu artışın bina periyodundaki azalıştan dolayı olduğu unutulmamalıdır. Bu eğrilerle taşıyıcı sistemdeki hasar ve performans değerlendirmesinde bulunulamaz.

Dolgu duvar etkisi ise çok daha açık bir şekilde görülmektedir. Her iki doğrultuda da dolgu duvarlı durumların daha yüksek bir davranış spektrumuna sahip olduklarını, gerek taban kesme kuvvetleri karşılaştırmaları açısından gerekse de performans noktaları açısından belirgin bir fark oluşturdukları görülmektedir. Bunun nedeni de bina rijitliğinin değişmesidir. Bina taşıyıcı sistemine dair bu grafikler üzerinden bir görüş belirtilemez. Belki dolgu duvarsız sistemlerin daha labil olmalarından dolayı daha yüksek deplasman yapmaları yüzünden yatay kuvvet etkisini daha çok aldıklarını söylenebilir. Haliyle de taşıyıcı elemanlarda oluşabilecek plastik mafsal derecelerinin daha yüksek olabileceği söylenebilir. Ancak dolgu duvarlı durumlarda da taban kesme kuvvetlerinin yüksek olması ve aynı zamanda bina rijitliğinin artması katlara etkiyen yatay kuvvetlerin daha yüksek olacağını göstermektedir. Daha rijit olan bu sistemlerde gevrek davranışın artacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Tabi tüm bu varsayımlar az sonra anlatacağımız üzere bina deprem performanslarında daha detaylı olarak açıklanacaktır. Esas değerlendirme ancak hasar sınırları belirlenerek oluşturulacak deprem performansı sonrası yapılabilir.

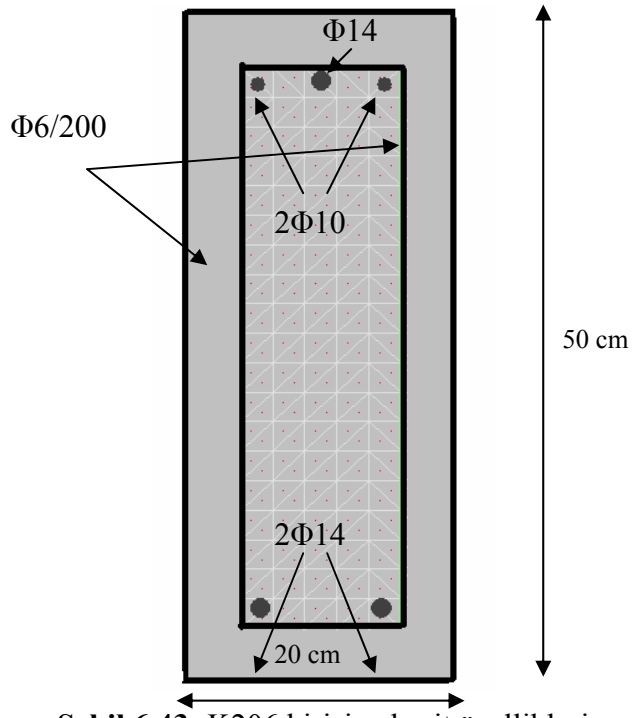
6.4.6 DBYBHY-2007 esaslarına göre bina deprem performansının değerlendirilmesi

Bu bölümde artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanmış performans sonuçları gösterilmiştir. Kesitlere ait plastik şekildeğiştirme istemleri ve bunlara karşılık gelen birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile kesitlerin kesme kapasiteleri incelenmiştir. Buna göre binadaki sünek ve gevrek davranış gösteren kesitlerin hasar dereceleri belirlenmiş, buradan da binanın hasar sınıfı belirlenmiştir. Bina deprem performans sonuçları bu değerlendirme sonucunda ortaya çıkarılmıştır. Aşağıda plastikleşen kesitlere ait birim şekildeğiştirme istemlerine ait birer kolon ve kirişte elde edilen sonuçlar adımlarıyla verilmiştir. Tüm kesitlere ait sonuçlar Ek D'de verilmiştir. Aşağıda aynı zamanda kesit düzeyinde gevrek kırılma kontrolüne ilişkin aynı örnek kolon ve kirişe ait kesme kapasitesi kontrolüne ait örnekte mevcuttur.

Daha sonra ise ilgili durumlara ilişkin kesitlerin şekildeğiştirme kapasiteleri üzerinden ulaşılan karşılaştırmalı değerlendirmeler belirtilmiştir.

6.4.6.1 K206 kirişine ait birim şekildeğiştirme ve kesme kapasitesi değerlendirmesi (X-doğrultusu)

K206 kirişi 1.Normal kat döşemesini taşıyan elemanlardan biridir ve 20 cm genişliğe 50 cm de yüksekliğe sahiptir. Kirişimizin enkesit özellikleri Şekil 6.43'de verilmiştir.



Şekil 6.43: K206 kirişi enkesit özellikleri

Kesitin birim şekildeğiştirme kapasitesi ve hasar sınırı;

Xtract programı kullanılarak kirişe ait olan moment-eğrilik diyagramı elde edilir. Bu diyagramın bilineerleştirilmesi sonucu da kesitin etkin akma eğriliği ve momenti elde edilmiş olur. Bu kirişe ait olan akma eğrilik ve moment değerleri Çizelge 6.15'de verilmiştir.

Çizelge 6.15: K206 kirişine ait akma eğrilik değerleri

	C10 sınıfı pozitif yön	C10 sınıfı negatif yön	C14 sınıfı pozitif yön	C14 sınıfı negatif yön
Etkin Akma Eğriliği, Φ_y (rad/m)	$3.27x10^{-3}$	$3.20x10^{-3}$	$3.28x10^{-3}$	$3.45x10^{-3}$
Etkin Akma momenti, M_y (kNm)	29.16	29.41	29.99	31.22

Kesitlerin her bir durum için yapılan itme analizi sonucu elde edilen plastik dönme dönme kapasiteleri ise sırasıyla;

C10 dolgu duvarsız durumda θ_p; pozitif yönde 0.0188 rad, negatif yönde ise 0.0227 radyan

C14 dolgu duvarsız durumda θ_p; pozitif yönde 0.0197 rad, negatif yönde ise 0.0216 radyan

C10 dolgu duvarsız durumda θ_p; pozitif yönde 0.0123 rad, negatif yönde ise 0.0142 radyan olarak bulunmuştur.

Plastik eğrilik değerleri ise plastik dönme değerlerinin plastik şekildeğiştirme bölgesi(L_p) boyuna bölünmesi ile bulunur. Bu değer kiriş ve kolon gibi eğilme etkisi altında davranış gösteren elemanlar için çalışan doğrultudaki kesit boyunun yarısıdır.

Bulunan plastik eğrilik istemleri ile akma eğrilik değerleri toplanarak toplam plastik eğrilik istemi değerleri elde edilir. Elde edilen değerler aşağıdadır.

C10 dolgu duvarsız durumda Φ_t; pozitif yönde $7.85x10^{-3}$ rad/m, negatif yönde ise $9.40x10^{-3}$ rad/m

C14 dolgu duvarsız durumda Φ_t; pozitif yönde $8.21x10^{-3}$ rad/m, negatif yönde ise $9.00x10^{-3}$ rad/m

C10 dolgu duvarsız durumda Φ_t; pozitif yönde $5.27x10^{-3}$ rad/m, negatif yönde ise $6.05x10^{-3}$ rad/m olarak hesaplanmıştır.

Bu değerler üzerinden kesit düzeyindeki birim şekildeğiştirme kapasiteleri de Xtract programı kullanılarak elde edilir. Elde edilen değerler betondaki ve donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme değerleridir. Bu değerlerin DBYBHY'de belirtilen hasar sınırlarının hangisi içerisinde olduğu belirlenerek kesite ait hasar sınıfı elde edilmiş olur. Plastikleşen tüm kesitlere ait yapılan hesap sonucu da yine DBYBHY'de belirtilmiş olan binanın deprem performansı belirlenmiş olur. Çizelge 6.16'da K206'ya ait olan hasar sınırları verilmiştir. Kesitin sargısız olduğu göz önüne alınarak sınır değerlere etriye ve çirozlardan gelen etki(ρ_s/ ρ_m = 0 alınmıştır) çıkartılmıştır. Buna göre de betonda GV sınırı ve haliyle beton malzeme için belirgin hasar bölgesi ortadan kalkmış GÇ sınırı da 0.004'e eşit olmuştur.

Çizelge 6.16: K206 kirişine ait birim şekildeğiştirme değerleri ve hasar sınırları

	Toplam Eğrilik, Φ_t(rad/m)	Beton basınç birim şekildeğiştirme	Beton Hasar sınırı	Donatı çeliği birim şekildeğiştirme	Donatı çeliği Hasar sınırı
C10 duvarsız üst	$7.85x10^{-3}$	-0.00351	GV	0.03124	MN
C10 duvarsız alt	$9.08x10^{-3}$	-0.00397	GV	0.03718	MN
C14 duvarsız üst	$8.21x10^{-3}$	-0.00341	> MN	0.03293	MN
C14 duvarsız alt	$9.00x10^{-3}$	-0.00354	GV	0.03586	MN
C14 duvarlı üst	$5.27x10^{-3}$	-0.00220	> MN	0.02114	MN
C14 duvarlı alt	$6.05x10^{-3}$	-0.00239	> MN	0.02409	MN

Betonda ve donatı çeliğinde elde edilen hasar sınırlarından en elverişsiz olanı seçilir. Ayrıca üst-alt bölge arasında en elverişsiz hasar sınırı belirlenir. Buna göre de kesitin hasar sınırı belirlenmiş olur.

Sonuç olarak K206 kirişinin C10 dolgu duvarsız durumda x-doğrultusundaki deprem performansına göre hasar sınırı GV(ileri hasar bölgesi) olarak belirlenir. C14 dolgu duvarsız durumda da hasar sınırı GV(ileri hasar bölgesi) olarak belirlenir. C14 dolgu duvarlı durumda da bu sınır MN(belirgin hasar bölgesi) olarak tespit edilmiştir.

Kesitin kesme kapasitesi;

Kesite ilişkin gevrek kırılma kontrolü, kesme kapasitesi belirlenerek yapılır. Buna göre kesme kapasitesini tasarım kesme kuvvetinden büyük olması gerekmektedir. Eğer kesme kapasitesi tasarım kesme kuvvetinden daha küçük çıkarsa kesitin gevrek kırıldığı ve plastikleşmeden göçeceği kabul edilecektir. Sonucun bu şekilde olması da hasar sınırının göçme bölgesinde olacağı görülmektedir.

$$V_r \geq V_d \qquad \textbf{(6.11)}$$

Tasarım kesme kuvveti olan V_r, beton katkısı ve kesme donatı katkısının toplamından oluşur.

$$V_r = V_c + V_w \quad \textbf{(6.12)}$$

V_c, beton katkısı ise kesitin kesmede çatlama dayanımının 0.8 katıdır.

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d (1 + \gamma \frac{N_d}{A_c}) \quad \textbf{(6.13)}$$

Kirişler eksenel kuvvet almazlar. Bu yüzden denklemdeki parantez içindeki bölüm etkisizdir.

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d \quad \textbf{(6.14)}$$

$$V_r = 0.8 V_{cr} + V_w \quad \textbf{(6.15)}$$

Denklem (6.14)'e göre kesitin kesme kuvveti kapasitesi belirlenir. Denklemdeki değerler yerine konulduğunda durumlara göre Çizelge 6.17'deki değerler ortaya çıkar.

Çizelge 6.17: K206 kirişi gevrek kırılma kontrolü

	V_c(kN)	V_w(kN)	V_r(kN)	V_d(kN)	Durum
C10 duvarsız sol uç	57.55	29.24	86.79	27.52	Güvenli
C10 duvarsız sağ uç	57.55	29.24	86.79	48.56	Güvenli
C14 duvarsız sol uç	68.10	29.24	97.33	22.00	Güvenli
C14 duvarsız sağ uç	68.10	29.24	97.33	43.04	Güvenli
C14 duvarlı sol uç	68.10	29.24	97.33	27.96	Güvenli
C14 duvarlı sağ uç	68.10	29.24	97.33	48.99	Güvenli

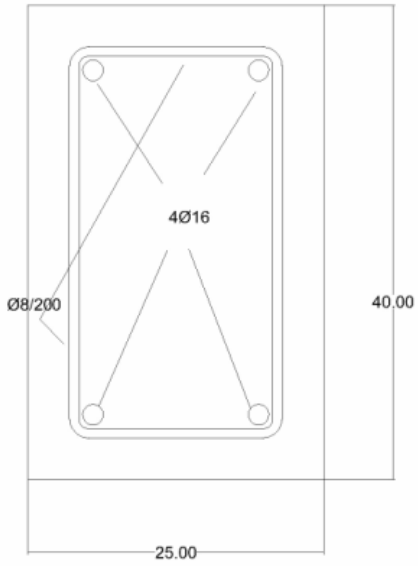
Görüldüğü gibi kesit hiçbir durumda gevrek kırılma yaşamamıştır. Ancak kesit plastikleştikçe kesitin kesme kapasitesi de azalmakta ve her itme adımında bu değer daha da küçülmektedir. Bu yüzden kesit performans noktasına ulaşmadan çok önce gevrek kırılma yaşayabilir. Ancak kesit kesme kapasitesinin kesit plastikleştikçe değişmediği kabul edilerek plastikleşme derecesi daha iyi gözlemlenmiştir.

6.4.6.2 S1010 kolonuna ait birim şekildeğiştirme ve kesme kapasitesi değerlendirmesi(Y-doğrultusu)

Kesitin birim şekildeğiştirme kapasitesi ve hasar sınırı;

Kolon birim şekildeğiştirme değerlendirmesi kirişlere göre daha kompleks bir yapı içerir. Kolonlar kirişlerden farklı olarak eksenel kuvvet altında çalışırlar ve eksenel kuvvette meydana gelen değişimler, eğilme momentini de etkilemektedir. Bu yüzden de kirişlerdeki gibi sabit bir akma momenti ve bu momente karşılık gelen bir eğrilik belirleyebilmek mümkün değildir. Öte yandan her eksenel kuvvete karşılık gelen momentin eşlendiği bir etkileşim diyagramı belirlenebilir. Oluşturulan bu şekle kolon kesitinin akma yüzeyi adı verilir. Elde edilen akma yüzeyi grafiği yardımıyla itme adımında meydana gelen değişim sonucu değişen eksenel kuvvet ve momentler altında eğriliğin akma yüzeyinin dışına çıkıp çıkmadığı belirlenir, plastikleşme derecesi belirlenmiş olur.

Xtract programına kesit ve malzeme özellikleri girilen kolonun akma yüzeyi belirlenmiştir. Belirlenen bu akma yüzeyi sap2000 programındaki mafsal özellikleri bölümüne girilmiş ve plastik çalışacak bölgeye bu değerler atanmıştır. Performans sonucu oluşan plastik davranış derecesine bağlı olarak da kesitte meydana gelen birim şekildeğiştirme kiriş örneğinde olduğu gibi okunarak deprem şartnamesindeki sınır değerlerle kontrol edilerek kesitin hangi tür hasar sınırına sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 6.44'de kolonun enkesit özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 6.44: S1010 kolonu enkesit özellikleri

C10 dolgu duvarsız durumda θ_p; etkin deprem doğrultusunda 0.0059 radyan,

C14 dolgu duvarsız durumda θ_p; etkin deprem doğrultusunda 0.0023 radyan

olarak bulunur.

C14 dolgu duvarlı durumda, kolonda plastik davranış gözlemlenmemiştir. Yine kiriş örneğinde olduğu gibi bulunan plastik dönme değerleri plastik çalışan bölge boyuna bölünerek plastik eğrilik elde edilir. Akma eğriliği içinse performans noktasına tekabül eden itme adımında kolon kesitine tesir eden eksenel kuvvetin meydana getirdiği moment-eğrilik grafiği kullanılır.

Eksenel kuvvet ve eğrilik değerleri iki farklı durum için

C10 dolgu duvarsız durumda P, eksenel basınç kuvveti; 502.42 kN, Φ_y, etkin akma eğriliği, $7.45x10^{-3}$ rad/m olarak bulunmuştur.

C14 dolgu duvarsız durumda P, eksenel basınç kuvveti; 509.29 kN, Φ_y, etkin akma eğriliği, $7.56x10^{-3}$ rad/m olarak bulunmuştur.

Plastik eğriliğin ve akma eğriliğinin toplanmasıyla elde edilen toplam eğrilik sonucu yine aynı eksenel basınç kuvveti altındaki eğrilik-birim şekildeğiştirme değerleri karşılaştırılarak betondeki ve donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme değerleri okunur. Bu değerlerin ve bu değerlere karşılık gelen hasar sınırlarının yer aldığı Çizelge 6.18 aşağıdadır.

Çizelge 6.18: S1010 kolonuna ait birim şekildeğiştirme değerleri ve hasar sınırları

	Eksenel Basınç Kuvveti, P(kN)	Toplam Eğrilik, Φ_t(rad/m)	Beton basınç birim şekildeğiştirme	Beton Hasar sınırı	Donatı çeliği birim şekildeğiştirme	Donatı çeliği Hasar sınırı
C10 duvarsız-kolon alt uç	502.42	$2.04x10^{-3}$	-0.0043	GV	0.0036	> MN
C14 duvarsız-kolon alt uç	509.29	$1,92x10^{-3}$	-0.0034	> MN	0.0034	> MN

Çizelgede verilen değerler S1010 kolonunun alt ucundaki değerlerdir. Kolon üst ucunda hiçbir durumda plastik davranış gözlemlenmemiştir. Değerlerden de görüldüğü gibi beton kalitesinin yükselmesi betondaki hasarı düşürmekte ve ileri hasar bölgesindeki kesit hasarı minimum hasar bölgesine gerilemektedir. Hatta

burada dikkate alınmadığı için görülemeyen C14 dolgu duvarlı durumda herhangi bir plastik davranışta belirmemektedir. Kesit dolgu duvar etkisi altında hasar görmemektedir.

Kesitin kesme kapasitesi;

Kolon kesitinde de kiriş örneğinde olduğu gibi gevrek kırılma kontrolü yapılır. Fark eksenel kuvvet etkisinin dikkate alınacak olmasından ileri gelir. Denklem (6.12)'de eksenel basıç kuvveti, P, yerine düşey yükler altında kolonda meydana gelen eksenel kuvvet kullanılır ve γ değeri eksenel kuvvetin eksenel basınç olması durumunda, 0,07; eğer eksenel kuvvet çekme durumunda ise, -0,3 alınacaktır.

Çizelge 6.19: S1010 kolonu gevrek kırılma kontrolü

	P(kN)	V_c(kN)	V_w(kN)	V_r(kN)	V_d(kN)	Durum
C10 duvarsız alt uç	248.3	67.56	40.92	108.47	24.93	Güvenli
C10 duvarsız üst uç	242.5	67.32	40.92	108.24	24.93	Güvenli
C14 duvarsız alt uç	248.4	79.94	40.92	120.86	21.28	Güvenli
C14 duvarsız üst uç	242.7	79.66	40.92	120.58	21.28	Güvenli
C14 duvarlı alt uç	246.8	79.86	40.92	120.78	18.24	Güvenli
C14 duvarlı üst uç	241.1	79.59	40.92	120.50	18.24	Güvenli

Çizelge 6.19'dan da görüldüğü gibi hiçbir kesitte gevrek kırılma gözlemlenmemiştir.

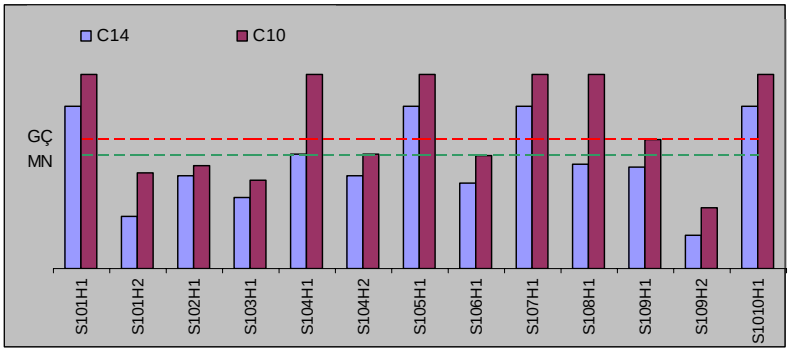
6.4.6.3 Performans sonuçlarının karşılaştırması

Yukarıdaki örneklerde gösterildiği gibi, plastik davranış gösteren her kolon ve kirişe ait performans değerlendirmesi yapılmış, kesitlerin hasar dereceleri belirlenmiştir. İlk önce farklı durumda aynı kesitte meydana gelen plastik davranış değerleri grafiklerle karşılaştırılacak, ardından da binanın farklı durumlarda göstereceği deprem performansları irdelenecektir.

