TÜRK DEPREM ARAŞTIRMA DERGİSİ
TURKISH JOURNAL OF EARTHQUAKE RESEARCH
AFAD

Seismic Protection Strategies in Buildings: An Architectural Perspective and Comparative Analysis

Zeynep Yılmaz [1], Murat Taş [2], Nilüfer Taş [2]

[1] Bursa Uludağ University, Institute of Science and Technology, Department of Architecture, 16059 Bursa, Türkiye
[2] Bursa Uludağ University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, 16059 Bursa, Türkiye

Keywords
Seismic architectural design, Traditional construction techniques, Seismic isolation

Highlights
*Use of structural and non-structural strategies in seismic architectural design
*Examination of traditional construction knowledge in terms of seismic resistance
*Isolation and flexibility approaches in architectural design

Aim
The aim of this study is to examine the architectural solutions developed from the past to the present to reduce earthquake damage

Location
--

Methods
The 'Comparative Analysis Method' and 'Historical Process Analysis' have been adopted in this research

Results
The study concludes that earthquake-resistant design extends beyond code compliance; it involves integrating technology with the structure's survival reflexes, informed by the collective memory of building culture

Supporting Institutions
The authors declared that this study has used no support data from other institutions

Financial Disclosure:
The authors declared that this study has received no financial support

Peer-review
Externally peer-reviewed

Conflict of Interest:
The authors have no conflicts of interest to declare

Manuscript
Review

Received: 22.01.2026
Revised: 21.05.2026
Accepted: 23.05.2026
Printed: 31.08.2026

DOI
10.46464/tdad.1869693

Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author
Zeynep Yılmaz
Email: 502512005@ogr.uludag.edu.tr

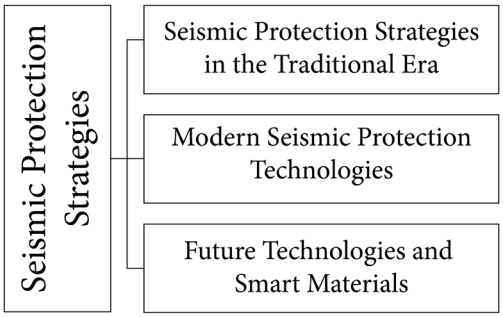


Figure
Classification of seismic protection strategies

How to cite
Yılmaz Z., Taş M., Taş N., 2026. Seismic Protection Strategies in Buildings: An Architectural Perspective and Comparative Analysis, Turk Deprem Arastirma Dergisi, 8(2), 430-438, DOI:10.46464/tdad.1869693.

TÜRK DEPREM ARAŞTIRMA DERGİSİ
TURKISH JOURNAL OF EARTHQUAKE RESEARCH
AFAD

Binalarda Sismik Koruma Stratejileri: Mimari Bakış ve Karşılaştırmalı Analiz

Zeynep Yılmaz [1], Murat Taş [2], Nilüfer Taş [2]

[1] Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, 16059 Bursa, Türkiye
[2] Bursa Uludağ Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 16059 Bursa, Türkiye

ÖZET
Deprem, mimari tasarımın ve yapı mühendisliğinin en kritik belirleyicilerinden biri olarak, tarih boyunca yapı formlarının ve malzeme tercihlerinin evrimleşmesinde rol oynamıştır. Bu çalışma geleneksel dönemden günümüze ve geleceğin teknolojilerine uzanan süreçte sismik koruma stratejilerinin gelişimini incelemektedir. Çalışma kapsamında; Anadolu vernaküler mimarisindeki Hımış/Bağdadi teknikleri ile Uzak Doğu mimarisindeki Shinbashira prensibinin enerji sönümleme kapasiteleri analiz edilmiştir. Geleneksel yöntemlerin esneklik ve süneklik esaslı yaklaşımları, modern sismik izolasyon ve pasif enerji sönümleyicilerin çalışma sistemleri, şekil hafızalı alaşımlar (SMA) ve kendini onaran beton gibi akıllı malzemelerin, geleceğin depreme dayanıklı yapı tasarımındaki potansiyel rolleri incelenmiştir. Yapılan literatür taraması ve vaka analizleri sonucunda; sismik tasarımın sadece dayanım odaklı yaklaşımdan, enerji yönetimi ve esneklik odaklı yaklaşıma doğru evrildiği ve geleceğin yapılarının hibrit sistemler üzerine kurgulanacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler
Sismik mimari tasarım, Geleneksel yapım teknikleri, Sismik izolasyon

Öne Çıkanlar
* Sismik mimari tasarımda yapısal ve yapısal olmayan stratejilerin kullanımı
* Geleneksel yapım bilgisinin sismik dayanım açısından incelenmesi
* Mimari tasarımda izolasyon ve esneklik yaklaşımları

Makale
Derleme

Geliş: 22.01.2026
Düzeltme: 21.05.2026
Kabul: 23.05.2026
Basım: 31.08.2026

DOI
10.46464/tdad.1869693

Sorumlu yazar
Zeynep Yılmaz
E-posta:
502512005@ogr.uludag.edu.tr

Seismic Protection Strategies in Buildings: An Architectural Perspective and Comparative Analysis

Zeynep Yılmaz [1], Murat Taş [2], Nilüfer Taş [2]

[1] Bursa Uludağ University, Institute of Science and Technology,, Department of Architecture, 16059 Bursa, Türkiye
[2] Bursa Uludağ University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, 16059 Bursa, Türkiye

ABSTRACT
Earthquakes have historically acted as critical determinants in the evolution of architectural forms. This study examines seismic protection strategies ranging from traditional techniques to future technologies. Specifically, it analyzes the energy dissipation capacities of Anatolian Hımış/Bağdadi and the Far Eastern Shinbashira principle. The research investigates traditional ductility-based approaches, modern seismic isolation, and the potential of smart materials like Shape Memory Alloys (SMA) and self-healing concrete. Based on literature reviews and case studies, it is concluded that seismic design has shifted from a strength-based paradigm to one focused on energy management and flexibility, with future structures predicated on hybrid systems.

Keywords
Seismic architectural design, Traditional construction techniques, Seismic isolation

Highlights
* Use of structural and non-structural strategies in seismic architectural design
* Examination of traditional construction knowledge in terms of seismic resistance
* Isolation and flexibility approaches in architectural design

Manuscript
Review

Received: 22.01.2026
Revised: 21.05.2026
Accepted: 23.05.2026
Printed: 31.08.2026

DOI
10.46464/tdad.1869693

Corresponding Author
Zeynep Yılmaz
Email:
502512005@ogr.uludag.edu.tr

1. GİRİŞ

Yerkabuğunda meydana gelen kırılmaların yarattığı titreşimlerin, dalgalar halinde yayılarak yüzeyi hareket ettirmesi deprem olarak tanımlanmaktadır. İnsanoğlunun sarsılmaz olarak düşündüğü toprağın aslında hareketli olduğunu hatırlatan bu doğa olayı, üzerindeki yapıları etkileyerek can ve mal kaybına neden olma riski taşır (KRDAE-BDTİM 2000).

