

Neden Çelik Yapı?

Yük. İnş. Müh. Mustafa KELEŞ
İMO İstanbul Şubesi Yönetim Kurulu Başkanı

Yapı sektörü, artan nüfus, kentleşme, doğal afet riskleri ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda sürekli bir dönüşüm içerisinde. Bu dönüşüm sürecinde taşıyıcı sistem seçimleri, yapıların güvenliği, ekonomikliği, çevresel etkileri ve kullanım ömürleri açısından belirleyici bir rol üstlenmektedir. Günümüzde çelik yapılar; yüksek dayanım/ağırlık oranı, sünek davranışı, hızlı üretim ve montaj olanakları, kalite kontrolünün fabrika ortamında sağlanabilmesi ve geri dönüştürülebilirliği sayesinde modern yapı teknolojilerinin en önemli taşıyıcı sistemlerinden biri hâline gelmiştir.

Özellikle yüksek deprem tehlikesine sahip ülkelerde çelik yapıların enerji yutma kapasitesi ve sünek davranış özellikleri, can ve mal güvenliğinin artırılmasında önemli avantajlar sunmaktadır. Bunun yanında endüstriyel üretim teknikleri sayesinde yapım süresinin kısalması, işçilik hatalarının azalması ve yaşam döngüsü maliyetlerinin düşürülmesi, çelik yapıların tercih edilme nedenlerini güçlendirmektedir.

Bu çalışmada çelik yapıların mühendislik özellikleri; betonarme ve diğer taşıyıcı sistemlerle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş, deprem performansı, ekonomik analizler, sürdürülebilirlik, mimari esneklik ve geleceğin yapı teknolojileri açısından sağladığı avantajlar incelenmiştir. Ayrıca Türkiye’de çelik yapı sektörünün mevcut durumu değerlendirilmiş ve yaygınlaştırılmasına yönelik öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çelik yapı, taşıyıcı sistemler, deprem mühendisliği, sürdürülebilir yapı, prefabrikasyon, yaşam döngüsü maliyeti.

1. Giriş

Yapı mühendisliğinde taşıyıcı sistem seçimi, bir yapının güvenliği, ekonomikliği, inşa süresi ve kullanım ömrü üzerinde doğrudan etkili olan temel tasarım kararlarından biridir. Tarih boyunca taş, ahşap, yığma, betonarme ve çelik gibi farklı yapı malzemeleri geliştirilmiş; her biri kendi döneminin teknolojik ve ekonomik koşullarına göre yaygın biçimde kullanılmıştır. Günümüzde ise gelişen üretim teknolojileri ve performans esaslı tasarım yaklaşımları sayesinde çelik, yalnızca endüstri yapılarında değil; yüksek katlı binalar, hastaneler, havaalanları, spor tesisleri, köprüler ve modüler

yapılarda da yaygın olarak tercih edilmektedir. Türkiye’nin aktif fay hatları üzerinde yer alması, yapı güvenliğini yalnızca ekonomik bir tercih olmaktan çıkarıp toplumsal bir zorunluluk hâline getirmektedir. Son yıllarda yaşanan büyük depremler, taşıyıcı sistem seçimlerinin yapı performansı üzerindeki belirleyici etkisini bir kez daha ortaya koymuştur. Deprem sırasında oluşan dinamik yükler altında sünek davranış gösterebilen yapı sistemleri, göçmenin önlenmesi ve can güvenliğinin sağlanması açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Çelik yapılar, yüksek süneklikleri ve enerji tüketme kapasiteleri sayesinde bu gereksinimleri karşılayabilen başlıca yapı sistemleri arasında yer almaktadır.

Çelik yapıların bir diğer önemli avantajı, üretim süreçlerinin büyük ölçüde fabrika ortamında gerçekleştirilmesidir. Kontrollü üretim koşulları sayesinde kalite standardizasyonu sağlanmakta, montaj süreleri önemli ölçüde azalmakta ve şantiye kaynaklı hata olasılıkları düşmektedir. Bu özellikler özellikle hastane, eğitim yapıları, endüstri tesisleri ve afet sonrası geçici veya kalıcı yerleşim alanları gibi hızlı tamamlanması gereken projelerde önemli üstünlük sağlamaktadır.