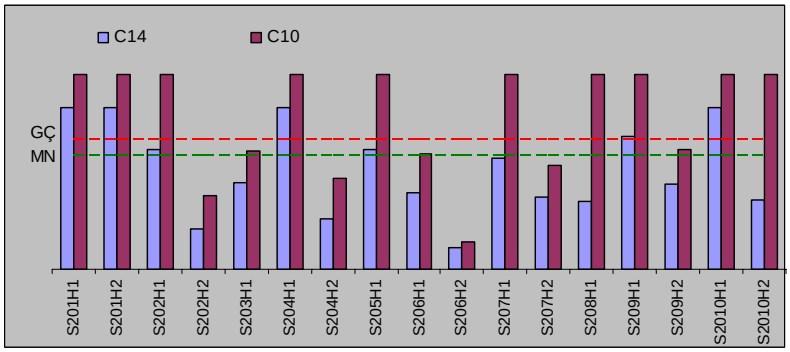
Aşağıdaki farklı durumlara ait her katta meydana gelen plastik davranış grafikleri gösterilmiştir. Grafiklerde yer alan kesit plastik eğrilik değerleri, minimum hasar sınırı olan -0.0035'e oranlanıp idealleştirilerek gösterilmektedirler.

Önce beton kalitesi bakımından farklılıklara bir göz atılmıştır. Aşağıda X ve Y doğrultusunda C10 ve C14 dolgu duvarsız durumlara ilişkin kat bazında beton

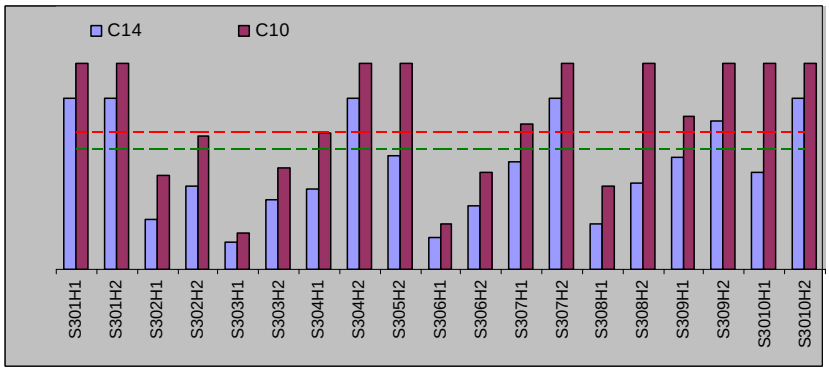
malzeme hasar oranı değerlendirme grafikleri Şekil 6.45-6.49 arasında gösterilmektedir.



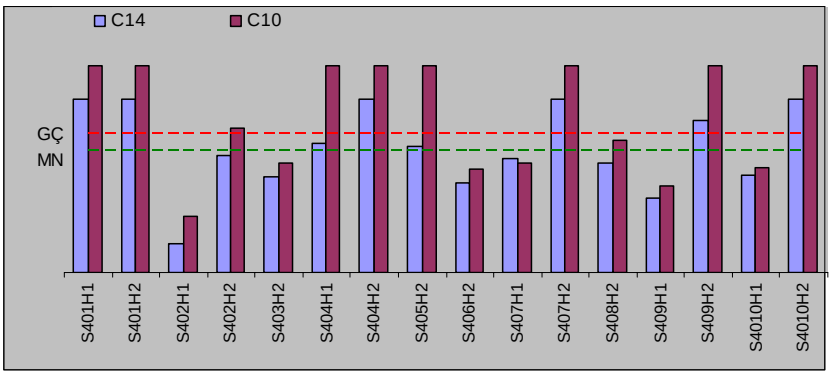
Şekil 6.45: X doğrultusu bodrum kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları



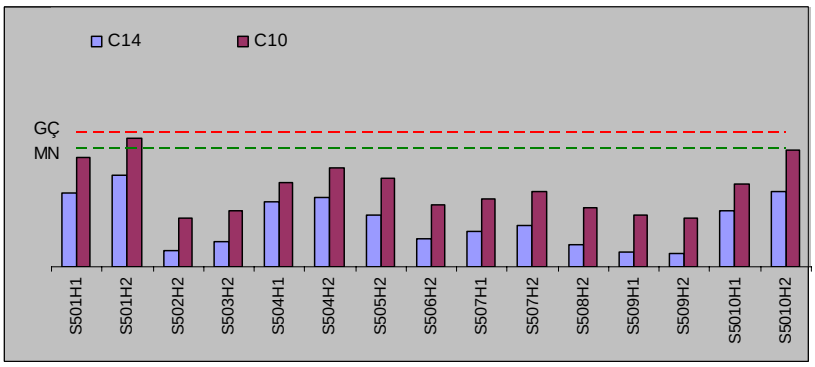
Şekil 6.46: X doğrultusu zemin kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları



Şekil 6.47: X doğrultusu 1. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları

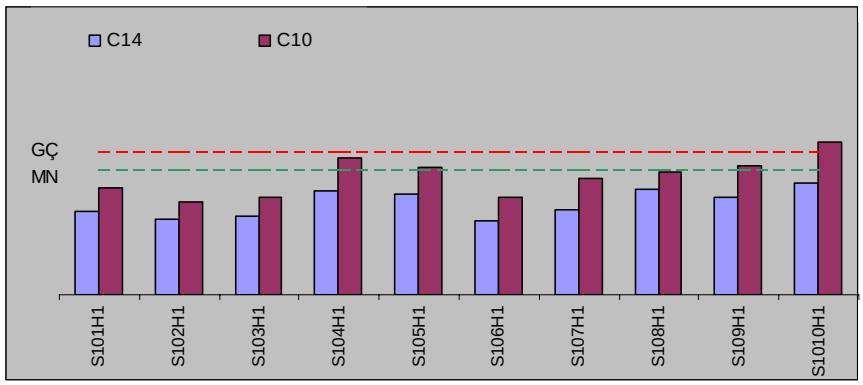


Şekil 6.48: X doğrultusu 2. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları

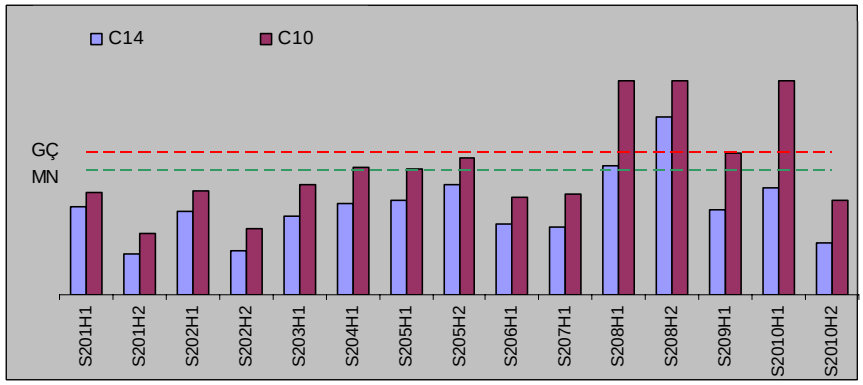


Şekil 6.49: X doğrultusu 3. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları

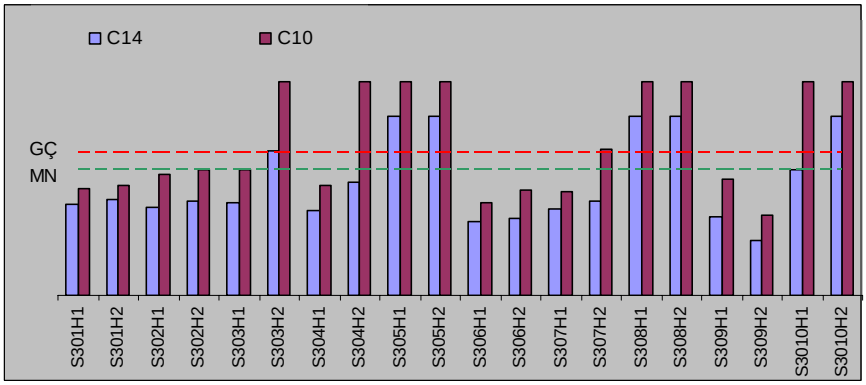
Değerler karşılaştırıldığında mavi renkte gösterilmiş olan C14 sınıfı beton hasar oranlarının bordo renkli C10 sınıfı beton hasar değerlerinden daha düşük olduğu göze çarpmaktadır. Dikkat edilmesi gereken husus, GÇ sınırını aşarak göçme bölgesine giren kesitlerde malzeme parçalandığı için birim şekil değiştirmeleri sonuçları okunamamış, C14 için -0.005, C10 içinse -0.006 değeri kabul edilmiştir. Bu değerler farklıda olabilirler, ancak malzeme parçalandığı için artık değer okuma durumuda ortadan kalkmıştır, haliyle yaptığımız kabuller görsel olarak doğruluk arzederler. Bir kaç durumda C14 sınıfı hasar oranının C10'dan daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Aynı şekilde Şekil 6.50-6.55 arasında Y doğrultusundaki sonuçlar gösterilmiştir.



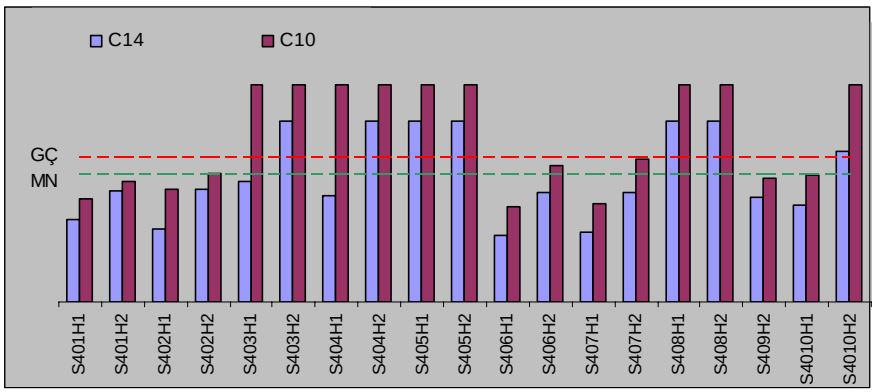
Şekil 6.50: Y doğrultusu bodrum kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları



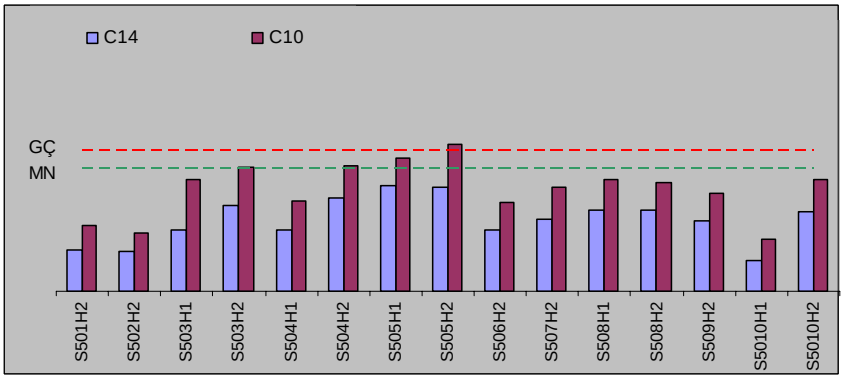
Şekil 6.51: Y doğrultusu zemin kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları



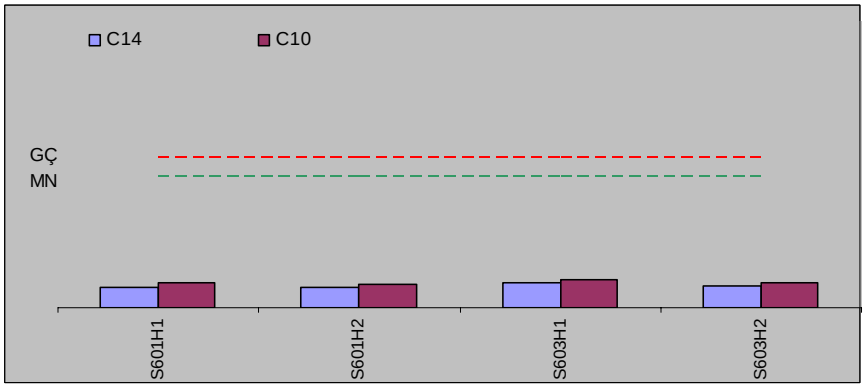
Şekil 6.52: Y doğrultusu 1. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları



Şekil 6.53: Y doğrultusu 2. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları



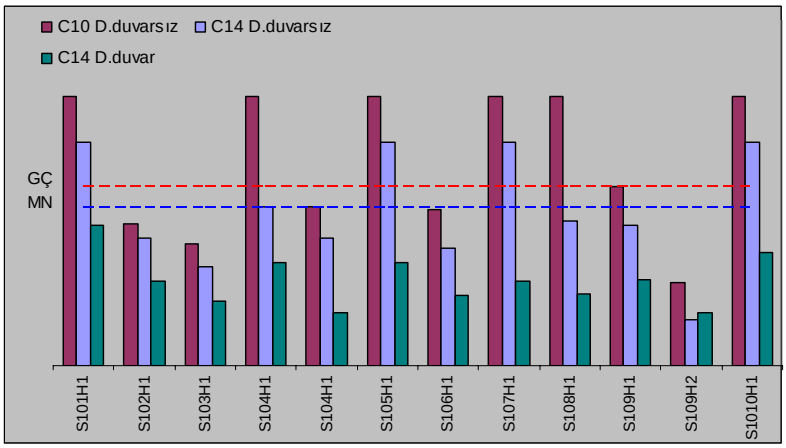
Şekil 6.54: Y doğrultusu 3. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları



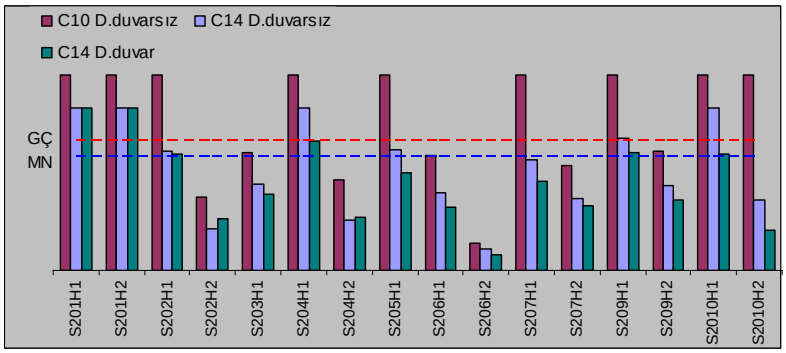
Şekil 6.55: Y doğrultusu çekme kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları

Y doğrultusunda da X doğrultusundaki sonuçlara paralel sonuçlar bulunmuştur.

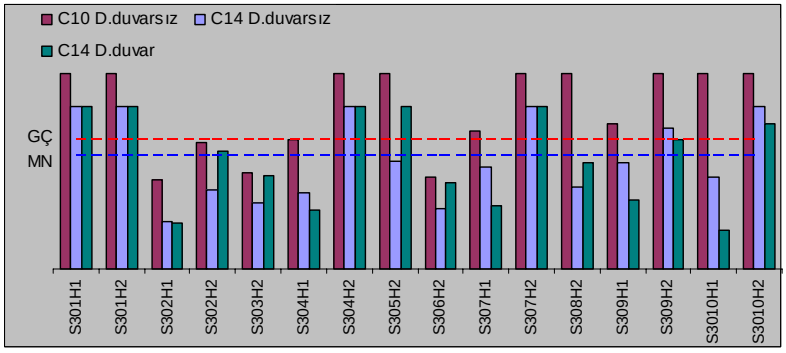
Şekil 6.56-6.60 arasında yukarıdaki grafiklere C14 duvarlı durum etkisi eklenerek elde edilmiş kat bazlı beton malzeme hasar oranı karşılaştırmaları verilmiştir.



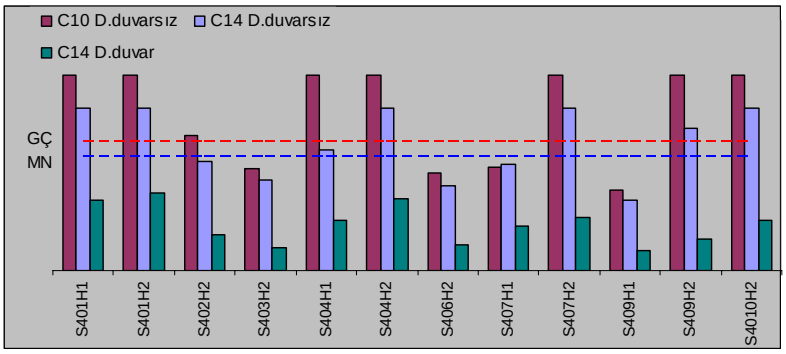
Şekil 6.56: X doğrultusu bodrum kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları



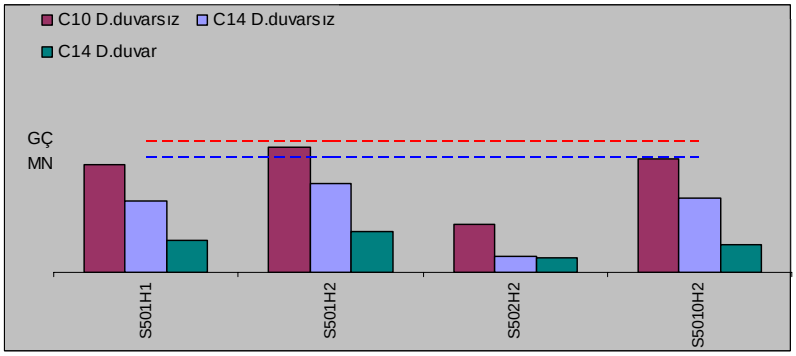
Şekil 6.57: X doğrultusu zemin kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları



Şekil 6.58: X doğrultusu 1. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları

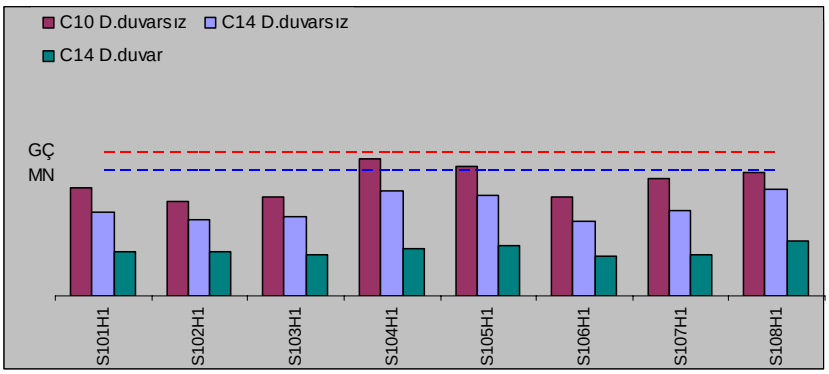


Şekil 6.59: X doğrultusu 2. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları

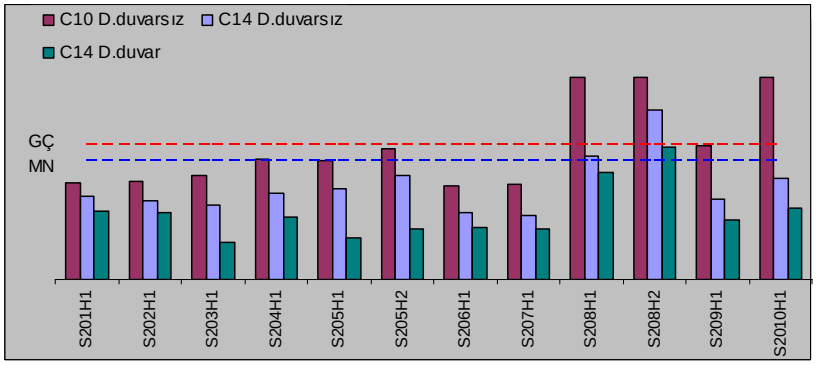


Şekil 6.60: X doğrultusu 3. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları

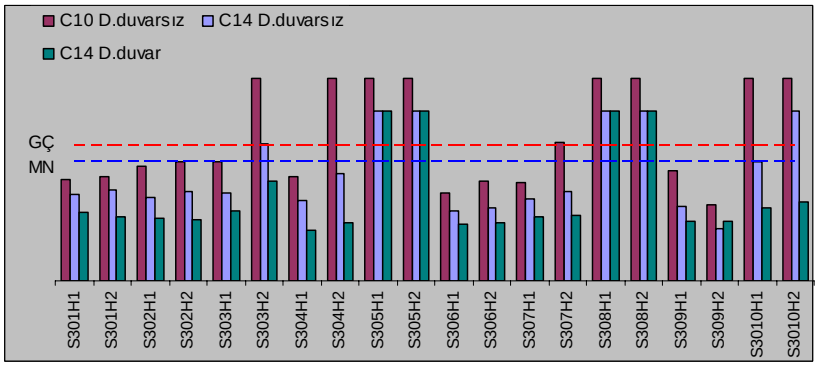
X doğrultusundaki değerlere bakıldığında yeşil renkte gösterilmiş olan C14 duvarlı durumun çok bariz bir şekilde diğerlerinden daha düşük hasar oranlı kesitlere sahip olduğu görülmektedir. Yine dikkat edilirse, duvar etkisi belirince davranışın daha rijit bir hal aldığı ve daha önce 1.ve 2. katta yoğunlaşan hasarın daha aşağıya zemin katta ve 1. katta yoğunlaştığı gözlenmektedir. Böyle olunca da özellikle 1. kattaki oran değerleri duvarlı ve duvarsız durum için, C14 sınıfı betonda, birbirine daha yakın çıkmaktadır. Bunun nedeni duvarsız durumda hasar yoğunluğunun bir üst katta, 2. normal katta yoğunlaşması, duvarlı durumda ise bu katta yoğunlaşmasıdır. Aynı şekilde Y doğrultusundaki sonuçlar Şekil 6.61-6.65 arasında gösterilmiştir.



