

Çelik ve Karma Taşıyıcı Sistemli Sanayi Bina Örneklerinin Kaba Yapım Maliyetlerinin Trakya Bölgesi için Karşılaştırılması

Hande NURYADI^{1*}, Burak ÖZŞAHİN²

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye

²Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye

Geliş: 13.06.2023, Kabul: 12.12.2023, Yayınlanma: 31.12.2023

ÖZ

Türkiye konumu itibariyle dünyanın en etkili deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Türkiye’de geçmişte birçok yıkıcı deprem yaşandığı gibi gelecekte de yıkıcı depremlerin yaşanması kaçınılmazdır. Türkiye’de nüfusun büyük çoğunluğu, sanayi tesislerinin ve barajların neredeyse tamamı aktif deprem kuşağındadır. Türkiye’de inşa edilecek sanayi binalarının depreme dayanıklı olması ve ilk yapım ile işletme maliyetlerinin düşük olması gerekmektedir.

Türkiye’de sanayi binalarının inşaatında taşıyıcı sistem olarak çelik, betonarme, betonarme prefabrik ve bunların bir arada kullanılmasından oluşan karma sistemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada Türkiye’deki sanayi binalarını temsil edebilecek farklı boyutlara sahip tek açıklıklı ve tek katlı örnek sanayi binaları seçilerek çelik ve karma taşıyıcı sistem için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019’a göre tasarlanmıştır. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları 2019’a göre farklı depremselliğe sahip bölgelere (Kırklareli, Edirne, Tekirdağ Çorlu ve İstanbul Beylikdüzü) göre tasarımı yapılan örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyet hesapları yapılmıştır. Çalışmada incelenen örnek sanayi binalarının hesap sonuçlarına göre farklı taşıyıcı sistemler için kaba yapım maliyetleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sanayi Binaları; Çelik Sanayi Binaları; Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği; Kaba Yapım Maliyeti

Comparison of Construction Costs of Industrial Buildings with Steel and Mixed Structural Systems for the Region of Thrace

ABSTRACT

Türkiye is located on one of the most effective earthquake zones in the world due to its location. Just as there have been many devastating earthquakes in the past in Türkiye, it is inevitable that devastating earthquakes will occur in the future. Most of the population, almost all the industrial facilities and dams in Türkiye are in the active seismic zones. The industrial buildings to be built in Türkiye should be earthquake resistant, the construction and operating costs should be low. Steel, reinforced concrete, reinforced concrete prefabricated and mixed systems are used as structural systems in the construction of industrial buildings in Türkiye. In this study, single-span and single-storey industrial buildings with different dimensions, which can represent the industrial buildings in Türkiye, were selected and designed according to the Turkish Building Earthquake Code 2019 for the steel and mixed structural system. The construction cost calculations of industrial buildings designed according to regions with different seismicity according to Turkish Earthquake Hazard Map 2019 (Kırklareli, Edirne, Tekirdağ Çorlu and İstanbul Beylikdüzü) were made. According to the analysis results for the industrial buildings examined in the study, the construction costs for different structural systems were evaluated comparatively.

Keywords: Industrial Structures; Steel Industrial Structures; Turkish Building Earthquake Code; Construction Cost

1. GİRİŞ

Türkiye’de 2023 yılında meydana gelen Kahramanmaraş depreminde (M=7.7 ve M=7.6) birçok şehrimiz ciddi şekilde etkilenmiş, 14500 civarında bina yıkılmış veya ağır hasar almış, yaklaşık 55000 kişi hayatını kaybetmiş ve 50-100 milyar dolar civarında ekonomik kayıp meydana gelmiştir [1]. Benzer şekilde 1999 Sakarya Depremi (M=7,4) ve Düzce Depremi (M=7,2)’nde birçok şehrimiz tahrip olmuş, 15400’e yakın bina yıkılmış, yaklaşık 18000 kişi hayatını kaybetmiş ve 10-25 milyar dolar civarında ekonomik kayıp meydana gelmiştir [2-4]. 2023 Kahramanmaraş, 1999 Adapazarı ve Düzce depremlerinde diğer bina türlerinde olduğu gibi sanayi binalarında da ciddi hasar ve göçme meydana geldiği gözlenmiştir.

İçerisinde önemli makine ve malzeme bulunan sanayi binaları ile depolarında, deprem etkisinde meydana gelen hasarlar sebebiyle ülkelerin sanayi üretimleri ve ekonomileri olumsuz şekilde etkilenmektedir [5]. Bu sebeple, Türkiye’de inşa edilecek sanayi binalarının depreme dayanıklı olması ve ilk yapım ile işletme maliyetlerinin düşük olması gerekmektedir. Ayrıca sanayi yapılarının geniş alanları örtebilmesi, hızlı ve kolay inşa edilebilmesi, ihtiyaç olması durumunda gelecekte büyüyebilme özelliklerine sahip olmaları gerekmektedir. Mimari tasarımın önemli bir adımı olan taşıyıcı sistem seçimi, sahip oldukları sıra dışı açıklıklar ve kat yükseklikleri sebebiyle sanayi binalarında diğer bina türlerine göre çok daha fazla önem kazanmaktadır. Ağır çalışma koşullarına dayanıklı olarak inşa edilen sanayi binalarının ilk yapım maliyetleri, büyük açıklıklar ve kat yükseklikleri nedeniyle genellikle geleneksel yapılara göre daha yüksektir. Taşıyıcı sistem malzemesi ve yapım yöntemi seçimiyle ilgili yapılan araştırmalar sonucu doğru kararın alınarak istenilen niteliklere ve en uygun taşıyıcı sisteme sahip sanayi yapılarının oluşturulması ülke ekonomisi için oldukça önemlidir [6].

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de deprem yönetmelikleri ile yapısal tasarım standartları, deprem mühendisliği ve yapısal tasarım alanındaki gelişmelere paralel olarak belirli aralıklarla revize edilmekte veya yenilenmektedir. Türkiye’de 18.03.2018 tarihli resmi gazetede yayınlanarak 01.01.2019’da yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019 (TBDY 2019) ile birlikte ülkemizde uzun yıllardan beri kullanılmakta olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007) yürürlükten kaldırılmıştır. TBDY 2019 ile birlikte 1996 yılından beri kullanılmakta olan Deprem Bölgeleri Haritası da yürürlükten kaldırılarak yerine Türkiye Deprem Tehlike Haritaları 2019 (TDTH 2019) yürürlüğe girmiştir [7, 8].

Türkiye’de sanayi yapılarında yaygın olarak kullanılan çelik binalar ile ilgili standart ve yönetmeliklerde de son yıllarda önemli değişiklikler olmuştur. Türkiye’de uzun yıllardan beri çelik yapı tasarımında kullanılan TS 648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, 2016 yılında yürürlükten kaldırılmış yerine Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik 2016 (ÇYTHY 2016) yürürlüğe girmiştir.

Türkiye’de yakın geçmişte yürürlüğe giren yapısal tasarım ve deprem yönetmelikleri, diğer bina türlerinde olduğu gibi sanayi binalarında da yapım maliyetini etkileyebilecek düzeyde tasarıma yönelik önemli yenilik ve değişiklikler getirmiştir.

2. SANAYİ BİNALARI

Sanayinin ihtiyaç duyduğu üretim işlemlerinin gerçekleşebilmesi ve üretim ile ilgili gerekli bütün etkinliklerin istenilen koşullar altında yürütülebilmesi için, üretim alanını sınırlayan ve üretim karakterine uygun alanlar sağlayan mekânlardan oluşan yapı ve/veya yapılar grubuna ihtiyaç vardır [9]. Sanayi yapıları, belirli bir üretim sistemi ile bir ürünün üretilmesiyle ilgili eylemler bütünü gerçekleştirildiği üretim mekânlarıdır. Daha geniş anlamda sanayi binası; belirli bir ürünün üretilmesi için bir ulaşım sistemi içinde anapara, çalışan, makina, tesisat, araç, gereç vb. unsurların bağlı oldukları sistemin bir parçası olarak organize edilmesi, kolay, ekonomik ve başarılı bir biçimde işletilmesi amacı ile oluşturulan bir işyeri yapısıdır [9].

Büyük açıklıklara sahip sanayi yapılarında genellikle servis, sirkülasyon ve makine alanları olmak üzere üç farklı mekan düzenlenir. Bu tür yapılarda mesnet açıklıkları kullanılan iş makinaları ve sirkülasyon alanları dikkate alınarak belirlenir [10]. Sanayi binalarının geniş alanları örtebilmeleri, hızlı ve kolay inşa edilebilmeleri, gelecekte ihtiyaç duyulması durumunda büyüyebilme özelliklerine sahip, Türkiye gibi depremselliği fazla olan ülkelerde depreme dayanıklı olmaları gerekmektedir. Sanayi binalarının ilk yapım maliyetleri geçilen açıklıklar ve kat yükseklikleri sebebiyle diğer bina türlerine göre yüksek olup, sanayi binalarının taşıyıcı sistem, taşıyıcı sistem malzemesi ve yapım yönteminin ekonomik olarak uygulanabilir olması önemlidir [6]. Sanayi ve endüstri faaliyetlerinin yürütüldüğü bu tür yapılar, üretim odaklı olduğundan içerisinde çok farklı süreçleri barındırır. Bir sanayi tesisi tasarlanmadan önce yatırımcı, mimar ve mühendislerin iş birliği neticesinde sürece yönelik program hazırlanmalıdır. Yapının kullanım amacı ne olursa olsun ön projelendirme safhasında ihtiyaçlar net bir şekilde belirlenip, kategorize edilerek ilişkilendirilmelidir. Sanayi yapılarının plan içinde düzenlenmesi için verimlilik ilkesine bağlı olarak taşıyıcı sistem için estetik, ekonomik ve yeterli dayanıma sahip yapı malzemeleri seçilmelidir [11]. Türkiye’de ve dünyada sanayi yapılarının taşıyıcı sistemleri, taşıyıcı sistem malzemeleri bakımından; çelik sanayi yapıları, betonarme prefabrik sanayi yapıları, betonarme sanayi yapıları ve karma sanayi yapıları olarak dörde ayrılmaktadır [12].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada sanayi binalarının taşıyıcı sistem türünün bina kaba yapım maliyetine etkisinin görülmesi amacıyla tek katlı, tek açıklıklı çelik ve çelik-betonarme karma taşıyıcı sistemli sanayi bina örnekleri farklı yerel zemin sınıfları için TBDY 2019 ve ÇYTHY 2018'e göre tasarlanarak kaba yapım maliyetleri projeler üzerinden hesaplanmıştır. Çelik ve çelik-betonarme karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının yapısal analizlerinde İdeStatik v10.1 ve SAP 2000 v22 programları kullanılmıştır [12-14].