Bunun yanında sürdürülebilirlik kavramının inşaat sektöründe giderek önem kazanması, çelik malzemenin çevresel açıdan da değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Çelik, defalarca geri dönüştürülebilir yapıları sayesinde doğal kaynak tüketimini azaltmakta, döngüsel ekonomi ilkelerine katkı sağlamakta ve yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Gelişen üretim teknolojileriyle birlikte düşük karbonlu çelik üretimi ve dijital tasarım yöntemleri de çelik yapıların gelecekteki önemini daha da artırmaktadır.

Bu bildirinin amacı, çelik yapıların teknik, ekonomik ve çevresel üstünlüklerini bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmek; betonarme yapılarla karşılaştırmalı analizler yapmak ve özellikle deprem riski yüksek ülkelerde neden daha fazla tercih edilmesi gerektiğini mühendislik perspektifiyle ortaya koymaktır. Ayrıca Türkiye’de çelik yapı kullanımının mevcut durumu incelenerek geleceğe yönelik değerlendirmeler ve öneriler sunulacaktır.

2. Yapı Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

İnsanlık tarihi boyunca kullanılan yapı malzemeleri, toplumların teknolojik gelişmişlik düzeyi ve mühendislik bilgi birikimi ile paralel olarak değişim göstermiştir. İlk yerleşimlerde doğal taş, ahşap ve kerpiç gibi kolay temin edilebilen malzemeler kullanılmış; bu malzemeler uzun yıllar boyunca yapı üretiminin temelini oluşturmuştur. Ancak nüfusun artması, kentleşmenin hızlanması ve daha büyük açıklıkların geçilmesi gereksinimi, yeni yapı malzemelerinin geliştirilmesini zorunlu hâle getirmiştir.

Sanayi Devrimi ile birlikte demir ve daha sonra yapısal çelik üretimindeki gelişmeler, yapı mühendisliğinde önemli bir dönüm noktası olmuştur. Özellikle 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren Bessemer ve Siemens-Martin yöntemleriyle ekonomik çelik üretiminin mümkün hâle gelmesi, çeliğin inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Bunun sonucunda köprüler, tren garları, fabrika binaları ve yüksek katlı yapılar daha önce mümkün olmayan açıklık ve yüksekliklerde inşa edilmeye başlanmıştır. 20.yüzyıl boyunca betonarme sistemlerin yaygınlaşmasına rağmen, yüksek dayanım gerektiren yapılarda çelik vazgeçilmezliğini korumuştur.

Özellikle gökdelenler, endüstri yapıları, havaalanları, spor salonları ve köprülerde çelik taşıyıcı sistemler yaygın olarak tercih edilmektedir. Son yıllarda ise yüksek dayanımlı çelikler, kompozit sistemler, modüler yapı teknolojileri ve dijital üretim yöntemleri sayesinde çelik yapıların kullanım alanı önemli ölçüde genişlemiştir.

Türkiye’de ise çelik yapıların kullanımı uzun yıllar boyunca ağırlıklı olarak sanayi yapıları ve çelik çatılarla sınırlı kalmıştır. Ancak deprem mühendisliğindeki gelişmeler, hızlı kentleşme ve sürdürülebilir yapı anlayışının güçlenmesi sonucunda çok katlı binalar, hastaneler, eğitim yapıları ve modüler konut projelerinde de çelik sistemlere olan ilgi artmaktadır.

3. Çelik Yapının Temel Özellikleri

Çelik, mühendislik açısından homojen yapıya sahip, mekanik özellikleri yüksek doğrulukla belirlenebilen ve endüstriyel koşullarda üretilebilen bir yapı malzemesidir. Betonarme sistemlerden farklı olarak malzeme özellikleri üretim aşamasında standartlara uygun biçimde kontrol edilmekte, böylece tasarım hesapları ile gerçek davranış arasındaki uyum önemli ölçüde artırılmaktadır.

