

Tünel kalıp sistemi kullanılan betonarme yüksek yapılarda, yükseklik ve kat alanı ile maliyet arasındaki ilişki

Relationship between height and footprint area with cost for tunnel form high-rise buildings

Enver Burak TÜRKEL^{1*}, Esin ERGEN¹

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
bturkel@itu.edu.tr, esin.ergen@itu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 21.07.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 28.10.2015
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.34445
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmanın amacı, yüksek yapılarda birim maliyet (brüt inşaat alanına düşen maliyet) ile bina yüksekliği arasındaki ilişkiyi tanımlamak ve aynı zamanda kat taban alanının bu ilişkiyi nasıl etkilediğini belirlemektir. Literatürde bu konuda yapılmış çalışmaların kısıtlı olduğu görülmektedir ve bu çalışmaların birçoğu yükseklik maliyet ilişkisini iş grupları ile iş kalemleri bazında detaylı şekilde incelememişlerdir. Bu çalışmada İstanbul'da 2006 ile 2013 yılları arasında tünel kalıp ile betonarmesi yapılmış, yükseklikleri 25 metre ile 142 metre arasında değişen 65 adet binanın maliyet verisi incelenerek yükseklik ile birim maliyet arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, toplam maliyet, iş grupları bazında maliyet (ör. kaba inşaat işleri) ve iş kalemleri bazında maliyet (ör. beton işleri) değerlerinin bina yüksekliği ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Çalışmada elde edilen yükseklik ile birim maliyet arasındaki ilişki eğrisi daha önceki çalışmalara benzer olarak U şeklinde bir değişim göstermekte ve ancak dönüm noktası yaklaşık 65 m'de gözlemlenmektedir. Bu çalışmanın, yükseklik ile maliyet ilişkisinin tespit edilmesi dışında diğer bir önemli katkısı da, kat taban alanının bu ilişki üzerine etkisinin belirlenmesidir. Küçük ve büyük kat alanına sahip binalarda yükseklik ile maliyet ilişkisinin yine U şeklinde olduğu, orta büyüklükte kat alanına sahip binalarda birim maliyetin yüksekliğin artması ile arttığı tespit edilmiştir. Bulgular ayrıca, orta büyüklükte kat alanına sahip binaların birim maliyetlerinin, aynı yükseklikte fakat daha büyük kat alanına sahip binalardan daha düşük olduğunu göstermektedir. Çalışmadan elde edilen bulgular, akademisyenler, mühendis ve mimarlar ile profesyonellerin maliyet-yükseklik-taban alanı arasındaki ilişkiyi daha iyi etüt etmesine ve maliyet ile ilgili kararların, özellikle bina yüksekliğinin sınırlanmadığı bölgelerde, bina yüksekliğine ve kat alanına bağlı olarak daha etkin bir şekilde verilmesine yardımcı olacaktır.

Anahtar kelimeler: Maliyet analizi, Yükseklik ve maliyet ilişkisi, Yüksek yapılar, Kat taban alanı, Tünel kalıp

Abstract

The goal of this study is to determine the relationship between height and building unit cost (i.e., cost per gross floor area) for high-rise buildings and to identify the effect of footprint area of buildings to this relationship. Previous studies on height and unit cost relation of high-rise buildings are limited and mostly do not discuss the details of the height-cost relationship with respect to elemental costs or major work costs. In this study the relation between height and unit cost were analyzed by examining the cost data of 65 high-rise (between 25 m and 142 m) residential buildings that were built with tunnel form between the years 2006 and 2013 in Istanbul. The results demonstrate that the total cost of the building, elemental costs (e.g., substructure), and some major work (e.g., concrete) change with height. Similar to the prior studies in the literature, the cost-height relationship identified in this study has a U-shaped curve; however, the bottom-out point is around 65 m. Besides determining the height-cost relationship, another contribution of this study is investigation of the effect of footprint area on the cost-height relationship. For buildings with small and large footprint areas, cost-height relationship is U-shaped, while for buildings with medium footprint areas unit cost increases as the height of the building increases. Results also show that the unit costs of buildings with medium-size footprint areas are lower than that of the buildings of the same height but with larger footprint areas. The findings of the study can be used by academicians, architects-engineers and practitioners to understand the cost-height-footprint area relationship and to make more cost-effective decisions about the height and footprint area of a building, especially in areas where height restrictions do not exist.