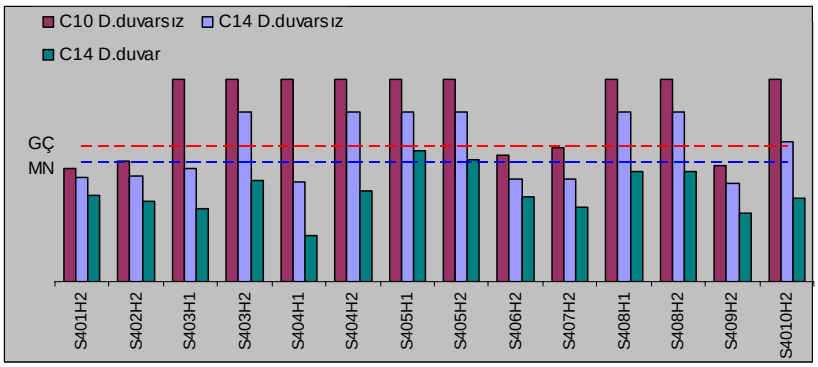
Şekil 6.61: Y doğrultusu bodrum kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları



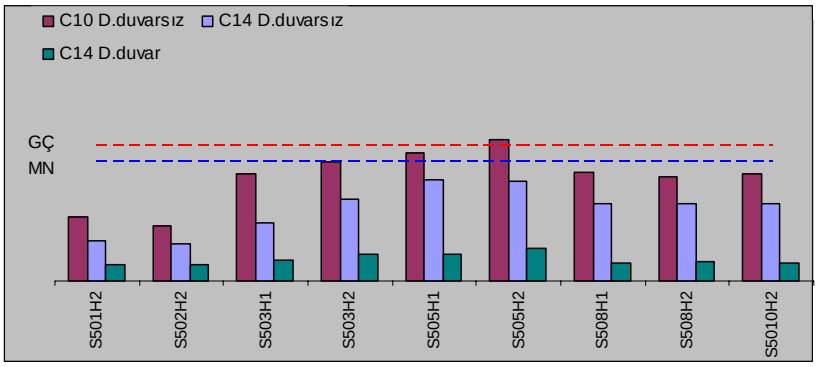
Şekil 6.62: Y doğrultusu zemin kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları



Şekil 6.63: Y doğrultusu 1. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları



Şekil 6.64: Y doğrultusu 2. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları



Şekil 6.65: Y doğrultusu 3. kat kolon kesitleri idealleştirilmiş hasar diyagramları

X doğrultusundaki sonuçlara paralel sonuçlar Y doğrultusunda da elde edilmiştir.

Şimdide kesit düzeyinden bina düzeyine gelinerek bina deprem performansı belirlenerek karşılaştırılacaktır. Çizelgelere geçmeden tekrar belirtilmesinde fayda var; bilindiği gibi beton modeli sargısız olarak modellendi. Binadaki kolon ve kirişlerin deprem yönetmeliğine uygun olmayan şekillerde sargı donatısıyla donatıldığı ve gerek sarılma gerekse de kuşatılmış kolon-kiriş birleşim bölgesinde etriye aralığının ve tekrar eden etriye sayısının şartname gereklerini yerine getirmediği kabul edildi. Bu yüzden de beton birim şekildeğiştirmelere karşılık gelen hasar sınırlarını etkileyen sargı donatısı oranı etkisiz olarak alındı. Bunun sonucu olarak da betonlar için "belirgin hasar bölgesi"'nin ortadan kalktığı kabul edildi.

C10 dolgu duvarsız durum-X doğrultusu

45 kesit plastikleşmiştir. Bu kesitlerin 5 tanesi ileri hasar bölgesinde, 30 tanesi belirgin hasar bölgesinde ve 10 tanesi de minimum hasar bölgesindedir. 2 tanesi ise(aynı kirişin uç kesitleri) gevrek kırıldığı için göçme bölgesindedir. Katlara göre hasar dağılım yüzdesi Çizelge 6.20 ve 6.21'de verilmiştir.

Çizelge 6.20: X doğrultusu-C10 dolgu duvarsız durumda kiriş hasar seviyeleri

	MHB(%)	BHB(%)	İHB(%)	GB(%)
Bodrum kat	13	38	0	6
Zemin kat	0	35.3	23.5	0
1.Normal kat	6	53	0	0
2.Normal kat	18	24	0	0
3.Normal kat	6	0	0	0
Çekme kat	0	0	0	0

Çizelge 6.21: X doğrultusu-C10 dolgu duvarsız durumda kolon hasar seviyeleri

	İHB(%)	>MHB(%)
Bodrum kat	32	24
Zemin kat	19	36
1.Normal kat	9	60
2.Normal kat	8	30
3.Normal kat	11	0
Çekme kat	0	0

Kolonlarda toplam 83 kesitte plastikleşme olmuştur. Bunların 37 tanesi göçme bölgesinde, 8 tanesi ileri hasar bölgesinde ve 35 taneside minimum hasar bölgesindedir. Görüldüğü gibi 1. normal katta değer %60'lara varmaktadır. Her ne kadar kirişlerde ileri hasar bölgesine geçiş sadece zemin kat tavanında meydana geliyor ve bu değerde %30'un altında kalıyorsa da kolonlarda m.h.b'sini geçen kolon oranı 1. normal katta %60 olduğu için bu doğrultuda performans göçme durumuna tekabül etmektedir.

C10 dolgu duvarsız-Y doğrultusu

56 kesit plastikleşmiştir. Bu kesitlerin 43 tanesi belirgin hasar bölgesinde ve 13 tanesi de minimum hasar bölgesindedir. 4 tanesi ise(4 ayrı kirişin uç kesitleri) gevrek kırıldığı için göçme bölgesindedir. Katlara göre hasar dağılım yüzdesi Çizelge 6.22 ve 6.23'de verilmiştir.

Çizelge 6.22: Y doğrultusu-C10 dolgu duvarsız durumda kiriş hasar seviyeleri

	MHB(%)	BHB(%)	İHB(%)	GB(%)
Bodrum kat	0	50	0	0
Zemin kat	0	35	0	12
1.Normal kat	0	35	0	12
2.Normal kat	0	35	0	0
3.Normal kat	18	0	0	0
Çekme kat	0	0	0	0

Çizelge 6.23: Y doğrultusu-C10 dolgu duvarsız durumda kolon hasar seviyeleri

	İHB(%)	>MHB(%)
Bodrum kat	31	0
Zemin kat	38	23
1.Normal kat	17	45
2.Normal kat	26	47
3.Normal kat	36	34
Çekme kat	0	0

Kolonlarda toplam 85 kesitte plastikleşme olmuştur. Bunların 23 tanesi göçme bölgesinde, 16 tanesi ileri hasar bölgesinde ve 46 taneside minimum hasar bölgesindedir. Görüldüğü gibi 1. normal katta değer %45'lere, 2. normal katta da %47'lere varmaktadır. Her ne kadar kirişlerde ileri hasar bölgesine geçiş zemin ve 1. normal kat tavanında meydana geliyor ve bu değerler %30'un altında kalıyorsa da kolonlarda m.h.b'sini geçen kolon oranı sınır değerlerin çok üzerinde olduğu için bu durum içinde sonuç göçme durumunu işaret etmektedir.

C14 dolgu duvarsız-X doğrultusu

46 kesit plastikleşmiştir. Bu kesitlerin 3 tanesi ileri hasar bölgesinde, 31 tanesi belirgin hasar bölgesinde ve 12 tanesi de minimum hasar bölgesindedir. 2 tanesi ise(aynı kirişin uç kesitleri) gevrek kırıldığı için göçme bölgesindedir. Katlara göre hasar dağılım yüzdesi Çizelge 6.24 ve 6.25'de verilmiştir.

Çizelge 6.24: X doğrultusu-C14 dolgu duvarsız durumda kiriş hasar seviyeleri

	MHB(%)	BHB(%)	İHB(%)	GB(%)
Bodrum kat	13	38	0	6
Zemin kat	0	41	18	0
1.Normal kat	6	53	0	0
2.Normal kat	29	18	0	0
3.Normal kat	6	0	0	0
Çekme kat	0	0	0	0

Çizelge 6.25: X doğrultusu-C14 dolgu duvarsız durumda kolon hasar seviyeleri

	İHB(%)	>MHB(%)
Bodrum kat	23	0
Zemin kat	19	15
1.Normal kat	0	23
2.Normal kat	26	29
3.Normal kat	0	0
Çekme kat	0	0

Kolonlarda toplam 80 kesitte plastikleşme olmuştur. Bunların 21 tanesi göçme bölgesinde, 5 tanesi ileri hasar bölgesinde ve 54 taneside minimum hasar

bölgesindedir. Kirişlerde göçme bölgesine geçme oranı, sadece bodrum kat tavanında olmak üzere %6'da kalmıştır. Aynı şekilde kolonlarda her iki ucuda m.h.b'ni geçen kolon oranı hiç bir katta %30'u aşan kesme katkısına sahip değildir. Ancak göçme bölgesinde bulunan çok sayıda kolon mevcuttur, bu yüzden de göçme öncesi performasn seviyesi sağlanamamıştır. Değerlendirme göçme durumudur.

C14 dolgu duvarsız-Y doğrultusu

52 kesit plastikleşmiştir. Bu kesitlerin 43 tanesi belirgin hasar bölgesinde ve 9 tanesi de minimum hasar bölgesindedir. 2 tanesi ise(2 ayrı kirişin uç kesitleri) gevrek kırıldığı için göçme bölgesindedir. Katlara göre hasar dağılım yüzdesi Çizelge 6.26 ve 6.27'de verilmiştir.

Çizelge 6.26: Y doğrultusu-C14 dolgu duvarsız durumda kiriş hasar seviyeleri

	MHB(%)	BHB(%)	İHB(%)	GB(%)
Bodrum kat	0	50	0	0
Zemin kat	0	41	0	6
1.Normal kat	0	35	0	6
2.Normal kat	0	35	0	0
3.Normal kat	18	0	0	0
Çekme kat	0	0	0	0

Çizelge 6.27: Y doğrultusu-C14 dolgu duvarsız durumda kolon hasar seviyeleri

	İHB(%)	>MHB(%)
Bodrum kat	0	0
Zemin kat	8	9
1.Normal kat	9	31
2.Normal kat	0	36
3.Normal kat	0	14
Çekme kat	0	0

Kolonlarda toplam 83 kesitte plastikleşme olmuştur. Bunların 14 tanesi göçme bölgesinde, 2 tanesi ileri hasar bölgesinde ve 58 taneside minimum hasar bölgesindedir.Görüldüğü gibi 1. normal katta değer %31'lere, 2. normal katta da %36'lere varmaktadır. Her ne kadar kirişlerde ileri hasar bölgesine geçiş zemin ve 1. normal kat tavanında meydana geliyor ve bu değerler %30'un altında kalıyorsa da kolonlarda m.h.b'sini geçen kolon oranı sınır değerlerin üzerinde olduğu için sonuç göçme durumunu işaret etmektedir.

C14 dolgu duvar etkili-X doğrultusu

36 kesit plastikleşmiştir. Bu kesitlerin 3 tanesi ileri hasar bölgesinde, 20 tanesi belirgin hasar bölgesinde ve 16 tanesi de minimum hasar bölgesindedir. Katlara göre hasar dağılım yüzdesi Çizelge 6.28 ve 6.29'da verilmiştir.

Çizelge 6.28: X doğrultusu-C14 dolgu duvar etkili durumda kiriş hasar seviyeleri

	MHB(%)	BHB(%)	İHB(%)	GB(%)
Bodrum kat	19	31	0	0
Zemin kat	0	59	0	0
1.Normal kat	47	12	0	0
2.Normal kat	12	0	0	0
3.Normal kat	0	0	0	0
Çekme kat	0	0	0	0

Çizelge 6.29: X doğrultusu-C14 dolgu duvar etkili durumda kolon hasar seviyeleri

	IHB(%)	>MHB(%)
Bodrum kat	0	0
Zemin kat	43	15
1.Normal kat	16	16
2.Normal kat	0	0
3.Normal kat	0	0
Çekme kat	0	0

Kolonlarda toplam 61 kesitte plastikleşme olmuştur. Bunların 8 tanesi göçme bölgesinde, 6 tanesi ileri hasar bölgesinde ve 47 taneside minimum hasar bölgesindedir. Hiçbir kiriş göçme bölgesine ve ileri hasar bölgesine geçmemektedir. Aynı şekilde kolonlarda her iki ucuda m.h.b'ni geçen kolon oranı hiç bir katta %20'u aşan kesme katkısına sahip değildir. Ancak, göçme bölgesindeki kolonların kesmeye katkısı 1. normal katta %43'ı aşmaktadır. Göçme bölgesinde kalan kolonlar mevcuttur. Performans değerlendirmesi göçme durumudur.

C14 dolgu duvar etkili-Y doğrultusu

46 kesit plastikleşmiştir. Bu kesitlerin 23 tanesi belirgin hasar bölgesinde ve 23 tanesi de minimum hasar bölgesindedir. Katlara göre hasar dağılım yüzdesi Çizelge 6.30 ve 6.31'de verilmiştir.

Çizelge 6.30: Y doğrultusu-C14 dolgu duvar etkili durumda kiriş hasar seviyeleri

	MHB(%)	BHB(%)	İHB(%)	GB(%)
Bodrum kat	31	19	0	0
Zemin kat	6	35	0	0
1.Normal kat	0	35	0	0
2.Normal kat	29	0	0	0
3.Normal kat	0	0	0	0
Çekme kat	0	0	0	0

Çizelge 6.31: Y doğrultusu-C14 dolgu duvar etkili durumda kolon hasar seviyeleri

	İHB(%)	>MHB(%)
Bodrum kat	0	0
Zemin kat	9	0
1.Normal kat	0	21
2.Normal kat	13	25
3.Normal kat	0	0
Çekme kat	0	0

Kolonlarda toplam 63 kesitte plastikleşme olmuştur. Bunların 4 tanesi göçme bölgesinde, 3 tanesi ileri hasar bölgesinde ve 52 taneside minimum hasar bölgesindedir. Hiçbir kiriş göçme bölgesine ve ileri hasar bölgesine geçmemektedir; fakat kolonlarda %20 sınırı 1. ve 2. normal kat için aşılmaktadır. Bu yüzden de bina can güvenliği seviyesini sağlayamamaktadır. Göçme bölgesinde kalan 2 kolon mevcuttur. Performans seviyesi göçme durumudur.

6.4.6.4 IdeCAD v.5 ile elde edilen sonuçların değerlendirmesi

Alınan sonuçların mantıki olup olmadığını karşılaştırmak için ideCAD v.5 sonlu eleman programıyla binanın doğrusal elastik performansı incelenmiştir. Programla sadece C14 dolgu duvarsız durumun x ve y doğrultusundaki performansları incelenmiştir. Ayrıca bilinmesi gerekir ki, ideCAD çekme kat burulma düzensizliğini 3,26 bulduğu için otomatik olarak mod birleştirme yöntemini kullanmıştır.

Çizelge 6.32 ve 6.34 x ve y doğrultularındaki hasar yüzdelerini, Çizelge 6.33 ve 6.35 ise katlardaki kolonların kesme kuvveti oranlarını belirtmektedir.

Çizelge 6.32: IdeCAD doğrusal elastik yöntemle x doğrultusu C14 dolgu duvarsız durumdaki hasar yüzdeleri

Kat	Eleman tipi	MHB adet(yüzde)	BHB adet(yüzde)	İHB adet(yüzde)	GB adet(yüzde)
Çekme kat	Kiriş	11(100%)			
	Kolon	3(50%)	3(50%)		
3. Normal kat	Kiriş	11(73%)	4(27%)		
	Kolon		6(60%)	2(20%)	2(20%)
2. Normal kat	Kiriş	9(60%)	3(20%)	3(20%)	
	Kolon		2(20%)	5(50%)	3(30%)
1. Normal kat	Kiriş	9(60%)	2(13%)	2(13%)	2(13%)
	Kolon			4(40%)	6(60%)
Zemin kat	Kiriş	9(60%)	2(13%)	1(7%)	3(20%)
	Kolon		5(50%)	5(50%)	5(50%)
Bodrum kat	Kiriş	9(64%)	1(7%)		4(29%)
	Kolon		1(10%)	7(70%)	2(20%)

Çizelge 6.33: IdeCAD doğrusal elastik yöntemle x doğrultusu C14 dolgu duvarsız durumdaki kesme kuvveti oranları

	MHB'ni geçen kolonların kesme kuvveti oranı	İHB'deki kolon kesme kuvveti oranı
Çekme kat	0%	0%
3. Normal kat	8.17%	38.04%
2. Normal kat	35.84%	42.88%
1. Normal kat	51.45%	39.64%
Zemin kat	52.54%	45.98%
Bodrum kat	30.73%	96.96%

Çizelge 6.34: IdeCAD doğrusal elastik yöntemle y doğrultusu C14 dolgu duvarsız durumdaki hasar yüzdeleri

Kat	Eleman tipi	MHB adet(yüzde)	BHB adet(yüzde)	İHB adet(yüzde)	GB adet(yüzde)
Çekme kat	Kiriş	11(100%)			
	Kolon	2(33%)	4(67%)		
3. Normal kat	Kiriş	10(67%)	5(33%)		
	Kolon		4(40%)	6(60%)	
2. Normal kat	Kiriş	9(60%)	1(7%)	4(27%)	1(7%)
	Kolon		3(30%)	5(50%)	2(20%)
1. Normal kat	Kiriş	8(53%)	2(13%)	3(20%)	2(13%)
	Kolon		2(20%)	4(40%)	4(40%)
Zemin kat	Kiriş	8(53%)	1(7%)	3(20%)	3(20%)
	Kolon		5(50%)	4(40%)	1(10%)
Bodrum kat	Kiriş	7(50%)	1(7%)	4(29%)	2(14%)
	Kolon	1(10%)	8(80%)	1(10%)	

Çizelge 6.35: IdeCAD doğrusal elastik yöntemle y doğrultusu C14 dolgu duvarsız durumdaki kesme kuvveti oranları

	MHB'ni geçen kolonların kesme kuvveti oranı	İHB'deki kolon kesme kuvveti oranı
Çekme kat	0%	0%
3. Normal kat	35.61%	78.34%
2. Normal kat	60.37%	58.18%
1. Normal kat	45.66%	69.12%
Zemin kat	56.42%	37.69%
Bodrum kat	7.70%	8.38%

Göreli kat ötelemeleri, x ve y doğrultusu için Çizelge 6.36 ve 6.37'de belirtilmiştir;

Çizelge 6.36: X doğrultusu göreli kat ötelemeleri

	(δi)max	hi	Göreli kat ötelemesi (δi)max*R/hi	Can güvenliği sınırı	kontrol
Çekme kat	10,55	2,60	0,0162	0,02	ok
3. Normal kat	7,58	2,86	0,0106	0,02	ok
2. Normal kat	10,99	2,87	0,0153	0,02	ok
1. Normal kat	13,08	2,87	0,0182	0,02	ok
Zemin kat	12,91	2,90	0,0178	0,02	ok
Bodrum kat	7,35	2,60	0,0113	0,02	ok

Çizelge 6.37: Y doğrultusu göreli kat ötelemeleri

	(δi)max	hi	Göreli kat ötelemesi (δi)max*R/hi	Can güvenliği sınırı	kontrol
Çekme kat	3,04	2,60	0,0047	0,02	ok
3. Normal kat	5,04	2,86	0,0071	0,02	ok
2. Normal kat	7,33	2,87	0,0102	0,02	ok
1. Normal kat	8,20	2,87	0,0114	0,02	ok
Zemin kat	6,17	2,90	0,0085	0,02	ok
Bodrum kat	2,52	2,60	0,0039	0,02	ok

Dikkat edilecek olursa her iki doğrultuda da sınır değerin geçilmediği görülecektir.