3.1 Mekanik Özellikler

Yapısal çelik, yüksek akma dayanımı ve çekme dayanımı sayesinde aynı yükleri daha küçük kesitlerle taşıyabilmektedir. Bu durum yapı ağırlığını azaltırken kullanılabilir iç hacmin artmasına da katkı sağlamaktadır.

Yapısal çeliklerde elastisite modülü yaklaşık 200 GPa olup, bu değer betonun elastisite modülünün yaklaşık 7–8 katıdır. Bu nedenle çelik elemanlar daha rijit davranış sergilerken, yüksek süneklikleri sayesinde göçmeden önce önemli plastik şekil değiştirmeler gerçekleştirebilmektedir.

Süneklik, deprem mühendisliğinde en kritik malzeme özelliklerinden biridir. Deprem sırasında oluşan enerjinin kontrollü şekilde tüketilmesi, ani ve gevrek kırılmaların önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Çelik malzemenin plastik şekil değiştirme kapasitesi, yapıların deprem performansını artıran temel etkenlerden biridir.

3.2 Dayanım/Ağırlık Oranı

Çelik yapıların en önemli avantajlarından biri yüksek dayanım/ağırlık oranıdır. Aynı taşıma kapasitesine sahip betonarme sistemlerle karşılaştırıldığında çelik taşıyıcı sistemlerin toplam ağırlığı önemli ölçüde daha düşüktür.

Bu durum;

- Deprem kuvvetlerinin azalmasını,
- Daha küçük temel boyutlarının kullanılmasını,
- Zayıf zeminlerde daha ekonomik çözümler geliştirilmesini,
- Taşıma ve montaj kolaylığı sağlanmasını mümkün kılar.

Deprem etkisi altında oluşan yatay atalet kuvvetleri yapı kütlesi ile doğru orantılı olduğundan, yapı ağırlığının azaltılması deprem güvenliğine doğrudan katkı sağlamaktadır.

3.3 Süneklik ve Deprem Davranışı

Deprem tasarımında temel amaç, yapının tamamen hasarsız kalmasını sağlamak değil; can güvenliğini koruyacak şekilde kontrollü hasar oluşmasına izin vermektir. Bu nedenle modern deprem yönetmelikleri sünek davranış gösterebilen taşıyıcı sistemleri ön plana çıkarmaktadır.

Çelik taşıyıcı sistemlerde plastik mafsallar kontrollü bölgelerde oluşabilmekte ve deprem enerjisinin önemli bir kısmı bu bölgelerde tüketilebilmektedir. Böylece ani göçme riski azaltılmakta, yapı

kullanıcılarına güvenli tahliye için zaman kazandırılmaktadır.

Özellikle moment aktaran çerçeveler, çaprazlı sistemler ve dışmerkez çaprazlı sistemler, yüksek deprem performansı sağlayan çelik taşıyıcı sistemler arasında yer almaktadır.

3.4 Fabrikasyon Üretim ve Kalite Kontrol

Çelik yapı elemanlarının büyük bölümü fabrika ortamında CNC kontrollü makinelerde üretilmektedir.

Bu durum;

- Ölçü hassasiyetini artırmakta,
- Kaynak kalitesini iyileştirmekte,
- Malzeme israfını azaltmakta,
- Üretim hatalarını en aza indirmektedir.

Şantiyede gerçekleştirilen işlemler büyük ölçüde montaj faaliyetleriyle sınırlı olduğundan, hava koşullarının üretim kalitesi üzerindeki olumsuz etkileri de önemli ölçüde azaltılmaktadır.

3.5 Hızlı Üretim ve Montaj

Modern inşaat sektöründe proje teslim süreleri kritik öneme sahiptir. Çelik yapı elemanlarının proje ile eş zamanlı olarak fabrikada üretilebilmesi, toplam yapım süresini önemli ölçüde kısaltmaktadır.