Keywords: Cost analysis, Height and cost relationship, High-Rise buildings, Footprint area, Tunnel-form

1 Giriş

Bu çalışmanın amacı, yüksek yapılarda birim maliyet (brüt inşaat alanına düşen maliyet) ile bina yüksekliği arasındaki ilişkiyi tanımlamak ve aynı zamanda kat taban alanının bu ilişkiyi nasıl etkilediğini belirlemektir. Maliyet ile yükseklik arasındaki ilişkinin bilinmesi, tasarım aşamasında özellikle yükseklik sınırlamasının olmadığı durumlarda bina yüksekliğinin belirlenebilmesi açısından önemlidir. Ayrıca toplam birim maliyet ile yükseklik ilişkisinin yapısını anlamak için maliyeti oluşturan iş grup ve kalemlerinin birim maliyetlerinin yükseklik ile olan ilişkilerini de anlamak gereklidir. Bina yüksekliği belirlenirken dikkate alınması gereken bir diğer faktör de kat taban alanıdır. Bir binanın

toplam brüt inşaat alanı tüm katların taban alanlarının toplamına eşittir. Toplam brüt inşaat alanı, ön tasarımın çok erken aşamalarında hesap edilir ve yönetmelikler ile belirli sınırlandırmalara tabidir. Eğer binanın yapılacağı yerde şartnameler ile belirlenmiş herhangi bir yükseklik kısıtı yoksa bina yüksekliği ile kat taban alanı, en uygun toplam inşaat alanını ve maliyeti karşılayacak şekilde tespit edilir. Literatür incelendiğinde birim maliyet ile yükseklik ilişkisini inceleyen çalışmaların kısıtlı olduğu görülmektedir. Bazı çalışmalar, bina yüksekliğin artması ile birim maliyetin artacağını ve yüksek yapıların sadece arsa maliyetlerinin çok yüksek olduğu yerlerde veya arsa alanının kısıtlı olduğu bölgelerde tercih edilmesi gerektiğini belirtmektedir [1]-[9]. Diğer yandan, gerçek maliyet verileri kullanılan bazı çalışmalarda,

yükseklik-maliyet ilişkisinin U şeklinde olduğu ve birim maliyetin bina yüksekliğinin artması ile belirli bir yüksekliğe kadar önce azaldığı, sonra tekrar arttığı belirtilmiştir [10]-[15]. Ayrıca yükseklik-maliyet ilişkisinin lokasyona bağlı olarak değişiklik göstermesinden dolayı bu ilişkiyi inceleyen çalışmalar Birleşik Krallık, Hong Kong ve Şangay gibi farklı şehirler için yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır [11],[12],[14],[15]. Bina yüksekliği ve birim maliyet ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, sadece birkaç çalışmanın gerçek maliyet verisi kullandığı ve incelenen bina sayısının kısıtlı (10-36 bina) olduğu görülmüştür. İlaveten, sadece bir çalışma iş gruplarının (ör. altyapı kaba inşaat işleri, mekanik işler) birim maliyetleri ile bina yüksekliği arasındaki ilişkiyi analiz etmiş [15], kat taban alanının yükseklik ile birim maliyet arasındaki ilişkiye etkisi ise gerçek maliyet verisi kullanılan hiçbir çalışmada incelenmemiştir. Bu çalışmada hedeflenen 9 ile 45 kat arasında 65 adet binaya ait gerçek maliyet verisini kullanarak literatürde belirtilen boşlukları tamamlamak ve yüksek binalara ait yükseklik-maliyet ilişkisini analiz etmektir. Bu çalışma ile cevaplandırılması amaçlanan araştırma soruları şunlardır: (1) Bina birim maliyeti yükseklik ile nasıl değişmektedir? (2) İş gruplarına ve iş kalemlerine ait birim maliyetler yükseklik ile nasıl değişmektedir ve bunlar toplam birim maliyeti nasıl etkilemektedir? (3) Kat taban alanı birim maliyeti nasıl etkilemektedir? Örneğin, aynı yükseklikteki iki binadan, daha büyük kat taban alanına sahip binanın birim maliyeti daha küçük kat taban alanına sahip binanın birim maliyetinden daha yüksek midir? Bu soruların cevaplarını bulabilmek için çalışma kapsamında regresyon analizleri yapılmış ve çıkan sonuçlar önceki çalışmaların sonuçları ışığında değerlendirilmiştir.