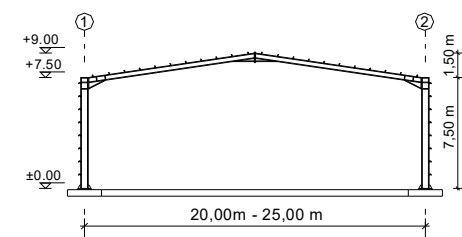
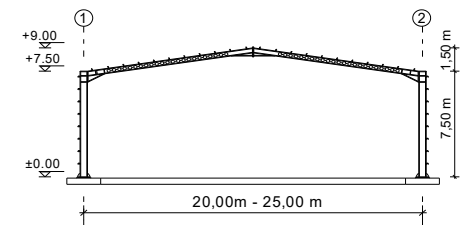
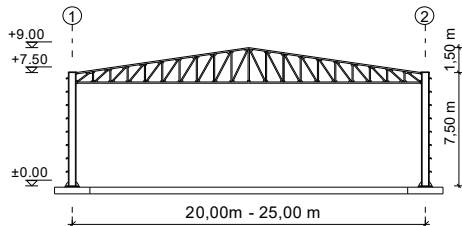
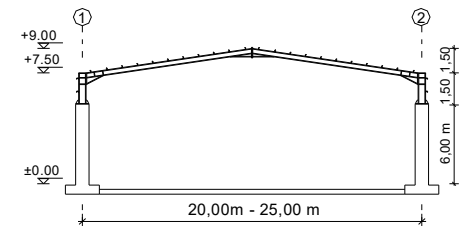
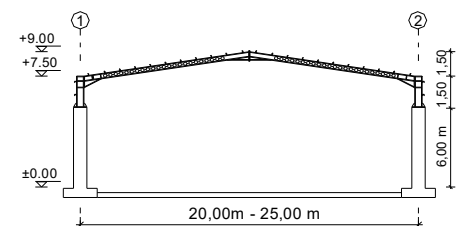
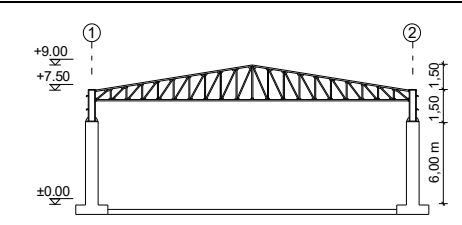
3.1. Örnek sanayi binalarının geometrik bilgileri

Bu çalışmada incelenen sanayi bina modellerinde açıklıklar, makasa paralel yönde 20,00-25,00 m ve makaslara dik yönde 6,00 m olarak öngörülmüştür. Sanayi binaları makaslara paralel yönde bir açıklıklı, makaslara dik yönde yedi açıklıklı olup, bina yüksekliği 9,0 m ve serbest bina yüksekliği 7,50 m'dir. Bu ölçülere bağlı olarak incelenen sanayi binalarının boyutları 20,00m×42,00m ve 25,00m×42,00m'dir. Çalışmada çelik ve karma taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının çatı kirişleri; dolu gövdeli kiriş, altıgen petek kiriş ve kafes kirişli olarak tasarlanmıştır. Dolu gövdeli kiriş çatı makası, altıgen petek kiriş çatı makası, kafes kiriş çatı makası çelik taşıyıcı sistemli ve karma taşıyıcı sistemli örnek sanayi binaları Çizelge 1 'de, örnek sanayi binası modellerinin tasarım parametreleri Çizelge 2 'de verilmiştir.

3.2. Çalışmada incelenen bölgeler

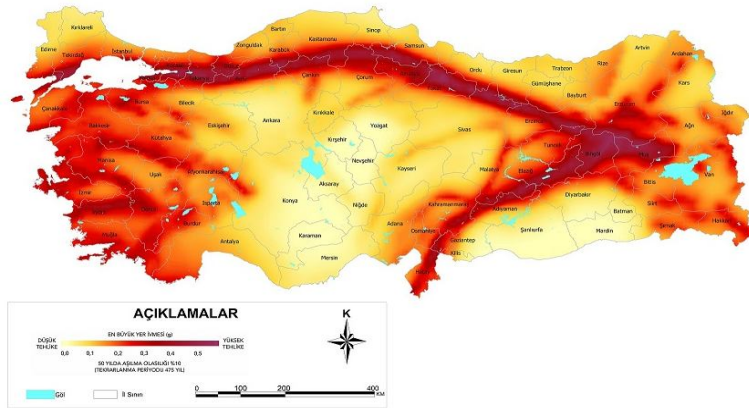
Örnek sanayi binalarının tasarım ve maliyet hesapları sanayi tesislerinin yoğun olarak bulunduğu, farklı depremselliğe sahip Kırklareli, Edirne, Tekirdağ Çorlu ve İstanbul Beylikdüzü Organize Sanayi Bölgeleri için ayrı ayrı yapılmıştır. İncelenen bölgelerin deprem tasarım parametreleri Türkiye Deprem Tehlike Haritaları 2019 (TDTH 2019)'dan okunmuştur (Şekil 1).

Çizelge 1: Çalışmada incelenen çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi bina modelleri

Model Adı	Taşıyıcı Sistem Malzemesi	Çatı Makası Türü	Kesit
Dolu Gövdeli Kiriş Çatı Makaslı Çelik Taşıyıcı Sistem	Çelik	Dolu Gövdeli Kiriş	
Petek Kiriş Çatı Makaslı Çelik Taşıyıcı Sistem	Çelik	Altıgen Gözlü Petek Kiriş	
Kafes Kiriş Çatı Makaslı Çelik Taşıyıcı Sistem	Çelik	Çift L Profilli Trapez Kafes Kiriş	
Dolu Gövdeli Kiriş Çatı Makaslı Çelik Taşıyıcı Sistem	Karma	Dolu Gövdeli Kiriş	
Petek Kiriş Çatı Makaslı Çelik Taşıyıcı Sistem	Karma	Altıgen Gözlü Petek Kiriş	
Kafes Kiriş Çatı Makaslı Çelik Taşıyıcı Sistem	Karma	Çift L Profilli Trapez Kafes Kiriş	

Çizelge 2: Örnek çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi bina modellerinin tasarım parametreleri (Nuryadı, 2023'ten düzenlenmiştir) [12]

Tasarım Parametresi	
Kat Adedi	1 Kat (Zemin Kat)
Kat Yüksekliği (h_{kat})	7,50 m
Bina Yüksekliği (H_N)	9,00 m
Bina Boyutları	20,00 m x 42,00 m ve 25,00 m x 42,00 m
Çatı Eğimi	% 15
Çatı Kiriş Türü	Dolu Gövdeli IPE, Altıgen Gözlü Petek Kiriş, Sırt Sırta Çift L Profilli Kafes Kiriş
Kiriş Kesit Türü	IPE (stabilite kirişlerinde)
Kolon Kesit Türü	HEB (çelik taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarında) Kare Betonarme Kolon Üzeri HEB (karma taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarında)
Çatı Kaplaması/Aşık	Trapez oluklu levha/UPN
Çapraz Kesit Türü	Boru Kesit (Çatı ve duvar çaprazlarında)
Birleşim Türü	X doğrultusunda (Makas doğrultusunda) Rijit Birleşim Y doğrultusunda (Makasa dik doğrultuda) Mafsallı Birleşim
Çelik Malzeme Sınıfı	S235
Betonarme Malzeme Sınıfı	C25/30 - B420C
Bina Önem Katsayısı (I)	1,0
Deprem Yüğü Eksantrisitesi	%5
Deprem Yer Hareket Düzeyi (DD)	DD2
Etkin Yer İvme Katsayısı	TDTH 2019'dan her OSB için okunmuştur.
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	BKS=3
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	S_{DS} 'e bağlı olarak değişiyor.
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	8
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R_x	8 (Süneklik Düzeyi Yüksek)
R_y	5 (Süneklik Düzeyi Yüksek)
Dayanım Fazlalığı Katsayısı D_x	3 (Süneklik Düzeyi Yüksek)
D_y	2 (Süneklik Düzeyi Yüksek)
Yerel Zemin Sınıfı	ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE



Şekil 1: Türkiye Deprem Tehlike Haritası 2019 [15]

Çalışmada incelenen organize sanayi bölgelerinin TDTH 2019'dan okunan deprem parametreleri Çizelge 3-6'da verilmiştir.