Betonarme yapılarda kalıp kurulumu, donatı yerleştirilmesi, beton dökümü ve kür süresi gibi süreçler zaman kaybına neden olurken; çelik yapılarda bu işlemlerin büyük kısmı ortadan kalkmaktadır.

Yapılan araştırmalar, benzer büyüklükteki projelerde çelik taşıyıcı sistemlerin inşaat süresini %30–50 oranında azaltabildiğini göstermektedir. Bu durum özellikle sanayi tesisleri, lojistik merkezleri, hastaneler ve ticari yapılarda yatırımın daha kısa sürede geri dönüşünü sağlamaktadır.

3.6 Mimari Esneklik

Çelik taşıyıcı sistemler, yüksek dayanımları sayesinde daha uzun açıklıkların daha ince kesitlerle geçilmesine olanak tanımaktadır. Böylece kolon sayısı azalmakta, geniş ve kesintisiz iç mekânlar oluşturulabilmektedir.

Bu özellik;

- Havaalanları,
- Spor salonları,
- Kongre merkezleri,
- Alışveriş merkezleri,

- Endüstri yapıları,
- Hangarlar

gibi büyük açıklık gerektiren yapılarda önemli avantaj sağlamaktadır.

Ayrıca çelik yapıların sökülebilir ve güçlendirilebilir olması, kullanım amacı zaman içinde değişen yapılarda önemli bir esneklik sunmaktadır.

3.7 Sürdürülebilirlik ve Döngüsel Ekonomi

Günümüzde yapı sektörünün karbon emisyonları üzerindeki etkisi giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu nedenle yalnızca ilk yatırım maliyeti değil, yapıların tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel performansı da değerlendirilmektedir.

Çelik, özelliklerini kaybetmeden defalarca geri dönüştürülebilen nadir yapı malzemelerinden biridir. Kullanım ömrünü tamamlayan yapı elemanları yeniden üretim sürecine kazandırılarak doğal kaynak tüketimi azaltılabilmektedir. Bunun yanında modüler üretim teknikleri sayesinde şantiyede oluşan atık miktarı azalmakta, malzeme kullanım verimliliği artmakta ve çevresel etkiler minimum düzeye indirilmektedir. Bu özellikler, yeşil bina sertifikasyon sistemleri kapsamında çelik yapıların önemli avantajlarından biri olarak değerlendirilmektedir.

4. Neden Çelik Yapı?

Çelik, günümüz yapı mühendisliğinde yalnızca bir yapı malzemesi değil; güvenlik, sürdürülebilirlik, ekonomi ve teknoloji odaklı tasarım anlayışının temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir.

Artan kentleşme, deprem riski, iklim değişikliği ve hızlı yapı üretimi gereksinimleri, çelik taşıyıcı sistemlerin önemini her geçen gün artırmaktadır. Bu bölümde çelik yapıların tercih edilmesini sağlayan başlıca teknik ve ekonomik nedenler ele alınmaktadır.

4.1 Deprem Güvenliği Açısından Üstün Performans

Türkiye, Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almakta olup yapı stokunun önemli bir bölümü yüksek sismik tehlike altında bulunmaktadır. Bu nedenle taşıyıcı sistem seçiminde yalnızca dayanım değil, deprem sırasında göstereceği davranış da belirleyici olmaktadır.

Deprem sırasında yapıya etkiyen yatay kuvvetler büyük ölçüde yapı kütlesi ile doğru orantılıdır. Çelik

taşıyıcı sistemlerin betonarmeye göre daha hafif olması, deprem kuvvetlerinin azalmasına katkı sağlar. Bunun yanı sıra çeliğin yüksek süneklik kapasitesi, deprem enerjisinin plastik şekil değiştirmeler yoluyla sönmülenmesine olanak tanır. Bu özellik, ani ve gevrek göçme riskini azaltarak can güvenliğini artırır.

Modern deprem tasarımında amaç, yapıların kontrollü hasar mekanizmaları geliştirerek göçmeden ayakta kalmasını sağlamaktır. Çelik çerçeveler, çaprazlı sistemler ve kompozit taşıyıcı sistemler bu yaklaşımı başarıyla destekleyen çözümler sunmaktadır.

