

Depremlerden Sonraki Yeniden Yapılanma Süreci Üzerine Küresel Bir Araştırma: Çelik Prefabrik Malzeme Kullanımının Gerekliliği

Nesibe OF¹, Serkan ÖZTÜRK²

Öz

Bu çalışma kapsamında, çelik prefabrik yapıların yapısal özellikleri, Türkiye ve dünyada kullanım oranları ve niçin kullanılması gerektiği konuları bilimsel kaynaklar ortaya konularak araştırılmıştır. Farklı çalışmalardan elde edilen sonuçlar derlenerek, afet yönetimi için oldukça önemli olan yeniden yapılanma sürecine dikkat çekilmiştir. Çelik yapılar, hafif ve esnek malzemeler oldukları için depreme karşı mukavemet gösterirler. Bu ve daha birçok özelliğinden dolayı yüz ölçümünün büyük bir bölümü deprem bölgesinde yer alan ülkemizde konutların çelik prefabrikasyon ile yapılması gerekmektedir, çünkü bu yapıların depremlerde yıkılmadığı veya hasar alarak ayakta kaldığı literatürdeki birçok araştırma sonucunda kanıtlanmış olup afet yönetiminde ileri seviyede bulunan ülkeler tarafından da kanıksanmıştır. Türkiye ise çelik üretiminde dünyada yedinci sırada bulunmakla birlikte, bu durum yapı sektörüne yansımamaktadır. Depremler yaşandıktan sonra yeniden yapılanma sürecine gelindiğinde, yıkılan veya ağır hasar alan binaların yerine çelik konstrüksiyon binaları inşa etmek gerekmektedir. Bu strateji, kriz yönetiminin son basamağı olan yeniden yapılandırmada sağlam temeller atmayı sağlayacak ve risk yönetiminin ilk basamağı olan zarar azaltma evresindeki çalışmaları destekleyici nitelikte olacaktır. Bu bağlamda, önemli bir kazanım olarak, tam anlamda bir bütünleşik afet yönetimi döngüsü oluşturulabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Afet, Deprem, Çelik Yapı, Yeniden Yapılanma

A Global Research on the Reconstruction Process After Earthquakes: The Necessity for the Usage of Steel Prefabricated Material

Abstract

In the scope of this study, the structural features of steel prefabricated structures, their usage rates in Turkey and the world and why they should be used were investigated by revealing the scientific resources. By compiling the results obtained from different studies, an attention was drawn to the restructuring process which is very important for disaster management. Steel structures are resistant to earthquakes

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Afet Yönetimi Bölümü, Gümüşhane

İlgili yazar e-posta /Cooresponding author e-mail: nesibeof@gmail.com ORCID No: 0000-0002-6924-9248

²Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane e-posta/e-mail: serkanozturk@gumushane.edu.tr ORCID No: 0000-0003-1322-5164

since they are light and flexible materials. Because of these and many other features, the houses in our country, where a large part of the surface measurement is located in the earthquake zone, should be constructed with steel prefabrication, because it has been proven as a result of many studies in the literature that these structures were not destroyed or survived by earthquakes, and they have been taken for granted by countries that are advanced in disaster management. Although Turkey ranks seventh in the world in steel production, this is not reflected in the construction sector. When it comes to the reconstruction process after earthquakes, it is necessary to construct steel construction buildings instead of the destroyed or heavily damaged buildings. This strategy will be able to lay solid foundations in restructuring, which is the last step of crisis management, and it will qualify supportive the studies in the mitigation phase, which is the first step of risk management. In this context, as an important achievement, a fully integrated disaster management cycle will be able to be established.

Keywords: Disaster, Earthquake, Steel Structures, Reconstruction

1. GİRİŞ

Sismik ve tektonik oluşumlar dünyanın varoluşundan günümüze dek sürekli olarak devam eden bir olgudur. Bu sismotektonik hareketler sonucunda oldukça yıkıcı veya hasar yapıcı depremler meydana gelmiş ve milyonlarca insan hayatı son bulmuştur (Güzel, 2013). Türkiye nüfusunun % 95'inin deprem tehlikesi altında bulunan bölgelerde yaşadığı ve endüstri merkezlerinin % 98'inin deprem bölgelerinde olduğu gerçeği, durumun önemini net olarak ortaya koymaktadır. Afet yönetim döngüsünün her safhasının üzerine çalışılmalıdır ancak henüz afet olmamışken yapılacak çalışmalar temel oluşturacağı için son derece önem arz etmektedir. Bu bağlamda iyileştirme, yeniden yapılandırma, zarar azaltma ve hazırlık gibi süreçler fazlasıyla üzerinde durulması ve yeterince bütçe ayrılması gereken alanlardır. Yeniden yapılandırma sürecinde ise aslında isminden anlaşıldığı üzere yeni bir fırsat verilmektedir. Bozulan yaşam alanlarını ve şehirleri yeniden inşa ve düzenleme şansı elde edilmektedir. Yeniden yapılandırma safhasının asıl amacı, afetten hasar gören tüm yapı ve insan aktivitelerinin afet olmadan önceki halinden daha iyi bir noktaya getirilmesini sağlamaktır (Kadıoğlu, 2011).

Türkiye'de yirminci yüzyılın başlangıcından itibaren meydana gelen doğal afetlerde yaklaşık 87.000 kişi hayatını kaybetmiş, 210.000 kişi yaralanmış, 651.000 civarında konut ise yıkılmış ya da ağır hasar almıştır. Bu afetlerden en yıkıcı ve kitlesel ölümlere sebebiyet veren tür depremlerdir. Bu depremler Türkiye'nin konumu, tektonik ve jeolojik yapısı bakımından aktif ve hareketli olmasının bir sonucudur (Karaaslan, 2015). Türkiye, Alp-Himalaya orojenik kuşağının Akdeniz kısmında yer alır ve bu kuşak Akdeniz'den doğu-batı yönünde Asya'ya doğru hareket eder. Kuzeyinde Avrasya plakası, güneyinde Afrika ve Arap plakaları, doğusunda Doğu Anadolu Bloğu ve batısında ise Ege Bloğu ile çevrilidir. Türkiye ve civarındaki ana tektonik yapı Afrika, Ege, Anadolu, Karadeniz ve Avrasya plakaları ile İran ve Hazar levhalarının birbirine göre göreceli hareketlerine bağlı olarak meydana gelmiştir. En önemli fay zonları, Batı Anadolu Genişleme Zonu, Kuzey Anadolu Fay Zonu, Doğu Anadolu Fay Zonu, Orta Anadolu Fay Zonu, Bitlis-Zagros Bindirme Zonu, Doğu Anadolu Sıkıştırma Zonu, Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu, Ölü Deniz Fay Zonu ve Kafkaslar olarak verilebilir (Türkiye'nin ana tektonik yapısı ve fay zonları ile ilişkili bilgiler Bozkurt, 2001 ve Emre vd, 2018'te detaylı olarak verilmiştir). Türkiye ve civarında özellikle aletsel dönemde, 1912 Tekirdağ-Mürefte ($M_s=7.3$, yüzey dalgası magnitudü), 1930 Türkiye-İran sınırı ($M_s=7.2$), 1939 Erzincan ($M_s=7.9$), 1942 Tokat-Erbaa, ($M_s=7.0$), 1943 Ladik-Samsun ($M_s=7.2$), 1944 Gerede-Bolu ($M_s=7.2$), 1953 Yenice-Çanakkale ($M_s=7.2$), 1957 Abant-Bolu ($M_s=7.1$), 1964 Manyas-Balıkesir ($M_s=7.0$), 1970 Gediz-Kütahya ($M_s=7.2$), 1976 Muradiye-Van ($M_s=7.5$), 1999 Gölcük-İzmit ($M_s=7.8$), 1999 Düzce ($M_s=7.5$), 2011 Van ($M_s=7.2$), 2020 Sivrice-Elazığ ($M_s=6.7$) ve 2020 Seferhisar-İzmir ($M_s=6.6$) depremleri gibi güçlü ve yıkıcı depremler meydana gelmiştir (Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, KRDAE).

