

MEVCUT BİNALARIN DEPREM VE ENERJİ PERFORMANSLARI AÇILARINDAN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA; MİDORİGAOKA-1 ÖRNEĞİ

A RESEARCH ON THE IMPROVEMENT OF EXISTING BUILDINGS IN TERMS OF EARTHQUAKE AND
ENERGY PERFORMANCE; MIDORİGAOKA-1

Kübra ZORLU*, Seher GÜZELÇOBAN MAYUK **

ÖZET

Türkiye'nin yer aldığı coğrafyada 1500'lü yıllardan beri depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. 1509'da 7,2 büyüklüğündeki küçük kıyamet olarak adlandırılan Büyük İstanbul depremiyle, 1999 Kocaeli ve 2011 Van depremleri, 2020 yılında gerçekleşen Elazığ, Malatya ve İzmir depremleri, Türkiye'de deprem riskinin yüksek olduğunu göstermektedir. Özellikle 1999 Kocaeli depreminden sonra gerçekleşen her deprem olayı, olası İstanbul depremini ve Türkiye'nin deprem gerçeğini gündeme getirmektedir. Yapıların statik açıdan güvenliğinin sağlanması, depreme karşı alınabilecek önlemlerin başında gelmektedir. Bu anlamda, Türkiye'de çeşitli çalışmaların yürütüldüğü görülmektedir. Türkiye'de, 1947, 1953, 1961, 1968, 1975, 1998 ve halen yürürlükte olan 2007 olmak üzere, deprem yönetmelikleri toplam 7 kez revize edilmiştir. 2019 yılında Deprem Yönetmeliği yeniden güncellenerek, 1 Ocak 2019 tarihinde de yürürlüğe girmiştir (AFAD, 2021). 2007 yılında çıkarılan Deprem Yönetmeliği'ne göre inşa edilen yapılar sismik kuvvetlere dayanıklı, az risk taşıyan binalardır. 2012'de çıkarılan kentsel dönüşüm yasası ile afet riski taşıyan alanlarda iyileştirme, yenilemelere dair çalışmalar başlamıştır ve halen devam etmektedir. Ancak günümüz yapı stoğuna bakıldığında, birçok ilimizde mevcut deprem yönetmeliğinden önce yapılmış eski binaların yapısal güvenliği bilinmemekte, bununla birlikte, vatandaşlar bu yapılarda ikamet etmektedir. Yapısal güvenliği bilinen yapıların ise; deprem güvenliğinin olmadığı bilinmektedir [(İnel vd.,2007), (Ergün vd., 2012), (Gündoğan vd., 2019)]. Bu çerçevede, deprem riski olduğu tespit edilen mevcut binaların statik açıdan iyileştirilmeleri oldukça önem taşımaktadır. Buna ek olarak, son yıllarda artan sürdürülebilir yaklaşımlar mevcut yapıların enerji performanslarının artırılmasını gerekli kılmaktadır.

Mevcut binaları iyileştirme çalışmaları; statik açıdan binayı güçlendirme ve yapıların enerji performansını artırmak üzere çeşitli amaçlarla yapılmaktadır. Entegre cephe sistemi olarak adlandırılan bir sistemin, yapıların statik ve enerji performansını artırmak üzere kullanılan bir çözüm olduğu bilinmektedir. Bu sistemin Türkiye'deki riskli yapılara uygulanabilirliğini tartışmanın amaçlandığı bu çalışmada; Türkiye gibi deprem bölgesi olan Japonya'da çökme riski bulunan betonarme bir yapı üzerinde, entegre cephe sistemi ile sismik ve enerji yönünden iyileştirilen bir bina örneği incelenerek, bu sistemin olumlu, olumsuz yönleri ortaya koyulmuştur. Bu inceleme sırasında, yapı ile ilgili daha önce yapılmış olan yayınlardan ve çeşitli kaynaklardan yararlanılmıştır. İncelenen ve Japonya örneğini içeren vaka çalışması, enerji ve deprem iyileştirmesinin birlikte yapıya uygulanarak, afet anında çökme riskinin sismik güçlendirme ile sağlanabileceğini göstermektedir..

Anahtar Kelimeler: İyileştirme yöntemleri, Mevcut yapılarda iyileştirme, Sismik iyileştirme, Enerji etkin iyileştirme, Midorigaoka-1 yapısı.

ABSTRACT

It is known that earthquakes have occurred in the geography where Turkey is located since the 1500s. The Great Istanbul earthquake with a magnitude of 7.2 in 1509, called the small apocalypse, the 1999 Kocaeli and 2011 Van earthquakes, and the Elazığ, Malatya and Izmir earthquakes in 2020 show that the earthquake risk is high in Turkey. Especially after the 1999 Kocaeli earthquake, every earthquake event brings the possible Istanbul earthquake and the earthquake reality of Turkey to the agenda. Ensuring the static safety of buildings is one of the leading measures that can be taken against earthquakes. In this sense, it is seen that various studies are carried out in Turkey. In Turkey, earthquake regulations were revised 7 times in total, including 1947, 1953, 1961, 1968, 1975, 1998 and 2007, which is still in force. Earthquake Regulation was updated again in 2019 and entered into force on 1 January 2019 (AFAD, 2021). Structures built according to the Earthquake Regulation issued in 2007 are resistant to seismic forces and carry less risk. With the urban transformation law enacted in 2012, studies on improvement and renewal in areas with disaster risk have started and are still continuing. However, when looking at today's building stock, the structural reliability of old buildings built before the current earthquake regulations in many provinces is not known, however, citizens live in these buildings. Structures with known structural safety; It is known that there is no earthquake safety [(İnel et al., 2007), (Ergün et al., 2012), (Gündoğan et al., 2019)]. In this context, it is very important to improve the existing buildings, which are determined to be at earthquake risk, in terms of static. In addition, increasing sustainable approaches in recent years necessitate increasing the energy performance of existing structures.

Improvement of existing buildings; It is made for various purposes in order to strengthen the building in terms of static and to increase the energy performance of the buildings. It is known that a system called an integrated facade system is a solution used to increase the static and energy performance of buildings. In this study, which aims to discuss the applicability of this system to risky structures in Turkey; The positive and negative aspects of

Geliş Tarihi/Received: 20.09.2021
Kabul Tarihi/Accepted: 27.10.2021

Araştırma Makalesi/Research Article

*
Mimarlık Bölümü,
Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli / Türkiye

Department of Architecture,
Gebze Technical University, Kocaeli / Turkey

ORCID: 0000-0003-2495-635X

**
Mimarlık Bölümü,
Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli / Türkiye

Department of Architecture,
Gebze Technical University, Kocaeli / Turkey

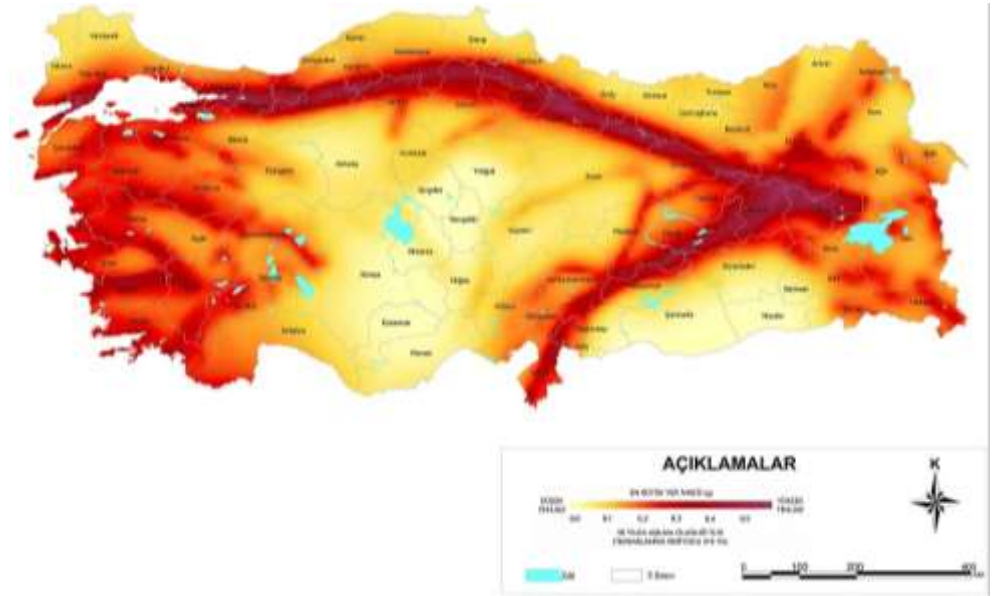
ORCID: 0000 0002 2676 4784

this system were revealed by examining an example of a building that was improved in terms of seismic and energy with an integrated façade system on a reinforced concrete structure that has the risk of collapse in Japan, which is an earthquake region such as Turkey. During this review, previous publications about the building and various sources were used. The case study examined, including the example of Japan, shows that energy and earthquake remediation can be applied to the structure together, and the risk of collapse in the event of a disaster can be provided by seismic reinforcement.