4.2 Yüksek Dayanım ve Düşük Yapı Ağırlığı

Yapısal çelik, yüksek akma ve çekme dayanımı sayesinde daha küçük kesitlerle aynı taşıma kapasitesini sağlayabilmektedir. Bunun sonucunda yapıların toplam ağırlığı azalırken taşıyıcı sistem verimliliği artmaktadır.

Düşük yapı ağırlığı;

- Daha ekonomik temel tasarımı,
- Daha düşük deprem yükleri,
- Daha kolay taşıma ve montaj,
- Mevcut yapıların ilave kat uygulamalarında avantaj,
- Zayıf zeminlerde daha uygun çözümler gibi önemli yararlar sağlamaktadır.

Özellikle yüksek katlı binalarda toplam yapı ağırlığındaki azalma, taşıyıcı sistemin tüm elemanlarında kesit optimizasyonuna olanak tanımaktadır.

4.3 İnşaat Süresinin Kısılması

İnşaat sektöründe zaman, doğrudan maliyet anlamına gelmektedir. Çelik yapı sistemlerinde kolon, giriş ve bağlantı elemanlarının büyük bölümü fabrika ortamında üretildiğinden şantiyedeki iş yükü önemli ölçüde azalmaktadır. Betonarme yapılarda kalıp, donatı, beton dökümü ve kür süreçleri nedeniyle oluşan bekleme süreleri çelik yapılarda bulunmamaktadır. Temel imalatı devam ederken üstyapı elemanlarının fabrikada üretilebilmesi, proje süresini önemli ölçüde kısaltmaktadır.

Bu durum özellikle;

- Hastaneler,
- Endüstri tesisleri,
- Lojistik merkezleri,
- Veri merkezleri,
- Alışveriş merkezleri,
- Eğitim yapıları

gibi yatırımın hızla devreye alınmasının kritik olduğu projelerde önemli ekonomik avantaj sağlamaktadır.

4.4 Kalite ve Hassas Üretim

Çelik yapı elemanlarının fabrikalarda bilgisayar kontrollü üretim sistemleriyle imal edilmesi, kalite standardizasyonunu önemli ölçüde artırmaktadır. Üretim sürecinde;

- Boyutsal toleranslar,
 - Kaynak kalitesi,
 - Civatalı bağlantılar,
 - Malzeme sertifikaları,
 - Tahribatsız muayene yöntemleri
- uluslararası standartlara uygun biçimde kontrol edilmektedir.

Böylece şantiye kaynaklı uygulama hataları azalmakta, tasarım ile uygulama arasındaki farklılıklar minimum düzeye inmektedir.

4.5 Büyük Açıklıkların Geçilebilmesi

Çelik yapıların yüksek dayanımı sayesinde oldukça büyük açıklıklar ara taşıyıcı elemanlara ihtiyaç duyulmadan geçilebilmektedir.

Bu özellik;

- Havaalanı terminalleri,
- Spor salonları,
- Stadyumlar,
- Kongre merkezleri,
- Sergi salonları,
- Fabrikalar,
- Uçak hangarları

gibi geniş hacim gerektiren yapılarda büyük avantaj sunmaktadır.

Kolon sayısının azalması yalnızca mimari estetik sağlamamakta, aynı zamanda kullanım esnekliğini de artırmaktadır.

4.6 Mimari ve Fonksiyonel Esneklik

Modern mimarlıkta şeffaf, geniş ve dönüştürülebilir mekânlar ön plana çıkmaktadır. Çelik taşıyıcı sistemler ince kesitlerle yüksek taşıma kapasitesi sağladığından mimari tasarım özgürlüğünü artırmaktadır.

Yapının kullanım amacı değiştiğinde yeni açıklıklar oluşturmak, kat ilavesi yapmak veya güçlendirme uygulamak betonarme yapılara göre daha kolay gerçekleştirilebilmektedir.