Tecrübelerle sabittir ki depremlerde can kayıplarının asıl nedeni deprem değil dayanımı düşük binalardır. Bu durum depremlere karşı alınacak önlemlerin en başında, sağlam binalar inşa

etmenin gerekliliğini göstermektedir. Bu bağlamda akla ilk gelen yapının elemanları, yeri, kullanılan malzemenin kalitesi ve alanında uzman kişilerce yapılıp yapılmadığı olmaktadır. Depreme dayanıklı yapı malzemesi olarak dünya literatürüne bakıldığında ilk sırada çelik malzeme gelmektedir. Çelik malzeme, sünek (esneklik, kırılmadan ya da kopmadan sürekli bir şekil değiştirme özelliği) davranışı, hafifliği ve deprem kuvveti karşısında sağladığı mukavemet sayesinde deprem bölgelerinde yapılacak binalar için tercih edilmesi isabetli olacaktır (Mahmud, 2017).

Bu çalışmanın temel hedefi, depremlerde hasar görmüş ya da yıkılmış binaların yerine yenileri yapılırken deprem kuvvetine en sağlıklı cevap verebilen yapı malzemesi olan çelik prefabrik malzeme kullanımının gerekliliğine dikkat çekmektir. Dolayısıyla depremlerden sonra yeniden yapılandırma sürecine geçildiğinde yıkılan ya da ağır hasar gören binaların yerine çelik prefabrik yapıların inşa edilmesi gerekliliği önem kazanmaktadır (Öz, 2018).

2. ÇELİK PREFABRİK YAPILAR

Günümüzde hızla artan nüfusun barınma ihtiyacının karşılanması sürekli geliştirilmesi gereken bir alan haline gelmiştir. Bu alanın ihtiyaçlarını karşılamak için hızlı ve ekonomik yapılar tercih edilmektedir (Kurtay ve Badem, 2013). Sanayi devrimiyle üretim teknikleri ve kullanım kolaylıkları öğrenilen çelik malzeme, yapı strüktürünü (mimari ve mühendislikte yapının ana iskeleti, formatı ya da genel tasarımı) oluşturan temel malzeme haline gelmeye başlamıştır. Çelik malzemenin kullanılmasında ve tercih edilmesinde birçok faktör rol oynamıştır. Bu faktörlerden en önemlisi depreme karşı mukavemet sağlaması olup esnek bir yapıya sahip olması nedeniyle betonarme yapılara nispeten daha az yıkılma gerçekleştirilmesidir. Bunun yanında çelik yapı malzemesinin tekrardan kullanım ve geri dönüştürülebilir özelliğe sahip olması da sürdürülebilir inşaat ve yapı malzemesi anlamına gelmektedir (Eren ve Başarır, 2013).

2.1. Malzeme Olarak Çelik

Yapı çeliği % 90 oranında geri dönüştürülebilir bir malzemedir. Bu dönüştürme işlemi kaç kez tekrar edilirse edilsin özelliğini kaybetmez ve çevreye zarar vermez. Çelik malzeme temel olarak bakıldığında, Demir (Fe) ve Karbon (C) alaşımından oluşur. En önemli katkı malzemesi olan Karbon, dayanımı ve sertliği artırır ancak belli bir değeri geçmemelidir (%0,16-%0,22). Yapısında sadece karbon bulunması bazı özelliklerini sınırlandırdığı için Alüminyum (Al), Krom (Cr), Nikel (Ni), Manganez (Mn), Fosfor (P), Kükürt (S), Silisyum (Si), Molibden (Mo), Vanadyum (V) ve Tungsten (W) gibi elementler de eklenerek daha fazla özellikli hale getirilir. Bu şekilde çeşitli elementlerle yapılan alaşım sayesinde yapı çeliğinin dayanımı artırılırken birçok nitelik de kazandırılmış olur. Bunlar, soğuk ve sıcak şekillendirilebilirliğin artması, korozyon riskinin azalması, yüksek sıcaklık dayanımının artması, küçük tanecikli yapı kazanması, dökülebilirlik ve dövülebilirliğin artması, kaynak edilebilirlik özelliğinin kazanması ve talaşlı imalata uygunluğun iyileştirilmesidir (Deng vd., 2020; Lawson ve Ogden, 2008).

2.2. Çelik Malzemenin Depremlere Karşı Avantajları

- Çelik, malzeme açısından yüksek dayanımlı ve hafif olduğu için taşıyıcı sistemi çelik olan binalarda öz ağırlığının taşıdığı yüke oranla daha küçük olmasından dolayı yapının toplam ağırlığı azalacağından depreme dayanıklıdır. Yapının ağırlığının az olması depremde istenilecek bir durumdur (Çırpan, 2017).
- Betona oranla 10 kat daha fazla esnek olan çelik malzeme deprem titreşimlerine, dinamik yüklere, stabilite sorunlarına uygun bir davranış göstermektedir.
- Yapı çeliğinin sünek (esnek) olması ve tekrarlayan yüklere karşı kırılmadan durabilme yeteneği onu depreme dayanıklı hale getirmektedir. Yapılara yatay yük uygulayan deprem kuvvetine karşı çelik malzeme büyük deformasyonlar ile dayanım sağlamaktadır.

- Taşıyıcı sistemi çelik olan yapılarda birleşim noktalarının dönebilen olması sebebiyle dinamik enerjisi azaltmakta ve destek olmaktadır.
- Depremlerde ağır hasar alan betonarme yapıların aksine çelik taşıyıcı ve çelik çerçeveli yapıların hasar alması sonrasında geniş çaplı bir yıkım yahut sökme takma olmaksızın ekonomik düzeyde onarılabilir. Çelik malzeme küresel anlamda en çok geri dönüştürülebilir yapı malzemesidir. Örneğin, çelik hurda malzeme %100 çelik malzemesine dönüşebilir ve doğru üretim yapıldığında güvenilir ve ekonomiktir.
- Çelik malzemenin tekrar kullanım özelliği olduğu için yapı söküp başka bir yerde malzeme kaybı olmaksızın tekrar oluşturulabilir. Bu da sürdürülebilir inşaat ve yapı anlamına gelmektedir (Eren ve Başarır, 2013).
- Çelik yapı malzemesi prefabrik olarak üretilir ve şantiye alanında ustalar tarafından montajı yapılır. Bu durum malzeme kalitesinin belli bir standartta kalmasını sağlar ve inşaat süresi hava koşullarından etkilenmediği için uzamaz aynı zamanda standart üretim yapıldığı için denetim kolaydır (Özkan, 2013; Aghayere ve Vigil, 2015).

2.3. Prefabrikasyon Çelik

Prefabrik çelik yapı teknolojisinin dünyada birçok ülke uzun süredir kullanıp inşaat alışkanlıklarına kazandırmasına rağmen Türkiye henüz aynı gelişmeyi gösterememektedir. 1960'lı yılların sonlarına doğru prefabrik yapı inşa edilmeye başlanmış ve yapı çeşidi olarak ise betonarme tercih edilmiştir (Amani ve Niyazi, 2018).

Prefabrik yapılar betonarme, çelik ve ahşap malzemeden üretilmektedirler. Türkiye'de en çok tercih edilen prefabrikasyon sistem ise hammaddesi betonarme kaynaklı prekast (beyaz çimento, silis kumu, alkali dayanımlı cam elyafı ve suyun doğru oranlarda karıştırılarak oluşmuş karışımın yeniden kullanılabilir kalıba dökülmesi veya kürlenene kadar döküldükten sonra şekil alabileceği bir ortamda döküldükten sonra, montaj edileceği yere taşınması) sistemlerdir. Bu sistemler hem geleneksel yapı malzemesi olmasından hem de hammaddeye kolay ulaşım ve ekonomik olmasından dolayı ilk sırada yer almaktadır. Bu tip yapıların büyük bir kısmı sanayi amaçlı olup tek katlı, büyük açıklıklı ve temelden ankastre kolonludur. Prekast sistemlerin deprem kuvveti altındaki davranışı çok basit gibi görünse de sistemlerdeki süreksizlikler ve dinamik yükler altında gerçek davranışlarını sadeleştirmedikleri için daha da karmaşıklaşmaktadır. Betonarme yapıların tasarım ve analizi betonun yapısındaki bilinmezliklerden dolayı yeterince zorken birde prefabrik betonarmedeki süreksizlikler eklenince depremin dinamik yükü altındaki davranışı daha karmaşık ve kontrol edilemez hale gelmektedir (Ky vd., 2015).

2.4. Hafif Çelik Konstrüksiyon Yapı Hakkında Bilgiler

Hafif çelik konstrüksiyon yapı alanında yerel bazda sektör analizi yapılmıştır. Bu doğrultuda Trabzon ilinde bulunan ve hafif çelik prefabrik konut inşa eden Aktaş Prefabrik Yapı'daki görevli olan inşaat mühendisleri ile görüşülmüştür. Yapılan görüşmede amaç malzeme, bölge ve fiyat karşılaştırması yapmaktır.