Çizelge 3: Kırklareli Organize Sanayi Bölgesi deprem parametreleri [12]

DD	YZS	P _{GA} (g)	P _{GV} (cm/s)	S _s (-)	S ₁ (-)	S _{DS} (-)	S _{D1} (-)	T _A (s)	T _B (s)	T _L (s)
DD2	ZA	0,171	11,489	0,403	0,132	0,322	0,106	0,066	0,328	6,0
	ZB	0,171	11,489	0,403	0,132	0,363	0,106	0,058	0,291	6,0
	ZC	0,171	11,489	0,403	0,132	0,524	0,198	0,076	0,378	6,0
	ZD	0,171	11,489	0,403	0,132	0,595	0,308	0,104	0,518	6,0
	ZE	0,171	11,489	0,403	0,132	0,795	0,516	0,130	0,650	6,0
DD3	ZA	0,061	4,679	0,141	0,055	0,113	0,044	0,078	0,390	6,0
	ZB	0,061	4,679	0,141	0,055	0,127	0,044	0,069	0,347	6,0
	ZC	0,061	4,679	0,141	0,055	0,183	0,082	0,090	0,450	6,0
	ZD	0,061	4,679	0,141	0,055	0,226	0,132	0,117	0,585	6,0
	ZE	0,061	4,679	0,141	0,055	0,338	0,231	0,137	0,683	6,0

Çizelge 4: Edirne Organize Sanayi Bölgesi deprem parametreleri [12]

DD	YZS	P _{GA} (g)	P _{GV} (cm/s)	S _s (-)	S ₁ (-)	S _{DS} (-)	S _{D1} (-)	T _A (s)	T _B (s)	T _L (s)
DD2	ZA	0,165	10,764	0,390	0,123	0,312	0,098	0,063	0,315	6,0
	ZB	0,165	10,764	0,390	0,123	0,351	0,098	0,056	0,280	6,0
	ZC	0,165	10,764	0,390	0,123	0,507	0,185	0,073	0,364	6,0
	ZD	0,165	10,764	0,390	0,123	0,580	0,290	0,100	0,499	6,0
	ZE	0,165	10,764	0,390	0,123	0,783	0,491	0,125	0,627	6,0
DD3	ZA	0,056	4,298	0,126	0,050	0,101	0,040	0,079	0,397	6,0
	ZB	0,056	4,298	0,126	0,050	0,113	0,040	0,071	0,353	6,0
	ZC	0,056	4,298	0,126	0,050	0,164	0,075	0,092	0,458	6,0
	ZD	0,056	4,298	0,126	0,050	0,202	0,120	0,119	0,595	6,0
	ZE	0,056	4,298	0,126	0,050	0,302	0,210	0,139	0,694	6,0

Çizelge 5: Tekirdağ Çorlu Organize Sanayi Bölgesi deprem parametreleri [12]

DD	YZS	P _{GA} (g)	P _{GV} (cm/s)	S _s (-)	S ₁ (-)	S _{DS} (-)	S _{D1} (-)	T _A (s)	T _B (s)	T _L (s)
DD2	ZA	0,330	20,570	0,798	0,221	0,683	0,177	0,055	0,277	6,0
	ZB	0,330	20,570	0,798	0,221	0,718	0,177	0,049	0,246	6,0
	ZC	0,330	20,570	0,798	0,221	0,958	0,331	0,069	0,346	6,0
	ZD	0,330	20,570	0,798	0,221	0,942	0,477	0,101	0,506	6,0
	ZE	0,330	20,570	0,798	0,221	1,007	0,706	0,143	0,701	6,0
DD3	ZA	0,120	7,898	0,283	0,086	0,226	0,069	0,061	0,304	6,0
	ZB	0,120	7,898	0,283	0,086	0,255	0,069	0,054	0,270	6,0
	ZC	0,120	7,898	0,283	0,086	0,368	0,129	0,070	0,351	6,0
	ZD	0,120	7,898	0,283	0,086	0,445	0,206	0,093	0,463	6,0
	ZE	0,120	7,898	0,283	0,086	0,653	0,361	0,111	0,553	6,0

Çizelge 6: İstanbul Beylikdüzü Organize Sanayi Bölgesi deprem parametreleri [12]

DD	YZS	P _{GA} (g)	P _{GV} (cm/s)	S _S (-)	S ₁ (-)	S _{DS} (-)	S _{D1} (-)	T _A (s)	T _B (s)	T _L (s)
DD2	ZA	0,506	30,533	1,241	0,334	0,993	0,267	0,054	0,269	6,0
	ZB	0,506	30,533	1,241	0,334	1,117	0,267	0,048	0,239	6,0
	ZC	0,506	30,533	1,241	0,334	1,489	0,501	0,067	0,336	6,0
	ZD	0,506	30,533	1,241	0,334	1,245	0,657	0,105	0,527	6,0
	ZE	0,506	30,533	1,241	0,334	1,126	0,890	0,158	0,790	6,0
DD3	ZA	0,191	11,793	0,450	0,118	0,360	0,094	0,052	0,262	6,0
	ZB	0,191	11,793	0,450	0,118	0,405	0,094	0,047	0,233	6,0
	ZC	0,191	11,793	0,450	0,118	0,585	0,177	0,061	0,303	6,0
	ZD	0,191	11,793	0,450	0,118	0,648	0,279	0,086	0,430	6,0
	ZE	0,191	11,793	0,450	0,118	0,828	0,476	0,115	0,575	6,0

Çalışmada incelenen bölgelerin zemin etüdü değerleri bulunmadığı için örnek sanayi binalarının tasarımları TBDY 2019’da tanımlanan ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için ayrı ayrı yapılmıştır. Örnek sanayi binalarının tasarımında zemin taşıma güçleri ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için sırasıyla 100, 150, 200, 250, 300 kN/m² alınmıştır. Çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarında betonarme tekil temel tasarlanmıştır. Tasarımda temellerin zemin sıfır kotundan en az 50 cm aşağıda olduğu, temellerin her iki yönde birbirine bağ kirişleri ile bağlandığı kabul edilmiştir. Zemin durumuna bağlı derin temel kullanılması veya zemin güçlendirilmesi gereken haller ile sanayi üretimine has makine ve ekipman için özel temel tasarımları çalışma kapsamı dışında tutulmuştur.

3.3. Taşıyıcı sistem bilgileri

Çalışmada Türkiye’de sanayi binalarında yaygın kullanıma sahip çelik ve karma taşıyıcı sistemler incelenmiş, betonarme prefabrik binaların imalat boyutları ve yapım maliyetleri üretici firmalara göre değişim gösterdiği için kapsam dışında tutulmuştur. Çelik yapı taşıyıcı sistemlerinde sıcak şekillendirilmiş yapısal çelik elemanlar ile soğuk şekillendirilmiş elemanlar kullanılmaktadır. Türkiye’de çelik sanayi binalarında sıcak şekillendirilmiş yapısal çelik taşıyıcı sistem elemanları daha yaygın kullanıldığı için çalışmada bu sistemler incelenmiş, soğuk şekillendirilmiş taşıyıcı sistem elemanlarının kullanıldığı hafif çelik sanayi binaları kapsam dışı bırakılmıştır.

Çelik taşıyıcı sisteme sahip sanayi bina modellerinde kolonların temellere ankastre mesnetlendiği, makas yönünde çatı ile kolon birleşimlerinin rijit ve makasa dik yönde mafsalı olduğu kabul edilmiştir. Yapısal hesaplarda taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ve dayanım fazlalığı katsayısı (D) TBDY 2019’a göre çerçeve yönünde deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerle karşılandığı binalar için R=8, D=3 ve çerçeveye dik yönde ise deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar için R=5, D=2 seçilmiştir [16].

Çelik sanayi binalarında temeller dışındaki tüm taşıyıcı sistem elemanlarında S235 malzeme sınıfında sıcak şekillendirilmiş profillerin kullanıldığı kabul edilmiştir.

Yerinde dökme betonarme taşıyıcı sistem ile çelik taşıyıcı sistemin bir arada kullanıldığı karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarında deprem etkisinde her iki yöndeki davranışı benzer olan kare betonarme kolonlar ile çelik çatı makasların kullanıldığı kabul edilmiştir. Karma (betonarme+çelik) taşıyıcı sisteme sahip sanayi bina modellerinde kolonların temellere ankastre mesnetlendiği, makas yönünde çatı ile kolon birleşimlerinin rijit ve makasa dik yönde mafsalı olduğu kabul edilmiştir. Yapısal hesaplarda taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ve dayanım fazlalığı katsayısı (D) TBDY 2019'a göre çerçeve yönünde deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek karma çerçevelerle karşılandığı binalar için R=8, D=3 ve çerçeveye dik yönde ise deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı karma çerçeveler tarafından karşılandığı binalar için R=5, D=2 seçilmiştir [16]. Karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının betonarme bölümlerinde C25/30 beton ve B420C donatı çeliği, çelik bölümlerinde ise S235 çeliği kullanıldığı kabul edilmiştir.

Tüm taşıyıcı sistemlerin tasarımında çatı kaplaması olarak poliüretan yalıtımlı kompozit panel kullanılmış, çatı eğimi %15 alınmıştır. Sanayi binalarının taşıyıcı sistem tasarımı yürürlükteki deprem yönetmeliği TBDY 2019 ile ÇYTHY 2018, TS 500 ve TS 498 standartlarına göre yapılmıştır [16-19]. Örnek sanayi binalarına etki eden deprem yükleri TBDY 2019'a göre beş farklı yerel zemin sınıfı için hesaplanırken rüzgâr yükleri TS 498'e göre hesaplanmış, kar yükü TS 498'e göre 0,75 kN/m² alınmış ve binalara etki ettirilmiştir.

4. ÖRNEK SANAYİ BİNALARININ KABA YAPIM MALİYETLERİ

Aynı plan boyutlu farklı taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının Kırklareli, Edirne, Tekirdağ Çorlu ve İstanbul Beylikdüzü Organize Sanayi Bölgeleri için kaba yapım maliyet farklarını ortaya koymak için maliyet hesaplarında taşıyıcı sistemlerdeki ortak imalatlar yerine farklı imalatlar dikkate alınmıştır. Böylece örnek sanayi binaları için taşıyıcı sistem türlerinin maliyet farkları dikkate alınarak en ekonomik sanayi binası taşıyıcı sistemi belirlenmeye çalışılmıştır. Örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyet hesaplarında dikkate alınan imalat kalemleri özet olarak Çizelge 7'de verilmiştir. Örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyet hesaplarında T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2022/3 İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları'ndan yararlanılmıştır [20].

Çizelge 7: Kaba yapım maliyeti hesabında dikkate alınan imalatlar ve birim fiyatları [20]

Poz Numarası	Tanımı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)
15.150.1005	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan C25/30 hazır beton	m ³	1.046,16
15.160.1003	Ø8-Ø12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	ton	19.325,13
15.160.1004	Ø14-Ø28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	ton	19.290,13
15.165.1001	Her türlü profil demirlerin münferit veya birleşik olarak hazırlanması ve yerine tespit edilmesi	ton	27.424,96
15.180.1003	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması	m ²	173,93
15.540.1113	Demir yüzeylere iki kat solvent bazlı epoksi boya yapılması	m ²	76,04
19.100.1113	Mobil vinç'in 1 saatlik ücreti	sa	382,79
15.220.1113	175 mm kalınlığında düşey delikli tuğla (240x175x235 mm) ile duvar yapılması	m ²	205,70
15.100.1004	1 ton her cins betonarme demiri, profil ve lama demiri ile sacların taşıtlara yükleme, boşaltma ve istifi	ton	47,85

4.1. Örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyetleri

TBDY 2019 ve ÇYTHYEY 2018'e göre farklı zemin sınıfları için tasarımları yapılan farklı taşıyıcı sisteme sahip örnek sanayi binalarının projeler üzerinden hesaplanan kaba yapım maliyet sonuçları aşağıda özet olarak verilmiştir.