7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan uygulamaların sonuçlarının değerlendirmesine geçmeden önce karşılaşılan zorlukların ifade edilmesi gereklidir. Bunun nedeni karşılaşılan zorlukların üstesinden gelinirken sonuca tesir edecek bazı kabuller yapılmış, değişimlere gidilmiştir.

İlk etapta tahribatsız deneyler sırasında karşılaşılan zorluklara değinilecektir. Deneyler bitişik nizam inşa edilmiş yapının iç kısmından, kolonların nispeten dış etkilerden daha korunaklı olan kısımlarında yapılmıştır. Bu yüzden korozyonla karşılaşma olasılığı düşmüştür. Ayrıca kolon yüzleri ince bir sıva tabakasıyla kaplıdır. Deneyin en kesin sonuçları verebilmesi için uygulama yerinin temiz, kuru ve pürüzsüz olması, beton kesitinin de sıva ile kaplanmamış olması gerekmektedir. Teze konu olan binada denemeler yapılmadan önce aynı bölgedeki üç ayrı binada da testler yapılmış, ancak sıva tabakasının kalınlığı ve tahribatsız deneyler haricindeki nedenlerden dolayı bu binalardaki sonuçlar teze koyulmamışlardır. Teze konu olan binanın nispeten ince, hatta yok denilecek seviyede (sadece badana yapılmış olduğu gözlenmiştir) bir tabakayla kaplı olması sayesinde gördüğümüz gibi uygun sonuçlar elde edilmiştir. Yine de bu sonuçların üstü sıvasız ve tam pürüzsüz bir numuneden alınmamış olduğunu belirtmek isteriz.

Ayrıca bilindiği gibi beton asla tam homojen olamayacak bir yapıya sahiptir. Bu nedenle ele alınan kolonların her bir noktasında birbirinden farklı sonuçlar elde edilebilir. Örneğin basınç dalgası hızının, C_p'nin her noktada farklı bir sonuç verme olasılığı vardır. Bunun üstesinden de ASTM standardında da belirtildiği gibi oldukça çok sayıda test yapıp bir ortalama alınarak gelinmiştir [8].

Tahribatlı yöntemde istatistiki olmayan yöntemle sonuçlar değerlendirilmiş, şartnamede bina bilgi düzeyini belirlemek için gerekli olan numune sayısından daha az numune üzerinden beton kalitesi kararı verilmiştir.

Karşılaşılan en büyük zorluk tasarlanan binanın Sap2000 programında yapılan doğrusal olmayan itme analizi sırasında yaşanmıştır. Pek çok kere başarısızlıkla

sonuçlanan analizler sonucu plastik mafsal özelliklerinin alındığı referanstan farklı değerlerle çözüm aranmıştır.

İlgili referans FEMA 356 bölüm (6.5.2)'de Çizelge 6.7'de tanımlanmış olan kuşatılmamış kolonlara ilişkin plastik dönme sınırlarıdır [22]. Bu değerler kullanılarak sonuç alınamamış, değerlerde yapılan değişiklikler sonucu, tezde gösterilen sonuçlar elde edilmiştir. Her bir durum için aynı değerlerle sonuç elde edilmesi amaçlanmış ve bu sonuç gerçekleşene kadar sınır değerler üzerinde oynamalar yapılmıştır. Bu değişimlerin düşük olduğu ve sonuca asla beklenenin üzerinde etki etmemesi hedeflenmiştir, ancak belirtmekte fayda vardır ki, sonuçların esas sınır değerler kullanılarak daha farklı çıkma durumu yüksektir.

Üstte belirtilmiş zorlukların ardından binada yapılan uygulamaların sonuçlarına gelirsek, aşağıda sıralanmış şekilde bir sonuçlar tablosu ile karşılaşılmıştır:

1- Tahribatsız deneyler sonucu laboratuar kolonlarında korozyon ve korozyona bağlı çatlaklar ilgili spektrumlarda görülmektedirler. Aynı alet ve aparatlarıyla bina kolonlarımızdan alınacak spektrumlarda korozyona ilişkin görünümün nasıl olacağı da belirlenmiştir.

2- Tahribatlı deneyler sonucu bina kolonlarımızdan alınan sonuçlar istenilen şekilde çıkmıştır. Bilindiği gibi tahribatlı değerlendirmede alınan karot numunelerinin mümkün olduğunca donatı çeliğini içermemesi hedeflenir, yardımcı bir aletle (paşometre) ile donatı yerleri tespit edilerek, donatısız en uygun yerden numune alınır. Bu yüzden karot numune basınç dayanımlarının korozyondan bağımsız değerlendirilme durumu söz konusudur. Öte yandan korozyonun betonda çatlaklara neden olması ve bu çatlaklar yoluyla beton durabilitesinde ve dayanımında azalmaya neden olması durumu da göz ardı edilmemelidir.

   Elde edilen sonuçlara bakıldığında, en elverişsiz şartlara sahip olan köşe kolonun en iyi sonuçları verdiği görülmektedir. Aynı şekilde tahribatlı değerlendirmede de belirgin bir şekilde en yüksek mukavemeti bu kolonda görmekteyiz. En elverişli durumda bulunan kolon olan S204 kolonu ise en kötü sonuçları vermiştir. Tahribatlı deney sonuçlarından da en kötü mukavemete bu kolona ait betonun

sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ilgili bölümde de açıklandığı gibi korozyondan dolayı değil konsolidasyondan dolayıdır. Kesitten alınan genlik spektrumlarında çok çeşitli frekans genlikleri gözlenmiştir. Bu tip spektrum karakteri 3.3.3'de de işaret edildiği gibi yapışma yüzeyi kalitesinin kötü olması, donatı-beton aderansının kuvvetli olmaması ve beton dökümü esnasındaki kötü uygulamalar olabilir. Örneğin yetersiz vibrasyon ve yetersiz kür koşulları bu tip konsolidasyon sorunlarına neden olabilir [7]. Öte yandan elde edilen frekans değerlerine bakıldığında hedeflenen değerlere çok yakın şekilde tespit edildikleri görülmekte, ancak korozyon konusunda hiç birinin karakteristik bir fark yaratmadığı belirlenmiştir. Her kolonda korozyondan dolayı oluşmuş frekanslar mevcuttur ancak hiçbiri belirgin bir frekans değerine sahip değildir. Daha kesin sonuçlar için kolon dış yüzüden sonuçlar alınmalıdır. Sonuç olarak tahribatsız değerlendirme yöntemiyle elde edilen sonuçların ilgili bina açısından bakıldığında tahribatlı deneylere yardımcı olacak ve öngörü geliştirmeye yetecek düzeyde bir sonuç sunduğu gözlenmiştir. Deney açısından daha uygun koşulların mevcut olduğu başka çalışmalarda bu etkileşim daha yüksek çıkacaktır.

3- İlgili bina için değerlendirildiğinde, dolgu duvarsız durumdaki beton kalitesindeki farktan dolayı oluşan performans farkına bakıldığında, performans eğrisinde neredeyse ihmal edilebilecek düzeyde bir farkla karşılaşılmıştır. Bunun nedeni performans eğrisinin belirgin bir kalite farkı oluşmamışsa da sadece rijitlikte meydana gelen değişimi yansıtabilmesinden ileri gelmektedir. Durumlar arasındaki fark eleman düzeyindeki plastik dönme değerleri sonucu elde edilen birim şekildeğiştirmelere karşılık gelen hasar seviyelerinde göze çarpmaktadır. Görüleceği gibi C14 kalitesindeki betonlu performansın C10 kalitesindekinden daha iyi olduğu aşikardır, ancak her iki durumda da bina tasarım depremi sonucu göçme durumunda kalmaktadır. Bunun nedeni de gerek beton kalitelerinin gerekenden çok düşük olması, gerekse de bina taşıyıcı elemanlarının kesitlerinin ve donatı miktarının şartname esaslarının çok altında olmasıdır. Bina her halükarda çok

yetersiz deprem güvenliğine sahiptir. Bu durum beton kalitesindeki farkın artmasıyla değişebilir. Beton kalitesi yüksek bir binanın performans eğrisinin daha büyük olması beklenir.

4- Dolgu duvar etkisinin hesaba katılması hem performans eğrisinde hem de hasar seviyelerinde belirgin iyileşmeye neden olmuştur. Bina rijitliği artmış ve performans eğrisi yükselmiş, ayrıca eleman düzeyinde plastik dönme değerleri azalarak bina nispeten daha iyi bir performans göstermiştir. Gerçekte de bu şekilde bir performans ortaya koyduğu ortadadır. Binanın 1968'den bu yana meydana gelen depremlere karşı koymasında dolgu duvar etkisinin ihmal edilemez bir etkisi vardır. Görüleceği gibi bina deprem performans düzeyi eleman bazında artmış, hatta yalnızca iki elemanın göçme bölgesinde olabileceği düzeye çıkmıştır. Ancak bu sonuçlar bile binayı göçme bölgesinden kurtarmaya yeterli değildir.

5- Yapılan gevrek kırılma kontrolleri neticesinde yalnızca dolgu duvarsız durumlarda olmak üzere 2 kirişte gevrek kırılma gözlenmiştir. Bu durum ilgili bölümde belirtilmiştir. Kolon kesitlerinde herhangi bir gevrek kırılma yaşanmamıştır.

6- Bina deprem performansı seviyemiz her durumda göçme durumunda çıkmıştır. Bu sonucun çıkmasına etken olan faktörler;

Taşıyıcı kolon ve kirişlerin yetersiz kesite sahip olması, düşey yükleri bile zorlukla taşıyabiliyor olmaları.

Kolon ve kirişlerin donatı miktarının yetersiz olması, sargı donatısının ihmal edilecek düzeyde olması.

Bina beton kalitesinin 14MPa'dan 10MPa'a düşmesi. 14 MPa'ken bile çok yetersiz kalan basınç mukavemeti değeri, çevresel ve yapısal nedenlerden dolayı düşmüştür. Bu da betonun dış etkilere açık olduğu anlamına gelmektedir.

Binanın 1. ve 2 katındaki yüksek plastik dönme değerleri binanın hafif olmasından ve bu katlardaki kolon kesitlerinin alt katlara göre daha yetersiz olmasıdır.

KAYNAKLAR

[1] **Baradan, B,. Yazıcı, H., Ün, H.,** 2002. Betonarme yapılarda kalıcılık, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, *İzmir*, **298**

[2] **Erdoğan, M,** İstanbul ve dolayının yapay agrega potansiyeli, *3. Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu,* Ç.Ü Mühendislik Fakültesi, Adana.

[3] **Akman, M.S.**, 1992. Deniz yapılarında beton teknolojisi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları,İstanbul,* **1481**, 245**.**

[4] **Erdoğan, T.Y.,** 2003. Beton*,* Metu Press*,* Ankara

[5] **TS-10465.**,1992. Beton deney metotları - Yapı ve yapı bileşenlerinde sertleşmiş betondan numune alınması ve basınç mukavemetinin tayini (tahribatlı metot), *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[6] **Şimşek, O.**, 2007. Beton bileşenleri ve beton deneyleri, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

[7] **Sansalone, M.J and Streett, W**.**B.**, 1997. Impact-echo nondestructive evaluation of concrete and masonry, Bullbrier Press, Ithaca, New York.

[8] **ASTM C-1383-93**, 1998. Standart test method for measuring the p-wave speed and the thickness of concrete plates using the impact-echo method, *American Society for Testing and Materials,*West Conshohocken.

[9] **Carino, N.J**., 2001. The ımpact-echo method: An overview, *National Institute of Standarts and Technology,* Gaithersburg

[10] **Akkaya, Y.,** 2007. Using Impact-echo method to determine the bond quality in concrete lecture notes, İTÜ, İstanbul

[11] **Liang. M. and Su, P**., 2001. Detection of the corrosion damage of rebar in concrete using impact-echo method, *Cement and Concrete Research,* **31**, 1427-1436**.**

[12] **Govinden, P., Lakshmipathy, M. and Santhakumar, A.R**., 1986. ,Ductility of infilled frames, *ACI Journals,* **July-August 1986**, 567-576.

[13] **Yalçın, E.,** 1999. Dolgu duvarların ve konumlarının çok katlı betonarme yapıların deprem kuvvetleri altındaki davranışlarına etkileri, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[14] **Paulay, T.and.Priestley, M.N.J.**, 1996. Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings, John Wiley and Sons.

[15] **Stafford, S.B.and Carter, C.,** 1969. A method of analysis infill frames, *Instn. of civ. engrs,* **Part 2, Vol 44,** 31-48, England.

.[16] **Al-Chaar, G.,** Evaluating strength and stiffness of unreinforced masonry infill structures, *Construction engineering research laboratory,* **January 2002**.

[17] **Aydınoğlu, M. N.**, 2007. Methodology and criteria based on nonlinear structural analysis for estimating settlement-induced damage in existing R/C buildings, *Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute*, İstanbul.

[18] **Özer, E.**, 2008. Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analizi ders notları, İTÜ, İstanbul.

[19] **DBYBHY**, 2007. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,* Ankara.

[20] **TS ISO-9194**, 1997. Yapıların projelendirme esasları – taşıyıcı olan ve olmayan elemanlar depolanmış malzemeler – yoğunluk, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

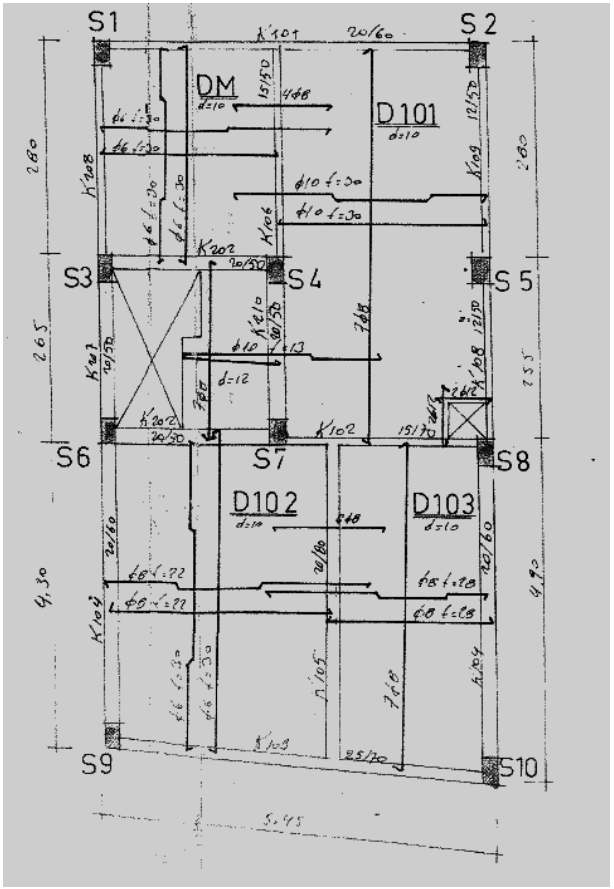
[21] **TS-498**, 1997. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

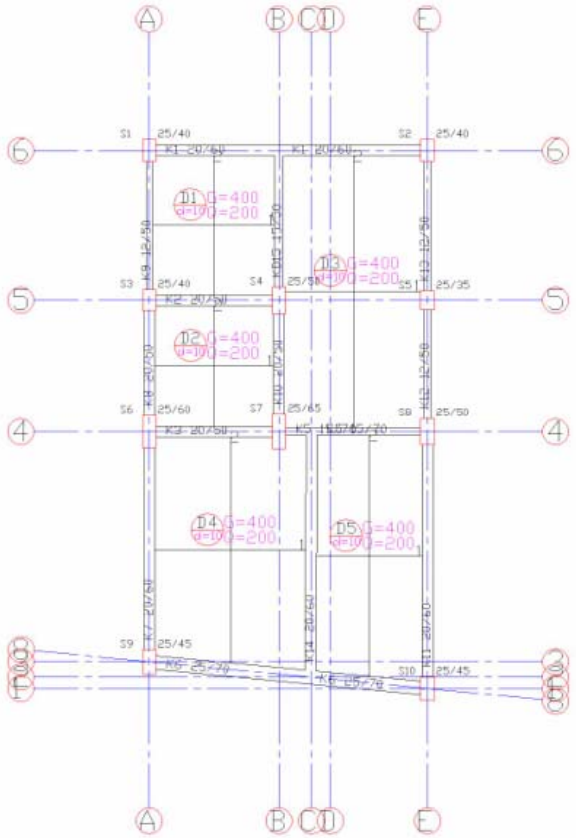
[22] **FEMA-356,** 2000. Prestandart and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, *Federal Emergency Management Agency,* Virginia.