Bu özellik özellikle;

- Ofis binalarında,
 - Teknoloji merkezlerinde,
 - Üniversite yapılarında,
 - Hastanelerde
- gelecekte oluşabilecek fonksiyon değişiklikleri açısından önemli avantaj sağlamaktadır.

4.7 Sürdürülebilirlik ve Çevresel Avantajlar

İnşaat sektörü, küresel karbon emisyonlarının önemli bir bölümünden sorumludur. Bu nedenle yapı malzemelerinin yalnızca mühendislik performansı değil, çevresel etkileri de değerlendirilmektedir.

Çelik;

- %100'e yakın oranda geri dönüştürülebilmesi,
- Tekrar kullanılabilmesi,
- Şantiye atıklarını azaltması,
- Hassas üretim sayesinde malzeme kaybını düşürmesi,
- Sökülüp başka projelerde kullanılabilmesi gibi özellikleriyle döngüsel ekonomiye katkı sağlamaktadır.

Ayrıca yeni nesil elektrik ark ocakları ve düşük karbonlu üretim teknolojileri sayesinde çelik üretiminin çevresel etkisinin azaltılması yönünde önemli ilerlemeler kaydedilmektedir.

4.8 Yaşam Döngüsü Maliyeti

Bir yapının ekonomikliği yalnızca ilk yatırım maliyetiyle değerlendirilmemelidir. Bakım giderleri, kullanım süresi, güçlendirme maliyetleri, enerji performansı ve yeniden kullanım potansiyeli de dikkate alınmalıdır.

Çelik yapılarda;

- Daha kısa inşaat süresi,
 - Daha düşük bakım maliyetleri,
 - Kolay güçlendirme,
 - Daha yüksek ikinci kullanım değeri,
 - Geri dönüşüm geliri
- uzun vadede toplam sahip olma maliyetini azaltabilmektedir.

Bu nedenle birçok gelişmiş ülkede yatırım kararları yaşam döngüsü maliyet analizleri temel alınarak verilmektedir.

4.9 Endüstri 4.0 ve Dijital Tasarıma Uyum

Yapı sektöründe dijitalleşme hızla yaygınlaşmaktadır. Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), parametrik tasarım, dijital ikiz teknolojileri ve robotik üretim süreçleri çelik yapı sektöründe etkin biçimde uygulanabilmektedir.

Fabrika ortamında gerçekleştirilen üretim süreçleri;

- CNC kesim,
- Robotik kaynak,
- Otomatik delme,

- Barkodlu kalite kontrol,
 - Dijital montaj planlaması
- gibi uygulamalar sayesinde yüksek doğrulukla gerçekleştirilmektedir.

Bu durum hata oranını azaltırken proje yönetimini de kolaylaştırmaktadır.

4.10 Geleceğin Yapı Teknolojileri İçin Uygunluk

İklim değişikliği, doğal afetler ve hızlı kentleşme, yapı sektöründe yeni üretim modellerini zorunlu hâle getirmektedir. Modüler yapılar, prefabrike sistemler ve söküp yeniden kurulabilen yapılar geleceğin inşaat anlayışının önemli bileşenleri olarak görülmektedir.

Çelik, bu sistemlerin tamamında temel taşıyıcı malzeme olarak öne çıkmaktadır. Özellikle afet sonrası geçici yerleşim alanları, sağlık yapıları, eğitim yapıları ve hızlı kurulum gerektiren projelerde çelik sistemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Bu nedenle çelik yapı teknolojisi yalnızca günümüzün değil, geleceğin sürdürülebilir ve dirençli kentlerinin oluşturulmasında da stratejik öneme sahip bir yapı sistemi olarak değerlendirilmektedir.

5. Betonarme ve Çelik Yapıların Karşılaştırılması

Taşıyıcı sistem seçiminde tek bir yapı malzemesini her koşul için en uygun çözüm olarak değerlendirmek doğru değildir. Yapının kullanım amacı, açıklık gereksinimi, kat adedi, deprem tehlikesi, ekonomik koşullar, yapım süresi ve çevresel etkiler birlikte değerlendirilmelidir. Bununla birlikte günümüz mühendislik uygulamalarında çelik yapılar birçok kriter açısından önemli üstünlükler sunmaktadır.