Çelik yapılar soğukta haddelenmiş (çelik malzemesini tel, çubuk ve profil haline getirmek için kullanılan çeşitli şekilde ve boyutlarda delikleri olan alete hadde denir) hafif yapısal çelik malzemeden inşa edilmektedir. Yapılan bölgenin iklim şartları gözetilerek yalıtım yöntemleri kullanılır. Yapılan hafif çelik yapıların 100 ile 120 yıl arasında yapı ömrü vardır. Hafif çelik bir yapıyla aynı ebattaki betonarme bir yapının maliyeti ortalama aynı düzeydedir. Yapıyı söküp başka bir yerde yeniden yapmak istenildiğinde sadece %10 kayıp olduğunu belirtmektedirler (Aktaş Prefabrik Yapı, kişisel iletişim, 2021). Çelik konutlar için 2 yıl montaj garantisi vermektedirler. Taşıyıcı sistemin galvanizli çelik profil olan duvar panellerinin yüzeyleri, şantiye sahasında alçı levha/A1 sınıfı yanmazlık özelliğine sahip doğal çimento levhası ile kaplanmaktadır. Tablo 1'de Trabzon Aktaş Prefabrik yapıdan toplanan veriler doğrultusunda 120 m² bir konutun çelik ve betonarme malzemeden yapıldığında ki farkları karşılaştırılmış olup çelik

yapıların avantajlarını belirterek var olan ön yargıyı kırmak amaçlanmıştır. (Y. Keleş ve E. Aydın, kişisel iletişim, 16 Mart 2021).

Tablo 1. 120 m² Bir Konut için Hafif Çelik ve Betonarme Yapı Karşılaştırması

	Hafif çelik	Betonarme
Dayanım süresi	100-120 yıl	50-100 yıl
Yapım süresi	İki hafta	1-3 ay
Maliyet	200-230 bin TL	200-230 bin TL
Depreme dayanım	Çelik malzemenin sağladığı avantaj sayesinde depreme dayanıklıdır.	Beton yapı malzemesi çelik malzemeye göre 10 kat daha fazla kırılındır.
Yangına dayanım	Çelik yanmaz bir malzemedir. Gerekli önlemler alındığında yangına dayanıklıdır.	Beton yanmaz bir malzemedir. Gerekli önlemler alındığında yangına dayanıklıdır.
Yalıtım	Gerekli yalıtım malzemesi kullanıldığı takdirde standart ısı ve ses yalıtımı sağlanmaktadır.	Gerekli yalıtım malzemesi kullanıldığı takdirde standart ısı ve ses yalıtım sağlanmaktadır.
Sürdürülebilirlik	Yapı malzemeleri %100 geri dönüştürülebilir. Yapı elemanları demonte haline getirilip %10 kayıpla başka bir yerde tekrar kurulum sağlanabilir.	Betonarme bir yapının demir donatıları haricinde beton aksamı tekrar kullanılmamaktadır.

3. TÜRKİYE'DE YAPISAL ÇELİK KULLANIMI

Türkiye'de prefabrik çelik yapılar önceleri sadece şantiye binalarında kullanılırken artık az da olsa konut olarak ve farklı sosyal amaçlı yapılan yapılarda da tercih edilmektedir. Ülkemizde asıl olarak 1999 Marmara depreminden sonra yeni çözümler arayan inşaat sektörü çareyi prefabrik çelik malzemede bulmuştur. Akabinde yapısal çeliğin depreme dayanıklı olması, üretiminin standartlara uygun olup montajının kolay olması, malzemedeki fire vermemesi, çevre dostu olması ve teknoloji geliştikçe uygulanabilirliğinin arttığına anlaşılması ile yaşadığımız yüzyılın yapı malzemesi olduğu kuşku götürmez bir gerçektir. ABD, Japonya, Çin, Fransa, Almanya, İsveç, İspanya gibi gelişmiş fakat sismotektonik olarak oldukça aktif olan ülkelerde yapısal çelik kullanma oranı ciddi oranlara ulaşmış durumdadır. Tablo 2'de gelişmiş dünya ülkelerinin 2010 ve 2020 yıllarındaki çelik yapı stoku yüzdelerinin değişim oranları verilmiştir (Öztürk, 2010).

Çelik yapılar Türkiye'de 2010 yılına değin diğer yapı malzemelerinin arasında kendine %3'lük bir alan yaratabilmiştir. Özellikle depreme olan dayanımının bilinmesine karşın geleneksel yapı alışkanlıklarından vazgeçilmemiştir. Tabloda görüldüğü gibi gelişmiş ülkelerin yapı stokunda 2010 yılından 2020 yılına kadar geline sürede büyük ilerleme olduğu gözlenmektedir. Türkiye'nin ise bu konuda ilerleyişi oldukça yavaş ve yetersiz kalmaktadır (Öztürk, 2010).

Tablo 2. 2010 ve 2020 Yıllarında Dünyada Çelik Prefabrik Konutların Diğer Yapı Çeşitlerine Göre Yüzdelerinin Karşılaştırılması

ÜLKELER	ÇELİK YAPI STOKU 2010	ÇELİK YAPI STOKU 2020
ABD	%25	%75
JAPONYA	%15	%75
ÇİN	%30	%80
İNGİLTERE	%10	%65
TÜRKİYE	%3	%10

Türkiye demir çelik üretiminde 2012 yılında %6'lık bir büyüme göstermiş ve dünya ekonomisindeki performansını artırmıştır. Bunun yanı sıra ihracatın %10 artmasıyla demir çelik üretimi 20 milyon ton olmuştur. Kaydedilen bu aşama ile Türkiye 2012 yılında iki kademe birden yükselerek dünya çelik üretiminde 8. sırada yer almıştır. Ayrıca, 2013 yılında 37.7 milyon ton (Almanya'dan sonra ikinci sırada), 2014 yılında 34.04 milyon ton, 2015 yılında 31.5 milyon ton, 2016 yılında 33.1 milyon ton, 2017 yılında 37.5 milyon ton olmuştur. 2016 yılının ikinci yarısından itibaren küresel ekonomide ve iç tüketimde yaşanan canlanma 2017 yılında da devam etmiştir. 2018 yılında %0.6 daralma yaşanmış olmasına rağmen, 2019 yılında ABD tarafından başlatılan korumacılık politikalarına AB ve diğer ülkelerinde devam etmesi ve ekonomide yaşanan durgunluklar neticesinde 2019 yılında sektörde %9.6 daralma yaşanmıştır. Bununla birlikte, Türkiye'nin ham çelik üretimi, 2021 yılının Kasım ayında, 2020 yılının aynı ayına göre %6,1 oranında artışla 3.4 milyon ton, Ocak-Kasım döneminde ise 2020 yılının aynı dönemine göre %13.4 artışla 36.7 milyon ton olmuştur (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Demir Çelik Sektör Raporu, 2020; Türkiye Çelik Üreticileri Derneği Basın Bülteni, 24 Ocak 2022).

Türkiye gösterdiği bu gelişmeler ile demir çelik alanında kayda değer başarı sağlamıştır. Ancak üretim artarken doğru orantılı olarak tüketim ve kullanım alanı artmamıştır. Örneğin, Van depreminin ardından bizzat yerinde yapılan araştırmalar ve alınan numuneler doğrultusunda yıkılan ya da büyük hasar alan binaların yerine çelik bina yapılacağı kararı alınmıştır ve siparişler dahi verilmeye başlanmıştır (Gür'eş, 2012). Van depreminden sonra çelik yapıların gündeme gelmesinin sebebi elbette depreme dayanımı ve hızlı yapım sürecidir. Van gibi kış mevsiminin zor geçtiği yerlerde inşaat süreleri, olduğundan daha uzundur. Hal böyle olunca afet sonrasında depremedelerin çadırlardan ve konteynerlerden kalıcı konutlara geçebilmesi bir hayli zaman almıştır. Tüm bu sebeplerin ortada olmasına rağmen birkaç örnek çelik yapı yapılmış ve bu girişimlerin sonu gelmemiştir. Bunun nedeni ise inşaat kültüründeki alışkanlıklar, afet bilinci ve güvenli yapı bilincinin halkta ve kamuda yerleşmemiş olmasıdır (Şengül ve Turan, 2015).