EKLER

EK A:. Bina bodrum ve zemin kat kalıp planları
EK B1: Bina ön ve arka cephe fotoğrafları
EK B2: Tahribatsız değerlendirmede kullanılan bina kolonları
EK C: Kolonların çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri
EK D: Kolon ve kiriş hasar kontrolleri

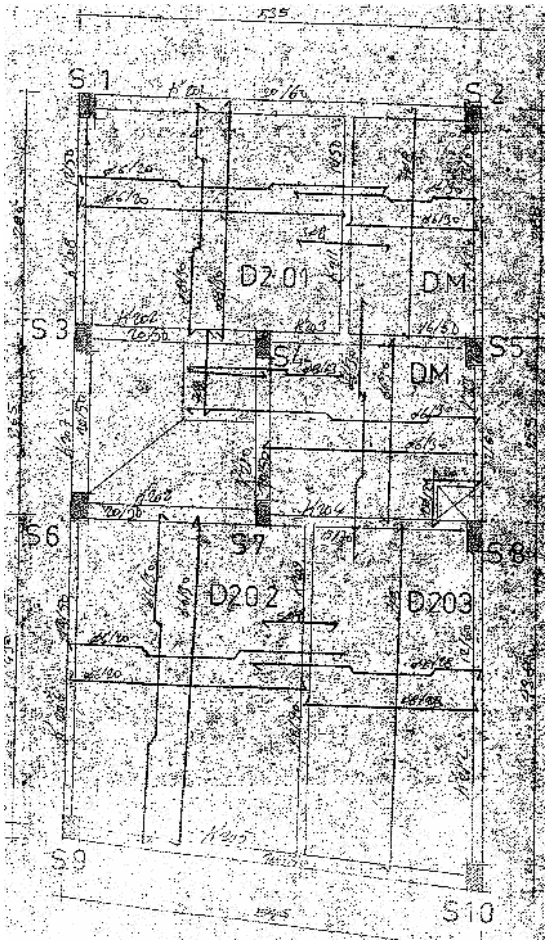
EK A

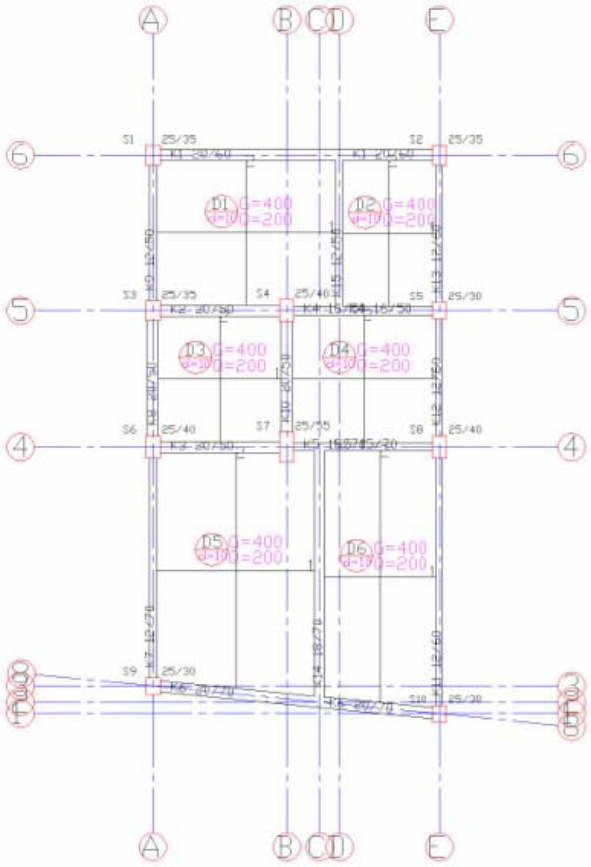




Şekil A.1: Bina bodrum kat kalıp planları

EK A (devamı)





Şekil A.2: Bina zemin kat kalıp planları

EK B.1

Şekil B.1: Bina ön ve arka cephe fotoğrafları

EK B.2

Şekil B.2: Binada tahribatlı ve tahribatsız deneylerin yapıldığı kolonlar

EK C

Çizelge C.1: Kolonların çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri

Kolon No	Kesit (cm/cm)	A_c(mm)	N_d(kN)	C10	C14	Kolon No	Kesit (cm/cm)	A_c(mm)	N_d(kN)	C10	C14
				$(EI)_e$	$(EI)_e$					$(EI)_e$	$(EI)_e$
S101	25X45	112500	408.27	0.75	0.61	S308	25X30	75000	166.46	0.56	0.48
S1010	25X40	100000	237.89	0.58	0.49	S309	25X30	75000	149.43	0.53	0.46
S102	25X45	112500	375.43	0.71	0.58	S401	25X30	75000	177.30	0.58	0.49
S103	25X60	150000	361.34	0.59	0.50	S4010	25X30	75000	107.22	0.46	0.40
S104	25X65	162500	432.00	0.62	0.52	S402	25X30	75000	164.65	0.56	0.48
S105	25X50	125000	391.70	0.68	0.57	S403	25X30	75000	162.56	0.56	0.47
S106	25X40	100000	250.14	0.60	0.50	S404	25X30	75000	210.18	0.64	0.53
S107	25X50	125000	296.78	0.58	0.49	S405	25X30	75000	176.81	0.58	0.49
S108	25X35	87500	256.35	0.66	0.55	S406	25X30	75000	110.33	0.46	0.41
S109	25X40	100000	234.53	0.58	0.49	S407	25X30	75000	131.40	0.50	0.43
S201	25X30	75000	327.27	0.80	0.68	S408	25X30	75000	119.36	0.48	0.42
S2010	25X35	87500	198.56	0.57	0.48	S409	25X30	75000	104.44	0.45	0.40
S202	25X30	75000	301.89	0.80	0.65	S501	25X30	75000	99.91	0.44	0.40
S203	25X40	100000	276.80	0.64	0.53	S5010	25X30	75000	63.81	0.40	0.40
S204	25X55	137500	356.83	0.61	0.51	S502	25X30	75000	93.61	0.43	0.40
S205	25X40	100000	304.07	0.67	0.56	S503	25X30	75000	111.97	0.47	0.41
S206	25X35	87500	200.05	0.57	0.48	S504	25X30	75000	145.92	0.53	0.45
S207	25X40	100000	237.28	0.58	0.49	S505	25X30	75000	121.09	0.48	0.42
S208	25X30	75000	208.37	0.64	0.53	S506	25X30	75000	57.90	0.40	0.40
S209	25X35	87500	197.18	0.57	0.48	S507	25X30	75000	79.18	0.41	0.40
S301	25X30	75000	252.92	0.72	0.59	S508	25X30	75000	65.76	0.40	0.40
S3010	25X30	75000	151.66	0.54	0.46	S509	25X30	75000	60.72	0.40	0.40
S302	25X30	75000	233.81	0.68	0.56	S601	25X25	62500	44.98	0.40	0.40
S303	25X30	75000	217.16	0.65	0.54	S602	25X25	62500	61.75	0.40	0.40
S304	25X40	100000	282.18	0.64	0.54	S603	25X25	62500	39.57	0.40	0.40
S305	25X30	75000	237.77	0.69	0.57	S604	25X25	62500	8.53	0.40	0.40
S306	25X30	75000	157.06	0.55	0.47	S605	25X25	62500	18.35	0.40	0.40
S307	25X30	75000	183.06	0.59	0.50	S606	25X25	62500	9.60	0.40	0.40

EK D

Çizelge D.1: C10 dolgu duvarsız durum kolonları hasar konrolü-x doğrultusu

Kolon No	Kesit (cm/cm)	Mafsal No	N	θp	Φp	Φy	Φt	Hasar Sınırı
S101	25X45	S101H1	-540.20	0.00443	0.03541	0.01349	0.04890	GÇ
S101	25X45	S101H2	-533.86	-0.00121	0.00966	0.01343	0.02309	> MN
S1010	25X40	S1010H1	-362.14	0.00752	0.06017	0.01530	0.07547	GÇ
S102	25X45	S102H1	-192.44	0.00621	0.04966	0.00973	0.05939	> MN
S103	25X60	S103H1	-140.31	0.00678	0.05426	0.00834	0.06260	> MN
S104	25X65	S104H1	-464.99	0.00645	0.05161	0.01263	0.06424	GÇ
S104	25X65	S104H2	-455.44	-0.00463	0.03705	0.01247	0.04952	GV
S105	25X50	S105H1	-682.67	0.00418	0.03346	0.01094	0.04440	GÇ
S106	25X40	S106H1	-114.64	0.00789	0.06314	0.00894	0.07209	MN
S107	25X50	S107H1	-309.19	0.00680	0.05440	0.01155	0.06595	GÇ
S108	25X35	S108H1	-354.97	0.00357	0.02859	0.01590	0.04449	GÇ
S109	25X40	S109H1	-116.50	0.00923	0.07381	0.00893	0.08274	GV
S109	25X40	S109H2	-110.75	-0.00352	0.02813	0.00882	0.03695	> MN
S201	25X30	S201H1	-421.30	0.00618	0.04944	0.01084	0.06028	GÇ
S201	25X30	S201H2	-417.17	-0.00727	0.05815	0.01105	0.06920	GÇ
S2010	25X35	S2010H1	-288.61	0.00997	0.07974	0.01395	0.09369	GÇ
S2010	25X35	S2010H2	-283.58	-0.00545	0.04363	0.01396	0.05759	GÇ
S202	25X30	S202H1	-178.13	0.00775	0.06197	0.01159	0.07356	GÇ
S202	25X30	S202H2	-173.99	-0.00250	0.02002	0.01147	0.03149	> MN
S203	25X40	S203H1	-173.12	0.00711	0.05691	0.01008	0.06699	GV
S204	25X55	S204H1	-329.25	0.01355	0.10839	0.01129	0.11968	GÇ
S204	25X55	S204H2	-321.34	-0.00399	0.03192	0.01115	0.04307	> MN
S205	25X40	S205H1	-562.21	0.00467	0.03733	0.01105	0.04838	GÇ
S206	25X35	S206H1	-87.66	0.00874	0.06989	0.00846	0.07835	GV
S206	25X35	S206H2	-82.41	-0.00071	0.00570	0.00839	0.01409	> MN
S207	25X40	S207H1	-220.46	0.00925	0.07398	0.01122	0.08520	GÇ
S207	25X40	S207H2	-214.46	-0.00502	0.04019	0.01109	0.05128	> MN
S208	25X30	S208H1	-314.02	0.00304	0.02434	0.01593	0.04027	GÇ
S208	25X30	S208H2	-309.62	-0.00052	0.00415	0.01605	0.02020	> MN
S209	25X35	S209H1	-114.92	0.01577	0.12613	0.00904	0.13517	GÇ
S209	25X35	S209H2	-109.89	-0.00856	0.06846	0.00888	0.07734	GV
S301	25X30	S301H1	-309.94	0.01151	0.09210	0.01581	0.10791	GÇ
S301	25X30	S301H2	-305.86	-0.01797	0.14374	0.01618	0.15992	GÇ
S3010	25X30	S3010H1	-213.31	0.00692	0.05536	0.01282	0.06818	GÇ
S3010	25X30	S3010H2	-209.06	-0.01191	0.09525	0.01265	0.10790	GÇ
S302	25X30	S302H1	-156.45	0.00434	0.03474	0.01081	0.04555	> MN
S302	25X30	S302H2	-152.37	-0.00682	0.05454	0.01062	0.06516	GV
S303	25X30	S303H1	-151.03	0.00018	0.00142	0.01059	0.01201	> MN
S303	25X30	S303H2	-146.58	-0.00501	0.04004	0.01053	0.05057	> MN
S304	25X40	S304H1	-275.34	0.00553	0.04427	0.01277	0.05704	GÇ
S304	25X40	S304H2	-269.91	-0.01187	0.09499	0.01260	0.10759	GÇ
S305	25X30	S305H1	-406.57	0.00069	0.00553	0.01183	0.01736	> MN
S305	25X30	S305H2	-402.50	-0.00321	0.02564	0.01194	0.03758	GÇ
S306	25X30	S306H1	-59.53	0.00177	0.01417	0.00837	0.02254	> MN
S306	25X30	S306H2	-55.08	-0.00675	0.05402	0.00823	0.06225	> MN
S307	25X30	S307H1	-175.52	0.00692	0.05539	0.01151	0.06690	GÇ
S307	25X30	S307H2	-171.08	-0.01219	0.09755	0.01140	0.10895	GÇ
S308	25X30	S308H1	-248.79	0.00163	0.01306	0.01382	0.02688	> MN
S308	25X30	S308H2	-244.53	-0.00557	0.04452	0.01406	0.05858	GÇ
S309	25X30	S309H1	-97.26	0.00977	0.07816	0.00917	0.08733	GÇ
S309	25X30	S309H2	-93.01	-0.01353	0.10821	0.00990	0.11811	GÇ
S401	25X30	S401H1	-204.34	0.01333	0.10666	0.01236	0.11902	GÇ
S401	25X30	S401H2	-200.26	-0.01487	0.11892	0.01236	0.13128	GÇ
S4010	25X30	S4010H1	-141.49	0.00522	0.04172	0.01038	0.05210	> MN
S4010	25X30	S4010H2	-137.24	-0.01450	0.11600	0.01016	0.12616	GÇ
S402	25X30	S402H1	-125.55	0.00145	0.01158	0.00993	0.02150	> MN
S402	25X30	S402H2	-121.47	-0.00835	0.06680	0.00976	0.07656	GÇ
S403	25X30	S403H2	-116.83	-0.00595	0.04760	0.00968	0.05728	> MN
S404	25X30	S404H1	-224.55	0.00583	0.04662	0.01316	0.05978	GÇ
S404	25X30	S404H2	-220.48	-0.01234	0.09870	0.01311	0.11181	GÇ
S405	25X30	S405H2	-264.26	-0.00547	0.04374	0.01473	0.05847	GÇ
S406	25X30	S406H2	-39.55	-0.00790	0.06319	0.00803	0.07122	MN
S407	25X30	S407H1	-131.54	0.00567	0.04533	0.01000	0.05533	> MN
S407	25X30	S407H2	-127.10	-0.01311	0.10488	0.00998	0.11486	GÇ
S408	25X30	S408H2	-165.75	-0.00635	0.05078	0.01105	0.06183	GV
S409	25X30	S409H1	-77.58	0.00557	0.04456	0.00873	0.05329	> MN
S409	25X30	S409H2	-73.32	-0.01340	0.10718	0.00853	0.11572	GÇ
S501	25X30	S501H1	-106.17	0.00655	0.05237	0.00948	0.06185	> MN
S501	25X30	S501H2	-102.10	-0.00822	0.06577	0.00926	0.07503	GV
S5010	25X30	S5010H1	-73.93	0.00541	0.04324	0.00866	0.05190	> MN
S5010	25X30	S5010H2	-69.69	-0.00811	0.06490	0.00853	0.07344	MN
S502	25X30	S502H1	-82.96	0.00048	0.00383	0.00884	0.01267	> MN
S502	25X30	S502H2	-78.90	-0.00218	0.01745	0.00876	0.02621	> MN
S503	25X30	S503H2	-84.34	-0.00286	0.02287	0.00892	0.03179	> MN
S504	25X30	S504H1	-172.20	0.00367	0.02932	0.01126	0.04058	> MN
S504	25X30	S504H2	-168.15	-0.00478	0.03826	0.01115	0.04941	> MN
S505	25X30	S505H2	-146.60	-0.00400	0.03202	0.01053	0.04255	> MN
S506	25X30	S506H2	-18.02	-0.00354	0.02830	0.00754	0.03585	> MN
S507	25X30	S507H1	-84.15	0.00400	0.03202	0.00886	0.04089	> MN
S507	25X30	S507H2	-79.73	-0.00475	0.03802	0.00878	0.04679	> MN
S508	25X30	S508H2	-87.04	-0.00315	0.02518	0.00892	0.03411	> MN
S509	25X30	S509H1	-53.62	0.00244	0.01948	0.00825	0.02773	> MN
S509	25X30	S509H2	-49.39	-0.00224	0.01794	0.00817	0.02611	> MN

EK D (devamı)

Çizelge D.2: C10 dolgu duvarsız durum kolonları hasar konrolü-y doğrultusu

Kolon No	Kesit (cm/cm)	Mafsal No	N	θp	Φp	Φy	Φt	Hasar Sınırı
S101	25X45	S101H1	-209.33	0.00445	0.01979	0.00495	0.02474	> MN
S1010	25X40	S1010H1	-502.42	0.00259	0.01296	0.00745	0.02041	GÇ
S102	25X45	S102H1	-203.71	0.00383	0.01700	0.00498	0.02198	> MN
S103	25X60	S103H1	-294.38	0.00370	0.01234	0.00364	0.01598	> MN
S104	25X65	S104H1	-433.06	0.00435	0.01338	0.00349	0.01687	GV
S105	25X50	S105H1	-297.95	0.00451	0.01803	0.00443	0.02247	GV
S106	25X40	S106H1	-272.03	0.00324	0.01620	0.00563	0.02183	> MN
S107	25X50	S107H1	-338.88	0.00336	0.01342	0.00482	0.01824	> MN
S108	25X35	S108H1	-281.21	0.00358	0.02046	0.00748	0.02794	> MN
S109	25X40	S109H1	-445.07	0.00239	0.01196	0.00726	0.01921	GV
S201	25X30	S201H1	-177.31	0.00477	0.03177	0.01152	0.04329	> MN
S201	25X30	S201H2	-173.18	-0.00147	0.00982	0.01143	0.02125	> MN
S2010	25X35	S2010H1	-411.04	0.00289	0.01653	0.00890	0.02543	GÇ
S2010	25X35	S2010H2	-406.01	-0.00113	0.00643	0.00882	0.01525	> MN
S202	25X30	S202H1	-171.28	0.00497	0.03314	0.01118	0.04432	> MN
S202	25X30	S202H2	-167.14	-0.00146	0.00973	0.01089	0.02063	> MN
S203	25X40	S203H1	-242.35	0.00464	0.02319	0.00556	0.02875	> MN
S204	25X55	S204H1	-354.43	0.00418	0.01520	0.00415	0.01935	GV
S205	25X40	S205H1	-235.01	0.00572	0.02860	0.00518	0.03378	GV
S205	25X40	S205H2	-229.51	-0.00691	0.03454	0.00515	0.03968	GV
S206	25X35	S206H1	-220.02	0.00365	0.02085	0.00636	0.02722	> MN
S207	25X40	S207H1	-287.66	0.00308	0.01540	0.00594	0.02134	> MN
S208	25X30	S208H1	-233.85	0.00652	0.04349	0.00882	0.05230	GÇ
S208	25X30	S208H2	-229.44	-0.01018	0.06789	0.00977	0.07766	GÇ
S209	25X35	S209H1	-356.73	0.00294	0.01679	0.00819	0.02499	GV
S301	25X30	S301H1	-153.03	0.00531	0.03539	0.00992	0.04531	> MN
S301	25X30	S301H2	-148.94	-0.00560	0.03735	0.00964	0.04699	> MN
S3010	25X30	S3010H1	-292.08	0.00431	0.02875	0.00994	0.03869	GÇ
S3010	25X30	S3010H2	-287.82	-0.00549	0.03660	0.00986	0.04646	GÇ
S302	25X30	S302H1	-146.06	0.00661	0.04408	0.00944	0.05352	> MN
S302	25X30	S302H2	-141.98	-0.00704	0.04692	0.00916	0.05608	GV
S303	25X30	S303H1	-194.89	0.00499	0.03328	0.01281	0.04609	GV
S303	25X30	S303H2	-190.44	-0.00867	0.05777	0.00924	0.06700	GÇ
S304	25X40	S304H1	-267.09	0.00406	0.02029	0.00572	0.02601	> MN
S304	25X40	S304H2	-261.66	-0.00689	0.03444	0.00566	0.04010	GÇ
S305	25X30	S305H1	-203.08	0.01143	0.07617	0.00954	0.08571	GÇ
S305	25X30	S305H2	-199.01	-0.01385	0.09231	0.00940	0.10171	GÇ
S306	25X30	S306H1	-168.15	0.00395	0.02631	0.01096	0.03728	> MN
S306	25X30	S306H2	-163.70	-0.00511	0.03403	0.01066	0.04469	> MN
S307	25X30	S307H1	-233.97	0.00339	0.02262	0.00882	0.03144	> MN
S307	25X30	S307H2	-229.52	-0.00469	0.03125	0.00873	0.03998	GÇ
S308	25X30	S308H1	-175.30	0.01569	0.10460	0.00884	0.11344	GÇ
S308	25X30	S308H2	-171.04	-0.01667	0.11115	0.01116	0.12231	GÇ
S309	25X30	S309H1	-260.11	0.00266	0.01771	0.00932	0.02704	> MN
S309	25X30	S309H2	-255.85	-0.00126	0.00837	0.00924	0.01761	> MN
S401	25X30	S401H1	-123.18	0.00486	0.03237	0.00786	0.04024	> MN
S401	25X30	S401H2	-119.10	-0.00723	0.04823	0.00758	0.05581	> MN
S4010	25X30	S4010H1	-179.34	0.00558	0.03721	0.01174	0.04894	GV
S4010	25X30	S4010H2	-175.08	-0.00939	0.06258	0.00886	0.07144	GÇ
S402	25X30	S402H1	-116.52	0.00575	0.03831	0.00740	0.04572	> MN
S402	25X30	S402H2	-112.44	-0.00810	0.05399	0.00728	0.06127	GV
S403	25X30	S403H1	-147.21	0.00877	0.05848	0.00815	0.06663	GÇ
S403	25X30	S403H2	-142.77	-0.01562	0.10416	0.00921	0.11337	GÇ
S404	25X30	S404H1	-188.52	0.00658	0.04383	0.01237	0.05620	GÇ
S404	25X30	S404H2	-184.45	-0.01121	0.07474	0.01209	0.08683	GÇ
S405	25X30	S405H1	-169.13	0.01380	0.09197	0.01103	0.10300	GÇ
S405	25X30	S405H2	-165.06	-0.01634	0.10891	0.01075	0.11966	GÇ
S406	25X30	S406H1	-118.62	0.00424	0.02829	0.00755	0.03583	> MN
S406	25X30	S406H2	-114.18	-0.00865	0.05769	0.00730	0.06499	GV
S407	25X30	S407H1	-179.28	0.00421	0.02805	0.01173	0.03978	> MN
S407	25X30	S407H2	-174.84	-0.00684	0.04561	0.01142	0.05703	GV
S408	25X30	S408H1	-120.03	0.01642	0.10947	0.00764	0.11711	GÇ
S408	25X30	S408H2	-115.77	-0.01669	0.11126	0.00735	0.11861	GÇ
S409	25X30	S409H1	-166.80	0.00051	0.00343	0.01087	0.01430	> MN
S409	25X30	S409H2	-162.55	-0.00602	0.04010	0.01058	0.05068	> MN
S501	25X30	S501H2	-78.39	-0.00395	0.02635	0.00662	0.03297	> MN
S5010	25X30	S5010H1	-84.56	0.00248	0.01652	0.00676	0.02328	> MN
S5010	25X30	S5010H2	-80.33	-0.00798	0.05317	0.00667	0.05984	MN
S502	25X30	S502H2	-72.87	-0.00338	0.02251	0.00650	0.02901	> MN
S503	25X30	S503H1	-98.19	0.00739	0.04927	0.00706	0.05632	MN
S503	25X30	S503H2	-93.77	-0.00869	0.05793	0.00695	0.06488	GV
S504	25X30	S504H1	-124.85	0.00391	0.02607	0.00798	0.03404	> MN
S504	25X30	S504H2	-120.80	-0.00801	0.05339	0.00739	0.06078	GV
S505	25X30	S505H1	-114.33	0.00879	0.05857	0.00730	0.06586	GV
S505	25X30	S505H2	-110.28	-0.00992	0.06613	0.00718	0.07331	GÇ
S506	25X30	S506H1	-72.79	0.00087	0.00582	0.00650	0.01232	> MN
S506	25X30	S506H2	-68.36	-0.00660	0.04399	0.00640	0.05039	> MN
S507	25X30	S507H2	-109.79	-0.00537	0.03578	0.00694	0.04272	> MN
S508	25X30	S508H1	-76.23	0.00817	0.05447	0.00661	0.06108	MN
S508	25X30	S508H2	-71.99	-0.00804	0.05359	0.00645	0.06003	MN
S509	25X30	S509H2	-77.38	-0.00690	0.04597	0.00660	0.05257	MN
S601	25X25	S601H1	-32.66	0.00027	0.00218	0.00790	0.01008	> MN
S601	25X25	S601H2	-29.38	-0.00027	0.00212	0.00787	0.00999	> MN
S603	25X25	S603H1	-28.06	0.00071	0.00566	0.00786	0.01353	> MN
S603	25X25	S603H2	-24.94	-0.00049	0.00392	0.00784	0.01176	> MN