4.1.1. Çelik taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyetleri

TBDY 2019'daki farklı zemin sınıfları ve TDTH 2019'a göre tasarımları yapılan 20 m açıklıklı çelik taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının m² cinsinden kaba yapım maliyetleri Çizelge 8'de, 25 m açıklıklı çelik taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının m² cinsinden kaba yapım maliyetleri Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 8: 20,00 m×42,00m boyutlu örnek çelik taşıyıcı sistemli sanayi binalarının m² kaba yapım maliyetleri (TL/m²) (Nuryadı, 2023'ten düzenlenmiştir) [12]

Bina Konumu	Model Adı	Yerel Zemin Sınıfı				
		ZA	ZB	ZC	ZD	ZE
Kırklareli OSB	Dolu Gövdeli Kirişli	3355,62	3356,03	3422,84	3428,01	3507,38
	Petek Kirişli	3267,65	3267,65	3322,84	3323,95	3399,74
	Kafes Kirişli	3205,92	3205,92	3267,81	3271,16	3324,70
Edirne OSB	Dolu Gövdeli Kirişli	3355,62	3356,03	3422,82	3428,73	3507,42
	Petek Kirişli	3267,60	3267,60	3317,68	3321,12	3395,83
	Kafes Kirişli	3205,92	3205,92	3264,89	3268,36	3321,43
Tekirdağ Çorlu OSB	Dolu Gövdeli Kirişli	3421,35	3421,77	3468,83	3483,29	3803,34
	Petek Kirişli	3317,00	3317,00	3383,83	3395,75	3735,50
	Kafes Kirişli	3256,09	3256,09	3358,41	3370,26	3658,89
İstanbul Beylikdüzü OSB	Dolu Gövdeli Kirişli	3537,59	3537,59	3623,68	3859,37	4024,26
	Petek Kirişli	3459,41	3459,41	3568,54	3812,16	4005,34
	Kafes Kirişli	3316,68	3316,68	3520,95	3751,84	3936,14

Çizelge 9: 25,00 m×42,00m boyutlu örnek çelik taşıyıcı sistemli sanayi binalarının m² kaba yapım maliyetleri (TL/m²) (Nuryadı, 2023'ten düzenlenmiştir) [12]

Bina Konumu	Model Adı	Yerel Zemin Sınıfı				
		ZA	ZB	ZC	ZD	ZE
Kırklareli OSB	Dolu Gövdeli Kirişli	3365,31	3381,77	3412,22	3440,15	3492,58
	Petek Kirişli	3290,12	3299,65	3329,90	3355,42	3449,02
	Kafes Kirişli	3080,35	3080,35	3134,76	3154,08	3229,69
Edirne OSB	Dolu Gövdeli Kirişli	3365,31	3370,94	3401,74	3429,64	3482,69
	Petek Kirişli	3290,12	3295,89	3325,40	3350,92	3443,65
	Kafes Kirişli	3080,35	3080,35	3128,23	3146,78	3222,24
Tekirdağ Çorlu OSB	Dolu Gövdeli Kirişli	3450,46	3461,41	3483,20	3574,50	3765,19
	Petek Kirişli	3353,88	3353,88	3419,52	3469,86	3636,16
	Kafes Kirişli	3215,69	3215,69	3331,68	3365,12	3568,76
İstanbul Beylikdüzü OSB	Dolu Gövdeli Kirişli	3508,58	3058,58	3530,10	3916,35	4579,23
	Petek Kirişli	3441,06	3441,06	3474,80	3781,96	4207,35
	Kafes Kirişli	3371,92	3371,92	3409,86	3674,92	4044,23

4.1.2. Karma taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyetleri

TBDY 2019'daki farklı zemin sınıfları ve TDTH 2019'a göre tasarımları yapılan 20 m açıklıklı karma taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının m² cinsinden kaba yapım maliyetleri Çizelge 10'da, 25 m açıklıklı karma taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının m² cinsinden kaba yapım maliyetleri Çizelge 11'de verilmiştir.

Çizelge 10: 20,00 m×42,00m boyutlu örnek karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının m² kaba yapım maliyetleri (TL/m²) (Nuryadı, 2023'ten düzenlenmiştir) [12]

Bina Konumu	Model Adı	Yerel Zemin Sınıfı				
		ZA	ZB	ZC	ZD	ZE
Kırklareli OSB	Dolu Gövdeli Kirişli	2084,57	2084,57	2113,58	2118,77	2186,47
	Petek Kirişli	2030,02	2033,76	2046,36	2053,42	2146,54
	Kafes Kirişli	1986,23	1991,74	2003,90	2014,77	2066,54
Edirne OSB	Dolu Gövdeli Kirişli	2084,57	2084,57	2113,58	2118,77	2186,58
	Petek Kirişli	2030,02	2033,76	2047,88	2053,07	2144,67
	Kafes Kirişli	1986,23	1991,74	2003,90	2014,77	2066,54
Tekirdağ Çorlu OSB	Dolu Gövdeli Kirişli	2123,58	2123,58	2147,73	2154,37	2426,71
	Petek Kirişli	2061,12	2064,87	2084,17	2089,36	2318,27
	Kafes Kirişli	2010,17	2015,68	2016,55	2087,68	2238,37
İstanbul Beylikdüzü OSB	Dolu Gövdeli Kirişli	2123,58	2123,58	2147,73	2242,82	2504,99
	Petek Kirişli	2061,12	2064,85	2084,17	2224,68	2378,78
	Kafes Kirişli	2011,47	2015,68	2016,55	2167,89	2312,54

Çizelge 11: 25,00 m×42,00m boyutlu örnek karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının m² kaba yapım maliyetleri (TL/m²) (Nuryadı, 2023'ten düzenlenmiştir) [12]

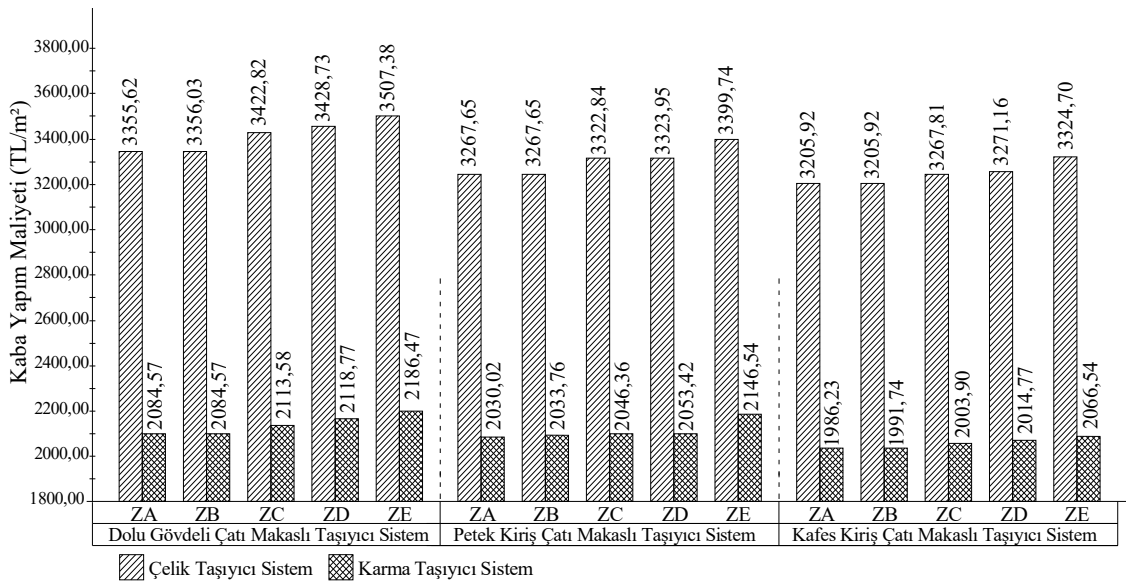
Bina Konumu	Model Adı	Yerel Zemin Sınıfı				
		ZA	ZB	ZC	ZD	ZE
Kırklareli OSB	Dolu Gövdeli Kirişli	2102,25	2102,25	2118,93	2130,88	2209,14
	Petek Kirişli	2083,88	2090,35	2099,13	2108,90	2198,44
	Kafes Kirişli	2029,33	2029,33	2045,96	2053,51	2081,73
Edirne OSB	Dolu Gövdeli Kirişli	2102,25	2102,25	2118,93	2130,88	2209,14
	Petek Kirişli	2083,88	2090,35	2099,13	2108,90	2198,44
	Kafes Kirişli	2029,33	2029,33	2045,96	2053,51	2081,79
Tekirdağ Çorlu OSB	Dolu Gövdeli Kirişli	2207,04	2210,98	2247,13	2283,97	2554,25
	Petek Kirişli	2098,82	2107,65	2147,80	2162,89	2460,29
	Kafes Kirişli	2048,16	2048,16	2072,67	2121,57	2359,24
İstanbul Beylikdüzü OSB	Dolu Gövdeli Kirişli	2265,16	2268,87	2322,34	2464,11	2675,62
	Petek Kirişli	2127,88	2144,40	2295,53	2367,34	2623,25
	Kafes Kirişli	2068,09	2077,22	2101,73	2343,16	2506,88

4.2. Örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin karşılaştırılması

Kırklareli OSB için 20,00m×42,00m plan boyutlu farklı taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının m² cinsinden kaba yapım maliyetleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 12'de verilmiştir. Çelik taşıyıcı sistemli ve karma taşıyıcı sistemli 20,00m×42,00m plan boyutlu örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin değişiminin kolaylıkla yorumlanabilmesi için Çizelge 12'deki maliyet sonuçları grafik olarak Şekil 2'de verilmiştir.