Bir yapının deprem performansı; geometrisi, malzeme kalitesi ve işçiliği kadar, mimari tasarım sürecinde kurgulanan kütle, rijitlik ve süneklik gibi temel parametrelere de doğrudan bağlıdır (Charleson 2008). Bu bağlamda depreme dayanıklı yapı tasarımı, mühendislik hesaplamalarından önce mimari konsept aşamasında başlayan disiplinler arası bir olgudur.

Tarihsel süreç incelendiğinde, insanoğlunun deprem riskine karşı geliştirdiği reflekslerin, dönemin malzeme teknolojisi ve yapım bilgisi ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Geleneksel mimaride, özellikle Anadolu'daki ahşap karkas yapılarda ve Uzak Doğu mimarisinde, deprem kuvvetine sadece "direnmek" yerine, yapının esnekliği sayesinde sismik enerjiye uyum sağlamak ve enerjiyi sönümlemek ilkesi benimsenmiştir (Doğangün ve diğ. 2006). Bu deneyimsel yaklaşımlar, malzemenin hafifliği ve birleşim noktalarının hareket kabiliyeti üzerine kuruludur. Sanayi devrimi ve betonarme teknolojisinin gelişimiyle birlikte, yapı üretiminde "ağır ve rijit" sistemler sıklıkla kullanılır olmuş ancak yaşanan büyük depremler, yalnızca mukavemetin bir yapının güvenliğini sağlamak için yeterli olmadığını açığa çıkarmıştır. Günümüz modern deprem mühendisliğinde ise sismik izolasyon ve pasif enerji sönümleyiciler gibi teknolojilerle, yapının yer hareketinden ayrılması ve oluşacak hasarın azaltılması hedeflenmektedir.

Bu çalışmanın amacı; geçmişten günümüze deprem zararlarının azaltılması amacıyla geliştirilen mimari çözümleri incelemek, dünya çapında geleneksel yöntemlerin (hımış, bağdadi, shinbashira vb.) felsefesi ile modern teknolojilerin performansı arasındaki ilişkiyi ve teknolojik gelişimi ortaya koymaktır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma, mimari tasarımda deprem güvenlik stratejilerinin tarihsel gelişimini ve teknolojik evrimini inceleyen teorik bir araştırma niteliğindedir. Çalışmanın kurgusu, mevcut literatürün sistematik olarak taranması, sınıflandırılması ve karşılaştırmalı analizi üzerine temellendirilmiştir.

2.1) Materyal

Araştırmanın temel materyalini, konuyla ilgili ulusal ve uluslararası veri tabanlarında yer alan akademik makaleler, lisansüstü tezler, sempozyum bildirileri ve teknik kitaplar oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen birincil kaynaklar şunlardır:

- Geleneksel yapı teknolojileri, Anadolu vernaküler mimarisi (hımış, bağdadi) ve Uzak Doğu mimarisi (pagoda) üzerine yapılmış çalışmalar.
- Yönetmelik ve standartlar.
- Vaka analizleri: Sismik izolasyon, ayarlı kütle sönümleyiciler ve şekil hafızalı alaşım teknolojilerinin kullanıldığı yapılara ait proje verileri.

Veri toplama sürecinde; "geleneksel deprem mimarisi", "hımış yapı davranışı", "ahşap karkas yapılar", "sismik izolasyon", "mimari form ve deprem", anahtar kelimeleri kullanılarak literatür taraması yapılmıştır.

2.2) Yöntem

Araştırmada "Karşılaştırmalı Analiz Yöntemi" ve "Tarihsel Süreç Analizi" benimsenmiştir. Elde edilen veriler üç aşamada değerlendirilmiştir:

- **Sınıflandırma:** İlk aşamada, taşıyıcı sistem stratejileri "Geleneksel ", "Modern" ve "Geleceğin Teknolojileri "olmak üzere üç ana kategoriye ayrılmıştır.
- **Yapısal Davranış Analizi:** Seçilen örneklemler; süneklik, enerji yutma kapasitesi, periyot değişimi ve kütle-rijitlik ilişkisi parametreleri üzerinden irdelenmiştir.
- **Sentez ve İlişkilendirme:** Son aşamada, geleneksel yöntemlerin çalışma prensipleri ile modern teknolojiler arasındaki kavramsal benzerlikler ve farklılıklar ortaya konulmuştur. Geleneksel sistemlerin "yaşam koruma" performansı ile modern sistemlerin "hemen kullanım" performansı arasındaki evrim ve geleceğin teknolojileri ile gelecekte kullanılabilecek yöntemler incelenmiş, neden-sonuç ilişkisi içinde yorumlanmıştır.

3. DEPREM ve MİMARİ TASARIM İLİŞKİSİ

Depreme dayanıklı yapı üretimi, genel olarak inşaat mühendisliğinin bir alt disiplini olarak görülse de yapının sismik davranışı büyük oranda mimari tasarımın ilk aşamalarında belirlenmektedir. Bir yapının kütle dağılımı, taşıyıcı sistem geometrisi, plan şeması ve düşeydeki sürekliliği, o yapının deprem yükleri altında nasıl bir deformasyona uğrayacağını belirleyen temel faktörlerdir. Akıncıtürk (2003)'e göre, depreme dayanıklı mimari tasarım, yönetmeliklerin yalnızca zorunlu kurallar bütünü olarak değil, tasarımı yönlendiren temel bir bilgi altyapısı olarak ele alınmasını gerektirir. Mimarın, özellikle betonarme yapılarda taşıyıcı sistem kararlarını tasarımın ilk aşamalarından itibaren inşaat mühendisleriyle eşgüdüm içinde geliştirmesi hem mekânsal bütünlük hem de yapısal güvenlik açısından kritik önem taşır. Taşıyıcı sistemin sonradan mimari tasarıma uyarlanması, yapıda düzensizliklere, statik açıdan sakıncalı çözümlere ve mimari nitelik kaybına yol açabilmektedir.

3.1) Yapısal Düzensizlikler ve Formun Etkisi

Mimari formun sadeliği ve simetrisi, deprem performansını artıran en önemli parametrelerden biridir. Yapının deprem sırasında daha iyi davranması için plan boyutlarının birbirine yakın olması ve mümkün olduğunca simetrik olması istenir. Planda simetrik olmayan, L, T veya H tipi geometrilere sahip yapıların, deprem sırasında köşe bölgelerinde meydana gelebilecek aşırı kuvvetler nedeniyle hasar görme olasılıkları yüksektir (Tüzün ve Vuran 2011).

Bununla birlikte, düşey doğrultudaki süreklilik de en az plan düzensizlikleri kadar önemlidir. Özellikle binaların zemin katlarında ticari kullanım amacıyla duvarların kaldırılması veya kat yüksekliğinin artırılması sonucu oluşan 'Yumuşak Kat', yapıların deprem enerjisini sönümleyemeden ani göçmesine neden olan yaygın bir mimari tasarım hatasıdır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) kapsamında

da kurallara bağlanan bu düzensizlikler, mimari estetik kaygılar ile strüktürel gerekliliklerin beraberce düşünülmesi gerektiği kritik noktayı oluşturmaktadır.