2 Literatür çalışması

Literatürde yüksek yapılar ile ilgili birçok tanım mevcuttur, ancak hangi yükseklik aralığındaki binaların yüksek yapı olarak tanımlandığına dair ortak bir görüş bulunmamaktadır. Bir tanıma göre, yüksek yapılar yükseklikleri 35 ile 100 metre arası olan yani yaklaşık 12 ile 39 katlı binalar, gökdelenler ise en az 100 metre yüksekliğindeki binalar olarak tanımlanmaktadır [16]. Diğer bir tanımda ise yüksek yapıları, 14 kat veya 50 m ve üzeri olarak tanımlanmaktadır [17]. Yüksek yapılarda maliyet ile tasarım alternatifleri (ör. bina yüksekliği) arasındaki ilişkiler son elli yıldır araştırılmaktadır ve yakın zamanda yapılmış sadece birkaç çalışma bulunmaktadır. Bazı yazarlar, brüt inşaat alanı başına düşen maliyetin bina yüksekliği arttıkça artacağını ve yüksek yapıların sadece arsa maliyetlerinin yüksek olduğu ya da arsa alanının kısıtlı olduğu bölgelerde tercih edilmesi gerektiğini belirtmektedir [1]-[4],[6],[10]. Maliyetin bina yüksekliği ile artmasına sebep olan unsurları şu şekilde belirtmişlerdir: (1) bina ağırlığının, deprem ve rüzgar yüklerinin artmasından dolayı artacak olan taşıyıcı sistem elemanlarının kesitleri, (2) inşaatın yapılabilmesi için artacak olan düşey taşıyıcılar, (3) yüksek yapılar için gerekli olan kule vinçler [5],[7],[10]. İlk çalışmalardan birinde, 3-18 kat arası 10 örnek bina analiz edilmiş ve yüksekliğin artması ile birim maliyetin büyük oranda arttığı belirlenmiştir [2].

Buna karşın, Flanagan ve Norman [11] Birleşik Krallık'ta 2-25 katlı 15 bina ile yaptıkları çalışmada yükseklik ile maliyetin birçok tasarım parametresinden etkilendiğini ve yükseklik ile birim maliyet arasında U şeklinde bir ilişki olduğunu ve maliyetin altıncı katta minimum değerine ulaştığını belirlemişlerdir (Tablo 1). Maliyetin altıncı kata kadar azalmasının sebebini temel inşaatı ve çatı işleri gibi bina

yüksekliği ile pek fazla değişmeyen sabit imalat kalemlerine bağlamışlardır. Newton [12] 1-30 katlı binalar üzerinde yaptığı çalışmada yükseklik ile birim maliyet arasında Flanagan ve Norman'ı [11] destekler nitelikte U şeklinde benzer bir eğri bulmuş, ancak bu eğride de en düşük maliyet üçüncü katta gözlemlenmiştir.

Tablo 1: Yükseklik maliyet ilişkisini için U şeklinde eğri tanımlayan çalışmalar.