4. DEPREM BÖLGELERİNE ÇELİK PREFABRİK KONUT YAPILMASI

Deprem gibi yıkıcı bir afet sonrasında hasar almış yapıların yeniden yapılması ve depremedelerin barınak ihtiyacının ivedi bir biçimde karşılanması gerekmektedir. Yeniden yapılanma sürecinde ilk olarak depremedelerin barınma problemleri geçici yapılarla karşılanır. İkinci olarak yıkılan yapıların yerlerine kalıcı ve bir sonraki depremi sağlam karşılayacak yapılar inşa etmek gerekecektir (Kalkan vd., 2020). İnşa edilecek bu yapıların geliştirilen stratejiler doğrultusunda deprem yönetmeliklerine, kentsel politikalara ve yasal imarlara uyularak yapılması gerekmektedir. Öte yandan deprem bölgelerine yapılacak olan binaların yapı malzemesi seçimi de oldukça önemlidir. Deprem bölgelerine çelik prefabrik yapı malzemesi tercih edilmesi çeliğin depreme karşı sağladığı mukavemet açısından önemlidir. Ayrıca yapısal çelik hafif olması nedeniyle depremin binaya uyguladığı kuvveti en aza indirebilmektedir (Yardımcı, 2006).

Deprem kuvvetine maruz kalan yapının kütlesi ne kadar büyükse yapıda oluşacak olan hasar ve atalet kuvveti (sistemin ivmesiyle zıt yönde oluşu, eylemsizlik) de o kadar büyümüş olur. Dolayısıyla depreme dayanıklı bina yapılabilmesi için hafif binalar inşa etmek gereklidir. Yapı malzemelerine bakıldığında en hafifi çelik malzemedir. Çelik malzeme, betonarme ve ahşap yapı malzemelerine oranla 10 kat daha hafif ve esnek bir yapıdadır (Mahmud, 2017). Öte yandan esnek bir yapıya sahip olan çelik malzeme beton gibi kırılğan olmadığından dolayı depremin binaya etkileyen kuvvetini sönmüleyebilmektedir (Beşgöl, 2006). Böylece binanın deprem anında davranışı ilk aşamada yıkılmak yerine eğilip bükülmek olacağından dolayı depremzedelere kaçış süresi oluşturarak hayatta kalma imkânı tanıyacaktır. Aynı zamanda deprem karşısında yaşadığı binanın davranışından emin olan toplumda güvenlik kültürü gelişecek ve panik yapmaksızın evinde deprem sarsıntısının geçmesini bekleyecektir. Ülke olarak toplum tabanlı afet yönetiminin uygulanmaya başlaması tamda burada gerçekleşecektir. Çünkü insanlar yaşadığı yapının bir deprem anında yıkılmayacağından emin olduğunda ancak panik yapmaz ve afet bilincini ortaya çıkarabilir.

Çelik prefabrikasyon malzemenin depreme dayanıklılığı birçok bilimsel çalışmada belirtilmiş olup (örneğin, Ay vd., 2010; Eren ve Başarır, 2013; Zhang vd., 2021a,b), birçok dünya ülkesi tarafından kanıksanmış durumdadır (Çavdar, 2017). Bunun yanı sıra Türkiye’de de durum pek farklı değildir. Çelik malzemenin depreme betondan daha dayanıklı olduğu ülkemiz mimarları, mühendisleri ve hatta karar verici mekanizmaları tarafından kabul edilmiş durumdadır. Örneğin 24 Mart 2020 tarihinde 41 yurttaşımızı kaybettiğimiz, 75 binanın tamamen yıkılıp 645 binanın ise ağır hasar aldığı Elazığ-Sivrice ($M_w=6.8$, moment magnitudü) depreminden bir gün sonra Cumhurbaşkanı Recep Tayyip Erdoğan “Yıkılan yerlerde vatandaşlarımızı bu geçici çadırlardan kurtarıp hemen çelik konstrüksiyonla kalıcı konutlara alacağız” açıklamasını yapmıştır. Başka bir ifadeyle, deprem bölgelerine çelik yapı malzemesi kullanılması gerektiğinin altını çizmiştir. Bu sözler güzel bir gelişmedir. Yapı alışkanlıklarının öncelikle sözelde olsa değişmeye başladığının öncüsüdür. Şöyle ki zaten yıkılmış olan binaların yerine bir sonraki depremi sağlam karşılama olanağı yüksek olan çelik strüktür (mimari ve mühendislikte yapının ana iskeleti, formatı ya da genel tasarımı) yapmak en doğru afet sonrası iyileştirmesi ve en doğru devlet stratejisi olacaktır. Çünkü her depremde yıkılan konut sayısı hem can kaybını ifade ederken hem de milli servet kaybını ifade etmektedir. Biliniyor ki Bingöl, Elazığ ve Malatya illerini en çok etkileyen Sivrice depremi, Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde gerçekleşmiştir. Dolayısıyla burada belli bir zaman aralığından sonra tekrar deprem meydana gelme ihtimali yüksektir (Alkan vd., 2021). Bir sonraki depremi sağlam karşılamak ise toplum tabanlı bir afet yönetimiyle olacağı gibi mevcut konutların yıkılmaması ile de sağlanacaktır. Afet sonrası iyileştirme ve yeniden yapılandırma süreçlerinde iyi bir bütünleşik afet yönetim olgusu için yeniden yapılandırma basamağını sağlam geçmek gerekmektedir. Aksi takdirde afet yönetimi döngüsel bir süreç olduğundan bir basamağının dahi eksik kalması bu zinciri zayıflatacağı ve afetler karşısında savunmasız kalınması anlamına gelmektedir.

5. BAZI ÜLKELERİN DEPREM SONRASI YENİDEN YAPILANMA SÜREÇLERİNDEKİ MALZEME KULLANIMLARI

Dünya ülkelerine bakıldığında gelişmişlikle çelik kullanımının doğru orantılı olduğu görülmüştür. Çalışma kapsamında, gelişmiş ve gelişmekte olan 4 ülkenin yeniden yapılandırma ve şehirleşme süreçlerinde çelik malzeme kullanımları hakkında bilgi verilmiştir.

5.1. Çin

Çin, dünyada çelik üreten ülkeler sıralamasında birinci sırada gelmektedir. 2019 yılında Dünya Çelik Birliği’nin (64 ülke için) verilerine göre dünyada 1.875.155 bin ton çelik üretimi yapılmıştır. Bunun 966.342 bin tonunu Çin üretmiştir. Bununla birlikte yapısal anlamda çelik malzeme kullanımı da oldukça fazladır (URL 2).

İnşaat, dünya çelik talebinin %50'sinden fazlasını oluşturan endüstrilerden biridir. 2019'da yayınlanan Birleşmiş Milletler raporuna göre önümüzdeki 30 yıl içerisinde dünya nüfusunun 2 milyar kişi artarak 7,7 milyardan, 2050 yılında 9,7 milyara ulaşması beklenmektedir. 1,4 milyar nüfusuyla Çin dünyanın en kalabalık ülkesidir ve bu durum hızlı kentleşmeyi de beraberinde getirmektedir. Binalara ve alt yapıya olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Çin artan nüfusunun kentleşme talebine çelik yapıların hızlı kurulum ve sürdürülebilir çözümleriyle cevap verebilmektedir (URL 1).

Çin, sismotektonik açıdan dünyanın en aktif ülkelerden biridir (Huang vd., 2017). Bu yüzden çelik yapıların ekonomik ve hızlı kurulumundan yararlanmaktadırlar. Örneğin 30 katlı çelik binayı 15 günde kullanıma hazır hale getirmişlerdir (URL 3).

Shi vd. (2019) ifade ettiği üzere sismik tasarım, depremlerin yaygın olduğu bölgelerde yapısal tasarımın önemli bir alt kümesidir ve sismik izolasyon ile enerji yayma sistemleri bu kümenin önemli kavramlarıdır. Sismik tasarım için bu kavramlar deprem tehlikelerini anlamak ve yapısal performansı iyileştirmek için önemli bir yol göstermiştir. Büyük ve yıkıcı depremlere maruz kalındığında sismik kuvvet, elemanların kesit alanının veya malzemenin mukavemetini artırmak yerine yapıların sertliğini veya sönümlemesini değiştirerek azaltılabilir. Bu nedenle bu elemanları imal etmek için kullanılan malzemelerin genellikle düşük akma mukavemeti, iyi süneklik ve mükemmel enerji yayma kapasitesi özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Çin'de enerji dağıtımı için kullanılan ideal bir malzeme olarak düşük akma noktalı çelik (Low Yield Point Steel) geliştirilmiştir. İnşaat ve mühendislik uygulamalarında ülkeyi daha ileri bir noktaya taşıyacağı düşünülmektedir (Shi vd., 2019).