3.2) Ağırlık ve Eylemsizlik Kuvvetleri

Deprem kuvveti, Newton'un ikinci yasası gereği yapının kütlesi ile doğru orantılıdır. Yapı ne kadar ağır ise, deprem sırasında maruz kalacağı eylemsizlik kuvveti o kadar büyük olacaktır. Bu bağlamda mimari tasarımda kullanılan malzeme seçimleri hayati önem taşır. Geleneksel mimaride ahşap gibi hafif malzemelerin tercih edilmesi, yapının maruz kaldığı sismik yükü doğal olarak azaltırken; modern mimaride ağır betonarme kütlelerin ve geniş açıklıkların tercih edilmesi, sismik talebi artırmaktadır (Charleson 2008).

4. GELENEKSEL DÖNEMDE SİSMİK KORUMA STRATEJİLERİ

Modern öncesi dönemde inşa edilen yapılar incelendiğinde, yapıları inşa edenlerin matematiksel hesaplamalara sahip olmasalar da yüzyıllar süren deneme-yanılma süreçleri sonucunda "doğayla inatlaşmayan" ampirik çözümler geliştirdikleri görülmektedir. Geleneksel mimaride temel amaç, binanın tamamen yıkılmasını engellemektir bu esnada yapı hasar alabilir, deprem dolayısıyla çıkan enerjiyi kontrollü bir şekilde sönümlemesi amaçlanır. Bu yaklaşım, günümüz modern deprem yönetmeliklerinin de çıkış noktasını oluşturmaktadır.

4.1) Geleneksel Anadolu Mimarisi: Hımış ve Bağdadi Teknikleri

Geleneksel ahşap karkas yapım tekniği, Türkiye'nin, deprem riskinin de yoğun olduğu Kuzey ve Batı Anadolu, Marmara Bölgesi ve Orta Anadolu'nun kuzey kuşağında yaygın olarak uygulanmıştır (Aksoy ve Ahunbay 2005). Ahşap çatkı (iskelet) ile onu oluşturan dikme ve kirişler arasındaki boşlukların doldurulması ya da kaplanmasıyla oluşturulan bu yapılar, hımış, bağdadi ve ahşap kaplamalı olarak sınıflandırılırlar. Taş bir temel üzerine kurulan ahşap iskeletin arasına kerpiç ya da tuğlalar doldurulmasıyla oluşturulan yapılar "hımış" olarak adlandırılmıştır (Hasol 1979) (Şekil 1b).

Kagir dolgulu ahşap çerçeve olarak tanımlanan hımış tekniği, antik Roma'dan günümüze kadar dünyanın birçok yerinde tarih boyunca var olan ortak bir yapı geleneğidir (Doğangün ve diğ. 2006). Hımış yapılarda, özellikle 30-45 cm aralıklarla yerleştirilen ahşap dikmeler arasına eğik düzende yerleştirilen kerpiç blok dolguların kullanıldığı örneklerde, depreme karşı daha dayanıklı bir davranış gözlemlenmektedir. Kerpiç bloklar arasında oluşan sürtünme kuvvetleri, deprem sırasında ortaya çıkan yatay kesme kuvvetlerinin etkisini azaltmakta ve yapının depremi düşük hasarla ya da hasarsız atlatmasına katkı sağlamaktadır. Deprem enerjisinin, eğik yerleştirilen kerpiç bloklar arasındaki sürtünme mekanizmasıyla sönümlenmesi, yapıda enerji birikimini engelleyen önemli bir etki yaratmaktadır (Ataman 2007).

Bunun yanı sıra, "Bağdadi" olarak bilinen ve ahşap iskeletin üzerine 2-3 cm genişlikte çakılan çıtaların üzerine sıva yapılmasıyla oluşturulan hafif bölme duvarlar (Hasol 1979), yapının toplam ağırlığını azaltarak deprem yüklerini minimize etmektedir (Şekil 1a). Safranbolu ve İstanbul'daki geleneksel konutlar incelendiğinde, zemin katların kagir (taş/yığma), üst katların ise ahşap karkas olarak inşa edilmesi, kütle merkezini aşağı çekerek devrilme riskini azaltan bilinçli bir mühendislik sezgisini yansıtmaktadır (Aksoy ve Ahunbay 2005).

a)



b)



Şekil 1: *a) Artvinde Bağdadi Duvarlı Bir Ev (Başkan 2008), b) Trabzonda Hımış Bir Yapı (Zeynep Yılmaz'ın kişisel arşivi)*

Figure 1: *a) A House with Bağdadi Walls in Artvin (Başkan, 2008), b) A Hımış Structure in Trabzon (Zeynep Yılmaz's personal archive)*

4.2) Uzak Doğu Teknikleri: Japon Pagodaları ve Shinbashira

Deprem kuşağında yer alan Japonya'da, çok katlı ahşap pagodaların şiddetli depremlere rağmen yüzyıllardır yıkılmadan ayakta kalması, modern mühendislik için merak uyandıran bir araştırma konusu olmuştur. Bu yapıların başarısındaki kritik eleman yapının merkezinde asılı duran veya zemine oturan, ancak kat kirişlerine rijit bir şekilde bağlanmayan "Shinbashira" yani Merkezi Direk sistemidir. Shinbashira, yapının yanal hareketi sırasında katların aksi yönünde salınım yaparak bir tür dengeleyici görevi görmektedir. Charleson (2008)'e göre bu sistem, yapının doğal titreşim periyodunu değiştirmekte ve rezonans etkisini önlemektedir. Ayrıca pagodalarda kullanılan Kigumi (çivisiz geçme) detayları, birleşim noktalarının deprem anında dönmesine ve esnemesine izin vererek yapının kırılmadan enerji yutmasını sağlamaktadır (Şekil 2a). Shinbashira prensibi, günümüzde

gökdelenlerde rüzgâr ve deprem salınımlarını azaltmak için kullanılan "Ayarlı Kütle Sönümleyiciler"in tarihsel öncüsü olarak kabul edilmektedir.

Modern zamanda yapılan yüksek binalarda bu prensibin hala kullanıldığı görülmüştür. 'Tokyo Skytree' yapısı, Shinbashira tekniğinin temel alınıp birçok son teknoloji teknik ile harmanlandığı yeni bir yorumu olarak örnek gösterilebilir (Şekil 2b).