Değerlendirme Kriteri	Betonarme Yapı	Çelik Yapı
Deprem performansı	İyi	Çok yüksek
Süneklik	Orta	Çok yüksek
İnşaat süresi	Uzun	Kısa
Fabrikasyon kalite kontrolü	Sınırlı	Yüksek
Büyük açıklık geçebilme	Orta	Çok iyi
Güçlendirme kolaylığı	Zor	Kolay
Sökülüp yeniden kullanılabilme	Yok	Yüksek
Geri dönüşüm	Düşük	Çok yüksek
Şantiye atığı	Fazla	Az
Hassas üretim	Sınırlı	Çok yüksek
Modüler yapı uygunluğu	Orta	Çok yüksek

Tablo 1. Betonarme ve Çelik Yapı Sistemlerinin Karşılaştırılması

Tablodan görüldüğü üzere çelik yapı sistemleri özellikle deprem güvenliği, inşaat süresi, kalite kontrolü, sürdürülebilirlik ve yeniden kullanım açısından belirgin üstünlükler sağlamaktadır.

Betonarme sistemler ise yerel malzeme temini, yangın dayanımı ve bazı düşük katlı yapılarda ilk yatırım maliyeti açısından avantajlı olabilmektedir. Bu nedenle malzeme seçimi, performans esaslı mühendislik yaklaşımı doğrultusunda yapılmalıdır.

6. Türkiye’de Çelik Yapının Mevcut Durumu ve Geleceği

Türkiye, dünyanın önemli çelik üreticileri arasında yer almasına rağmen yapı sektöründe çelik taşıyıcı sistemlerin kullanım oranı gelişmiş ülkelere kıyasla düşüktür.

Çelik; sanayi yapıları, depolar, çatı sistemleri, enerji tesisleri ve köprülerde yaygın olarak kullanılırken, konut ve çok katlı bina projelerinde betonarme sistemler hâlen baskın durumdadır. Bu durumun başlıca nedenleri arasında geleneksel yapı alışkanlıkları, tasarım ve uygulama deneyiminin sınırlı olması, ilk yatırım maliyetine odaklanılması ve çelik yapı konusundaki bilgi eksiklikleri sayılabilir. Ayrıca bazı bölgelerde nitelikli imalat ve montaj ekiplerine erişimin kısıtlı olması da yaygınlaşmayı yavaşlatmaktadır.

Buna karşın son yıllarda yaşanan büyük depremler, yapı güvenliğine ilişkin farkındalığın artmasına neden olmuştur. Özellikle hastaneler, okullar, veri merkezleri, lojistik tesisleri ve kritik altyapı

projelerinde çelik taşıyıcı sistemlerin tercih edilme eğilimi güçlenmektedir. Modüler yapı teknolojileri, endüstriyel üretim yöntemleri ve dijital tasarım araçlarının yaygınlaşması da bu dönüşümü desteklemektedir.

Türkiye’nin yeşil dönüşüm hedefleri, Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı ve karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik politikalar dikkate alındığında; geri dönüştürülebilir, sökülebilir ve yaşam döngüsü boyunca çevresel etkisi daha düşük yapı sistemlerinin önemi artacaktır. Bu bağlamda çelik yapı sektörünün önümüzdeki yıllarda daha büyük bir gelişim göstermesi beklenmektedir.

Bu gelişimin sürdürülebilmesi için aşağıdaki konular önem taşımaktadır:

- Üniversitelerde çelik yapı eğitimlerinin güçlendirilmesi,
- Mühendis ve mimarlara yönelik meslek içi eğitimlerin artırılması,
- Yerli çelik yapı üreticilerinin Ar-Ge faaliyetlerinin desteklenmesi,
- BIM tabanlı tasarım ve dijital üretim teknolojilerinin yaygınlaştırılması,
- Yaşam döngüsü maliyet analizlerinin kamu ihalelerinde dikkate alınması,
- Deprem sonrası yeniden yapılanma projelerinde çelik yapı sistemlerinin daha etkin değerlendirilmesi.