Çin'de yapılan başka bir çalışmada güçlü ve yıkıcı depremlere maruz kalan bölgelere (bağlantı çekirdek bölgeleri ile orta ve yüksek sismik yoğunluklu bölgeler) çelik yapı uygulamaları hakkındadır. Bu çalışmada çelik yapı sistemlerinin modüler olmasının avantajlarından bahsedilmektedir. Hem çevre dostu hem de deprem bölgelerine yapılacak çelik yapıların modüler sistemle yapılması gerektiği üzerinde durulmaktadır. Modüler çelik yapılar (Modular Steel Structures) bağlantı çekirdeği bölgesindeki gerilim seviyesini azaltabilir, yerel arızayı önleyebilir, plastik hasarın gelişimini kontrol edebilir ve bağlantının sünekliğini geliştirebilir. Aynı zamanda bu çalışma geleneksel şantiye inşaatının sürdürülebilir kalkınma gereksinimlerini karşılayamaması ve hızla artan nüfusa sahip bir ülke için yeni meskenlerin ivedi bir şekilde kurulması gerektiğine dikkat çekmiştir. Diğer yandan geleneksel inşaat tekniklerinde artan işçilik maliyetleri, kalifiye eleman eksikliği, iş güvenliği konularında eksiklikler bulunması nedeniyle yüksek inşaat verimliliği ve doğruluğu elde edilememekte olup hızlı üretim, üstün kalite, verimli malzeme ve enerji kullanımı kalemlerinde dezavantajlar oluşmaktadır (Zhang vd., 2021a,b).

5.2. Japonya

Sismik ve volkanik aktivitelerin sık sık yaşandığı Japonya dört aktif tektonik levhanın (Pasifik, Kuzey Amerika, Avrasya ve Filipin Levhaları) kesiştiği nokta olan ve Pasifik Ateş çemberi olarak isimlendirilen bölgede bulunmaktadır. Levhaların kesişme noktasında bulunmasıyla hareketli bir sismik süreç kazanan Japonya deprem afetine sıklıkla maruz kalmaktadır. Richter ölçeğine göre 6'dan büyük olan depremlerin %20'si 19. Yüzyıldan itibaren Japonya'da gerçekleşmiştir (Wariyatno vd., 2019; GFDRR, 2016).

Japonya sürekli deprem yaşayan bir ülke olarak şimdiki birikimlerini deneyimleyerek öğrenmiş ve revize etmiştir. En son güncel sismik tasarım yöntemleri ise binalarda plastik deformasyona izin verir ve küçük ve orta dereceli depremlerde elastik kalmasına olanak tanımaktadır. Plastik deformasyonun deprem enerjisini yutması beklenir. Mevcut depreme dayanıklı tasarım yönetiminde binaların sünekliği büyük depremlere dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Japonya depremin enerjisini sönümleyen çeşitli inşaat teknikleri kullanmasının yanı sıra çelik malzemenin süneklik ve hafiflik özelliklerinden de yararlanarak inşaat alanında kullanımını artırmıştır. Yapısal

çelik elemanlarının deprem kuvveti altında kırılmadan deforme olarak deprem enerjisini sönmleyebilme özelliği modern inşaat teknik ve tasarımlarının vazgeçilmezleri olmuştur (Wariyatno vd., 2019).

1923 Kanto (moment magnitüdü $M_w=7,9$) ve 1995 Kobe (Great Hanshin, $M_w=6,9$) depremlerinde çok sayıda can kaybı yaşanmış ve milyarlarca maddi hasarlar meydana gelmiştir. 6000 kişinin hayatını kaybettiği, 300.000 den fazla kişinin evsiz kaldığı ve 103.000 evin ağır hasar alarak yaşanılmaz hale geldiği bu büyük depremlerden Japon halkı önemli dersler çıkarmış ve çok yüksek bütçeler ayırarak asla ödün verilmeyen inşaat yönetmelikleri hazırlamışlardır (Demirtaş, 1995: 41). Bu yönetmeliklere göre kurallar binaların yüksekliklerine göre belirlenmektedir. Alçak binalar, orta yükseklikte binalar ve yüksek binalar için farklı koruma yöntemleri bulunmaktadır. Üç ve daha az katlı binalarda metal donatı ile güçlendirilmiş duvarlar ve temelde belirli kalınlıkta levhaların yerleştirilmesi şartı koşulmaktadır. Orta ve yüksek binalarda binanın yeryüzü ile bağlantısını kesen çelik sönmleyicilerin kullanıldığı taban izolasyonu sistemi kullanılmaktadır (Suppasri vd., 2013).

Japonya, günümüzde hem çelik üretimi hem de uygulamasında en gelişmiş ülkelerden biri konumundadır. Bu durum gerek yapısal çelikte gerekse diğer çelik malzemelerde teknolojiler geliştirmek için kapsamlı ar-ge çalışmaları sonucunda mümkün olmuştur. Japonya'da her yıl 600.000 konut inşa edilmekte ve bu konutların %40'ı çelik konstrüksiyondan oluşmaktadır. Japonya her yıl yurt içinde 50 milyon ton çelik tüketiyor ve bu çeliğin %45'i yapısal alanda kullanılıyor (Kanno, 2015). Çelik malzemenin genelde yüksek katlı binalarda kullanıldığı düşünülse de beş ve beşten az katlı yani orta yükseklikteki binalarda da kullanıldığı görülmektedir. Çelik yapı bileşenleri sıcak haddelenmiş ve soğuk şekillendirilmiş çelikler olarak üretilmektedir. İki yönlü sert çerçeve, kutu şeklindeki çelik kolonlar ve kaynaklı kolon kiriş bağlantıları kullanılmaktadır. Mevcut bağlantılarda süreklilik plakaları kullanılarak tamamen kaynaklanır ve sertleştirilir. Bu tasarımın uygulanması özellikle de kutu kolon uygulaması sağlamlığın her yönden aşırı depremlere karşı güvence altına alınması gereken bir sismik tasarım düşüncesinden geliştirilmiştir (Minami vd., 2018). Japonya'da yapısal çelik kullanımı 1960'lı yıllardan itibaren gittikçe artmıştır (Kanno, 2016).

Japonya'da konutlarla ilgili inovatif gelişmeler halkın afet bilinci ile birleştiğinde ortaya afete dirençli toplum denilen mekanizmanın çıktığı görülmektedir.

5.3. Şili

Şili Güney Amerika'nın güneybatı kısmında Atlantik ve Pasifik okyanusları arasında yer alan uzun şerit şeklinde bir kıyı ülkesidir. Şiddetli depremlerin, volkanik patlamaların ve tsunamilerin sıklıkla görüldüğü Şili, tarih boyunca meydana gelen depremlerin en büyüğü olan Richter ölçeğine göre $M_w=9,5$ olarak ölçülen Büyük Şili Depremi (Valdiva)'ni yaşamıştır. 22 Mayıs 1960 yılında gerçekleşen bu büyük depremde 1655 kişi hayatını kaybetmiş, 2 milyon kişi evsiz kalmıştır. Akabinde deprem, Avustralya, Hawaii, Japonya, California ve Filipinler'e kadar geniş bir bölgeyi etkilemiş ve tsunami dalgaları ile büyük yıkımlara sebebiyet vermiştir (URL 4).

1960 Valdiva depremi Şili için bir milat olarak tanımlanabilir. Bu büyük deprem sonrasında Şili'de depreme hazırlık ve müdahale modeli oluşturulmuş ve her depremde eksiklerini görerek deprem yönetmeliklerine her seferinde yeni eklemeler yaparak ilerleme kaydetmişlerdir. Benimsedikleri bu model küresel anlamda birçok ülkeye örnek olmuştur. Burada etken olan yapı stoklarındaki donatılar ve sıkı güvenlik koşullarıdır. Aynı zamanda Şili'de her deprem toplumsal bir öğreti şeklinde algılanmış ve davranış biçimlerini belirlemiştir. 1960 yılında yaşanan Büyük Şili Depremi ardından uzun vadeli stratejiler, afet riski yönetimi özellikle de yapılar için dayanıklılık kültürü benimsenerek bu sürecin sürdürülebilir olması sağlanmıştır (Yolcu ve Bekler, 2021).