Üç ana parçadan oluşan bağımsız bir sistemdir. Yapının temel felsefesi, her bölümün sarsıntılara farklı tepki vererek enerjiyi sönümlemesidir. Kule, yükseklik seviyelerine göre farklı bağlantı stratejileri kullanır: 0-125 metre arası (Temel ve Alt Gövde) bölümde iç beton çekirdek ve dış çelik yapı birbirine sıkıca bağlıdır. "Ağaç kökü" mantığıyla tasarlanan özel plakalar sayesinde zeminle güçlü bir bütünlük sağlanarak rüzgâr yüklerine karşı maksimum direnç oluşturulmuştur. 125-375 metre (Orta Gövde) bölümünde iki yapı birbirine yağ damperleri ile bağlanmıştır. Bu esneklik, sarsıntıların kule boyunca şiddetlenerek artmasını (amplifikasyon) engeller. 375 metre üstü (Tepe) bölümde ise en üst kısım hem zemin titreşimlerine hem de sert rüzgarlara karşı tamamen esnek bir yapıda tasarlanmıştır. Geleneksel mimarinin modern mühendislikle birleştiği bu strateji, bir deprem anında kuleye binen sismik enerjinin %40 oranında etkisiz hale getirilmesini sağlar (Bock 2011).

a) b)



Şekil 2: *a) Horyu-ji Tapınağı'ndaki beş katlı pagoda (Nakahara ve diğ. 2000), b) Tokyo Skytree kulesinin genel görünümü (Konishi ve Emura 2015)*
Figure 2: *a) The Five-Storey Pagoda at Horyu-ji Temple (Nakahara et al. 2000), b) General View of Tokyo Skytree (Konishi and Emura 2015)*

5. MODERN SİSMİK KORUMA TEKNOLOJİLERİ:

Deprem yüklerini kontrol altına alarak can ve mal kaybını en aza indirmek amacıyla modern mühendislikte öne çıkan üç temel yaklaşım; konvansiyonel yöntemler, sismik izolasyon ve pasif enerji sönümleyicileri bu bölümde incelenmektedir.

5.1) Konvansiyonel Yöntemler

Yapıların artan yüksekliği ile ağırlıkları yani yükü artmaktadır. Bu büyük yüke ilave olarak meydana gelebilecek yanal yük (deprem, rüzgâr vs.) etkileriyle oluşabilecek ötelenmelere karşı yapının yönetmeliklerce belirlenen deplasman sınırını aşmaması için rijit davranabilmesi istenir. Bu rijitliği sağlayabilmesi için tasarımda en etkili yöntem betonarme perde ilavesidir (Efe ve Bedirhanoğlu 2024).

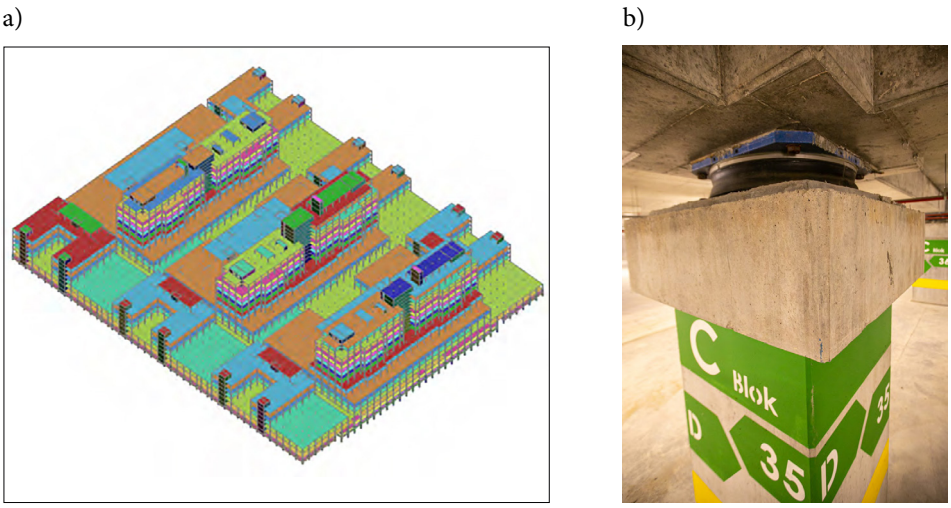
Betonarme perde duvarlar, donatı detayları basit olduğu için nispeten kolay inşa edilir, binanın tabanından çatısına kadar uzanan ve yanal kuvvetlere karşı yüksek rijitlik sağlayan elemanlardır. Doğal rijitlikleri, katlar arası yatay sapmaları ve dolayısıyla depremin yapısal ve yapısal olmayan elemanlara verdiği hasarı en aza indirir (Charleson 2008).

5.2) Sismik İzolasyon

Sismik izolasyon kavramı yüz yıldan daha eski bir kavramdır. İlk patent 1909 yılında, yük taşıyan duvarları temellerinden izole etmek için talk pudrası öneren bir İngiliz doktor tarafından alınmıştır. Sismik izolasyonun gerçek projelere uygulanması 1970'lerin sonlarına kadar başlamamıştır (Charleson 2008). Geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapıların şiddetli yer hareketlerine karşı korunması genellikle yüksek süneklik kapasitesi veya yüksek dayanım ve rijitlik sağlanarak gerçekleştirilir. Bu yaklaşımlara alternatif olarak geliştirilen "sismik izolasyon" tekniğinde ise temel strateji farklıdır. Bu yöntemde, yapı tabanına yerleştirilen esnek ve enerji sönümleyici elemanlar sayesinde yapının doğal titreşim periyodu uzatılır. Böylelikle, zeminden üst yapıya aktarılan sismik kuvvetlerin ve ivmelerin azaltılması hedeflenir (Şengel ve diğ. 2009). Yapı boyunca sismik dalgalar olarak ilerleyen büyük deprem enerjisine karşı, üst yapıya binen yükü hafifletmek ve sismik dayanıklılığı optimize etmek için temel yalıtımı kritik bir rol oynar. Bu gereklilik nedeniyle T.C. Sağlık Bakanlığı, yüksek riskli bölgelerdeki şehir hastanelerinde temel izolatörlerinin kullanımını zorunlu tutmuştur. Bu sistem binayı zeminden mekanik olarak ayırarak çalışır, böylece sismik yük altında izolatörler enerjiyi yutar ve binanın zeminden bağımsız ve güvenli bir şekilde hareket etmesini sağlar (Gogus ve Zekioğlu 2021).

Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi sahip olduğu 2068 sismik izolatör ile dünyanın en büyük temel izolasyonlu yapısıdır. Tasarımı, binanın sadece ayakta kalmasını değil,

2.500 yılda bir gerçekleşebilecek "en büyük deprem" sonrasında bile ameliyatların ve tedavilerin kesintisiz devam edebilmesini sağlayacak şekilde yapılmıştır. Hastane, sismik izolatörleri sayesinde tıpkı raylar üzerinde kayan bir yapı gibidir; yer sarsılsa da binanın üst kısmı bu sarsıntıyı bir geminin dalgalar üzerinde salınması gibi yumuşak bir şekilde karşılayarak içindeki hayatı ve kritik tıbbi operasyonları koruma altına alır (Gogus ve Zekioğlu 2021) (Şekil 3).