Çizelge 12: Kırklareli OSB için 20,00m×42,00m boyutlu çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi bina maliyetlerinin karşılaştırılması [12]

Yerel Zemin Sınıfı	Çelik Taşıyıcı Sistem (TL/m ²)			Karma Taşıyıcı Sistem (TL/m ²)			Karma/Çelik Taşıyıcı Sistem Maliyet Oranları (%)		
	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli
ZA	3355,62	3267,65	3205,92	2084,57	2030,02	1986,23	62,1	62,1	62,0
ZB	3356,03	3267,65	3205,92	2084,57	2033,76	1991,74	62,1	62,2	62,1
ZC	3422,82	3322,84	3267,81	2113,58	2046,36	2003,90	61,7	61,6	61,3
ZD	3428,73	3323,95	3271,16	2118,77	2053,42	2014,77	61,8	61,8	61,6
ZE	3507,38	3399,74	3324,70	2186,47	2146,54	2066,54	62,3	63,1	62,2

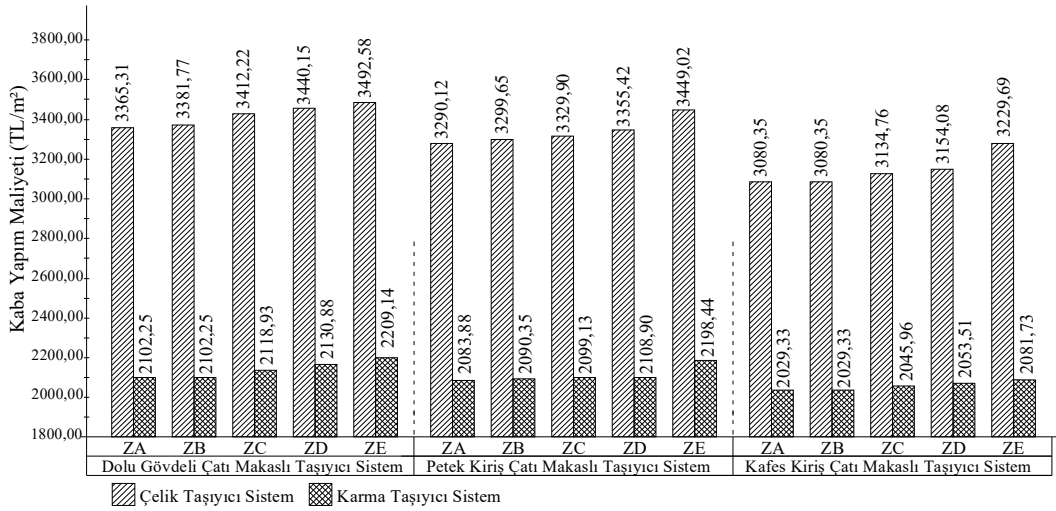


Şekil 2: Kırklareli OSB için 20,00m×42,00m boyutlu çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının karşılaştırmalı kaba yapım maliyetleri [12]

Kırklareli OSB için 25.00m×42.00m plan boyutlu farklı taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının m² cinsinden kaba yapım maliyetleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 13’de verilmiştir. Çelik taşıyıcı sistemli ve karma taşıyıcı sistemli 25.00m×42.00m plan boyutlu örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin değişimin kolaylıkla yorumlanabilmesi için Çizelge 13’teki maliyet sonuçları grafik olarak Şekil 3’te verilmiştir.

Çizelge 13: Kırklareli OSB için 25,00m×42,00m boyutlu çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi bina maliyetlerinin karşılaştırılması [12]

Yerel Zemin Sınıfı	Çelik Taşıyıcı Sistem (TL/m ²)			Karma Taşıyıcı Sistem (TL/m ²)			Karma/Çelik Taşıyıcı Sistem Maliyet Oranları (%)		
	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli
ZA	3365,31	3290,12	3080,35	2102,25	2083,88	2029,33	59,8	63,3	65,9
ZB	3381,77	3299,65	3080,35	2102,25	2090,35	2029,33	62,2	63,4	65,9
ZC	3412,22	3329,90	3134,76	2118,93	2099,13	2045,96	62,1	63,0	65,3
ZD	3440,15	3355,42	3154,08	2130,88	2108,90	2053,51	61,9	62,9	65,1
ZE	3492,58	3449,02	3229,69	2209,14	2198,44	2081,73	63,3	63,7	64,5



Şekil 3: Kırklareli OSB için 25,00m×42,00m boyutlu çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının karşılaştırmalı kaba yapım maliyetleri [12]

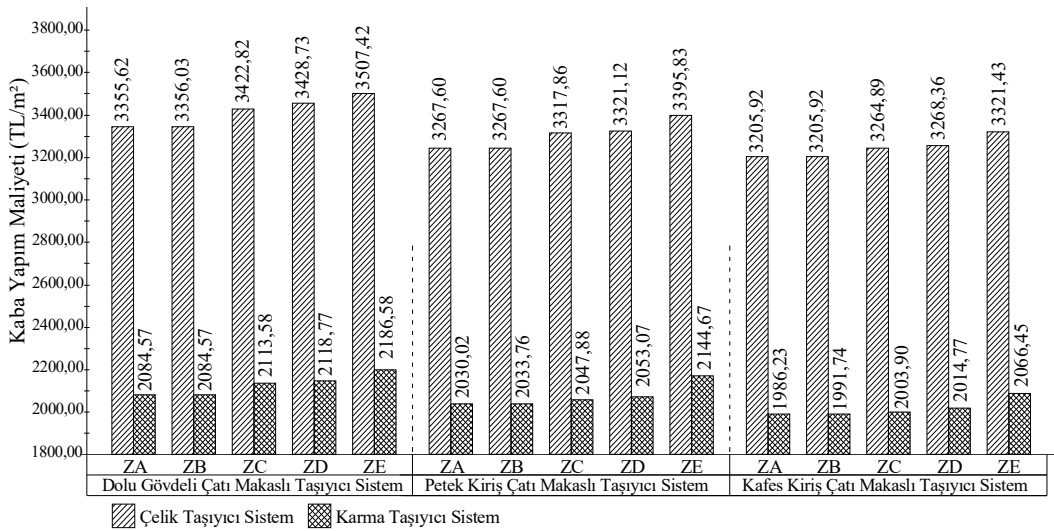
Çizelge 12-13 ve Şekil 2-3'e göre Kırklareli OSB için verilen sanayi binası m² kaba yapım maliyetleri incelendiğinde çelik taşıyıcı sistem ve karma taşıyıcı sistemli sanayi bina örneklerinin tamamında en ekonomik taşıyıcı sistem türünün kafes kiriş çatı makaslı taşıyıcı sistem olduğu, onu sırasıyla petek kiriş çatı makaslı sistem ile dolu gövdeli kiriş çatı makaslı sistemin takip ettiği görülmektedir. Kırklareli OSB için karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetleri, çelik taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinden daha düşüktür. 20,00m×42,00m plan boyutlu örnek bina modellerinde; karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin çelik taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerine oranı, dolu gövdeli kiriş çatı makaslı sistemlerde ortalama %62,0; petek kiriş çatı makaslı sistemlerde ortalama %62,2 ve kafes kiriş çatı makaslı sistemlerde %61,8'dir

(Çizelge 12). 25,00m×42,00m plan boyutlu örnek bina modellerinde karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin çelik taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerine oranı dolu gövdeli kiriş çatı makaslı sistemlerde ortalama %61,9; petek kiriş çatı makaslı sistemlerde ortalama %63,3 ve kafes kiriş çatı makaslı sistemlerde %65,3'tür (Çizelge 13). Kırklareli OSB için çelik ve karma taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının tamamında taşıyıcı sistem maliyetlerinin ZA yerel zemin sınıfından ZE yerel zemin sınıfına gidildikçe arttığı görülmektedir.

Edirne OSB için 20,00m×42,00m plan boyutlu farklı taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının m² cinsinden kaba yapım maliyetleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 14'te verilmiştir. Çelik taşıyıcı sistemli ve karma taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin değişiminin kolaylıkla yorumlanabilmesi için Çizelge 14'teki maliyet sonuçları grafik olarak Şekil 4'te verilmiştir.

Çizelge 14: Edirne OSB için 20,00m×42,00m boyutlu çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi bina maliyetlerinin karşılaştırılması [12]

Yerel Zemin Sınıfı	Çelik Taşıyıcı Sistem (TL/m ²)			Karma Taşıyıcı Sistem (TL/m ²)			Karma/Çelik Taşıyıcı Sistem Maliyet Oranları (%)		
	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli
ZA	3355,62	3267,60	3205,92	2084,57	2030,02	1986,23	62,2	62,1	62,0
ZB	3356,03	3267,60	3205,92	2084,57	2033,76	1991,74	62,1	62,2	62,1
ZC	3422,82	3317,68	3264,89	2113,58	2047,88	2003,90	61,7	61,7	61,4
ZD	3428,73	3321,12	3268,36	2118,77	2053,07	2014,77	61,8	61,8	61,6
ZE	3507,42	3395,83	3321,43	2186,92	2144,67	2066,54	62,4	63,2	62,2