Şili dünyanın gelişmiş ülkelerinden olmamakla birlikte ülkedeki bina kodları dünyanın en iyileri arasında kabul edilmekte ve bu zamana dek birçok depreme dayanıklı bina tekniği uygulanmıştır. Şu anda kullanılan teknik ise güçlü kolon zayıf kiriş ismini verilen yeni bir sistemdir. Sistem şöyle ki binalar çelik çerçevelerle güçlendiriliyor ve sertleştirilmiş sağlam beton kolonlar üzerine oturtuluyor. Sertleştirilmiş beton kirişler, katları ve çatıyı oluşturmak amacıyla kolonların üzerine bağlanıyor. Bu mantığa göre bir deprem olduğunda kirişler en dipten kırılacak ve depremin enerjisini dağıtacak. Ardından çelik destekler ve kolonlar yıkılmayarak binayı ayakta tutabilecektir (URL 5).

27 Şubat 2010 Şili depreminin sonuçlarını incelemek üzere Kanada'dan yapı mühendisleri ve sismologlardan oluşan bir ekip Şili'ye keşif hareketi gerçekleştirmiştir. Mevcut çelik binaların iyi performans gösterdiklerini rapor etmişlerdir. Daha çok yapısal olmayan elemanların zarara sebep olduğu sonucunu çıkarmışlardır. (Saatçioğlu vd., 2013).

Şili hem toplum hem de devlet bazında deprem ve dayanıklılık kültürüne sahip bir ülke olmasından dolayı yapı stokunda çelik malzemenin avantajlarından yararlanmaktadır. Ülke, gelişmekte olan ülkeler arasında yer aldığından yerel malzeme olarak ahşap malzemenin de kullanımı olmakla birlikte hem çelik üretimi hem de ithalatı yapılmaktadır. Şili'yi en çok sarsan depremlerden biri olan 27 Şubat 2010 ($M_w=8.8$) depremi birçok faaliyeti durdurmuş ve ekonomik tahribat yaratmıştır. Ancak Gerdau şirketinin Şili yan kuruluşu olan Gerdau Aza şirketi 55 gün gibi kısa bir duraklama sonrasında çelik hadde tesislerindeki hasarı gidererek üretimi yeniden başlatmıştır. Başkent Santiago'da bulunan haddehaneler Mayıs ayından itibaren aylık 40 bin ton üzerinde üretim yaparak kaybedilen zamanı tekrar kazanmaya çalışacaklarını belirtmişlerdir. Ayrıca ülke kayıplarını telafi etmek adına 50 bin ton da çelik ithalatı yapmıştır. Alınan ürünler arasında inşaat çeliği ve levhaları ile çeşitli çelik ürünler bulunmaktadır (Weik, 2010).

Şili'nin henüz gelişmekte olan ülkeler kategorisinde yer almasına rağmen 2010 yılında 520 bin ton olan çelik üretim kapasitesini 2019 yılında 1.133 tona çıkardığı görülmektedir (URL 2). Bu durum ülkenin yeni ve teknolojik gelişme arayışlarına ve modern yapı kültürüne bakış açısını değerlendiren bir gelişmedir.

Kalkan vd., (2020) Şili Maule depremi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmaya göre Maule depreminde ülkenin %75'i yani 12 milyon kişi etkilenmiştir. Binaların %66'sının hasar gördüğü depremde 190.358 konut kullanılamaz hale gelmiştir. Bunun üzerine Şili'de deprem sonrası yeniden yapılandırma sürecinde olası afetler karşısında depreme dayanımı yüksek yapılar inşa etmek ve diğer tüm iyileştirme çalışmalarının toplum için kesintisiz devam etmesine yönelik stratejiler hedeflenmiştir. Ardından depremzedeler için geçici prefabrik konutlar inşa edilmiştir. Şili'deki deprem sonrası yeniden yapılandırmada diğer ülkelere örnek teşkil edecek bir kamp modeli oluşturulmuştur. Bu modelde depremzedelere geçici konutlarını istek ve ihtiyaçlarına yönelik genişletebilmeleri için yeterli aralıklar bırakılmıştır (Camerio, 2013).

Şili hükümeti yaşanan bu acı depremi daha yaşanabilir kentler haline getirebilmek için adeta bir fırsat olarak görmüş ve planlama ve iyileştirme çalışmaları için alanında uzman bir ekip görevlendirmiştir. Görevlendirilen bu ekip yerel halk, yerel yöneticiler ve akademisyenlerle birlikte çalışmış daha iyi neler yapılabileceği konusunda fikir alışverişinde bulunmuşlardır. Bu bağlamda güvenlik ve deprem kültürü, kaliteli yaşam ve sürdürülebilirlik ilkeleri üzerinde durulmuştur. Ardından yeniden yapılandırma süreci için bir tasarım proje ekibi kurulmuştur. Bu ekipte gönüllü mimarlar ve mühendisler, yöneticiler ve yerel halkı temsil eden kişiler bulunmuştur. Bu süreçte halkın istek ve önerileri önemsenmiş ve projeler halk oylamasına sunulmuştur. Halk oylamaları sonucunda kenti olası tsunamilerden korumak adına sahil bölgelerindeki kıyı şeridinin yeşil alan olması, kalıcı konutlar yapılırken yarısını hükümet yaparken yarısını da vatandaşın kendi istek ve ihtiyacına göre tamamlaması, vatandaş evini

tamamlarken hükümetin gerekli malzeme desteğini yapacağı gibi kararlar alınmıştır. Bu alınan kararlar neticesinde Şili’de deprem sonrası yeniden yapılandırma aşamasında ve sonrasında halk ve hükümet bu süreci beraber, uyumlu, planlı ve sürdürülebilir bir şekilde yürütmüştür.

Bunlara ek olarak Şili’nin afetlere dahi depremlere müdahale anlayışı, yıkılan yerleşim yerlerinin geleceğe yönelik daha modern ve sürdürülebilir kentlere dönüşmesi şeklindedir (Kalkan vd., 2020).

5.4. Almanya

Almanya’da hafif çelik profillerin yapılarda kullanılması II. Dünya Savaşı sonrasında başlamıştır. Klasik çelik profillerin yanı sıra hafif çelik profillerin kullanımı ancak günümüzde yaygınlaşmışken Almanya’da 1950’li yıllarda ilk halleri görülmüştür. Hafif çelik yapıların günümüzdeki şeklini alması ise 1980’li yılları bulmuştur.

Almanya’nın 2962 metreyle en yüksek dağı olan Zugspitze Dağına bir teleferik yerleştirilmiş ve bu teleferik birçok yönden dünya rekorları sahibi olmuştur. Aralık 2015’te başlanan ve Ocak 2018’de yapımı tamamlanan Zugspitze Teleferiği, 127 metre çelik sütunu ile dünya rekoru kırmıştır. Ardından en uzun açıklık alanı olan 3213 metre alana sahip olmasıyla da adından söz ettirmiştir. Akabinde vadi tabanı ile tepe arasında 1945 metre fark bulunmasıyla da dünya rekoru kırmış durumdadır. Almanlar bu büyüklükteki bir yapıyı çelik malzemenin özelliklerinden faydalanarak yapmışlardır. Teleferiğin üst istasyonu için 1100 ton, alt istasyonu içinse 1300 ton çelik kullanmışlardır. Yapı yüksek bir bölgeye inşa edildiğinden dolayı şantiye alanı ile arasında 3000 metre mesafesi vardı ve kar, yağmur veya dolu ile geçen 180 gün, fırtınalı 48 gün ve Ocak aylarında -27 °C’yi bulan sıcaklıklar mevcuttu. Tüm bu olumsuz hava ve inşaat koşullarına rağmen iki yılda bu teleferik tamamlamışlardır. Teleferiğin alt istasyondan zirveye 10 dakika gibi kısa bir sürede ulaşması ve saatte 580 yolcu taşınması da önemli özelliklerinden bir tanesidir (Walder, 2019).

Almanya’da 100 yıl önceki yer altı demir (çelik viyadük) yolu bile hala ayakta kalabilmiştir. 100 yıllık bu demir yolunun çelik profillerle yükselterek ve radyografik incelemelerle hasarları tespit edilip sağlamlaştırılması gerçekleştirilmiştir (Herter vd., 2013).