Şekil 3: *a) Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi(Gogus ve Zekioğlu 2021), b) Sismik İzolatör (Gogus ve Zekioğlu 2021)*
Figure 3: *a) Başakşehir Çam and Sakura City Hospital (Gogus and Zekioğlu 2021), b) Seismic Isolator (Gogus and Zekioğlu 2021)*

5.3) Pasif Enerji Sönümleyiciler

Herhangi bir harici güç kaynağına ihtiyaç duymadan tamamen mekanik prensiplerle çalışan pasif enerji sönümleme sistemleri, deprem anında yapıda oluşan hız veya göreli deplasman değerlerine tepki vererek sönüm kapasitesini artırır. Bu teknolojiler çalışma prensiplerine göre; deplasmana bağlı sistemler, hıza bağlı sistemler ve diğer özel sistemler olmak üzere üç ana kategoride sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmada yer alan deplasmana bağlı sistemler, yapı elemanlarının ötelenmesine odaklanır. Örneğin; metalik sönümleyiciler çeliğin plastik deformasyonuyla, burkulması önlenmiş çaprazlar beton dolgulu çekirdek sayesinde basınç altında dahi enerji yutarak, sürtünmeli sistemler ise yüzeylerin temasıyla oluşan sürtünme kuvveti aracılığıyla sismik enerjiyi sönümler (Tazkır 2025).

Hıza bağlı pasif sistemler, sönümleme kuvvetini deprem esnasında oluşan hareketin hızına bağlı olarak üretir. Bu sistemler yapıya ilave bir rijitlik kazandırmaz ve ürettikleri kuvvetler, taşıyıcı sistemdeki iç kuvvetlerle faz farkı oluşturarak aynı anda maksimum değerlere ulaşmaz. Bu kategoride yer alan visko-elastik sönümleyiciler, polimer esaslı malzemelerin kesme deformasyonu yoluyla mekanik enerjiyi ısı enerjisine dönüştürmesi prensibiyle çalışır. Viskoz sıvı sönümleyiciler (VSS) ise yapısal bağlantı noktaları arasındaki göreli hız farkıyla doğru orantılı bir direnç göstererek enerji sönümlemesi sağlayan hıza bağlı sistemlerdir (Tazkır 2025). İlk olarak vinçlerde ve askeri donanımlarda şok izolasyonu için kullanılan bu cihazlar, yirminci yüzyılın sonlarından itibaren büyük sivil yapıların deprem ve rüzgar etkilerine karşı korunmasında yaygın olarak kullanılmıştır (Infanti ve diğ. 2008).

Tipik bir viskoz sıvı sönümleyici; içi silikon bazlı bir sıvı ile dolu olan bir silindir, delikli bir piston başı ve bir akümülatörden oluşur. Piston hareket ettiğinde sıvı bu deliklerden geçmeye zorlanır; bu süreçte oluşan direnç kuvveti mekanik enerjiyi ısıya dönüştürerek sönümler (Tazkır 2025).

Üçüncü grupta ayarlı kütle sönümleyiciler bulunur. Bunlar genellikle yüksek binaların tepesine yerleştirilen büyük kütlelerdir. Bina sallandığında ters yönde hareket ederek titreşimi azaltır ve özellikle rüzgâr kaynaklı salınımların kullanıcılar tarafından hissedilmesini engeller (Infanti ve diğ. 2008). Tayvan'ın başkenti Taipei'de bulunan Taipei 101, kütle sönümleyici teknolojisinin dünyadaki en ikonik uygulamalarından birine ev sahipliği yapmaktadır. Taipei 101, 2004 yılından itibaren bir dönem dünyanın en yüksek binası unvanını taşımıştır ve toplam 508 metre yüksekliğindedir (Şekil 4a). Bina, zemin üzerinde 101 kattan oluşmaktadır. Yapı rüzgâr ve deprem etkilerini kontrol etmek için dünyanın en büyük pasif Ayarlı Kütle Sönümleyicisine sahiptir. Binanın tepesine yerleştirilen bu sönümleyici; 660 metrik ton ağırlığında devasa küresel bir kütledir, bu kütle, çelik halatlarla asılmış tek aşamalı bir sarkaç gibi hareket eder (Şekil 4b).

Kütlenin hareketini kontrol etmek için TMD sistemine 8 adet birincil vizkoz sönümleyici entegre edilmiştir. Tasarım, binayı 195 gal ile 500 gal arasındaki farklı sismik olaylara karşı korumak üzere modellenmiştir. Kurulan sistem, Mart 2005 ve Mayıs 2008 depremleri ile birçok şiddetli tayfun sırasında başarıyla çalışmıştır. Binadaki insanlar, sönümleyici devredeyken hareketin neredeyse hiç hissedilmediğini belirtmişlerdir (Infanti ve diğ. 2008).

a) b)



Şekil 4: *a) Taipei 101 (Poon ve diğ. 2004), b) Taipei 101 binasında Bulunan Ayarlı Kütle Sönümleyici (Hallale ve diğ. 2019)*
Figure 4: *a) Taipei 101 (Poon et al. 2004), b) The Tuned Mass Damper in Taipei 101 (Hallale et al. 2019)*

6. GELECEĞİN TEKNOLOJİLERİ ve AKILLI MALZEMELER

Geleneksel malzemeler ve konvansiyonel modern malzemeler özelliklerini karşılaştıkları durumlara göre değiştirebilen malzemeler değillerdir. Bu sebeple deprem sonrasında kalıcı hasarlar alarak yapının kullanım durumunu etkilerler. Gelişen teknoloji ile taşıyıcı eleman malzemelerine eklenen unsurlar bazı durumlarda malzemenin esneyerek deprem sonrası eski haline geri dönebilmesini, bazı durumlarda ise aldığı hasarları onarabilmesine olanak sağlamaktadır.

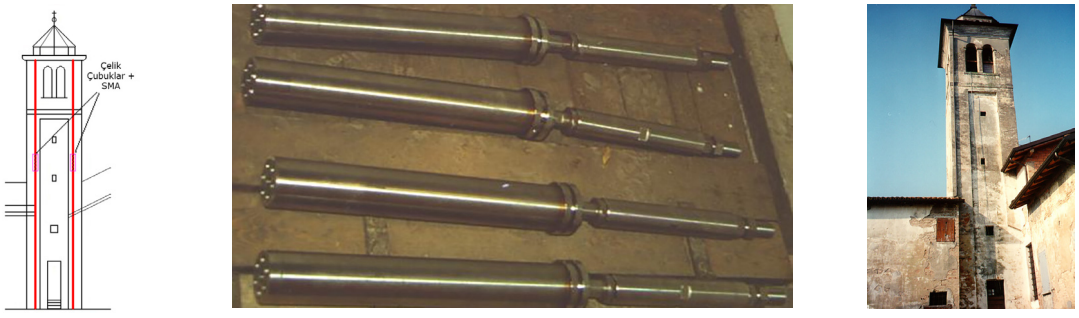
6.1) Şekil Hafızalı Alaşımlar (SMA -Shape Memory Alloys)

SMA'ların en dikkat çekici özelliği, süperelastisite yetenekleri sayesinde büyük şekil değiştirmelerden sonra bile orijinal formlarına dönebilmeleridir. Geleneksel çelik donatılı yapılar deprem sonrası kalıcı olarak eğik kalabilirken, SMA donatılı kolonlar ve kirişler kalıcı ötelemeyi önemli ölçüde azaltır. Yapılan çalışmalar, SMA kullanılan kolonların %3-5 gibi yüksek drift seviyelerinde bile %1'in altında kalıcı deformasyon sergilediğini göstermektedir; bu da yapının depremden hemen sonra işlevsel kalmasını sağlar (Mahamood ve diğ. 2026).