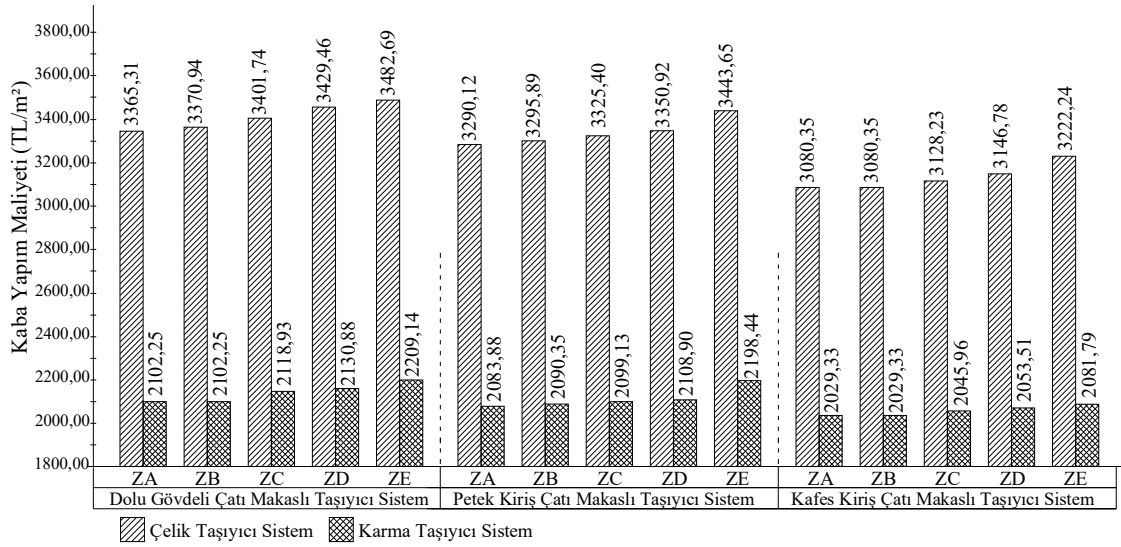


Şekil 4: Edirne OSB için 20,00m×42,00m boyutlu çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının karşılaştırmalı kaba yapım maliyetleri [12]

Edirne OSB için 25,00m×42,00m plan boyutlu farklı taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının m² cinsinden kaba yapım maliyetleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 15'te verilmiştir. Çelik taşıyıcı sistemli ve karma taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin değişiminin kolaylıkla yorumlanabilmesi için Çizelge 15'teki maliyet sonuçları grafik olarak Şekil 5'te verilmiştir.

Çizelge 15: Edirne OSB için 25,00m×42,00m boyutlu çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi bina maliyetlerinin karşılaştırılması [12]

Yerel Zemin Sınıfı	Çelik Taşıyıcı Sistem (TL/m ²)			Karma Taşıyıcı Sistem (TL/m ²)			Karma/Çelik Taşıyıcı Sistem Maliyet Oranları (%)		
	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli
ZA	3365,31	3290,12	3080,35	2102,25	2083,88	2029,33	62,5	63,3	65,9
ZB	3370,94	3295,89	3080,35	2102,25	2090,35	2029,33	62,4	63,4	65,9
ZC	3401,74	3325,40	3128,23	2118,93	2099,13	2045,96	62,3	63,1	65,4
ZD	3429,80	3350,92	3146,78	2130,88	2108,90	2053,51	62,1	62,9	65,3
ZE	3482,69	3443,65	3222,24	2209,14	2198,44	2081,79	63,4	63,8	64,6



Şekil 5: Edirne OSB için 25,00m×42,00m boyutlu çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının karşılaştırmalı kaba yapım maliyetleri [12]

Çizelge 14-15 ve Şekil 4-5'e göre Edirne OSB için verilen sanayi binası m² kaba yapım maliyetleri incelendiğinde çelik taşıyıcı sistem ve karma taşıyıcı sistemli sanayi binası örneklerinin tamamında en ekonomik taşıyıcı sistem türünün kafes kiriş çatı makaslı taşıyıcı sistem olduğu, onu sırasıyla petek kiriş çatı makaslı sistem ile dolu gövdeli kiriş çatı makaslı sistemin takip ettiği görülmektedir. Edirne OSB için karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetleri, çelik taşıyıcı sistemli sanayi binalarının

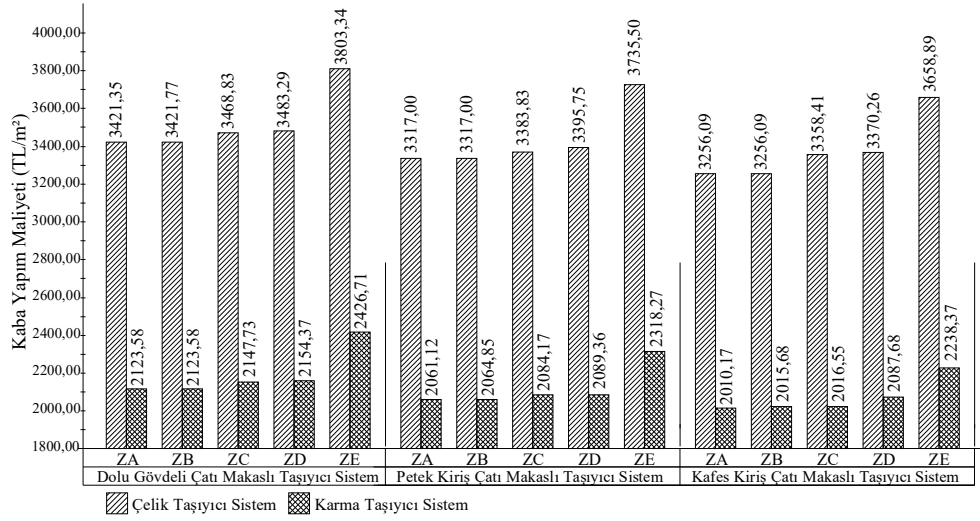
kaba yapım maliyetlerinden daha düşüktür. 20,00m×42,00m boyutlu örnek bina modellerinde karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin çelik taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerine oranı, dolu gövdeli kiriş çatı makaslı sistemlerde ortalama %62,0; petek kiriş çatı makaslı sistemlerde ortalama %62,2 ve kafes kiriş çatı makaslı sistemlerde %61,9'dur (Çizelge 14). 25,00m×42,00m boyutlu örnek bina modellerinde karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin çelik taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerine oranı dolu gövdeli kiriş çatı makaslı sistemlerde ortalama %62,5; petek kiriş çatı makaslı sistemlerde ortalama %63,3 ve kafes kiriş çatı makaslı sistemlerde %65,4'tür (Çizelge 15). Edirne OSB için çelik ve karma taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının tamamında taşıyıcı sistem maliyetlerinin ZA yerel zemin sınıfından ZE yerel zemin sınıfına gidildikçe arttığı görülmektedir.

Tekirdağ Çorlu OSB için 20,00m×42,00m plan boyutlu farklı taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının m² cinsinden kaba yapım maliyetleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 16'da verilmiştir. Çelik taşıyıcı sistemli ve karma taşıyıcı sistemli 20,00m×42,00m plan boyutlu örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin değişiminin kolaylıkla yorumlanabilmesi için Çizelge 16'daki maliyet sonuçları grafik olarak Şekil 6'da verilmiştir.

Çizelge 16: Tekirdağ Çorlu OSB için 20,00m×42,00m boyutlu çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi bina maliyetlerinin karşılaştırılması [12]

Yerel Zemin Sınıfı	Çelik Taşıyıcı Sistem (TL/m ²)			Karma Taşıyıcı Sistem (TL/m ²)			Karma/Çelik Taşıyıcı Sistem Maliyet Oranları (%)		
	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli
ZA	3421,35	3317,00	3256,09	2123,58	2061,12	2010,17	61,5	62,1	61,7
ZB	3421,77	3317,00	3256,09	2123,58	2064,87	2015,68	61,5	62,2	61,9
ZC	3468,83	3383,83	3358,41	2147,73	2084,17	2016,55	61,4	59,5	60,0
ZD	3483,29	3395,75	3370,26	2154,37	2089,17	2087,68	61,3	59,4	61,9
ZE	3803,34	3735,50	3658,89	2426,71	2318,27	2238,37	63,2	58,3	61,2

Tekirdağ Çorlu OSB için 25,00m×42,00m plan boyutlu farklı taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının m² cinsinden kaba yapım maliyetleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 17'de verilmiştir. Çelik taşıyıcı sistemli ve karma taşıyıcı sistemli 25,00m×42,00m plan boyutlu örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin değişiminin kolaylıkla yorumlanabilmesi için Çizelge 17'deki maliyet sonuçları grafik olarak Şekil 7'de verilmiştir.



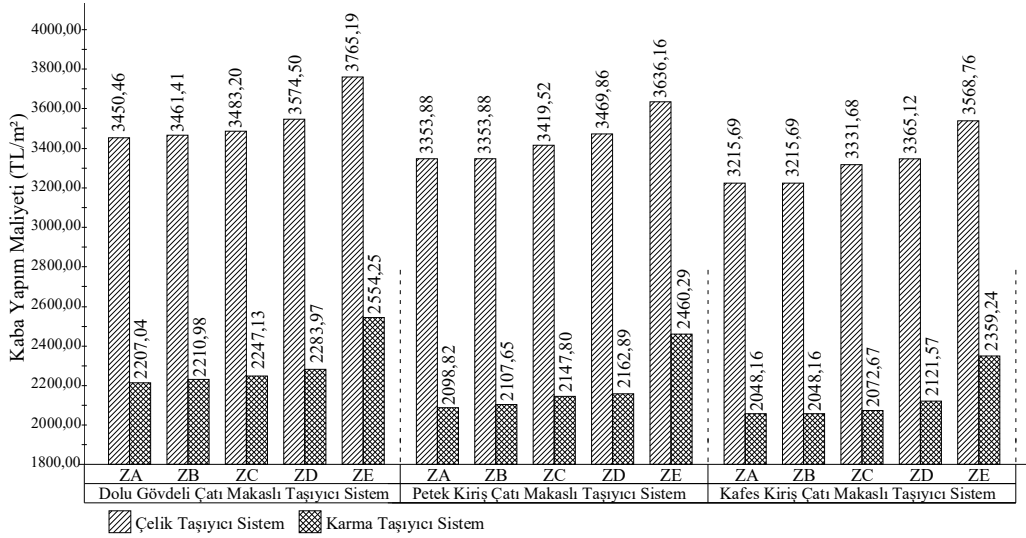
Şekil 6: Tekirdağ Çorlu OSB için 20,00m×42,00m boyutlu çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının karşılaştırmalı kaba yapım maliyetleri [12]

Çizelge 17: Tekirdağ Çorlu OSB için 25,00m×42,00m boyutlu çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi bina maliyetlerinin karşılaştırılması [12]