Keywords: Improvement methods, Improvement in existing structures, Seismic improvement, Energy efficient improvement, Midorigaoka-1 structure.

1. GİRİŞ

1999 Kocaeli ve 2011 Van depremleri, 2020 yılında gerçekleşen Elazığ, Malatya ve İzmir depremleri sonucunda; Türkiye’de, maddi ve manevi çeşitli kayıplar yaşanmıştır. DAF (Doğu Anadolu Fay Hattı), KAF (Kuzey Anadolu Fay Hattı), BAF (Batı Anadolu Fay Hattı) olmak üzere üç ana fay hattının olduğu bir topografyaya sahip olan Türkiye; deprem açısından riskli bir coğrafyada yer almaktadır (Şekil 1), (AFAD, 2020). 1500’lü yıllardan günümüze kadar Türkiye’de; 5 ve üzeri büyüklükte 23 büyük deprem meydana gelmiştir. Bu depremler Tablo 1’de gösterilmiştir (Güder, 2019).



Şekil 1. Türkiye deprem bölgeleri haritası
(AFAD, 2018)

1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinden sonra, Türkiye'deki mevcut binaların deprem performansı dikkate alındığı İlki ve Celep (2012)'in çalışmasına göre, Türkiye'deki mevcut binaların zayıf sismik performansının, doğrudan yapı yönetmelikleri ile ilgili olmadığını, daha ziyade son derece düşük kaliteli inşaat ve bölgede sıkı bir denetim sisteminin bulunmaması ile ilgili olduğu belirtilmiştir (İlki ve Celep, 2012).

Türkiye’de mevcut betonarme binaların deprem performansı yönünden zayıflıkları da bu çalışmada şu şekilde sınıflandırılmıştır (İlki ve Celep, 2012):

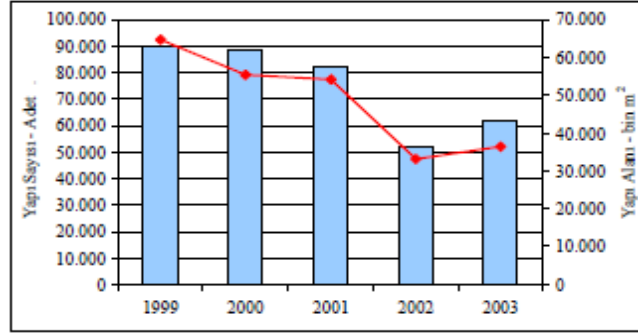
- Yetersiz beton dayanımı ve yetersiz donatı nedeniyle yetersiz yanal yük kapasitesi,
- Yetersiz yanal rijitlik,
- Yetersiz yanal donatı nedeniyle yetersiz süneklik,
- Boyuna ve enine donatıların yetersiz detaylandırılması,
- İlk katların yetersiz mukavemeti
- Yetersiz kolon dayanımı.

Bu durum göz önüne alındığında, ülkede inşa edilen binaların sağlam olması, birincil derece önem arz etmektedir.

Tarihi	Büyükölük	Deprem
10 Eylül 1509	7.2	Büyük İstanbul Depremi (Küçük Kıyamet)
23 Şubat 1653	7.5	Doğu İzmir Depremi
17 Ağustos 1668	8	Anadolu Depremi
10 Temmuz 1688	7	İzmir Depremi
24 Mayıs 1719	-	İstanbul Depremi
3 Nisan 1881	7.3	Sakız Adası Depremi
10 Temmuz 1894	7	İstanbul Depremi
9 Ağustos 1912	7.3	Mürefte (Tekirdağ) Depremi
18 Kasım 1919	7	Ayvalık Depremi
7 Mayıs 1930	7.6	Hakkari Depremi
27 Aralık 1939	7.9	Erzincan Depremi
20 Aralık 1942	7	Erbaa (Tokat) Depremi
27 Kasım 1943	7.2	Ladik (Samsun) Depremi
1 Şubat 1944	7.2	Gerede-Çerkeş (Bolu) Depremi
18 Mart 1953	7.2	Yenice (Çanakkale) Depremi
27 Nisan 1957	7.1	Fethiye (Muğla) Depremi
26 Mayıs 1957	7.1	Abant (Bolu) Depremi
6 Ekim 1964	7	Manyas (Balıkesir) Depremi
28 Mart 1970	7.2	Gediz (Kütahya) Depremi
24 Kasım 1976	7.5	Muradiye (Van) Depremi
17 Ağustos 1999	7.8	Gölcük (Kocaeli) Depremi
12 Aralık 1999	7.5	Düzce Depremi
23 Ekim 2011	7.2	Van Depremi
24 Ocak 2020	6.8	Elazığ (Sivrice) Depremi
4 Ağustos 2020	5.7	Malatya Depremi
30 Ekim 2020	6.9	İzmir Depremi

Tablo 1. Türkiye’de meydana gelen büyük depremler (Güder, 2019).

Günümüz yapı stokuna bakıldığında, yeni yapılar deprem yönetmeliğine uygun yapılmış olsa da, birçok ilde hala deprem yönetmeliğinden önce yapılmış eski binaların yapısal güvenilirliği bilinmemekte, bununla birlikte, vatandaşlar bu yapılarda ikamet etmektedir. Bu nedenle mevcut yapılardan, hasarlı olanların yıkılarak yeniden yapılması işlemi; kentsel dönüşüm kapsamında yapılmaktadır. En büyük beş ilimizde ortalama yapı yaşının yaklaşık 20 yıl olduğu, 2005 yılındaki yeni konut gereksiniminin 679 600 adet olduğu ve bu rakamın 72 200 adetinin yenileme ve afet konutu olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 2), (Altay ve Güneş, 2005). 2021 yılına gelindiğinde bu sayıların daha da artış göstermiş olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 2. Türkiye de yıllara göre yapı alanı ve yapı adedi (Altay ve Güneş, 2005).

Mevcut yapılardan az hasarlı olan, az büyüklüğe sahip depremlere dayanabilecek yapıların, daha büyük depremlere karşı göstereceği davranış bilinmemektedir. Buna göre, birçok yapının deprem için iyileştirilmesi önem kazanmaktadır. Bu konu ile ilgili 1961 yılında çıkarılan "Afet Bölgelerinde Yapılar İçin Yönetmelik" 2007 yılında değişiklik ve düzenlemeler yapılarak Deprem Yönetmeliği olarak yayınlanmıştır. 2007 Deprem Yönetmeliğine mevcut binaların güçlendirilmesi ile ilgili şu maddeler eklenmiştir (İlki ve Celap, 2012):

- Deprem güvenlik değerlendirmesi ve mevcut binaların güçlendirilmesi hakkında yeni ve kapsamlı bir bölümün eklenmesi
- Mevcut yapılar için performansa dayalı değerlendirme ilkelerinin sismik güvenlik değerlendirmesi ve güçlendirme sürecine dahil edilmesi
- Çeşitli bina türleri için dikkate alınması gereken farklı performans seviyelerinin (acil kullanım, can güvenliği ve çökme önleme gibi) tespiti.
- Geleneksel güçlendirme teknikleriyle ilgili ilkelerin ve ayrıntıların (beton mantolama, çelik elemanlarla güçlendirme ve perde duvar ilaveleri gibi) dahil edilmesi ve yenilikçi malzemeler (fiber takviyeli polimerler gibi) kullanarak güçlendirme.

2018'deki yeni Deprem Yönetmeliği'nde ise: ön üretimli betonarme, hafif çelik ve ahşap bina taşıyıcı sistemlerine ilişkin tasarım kuralları da ayrı birer bölüm halinde incelenmiştir. Yönetmeliğe eklenen diğer bölümler ise yüksek bina ve yalıtımlı bina taşıyıcı sistemlerine ait tasarım kurallarını içeren bölümlerdir. Yeni eklenen bu iki bölüm ile yeni yönetmelik taslağında:

- Sahaya özel deprem tehlikesi ve zemin davranışı analizleri,
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi,
- Yeni yönetmeliğe göre yüksek bina sınıfına giren binaların tasarımı,
- Yalıtımlı binaların deprem hesabı ve tasarımı,
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan yapı-kazık-zemin etkileşimi

gibi özel uzmanlık gerektiren konular olarak tanımlanmış, uzmanların tasarım, gözetim ve kontrolüne tabi tutulmuştur (İnsapedia, 2020).