EK D (devamı)

Çizelge D.3: C14 dolgu duvarsız durum kolonları hasar konrolü-x doğrultusu

Kolon No	Kesit (cm/cm)	Mafsal No	N	θp	Φp	Φy	Φt	Hasar Sınırı	Kolon No	Kesit (cm/cm)	Mafsal No	N	θp	Φp	Φy	Φt	Hasar Sınırı
S101	25X45	S101H1	-538.76	0.00454	0.03634	0.01456	0.05090	GÇ	S305	25X30	S305H2	-399.70	-0.00188	0.01507	0.01639	0.03146	> MN
S101	25X45	S101H2	-532.42	0.00000	0.00001	0.01456	0.01457	> MN	S306	25X30	S306H1	-59.31	0.00164	0.01310	0.00794	0.02105	> MN
S1010	25X40	S1010H1	-360.97	0.00627	0.05012	0.01252	0.06264	GÇ	S306	25X30	S306H2	-54.87	-0.00496	0.03970	0.00792	0.04763	> MN
S102	25X45	S102H1	-195.31	0.00656	0.05249	0.00892	0.06141	> MN	S307	25X30	S307H1	-176.54	0.00591	0.04726	0.01003	0.05729	> MN
S103	25X60	S103H1	-131.26	0.00661	0.05290	0.00790	0.06080	> MN	S307	25X30	S307H2	-172.10	-0.01243	0.09947	0.00999	0.10947	GÇ
S104	25X65	S104H1	-470.39	0.00680	0.05442	0.01081	0.06523	GV	S308	25X30	S308H1	-250.03	0.00036	0.00287	0.01185	0.01472	> MN
S104	25X65	S104H2	-460.84	-0.00404	0.03235	0.01149	0.04384	> MN	S308	25X30	S308H2	-245.77	-0.00305	0.02440	0.01171	0.03611	> MN
S105	25X50	S105H1	-678.19	0.00314	0.02513	0.01526	0.04039	GÇ	S309	25X30	S309H1	-96.64	0.00828	0.06626	0.00868	0.07493	MN
S106	25X40	S106H1	-104.14	0.00687	0.05499	0.00841	0.06340	> MN	S309	25X30	S309H2	-92.38	-0.01097	0.08776	0.00855	0.09631	GÇ
S107	25X50	S107H1	-314.56	0.00586	0.04687	0.01003	0.05690	GÇ	S401	25X30	S401H1	-205.33	0.00942	0.07534	0.01064	0.08598	GÇ
S108	25X35	S108H1	-367.43	0.00331	0.02651	0.01356	0.04007	> MN	S401	25X30	S401H2	-201.25	-0.01345	0.10760	0.01061	0.11821	GÇ
S109	25X40	S109H1	-117.03	0.00818	0.06541	0.00853	0.07394	MN	S4010	25X30	S4010H1	-142.39	0.00586	0.04686	0.00936	0.05623	> MN
S109	25X40	S109H2	-111.28	-0.00158	0.01263	0.00850	0.02114	> MN	S4010	25X30	S4010H2	-138.13	-0.01439	0.11515	0.00927	0.12443	GÇ
S201	25X30	S201H1	-419.84	0.00631	0.05046	0.01581	0.06627	GÇ	S402	25X30	S402H1	-127.21	0.00035	0.00277	0.00913	0.01190	> MN
S201	25X30	S201H2	-415.71	-0.00705	0.05638	0.01584	0.07222	GÇ	S402	25X30	S402H2	-123.13	-0.00788	0.06302	0.00896	0.07198	MN
S2010	25X35	S2010H1	-287.99	0.00761	0.06088	0.01172	0.07260	GÇ	S403	25X30	S403H2	-112.81	-0.00643	0.05142	0.00885	0.06027	> MN
S2010	25X35	S2010H2	-282.96	-0.00240	0.01921	0.01155	0.03076	> MN	S404	25X30	S404H1	-226.61	0.00617	0.04939	0.01114	0.06053	GV
S202	25X30	S202H1	-181.02	0.00717	0.05738	0.01010	0.06748	GV	S404	25X30	S404H2	-222.54	-0.01241	0.09926	0.01115	0.11041	GÇ
S202	25X30	S202H2	-176.88	-0.00097	0.00774	0.01010	0.01784	> MN	S405	25X30	S405H2	-261.23	-0.00526	0.04207	0.01218	0.05425	GV
S203	25X40	S203H1	-161.64	0.00598	0.04780	0.00907	0.05687	> MN	S406	25X30	S406H2	-36.28	-0.00784	0.06273	0.00773	0.07046	MN
S204	25X55	S204H1	-337.68	0.01160	0.09276	0.00984	0.10260	GÇ	S407	25X30	S407H1	-133.26	0.00734	0.05869	0.00919	0.06788	> MN
S204	25X55	S204H2	-329.77	-0.00203	0.01622	0.00973	0.02595	> MN	S407	25X30	S407H2	-128.81	-0.01262	0.10092	0.00915	0.11007	GÇ
S205	25X40	S205H1	-557.72	0.00223	0.01786	0.01651	0.03437	GV	S408	25X30	S408H2	-168.33	-0.00614	0.04911	0.00989	0.05900	> MN
S206	25X35	S206H1	-84.14	0.00669	0.05350	0.00805	0.06155	> MN	S409	25X30	S409H1	-77.96	0.00537	0.04298	0.00832	0.05131	> MN
S206	25X35	S206H2	-78.89	-0.00055	0.00442	0.00802	0.01244	> MN	S409	25X30	S409H2	-73.71	-0.01161	0.09290	0.00830	0.10120	GÇ
S207	25X40	S207H1	-221.30	0.00713	0.05705	0.00990	0.06695	> MN	S501	25X30	S501H1	-106.71	0.00477	0.03814	0.00873	0.04688	> MN
S207	25X40	S207H2	-215.30	-0.00392	0.03132	0.00978	0.04110	> MN	S501	25X30	S501H2	-102.65	-0.00618	0.04944	0.00874	0.05818	> MN
S208	25X30	S208H1	-324.45	0.00106	0.00846	0.01385	0.02231	> MN	S5010	25X30	S5010H1	-74.32	0.00399	0.03195	0.00827	0.04022	> MN
S209	25X35	S209H1	-113.90	0.01084	0.08674	0.00851	0.09526	GÇ	S5010	25X30	S5010H2	-70.08	-0.00583	0.04667	0.00816	0.05484	> MN
S209	25X35	S209H2	-108.87	-0.00676	0.05410	0.00844	0.06254	> MN	S502	25X30	S502H2	-79.63	-0.00071	0.00568	0.00804	0.01372	> MN
S301	25X30	S301H1	-311.34	0.00972	0.07777	0.01349	0.09126	GÇ	S503	25X30	S503H2	-81.54	-0.00148	0.01182	0.00775	0.01957	> MN
S301	25X30	S301H2	-307.26	-0.01341	0.10726	0.01329	0.12055	GÇ	S504	25X30	S504H1	-172.65	0.00268	0.02142	0.00995	0.03137	> MN
S3010	25X30	S3010H1	-214.49	0.00429	0.03428	0.01089	0.04517	> MN	S504	25X30	S504H2	-168.60	-0.00318	0.02546	0.00991	0.03537	> MN
S3010	25X30	S3010H2	-210.24	-0.01055	0.08440	0.01073	0.09513	GÇ	S505	25X30	S505H2	-145.09	-0.00208	0.01662	0.00938	0.02601	> MN
S302	25X30	S302H1	-156.63	0.00166	0.01324	0.00967	0.02291	> MN	S506	25X30	S506H2	-17.17	-0.00184	0.01475	0.00806	0.02281	> MN
S302	25X30	S302H2	-152.55	-0.00456	0.03644	0.00962	0.04606	> MN	S507	25X30	S507H1	-84.36	0.00226	0.01809	0.00843	0.02652	> MN
S303	25X30	S303H1	-143.81	0.00012	0.00097	0.00938	0.01035	> MN	S507	25X30	S507H2	-79.93	-0.00276	0.02206	0.00836	0.03042	> MN
S303	25X30	S303H2	-139.37	-0.00377	0.03014	0.00937	0.03951	> MN	S508	25X30	S508H2	-89.62	-0.00120	0.00957	0.00852	0.01809	> MN
S304	25X40	S304H1	-281.16	0.00326	0.02606	0.01100	0.03706	> MN	S509	25X30	S509H1	-53.89	0.00067	0.00537	0.00794	0.01331	> MN
S304	25X40	S304H2	-275.74	-0.01050	0.08397	0.01087	0.09484	GÇ	S509	25X30	S509H2	-49.65	-0.00050	0.00399	0.00787	0.01187	> MN

EK D (devamı)

Çizelge D.4: C14 dolgu duvarsız durum kolonları hasar konrolü-y doğrultusu

Kolon No	Kesit (cm/cm)	Mafsal No	N	θp	Φp	Φy	Φt	Hasar Sınırı
S101	25X45	S101H1	-204.96	0.00492	0.02188	0.00485	0.02673	> MN
S1010	25X40	S1010H1	-509.29	0.00233	0.01163	0.00756	0.01919	> MN
S102	25X45	S102H1	-198.64	0.00419	0.01862	0.00485	0.02347	> MN
S103	25X60	S103H1	-286.85	0.00428	0.01426	0.00355	0.01780	> MN
S104	25X65	S104H1	-436.75	0.00459	0.01413	0.00352	0.01765	> MN
S105	25X50	S105H1	-312.92	0.00476	0.01902	0.00466	0.02368	> MN
S106	25X40	S106H1	-282.20	0.00327	0.01635	0.00584	0.02219	> MN
S107	25X50	S107H1	-332.13	0.00342	0.01370	0.00473	0.01842	> MN
S108	25X35	S108H1	-265.83	0.00491	0.02806	0.00707	0.03514	> MN
S109	25X40	S109H1	-448.47	0.00231	0.01154	0.00731	0.01885	> MN
S201	25X30	S201H1	-175.38	0.00465	0.03099	0.00769	0.03867	> MN
S201	25X30	S201H2	-171.24	-0.00092	0.00613	0.00764	0.01377	> MN
S2010	25X35	S2010H1	-415.74	0.00234	0.01335	0.00901	0.02236	> MN
S2010	25X35	S2010H2	-410.71	-0.00005	0.00029	0.00892	0.00922	> MN
S202	25X30	S202H1	-167.58	0.00464	0.03091	0.00761	0.03853	> MN
S202	25X30	S202H2	-163.44	-0.00035	0.00235	0.00755	0.00990	> MN
S203	25X40	S203H1	-236.51	0.00425	0.02124	0.00542	0.02666	> MN
S204	25X55	S204H1	-355.36	0.00395	0.01436	0.00416	0.01852	> MN
S205	25X40	S205H1	-250.87	0.00553	0.02764	0.00553	0.03317	> MN
S205	25X40	S205H2	-245.37	-0.00699	0.03494	0.00551	0.04045	MN
S206	25X35	S206H1	-228.76	0.00301	0.01719	0.00662	0.02381	> MN
S207	25X40	S207H1	-282.71	0.00259	0.01294	0.00584	0.01878	> MN
S208	25X30	S208H1	-217.79	0.00693	0.04621	0.00854	0.05475	GV
S208	25X30	S208H2	-213.38	-0.01251	0.08343	0.00854	0.09196	GÇ
S209	25X35	S209H1	-358.98	0.00205	0.01174	0.00825	0.01998	> MN
S301	25X30	S301H1	-153.37	0.00554	0.03695	0.00739	0.04434	> MN
S301	25X30	S301H2	-149.29	-0.00596	0.03973	0.00732	0.04705	> MN
S3010	25X30	S3010H1	-296.28	0.00426	0.02841	0.01001	0.03842	GV
S3010	25X30	S3010H2	-292.02	-0.00572	0.03813	0.00991	0.04804	GÇ
S302	25X30	S302H1	-144.16	0.00518	0.03452	0.00724	0.04176	> MN
S302	25X30	S302H2	-140.08	-0.00586	0.03905	0.00718	0.04623	> MN
S303	25X30	S303H1	-190.76	0.00468	0.03122	0.00806	0.03928	> MN
S303	25X30	S303H2	-186.31	-0.00885	0.05900	0.00790	0.06690	GÇ
S304	25X40	S304H1	-264.38	0.00438	0.02189	0.00566	0.02755	> MN
S304	25X40	S304H2	-258.96	-0.00667	0.03336	0.00560	0.03896	MN
S305	25X30	S305H1	-212.73	0.01331	0.08871	0.00854	0.09725	GÇ
S305	25X30	S305H2	-208.66	-0.01749	0.11657	0.00854	0.12511	GÇ
S306	25X30	S306H1	-175.05	0.00362	0.02410	0.00773	0.03183	> MN
S306	25X30	S306H2	-170.61	-0.00398	0.02651	0.00766	0.03417	> MN
S307	25X30	S307H1	-230.93	0.00331	0.02207	0.00876	0.03084	> MN
S307	25X30	S307H2	-226.49	-0.00402	0.02681	0.00866	0.03547	> MN
S308	25X30	S308H1	-163.09	0.01894	0.12625	0.00766	0.13391	GÇ
S308	25X30	S308H2	-158.83	-0.01844	0.12295	0.00766	0.13061	GÇ
S309	25X30	S309H1	-262.99	0.00224	0.01491	0.00940	0.02430	> MN
S309	25X30	S309H2	-258.73	-0.00085	0.00567	0.00931	0.01497	> MN
S401	25X30	S401H1	-124.02	0.00445	0.02967	0.00693	0.03660	> MN
S401	25X30	S401H2	-119.94	-0.00800	0.05333	0.00689	0.06022	MN
S4010	25X30	S4010H1	-180.61	0.00502	0.03344	0.00788	0.04132	> MN
S4010	25X30	S4010H2	-176.36	-0.00930	0.06197	0.00780	0.06977	GÇ
S402	25X30	S402H1	-116.78	0.00445	0.02969	0.00682	0.03652	> MN
S402	25X30	S402H2	-112.70	-0.00825	0.05503	0.00678	0.06181	MN
S403	25X30	S403H1	-144.48	0.00799	0.05326	0.00719	0.06045	MN
S403	25X30	S403H2	-140.04	-0.01260	0.08401	0.00719	0.09120	GÇ
S404	25X30	S404H1	-185.53	0.00572	0.03816	0.00789	0.04605	> MN
S404	25X30	S404H2	-181.46	-0.01103	0.07354	0.00782	0.08136	GÇ
S405	25X30	S405H1	-167.84	0.01624	0.10827	0.00745	0.11572	GÇ
S405	25X30	S405H2	-163.77	-0.01760	0.11736	0.00745	0.12481	GÇ
S406	25X30	S406H1	-123.12	0.00276	0.01841	0.00691	0.02532	> MN
S406	25X30	S406H2	-118.68	-0.00787	0.05245	0.00685	0.05930	MN
S407	25X30	S407H1	-179.55	0.00294	0.01958	0.00780	0.02738	> MN
S407	25X30	S407H2	-175.11	-0.00728	0.04856	0.00773	0.05629	MN
S408	25X30	S408H1	-120.01	0.01620	0.10803	0.00692	0.11495	GÇ
S408	25X30	S408H2	-115.76	-0.01619	0.10791	0.00682	0.11473	GÇ
S409	25X30	S409H2	-162.44	-0.00628	0.04183	0.00745	0.04928	> MN
S501	25X30	S501H2	-77.83	-0.00238	0.01589	0.00633	0.02222	> MN
S5010	25X30	S5010H1	-84.58	0.00137	0.00912	0.00634	0.01546	> MN
S5010	25X30	S5010H2	-80.34	-0.00621	0.04140	0.00629	0.04769	> MN
S502	25X30	S502H2	-73.10	-0.00220	0.01465	0.00617	0.02082	> MN
S503	25X30	S503H1	-96.76	0.00401	0.02675	0.00651	0.03326	> MN
S503	25X30	S503H2	-92.33	-0.00660	0.04397	0.00637	0.05035	> MN
S504	25X30	S504H1	-123.82	0.00233	0.01556	0.00692	0.02248	> MN
S504	25X30	S504H2	-119.77	-0.00590	0.03932	0.00686	0.04618	> MN
S505	25X30	S505H1	-111.39	0.00725	0.04831	0.00673	0.05504	MN
S505	25X30	S505H2	-107.34	-0.00809	0.05390	0.00667	0.06057	MN
S506	25X30	S506H2	-69.12	-0.00479	0.03190	0.00613	0.03803	> MN
S507	25X30	S507H2	-111.03	-0.00357	0.02377	0.00672	0.03049	> MN
S508	25X30	S508H1	-79.53	0.00633	0.04221	0.00628	0.04848	> MN
S508	25X30	S508H2	-75.29	-0.00636	0.04243	0.00622	0.04865	> MN
S509	25X30	S509H2	-77.81	-0.00531	0.03540	0.00625	0.04165	> MN
S601	25X25	S601H1	-32.80	0.00017	0.00135	0.00786	0.00921	> MN
S601	25X25	S601H2	-29.52	-0.00019	0.00149	0.00792	0.00941	> MN
S603	25X25	S603H1	-27.49	0.00066	0.00530	0.00791	0.01320	> MN
S603	25X25	S603H2	-24.36	-0.00050	0.00397	0.00779	0.01176	> MN

EK D (devamı)