Mahamood ve diğ. (2026)'ya göre SMA'lar, özellikle kolonların güçlendirilmesinde aktif sargılama tekniğiyle kullanılır. SMA telleri veya şeritleri kolon etrafına sarılıp ısıtıldığında, şekil bellek etkisi (SME) devreye girer ve malzeme kısalmaya çalışarak beton çekirdeğe sürekli bir basınç uygular. Bu aktif basınç, betonun ezilmesini ve boyuna donatıların burkulmasını geciktirerek yapının süneklik ve yük taşıma kapasitesini artırır. SMA'lar, betonun içindeki çatlakların dinamik olarak kapanmasına da yardımcı olur. Kirişlerde kullanılan SMA donatılar, yük kalktığında çatlak genişliklerini %80 ila %90 oranında iyileştirebilir. Kiriş-kolon birleşim noktalarında stratejik olarak kullanılan SMA'lar, hasarı kolon yüzeyinden uzaklaştırarak kritik bölgelerdeki ağır tahribatı önler.

15 Ekim 1996'da Reggio Emilia ve Modena çevresinde meydana gelen 4.8 büyüklüğündeki deprem, çok sayıda tarihi yapıda önemli hasara neden olmuş ve özellikle 1302 yapım tarihli, 18.5 m yüksekliğindeki San Giorgio Kilisesi Çan Kulesi ciddi şekilde zarar görmüştür. Zayıf tuğla ve kireç harcından oluşan taşıyıcı yapıda deprem sonrası enine ve boyuna çatlaklar oluşmuş, üst kısımda yaklaşık 30 mm'lik dönme gözlenmiş ve yapı güvensiz ilan edilmiştir (Indırli ve diğ. 2001). Geleneksel güçlendirme yöntemlerinin yeterince etkili ve aynı zamanda fazla müdahaleci olması nedeniyle, ISTECH Projesi kapsamında yenilikçi sismik güçlendirme çözümleri uygulanmıştır. Restorasyonda önce yük getirmeyen iskeleler kurulmuş, çatlak onarımı, tuğla değişimi ve enjeksiyonlar yapılmıştır. Ardından kulenin iç köşelerine delme gerektirmeden dikey ön germeli çubuklar yerleştirilmiş ve bunlara seri olarak bağlanan Süperelastik Şekil Hafızalı Alaşım Cihazları (SMAD) kullanılmıştır (Şekil 5). Ni-Ti tellerden oluşan bu cihazlar, deprem etkileri altında yapıya aktarılan kuvveti sınırlayarak kulenin sismik davranışını iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Simülasyonlar, SMAD kullanımının duvarlardaki çekme gerilmelerini tasarım sınırlarının altında tuttuğunu ve aşırı yoğunlaşmış yüklerden kaynaklanan hasarları önlediğini doğrulamıştır (Indırli ve diğ. 2001).

a) b) c)



Şekil 5: *a) Çan kulesine yerleştirilen çubuklar (Indırli ve diğ. 2001), b) Yerleştirilmeden önce şekil hafızalı alaşım cihazları (Indırli ve diğ. 2001), c) Restorasyon öncesi San Giorgio Kilisesi çan kulesi (Indırli ve diğ. 2001)*
Figure 5: *a) Bars placed in the bell tower (Indırli et al. 2001), b) Shape memory alloy devices before installation (Indırli et al. 2001) c) San Giorgio Church bell tower before restoration (Indırli et al. 2001)*

6.2) Kendini Onaran Beton Malzeme

Beton çatlakları, beton sistemlerinin düşük gerilme mukavemeti nedeniyle sıkça görülür. Beton mikro çatlaklar nedeniyle aşınabilirken, çelik donatı çubukları da beton sistemine zararlı gaz ve sıvıların sızması nedeniyle zarar görebilir. Bu nedenle, çatlakların genişlemesini önlemek için hızlı bir şekilde onarılması çok önemlidir. Kendini onaran betonarme malzeme, beton karışımına bazı unsurlar (lifler, kapsüller) eklenerek oluşturulmuştur. Malzemede bir çatlak oluştuğunda lifler veya kapsüller kırılır içlerinde bulunan sıvı yayılır ve çatlağı onarır (Amran ve diğ. 2022).

Kendi kendini iyileştiren beton, vücudumuzdaki bir yaralanma sonrası yaranın kabuk bağlayıp iyileşmesine benzetilebilir. Nasıl ki bir kesik olduğunda vücut kanı pıhtılaştırıp yarayı dış etkenlere karşı kapatıyorsa, bu beton teknolojileri de çatlak oluştuğunda benzer bir pıhtılaşma (kireç taşı veya polimer dolgusu ile) mekanizmasını devreye sokarak yapıyı koruma altına alır. Beton, belirli bir dereceye kadar dışarıdan müdahale olmaksızın kendi çatlaklarını onarma yeteneğine sahiptir. Bu süreçte çatlaklara sızan su, henüz reaksiyona girmemiş çimento tanecikleriyle etkileşime girerek daha fazla hidratasyon gerçekleşmesini sağlar. Ayrıca, su ve karbondioksit birleşerek kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girer ve çatlakları kapatmaya yardımcı olan kalsiyum karbonat (kireç taşı) oluşumunu tetikler. Ancak bu doğal yetenek genellikle sadece küçük çatlaklarla sınırlıdır (Deneko ve Filaj 2023).

En yenilikçi yaklaşımlardan biri, betonun içerisine kalsiyum laktat ve bakteri sporları (özellikle Bacillus türleri) içeren genleştirilmiş kil peletlerinin ya da mikro kapsüllerin yerleştirilmesidir. Çatlak oluştuğunda bu kapsüller kırılarak içeriğini serbest bırakır; çatlak bölgesine ulaşan nem ve oksijenin etkisiyle aktive olan bakteriler kalsiyum laktatı tüketerek kalsiyum karbonat üretir. Bu süreç sonucunda yaklaşık bir hafta içerisinde çatlak dolumu gerçekleşmekte ve 0.5-0.8 mm genişliğindeki çatlakların etkin biçimde kapatılması mümkün olmaktadır. Bakterilerin betonun yüksek alkali ortamında uzun süre yaşayabilmesi ve işlevini sürdürebilmesi için ise söz konusu sporların koruyucu kapsüller veya peletler içinde muhafaza edilmesi gerekmektedir. Diğer bir yöntemde beton karışımına eklenen Süper Emici Polimer (SAP)'lar, çatlaklardan sızan suyu emerek şişer ve zararlı maddelerin içeri girmesini engeller. SAP'lar bünyelerinde tuttukları suyu kuru koşullarda yavaşça salarak betonun daha fazla hidratasyon yapmasına ve otojen iyileşme sürecinin iyileşmesine yardımcı olur. Bu yöntem özellikle küçük çatlakların iyileştirilmesinde ve su girişinin azaltılmasında oldukça etkilidir. Bir başka yöntemde ise betonun içinde polimer bazlı (poliüretan vs.) iyileştirici ajanlar içeren kapsüller veya damar benzeri ağlar bulundurur. Çatlak oluştuğunda bu kapsüller veya ağlar kırılır, içindeki iyileştirici madde çatlağa akar ve sertleşerek sızdırmazlık sağlar. Sentetik lifler de çatlak genişliğini sınırlamak ve kontrol altında tutmak için kullanılan unsurlardan biridir. Şekil Hafızalı Alaşımların ısıtıldığında orijinal şekillerine dönebilme özelliği de çatlakları fiziksel olarak daraltarak veya kapatarak iyileşme sürecine katkıda bulunur (Deneko ve Filaj 2023).