7. Sonuç ve Değerlendirme

Taşıyıcı sistem seçimi, yapıların yalnızca inşa sürecini değil; güvenliğini, ekonomik performansını, bakım gereksinimlerini, çevresel etkilerini ve kullanım ömrünü belirleyen temel mühendislik kararlarından biridir. Günümüz koşullarında artan deprem riski, sürdürülebilirlik hedefleri ve hızlı kentleşme gereksinimleri dikkate alındığında, çelik yapı sistemlerinin önemi her geçen gün artmaktadır.

Bu çalışmada çelik yapıların teknik, ekonomik ve çevresel üstünlükleri mühendislik bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Çelik malzemenin yüksek dayanım/ağırlık oranı, sünek davranışı, hızlı üretim ve montaj olanağı, fabrika ortamında kalite kontrolünün sağlanabilmesi, büyük açıklıkların geçilebilmesi ve geri dönüştürülebilir olması, modern yapı sektörünün beklentileriyle büyük ölçüde örtüşmektedir.

Deprem mühendisliği açısından değerlendirildiğinde, çelik yapıların yüksek enerji tüketme kapasitesi ve kontrollü plastik davranışı, can güvenliğinin sağlanması bakımından önemli avantajlar sunmaktadır. Ayrıca yapı ağırlığının azalmasıyla deprem etkilerinin düşmesi, temel sistemlerinin daha ekonomik tasarlanabilmesi ve mevcut yapıların güçlendirilmesindeki kolaylıklar, çelik sistemlerin mühendislik değerini artırmaktadır.

Sürdürülebilirlik açısından bakıldığında ise çelik, geri dönüştürülebilirliği ve yeniden kullanılabilirliği sayesinde döngüsel ekonomi yaklaşımına önemli katkılar sağlamaktadır. Yaşam döngüsü maliyetlerinin değerlendirilmesi, yalnızca ilk yatırım maliyetine odaklanan geleneksel yaklaşımların yerine daha bütüncül bir karar verme sürecini gerekli kılmaktadır.

Türkiye'nin deprem gerçeği, hızlı kentleşme süreci ve uluslararası çevre politikalarına uyum hedefleri göz önünde bulundurulduğunda; çelik yapı teknolojilerinin daha yaygın kullanılmasının yalnızca mühendislik açısından değil, ekonomik ve toplumsal açıdan da önemli kazanımlar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, "Neden Çelik Yapı?" sorusunun yanıtı yalnızca daha dayanıklı yapılar üretmek değildir. Aynı zamanda daha güvenli, daha

sürdürülebilir, daha hızlı inşa edilebilen, yaşam döngüsü boyunca daha ekonomik ve geleceğin dijital üretim teknolojilerine daha uyumlu yapılar oluşturabilmektir. Bu nedenle çelik yapı sistemlerinin geleceğin yapı üretiminde stratejik bir konuma sahip olacağı açıktır.

Kaynaklar

American Institute of Steel Construction. (2022). Steel Construction Manual (16th ed.). AISC.

CEN. (2005). EN 1993-1-1: Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings. European Committee for Standardization.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018). Ankara.

ECCS – European Convention for Constructional Steelwork. (2021). Steel Design Guide Series.

Salmon, C. G., Johnson, J. E., & Malhas, F. A. (2018). Steel Structures: Design and Behavior (6th ed.). Pearson.

Segui, W. T. (2020). Steel Design (7th ed.). Cengage Learning.

World Steel Association. (2023). Steel Statistical Yearbook.

World Steel Association. (2024). Steel and Sustainability Report.

Yorgun, C., & diğerleri. (2021). "Türkiye'de Çelik Yapıların Deprem Performansına İlişkin Güncel Yaklaşımlar." Teknik Dergi, 32, 11245–11268.