Dünya çelik birliğinin raporlarına göre Almanya çelik üreten on büyük ülkeden yedincisidir. Avrupa kıtasında bulunması itibarıyla deprem tehlikesi fazla bulunmayan ülkede binalar depreme dayanıklı yapılmak istenmekte ve yapı stokunun %40’lık bir kısmı çelik konstrüksiyondan oluşmaktadır (URL 2). Mevcut deprem yönetmeliklerine bağlı kalan ve sağlam konut yapan Almanya, vatandaşlarına deprem anında evlerinde kalmaları gerektiği tavsiyesini verebilmekte ve afet bilincini oluşturabilmektedirler.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, çelik prefabrik yapıların tarihsel gelişimi, teknik özellikleri, ülkemizde ve dünya ölçeğinde kullanımı ile neden deprem bölgelerinde kullanılması gerektiği üzerine bir araştırma yapılmıştır. Literatürde bulunan birçok bilimsel kaynaktan çelik malzemenin depreme karşı diğer yapı türlerinden daha dayanıklı olduğu kanıtlanmıştır.

Çelik yapılar tekrar eden her depremde yeniden gündem konusu olup yapılabilirliğine dair inanç ve ümit artmaktadır. Öte yandan gelişmiş ülkelere bakıldığında çelik yapılar hem sismik hem mimari açıdan avantajlı olup hem de hızla artan kitlelere bir çözüm olarak görülmektedir.

Çelik yapı kullanımı konusunda Çin, Japonya, Şili ve Almanya incelenmiştir. Bu ülkeler tarihleri boyunca çok sayıda yıkıcı deprem yaşamışlardır ve bunun getirdiği deneyimlerle afet bilinci

oluşan bir toplum tabanlı afet yönetimi sistemi geliştirmişlerdir. Yalnızca afet bilincinin depremlerden korumadığının ancak ve ancak yaşanan konutların da deprem anında yıkılmaması gerektiğinin farkındadırlar. Bu farkındalık sayesinde yapılarını depreme dayanıklı hale getirmenin yollarını bulmakta ve halklarına deprem anında evlerinde kalmayı önermektedirler. Ayrıca, çelik üretimi ve çelik konstrüksiyon alanlarında oldukça ileri seviyededirler.

Yapılacak kapsamlı afet yönetimi planlamalarında kriz yönetiminin son basamağı olan yeniden yapılandırma sürecinde atılan sağlam temeller, risk yönetiminin ilk basamağı olan zarar azaltma çalışmalarını destekleyici nitelikte olacaktır. Bu döngünün kusursuz bir şekilde işlemesi için tüm basamaklar kendinden emin adımlar atılarak geçilmelidir. Gelişmekte olan ülkelerin afetlere hazır olması ancak bu şekilde sağlanacaktır.

Bulunduğu coğrafya nedeniyle, Türkiye'nin birçok bölgesinde, deprem ve diğer birçok afetler sürekli olarak meydana gelmektedir. Sürekli bir tehdit ve tehlike oluşturan bu afetlere karşı, can ve mal kayıplarının azaltılmasına yönelik stratejiler geliştirilmeli ve uygulanmalıdır. Geliştirilen stratejiler doğrultusunda, kentsel politikalar ve imar yasaları düzenlenmeli, olası afetlerde karşılaşılabilecek can ve mal kayıplarının da artmasına neden olan, göçe dayalı, plansız ve denetimsiz yapılan yapıların tespit edilerek, yıkılmaları veya mevzuata uygun olarak dönüştürülmeleri gerekmektedir.

Her deprem aynı zamanda bir acı tecrübedir. Bu tecrübelerden ders çıkarılmalı ve bunlar deprem yönetmeliklerine yansımalıdır. Koyulan kurallara kati suretle uyulmalı, gereken denetimler yapılmalıdır. Depremler ne kadar acı olsa da bir diğer açıdan fırsat olarak değerlendirilmeli ve yıkılmış yahut ağır hasar almış yapıların yerine önceki hallerinden daha sağlam, yenilikçi ve estetik yapılar yapmak bir strateji haline getirilmelidir. Bu bağlamda ülke olarak çelik konstrüksiyonun avantajlarından yararlanarak iyileştirme çalışmaları sürdürülmelidir.

Ülkedeki tüm konutları çelik prefabrik malzemeden yapılsa bile en azından okul, hastane vb. mühim binaları çelik malzemeden yapmak gereklidir. Çünkü bu binalar hem afet zamanında sığınak olarak kullanılacaktır hem de milli servet değeri taşımaktadır.

Karar verici mekanizmaların afet konusunda yapılan bilimsel araştırmalara (makale, tez, proje vb.) destek vermesi ve bu araştırmaların sonuçlarının dikkate alınması gerekmektedir. Ülkemizdeki var olan geleneksel yapı kültürü çelik yapılar alanında ilerlememizi engellemektedir. Kendi şahsına ev yapacak olan halktan bazı mühendis ve müteahhitlere kadar bu durum böyledir. Betonarme yapıdan vazgeçememe hali ile çelik ve prefabrik terimlerine de bir ön yargı da mevcuttur. Bu önyargılardan biride çelik evlerin ekonomik olarak yüksek maliyetli olduğu konusudur. Durumun böyle olmadığı bu çalışmada detaylı olarak belirtilmiştir. Her alanda olunması gerektiği üzere bir hayli hayati olan konut yapımı alanında da yenilikçi ve açık görüşlü olunmalıdır.

Ülkemizin gelinen durumu itibariyle yapım süreci tamamlanmış binalar için yapılacak pek fazla bir şey yoktur. Fakat en azından bundan sonraki yaşanılacak depremlerde, kullanılamayacak hale gelen binaların yerlerine kesinlikle çelik konstrüksiyon düşünülmelidir. Başka bir yönden insanlara ne kadar fazla afet bilinci eğitimi verilmiş olursa olsun yaşadıkları konutların sağlamlığına ikna edilmezlerse hiçbir şey başarılmış olunmaz. Ancak deprem anında herkes panik haline girmeden evlerinde kalabilir güvencesi verildiği zaman asıl başarı yakalanmış ve toplum tabanlı bir bütünleşik afet yönetimi uygulanabilir olur.

KATKI BELİRTME

Bu araştırma, Nesibe Of'un Gümüşhane Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Afet Yönetimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans programında Prof. Dr. Serkan Öztürk danışmanlığında yapmış olduğu "Depremlerden Sonraki Yeniden Yapılanma Sürecinde Çelik Prefabrik Malzeme Kullanımının Gerekliliği Üzerine Küresel Bir Araştırma" başlıklı yüksek lisans tezinden türetilmiştir. Makale değerlendirme sürecinde düzeltme önerileri ile katkı sağlayan hakemlere ve gösterdiği ilgiden dolayı editöre teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Aghayere, A., Vigil, J. (2015). Structural Steel Design, A Practice-Oriented Approach 2'nd Edition, Pearson Education Prentice Hall, USA

Alkan, H., Büyüksaraç, A., Bektaş, Ö., Işık, E. (2021). Coulomb stress change before and after 24.01.2020 Sivrice (Elazığ) Earthquake (Mw=6.8) on the East Anatolian Fault Zone, Arabian Journal of Geoscience, 14, 2648. doi.org/10.1007/s12517-021-09080-1

Amani, A., Niyazi A. Q. (2018). Türkiye'de Prefabrik Yapı Sektörünün Hızlı Gelişimi, Journal of Engineering Sciences and Design, 6(3), 487-494. doi.org/10.21923/jesd.431612

Ay, Z., Çelik, İ. D., Kımıllı, N.A. (2010). Çaprazlı Çelik Çerçevelerin Sismik Performansı Üzerine Bazı Değerlendirmeler, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26(1), 7-17

Beşgül, Ö. (2006). Design and Production of Steel Buildings: A Case Study in Ankara, Master Tesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Master of Science in Building Science in Architecture

Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey-a synthesis, Geodinamica Acta, 14, 3-30. doi.org/10.1016/S0985-3111(01)01066-X

Camerio, M.C. (2014). Housing Recovery Lessons from Chile, Journal of the American Planning Association, 80(4), 340-350. doi:10.1080/01944363.2014.968188

Çavdar, Ö. (2017). Farklı Şekilde Çapraz Elemanlı Çelik Yapıların Dinamik Davranışının İncelenmesi, Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu, 193-2013

Çırpan, B. (2017), Çok Katlı Çelik Yapılarda Yapı Geometrisinin Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi ve İdeal Geometrik Formun Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Demirtaş, R. (1995). 17 Ocak 1995 Kobe (Hyogoken-Nanbu/Great Hanshin) Depremi, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Deprem Araştırma Bülteni, 21(72), 39-70