7. KARŞILAŞTIRMA

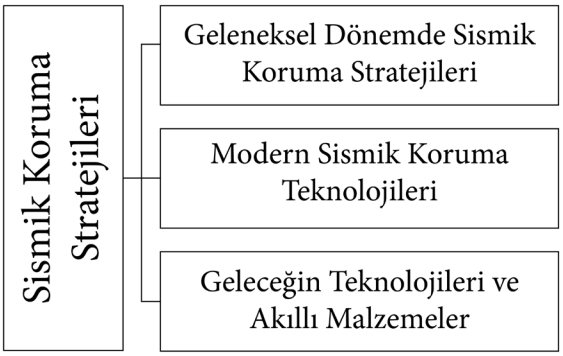
Bu çalışmada incelenen sismik koruma stratejileri, tarihsel süreç içerisinde malzeme ve teknolojinin değişmesine rağmen, temel mühendislik güdüsünün değişmediğini göstermektedir: Yıkıcı enerjiyi yönetmek. Ancak bu yönetimin yöntemleri ve hedeflenen performans seviyeleri, geleneksel dönemden günümüze ve geleceğin teknolojilerine doğru belirgin bir evrim geçirmiştir. Aşağıda bu evrim üç ana eksende tartışılmıştır (Şekil 6).

Literatür incelendiğinde, geleneksel mimari ile en ileri modern teknolojiler arasında bir kavramsal yakınlık olduğu görülmektedir. Geleneksel Anadolu mimarisindeki Hımış tekniği, ahşap karkasın esnekliği ve dolgu malzemesinin enerjiyi yutması prensibine dayanır (Doğangün ve diğ. 2006). Bu, modern mühendislikteki "Süneklik" kavramının ilkel ama etkili bir uygulamasıdır. Benzer şekilde Japon Pagodalarındaki Shinbashira tekniği, modern gökdelenlerde kullanılan Ayarlı Kütle Sönümleyicilerin atası niteliğindedir (Charleson 2008).

20'nci yüzyılın ortalarındaki betonarme yaklaşımı, yapıyı mümkün olduğunca "sert ve rijit" yaparak depreme direnmeyi hedeflemiştir. Ancak günümüzde Sismik İzolasyon teknolojileri ile tekrar gelenekselin yer hareketinden bağımsızlaşma mantığına dönülmüştür.

Geleneksel ve modern yöntemler arasındaki en kesin ayrım, hedeflenen hasar seviyesidir. Hımış ve Bağdadi gibi sistemler, depremde hasar görebilir binanın sıvaları dökülebilir, kerpiç dolgular çatlayabilir; ancak ahşap iskelet ayakta kalarak içindeki insanların hayatını kurtarır. Bu, modern yönetmeliklerdeki "Can Güvenliği "performans düzeyine denktir (TBDY 2018). Günümüzün gelişmiş toplumlarında ve önem arz eden yapılarda (hastane vb.) sadece binanın yıkılmaması yeterli değildir. Sismik izolasyon ve pasif sönümleyiciler, yapının elastik bölgede kalmasını sağlayarak depremden hemen sonra kullanımına devam etmesini hedefler. Bu, "Hemen Kullanım" performans düzeyidir (TBDY 2018). Kentleşmenin artması ve yapıların ekonomik değerinin yükselmesi, deprem sonrası onarım maliyeti ve iş gücü kaybını tolere edilemez hale getirmiştir. Bu ekonomik baskı artık mühendisliği hasarı kabul eden tasarımlardan, hasarsızlık hedefleyen tasarımlara yönlendirmektedir.

Geleneksel malzemeler (ahşap, taş vb.) ve konvansiyonel modern malzemeler (beton, çelik) pasif davranış sergiler. Yani özelliklerini duruma göre değiştiremezler. Ancak çalışmada incelenen geleceğin teknolojileri, yapısal davranışı reaktif ve adaptif bir boyuta taşımaktadır. Hem geleneksel ahşap yapılar hem de modern çelik yapılar, büyük bir deprem sonrası kalıcı olarak eğilebilir. Şekil Hafızalı Alaşımlar (SMA), süper-elastisite özellikleri sayesinde bu sorunu ortadan kaldırarak yapının kendi kendini merkezlemesine olanak tanır. Betonarme yapıların en büyük zaafı olan çatlak oluşumu ve korozyon riski, Kendini onaran beton teknolojisi ile aşılmaktadır. Bu durum, sadece sismik dayanıklılığı değil, yapının kullanım ömrünü de uzatarak sürdürülebilir bir inşaat modelini mümkün kılmaktadır.



Şekil 6: *Sismik koruma stratejileri sınıflandırması*
Figure 6: *Classification of seismic protection strategies*

8. SONUÇ

Bu çalışmada, mimarlık ve mühendislik disiplinlerinin ortak sorunu olan deprem tehdidine karşı geliştirilen stratejiler, tarihsel bir perspektif ile ele alınmıştır. Geleneksel tekniklerden akıllı malzemelere uzanan incelemeler ışığında aşağıdaki temel sonuçlara ulaşılmıştır:

Anadolu ve Uzak Doğu geleneksel mimarisinde kullanılan tekniklerin, ilkel birer çözüm olmak dışında, sismik enerjiyi karşılamak yerine sönümlemeyi hedefleyen bir mühendislik sezgisine dayandığı görülmüştür. Özellikle Japon Pagodalarındaki Shinbashira prensibinin, günümüz gökdelenlerinde kullanılan Ayarlı Kütle Sönümleyiciler ile aynı çalışma mantığına sahip olması (Charleson 2008), modern teknolojinin aslında geleneksel prensipleri yeni malzemelerle yeniden yorumladığının bir kanıtıdır.

20. yüzyılın ortalarında betonarme teknolojisinin yaygınlaşmasıyla benimsenen yüksek rijitlik ve dayanım anlayışının, büyük ölçekli depremlerde yetersiz kalabildiği veya yapının hasar almasına neden olduğu anlaşılmıştır. Bu durum, sismik izolasyon gibi teknolojilerle yapının zemin hareketinden bağımsızlaştırılmasına, yani geleneksel mimarideki "esneklik" ilkesine geri dönülmesine neden olmuştur.