Çizelge D.5: C14 dolgu duvarlı durum kolonları hasar konrolü-x doğrultusu

Kolon No	Kesit (cm/cm)	Mafsal No	N	θp	Φp	Φy	Φt	Hasar Sınırı	Kolon No	Kesit (cm/cm)	Mafsal No	N	θp	Φp	Φy	Φt	Hasar Sınırı
S101	25X45	S101H1	-575.95	0.00210	0.01682	0.01456	0.03138	> MN	S3010	25X30	S3010H1	-223.94	0.00018	0.00144	0.01111	0.01255	> MN
S1010	25X40	S1010H1	-375.15	0.00253	0.02026	0.01274	0.03300	> MN	S3010	25X30	S3010H2	-219.68	-0.00779	0.06229	0.01099	0.07328	GÇ
S102	25X45	S102H1	-158.52	0.00425	0.03402	0.00892	0.04293	> MN	S302	25X30	S302H1	-139.21	0.00174	0.01391	0.00934	0.02325	> MN
S102	25X45	S102H2	-152.18	-0.00008	0.00062	0.00892	0.00953	> MN	S302	25X30	S302H2	-135.13	-0.00825	0.06599	0.00927	0.07526	GV
S103	25X60	S103H1	-141.02	0.00342	0.02739	0.00801	0.03540	> MN	S303	25X30	S303H2	-124.52	-0.00601	0.04810	0.00906	0.05717	> MN
S104	25X65	S104H1	-437.63	0.00381	0.03048	0.01045	0.04093	> MN	S304	25X40	S304H1	-275.69	0.00200	0.01601	0.01090	0.02691	> MN
S104	25X65	S104H2	-428.09	-0.00209	0.01673	0.01045	0.02718	> MN	S304	25X40	S304H2	-270.27	-0.01059	0.08472	0.01080	0.09552	GÇ
S105	25X50	S105H1	-630.33	0.00094	0.00750	0.01519	0.02269	> MN	S305	25X30	S305H2	-362.88	-0.00376	0.03009	0.01515	0.04524	GÇ
S106	25X40	S106H1	-91.22	0.00378	0.03027	0.00826	0.03853	> MN	S306	25X30	S306H2	-51.73	-0.00696	0.05564	0.00790	0.06354	> MN
S107	25X50	S107H1	-311.04	0.00277	0.02212	0.00995	0.03207	> MN	S307	25X30	S307H1	-180.04	0.00320	0.02561	0.01012	0.03573	> MN
S108	25X35	S108H1	-377.21	0.00021	0.00171	0.01379	0.01550	> MN	S307	25X30	S307H2	-175.60	-0.01097	0.08774	0.01004	0.09777	GÇ
S109	25X40	S109H1	-96.78	0.00485	0.03882	0.00832	0.04714	> MN	S308	25X30	S308H2	-247.10	-0.00471	0.03766	0.01176	0.04943	> MN
S109	25X40	S109H2	-91.03	-0.00239	0.01908	0.00825	0.02733	> MN	S309	25X30	S309H1	-82.61	0.00532	0.04259	0.00840	0.05099	> MN
S201	25X30	S201H1	-450.09	0.00542	0.04334	0.01809	0.06143	GÇ	S309	25X30	S309H2	-78.35	-0.01056	0.08449	0.00833	0.09282	GV
S201	25X30	S201H2	-445.95	-0.00503	0.04026	0.01795	0.05821	GÇ	S401	25X30	S401H1	-210.65	0.00244	0.01952	0.01074	0.03026	> MN
S2010	25X35	S2010H1	-300.18	0.00531	0.04250	0.01196	0.05446	GV	S401	25X30	S401H2	-206.57	-0.00300	0.02398	0.01063	0.03461	> MN
S2010	25X35	S2010H2	-295.15	-0.00021	0.00168	0.01184	0.01352	> MN	S4010	25X30	S4010H2	-139.67	-0.00206	0.01646	0.00935	0.02582	> MN
S202	25X30	S202H1	-156.33	0.00765	0.06118	0.00966	0.07084	GV	S402	25X30	S402H2	-111.53	-0.00092	0.00738	0.00882	0.01620	> MN
S202	25X30	S202H2	-152.19	-0.00226	0.01806	0.00959	0.02765	> MN	S403	25X30	S403H2	-96.77	-0.00081	0.00644	0.00863	0.01507	> MN
S203	25X40	S203H1	-155.46	0.00518	0.04140	0.00900	0.05040	> MN	S404	25X30	S404H1	-216.60	0.00102	0.00818	0.01091	0.01908	> MN
S204	25X55	S204H1	-330.98	0.00881	0.07050	0.00977	0.08028	GV	S404	25X30	S404H2	-212.53	-0.00255	0.02041	0.01079	0.03120	> MN
S204	25X55	S204H2	-323.07	-0.00242	0.01933	0.00967	0.02900	> MN	S406	25X30	S406H2	-36.38	-0.00120	0.00962	0.00765	0.01727	> MN
S205	25X40	S205H1	-509.13	0.00181	0.01444	0.01651	0.03095	> MN	S407	25X30	S407H1	-129.50	0.00163	0.01306	0.00916	0.02222	> MN
S206	25X35	S206H1	-76.11	0.00548	0.04380	0.00796	0.05176	> MN	S407	25X30	S407H2	-125.05	-0.00246	0.01966	0.00907	0.02873	> MN
S206	25X35	S206H2	-70.86	-0.00003	0.00020	0.00788	0.00808	> MN	S409	25X30	S409H1	-64.89	0.00068	0.00541	0.00811	0.01352	> MN
S207	25X40	S207H1	-225.44	0.00524	0.04193	0.00997	0.05190	> MN	S409	25X30	S409H2	-60.63	-0.00174	0.01394	0.00804	0.02199	> MN
S207	25X40	S207H2	-219.44	-0.00319	0.02552	0.00986	0.03538	> MN	S501	25X30	S501H1	-102.06	0.00056	0.00449	0.00864	0.01312	> MN
S209	25X35	S209H1	-99.88	0.00994	0.07949	0.00830	0.08779	GV	S501	25X30	S501H2	-98.00	-0.00194	0.01548	0.00865	0.02413	> MN
S209	25X35	S209H2	-94.85	-0.00569	0.04550	0.00823	0.05373	> MN	S5010	25X30	S5010H2	-65.20	-0.00133	0.01063	0.00812	0.01875	> MN
S301	25X30	S301H1	-331.86	0.00548	0.04385	0.01410	0.05795	GÇ	S502	25X30	S502H2	-71.17	0.00012	0.00098	0.00821	0.00919	> MN
S301	25X30	S301H2	-327.78	-0.00991	0.07926	0.01396	0.09322	GÇ									

EK D (devamı)

Çizelge D.6: C14 dolgu duvarlı durum kolonları hasar konrolü-y doğrultusu

Kolon No	Kesit (cm/cm)	Mafsal No	N	θp	Φp	Φy	Φt	Hasar Sınırı
S101	25X45	S101H1	-185.09	0.00149	0.00664	0.00473	0.01137	> MN
S102	25X45	S102H1	-201.01	0.00130	0.00579	0.00484	0.01063	> MN
S103	25X60	S103H1	-258.57	0.00119	0.00396	0.00345	0.00741	> MN
S104	25X65	S104H1	-365.51	0.00134	0.00411	0.00335	0.00746	> MN
S105	25X50	S105H1	-320.62	0.00120	0.00478	0.00471	0.00949	> MN
S106	25X40	S106H1	-268.80	0.00026	0.00130	0.00571	0.00701	> MN
S107	25X50	S107H1	-365.62	0.00050	0.00198	0.00489	0.00687	> MN
S108	25X35	S108H1	-273.34	0.00132	0.00754	0.00719	0.01473	> MN
S201	25X30	S201H1	-158.40	0.00336	0.02238	0.00747	0.02985	> MN
S2010	25X35	S2010H1	-390.29	0.00127	0.00726	0.00865	0.01591	> MN
S202	25X30	S202H1	-175.93	0.00322	0.02147	0.00774	0.02922	> MN
S203	25X40	S203H1	-210.40	0.00316	0.01578	0.00518	0.02096	> MN
S204	25X55	S204H1	-306.58	0.00274	0.00996	0.00398	0.01394	> MN
S205	25X40	S205H1	-257.94	0.00418	0.02088	0.00561	0.02649	> MN
S205	25X40	S205H2	-252.44	-0.00502	0.02509	0.00556	0.03065	> MN
S206	25X35	S206H1	-221.92	0.00184	0.01054	0.00652	0.01705	> MN
S207	25X40	S207H1	-301.91	0.00135	0.00673	0.00602	0.01275	> MN
S208	25X30	S208H1	-228.71	0.00541	0.03607	0.00867	0.04474	> MN
S208	25X30	S208H2	-224.30	-0.00737	0.04912	0.00867	0.05779	GV
S209	25X35	S209H1	-360.21	0.00093	0.00534	0.00826	0.01359	> MN
S301	25X30	S301H1	-140.00	0.00337	0.02245	0.00718	0.02963	> MN
S301	25X30	S301H2	-135.92	-0.00300	0.01999	0.00711	0.02711	> MN
S3010	25X30	S3010H1	-283.07	0.00223	0.01485	0.00977	0.02462	> MN
S3010	25X30	S3010H2	-278.82	-0.00260	0.01735	0.00968	0.02704	> MN
S302	25X30	S302H1	-149.07	0.00283	0.01885	0.00732	0.02617	> MN
S302	25X30	S302H2	-144.99	-0.00259	0.01727	0.00726	0.02453	> MN
S303	25X30	S303H1	-169.21	0.00350	0.02333	0.00764	0.03097	> MN
S303	25X30	S303H2	-164.77	-0.00697	0.04647	0.00757	0.05404	MN
S304	25X40	S304H1	-228.64	0.00298	0.01490	0.00535	0.02024	> MN
S304	25X40	S304H2	-223.21	-0.00403	0.02016	0.00530	0.02545	> MN
S305	25X30	S305H1	-215.35	0.01007	0.06711	0.00867	0.07579	GÇ
S305	25X30	S305H2	-211.28	-0.01288	0.08589	0.00867	0.09457	GÇ
S306	25X30	S306H1	-176.09	0.00207	0.01378	0.00775	0.02153	> MN
S306	25X30	S306H2	-171.65	-0.00217	0.01447	0.00768	0.02214	> MN
S307	25X30	S307H1	-239.07	0.00161	0.01071	0.00892	0.01962	> MN
S307	25X30	S307H2	-234.63	-0.00177	0.01181	0.00883	0.02065	> MN
S308	25X30	S308H1	-171.88	0.01272	0.08478	0.00768	0.09246	GÇ
S308	25X30	S308H2	-167.62	-0.01256	0.08370	0.00761	0.09131	GÇ
S309	25X30	S309H1	-263.33	0.00123	0.00819	0.00939	0.01758	> MN
S309	25X30	S309H2	-259.08	-0.00116	0.00773	0.00930	0.01703	> MN
S401	25X30	S401H2	-111.85	-0.00552	0.03682	0.00673	0.04355	> MN
S4010	25X30	S4010H2	-168.07	-0.00503	0.03352	0.00762	0.04114	> MN
S402	25X30	S402H2	-113.43	-0.00483	0.03222	0.00676	0.03898	> MN
S403	25X30	S403H1	-124.25	0.00407	0.02711	0.00693	0.03404	> MN
S403	25X30	S403H2	-119.81	-0.00732	0.04878	0.00686	0.05564	MN
S404	25X30	S404H1	-157.84	0.00081	0.00537	0.00746	0.01283	> MN
S404	25X30	S404H2	-153.77	-0.00598	0.03989	0.00740	0.04728	> MN
S405	25X30	S405H1	-151.57	0.00914	0.06090	0.00736	0.06826	GV
S405	25X30	S405H2	-147.50	-0.00936	0.06239	0.00730	0.06968	GV
S406	25X30	S406H2	-121.52	-0.00533	0.03551	0.00689	0.04240	> MN
S407	25X30	S407H2	-174.23	-0.00412	0.02748	0.00772	0.03520	> MN
S408	25X30	S408H1	-131.44	0.00827	0.05513	0.00704	0.06218	MN
S408	25X30	S408H2	-127.19	-0.00832	0.05548	0.00698	0.06246	MN
S409	25X30	S409H2	-160.71	-0.00336	0.02239	0.00750	0.02990	> MN
S501	25X30	S501H2	-71.15	0.00004	0.00024	0.00617	0.00641	> MN
S5010	25X30	S5010H2	-75.64	-0.00010	0.00064	0.00623	0.00687	> MN
S502	25X30	S502H2	-69.04	0.00004	0.00025	0.00615	0.00640	> MN
S503	25X30	S503H1	-75.38	0.00041	0.00271	0.00623	0.00894	> MN
S503	25X30	S503H2	-70.96	-0.00104	0.00693	0.00617	0.01311	> MN
S505	25X30	S505H1	-88.31	0.00111	0.00743	0.00638	0.01381	> MN
S505	25X30	S505H2	-84.26	-0.00169	0.01126	0.00633	0.01759	> MN
S508	25X30	S508H1	-76.52	0.00018	0.00119	0.00624	0.00743	> MN
S508	25X30	S508H2	-72.28	-0.00035	0.00232	0.00619	0.00851	> MN

EK D (devamı)

Çizelge D.7: C10 dolgu duvarsız durum kirişleri hasar konrolü-x doğrultusu

Kiriş No	Kesit (cm/cm)	Mafsal No	θp	Φp	Φy	Φt	Hasar Sınırı
K101	25X70	K101H1	-0.00883	-0.02523	-0.00230	-0.02753	MN
K102	25X70	K102H1	0.00746	0.02130	0.00226	0.02356	MN
K105	20X60	K105H2	-0.00013	-0.00044	-0.00334	-0.00378	> MN
K106	20X50	K106H1	0.01344	0.05376	0.00320	0.05696	MN
K107	20X50	K107H1	0.00453	0.01811	0.00320	0.02131	> MN
K108	20X70	K108H1	-0.01256	-0.03589	-0.00229	-0.03817	MN
K201	15X70	K201H1	-0.00979	-0.02797	-0.00244	-0.03041	MN
K202	20X70	K202H1	0.01427	0.04077	0.00219	0.04296	MN
K206	20X50	K206H1	0.02270	0.09080	0.00320	0.09400	GV
K206	20X50	K206H2	-0.01881	-0.07523	-0.00327	-0.07850	GV
K207	20X70	K207H1	0.01758	0.05022	0.00228	0.05250	MN
K208	15X70	K208H1	-0.02299	-0.06569	-0.00220	-0.06789	GV
K301	15X70	K301H1	-0.00178	-0.00509	-0.00244	-0.00753	> MN
K302	20X70	K302H1	0.01078	0.03079	0.00219	0.03298	MN
K306	20X50	K306H1	0.01622	0.06489	0.00320	0.06810	MN
K306	20X50	K306H2	-0.01114	-0.04454	-0.00327	-0.04782	MN
K307	20X70	K307H1	0.01002	0.02861	0.00228	0.03089	MN
K308	15X70	K308H1	-0.01698	-0.04851	-0.00220	-0.05070	MN
K402	15X70	K402H1	0.00230	0.00657	0.00219	0.00876	> MN
K406	20X50	K406H1	0.00634	0.02536	0.00320	0.02856	MN
K406	20X50	K406H2	-0.00189	-0.00757	-0.00327	-0.01084	> MN
K407	15X70	K407H1	0.00098	0.00279	0.00228	0.00507	> MN
K408	15X70	K408H1	-0.00650	-0.01856	-0.00220	-0.02076	MN
K506	20X50	K506H1	0.00025	0.00098	0.00320	0.00418	> MN
K506	20X50	K506H2	-0.00035	-0.00141	-0.00327	-0.00468	> MN
K1012	20X50	K1012H1	0.01179	0.04714	0.00320	0.05035	MN
K1012	15X50	K1012H2	-0.01171	-0.04685	-0.00327	-0.05012	MN
K1016	20X60	K1016H1	0.00539	0.01796	0.00271	0.02067	MN
K1017	20X60	K1017H1	-0.00997	-0.03323	-0.00281	-0.03604	MN
K2012	20X50	K2012H1	0.02221	0.08886	0.00320	0.09206	GV
K2012	20X50	K2012H2	-0.01734	-0.06936	-0.00327	-0.07263	MN
K2013	16X50	K2013H1	0.01557	0.06227	0.00341	0.06568	MN
K2014	16X50	K2014H1	-0.02213	-0.08852	-0.00324	-0.09176	GV
K2018	20X60	K2018H1	0.01300	0.04334	0.00270	0.04605	MN
K2019	20X60	K2019H1	-0.01764	-0.05880	-0.00285	-0.06165	MN
K3012	20X50	K3012H1	0.01578	0.06313	0.00320	0.06634	MN
K3012	20X50	K3012H2	-0.01051	-0.04202	-0.00327	-0.04529	MN
K3013	16X50	K3013H1	0.00902	0.03607	0.00341	0.03948	MN
K3014	16X50	K3014H1	-0.01662	-0.06646	-0.00324	-0.06970	MN
K3018	20X60	K3018H1	0.00843	0.02810	0.00270	0.03080	MN
K3019	20X60	K3019H1	-0.01158	-0.03860	-0.00285	-0.04145	MN
K4012	20X50	K4012H1	0.00569	0.02276	0.00320	0.02597	MN
K4012	20X50	K4012H2	-0.00100	-0.00400	-0.00327	-0.00727	> MN
K4014	16X50	K4014H1	-0.00626	-0.02505	-0.00324	-0.02829	MN
K4019	20X60	K4019H1	-0.00054	-0.00179	-0.00285	-0.00464	> MN

EK D (devamı)

Çizelge D.8: C10 dolgu duvarsız durum kirişleri hasar konrolü-y doğrultusu

Kiriş No	Kesit (cm/cm)	Mafsal No	θp	Φp	Φy	Φt	Hasar Sınırı
K103	20X60	K103H1	0.00593	0.01977	0.00340	0.02317	> MN
K103	20X60	K103H2	-0.00898	-0.02992	-0.00334	-0.03326	MN
K105	20X60	K105H1	0.00609	0.02031	0.00340	0.02371	> MN
K105	20X60	K105H2	-0.00852	-0.02840	-0.00334	-0.03174	MN
K109	20X50	K109H1	0.00886	0.03542	0.00281	0.03823	MN
K109	20X50	K109H2	-0.00876	-0.03502	-0.00339	-0.03841	MN
K203	12X60	K203H1	0.01010	0.03366	0.00258	0.03624	MN
K203	12X60	K203H2	-0.00593	-0.01977	-0.00347	-0.02324	MN
K205	12X50	K205H1	0.00942	0.03766	0.00224	0.03990	MN
K205	12X50	K205H2	-0.01156	-0.04624	-0.00240	-0.04863	MN
K209	20X50	K209H1	0.01579	0.06316	0.00281	0.06596	MN
K209	20X50	K209H2	-0.01600	-0.06401	-0.00339	-0.06740	MN
K303	12X60	K303H1	0.00948	0.03161	0.00258	0.03419	MN
K303	12X60	K303H2	-0.00292	-0.00972	-0.00347	-0.01319	> MN
K305	12X50	K305H1	0.00839	0.03356	0.00224	0.03580	MN
K305	12X50	K305H2	-0.00704	-0.02814	-0.00240	-0.03054	MN
K309	20X50	K309H1	0.01036	0.04144	0.00281	0.04424	MN
K309	20X50	K309H2	-0.01376	-0.05504	-0.00339	-0.05843	MN
K403	12X60	K403H1	0.00670	0.02233	0.00258	0.02491	MN
K403	12X60	K403H2	-0.00001	-0.00003	-0.00347	-0.00350	> MN
K405	12X50	K405H1	0.00482	0.01929	0.00224	0.02153	MN
K405	12X50	K405H2	-0.00023	-0.00090	-0.00240	-0.00330	> MN
K409	20X50	K409H1	0.00173	0.00690	0.00281	0.00971	> MN
K409	20X50	K409H2	-0.00735	-0.02938	-0.00339	-0.03277	MN
K503	12X60	K503H1	0.00059	0.00196	0.00258	0.00454	> MN
K509	20X50	K509H2	-0.00023	-0.00091	-0.00339	-0.00429	> MN
K1010	20X50	K1010H1	0.00932	0.03729	0.00317	0.04046	MN
K1010	20X50	K1010H2	-0.00980	-0.03920	-0.00329	-0.04249	MN
K1011	12X50	K1011H1	0.00873	0.03491	0.00313	0.03804	MN
K1011	12X50	K1011H2	-0.00703	-0.02811	-0.00343	-0.03154	MN
K1013	12X50	K1013H1	0.00763	0.03050	0.00345	0.03395	MN
K1013	12X50	K1013H2	-0.00851	-0.03402	-0.00357	-0.03759	MN
K1014	15X50	K1014H1	0.00695	0.02780	0.00303	0.03083	MN
K1015	12X50	K1015H1	0.00532	0.02128	0.00358	0.02485	MN
K1015	12X50	K1015H2	-0.00993	-0.03973	-0.00324	-0.04297	MN
K2010	20X50	K2010H1	0.01673	0.06692	0.00317	0.07009	MN
K2010	20X50	K2010H2	-0.01614	-0.06458	-0.00329	-0.06786	MN
K2011	12X60	K2011H1	0.00590	0.01965	0.00279	0.02244	MN
K2011	12X60	K2011H2	-0.00134	-0.00445	-0.00347	-0.00792	> MN
K2015	12X50	K2015H1	0.01455	0.05821	0.00345	0.06166	MN
K2015	12X50	K2015H2	-0.01561	-0.06244	-0.00357	-0.06601	MN
K2017	12X60	K2017H1	0.00111	0.00369	0.00279	0.00649	> MN
K2017	12X60	K2017H2	-0.01238	-0.04128	-0.00253	-0.04381	MN
K3010	20X50	K3010H1	0.01304	0.05215	0.00317	0.05532	MN
K3010	20X50	K3010H2	-0.01372	-0.05487	-0.00329	-0.05816	MN
K3011	12X60	K3011H1	0.00236	0.00786	0.00279	0.01065	> MN
K3015	12X50	K3015H1	0.01326	0.05302	0.00345	0.05647	MN
K3015	12X50	K3015H2	-0.01719	-0.06875	-0.00357	-0.07231	MN
K3017	12X60	K3017H2	-0.01061	-0.03535	-0.00253	-0.03788	MN
K4010	20X50	K4010H1	0.00619	0.02475	0.00317	0.02793	MN
K4010	20X50	K4010H2	-0.00899	-0.03595	-0.00329	-0.03924	MN
K4015	12X50	K4015H1	0.00715	0.02859	0.00345	0.03204	MN
K4015	12X50	K4015H2	-0.00943	-0.03770	-0.00357	-0.04127	MN
K4017	12X60	K4017H2	-0.00578	-0.01926	-0.00253	-0.02179	MN
K5010	20X50	K5010H1	0.00040	0.00160	0.00317	0.00478	> MN
K5010	20X50	K5010H2	-0.00134	-0.00537	-0.00329	-0.00865	> MN