Deng, E., Zong, L., Ding, Y., Zhang, Z., Zhang, J. F., Shi, F., ... Gao, S. (2020). Sismic Performance of mid-to-high Rise Modular Steel Construction – A Critical Review, Thin Walled Structures, 155, 106924. doi.org/10.1016/j.tws.2020.106924

Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., Çan, T. (2018). Active fault database of Turkey, Bulletin of Earthquake Engineering, 16, 3229-3275. doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2

Eren, Ö., Başarır, B. (2013). Çelik Strüktürlerin Yaşam Döngüsü İçinde Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi, NWSA-Engineering Sciences 1A0346, Mimar Sinan Arts University, 8(2), 120-135. doi :10.12739/nwsa.2013.8.2.1a0346

Global Facility for Disaster Reduction and Recovery and The World Bank (GFDRR) (2016). Okulları Uygun Ölçekte Afetlere Karşı Dayanıklı Hale Getirmek: Japonya Örneği

Gür'eş, H.Y. (2012). 2012'den 2013'e Demir Çelik Sektörü ve 2012'yi Etkileyen Gelişmeler ve Bu Gelişmeler Paralelinde Sektörün Değerlendirmesi İle Sektörün 2013 Beklentileri ve Hedefleri, 13 Ocak 2021 tarihinde www.tucsa.org.tr adresinden erişildi

Güzel, H. (2013). Afet Sonrası İyileştirme ve Yeniden Yapılandırma Çalışmalarına Yönelik Afet Yönetimi Bilgi Sistemi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Herter, J., Fischer, M., Brandes, K. (2013). 100 Years of the Underground In Germany - for the Fatigue Safety of a Steel Viaduct on Line 1 in Berlin, doi.org/10.1002/stab.200200310

Huang, F., Li, M., Ma, Y., Han, Y., Tian, L., Yan, W., Li, X. (2017). Studies on Earthquake precursors in China: A Review for Recent 50 years, *Geodesy and Geodynamics*, 8, 1-12. doi.org/10.1016/j.geog.2016.12.002

Kadıoğlu, M. (2011). Afet Yönetimi Beklenilmeyeni Beklemek, En Kötüsünü Yönetmek, Marmara Belediyeler Birliği Yayını, İstanbul

Kalkan, M., Kaçar, A. D., Alptekin, O. (2020). Ülkelerin Deprem Sonrası Yeniden Yapılaşma Süreçlerinin Karşılaştırılması: Çin, Şili ve Türkiye Örnekleri, *Tasarım Kuram Dergisi*, 16(31), 152-169. [doi: 10.14744/tasarimkuram.2020.41275](https://doi.org/10.14744/tasarimkuram.2020.41275)

Kanno, R. (2015). Advance in Steel Structures and Steel Materials in Japan, Nippon Steel and Sumitomo Metal Corporation (Japan), International Association for Bridge and Structural Engineering Symposium Report, 104(39), 394-404

Kanno, R. (2016). Advances in Steel Materials for Innovative and Elegant Steel Structures in Japan-A Review, *Structural Engineering International*, 26(3), 242-253. [doi:10.2749/101686616x14555428759361](https://doi.org/10.2749/101686616x14555428759361)

Karaaslan, A. (2015). Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Afet Yönetimi ile Türkiye'deki Afet Yönetiminin Karşılaştırılması, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi

Kurtay, C., Badem, M. (2013). Avrupa Ülkeleri ve Türkiye'deki Çelik Yapı Uygulama Olanak ve Kısıtlıklarının İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 19(4), 351-363. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6662/88966>

Ky, V. S., Lenwarib, A., Thepchatrri, T. (2015). Optimum Design of Steel Structures in Accordance with AISC 2010 Specification Using Heuristic Algorithm, *Engineering Journal*, 19(4), 71-81. [doi: https://doi.org/10.4186/ej.2015.19.4.71](https://doi.org/10.4186/ej.2015.19.4.71)

Lawson, R. M., Ogden, R. G. (2008). Hybrid Light Steel Panel and Modular Systems, *Thin Walled Structures*, 46(7), 720-730. [doi:10.1016/j.tws.2008.01.042](https://doi.org/10.1016/j.tws.2008.01.042)

Mahmud, E. (2017). Çelik Yapılarda Çağdaş Prefabrikte Yapı Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Tezi, Sakarya

Minami, F., Takashima, Y., Ohata, M., Shimada, Y., Suzuki, T., Shimanuki, H., ... Hagihara, Y. (2018). Fracture Assessment Procedure Developed in Japan for Steel Structures under Seismic Conditions, *Engineering Fracture Mechanics*, 187, 142-164. [doi: 10.1016/j.engfracmech.2017.10.034](https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2017.10.034)

Öz, D. (2018). Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Kuralları Doğrultusunda Çelik Yapıların Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, (ss. 16), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Özkan, H. (2013). Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlı Yapıların Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.

Öztürk, V. (2010), Çelik Prefabrik Yapı Sistemlerinin İmalatı, Montajı, Yalıtım Usulleri ve Maliyet Analizi ile Uygun Kaplamanın Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Saatçioğlu, M., Tremblay, R., Mitchell, D., Ghobarah, A., Palermo, D., Simpson, R., ... Hong, H. (2013). Performance of Steel Buildings and Nonstructural Elements during the 27 February 2010 Maule (Chile) Earthquake, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40(8), 722-734. doi:10.1139/cjce-2012-0244

Shi, G., Gao, Y., Wang, X. (2019). Material Properties and Partial Factors for Resistance of Low Yield Point Steels in China, *Construction and Building Materials Journal*, 209, 295-305

Suppasri, A., Imamura, F., Koshimura, S., Shuto, S. (2013). Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Tsunami: Performance of Tsunami Countermeasures, Coastal Buildings, and Tsunami Evacuation in Japan, *Pure and Applied Geophysics*, 170, 6-8. doi:10.1007/s00024-012-0511-7

Şengül, M., Turan, M. (2015). Erciş Depremi Örneğinde Afet Sonrası Geçici Yerleşim Alanlarında Yönetim Uygulamaları ve Sorunları / Administration and Problems of Post Disaster Temporary Settlements in Example of Erciş Earthquake . *Mülkiye Dergisi*, 36 (1-274), 113-148 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/mulkiye/issue/5/52>

URL 1, <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/crude-steel-production-new/CSP-ERC/>, Press Release – January 2021 Crude Steel Production, Brussels, Belgium, 2021 (Son Erişim: 15.03.2021)

URL 2, <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2019/July-2019-crude-steel-production.html>: (Son Erişim: 19.04.2021)

URL 3, https://www.tucsa.org/tr/haber_detay.aspx?haber=235&tip=1 (Son Erişim: 22.04.2021).

URL 4, <https://ticaret.gov.tr/>, Şili Ülke Profili T.C. Ticaret Bakanlığı Raporu (Son Erişim: 16.05.2021)

URL 5, <http://mimdap.org/2010/03/thili-depreminde-tasarım-ve-bina-kodlary/> (Son Erişim: 16.05.2021)

Walder, M. (2019). Steel Structures for the New “Seilbahn Zugspitze”- on Top of Germany, NORDIC STEEL 2019, The 14th Nordic Steel Construction Conference, Copenhagen, Denmark.

Wariyatno, N.,G., Han, A.,L., Gan, B.,S. (2019), Proposed Design Philosophy for Seismic-Resistant Buildings, *Civil Engineering Dimension*, 21(1), 1-5

Weik, J. (2010). Gerdau Aza Restarts Steelmaking after 55-Day Stoppage due to Earthquake, *Metal Bulletin Daily*, 208, 74-75

Yardımcı, N. (2006). Çelik Yapıların Tasarımı ve Başlıca Tasarım Yöntemleri, *Dünya İnşaat*, 123-127.

Yolcu, M. & Bekler, T. (2020). Deprem Kültürü ve Farkındalık Çalışmaları: Şili ve Elazığ Depremlerinin Karşılaştırılması. *Lapseki Meslek Yüksekokulu Uygulamalı Araştırmalar Dergisi*, 1(2), 71-82. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ljar/issue/59169/819563>

Zhang, A., Su, L., Jiang, Z., Kang, Y., Qiu. (2021a). Cyclic Loading Tests of Earthquake-Resilient Prefabricated Steel Cross Joints with Different FCP Connections, *Structures, China*, 32, 1-14

Zhang, G., Xu, L., H., Li, X., Z. (2021b). Development and Seismic Retrofit of an Innovative Modular Steel Structure Connection Using Symmetrical Self-Centering Haunch Braces, *Journal of Engineering Structures, China*, 229, 111671