Öte yandan, binalarda iyileştirme çalışmaları; yapıların sismik açıdan güçlendirilmesi ve enerji etkin hale getirilmesi gibi çeşitli amaçlarla yapılmaktadır. Mevcut yapıları enerji açısından iyileştirme çalışmalarında; binanın enerji ve ısı kaybını engellenmekte, ihtiyacı olan enerji ve ısı açığını karşılayacak müdahaleler binaya uygulanmaktadır. Böylece enerji etkin olarak inşa edilmemiş binalarda enerji etkinliği sağlanmaktadır. Mevcut yapılara; yalıtım ve çok amaçlı dış cephe sistemleri eklenmesi, balkonlardaki ısı köprülerinin engellenmesiyle balkon iyileştirilmesi yapılması, ısı korunumlu mekanik havalandırma sistemi ve güneş enerji sistemleri eklenmesi; enerji için iyileştirmede kullanılan yöntemlerden bazılarıdır (Gönülol ve Altın, 2013). Deprem güçlendirme çalışmalarının; riskli binalarda yapılması ise belirli aşamalarda gerçekleştirilmektedir. Planlama ve uygulama olarak iki aşamada gerçekleştirilen iyileştirme çalışmaları Tablo 2'de verilen adımlara göre uygulanmaktadır (The World Bank, 2016).

Japonya’da Türkiye gibi deprem riski taşıyan ülkelerden birisidir. Japonya’da deprem ve tsunami gibi doğal afetler, bina ve yaşam merkezleri için yüksek risk oluşturmaktadır. Bundan dolayı, ülkede, binalar oldukça sağlam yapılmakta, raylı sistem teknolojisi ve başka tedbirlerle deprem ve tsunamiye karşı önlem alınmaktadır. Japonya; deprem esnasında binaların gösterdiği mukavemet yönünden başarılı yapı uygulamalarına sahip bir ülkedir. Japonya’daki mevcut bir yapıda sismik güçlendirme ve enerji etkinliği amaçlarıyla gerçekleştirilen bir iyileştirme uygulaması incelenmiştir. Bu inceleme sırasında, yapı ile ilgili daha önce yapılmış olan yayınlardan ve çeşitli kaynaklardan yararlanılmıştır.

Aşamalar	Adımlar
Planlama Aşaması	Bir inceleme organizasyonunun oluşturulması. Temel araştırmanın uygulanması Depreme karşı güçlendirilecek hassas binaların önceliklendirilmesi Kırılma eğilimi değerlendirilmesi Sismik tanımlama çalışmalarının gerçekleştirilmesi
Uygulama Aşaması	Projelerin aciliyet durumunun tespit edilmesi Yıllık planın oluşturulması Güçlendirme planının oluşturulması Proje çizimlerinin hazırlanması İnşaat işlerinin uygulanması

Tablo 2. Binalarda deprem güçlendirme aşamaları

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Japonya’da depreme yönelik ilk yapı standartları, Büyük Kanto Depremi’nden sonra 1923 yılında çıkarılmış, daha sonra yaşanan büyük depremlerde bu standartlar güncellenmiştir. Yapı yönetmeliklerinde en önemli düzenleme ise, 1971 yılında yapılmıştır. Bu yönetmelikten sonra yapılan binalar; depreme karşı dayanıklı kabul edilmektedir. 1971 yılından önce inşa edilen yapıların sismik performansları ise, yapılan düzenlemeye göre değerlendirilmektedir. Ancak Japonya’da 1971 öncesi yapılan binaların kolonları, mukavemet yönünden yetersiz olduğu için, yüksek şiddetli depremlerde; binaya gelen yüklere karşı dayanım tam olarak sağlanamamaktadır. Bu nedenle, 1971’den önce inşa edilen yapılardan hala kullanılmakta olanlar için; sismik iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu güçlendirme uygulamaları ile mevcut binaların, deprem anında ağır hasar görmesi önlenerek binaların yıkılmasına karşı tedbir alınmakta, böylece insan hayatını korumak amaçlanmaktadır (The World Bank, 2016).

Türkiye’deki yapıların çoğunluğu betonarme yapı sistemi ve teknikleri ile inşa edilmektedir. Konut yapıları, eğitim yapıları, resmi kurumlar büyük oranda betonarme binalardır. Dolayısıyla depreme karşı yapılacak güçlendirme çalışmalarında da betonarme yapıya uygulanacak güçlendirme teknikleri kullanılacaktır. Bu nedenle, incelenen örnek vaka çalışması olarak betonarme teknikte inşa edilmiş Midorigaoka-1 yapısı seçilmiştir.

Günümüzde hem çevre sorunları hem de doğal afetlere karşı çözüm üretmek için mevcut yapılardaki iyileştirme çalışmaları önem kazanmıştır. Var olan binalara enerji iyileştirme uygulamaları ve sismik iyileştirme çalışmalarının birlikte yapılmasının; insan hayatının korunması, sürdürülebilirlik ve çevre konuları açısından faydalı olacağı düşünülmektedir. Midorigaoka-1 binası hem sismik hem de enerji iyileştirmesinin birlikte uygulandığı bir yapı örneğidir. Bu nedenle, sismik ve enerji iyileştirmeleri için Japonya’daki vaka çalışması incelenerek, örnekte uygulanan entegre cephe sisteminin olumlu ve olumsuz yönleri, çalışmada ortaya konulmuştur. Türkiye açısından bu örneğin sismik güçlendirme

çalışmalarında uygulanabilirliği tartışılmıştır.

2.1. Midorigaoka-1 Yapısı

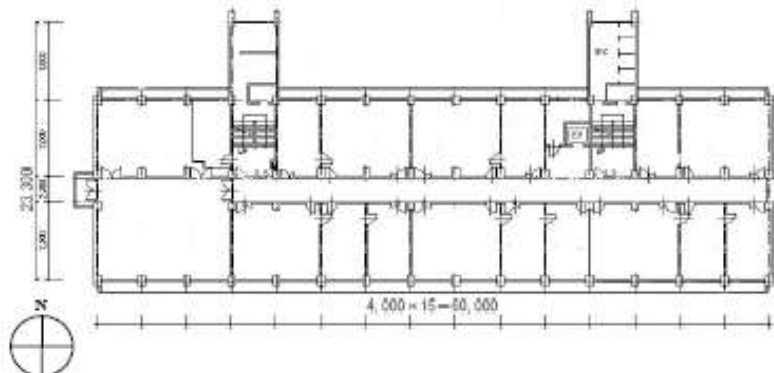
Japonya’da bulunan Midorigaoka-1 binası, betonarme olarak inşa edilmiş ve deprem güçlendirmesi ile iyileştirilmiş bir yapı örneğidir. Bina; Japonya’da 1971’de mevcut binaların deprem güvenliğini gözden geçirme yasasından (bina standartları kanunu güncellemesi) önce; 1966 yılında yapılmıştır. 1968 yılında meydana gelen Tokachi depreminde binada hasar meydana gelmiştir.

1968 yılında meydana gelen ve önemli hasarlara yol açan Tokachi Kıyı Ötesi Depreminden sonra Japonya’daki deprem standartlarında bazı düzenlemeler yapılmıştır (Aoyama, 1981). 1971 yılında Bina Standartları Kanunu güncellenmiştir. Bu düzenlemeye göre; betonarme binalardaki; perde duvarların mukavemeti ile ilgili hükümler kanuna ilave edilmiş ve mevcut binaların sismik performansına ilişkin bir gözden geçirme prosedürü oluşturulmuştur (The World Bank, 2016). Bu kapsamda, Midorigaoka-1 binası da iyileştirme yapılan binalar arasına alınmıştır. Güçlendirme çalışmalarına 2005 Temmuz’da başlanmış, 10 ay sürmüş, Nisan 2006’da tamamlanmıştır (Takeuchi vd., 2006). Midorigaoka-1 yapısı Şekil 3’te verilmiştir.

Midorigaoka-1 binası konum olarak, Japonya ülkesinin Tokyo şehrinde, Meguro bölgesinde yer almaktadır. Meguro bölgesindeki yapılar genel olarak konut işlevindedir. Alanda; hafif sanayi, şirketlerin merkez ofisleri, Tokyo Üniversitesi Komaba kampüsü ve konsolosluk binası gibi farklı işlevlerde yapılarda bulunmaktadır. Midorigaoka-1 yapısı ise; Tokyo Teknoloji Enstitüsü bünyesinde altı katlı bir eğitim yapısıdır. Bina bir eğitim yapısı olduğu için; laboratuvar, sınıf, atölye birimleri ve bu birimler arasında sirkülasyonu sağlayan çekirdek hacminden oluşmaktadır. Bina 23.3x60 m. dikdörtgen plana sahiptir. Kuzey aksına çekirdek hacimleri yerleştirilen binanın, güney aksında atölyeler, sınıf ve laboratuvarlar bulunmaktadır. Kuzey-güney yönünde yatay yükleri, betonarme perde duvarlar, doğu-batı doğrultusunda ise, dört metre açıklıklı giriş ve kolonlar taşımaktadır (Wikipedia, 2020). Yapının planı Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 3. Midorigaoka-1 Yapısı (Takeuchi vd., 2006).



Şekil 4. Yapının planı (Takeuchi vd., 2006).

1968 depreminde; binanın 1. kat ve 2. kat kolonlarında hasar meydana gelmiştir. Ayrıca sismik iyileştirme çalışmasından önce yapının 2.kat döşemesinde çökme tehlikesi bulunmaktaydı. Yapının olası bir depremde yıkılmasını önlemek için yapıya entegre cephe sistemi ile sismik iyileştirme uygulaması yapılmıştır. Entegre cephe sistemi ile yapıda deprem güçlendirmesi sağlanırken, aynı zamanda enerji iyileştirmesi de yapılmıştır. Bu bağlamda; Midorigaoka-1 yapısına uygulanan entegre cephe sisteminin özellikleri, entegre cephe (sismik iyileştirme yöntemi) ile binaya uygulanan teknikler, yapının güçlendirme öncesi ve sonrası statik performansı, güçlendirmeden sonra yapının mimarisi ve detaylarındaki değişiklikler araştırmalara dayalı olarak incelenmiştir.

2.2. Yüksek Performanslı Elemanlar ile Entegre Cephe Kavramı

Bir binanın iyileştirilmesi, teknik, ekonomik ve sosyal yönleri olan bir uygulamadır. Teknik olarak deprem için eski betonarme yapıların iyileştirilmesi, mevcut temel, perde duvar, kolon, kiriş ve döşemelerin (çerçeveler) sismik yönden güçlendirilmesi işlemidir. Bu işlemlerdeki uzun inşaat süresi, iyileştirme maliyetleri ve kullanıcıların taşınması gibi durumlar güçlendirmenin ekonomik ve sosyal boyutunu oluşturmaktadır. Sismik iyileştirmenin amacı;

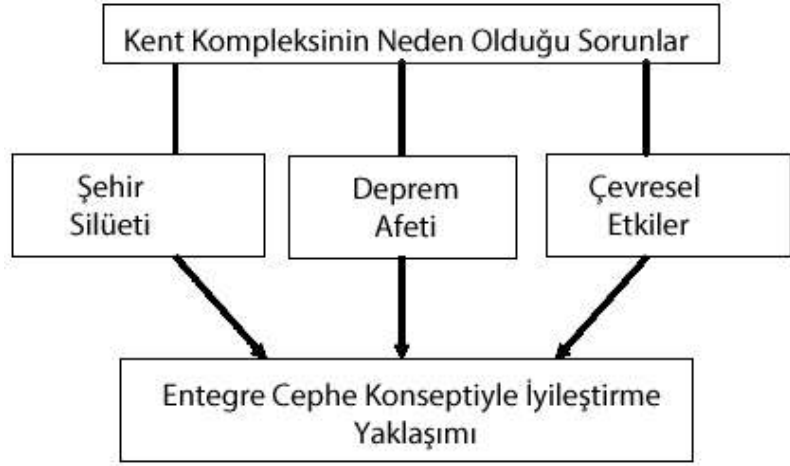
- Yapıya istenilen performansı kazandırmak,
- Mevcut yapıya minimum düzeyde dokunmak (son çalışmalarda hedef içinde oturulurken veya kullanılırken güçlendirmek),
- Güçlendirme süresini minimuma indirmek,
- Yapının bulunduğu bölgede bulunan malzeme ve iş gücünü kullanarak yapmak
- Yapının içinden ve dışından mimari olarak güçlendirildiğini hissettirmemektir (Doğan, 2020).

Yapıların güçlendirilmesine karar verme sürecini etkileyen parametreler ise;

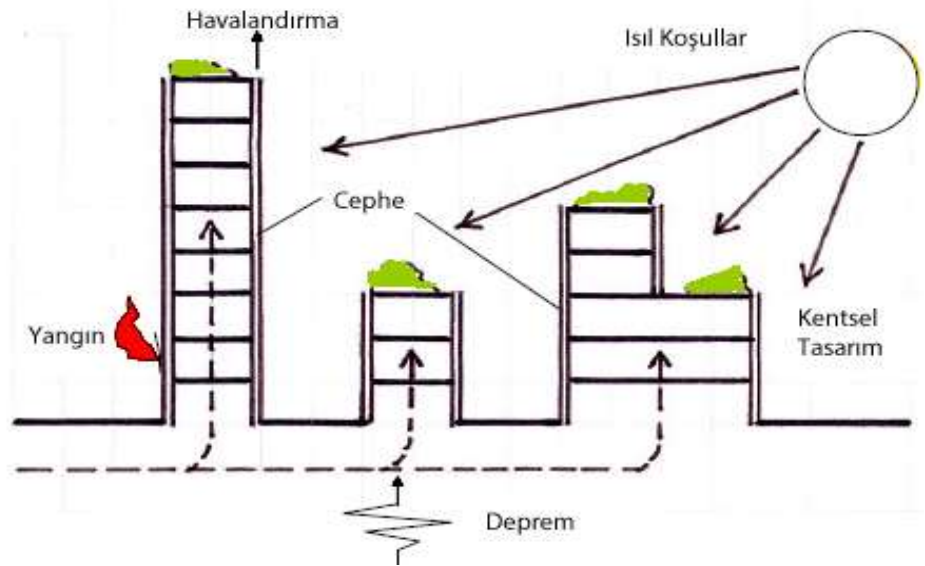
- Yapının işlevi (konut, işyeri)
- Yapının mülkiyeti (özel, kamu)
- Yapının yaşı
- Yapının bulunduğu yerdeki mevcut ve sonra uygulanacak imar mevzuatı
- Yapıyı inceleyen teknik heyetin onarım-güçlendirme tecrübesi
- Onarım-güçlendirme yapacak iş gücü ve malzemenin temini
- Bölgenin deprem aktivitesi
- Onarım-güçlendirmenin yapının kullanım fonksiyonuna getireceği kısıtlamalar
- Onarım-güçlendirme maliyeti ve süresi
- Onarım-güçlendirmenin olası depremler için yapıya kattığı dayanım
- Mevsim
- Psikolojik yaklaşım
- Yapının tarihi eser, anıt, sosyal ve kültürel özelliğidir (Doğan, 2020).

Dolayısıyla yapıya uygulanacak müdahale; hem deprem açısından statik performansın karşılanmasını sağlayacak dayanımı yapıya kazandırmalı hem de iyileştirmede kullanılacak ağır yıkım, hafriyat gibi tekniklerin yerine inşaat teknolojilerindeki ilerlemeler ve yenilikleri kullanarak teknik, ekonomik ve sosyal olarak kabul edilebilir bir sismik güçlendirmeyi sağlamalıdır. Ayrıca bu çalışmalar; tehlike ve risklerin belirlenmesi, analizi ve değerlendirilmesi ile başlayan; mekansal planlamadan, halkın, görevli ve yetkililerin eğitimi, bilgilendirilmesi ve bilinçlendirilmesine, yasa, yönetmelik gibi yasal dokümanların geliştirilmesine ve uygulamanın denetimine kadar çok geniş alanlara yayılan birbirlerinden farklı alan ve disiplinlerdeki faaliyetleri kapsar (Ergünay, 2009).

Midorigaoka-1 binasındaki sismik iyileştirme; yüksek performanslı yapı elemanlarıyla taşıyıcı sistemin takviye edilmesi ve depreme karşı entegre cephe sistemi ile yapının güçlendirilmesi şeklinde uygulanmıştır. Bu sistem: mimari tasarım, yapısal ve çevresel tasarımı bir araya getiren entegre cephe mühendisliği olarak tanımlanmaktadır. Böylece yapı cephesinde, mimari elemanlarla enerji kontrolü ve deprem iyileştirmesini birlikte sağlamak amaçlanmıştır. Entegre cephe sisteminde; bina kabuğu cephe tasarımı ve çevresel tasarım açısından birlikte ele alınmaktadır. Entegre cephe sistemi ile hem sismik hem de enerji iyileştirmesi yapıya uygulanmaktadır (Ergünay, 2009). Bu sistemde; mevcut ana bina cephesine entegre edilen yapısal elemanlar ile dış cephe tasarımının yanı sıra yapısal güçlendirme ve enerji kontrolü de sağlanabilmektedir. Entegre cephe sisteminin konsepti ve işlevi Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Entegre cephe sistemi konsepti (Takeuchi vd., 2006).