Geleceğin sismik tasarım stratejilerinde formdan ziyade malzemenin belirleyici olacağı öngörülmektedir. Şekil Hafızalı Alaşımlar (SMA) ve kendini onaran malzemeler, deprem sonrası yapıların "hemen kullanım" performans seviyesini korumasını sağlayacağı ve onarım maliyetlerini azaltacağı öngörülmektedir.

Tek başına geleneksel yöntemlerin günümüz yapı ölçeğine yetersiz kaldığı, tek başına konvansiyonel yöntemlerin ise sürdürülebilirlik ve güvenlik açısından eksikliklerinin olduğu görülmektedir. Yapıda sismik koruma için gelenekselin geometrik düzen ve hafiflik ilkelerinin, modernin yüksek dayanımlı malzeme ve analiz yetenekleriyle birleştirildiği hibrit sistemlerden fayda görüleceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, depreme dayanıklı mimari tasarım yalnızca yönetmeliklere uygun tasarımlar yapmak değil, yapı yapma kültürünün hafızasından ders alarak teknolojiyi yapının ayakta kalma reflekslerine entegre edebilmektir.

KAYNAKLAR

Akıncıtürk N., 2003. Yapı tasarımında mimarın deprem bilinci, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 8(1), 189-201.

Aksoy D., Ahunbay Z., 2005. Geleneksel ahşap iskeletli Türk konutu'nun deprem davranışları, İTÜ Dergisi/a: Mimarlık, Planlama, Tasarım, 4(1), 47-58.

Amran M., Onaizi A.M., Fediuk R., Vatin N.I., Muhammad Rashid R.S., Abdelgader H., Ozbakkaloglu T., 2022. Self-healing concrete as a prospective construction material: A review, Materials, 15, 3214.

Ataman G., 2007. Hımış yapının taşıyıcılık açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Başkan S., 2008. Geleneksel Doğu Karadeniz evleri, Erdem, (52), 41-90.

Bock T., Linner T., Miura S., 2011. Robotic high-rise construction of pagoda concept: innovative earthquake-proof design for the Tokyo sky tree, In Proceedings of CTBUH 2011 World Conference.

Charleson A.W., 2008. Seismic design for architects: Outwitting the quake (1. Baskı), Oxford: Elsevier Architectural Press.

Deneko E., Filaj E., 2023. An overview of self-healing concrete in sustainable construction, Journal of Transactions in Systems Engineering, 1(2), 110-119.

Doğangün A., Tuluk Ö.İ., Livaoğlu R., Acar R., 2006. Traditional wooden buildings and their damages during earthquakes in Turkey, Engineering Failure Analysis, 13, 981-996.

Efe Y., Bedirhanoğlu İ., 2024. Betonarme Perde Duvarların Eğilme ve Kesme Etkilerine Karşı Güçlendirilmesi Üzerine Literatür Değerlendirmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 15(3), 663-675.

Gogus A., Zekioglu A., 2021. Başakşehir Çam and Sakura City Hospital, Istanbul, Turkey helping to develop the largest base-isolated building in the World, The Arup Journal, 2, 24-29.

Hallale S., Kshirsagar B., Choudhari A., Dhende J., Kharmate D., 2019. Case study of tuned mass damper at Taipei world financial center, IJSART, 5(6).

Hasol D.,1979. Ansiklopedik mimarlık sözlüğü. İstanbul: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.

Indirli M., Castellano M.G., Clemente P., Martelli A., 2001. application of shape memory alloy devices: the rehabilitation of the S. Giorgio Church bell tower, In Smart Structures and Materials 2001: Smart Systems for Bridges, Structures, and Highways (Vol. 4330, pp. 262-272), SPIE.

Infanti S., Robinson J., Smith R., 2008. Viscous dampers for high-rise buildings, In The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing: China.

Konishi A., Emura M., 2015. Structural Design and Construction of the Foundation of TOKYO SKYTREE, International Journal of High-Rise Buildings, 4(4), 249-259.

KRDAE-BDTİM, 2000. Genel Bilgiler (Deprem nedir?), Genel Bilgiler, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, Erişim adresi: http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/genel-bilgiler/#

Mahamood A.A., Mukhtar F., Alam M.S., 2026. Seismic resilience of RC structures with shape memory alloys: Past and new perspectives, Engineering Structures, 346, 121638.

Nakahara K.O.J.I., Hisatoku T., Nagase T., Takahashi Y., 2000. Earthquake response of ancient five-story pagoda structure of Horyu-Ji temple in Japan, Proceedings of the WCEE, 7.

Poon D., Shieh S.S., Joseph L.M., Chang C., 2004. Structural design of Taipei 101, the world's tallest building, In Proceedings of the ctbuh 2004 seoul conference, seoul, korea (pp. 271-278).

Şengel H.S., Erol H., Yavuz E., 2009. Sismik izolasyon tekniği ve kullanılışına ilişkin örnek uygulama, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(2), 166-178.

Tazkır M.A., 2025. Yüksek sismik taleplere maruz yapılarda sismik yalıtım ve viskoz sönümleme sistemlerinin performans incelemesi (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, (18.03.2018 tarih ve 30364 sayılı Resmi Gazete).

Tüzün C., Vuran E., 2011. Depreme karşı yapısal risklerin azaltılması ve yapısal güçlendirme (Ed. M. Erdik). İstanbul: T.C. Başbakanlık AFAD Yayınları.

ARAŞTIRMA VERİSİ *(Research Data)*

Bu çalışma, ağırlıklı olarak akademik literatür taraması yöntemiyle elde edilen veriler üzerine kurulmuştur. Çalışmanın temel verilerini, geleneksel ve modern yapıların deprem davranışları, sismik izolasyon sistemleri ve yeni nesil yapı malzemeleri üzerine yapılmış ulusal ve uluslararası bilimsel yayınlar, makaleler, konferans bildirileri ve yüksek lisans/doktora tezleri oluşturmaktadır. Literatür verisine ek olarak, çalışmada yasal ve teknik dayanağını oluşturmak üzere yönetmelik verilerine de yer verilmiştir. Bu kapsamda, T.C. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) referans olarak alınmıştır. Ayrıca, deprem tanımlamaları gibi konularda Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (KRDAE-BDTİM) gibi ilgili bilimsel kurumların çevrimiçi kaynaklarından faydalanılmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ *(Conflict of Interest / Relationship)*

Araştırma kapsamında herhangi bir kişiyle ve/veya kurumla çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI *(Author Contributions)*

- Çalışmanın tasarlanması *(Designing of the study)*: Z.Y., M.T., N.T.
- Literatür araştırması *(Literature research)*:Z.Y.
- Saha çalışması, veri temini/derleme *(Fieldwork, collection/compilation of data)*: Z.Y.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi *(Processing/analysis of data)*: Z.Y., M.T., N.T.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması *(Preparation of figures/tables/software)*: Z.Y.
- Bulguların yorumlanması *(Interpretation of findings)*: Z.Y., M.T., N.T.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol *(Writing, editing and checking of manuscript)*: Z.Y., M.T., N.T.