Yerel Zemin Sınıfı	Çelik Taşıyıcı Sistem (TL/m²)			Karma Taşıyıcı Sistem (TL/m²)			Karma/Çelik Taşıyıcı Sistem Maliyet Oranları (%)		
	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli
ZA	3450,46	3353,88	3215,69	2207,04	2098,82	2048,16	64,0	62,6	63,7
ZB	3461,41	3353,88	3215,69	2210,98	2107,65	2048,16	63,9	62,8	63,7
ZC	3483,20	3419,52	3331,68	2247,13	2147,80	2072,67	64,5	62,8	62,2
ZD	3574,50	3469,86	3365,12	2283,97	2162,89	2121,57	63,9	62,3	63,0
ZE	3765,19	3636,16	3568,76	2554,25	2460,29	2359,24	67,8	67,7	66,1

Çizelge 16-17 ve Şekil 6-7’de göre Tekirdağ Çorlu OSB için verilen sanayi binası m² kaba yapım maliyetleri incelendiğinde çelik taşıyıcı sistem ve karma taşıyıcı sistemli sanayi binası örneklerinin tamamında en ekonomik taşıyıcı sistem türünün kafes kiriş çatı makaslı taşıyıcı sistem olduğu, onu sırasıyla petek kiriş çatı makaslı sistem ile dolu gövdeli kiriş çatı makaslı sanayi sisteminin takip ettiği görülmektedir. Tekirdağ Çorlu OSB için karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetleri, çelik taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinden daha düşüktür. 20,00m×42,00m boyutlu örnek bina modellerinde karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin çelik taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerine oranı, dolu gövdeli kiriş çatı makaslı sistemlerde ortalama %61,8; petek kiriş çatı makaslı sistemlerde ortalama %60,3 ve kafes kiriş çatı makaslı sistemlerde %61,3’tür (Çizelge 16). 25,00m×42,00m boyutlu örnek bina modellerinde karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının

kaba yapım maliyetlerinin çelik taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerine oranı, dolu gövdeli kiriş çatı makaslı sistemlerde ortalama %64,8; petek kiriş çatı makaslı sistemlerde ortalama %63,6 ve kafes kiriş çatı makaslı sistemlerde %63,7'dir (Çizelge 17). Tekirdağ Çorlu OSB için çelik ve karma taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının tamamında taşıyıcı sistem maliyetlerinin ZA yerel zemin sınıfından ZE yerel zemin sınıfına gidildikçe arttığı görülmektedir.

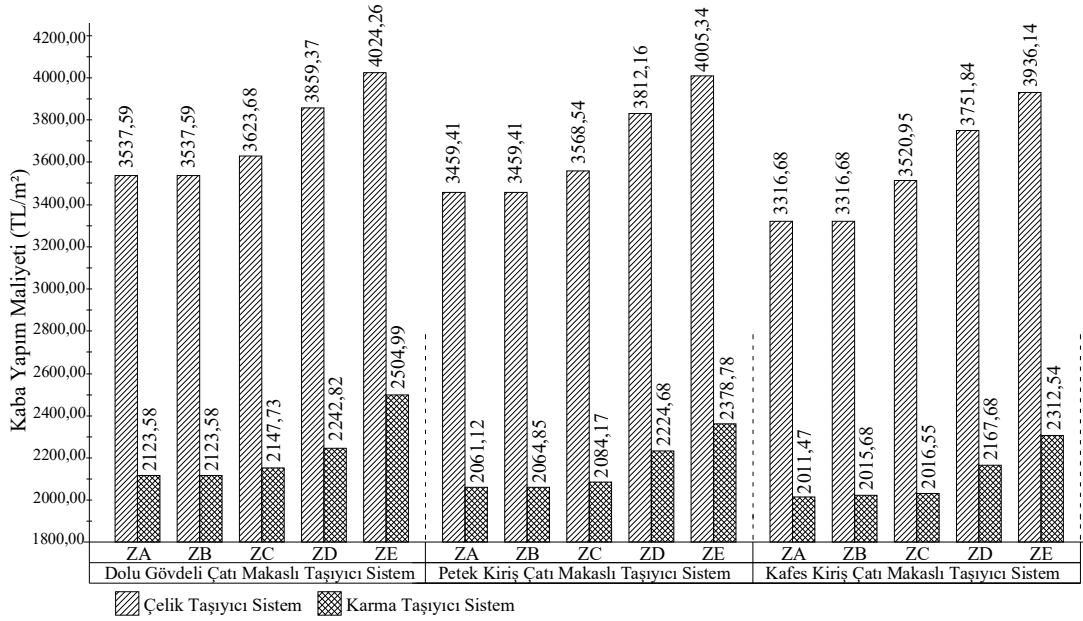


Şekil 7: Tekirdağ Çorlu OSB için 25,00m×42,00m boyutlu çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının karşılaştırmalı kaba yapım maliyetleri [12]

İstanbul Beylikdüzü OSB için 20,00m×42,00m plan boyutlu farklı taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının m² cinsinden kaba yapım maliyetleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 18’de verilmiştir. Çelik taşıyıcı sistemli ve karma taşıyıcı sistemli 20,00m×42,00m plan boyutlu örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin değişiminin kolaylıkla yorumlanabilmesi için Çizelge 18’deki maliyet sonuçları grafik olarak Şekil 8’de verilmiştir.

Çizelge 18: İstanbul Beylikdüzü OSB için 20,00m×42,00m boyutlu çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi bina maliyetlerinin karşılaştırılması [12]

Yerel Zemin Sınıfı	Çelik Taşıyıcı Sistem (TL/m ²)			Karma Taşıyıcı Sistem (TL/m ²)			Karma/Çelik Taşıyıcı Sistem Maliyet Oranları (%)		
	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli
ZA	3537,59	3459,41	3316,68	2123,58	2061,12	2011,47	60,0	59,6	60,6
ZB	3537,59	3459,41	3316,68	2123,58	2064,85	2015,68	60,0	59,7	60,8
ZC	3623,68	3568,54	3520,95	2147,73	2084,17	2016,55	59,3	58,4	57,3
ZD	3859,37	3812,16	3751,84	2242,82	2224,68	2167,89	58,1	58,4	57,8
ZE	4024,26	4005,34	3936,14	2504,99	2378,78	2312,54	62,2	59,4	58,8

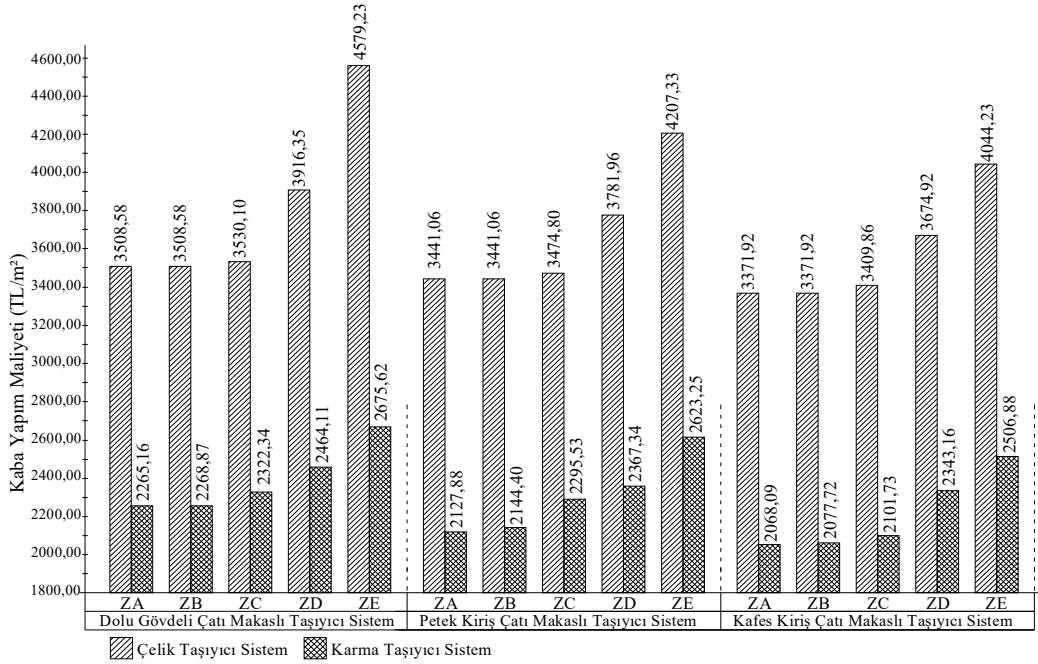


Şekil 8: İstanbul Beylikdüzü OSB için 20,00m×42,00m boyutlu çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının karşılaştırmalı kaba yapım maliyetleri [12]

İstanbul Beylikdüzü OSB için 25,00m×42,00m plan boyutlu farklı taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının m² cinsinden kaba yapım maliyetleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 19’da verilmiştir. Çelik taşıyıcı sistemli ve karma taşıyıcı sistemli 25,00m×42,00m plan boyutlu örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin değişiminin kolaylıkla yorumlanabilmesi için Çizelge 19’daki maliyet sonuçları grafik olarak Şekil 9’da verilmiştir.

Çizelge 19: İstanbul Beylikdüzü OSB için 25,00m×42,00m boyutlu çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi bina maliyetlerinin karşılaştırılması [12]

Yerel Zemin Sınıfı	Çelik Taşıyıcı Sistem (TL/m ²)			Karma Taşıyıcı Sistem (TL/m ²)			Karma/Çelik Taşıyıcı Sistem Maliyet Oranları (%)		
	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli	Dolu Gövdeli	Petek Kirişli	Kafes Kirişli
ZA	3508,58	3441,06	3371,92	2265,16	2127,88	2068,09	64,6	61,8	61,3
ZB	3508,58	3441,06	3371,92	2268,87	2144,40	2077,22	64,6	62,3	61,6
ZC	3530,10	3474,80	3409,86	2322,34	2295,53	2101,73	65,8	66,0	61,6
ZD	3916,35	3781,96	3674,92	2464,11	2367,34	2343,16	62,9	62,6	63,8
ZE	4579,23	4207,35	4044,23	2675,62	2623,25	2506,88	58,4	62,3	62,0



Şekil 9: İstanbul Beylikdüzü OSB için 25,00m×42,00m boyutlu çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının karşılaştırmalı kaba yapım maliyetleri [12]

Çizelge 18-19 ve Şekil 8-9'a göre İstanbul Beylikdüzü OSB için verilen sanayi bina m² kaba yapım maliyetleri incelendiğinde çelik taşıyıcı sistem ve karma taşıyıcı sistemli sanayi binası örneklerinin tamamında en ekonomik taşıyıcı sistem türünün kafes kiriş çatı makaslı taşıyıcı sistem olduğu, onu sırasıyla petek kiriş çatı makaslı sistem ile dolu gövdeli kiriş çatı makaslı sistemin takip ettiği görülmektedir. İstanbul Beylikdüzü OSB için karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetleri, çelik taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinden daha düşüktür. 20,00m×42,00m boyutlu örnek bina modellerinde karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin çelik taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerine oranı dolu gövdeli kiriş çatı makaslı sistemlerde ortalama %59,9; petek kiriş çatı makaslı sistemlerde ortalama %59,1 ve kafes kiriş çatı makaslı sistemlerde %59,1'dir (Çizelge 18). 25,00m×42,00m boyutlu örnek bina modellerinde karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin çelik taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerine oranı dolu gövdeli kiriş çatı makaslı sistemlerde ortalama %63,3; petek kiriş çatı makaslı sistemlerde ortalama %63,0 ve kafes kiriş çatı makaslı sistemlerde %62,1'dir (Çizelge 19). İstanbul Beylikdüzü OSB için çelik ve karma taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının tamamında taşıyıcı sistem maliyetlerinin ZA yerel zemin sınıfından ZE yerel zemin sınıfına gidildikçe arttığı görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye'deki mevcut sanayi binalarını temsil edebilecek çelik ve betonarme-çelik karma taşıyıcı sistemli tek açıklı ve tek katlı örnek sanayi binaları Trakya bölgesinde farklı depremselliğe sahip bölgeler için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019'a göre tasarlanmış ve projeler üzerinden kaba yapım maliyetleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019'daki farklı zemin sınıfları ve Türkiye Deprem Tehlike Haritaları 2019'a göre farklı depremselliğe sahip Kırklareli OSB, Edirne OSB, Tekirdağ Çorlu OSB ve İstanbul Beylikdüzü OSB'ye göre tasarımları yapılan aynı plan boyutlu sanayi binalarının farklı taşıyıcı sistem türleri için hesaplanan kaba yapım maliyetlerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesinden aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları 2019'a göre incelenen bölgeler içinde depremselliği en az olan Edirne OSB'de tasarım deprem yüküne bağlı olarak görece küçük kesitler taşıma gücü güvenliğini sağladığı için Edirne OSB'de çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetinin en düşük olduğu görülmüştür. Türkiye Deprem Tehlike Haritası 2019'a göre depremsellik düzeyi Edirne OSB'ye benzer olan Kırklareli OSB için yapısal hesap sonuçlarına göre bulunan kesit boyutlarının Edirne OSB'ye oldukça yakın olduğu, Kırklareli OSB için çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinin Edirne OSB için bulunan maliyetlere çok yakın değerler aldığı görülmüştür. Türkiye Deprem Tehlike Haritası 2019'a göre Edirne OSB ve Kırklareli OSB'ye göre depremselliği daha fazla olan Tekirdağ Çorlu OSB ve İstanbul Beylikdüzü OSB'de deprem yüklerindeki artış ile sanayi binası taşıyıcı sistem kesit boyutları ve kaba yapım maliyetleri artmaktadır. Kaba yapım maliyet sonuçlarına göre çelik ve karma taşıyıcı sistemli örnek sanayi binaları için hesaplanan kaba yapım maliyetlerinin Edirne OSB'de en düşük, İstanbul Beylikdüzü OSB'de en yüksek olduğu; kaba yapım maliyetlerinin en düşükten en yükseğe doğru Edirne OSB, Kırklareli OSB, Tekirdağ Çorlu OSB ve İstanbul Beylikdüzü OSB şeklinde sıralandığı görülmüştür.

Çalışmada incelen bölgelerin tamamında tüm zemin sınıfları için karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetleri, çelik taşıyıcı sistemli sanayi binalarının kaba yapım maliyetlerinden düşüktür. Çelik ve karma taşıyıcı sistemler arasındaki bu maliyet farkının, yatay yükler için çelik taşıyıcı sistemli sanayi binalarında düşey taşıyıcı elemanlar arasında yatay stabilite elemanlarına ihtiyaç duyulurken; karma taşıyıcı sistemli sanayi binalarında düşey taşıyıcılar arasında stabilite elemanlarına ihtiyaç olmamasından ve Türkiye'de yerinde dökme betonarme imalatın çelik imalatından daha ucuz olmasından kaynaklandığı rahatlıkla söylenebilir.

Çalışmada incelen tüm bölgelerde çelik ve karma taşıyıcı sistemli örnek sanayi binalarının tamamında, taşıyıcı sistem maliyetlerinin ZA yerel zemin sınıfından ZE yerel zemin sınıfına gidildikçe arttığı görülmektedir.

İncelenen bölgelerin tamamında tüm zemin sınıfları için çelik taşıyıcı sistemli sanayi bina örneklerinin tamamında en ekonomik sistemin kafes kiriş çatı makaslı taşıyıcı sistem olduğu, onu sırasıyla petek kiriş çatı makaslı sistem ile dolu gövdeli kiriş çatı makaslı sistemin takip ettiği görülmüştür. Çelik taşıyıcı sistemlere benzer şekilde karma taşıyıcı sistemler için de en ekonomik taşıyıcı sistemin kafes kiriş çatı makaslı taşıyıcı sistem olduğu, onu sırasıyla petek kiriş çatı makaslı sistem ile dolu gövdeli kiriş çatı makaslı sistemin takip ettiği görülmüştür.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, incelenen çelik ve karma taşıyıcı sistemli sanayi binası örnekleri için geçerlidir. Uygulamada sanayi binaları için ekonomik taşıyıcı sistem seçimi, bu çalışmada elde edilen sonuçlar dikkate alınarak proje özelinde yapılacak maliyet hesapları ile belirlenmelidir.

Not: Bu çalışma Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019'a Göre Tasarlanmış Sanayi Yapılarının Kaba Yapım Maliyetlerinin Karşılaştırılması" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKILARI

H.N.: Yöntem, yazılım, doğrulama, araştırma, kaynaklar, yazı yazma.

B.Ö.: Yöntem, yazılım, doğrulama, araştırma, kaynaklar, yazı yazma - gözden geçirme ve düzenleme.

KAYNAKLAR

[1] Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporları (2023). Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Ankara, Erişim adresi: <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/03/2023-Kahramanmaraş-ve-Hatay-Depremleri-Raporu.pdf>. Erişim tarihi: 20.10.2023.

[2] AFAD (2022). T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı İnternet Sitesi, Erişim adresi: <https://www.afad.gov.tr/> Erişim tarihi: 20.10.2023.

[3] Odabaşı, Ö., Kohrengi, M., Bazurro, P. (2021). Tall buildings in Turkey, their characteristic structural features and dynamic behavior, *Bull. Earthq. Eng.*, 19, 2105–2124. <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01067-3>

[4] Özşahin, B. (2022). An assessment of the relation between architectural and structural systems in the design of tall buildings in Turkey, *Buildings*, 12 (10):1649. <https://doi.org/10.3390/buildings12101649>

[5] Şamandar, A. ve Polat A. H. (2015). Çelik ve betonarme prefabrik fabrika yapılarında inşaat maliyetlerinin karşılaştırılması, *3rd International Symposium On Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2015)*, Universidad Politecnica de Valencia, 3-5 June 2015, 2451-2457.

[6] Yonar, O. C. (2002). Büyük açıklıklı sanayi yapılarının yapısal oluşumu ve Türkiye’de örnekler üzerinde irdelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü*). Erişim adresi: <http://www.dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/11072>

- [7] Özşahin, B. (2021). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019'a göre Kırklareli için deprem yüklerinin değerlendirilmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(2), 836-863. <https://doi.org/10.29130/dubited.768494>
- [8] Seyrek, E. (2020). Yeni Türkiye sismik tehlike haritasının Ege Bölgesi için değerlendirilmesi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1):414-423. <https://doi:10.28948/ngumuh.617268>.
- [9] Hızıroğlu, E. (1979). Endüstri yapıları tasarımında kullanılabilir bir yöntem modeli insan ögesi ve üretim oluşumu değerlendirmesi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları*, İstanbul.
- [10] Eren, Ö. (2014). *Büyük açıklıklı çelik yapılar*, 1. Baskı, İstanbul: Arı Sanat Yayınevi.
- [11] Duranoğlu, R. (2019). Tek katlı endüstriyel yapıların düzlem ve uzay kafes sistem çözümlerinin karşılaştırılması, (Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü*). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- [12] Nuryadı, H. (2023). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019'a göre tasarlanmış sanayi yapılarının kaba yapım maliyetlerinin karşılaştırılması, (Yüksek Lisans Tezi, *Kırklareli Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü*). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- [13] İdeCad Statik v10. İdecad Statik Paket Programı, *ideYAPI*, İstanbul, Erişim adresi: <https://www.idecad.com.tr/index/>
- [14] SAP 2000 V.22, Integrated Software for Structural Analysis and Design, *Computers and Structures Inc.*, California, USA.
- [15] TDTH 2019, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları interaktif web uygulaması, Erişim adresi: <https://tdth.afad.gov.tr/> Erişim tarihi:14.10.2020
- [16] TBDY 2019 (2019). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, T.C Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2-1.pdf>
- [17] TS 500 (2000). *Betonarme Yapıların Tasarımı ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. Erişim adresi: <https://www.tse.org.tr/>
- [18] ÇYTHYEY 2018 (2018). *Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/02/20180215M1-4.htm>
- [19] TS 498 (1997). *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. Erişim adresi: <https://www.tse.org.tr/>
- [20] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2022). *İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları 2022/3*, Erişim adresi: <https://yfk.csb.gov.tr/birim-fiyatlar-i-100468>
- [21] TS 648 (1982). *Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. Erişim adresi: <https://www.tse.org.tr/>