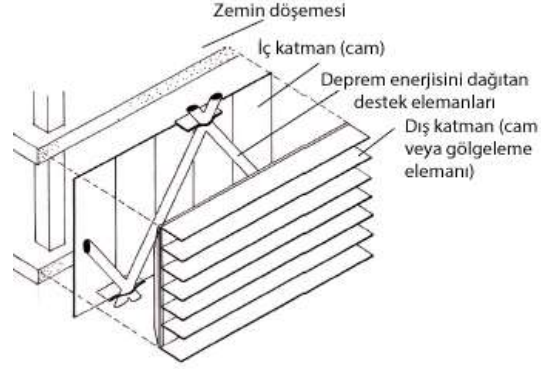


Şekil 6. Entegre cephe sisteminde bina kabuğunun işlevleri (Takeuchi vd., 2006).

2.3. Entegre Cephe Sistemi

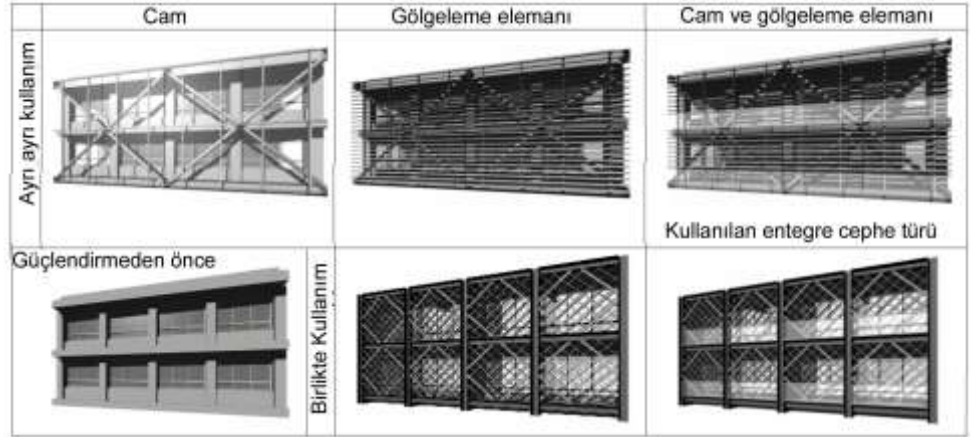
Entegre cephede; yatay yükleri karşılayan taşıyıcı elemanlar mevcut cephe kabuğuna monte edilmektedir. Deprem enerjisini absorbe eden takviye elemanları ile yapı güçlendirilmektedir. İyileştirmede kullanılan destek elemanları, dış katmanda gölgeleme elemanı ve/veya camla kaplanarak da yapının enerji kontrolü sağlanmaktadır (Takeuchi vd., 2006).

Bu sistemde; deprem etkilerini azaltmak, ana taşıyıcı sistemi korumak ve deprem yüklerine karşı mukavemet sağlamak için; burkulmaya dayanıklı ve histeretik davranışlı çelik çapraz destekler, güçlendirme elemanı olarak kullanılmaktadır (Takeuchi vd., 2006). Entegre cephe sisteminin bileşenleri Şekil 7 ' de verilmiştir.

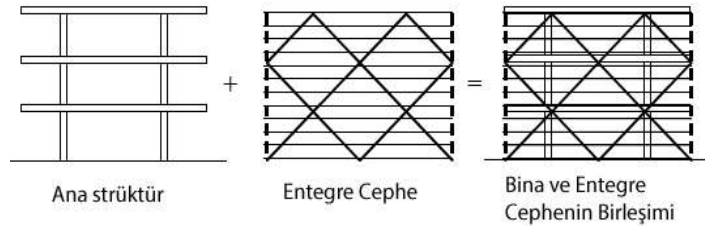


Şekil 7. Entegre cephe sisteminin bileşenleri (Takeuchi vd., 2006).

Entegre cephe sisteminde; takviye elemanları, camla veya gölgeleme elemanları ile ayrı ayrı kaplanarak veya hepsinin kombinasyonu ile birlikte kullanılabilir. Yapının olduğu bölgedeki iklim koşullarına göre enerji kontrolü sağlamak için farklı konseptlerde sistem oluşturulmaktadır. Örneğin; Avrupa’da çift cam entegre cephe sistemi daha çok tercih edilirken, Japonya’da (subtropikal iklim) hem gölgeleme elemanı hem de camın birlikte kullanıldığı entegre cephe sistemi tercih edilmiştir (Takeuchi vd., 2006). Entegre cephe sisteminin uygulama örnekleri Şekil 8’de, Midorigaoka-1 yapısına uygulanan entegre cephe modeli Şekil 9’de verilmiştir.

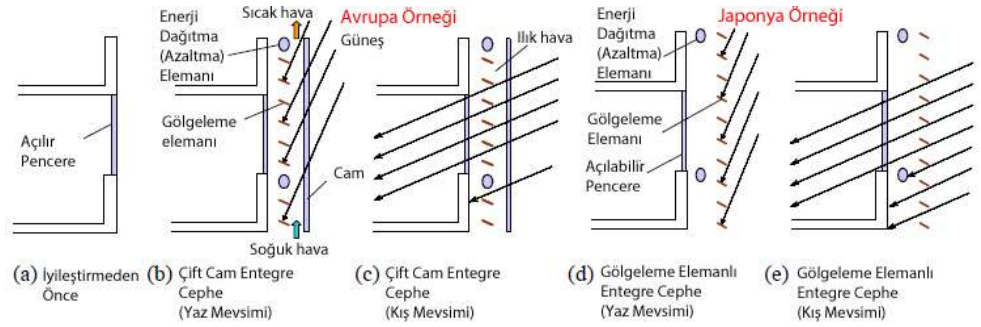


Şekil 8. Entegre cephe sisteminin yapı cephesine uygulama örnekleri (Takeuchi vd., 2006).



Şekil 9. Midorigaoka-1 yapısına uygulanan entegre cephe modeli (Takeuchi vd., 2006).

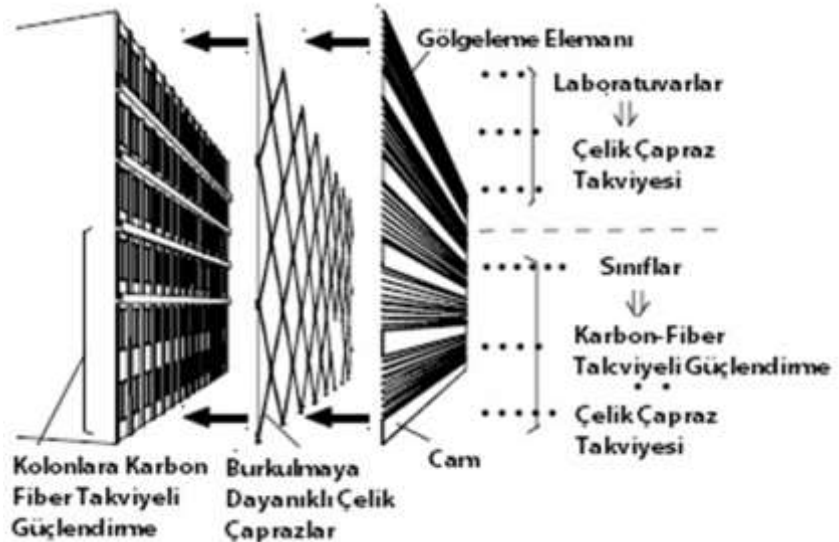
Avrupa’da kullanılan çift camlı entegre cephe türünde, kış aylarında ısıdan kazanç sağlamak amaçlandığı için, bu sistem; yaz aylarında klima gibi iklimlendirme ve havalandırma ekipmanları gerektirmektedir. Japonya’da uygulanan gölgeleme elemanlı + camlı entegre cephe sisteminde ise; iklim etkisine göre yaz aylarında gölgeleme, kış aylarında ısı kaybını azaltma sağlanabilmektedir. Bu nedenle Japonya iklimi açısından binada; gölgeleme elemanı + camlı entegre cephe sistemi tercih edilmiştir (Takeuchi vd., 2006). Entegre cephe sisteminin mevsimlere göre enerji kontrolü Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. Entegre cephe ile mevsimlere göre enerji kontrolü (Takeuchi vd., 2006).

2.4. Midorigaoka-1 Binasında Sismik Güçlendirme ve Enerji İyileştirilmesi

Midorigaoka-1 binasının kolonları, 1968 Tokachi depreminde, sismik yüklerle karşı gerekli dayanım performansını sağlayamamıştır. Doğu-batı doğrultusundaki taşıyıcıların mukavemet kapasitesi, hedef deprem indeks değeri olan 0,7'den çok daha düşüktür ve ikinci kattaki döşemenin minimum hedef deprem indeks değeri 0,2'dir. Bu nedenle, bu kattaki döşemenin (2.kat) çökme tehlikesi vardır. Binaın alt katları (1.kat ve 2.kat), sınıf ve atölye işlevinde kullanıldığından, yazın boş olan ve cephedeki camların değiştirilmesi mümkün olan hacimlerdir. Bu nedenle, bu katlardaki kolonlar, taşıyıcı sistemin dayanım kapasitesinin artırılması için karbon fiber takviyeli levhalarla güçlendirilmiştir (Takeuchi vd., 2006). Midorigaoka-1 binasına yapılan güçlendirme uygulaması Şekil 11'de verilmiştir.

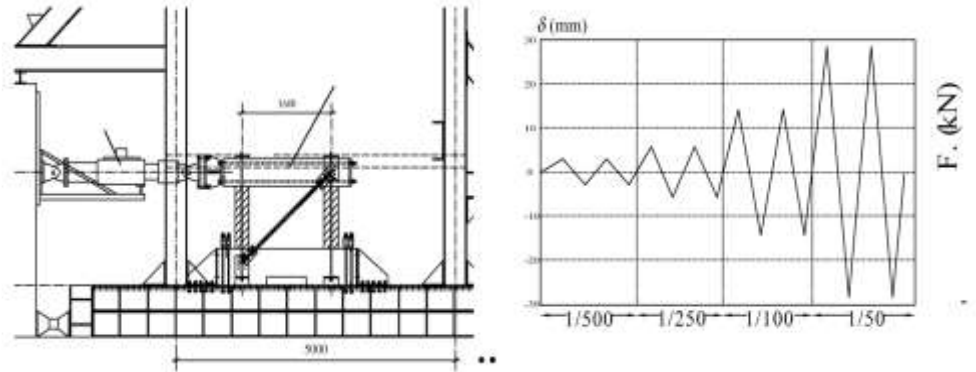


Şekil 11. Midorigaoka-1 binasında yapılan güçlendirme uygulaması (Takeuchi vd., 2006).

Ancak depreme karşı mukavemet yine de istenen seviyede sağlanamadığı için, burkulmaya dayanıklı payandalar ile yapı, aynı zamanda cepheden de desteklenmiştir. Bu payandaların dış katmanı ise gölgeleme elemanları ve camla kaplanmıştır. Böylece yapıda; cam + gölgeleme elemanlı entegre cephe sistemi uygulanmıştır. Burkulmaya dayanıklı payandalar (çelik çaprazlar), gereken mukavemeti sağlayan ve histeretik destek olarak (burkulmayı önleyen çelik çaprazların histeretik davranışları) enerjiyi absorbe eden destek elemanlarıdır (Takeuchi vd., 2006). Çelik çaprazlar (ÇÇ'ler) yapıya etkiyen yatay (rüzgar ve deprem) kuvvetlerin taşınmasında kullanılan ve eksenel yük taşıyan yapısal elemanlardır. Çelik çaprazlar, deprem bölgelerindeki yapılarda; güçlendirme için yaygın olarak kullanılan sistemlerdir. Burkulmaya dayanıklı çelik çaprazlar, sismik uygulamalar için yanal yüke dirençli bir sistem olarak ortaya çıkmıştır (Uang vd., 2004). Bu destek elemanları; deprem enerjisinin dengeli dağıtılarak sönümlenmesi ile, eksenel yükler altında burkulmaya karşı direnç gösterilmesini sağlamaktadır. Çelik çaprazlar, deprem enerjisinin absorbe edilmesini sağlayan sönümleyici işlevindedir (Clark vd., 1999). Bu elemanların kullanılacağı yapılardaki histeretik davranışlı desteklerin boyutlandırılması ve teknik tasarımları; bu açıdan önemlidir. Burkulmayı Engelleyen Çelik Çaprazlar (BEÇÇ'ler); burkulmayı engelleyen mekanizma (BEM) ve çekirdek elemandan (ÇE'den) meydana gelmektedirler. Çekirdek eleman; eksenel basınç kapasitesi düşük olan çelik plaka veya profillerden meydana



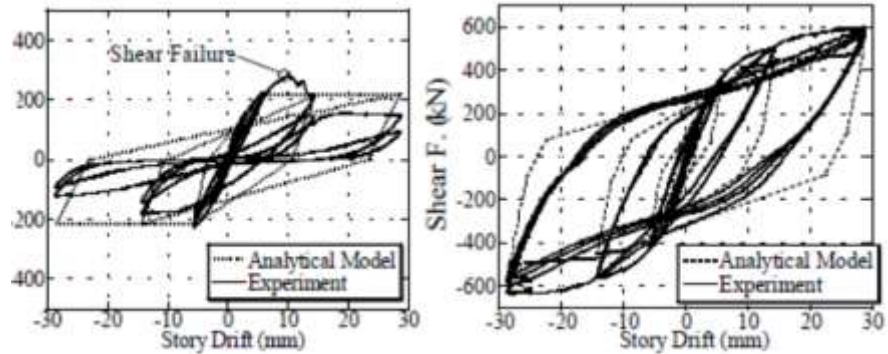
Şekil 14. İyileştirmeden önceki ve sonraki üç boyutlu modeller (Takeuchi vd., 2006).



Şekil 15. Test konfigürasyonu ve yükleme testleri (Takeuchi vd., 2006).

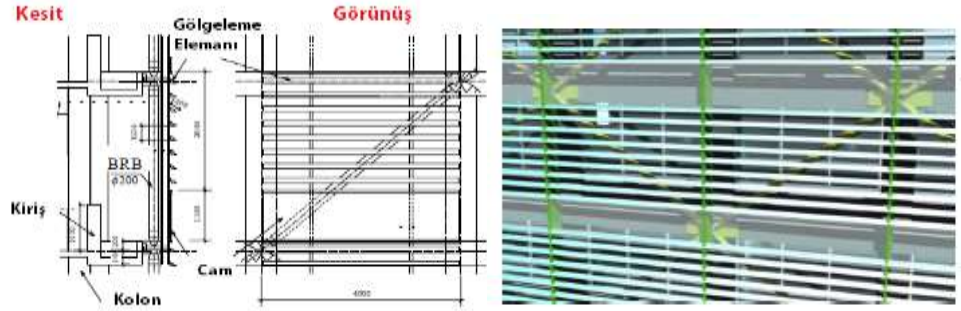
Yapının 2. kat çerçeve sisteminin yük taşıma testlerine göre, iyileştirmeden önce 2.kat çerçeve sistem; yeterli kesme dayanımı göstermezken, iyileştirmeden sonra çerçeve sistem yeterli kesme dayanımını sağlayarak, stabil histeretik döngüler göstermiştir (Şekil 16), (Takeuchi vd., 2006).

Şekil 16. Analitik model ve testlere göre iyileştirmeden önce (solda) ve iyileştirmeden sonraki (sağda) ölçüm sonuçları (Takeuchi vd., 2006).



Yapıda; deprem için iyileştirme çalışmalarının yanı sıra çevresel etkiler ve ısı koşullarında göz önüne alınmıştır. Deprem iyileştirmesi için kullanılan burkulumaya dayanıklı çelik çapraz desteklerin, dış katmanda cam ve gölgeleme elemanı ile kaplanması ile yapıda; kış ve yaz mevsimlerine göre pasif ısıtma ve soğutma sağlanmıştır. Çelik çapraz desteklerin dışına eklenen gölgeleme elemanları; her katın üst kısımlarına monte edilmiştir. Cam paneller ise her katın alt kısmına yerleştirilmiştir. Böylece çelik çapraz destekler, yaz güneşi ve yağmur etkilerinden korunurken, aynı zamanda gölgeleme elemanları, yazın iç mekana giren ışınları keserek fazla ısıyı engellemektedir. Kışın ise, gölgeleme elemanlarının arasındaki boşluklardan iç mekana güneş ışınları alınmaktadır. Ayrıca her kat silmesine yerleştirilen cam katmanla; bina yüzeyi ısıtılmaktadır. Bu şekilde çift cam etkisi oluşturularak; kışın ısıdan kazanç sağlanmaktadır. Her gölgeleme elemanı, güneş ışığını yapı içerisine alacak şekilde ayarlanabilmektedir (Şekil 17), (Takeuchi vd., 2006).

Şekil 17. Yapının entegre cephe sistemindeki cam + gölgeleme elemanının kesit ve görünüşü (Takeuchi vd., 2006).