EK D (devamı)

Çizelge D.9: C14 dolgu duvarsız durum kirişleri hasar konrolü-x doğrultusu

Kiriş No	Kesit (cm/cm)	Mafsal No	θp	Φp	Φy	Φt	Hasar Sınırı
K101	25X70	K101H1	-0.00953	-0.02724	-0.00235	-0.02959	MN
K102	25X70	K102H1	0.00767	0.02190	0.00219	0.02409	MN
K105	20X60	K105H2	-0.00001	-0.00002	-0.00350	-0.00352	> MN
K106	20X50	K106H1	0.01323	0.05292	0.00345	0.05637	MN
K107	20X50	K107H1	0.00450	0.01802	0.00345	0.02147	> MN
K108	15X70	K108H1	-0.01318	-0.03766	-0.00234	-0.04000	MN
K201	20X70	K201H1	-0.01027	-0.02934	-0.00228	-0.03162	MN
K202	20X70	K202H1	0.01562	0.04462	0.00216	0.04678	MN
K206	20X50	K206H1	0.02164	0.08656	0.00345	0.09002	GV
K206	20X50	K206H2	-0.01970	-0.07879	-0.00328	-0.08208	MN
K207	15X70	K207H1	0.01854	0.05297	0.00231	0.05528	MN
K208	15X70	K208H1	-0.02271	-0.06488	-0.00220	-0.06708	GV
K301	20X70	K301H1	-0.00500	-0.01429	-0.00228	-0.01657	> MN
K302	20X70	K302H1	0.01163	0.03322	0.00216	0.03539	MN
K306	20X50	K306H1	0.01633	0.06530	0.00345	0.06875	MN
K306	20X50	K306H2	-0.01070	-0.04280	-0.00328	-0.04609	MN
K307	15X70	K307H1	0.00971	0.02775	0.00231	0.03005	MN
K308	15X70	K308H1	-0.01750	-0.04999	-0.00220	-0.05218	MN
K402	20X70	K402H1	0.00242	0.00692	0.00216	0.00908	> MN
K406	20X50	K406H1	0.00557	0.02226	0.00345	0.02572	MN
K406	20X50	K406H2	-0.00130	-0.00518	-0.00328	-0.00847	> MN
K407	15X70	K407H1	0.00053	0.00151	0.00231	0.00381	> MN
K408	15X70	K408H1	-0.00618	-0.01765	-0.00220	-0.01985	MN
K506	20X50	K506H1	0.00007	0.00029	0.00345	0.00374	> MN
K506	20X50	K506H2	-0.00027	-0.00109	-0.00328	-0.00438	> MN
K1012	20X50	K1012H1	0.01185	0.04738	0.00345	0.05083	MN
K1012	20X50	K1012H2	-0.01169	-0.04674	-0.00328	-0.05003	MN
K1016	20X60	K1016H1	0.00703	0.02342	0.00266	0.02608	MN
K1017	20X60	K1017H1	-0.01015	-0.03384	-0.00285	-0.03669	MN
K2012	20X50	K2012H1	0.02063	0.08250	0.00345	0.08595	MN
K2012	20X50	K2012H2	-0.01709	-0.06836	-0.00328	-0.07164	MN
K2013	16X50	K2013H1	0.01550	0.06200	0.00344	0.06544	MN
K2014	16X50	K2014H1	-0.02194	-0.08774	-0.00320	-0.09094	GV
K2018	20X60	K2018H1	0.01250	0.04168	0.00274	0.04442	MN
K2019	20X60	K2019H1	-0.01802	-0.06008	-0.00287	-0.06295	MN
K3012	20X50	K3012H1	0.01588	0.06352	0.00345	0.06697	MN
K3012	20X50	K3012H2	-0.00895	-0.03581	-0.00328	-0.03910	MN
K3013	16X50	K3013H1	0.00764	0.03057	0.00344	0.03401	MN
K3014	16X50	K3014H1	-0.01716	-0.06863	-0.00320	-0.07183	MN
K3018	20X60	K3018H1	0.00870	0.02901	0.00274	0.03175	MN
K3019	20X60	K3019H1	-0.01079	-0.03597	-0.00287	-0.03884	MN
K4012	20X50	K4012H1	0.00511	0.02044	0.00345	0.02389	> MN
K4012	20X50	K4012H2	-0.00082	-0.00330	-0.00328	-0.00658	> MN
K4014	16X50	K4014H1	-0.00566	-0.02264	-0.00320	-0.02584	MN
K4018	20X60	K4018H1	0.00032	0.00107	0.00274	0.00381	> MN
K4019	20X60	K4019H1	-0.00055	-0.00183	-0.00287	-0.00470	> MN

EK D (devamı)

Çizelge D.10: C14 dolgu duvarsız durum kirişleri hasar konrolü-y doğrultusu

Kiriş No	Kesit (cm/cm)	Mafsal No	θp	Φp	Φy	Φt	Hasar Sınırı
K103	20X60	K103H1	0.00598	0.01992	0.00339	0.02331	> MN
K103	20X60	K103H2	-0.00890	-0.02967	-0.00350	-0.03317	MN
K105	20X60	K105H1	0.00617	0.02057	0.00339	0.02396	> MN
K105	20X60	K105H2	-0.00833	-0.02778	-0.00350	-0.03127	MN
K109	20X50	K109H1	0.00872	0.03488	0.00326	0.03814	MN
K109	20X50	K109H2	-0.00899	-0.03595	-0.00326	-0.03921	MN
K203	12X60	K203H1	0.01039	0.03463	0.00271	0.03734	MN
K203	12X60	K203H2	-0.00573	-0.01911	-0.00277	-0.02188	MN
K205	12X50	K205H1	0.00991	0.03962	0.00211	0.04173	MN
K205	12X50	K205H2	-0.01140	-0.04561	-0.00233	-0.04794	MN
K209	20X50	K209H1	0.01515	0.06061	0.00326	0.06387	MN
K209	20X50	K209H2	-0.01551	-0.06204	-0.00326	-0.06530	MN
K303	12X60	K303H1	0.00954	0.03179	0.00271	0.03450	MN
K303	12X60	K303H2	-0.00085	-0.00283	-0.00277	-0.00560	> MN
K305	12X50	K305H1	0.00892	0.03568	0.00211	0.03779	MN
K305	12X50	K305H2	-0.00695	-0.02782	-0.00233	-0.03014	MN
K309	20X50	K309H1	0.01004	0.04015	0.00326	0.04341	MN
K309	20X50	K309H2	-0.01440	-0.05758	-0.00326	-0.06084	MN
K403	12X60	K403H1	0.00552	0.01840	0.00271	0.02111	MN
K405	12X50	K405H1	0.00413	0.01651	0.00211	0.01862	MN
K405	12X50	K405H2	-0.00171	-0.00683	-0.00233	-0.00915	> MN
K409	20X50	K409H1	0.00331	0.01322	0.00326	0.01648	MN
K409	20X50	K409H2	-0.00719	-0.02874	-0.00326	-0.03200	MN
K503	12X60	K503H1	0.00039	0.00131	0.00271	0.00402	> MN
K509	20X50	K509H2	-0.00032	-0.00128	-0.00326	-0.00453	> MN
K1010	20X50	K1010H1	0.00931	0.03724	0.00336	0.04060	MN
K1010	20X50	K1010H2	-0.00996	-0.03985	-0.00334	-0.04318	MN
K1011	12X50	K1011H1	0.00878	0.03512	0.00318	0.03829	MN
K1011	12X50	K1011H2	-0.00641	-0.02564	-0.00342	-0.02907	MN
K1013	12X50	K1013H1	0.00792	0.03168	0.00346	0.03515	MN
K1013	12X50	K1013H2	-0.00889	-0.03555	-0.00326	-0.03881	MN
K1014	15X50	K1014H1	0.00738	0.02951	0.00311	0.03262	MN
K1015	12X50	K1015H1	0.00496	0.01986	0.00362	0.02347	> MN
K1015	12X50	K1015H2	-0.01008	-0.04031	-0.00333	-0.04364	MN
K2010	20X50	K2010H1	0.01626	0.06504	0.00336	0.06841	MN
K2010	20X50	K2010H2	-0.01582	-0.06326	-0.00334	-0.06660	MN
K2011	12X60	K2011H1	0.00529	0.01762	0.00282	0.02044	MN
K2015	12X50	K2015H1	0.01415	0.05660	0.00346	0.06007	MN
K2015	12X50	K2015H2	-0.01532	-0.06127	-0.00326	-0.06453	MN
K2017	12X60	K2017H2	-0.01266	-0.04221	-0.00269	-0.04490	MN
K3010	20X50	K3010H1	0.01315	0.05258	0.00336	0.05594	MN
K3010	20X50	K3010H2	-0.01439	-0.05755	-0.00334	-0.06089	MN
K3015	12X50	K3015H1	0.01397	0.05589	0.00346	0.05935	MN
K3015	12X50	K3015H2	-0.01719	-0.06874	-0.00326	-0.07201	MN
K3017	12X60	K3017H2	-0.01082	-0.03605	-0.00269	-0.03874	MN
K4010	20X50	K4010H1	0.00591	0.02365	0.00336	0.02701	MN
K4010	20X50	K4010H2	-0.00800	-0.03200	-0.00334	-0.03533	MN
K4015	12X50	K4015H1	0.00667	0.02666	0.00346	0.03012	MN
K4015	12X50	K4015H2	-0.00830	-0.03319	-0.00326	-0.03645	MN
K4017	12X60	K4017H2	-0.00537	-0.01788	-0.00269	-0.02058	MN
K5010	20X50	K5010H1	0.00054	0.00215	0.00336	0.00552	> MN
K5010	20X50	K5010H2	-0.00136	-0.00544	-0.00334	-0.00878	> MN

EK D (devamı)

Çizelge D.11: C14 dolgu duvarlı durum kirişleri hasar konrolü-x doğrultusu

Kiriş No	Kesit (cm/cm)	Mafsal No	θp	Φp	Φy	Φt	Hasar Sınırı
K101	25X70	K101H1	-0.00575	-0.01644	-0.00235	-0.01879	MN
K102	25X70	K102H1	0.00362	0.01033	0.00219	0.01253	> MN
K106	20X50	K106H1	0.00828	0.03312	0.00345	0.03657	MN
K107	20X50	K107H1	0.00287	0.01149	0.00345	0.01494	> MN
K108	15X70	K108H1	-0.00859	-0.02455	-0.00234	-0.02690	MN
K201	20X70	K201H1	-0.00730	-0.02084	-0.00228	-0.02312	MN
K202	20X70	K202H1	0.00970	0.02771	0.00216	0.02987	MN
K206	20X50	K206H1	0.01426	0.05703	0.00345	0.06048	MN
K206	20X50	K206H2	-0.01235	-0.04942	-0.00328	-0.05270	MN
K207	15X70	K207H1	0.01143	0.03265	0.00231	0.03496	MN
K208	15X70	K208H1	-0.01494	-0.04269	-0.00220	-0.04489	MN
K301	20X70	K301H1	-0.00052	-0.00148	-0.00228	-0.00376	> MN
K302	20X70	K302H1	0.00208	0.00594	0.00216	0.00811	> MN
K306	20X50	K306H1	0.00469	0.01877	0.00345	0.02222	> MN
K306	20X50	K306H2	-0.00218	-0.00870	-0.00328	-0.01198	> MN
K307	15X70	K307H1	0.00144	0.00412	0.00231	0.00643	> MN
K308	15X70	K308H1	-0.00612	-0.01747	-0.00220	-0.01967	MN
K406	20X50	K406H1	0.00010	0.00040	0.00345	0.00386	> MN
K406	20X50	K406H2	-0.00012	-0.00048	-0.00328	-0.00376	> MN
K408	15X70	K408H1	-0.00019	-0.00055	-0.00220	-0.00275	> MN
K1012	20X50	K1012H1	0.00707	0.02829	0.00345	0.03174	MN
K1012	20X50	K1012H2	-0.00747	-0.02988	-0.00328	-0.03316	MN
K1016	20X60	K1016H1	0.00178	0.00595	0.00266	0.00861	> MN
K1017	20X60	K1017H1	-0.00557	-0.01858	-0.00285	-0.02143	MN
K2012	20X50	K2012H1	0.01380	0.05518	0.00345	0.05863	MN
K2012	20X50	K2012H2	-0.01058	-0.04232	-0.00328	-0.04560	MN
K2013	16X50	K2013H1	0.00916	0.03665	0.00344	0.04009	MN
K2014	16X50	K2014H1	-0.01404	-0.05614	-0.00320	-0.05934	MN
K2018	20X60	K2018H1	0.00645	0.02149	0.00274	0.02423	MN
K2019	20X60	K2019H1	-0.01286	-0.04288	-0.00287	-0.04575	MN
K3012	20X50	K3012H1	0.00423	0.01693	0.00345	0.02038	> MN
K3012	20X50	K3012H2	-0.00110	-0.00440	-0.00328	-0.00769	> MN
K3013	16X50	K3013H1	0.00001	0.00004	0.00344	0.00348	> MN
K3014	16X50	K3014H1	-0.00566	-0.02264	-0.00320	-0.02584	MN
K3018	20X60	K3018H1	0.00010	0.00035	0.00274	0.00309	> MN
K3019	20X60	K3019H1	-0.00365	-0.01215	-0.00287	-0.01502	> MN

EK D (devamı)

Çizelge D.12: C14 dolgu duvarlı durum kirişleri hasar konrolü-y doğrultusu

Kiriş No	Kesit (cm/cm)	Mafsal No	θp	Φp	Φy	Φt	Hasar Sınırı
K103	20X60	K103H1	0.00224	0.00746	0.00339	0.01085	> MN
K103	20X60	K103H2	-0.00508	-0.01693	-0.00350	-0.02043	> MN
K105	20X60	K105H1	0.00239	0.00795	0.00339	0.01134	> MN
K105	20X60	K105H2	-0.00459	-0.01529	-0.00350	-0.01879	> MN
K109	20X50	K109H1	0.00444	0.01774	0.00326	0.02100	MN
K109	20X50	K109H2	-0.00471	-0.01883	-0.00326	-0.02209	MN
K203	12X60	K203H1	0.00705	0.02351	0.00271	0.02622	MN
K203	12X60	K203H2	-0.00296	-0.00987	-0.00277	-0.01264	> MN
K205	12X50	K205H1	0.00601	0.02403	0.00211	0.02614	MN
K205	12X50	K205H2	-0.00702	-0.02806	-0.00233	-0.03039	MN
K209	20X50	K209H1	0.00961	0.03844	0.00326	0.04170	MN
K209	20X50	K209H2	-0.01021	-0.04084	-0.00326	-0.04410	MN
K303	12X60	K303H1	0.00716	0.02387	0.00271	0.02658	MN
K303	12X60	K303H2	-0.00009	-0.00030	-0.00277	-0.00307	> MN
K305	12X50	K305H1	0.00586	0.02345	0.00211	0.02556	MN
K305	12X50	K305H2	-0.00344	-0.01378	-0.00233	-0.01610	> MN
K309	20X50	K309H1	0.00540	0.02159	0.00326	0.02485	MN
K309	20X50	K309H2	-0.00955	-0.03820	-0.00326	-0.04145	MN
K403	12X60	K403H1	0.00032	0.00106	0.00271	0.00377	> MN
K409	20X50	K409H1	0.00022	0.00086	0.00326	0.00412	> MN
K409	20X50	K409H2	-0.00114	-0.00456	-0.00326	-0.00782	> MN
K1010	20X50	K1010H1	0.00492	0.01969	0.00336	0.02305	> MN
K1010	20X50	K1010H2	-0.00536	-0.02145	-0.00334	-0.02479	MN
K1011	12X50	K1011H1	0.00435	0.01740	0.00318	0.02057	> MN
K1011	12X50	K1011H2	-0.00218	-0.00874	-0.00342	-0.01216	> MN
K1013	12X50	K1013H1	0.00380	0.01520	0.00346	0.01866	> MN
K1013	12X50	K1013H2	-0.00470	-0.01879	-0.00326	-0.02205	> MN
K1014	15X50	K1014H1	0.00330	0.01319	0.00311	0.01630	> MN
K1015	12X50	K1015H1	0.00087	0.00347	0.00362	0.00709	> MN
K1015	12X50	K1015H2	-0.00543	-0.02170	-0.00333	-0.02504	MN
K2010	20X50	K2010H1	0.01092	0.04368	0.00336	0.04704	MN
K2010	20X50	K2010H2	-0.01091	-0.04363	-0.00334	-0.04697	MN
K2011	12X60	K2011H1	0.00251	0.00838	0.00282	0.01120	> MN
K2015	12X50	K2015H1	0.00910	0.03640	0.00346	0.03987	MN
K2015	12X50	K2015H2	-0.01028	-0.04112	-0.00326	-0.04438	MN
K2017	12X60	K2017H2	-0.00896	-0.02988	-0.00269	-0.03257	MN
K3010	20X50	K3010H1	0.00954	0.03815	0.00336	0.04151	MN
K3010	20X50	K3010H2	-0.01037	-0.04150	-0.00334	-0.04483	MN
K3015	12X50	K3015H1	0.00901	0.03606	0.00346	0.03952	MN
K3015	12X50	K3015H2	-0.01043	-0.04172	-0.00326	-0.04498	MN
K3017	12X60	K3017H2	-0.00871	-0.02904	-0.00269	-0.03174	MN
K4010	20X50	K4010H1	0.00218	0.00873	0.00336	0.01209	> MN
K4010	20X50	K4010H2	-0.00246	-0.00985	-0.00334	-0.01319	> MN
K4015	12X50	K4015H1	0.00046	0.00184	0.00346	0.00530	> MN
K4015	12X50	K4015H2	-0.00229	-0.00916	-0.00326	-0.01242	> MN
K4017	12X60	K4017H2	-0.00179	-0.00598	-0.00269	-0.00867	> MN

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:	Başar Necdet ÜLKER
Doğum Yeri ve Tarihi:	İstanbul-12.05.1981
Adres:	Türkali Mah. Ali Suavi Sok. 1/6 Beşiktaş / İSTANBUL
Lisans Üniversite:	İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü