

Deprem Bölgelerinde Zemin Sınıfının Sanayi Yapılarının Maliyetine Etkisi

S. Ümit DİKMEN*
Senem ÖZEK**

ÖZ

Yakın geçmişte yaşanan büyük çaplı depremler tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de teknik şartnamelerde yeni kuralları ve kısıtlamaları zorunlu hale getirmiştir. Bu bağlamda, Türkiye’de 2007 yılında, mevcut 1997 deprem yönetmeliği revize edilerek DBYYHY-2007 yürürlüğe girmiştir. Türkiye’de sanayi yapıları inşaatında taşıyıcı sistem olarak çelik, betonarme ve prefabrik betonarme gibi veya bunların çeşitli kombinasyonlarından oluşan farklı karma yapım teknikleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, farklı kolon açıklıkları olan bir grup tek katlı sanayi yapısı seçilerek, çelik, betonarme, prefabrik betonarme ve karma taşıyıcı sistemler için tasarlanmıştır. Her örnek yapının tasarımında DBYYHY-2007 yönetmeliğindeki farklı zemin sınıfları dikkate alınmış ve maliyet hesabı yapılmıştır. Sonuçlar, farklı sistemlerin maliyetleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapı maliyeti, deprem, sanayi yapıları, zemin sınıfları.

ABSTRACT

Effects of Soil Group on the Cost of Industrial Structures

Recent occurrences of major earthquakes have necessitated the introduction of new rules and restrictions in the technical specifications in the whole world as well as in Turkey. In this context, in Turkey the current earthquake specification has been revised and DBYYHY-2007 is published in 2007. In Turkey, in the construction of industrial structures, structural steel, reinforced concrete and prefabricated reinforced concrete systems or a combination of these systems are used as the structural system. In this study, a group of single-story industrial structures having different column spans were selected and individually designed for structural steel, cast in-situ reinforced concrete and prefabricated reinforced concrete materials. In designing each sample structure, the soil groups given in the specification DBYYHY-2007 were taken into consideration and the corresponding costs were calculated. The results obtained were evaluated to compare the costs of different structures.

Keywords: Structural cost, earthquake, industrial structures, soil group.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu’na 05.11.2009 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2011 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* İstanbul Kültür Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - u.dikmen@iku.edu.tr

** Hadeka İnşaat A.Ş., İstanbul - senem.ozek@hadeka.com.tr

1.GİRİŞ

Yakın geçmişte yaşanan büyük çaplı depremler tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de teknik şartnamelerde yeni kuralları ve kısıtlamaları zorunlu hale getirmiştir. Bu konuda, bilhassa 1999 Kocaeli Depremi’nde sanayi yapılarında görülen geniş çaplı hasar ve göçme oranı etkin olmuştur. Bu bağlamda, Türkiye’de 2007 yılında, mevcut deprem yönetmeliği revize edilerek DBYYHY-2007 yürürlüğe girmiştir [1, 2]. Yeni yönetmelik ile birlikte tüm yapı tiplerini ilgilendiren yeni kurallar veya kapsamlı kural değişiklikleri yürürlüğe konmuştur. Örneğin, betonarme taşıyıcı sistemler ile ilgili olarak DBYYHY-2007 ile birlikte eski yönetmeliğe göre hem yerinde dökme hem de prefabrik betonarme elemanların tasarım ve imalatı ile ilgili kurallarda maliyeti etkileyebilecek önemli değişiklikler getirilmiştir.

Diğer yandan, Türkiye’de gelişen sanayi üretimine paralel olarak yeni ve modern sanayi yapılarına olan talep, yükselen bir ivme ile artmaktadır. Ne var ki, sanayi tesislerinin büyük bir çoğunluğu yüksek deprem riskine sahip bölgelerdedir. Sanayi kuruluşları yurt çapına yayılmış olmakla beraber ağırlıklı olarak,

- İstanbul, İzmit, Adapazarı, Bursa, Yalova, Tekirdağ
- İzmir, Manisa, Aydın, Denizli
- Adana, İskenderun, Gaziantep
- Ankara, Kırıkkale, Kayseri

bölgelerinde kümelenme gözlenmektedir. Sanayinin yoğun olduğu bu 4 bölge DBYYHY-2007’ye göre incelendiğinde son bölgenin kısmen, diğerlerinin ise tamamen 1. ve 2. deprem bölgelerinde olduğu görülmektedir. Tüm bölgelerde ise DBYYHY-2007’ye göre farklı zemin sınıfları mevcuttur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR VE KAPSAM

Seçer ve Bozdağ, “Uzaysal ve Dolu Gövdeli Aşıkların Çelik Çatı Ağırlığına Etkisinin İncelenmesi” başlıklı makalelerinde Türkiye’de çelik hal ve sanayi yapılarında kullanılan dolu gövdeli ve uzay aşık sistemlerinin ağırlık açısından incelemişlerdir. Bu amaçla dört farklı makas tipi, üç farklı makaslar arası mesafe ve iki farklı makas uzunluğu dikkate alarak analizler yapmışlardır [3].

Argalı, “Bir Sanayi Yapısı için Ülkemiz Koşullarına Göre En Ekonomik Taşıyıcı Sistemin Araştırılması” başlıklı tez çalışmasında çelik taşıyıcı sistemler arasında en ekonomik olanı araştırmıştır [4].

Özkan ve Muratoğlu, konut türü betonarme bir binanın taşıyıcı sistem maliyetinin, deprem bölgelerine bağlı değişimini incelemiştir. Bu çalışma sonucunda 1’inci ve 4’üncü deprem bölgeleri arasında betonarme binaların, salt taşıyıcı sistem maliyetindeki artış oranının 14% düzeyinde olduğunu gözlemlemişlerdir [5].

Dorum ve diğ., yapmış oldukları bir çalışmada farklı zemin sınıfı ve farklı deprem bölgelerinin betonarme çerçeve tipi yapılarda kaba yapı maliyetine olan etkilerini incelemişlerdir [6]. Çalışmada, 1997 Deprem şartnamesi ve 2005 yılı Bayındırlık Bakanlığı

birim fiyatları esas alınmıştır. Araştırmacılar, 5 katlı 3 farklı projeyi farklı zemin şartlarına göre incelemeleri sonucunda Z1 ve Z2 zemin sınıfları arasında 5%, Z1 ve Z3 zemin sınıfları arasında 18%, Z1 ve Z4 zemin sınıfları arasında 22% oranında maliyet artışı gözlemlemişlerdir. Aynı çalışmanın sonuçları, Kanıt ve diğ. tarafından ayrı bir çalışma olarak çoklu regresyon ve iki yönlü ANOVA analizi ile genelleştirilmiştir [7]

Bu çalışmanın amacı sanayi yapılarının taşıyıcı sistem maliyetleri üzerinde farklı zemin sınıflarının etkisini incelemektir. Türkiye’de sanayi yapıları inşaatında taşıyıcı sistem olarak çelik, betonarme ve prefabrik betonarme gibi veya bunların çeşitli kombinasyonlarından oluşan farklı karma yapı teknikleri kullanılmaktadır. Bu amaçla farklı kolon açıklıkları, farklı zemin sınıfları ve farklı çatı sistemleri dikkate alınarak çelik, yerinde dökme betonarme ve prefabrik betonarme sistemler için ayrı ayrı tasarlanmış ve maliyetleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, farklı sistemlerin maliyetleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

3. YÖNTEM

Zemin sınıfının maliyete olan etkisinin görülmesi amacıyla tek katlı bir model yapı tercih edilmiştir. Sanayi yapılarının tasarımında kolonların alt mesnetlerinin ankastre veya kısmi ankastre, üst mesnetleri de mafsal olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle bu tür yapıların yapısal tasarımında, özel yükler etkisinde kolonlar hariç, köşe, kenar ve orta kolonların tasarlanması yeterli olmaktadır.

Bu amaçla bir yönde 2 açıklıklı ve diğer yönde ise 4 açıklıklı bir yapı farklı açıklık ölçülerine göre tüm yapı tipleri ve farklı zemin sınıfları için ayrı ayrı tasarlanmıştır. Ayrıca analizleri esas alınan bu model orta ölçekli işletmelerde sıklıkla kullanılmakta olan takribi alana sahip bir fabrika yapısıdır. Çalışmada 3 farklı taşıyıcı sistem ve 3 farklı çatı sistemi, 4 farklı zemin sınıfı gözönüne alınarak farklı açıklıklar için tek tek tasarlanmış ve taşıyıcı sistem maliyetleri hesaplanmıştır [8].

Aşağıdaki paragraflarda model yapı ile ilgili diğer detaylar sunulmuştur.

3.1. Model yapının geometrik bilgileri

Sanayi yapılarında işletme yöntemlerine ve proses tekniklerine bağlı olarak açıklıklar çatı makaslarına paralel yönde büyük çoğunlukla 18.00 – 30.00 m arasında değişmektedir. Diğer yönde ise genellikle 8.00 – 10.00 m arası açıklıklar tercih edilmektedir.

Farklı açıklıkların maliyet üzerindeki etkisinin irdelenmesi amacıyla açıklıklar makaslara paralel yönde 20.00, 24.00 ve 28.00 m olarak, makaslara dik yönde ise 8.00 m ve 10.00 m olarak öngörülmüştür. Bu ölçülere bağlı olarak, analiz modeli 32.00*40.00 m, 32.00*48.00 m, 32.00*56.00 m açıklıklı hangar tipi bir fabrika yapısı şeklinde düşünülmüştür. Tüm yapılar için makas altı yüksekliği 8.00 m olarak tasarlanmıştır.

3.2. Zemin şartları

Son yıllarda, Türkiye’de sanayi yapıları çeşitli avantajlar nedeniyle büyük çoğunlukla organize sanayi bölgelerinde (OSB) inşa edilmektedir. Fakat bunların yanısıra büyüklükleri, nitelikleri veya diğer nedenlerle OSB’ler dışında da inşa edilen çok sayıda tesis vardır. OSB’lerdeki zeminler büyük çoğunlukla DBYYHY – 2007’ye göre Z1, Z2 veya Z3 zemin sınıfında yer almaktadır. Fakat OSB dışı bölgelerde Z4 sınıfı zeminler üzerinde inşa edilen sanayi yapıları da mevcuttur. Bu nedenle çalışmada model yapı her dört zemin sınıfı içinde ayrı ayrı tasarlanmıştır. Bu bağlamda zemin emniyet gerilmeleri Z1, Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıfları için sırasıyla 1.00, 1.50, 2.00 ve 3.00 kg/cm² olarak kabul edilmiştir.

Diğer yandan derin temel ve / veya zemin güçlendirmesi gerektiren haller ile özel makine/ekipman temelleri özel maliyetleri nedeniyle bu çalışmanın kapsamının dışında tutulmuştur. Örneğin, suya doygun kum zeminlerde deprem yükleri altında sıvılaşma riski olduğundan büyük olasılıkla zemin iyileştirilmesi gerekecektir. Bu tür zemin iyileştirme çalışmalarının maliyetleri kapsam dışında tutulmuştur. Diğer yandan, makine temelleri seçilen taşıyıcı sistemden bağımsız olarak yapıdaki üretim prosesine uygun inşa edilmek zorundadır.

Bu veriler ışığında, 4 farklı zemin sınıfı göre 24 farklı sistem oluşturulmuştur. Oluşturulan bu sistemler Çizelge 1’de sunulmuştur.

3.3. Taşıyıcı sistemler

Çalışmaya esas olarak, Türkiye’de geniş çapta kullanılan çelik, yerinde dökme betonarme ve prefabrik betonarme taşıyıcı sistemler alınmıştır.

Çelik taşıyıcı sistemlerin imalatında, sıcak şekillendirilmiş yapısal çelik elemanlar kullanıldığı gibi son yıllarda soğuk şekillendirilmiş elemanların kullanımında gözlenmektedir. Fakat soğuk şekillendirilmiş elemanlar ile tasarım ve yapım için henüz ulusal şartnameler yürürlükte olmadığı için, bu tür elemanlar ile yapılacak yapılar bu çalışmanın dışında tutulmuştur.

Çelik taşıyıcı sisteme sahip yapılarda kolonların temellere ankastre olarak bağlı olduğu ve çatı makası kolon birleşiminin mafsal olarak çalıştığı varsayılmıştır. Yük azaltma katsayısı, R şartnameye uygun olarak, “Deprem yüklerinin tamamının kolonlar temelden ankastre, üstte mafsalı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar” için önerilen 4.0 olarak alınmıştır. Çelik yapıların tasarımında sıcak şekillendirilmiş profiller kullanılmıştır. Tasarım için kolonların St52 ve çatı elemanlarının da St37 olacağı öngörülmüştür.

Yerinde dökme betonarme kolonlar için, sıklıkla kullanılması nedeniyle kare kesit tercih edilmiştir. Kolonların üst uçlarının mafsal olarak çalıştığı kabulüne bağlı olarak yük azaltma katsayısı, R, DBYYHY-2007’ye uygun olarak 3.0 alınmıştır. Yerinde dökme kolonlarda aks aralıkları 8.00 m olan sistemler için sürekli temel olarak tasarlanmış, aks aralıkları 10.00 m olan sistemler için ise tekil temel olarak tasarlanmıştır. Temel hesabı yaparken zemin emniyet gerilmesi kontrolü, devrilme kontrolü, kayma kontrolü ve betonarme hesaplar yapılmıştır. Esas olarak temel hesabı için etkin olan moment

tesirleridir. Üst yapı ağırlıklarının fazla olmaması nedeni ile temellerin devrilme emniyetlerinin sağlanabilmesi için enine doğrultuları büyük seçilmiştir.

Betonarme yapıların tasarımında BS25 betonu ve BÇIII donatı çeliği öngörölmüş ve malzeme değerleri beton için $f_{ck}= 25$ MPa ve donatı çeliği için $f_{yd}= 365$ MPa olarak alınmıştır.

Çizelge 1. Tasarlanmış sistemlere ait temel özellikler

PLAN KODU	Makaslara Paralel Açıklık (m)	Makaslar Arası Mesafe (m)	Zemin Sınıfı	Alan (m ²)
S-20-08-1	20	8	Z1	1280
S-20-08-2	20	8	Z2	1280
S-20-08-3	20	8	Z3	1280
S-20-08-4	20	8	Z4	1280
S-24-08-1	24	8	Z1	1586
S-24-08-2	24	8	Z2	1586
S-24-08-3	24	8	Z3	1586
S-24-08-4	24	8	Z4	1586
S-28-08-1	28	8	Z1	1792
S-28-08-2	28	8	Z2	1792
S-28-08-3	28	8	Z3	1792
S-28-08-4	28	8	Z4	1792
S-20-10-1	20	10	Z1	1280
S-20-10-2	20	10	Z2	1280
S-20-10-3	20	10	Z3	1280
S-20-10-4	20	10	Z4	1280
S-24-10-1	24	10	Z1	1586
S-24-10-2	24	10	Z2	1586
S-24-10-3	24	10	Z3	1586
S-24-10-4	24	10	Z4	1586
S-28-10-1	28	10	Z1	1792
S-28-10-2	28	10	Z2	1792
S-28-10-3	28	10	Z3	1792
S-28-10-4	28	10	Z4	1792

Prefabrik betonarme taşıyıcı sistemler için Kocaeli bölgesinde faaliyet gösteren üretici firmalar ile görüşülmüş ve onların verilen tasarım kriterlerine bağlı olarak teklif ettikleri boyut ve fiyatlar kullanılmıştır. Prefabrik sistem yapılarda, şartnamenin “Deprem yüklerinin tamamının kolonlar temelden ankastre, üstte mafsallı tek katlı çelik çerçevelerle taşındığı binalar” kaydına bağlı olarak yük azaltma katsayısı R , 3.0 olarak hesaba dahil edilmiştir. Temel sistemi olarak soket temel tasarlanmıştır. Üst yapı ağırlıklarının fazla olmaması nedeni ile temellerin devrilme emniyetlerinin sağlanabilmesi için enine doğrultuları büyük seçilmiştir.

3.4. Çatı sistemleri

Çatı sistemleri taşıyıcı sistemin taşıması gereken önemli yüklerden biridir. Aktif olarak kullanılacak hacimlerin de hem prefabrik betonarme çözümden hem de çelik çözümden aynı olması amacıyla, çatı eğimleri tüm sistemler için 20% kabul edilmiştir. Çatılar seçilen sistem ve malzemeye uygun olarak tek veya çift mahyalı olarak tasarlanmıştır.

Çatı taşıyıcı sistemi olarak, yerinde dökme betonarme ve prefabrik betonarme yapılar için uzay aşıklı çelik çatı, dolu gövde aşıklı çelik çatı ve prefabrik betonarme çatı olarak öngörülmüştür.

Çelik yapılar için ise çatı taşıyıcı sistemi uzay aşıklı çelik çatı ve dolu gövde aşıklı çelik çatı olarak öngörülmüştür. Bu sistemler yine ülkemizde sıklıkla uygulanan sistemlerdir. Çatı kaplaması olarak poliüretan dolgululu alüminyum trapez düşünülmüştür.

Seçilmiş olan taşıyıcı sistemler ve ilgili çatı sistemleri çalışma amaçlı olarak kodlanmış ve görsel olarak Çizelge 2’de sunulmuştur.

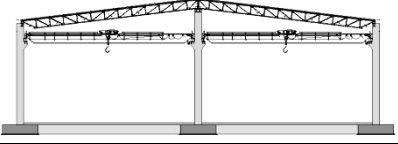
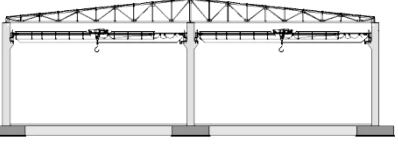
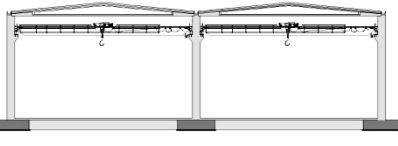
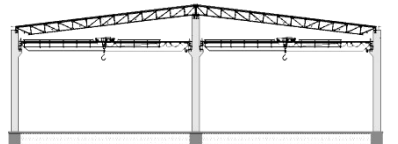
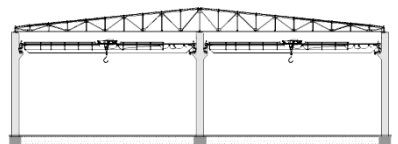
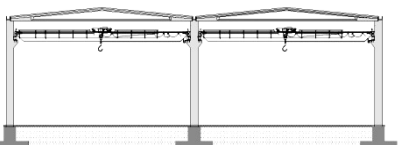
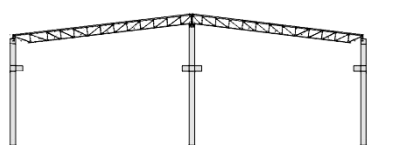
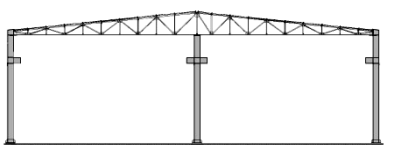
3.5. Yükler

Daha önce bahsedildiği gibi, Türkiye’de ki sanayi yapılarının büyük çoğunluğunun 1. derece deprem bölgelerinde kalması nedeniyle çalışmanın kapsamı 1. derece deprem bölgeleri ile kısıtlı olacaktır. Bu nedenle deprem yükleri hesabında DBYYHY-2007’ye göre ve yapının 1. derece deprem bölgesinde olduğu varsayılarak etkin yer ivmesi 0.40g olarak alınmıştır. Tasarım spektrası, şartnamenin öngördüğü şekilde Z1, Z2, Z3 ve Z4 zeminler için ayrı ayrı oluşturulmuştur.

Yukarıda anılan 4 bölgede kar yükleri 0.75 kN/m² ile 1.55 kN/m² arasında değişmektedir. Bu çalışma için çatı kar yükü, Kocaeli bölgesi baz alınarak ortalama bir değer olan 1.15 kN/m² alınmıştır. Kabul edilen bu kar yükü hem seçilen çatının taşıyıcı sisteminin boyutlandırılmasında hem de kolonların boyutlandırılmasında kullanılmıştır.

Rüzgar yükleri TS 498’e göre hesaplanmış ve yapıya etkilmiştir. Tüm yapılar için ayrıca 6.50 m’de kren kirişi konsolu olacağı varsayılmış ve 15.0 ton taşıma kapasitesi olan bir kreynin yükü hesaplara ilave edilmiştir.

Çizelge 2. Tasarlanmış sistemlere ait temel özellikler ve enkesitler

Kısaltma	Taşıyıcı Sistem	Çatı Tipi	Yapı Kesiti
BÇ1	Betonarme Yerde Dökme Kolon	Uzay Aşık Çelik Çatı	
BÇ2	Betonarme Yerde Dökme Kolon	Dolu Gövdeli Çelik Çatı	
BP	Betonarme Yerde Dökme Kolon	Prefabrik Çatı	
PÇ1	Prefabrik Kolon	Uzay Aşık Çelik Çatı	
PÇ2	Prefabrik Kolon	Dolu Gövdeli Çelik Çatı	
PP	Prefabrik Kolon	Prefabrik Çatı	
ÇÇ1	Çelik Kolon	Uzay Aşık Çelik Çatı	
ÇÇ2	Çelik Kolon	Dolu Gövdeli Çelik Çatı	

3.6. Tasarım yöntemi

Tasarım ve analizler için SAP-2000 ve STA-4CAD ticari bilgisayar programları kullanılmıştır [9, 10]. Tasarımlar, yürürlükteki deprem yönetmeliği, DBYYHY-2007 ve ilgili Türk Standartlarına, TS-500, TS-498, TS-648, TS-9967, uygun yapılmıştır [11, 12, 13, 14].

4. ANALİZLER VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Belirlenen 24 adet plan geometrisi, ardından her bir taşıyıcı sisteme uygun olarak seçilmiş farklı çatı tipleri dikkate alınarak 172 adet farklı yapı belirlenmiştir. Belirlenen bu yapılar, yukarıda bahsi geçen şartnamelere uygun olarak, çelik ve yerinde dökme betonarme taşıyıcı sistemler için tasarlanmış veya prefabrik betonarme taşıyıcı sistemler için gerekli yeterlilik tahkikleri yapılmıştır.

Maliyet hesaplarında Bayındırlık Bakanlığı birim fiyatları esas alınmıştır. Bayındırlık Bakanlığı listesinde olmayan fiyat kalemleri için ise piyasa rayiçleri kullanılmıştır. Prefabrik betonarme için Bayındırlık Bakanlığı birim fiyat tariflerinde pozlandırma yapılmadığından prefabrik betonarme sistemler için Kocaeli ve civarında faaliyet gösteren çeşitli üreticilerden temin edilmiştir. Benzer bağlamda, çelik yapıların maliyet hesabı için hem Bayındırlık Bakanlığı birim fiyatları hem de Kocaeli bölgesinde faaliyet gösteren çeşitli üretici firmaların vermiş olduğu fiyatlar kullanılmıştır. Hesaplarda göz önünde bulundurulmuş birim fiyatlar 2009 yılı 2. çeyrek fiyatlarıdır. Hesaplanan maliyetler şantiye düzeyinde doğrudan maliyetlerdir. Yani ayrıca bir kar ve genel payı eklenmemiştir. Fiyatlara KDV dahil edilmemiştir.

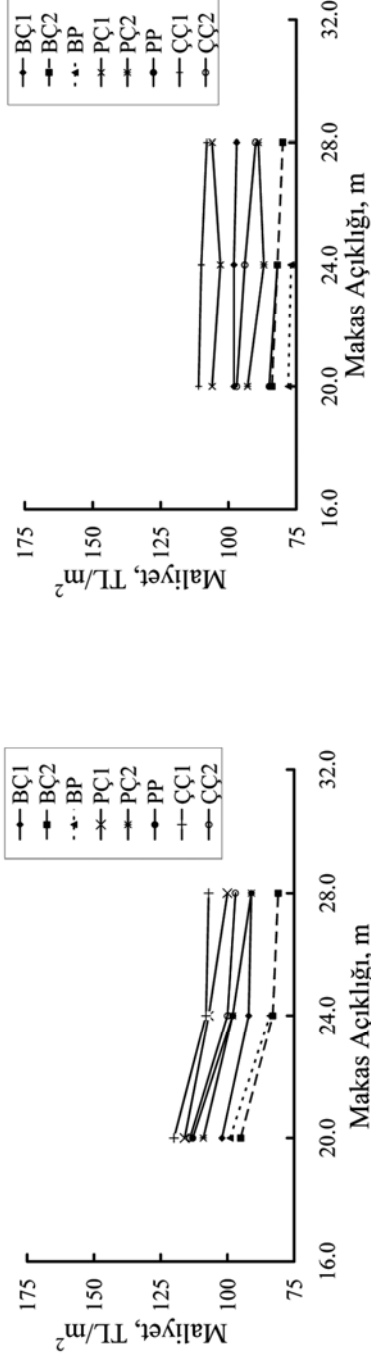
Maliyetlerin belirlenmesinde nakliye bedelleri de göz önünde bulundurulmuştur. Yine bu amaçla model yapının Kocaeli bölgesinde olduğu varsayılmış donatı çeliği nakliyesi bu varsayımına göre fiyatlandırılmıştır. Prefabrik yapılar için şantiyenin üretim tesisine mesafesi 50.0 km olarak varsayılarak nakliye bedelleri hesaplara dahil edilmiştir.

Maliyetlerin belirlenmesinde birim fiyatlarının yöresel olarak ciddi farklılıklar göstermesi ve de arazinin topoğrafyasına bağlı olması nedeniyle toprak işleri maliyetlere dahil edilmemiştir. Ayrıca tüm cephe ve çatı kaplama malzemeleri ile bunlara ait bağlantı parçaları maliyetleri mimari elemanlar olması nedeniyle hesap dışında tutulmuştur. Hesap dışı tutulan diğer bir değer ise çelik yapılardaki şartnameye bağlı olarak gerekebilecek olası yangın koruma uygulamalarıdır [15].

Elde edilen birim alan maliyet değerleri Çizelge 3'te özetlenmiştir. Ayrıca sonuçlar farklı açıklıklar, makaslar arası aralıklar ve farklı zemin sınıfları bazında Şekil 1, 2, 3 ve 4' de grafik olarak gösterilmiştir. Çizelge 3'te her sistem için en düşük değerler çizelgede koyu renk fontla gösterilmiştir. Çizelge'den de görüleceği gibi metrekare maliyetler, seçilen taşıyıcı ve çatı sistemleri ile açıklıklara bağlı olarak, Z1 tipi zeminler için 77 – 120 TL/m², Z2 tipi zeminler için 90 – 138 TL/m², Z3 tipi zeminler için 94 – 142 TL/m² ve Z4 tipi zeminler için 80 – 175 TL/m² arasında değişim göstermektedir. Diğer bir deyişle seçilen sisteme bağlı olarak taşıyıcı sistem maliyeti 100%'ü yakın mertebede artabilmektedir.

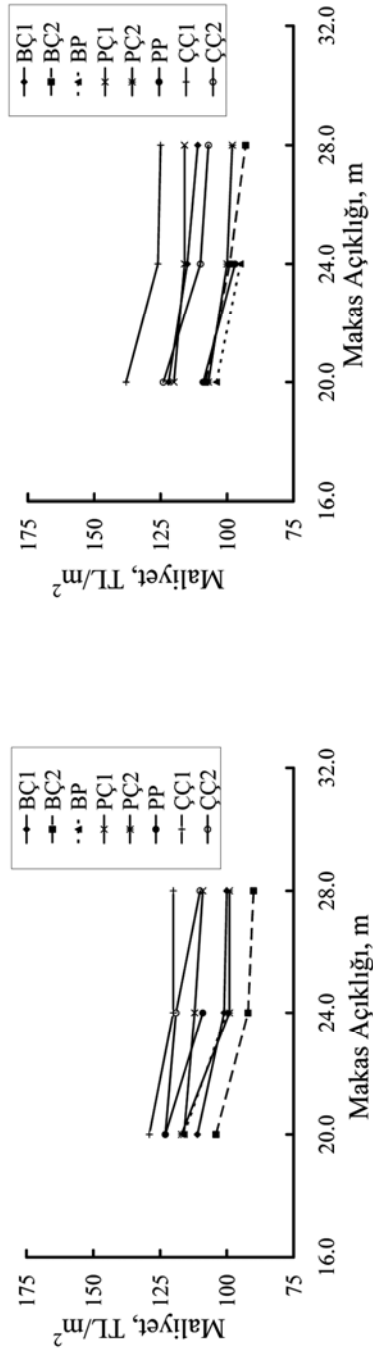
Çizelge 3. Sistemlerin birim alan maliyetleri (TL/m²)

PLAN KODU	Yerinde Dökme Betonarme			Prefabrik Betonarme			Çelik Sistem	
	Uzay Aşık Çatı	Dolu Gövdeli Aşık Çatı	Prefab. Çatı	Uzay Aşık Çatı	Dolu Gövdeli Aşık Çatı	Prefab Çatı	Uzay Aşık Çatı	Dolu Gövdeli Aşık Çatı
	(BÇ1)	(BÇ2)	(BP)	(PÇ1)	(PÇ2)	(PP)	(ÇÇ1)	(ÇÇ2)
S-20-08-1	102	95	99	116	109	113	120	114
S-20-08-2	111	104	116	116	110	123	129	123
S-20-08-3	123	116	128	123	117	133	138	131
S-20-08-4	156	150	154	163	156	160	176	149
S-24-08-1	92	83	84	107	98	98	108	100
S-24-08-2	101	92	100	112	99	109	120	119
S-24-08-3	110	101	107	119	103	118	128	122
S-24-08-4	136	127	128	147	136	139	159	135
S-28-08-1	91	81	-	100	91	-	107	97
S-28-08-2	100	90	-	109	99	-	120	110
S-28-08-3	108	98	-	115	106	-	124	114
S-28-08-4	130	120	-	134	143	-	148	129
S-20-10-1	98	84	77	106	93	85	111	97
S-20-10-2	122	108	104	120	107	109	138	124
S-20-10-3	123	109	105	131	117	115	142	128
S-20-10-4	148	165	127	160	146	138	173	150
S-24-10-1	98	82	77	103	87	82	110	94
S-24-10-2	115	99	95	116	100	97	126	110
S-24-10-3	117	100	96	122	106	102	132	116
S-24-10-4	138	122	116	143	128	122	156	133
S-28-10-1	97	122	-	106	89	-	108	90
S-28-10-2	111	93	-	116	98	-	125	107
S-28-10-3	113	94	-	118	101	-	127	110
S-28-10-4	131	114	-	145	127	-	151	128



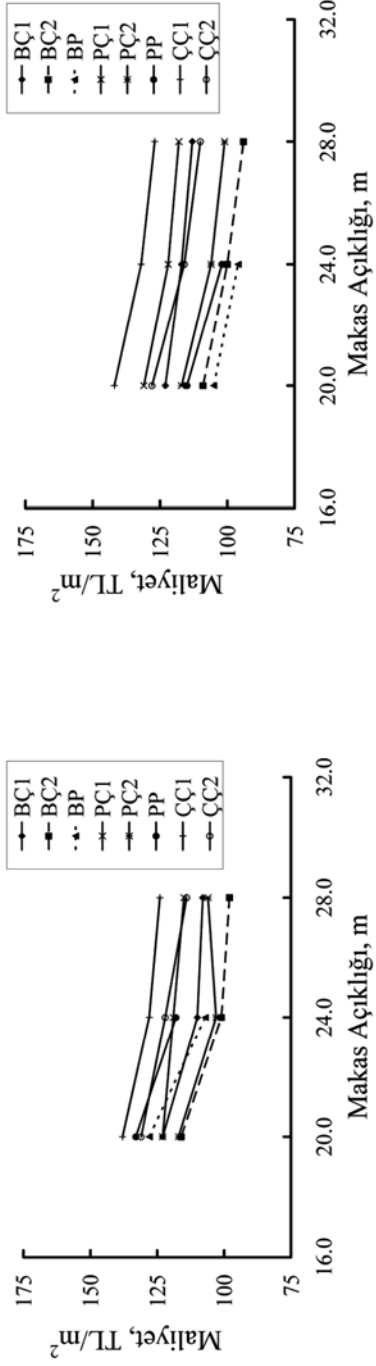
b. Makaslar arası mesafe = 10.0 m

Şekil 1. Z1 zemin sınıfında taşıyıcı sistem maliyetleri



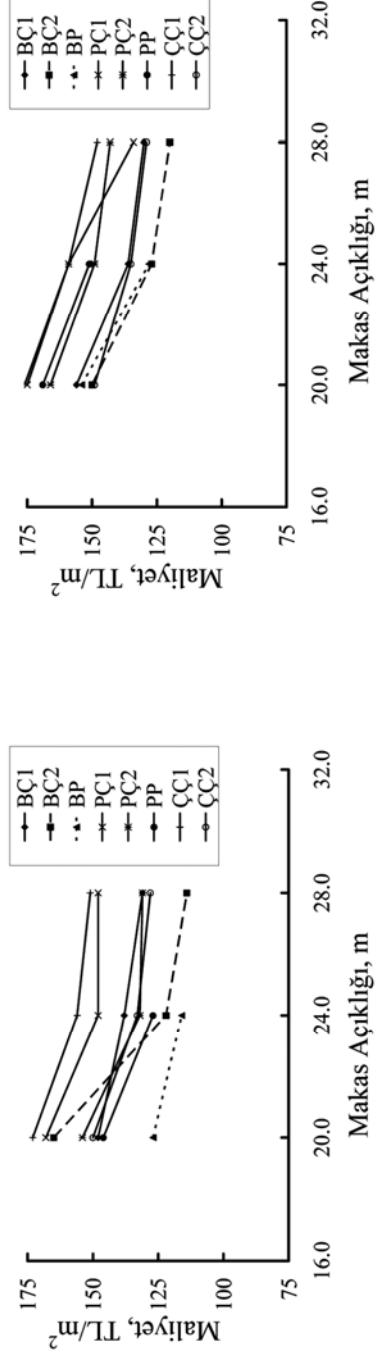
b. Makaslar arası mesafe = 10.0 m

Şekil 2. Z2 zemin sınıfında taşıyıcı sistem maliyetleri



b. Makaslar arası mesafe = 10.0 m

Şekil 3. Z3 zemin sınıfında taşıyıcı sistem maliyetleri



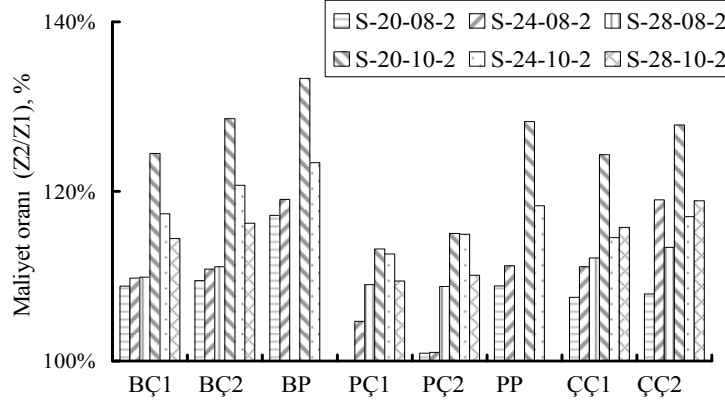
b. Makaslar arası mesafe = 10.0 m

Şekil 4. Z4 zemin sınıfında taşıyıcı sistem maliyetleri

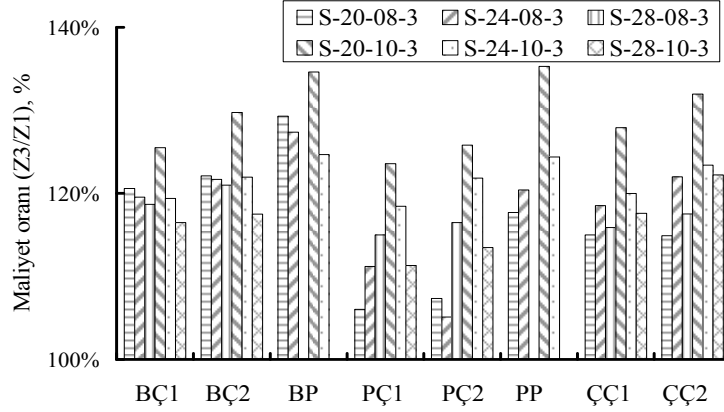
Deprem Bölgelerinde Zemin Sınıfının Sanayi Yapılarının Maliyetine Etkisi

Çizelge 4. Z1 Zemin sınıfına göre normalize edilmiş taşıyıcı sistem maliyetleri

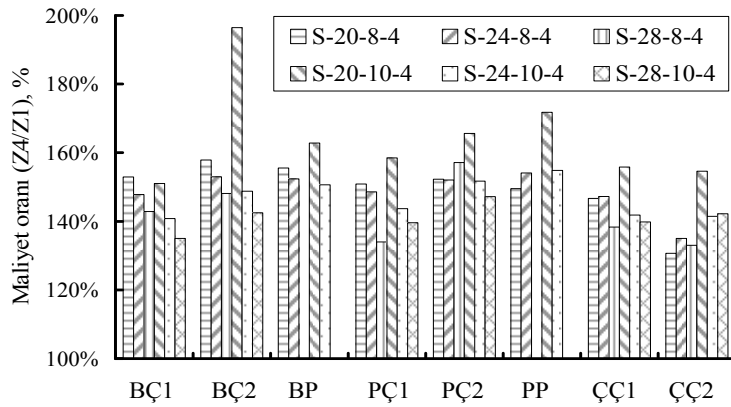
SİSTEM KODU	Yerinde Dökme Betonarme			Prefabrik Betonarme			Çelik Sistem	
	Uzay Aşık Çatı (BÇ1)	Dolu Gövdeli Aşık Çatı (BÇ2)	Prefab. Çatı (BP)	Uzay Aşık Çatı (PÇ1)	Dolu Gövdeli Aşık Çatı (PÇ2)	Prefab. Çatı (PP)	Uzay Aşık Çatı (ÇÇ1)	Dolu Gövdeli Aşık Çatı (ÇÇ2)
S-20-08-1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
S-20-08-2	109%	109%	117%	100%	101%	109%	108%	108%
S-20-08-3	121%	122%	129%	106%	107%	118%	115%	115%
S-20-08-4	153%	158%	156%	151%	152%	150%	147%	131%
S-24-08-1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
S-24-08-2	110%	111%	119%	105%	101%	111%	111%	119%
S-24-08-3	120%	122%	127%	111%	105%	120%	119%	122%
S-24-08-4	148%	153%	152%	149%	152%	154%	147%	135%
S-28-08-1	100%	100%	-	100%	100%	-	100%	100%
S-28-08-2	110%	111%	-	109%	109%	-	112%	113%
S-28-08-3	119%	121%	-	115%	116%	-	116%	118%
S-28-08-4	143%	148%	-	134%	157%	-	138%	133%
S-20-10-1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
S-20-10-2	124%	129%	133%	113%	115%	128%	124%	128%
S-20-10-3	126%	130%	135%	124%	126%	135%	128%	132%
S-20-10-4	151%	196%	163%	158%	166%	172%	156%	155%
S-24-10-1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
S-24-10-2	117%	121%	123%	113%	115%	118%	115%	117%
S-24-10-3	119%	122%	125%	118%	122%	124%	120%	123%
S-24-10-4	141%	149%	151%	144%	152%	155%	142%	141%
S-28-10-1	100%	100%	-	100%	100%	-	100%	100%
S-28-10-2	114%	116%	-	109%	110%	-	116%	119%
S-28-10-3	116%	118%	-	111%	113%	-	118%	122%
S-28-10-4	135%	143%	-	140%	147%	-	140%	142%



a. Z2 sınıfı zeminlerdeki yapıların maliyetinin Z1 sınıfı zeminlerdekine oranı



b. Z3 sınıfı zeminlerdeki yapıların maliyetinin Z1 sınıfı zeminlerdekine oranı



c. Z4 sınıfı zeminlerdeki yapıların maliyetinin Z1 sınıfı zeminlerdekine oranı

Şekil 5. Zemin sınıfının taşıyıcı sistem maliyetlerine etkileri

Deprem Bölgelerinde Zemin Sınıfının Sanayi Yapılarının Maliyetine Etkisi

Elde edilen sonuçlara göre her tüm zemin sınıfları ve farklı açıklıklarda yerinde dökme betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapıların maliyet açısından daha avantajlı olmasıdır. Çelik taşıyıcı sisteme yapılar ise yine Çizelge 3'ten görüleceği üzere en yüksek maliyete sahip yapılardır. Yukarıda belirtildiği üzere çelik elemanlar üzerinde yapılması gerekli olası bir yangın koruma katmanını dikkate alınmamıştır. Ayrıca böyle bir uygulamanın da gerekli olması durumunda çelik yapıların maliyetlerinin diğer sistemlere göre ciddi miktarda daha yüksek olacağı açıktır.

Zemin sınıfının maliyetler üzerindeki etkisini görmek amacıyla tüm maliyetler her taşıyıcı sistem tipi ve ilgili çatı tipi için ilgili Z1 zemin sınıfı maliyet değerlerine göre normalize edilmiş ve Çizelge 4, 5'te ve Şekil 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Zemin sınıfının taşıyıcı sistem maliyetine etkiler, istatistikî sonuçlar

a. Tüm sistemler

Maliyet oranı	En az	En çok	Ortalama	Std. Sapma
Z2/Z1	100%	133%	114%	7%
Z3/Z1	105%	135%	120%	7%
Z4/Z1	131%	196%	149%	11%

b. Yerinde dökme betonarme sistemler

Maliyet oranı	En az	En çok	Ortalama	Std. Sapma
Z2/Z1	109%	133%	117%	7%
Z3/Z1	116%	135%	123%	5%
Z4/Z1	135%	196%	152%	14%

c. Prefabrik betonarme sistemler

Maliyet oranı	En az	En çok	Ortalama	Std. Sapma
Z2/Z1	100%	128%	110%	7%
Z3/Z1	105%	135%	117%	8%
Z4/Z1	134%	172%	152%	9%

d. Yapısal çelik sistemler

Maliyet oranı	En az	En çok	Ortalama	Std. Sapma
Z2/Z1	108%	128%	116%	6%
Z3/Z1	115%	132%	121%	5%
Z4/Z1	131%	156%	142%	8%

Çizelge 4, Şekil 5'te ki 1 grafikler ile birlikte incelendiğinde zemin sınıfının maliyetler üzerindeki etkisi hemen göze çarpmaktadır. Bu bağlamda, Z2, Z3 ve Z4 sınıfı zeminler üzerine inşa edilecek yapıların taşıyıcı sistem maliyetleri Z1 sınıfı zeminlerdekine nazaran sırasıyla ortalama 14%, 20% ve 49% fazladır (Çizelge 5). Yine Çizelge 5'ten görüleceği gibi elde edilen ortalama değerler için standart sapma değerleri 5% ile 14% arasında değişmekte olup ortalama standart sapma değerleri 6% ile 8% arasındadır.

Bu sonuçlar, Özkan ve Muratoğlu ile Dorum ve diğ. tarafından yapılmış olan önceki iki çalışma ile de Çizelge 6'da karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar her iki çalışmaya nazaran daha yüksektir. Bu farkın büyük bir kısmı, hem konut yapılarında hem de iş merkezi yapılarında kat döşemelerinin taşıyıcı sistemlerinin maliyetinde büyük yer tutmasından kaynaklanmaktadır. Zemin sınıfı ise döşeme kalınlığını kayda değer bir şekilde etkilememektedir. Diğer taraftan sanayi yapılarında tavan döşemesi olmaması zemin sınıfının toplam maliyeti yüksek oranda etkilemesine yol açmaktadır. Ayrıca her iki çalışmada da 1997 Deprem şartnamesi baz alınmıştır. Daha önce bahsedildiği üzere 2007 ve 1997 şartnameleri arasında farklar mevcuttur. Bu farkların bazıları maliyetleri arttırıcı yöndedir. Örnek olarak prefabrike betonarme kolonlarda yük azaltma katsayısı R'nin 2007 şartnamesinde daha önceki değer olan 5'ten 3'e indirilmesini gösterebiliriz [1, 2].

Çizelge 6. Sonuçların önceki çalışmalar ile karşılaştırılması

Maliyet oranı	Bu çalışma (BA yapılar)	Dorum ve diğ., 2006 (konut)	Özkan ve Muratoğlu, 2005 (iş merkezi)
Z2/Z1	117%	105%	--
Z3/Z1	123%	118%	--
Z4/Z1	152%	122%	114%

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde Z1, Z2, Z3 ve Z4 olarak tanımlanan zemin sınıflarının tek katlı sanayi yapılarının taşıyıcı sistemlerinin maliyetlerine olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla 4 farklı zemin sınıfı üzerinde farklı kolon açıklıklarına ve de farklı çatı tiplerine sahip 172 adet farklı taşıyıcı sistem tasarlanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre Z2, Z3 ve Z4 sınıfı zeminler üzerine inşa edilecek yapıların taşıyıcı sistem maliyetleri Z1 sınıfı zeminlerdekine nazaran sırasıyla ortalama 14%, 20% ve 49% fazladır. Ayrıca, yapılan çalışma göstermiştir ki sanayi yapılarının taşıyıcı sistem maliyetleri zemin sınıfı değişikliklerine çok katlı konut veya iş merkezi tipi yapılardan daha hassastır.

Diğer bir bulgu, çelik ve prefabrik betonarme yapı maliyetlerinin her zemin sınıfı için yerinde dökme betonarme yapılara nazaran daha yüksek maliyetli çıkmasıdır. Yerinde dökme betonarmenin bu denli avantajlı maliyetlere sahip olmasını, ülkemizde bilhassa yukarıda adı geçen sanayi bölgelerinde pratik olarak senede 12 ay çalışabilmesi ve işçilik maliyetlerinin ABD, AB ve Japonya'ya nazaran daha düşük olması şeklinde açıklanabilir.

Kaynaklar

- [1] Deprem Yönetmeliği, 1997, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete Tarih ve Sayısı: 02.09.1997, 23098, değişiklik 02.07.1998, 23390
- [2] DBYYHY- 2007, “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, Resmi Gazete Tarih ve Sayısı: 06.03.2006, 26100, değişiklik 03.05.2007, 26511
- [3] Seçer, M., Bozdağ, Ö., 2005, “Uzaysal Ve Dolu Gövdeli Aşıkların Çelik Çatı Ağırlığına Etkisinin İncelenmesi”, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Antalya.
- [4] Argalı, S. ,1999, “Bir sanayi Yapısı İçin Ülkemiz Koşullarına Göre En Ekonomik Taşıyıcı Sistemin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Özkan, Ö., Muratoğlu, Ö., 2005, “Deprem Bölgelerinin Bina Maliyetine Etkisi”, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, Mart 23-25
- [6] Dorum, A., Özkan, Ö., Erdal, M., 2006. “Farklı Deprem Bölgeleri ve Farklı Zemin Sınıflarının Kaba Yapı Maliyetine Etkisi”, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik - Online Dergi, Cilt 5, Sayı:1.
- [7] Kavit, R., Gündüz, M., Özkan, Ö., 2007, “Cost of Earthquake Region and Soil Type for Office Buildings in Turkey”, Building and Environment, Elsevier, 42(2007) 3616 - 3620.
- [8] Özek, S., 2009, “2007 Türk Deprem Yönetmeliği Kriterlerinin Sanayi Yapılarının İnşaat Maliyetine Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [9] SAP2000 ver.12, Computers And Structures, www.csiberkeley.com
- [10] STA4-CAD, ver.13.0, Structural Analysis for Computer Aided Design, www.sta.com.tr
- [11] TS-500, 2000, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [12] TS-498, 1997, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [13] TS-648, 1980, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [14] TS-9967, 1996, Prefabrik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [15] BYKHY-2007, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete tarih ve sayısı: 19.12.2007, 26735