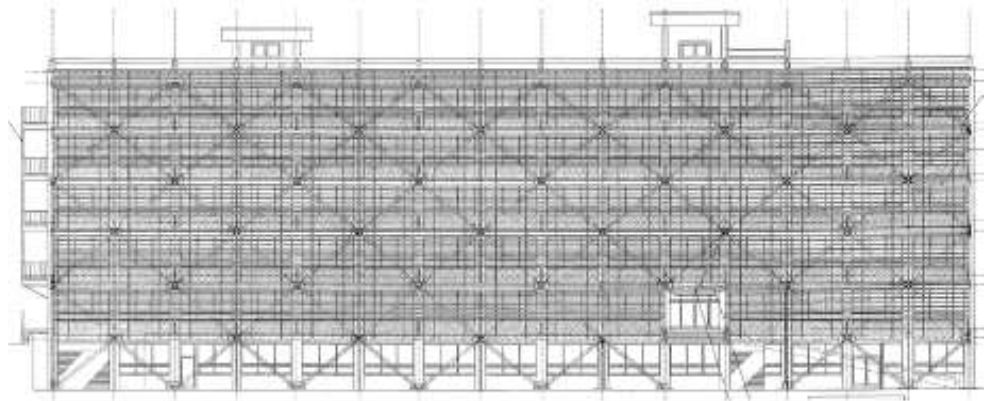


Gölgeleme elemanı, ışığa göre ayarlanabildiği için, farklı mevsimlerde ısıtma-soğutma etkilerine karşı yapıdaki enerji etkinliğine katkı sağlamaktadır. Entegre cephe sisteminde cam ve gölgeleme elemanı birlikte kullanıldığından, yaz aylarında dış cam iklim etkisiyle ısındığında, dış gölgeleme elemanları yaz sıcaklığını etkili bir şekilde azaltmaktadır. Kışın ise, cam ve gölgeleme elemanı ile gün ışığı içeri alınmaktadır (Şekil 18), (Şekil 19), (Takeuchi vd., 2006).

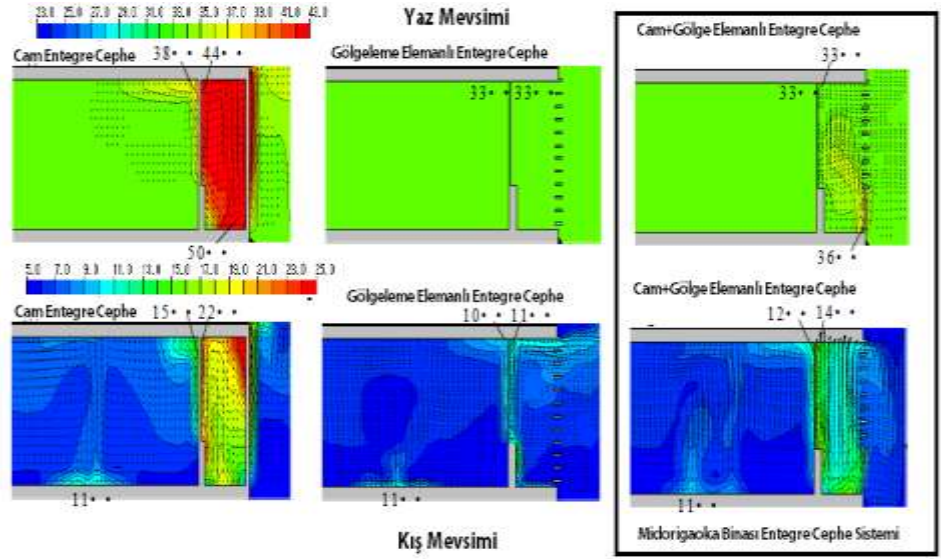
Şekil 18. Yapının iyileştirmesinde kullanılan gölgeleme elemanı + camlı entegre cephe sistemi (Takeuchi vd., 2006).



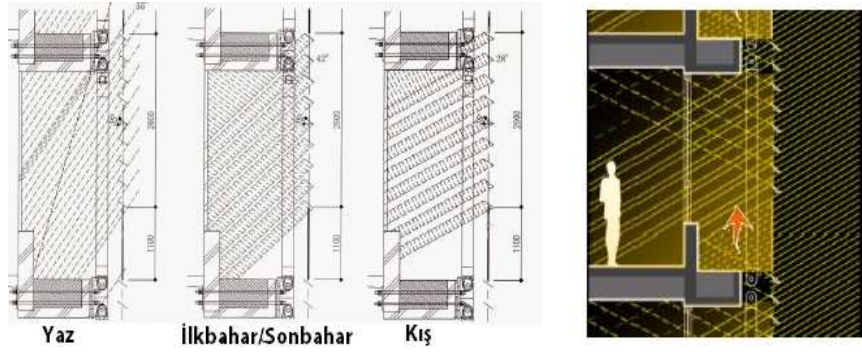
Şekil 19. Yapı cephesinin iyileştirmeden sonraki kesiti (Takeuchi vd., 2006).



Isıtma ve soğutma analizleri ile entegre cephenin bütün çeşitleri analiz edilmiştir. Bu analize göre; her mevsim için Tokyo'daki iklim koşullarına uygun olan cam + gölgeleme elemanlı entegre cephe sistemi; Midorigaoka-1 yapısında kullanılmıştır (Şekil 20), (Şekil 21), (Takeuchi vd., 2006).



Şekil 20. Mevsimlere göre entegre cephenin ısıtma-soğutma analizleri (Takeuchi vd., 2006).



Şekil 21. Entegre cephedeki gölgeleme elemanının ışığa göre refleksi (Takeuchi vd., 2006).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

İncelenen örnek yapıdan elde edilen olumlu ve olumsuz yönler, çalışmanın bu bölümünde yer verilmiştir.

Entegre cephe, yapılarda sismik güçlendirme ve enerji iyileştirmesinin birlikte uygulanabilmesine olanak sağlayan bir sistemdir. Midorigaoka-1 yapısında; entegre cephe sistemi ile yapının cephesine yapılan sismik iyileştirme ile hem yapının olası deprem tehlikesine karşı güçlendirmesi yapılmış, hem de Japonya'nın iklim koşullarına göre pasif ısıtma-soğutmaya elverişli bir bina kabuğu oluşturularak enerji yönünden de iyileştirme sağlanmıştır.

Entegre cephe sisteminde, sismik iyileştirme bina kabuğuna monte edilen burkulumaya dayanıklı çelik çapraz payandalar ile gerçekleştirilmektedir. Bu payandaların dış katmanı ise, cam, gölgeleme elemanı veya her ikisinin kombinasyonu kullanılarak kaplanmaktadır. Çelik çaprazların dış katmanlarının kaplanması, hem malzemeyi dış etkilere karşı korumakta hem de yapı için enerji iyileştirmesi sağlamaktadır. Yapının bulunduğu iklime göre, dış cephedeki kaplama malzemesi değişmektedir. Daha soğuk iklimlerde entegre cephenin çift camlı türü uygulanırken, daha ılıman iklimlerde cam ve gölgeleme elemanının birlikte kullanıldığı entegre cephe türü tercih edilmektedir. Entegre cephe sisteminde hem sismik hem de enerji yönünden iyileştirmenin yapıya beraber uygulanması; ekonomik ve teknik müdahale açısından yararlı olmaktadır. Entegre cephe sisteminde iyileştirme müdahalesi yapının cephesine uygulandığı için; mevcut yapıya içeriden yapılacak ağır tadilatlar da azalmaktadır. Binanın sürekli kullanılmasını gerektiren durumlarda içeriden az müdahale yapılması sismik iyileştirmelerde önemli bir etken olabilmektedir. Bu nedenle, entegre cephe sisteminde; yapıya içeriden minimum düzeyde dokunularak; inşaat süresi, kullanıcıların taşınma süresi, iyileştirme maliyetleri ve ağır iş gücü açısından avantaj sağlanabilmektedir. Bunun yanı sıra, entegre cephe sistemi, sismik iyileştirme yönünden; yapıya istenilen performansı kazandırırken, enerji iyileştirmesi yönünden mevcut yapının bulunduğu alandaki iklimsel verilere göre de enerji kontrolü

sağlamaktadır. Entegre cephe sisteminde; mevcut yapının çevresindeki iklim etkileri dikkate alınarak farklı tiplerde entegre cephe uygulaması yapılabilmektedir. Ancak, çift camlı entegre cephe sistemi kışın ısıdan kazanç sağlamasına rağmen, yaz aylarında yapay havalandırma sistemlerine duyulan ihtiyacı artırabilmektedir. Gölgeleme elemanlı ve camlı entegre cephe sisteminde ise, yaz aylarında pasif soğutma, kış aylarında pasif ısıtma mümkün olduğundan, enerji etkinliği açısından bu entegre cephe sistemi diğer türevlerine göre daha fazla olumlu etkilere sahiptir.

Entegre cephe sisteminde dikkat edilmesi gereken bir husus, yapı kabuğunun estetik görünümüdür. Bu sistemde; yapıya en fazla müdahale dış cepheden gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, bina kabuğu tasarımları estetik açıdan kısıtlanmaktadır. Entegre cephe sisteminin uygulanacağı betonarme yapılarda; bu olumsuz ve olumlu etkiler göz önüne alınarak; iyileştirme müdahalesine karar verilmelidir. Entegre cephe sisteminin, Türkiye’de statik açıdan güçlendirilmesi gereken betonarme binalardaki sismik ve enerji iyileştirmeleri için kullanılabilecek alternatif, yenilikçi bir sistem olduğu düşünülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye gibi deprem bölgesi olan Japonya’daki Midorigaoka-1 yapısına uygulanan entegre sistemlerle hasarlı bir binanın; afet esnasında yıkılmasının önlenilebileceği görülmüştür. Başarılı bir sismik güçlendirme örneği olarak görülen Midorigaoka-1 yapısının, iyileştirmeden sonra yapılan analitik model ve deneylerinde; binanın yapısal performansının arttığı belgelenmiştir. İncelenen örnek vaka çalışmasının betonarme bir yapı olması nedeniyle, Türkiye’deki yapı stoğunun ağırlıklı olarak betonarme olduğu göz önüne alındığında, güçlendirme çalışmaları açısından bu iyileştirme uygulamasının bir farkındalık oluşturacağı düşünülmektedir. Betonarme yapılarda, deprem güçlendirmesinin, yapıya farklı, doğru ve yenilikçi müdahalelerle uygulanabileceği, bu iyileştirme müdahalesinde görülmüştür.

Doğal afetler, küresel ısınma ve sera etkisi gibi çevre sorunları göz önüne alındığında; sadece sismik güçlendirme açısından değil aynı zamanda enerji iyileştirmesi ve sürdürülebilirlik açısından da yenileme çalışmaları önem kazanmaktadır. Sürdürülebilirlik, genel olarak “gelecek nesillerin, kendi ihtiyaçlarını karşılayabilecekleri kapasiteden ödün vermeden mevcut ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri” olarak tanımlanmakta; sosyal, çevresel ve ekonomik üç başlık altında incelenmektedir (Plug and Play Tech Center, 2021; Karadoğan ve Karadayı Usta, 2021).

Günümüzde kullanılan mevcut yapılar, gelecekteki yapı stoğunun büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu bağlamda, yeniden yıkma ve inşa etme yerine teknik olarak mümkün durumlarda; sismik ve enerji iyileştirmesi yönünden, yapılara gerekli performansı sağlayan iyileştirme müdahalelerinin uygulanması; zaman, maliyet gibi birçok parametre açısından yararlı olacaktır.

İncelenen örnek vaka çalışması, enerji ve deprem iyileştirmesinin yapıya birlikte uygulanabileceğini göstermektedir. Entegre cephenin; sahip olduğu bu özellikleri ile betonarme binalardaki sismik ve enerji iyileştirmeleri için kullanılabilecek alternatif, yenilikçi bir sistem olduğu düşünülmektedir. Ancak deprem yıkımlarının önlenmesi için, hasarlı binalarda sismik güçlendirmenin; statik, ekonomik ve sosyal boyutları dikkate alınarak doğru bir yöntemle yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda; sismik iyileştirmelerde ve yapı sektöründeki diğer faaliyetlerde mimar ve mühendislerin birlikte çalışma gerekliliği önemlidir. Türkiye koşullarında, güçlendirme çalışmasının, projelendirilmesi, uygulanması, kontrolü gibi aşamalarında; sismik iyileştirme, yerel yapı teknikleri, topografya, iklim ve deprem koşulları, yapının niteliği, işlevi, özellikleri, hasar durumu, kullanıcı durumu gibi parametreler dikkate alınarak yapılmalıdır. Bu nedenle, entegre cephe sistemi Türkiye’deki mevcut koşulları ve özellikle iklim koşulları ön planda tutularak doğru bir yöntemle uygulanmalıdır. Bu sistemin, Türkiye’deki sismik güçlendirme çalışmaları için bir alternatif olabileceği düşünülmektedir.

Bu örnekteki gibi benzer güçlendirme çalışmalarının ve bu çalışmaların ülkemizdeki uygulanabilirliği hakkındaki tartışmaların, sektörel ölçekte ve ülke çapında yerel yönetimlerden, kullanıcılara kadar bu konudaki tüm paydaşlara; sismik, enerji iyileştirmesi

açısından yararlı bilgiler sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- AFAD (Afet ve Acil DurumYönetimi Başkanlığı).(2018). Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası. Erişim 26 Ekim 2021. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>.
- AFAD (Afet ve Acil DurumYönetimi Başkanlığı).(2021). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Erişim 26 Ekim 2021. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-bina-deprem-yonetmeliği>.
- Altay G, Güneyisi E M. (2005). Türkiye’de Yapısal Çelik Sektörü ve Yeni Gelişmeler, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Antalya, Türkiye, 22-24 Eylül 2005.
- Aoyama H. (1981). Outline of Earthquake Provisions in the Recently Revised Japanese Building Codes, Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 14 (2), 63–80.
- Building Letter, (1997). Building Center of Japan, Ministry of Construction, Tokyo, Japan.
- Clark P, Aiken I, Kasai K, Ko E, Kimura I. (1999). Design Procedures for Buildings Incorporating Hysteretic Damping Devices, Proceedings, 68th Annual Convention, Structural Engineers Association of California, Santa Barbara, California, October 1999.
- Doğan M. (2020). Betonarme Güçlendirilmenin Temel İlkeleri. Erişim 27 Mayıs 2020 <https://web.ogu.edu.tr/Storage/MizanDogan/Uploads/YOveG09032020.pdf>.
- Ergün, A. , Kürklü, G. & Başaran, V. (2012). Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin İncelenmesi ve Güçlendirilmesi Çalışmaları için Afyonkarahisar'dan Bir Hastane Örneği . Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi , 12 (2) , 1-11 . <https://dergipark.org.tr/en/pub/akufemubid/issue/1596/19830>
- Ergünay O. (2009). Doğal Afetler ve Sürdürülebilir Kalkınma, Deprem Sempozyumu, İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, Türkiye, 11-12 Kasım 2009.
- Gönülo O., & Altın, M. (2013). Binaların Enerji Etkinliği Bakımından İyileştirme Uygulamalarının Örnekler Üzerinden İrdelenmesi, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 17-20 Nisan 2013.
- Güder, İ. (2019). Türkiye’nin 510 yıllık deprem tarihi. Erişim 2 Şubat 2019. <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/turkiyenin-510-yillik-deprem-tarihi/1407096>.
- Gündoğay, A. , Ulutaş, H. & Tekeli, H. (2019). Mevcut atölye binalarının deprem güvenliğinin incelenmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi , 10 (2) , 755-768 . DOI: 10.24012/dumf.432136
- İlki, A., & Celep, Z. (2012). Earthquakes, Existing Buildings and Seismic Design Codes in Turkey”. Arab J Sci Eng, 37, 365–380.
- İnel, M. , Bilgin, H. & Özmen, H. B. (2007). Orta Yükseklikteki Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Afet Yönetmeliğine Göre Tayini. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi , 13 (1) , 81-89 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/pajes/issue/20516/218439>
- İnsapedia. (2020). 2018 Deprem Yönetmeliği Hakkında Bilgi. Erişim 1 Ekim 2020. <https://insapedia.com/tdy-2007-ile-tbdy-2018-arasindaki-farklar/>.
- Karadoğan, D. S., & Karadayı Usta, S.(2021).Küresel Salgın Döneminde Değişen Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamaları, Fenerbahçe Üniversitesi Tasarım, Mimarlık ve Mühendislik Dergisi, 1 (2), 88-95.
- Özçelik R, Dikiciaşık Y, Civelek K B. (2015). Yeni Nesil Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazların Histeretik Davranışları, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 14-16 Ekim 2015.
- Plug and Play Tech Center (2021). The Importance of Corporate Sustainability. Erişim 24 Mart 2021. <https://www.pluginandplaytechcenter.com/resources/corporate-sustainability/>.
- Reina P, Normile D. (1997). Fully Braced for Seismic Survival. Engineering Journal, AISC, 41(4), 155-175.
- Takeuchi T, Yasuda K, Iwata M. (2006). Studies on Integrated Building Facade Engineering with High-Performance Structural Elements. IABSE Symp. Rep., 92, 33–40.
- The World Bank. (2016). Okulları Uygun Ölçekte Afetlere Karşı Dayanıklı Hale Getirmek: Japonya

Örneği”. <http://documents.worldbank.org/curated/en/106581508166044618/Okullari-uygun-olcekte-afetlere-karsi-dayanikli-hale-getirmek-Japonya-ornegi>.

Uang C M, Nakashima M, Tsai K C. (2004). Research and Application of Buckling-Restrained Braced Frames”. Steel Structures, 4, 301-313.

Wikipedia. Midorigaoka-1 binasının lokasyonu. Erişim 27 Mayıs 2020. <https://en.wikipedia.org/wiki/Megoro>.