Çalışma ve yılı	Ülke/Şehir	Bina sayısı	Kat sayısı	En düşük maliyet noktası
Flanagan ve Norman, 1978 [11]	Birleşik Krallık	15	2-25	6. kat
Newton, 1982 [12]	İngiltere	-	1-30	4. kat
Picken and Ilozor, 2003 [14]	Hong Kong	24	3-39	30. kat
Blackman ve Picken, 2010 [15]	Şangay	36	2-37	~7. kat

Türkiye'de Çıracı [13] tarafından 1-17 kat arasındaki 41 binada yapılan çalışmada, yükseklik ile birim maliyet ilişkisini araştırmıştır. Toplam maliyeti; inşaat işleri, tesisat işleri, sabit donanımlar ve diğer olmak üzere dört ana gruba bölmüş ve birim maliyetleri ise iki ayrı şekilde değerlendirmişti: (1) ana faydalı alana bölerek, (2) brüt kat alanına bölerek. Ayrıca çalışma kapsamındaki binaları 1-5, 6-12 ve 12-17 katlı olmak üzere gruplandırmış ve hem faydalı alana düşen hem de brüt alana düşen toplam ve inşaat işleri birim maliyetlerinin U şeklinde olduğunu, tesisat işlerine ait birim maliyetlerin ise ters U şeklinde olduğunu belirtmiştir. Daha yakın tarihli çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiş ve yükseklik ile birim maliyet ilişkisi U şeklinde eğriler ile tanımlanmıştır. Fakat bu çalışmalarda en düşük maliyetin elde edildiği bina yükseklikleri birbirinden farklıdır. Picken ve Ilozor [14] Hong Kong'ta 3 ile 39 katlı 24 bina ile yaptıkları çalışmada yükseklik birim maliyet ilişkisinin U şeklinde olduğunu ve en düşük maliyetin otuz üçüncü katta ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. Şangay'da Blackman ve Picken (2010) tarafından 2 ile 37 katlı 36 bina ile yapılan bir başka çalışmada da U şeklindeki eğrinin dönüm noktası yaklaşık 24 m'dedir. Blackman ve Picken [15] ise yükseklik ile maliyet arasında daha ayrıntılı bir analiz yapmış ve iş gruplarının (ör. Altyapı, çatı, kapı ve pencereler) birim maliyetlerinin yükseklik ile ilişkisini incelemiştir. Bu çalışmalarda, en düşük maliyetlerin olduğu yüksekliklerinin birbirinden farklı olmasının nedeni, binaların yapıldıkları şehirlerdeki belirli faktörlerden kaynaklanmaktadır [15]. Örneğin, asansörlerin büyüklük ve kapasiteleri ile yangından korunma sistemleri hakkındaki düzenlemelerin lokasyonlara göre farklılık göstermesinden dolayı binaların toplam maliyetleri de değişkenlik göstermektedir. Bu farklılıkların bir diğeri nedeni ise önceki çalışmalar ile son yapılan çalışmalar arasında yaklaşık yirmi yıllık bir sürenin olmasıdır. 1980'li yıllar civarında yapılan çalışmalarda en düşük maliyet dördüncü ve altıncı katta gözlemlenirken, son yıllarda yapılan çalışmalarda bu değer otuzuncu katlarda ortaya çıkmıştır. Zaman içinde teknolojinin ilerlemesi ile yükseklik ile birim maliyet arasındaki ilişkinin de etkilendiği düşünülmektedir.

Önceki çalışmalarda incelenmiş bir diğer faktör ise kat taban alanının yükseklik ile birim maliyet ilişkisi üzerine etkisidir. Newton [12] yükseklik arttıkça küçük kat taban alanlı binaların

birim maliyetlerinin büyük kat alanlı binalara göre daha az değiştiğini belirtmiştir. Ancak, bu tespitin gerçek veri ile desteklendiğine dair kanıt sunmamıştır. Chau ve diğ. [9] geliştirdikleri ampirik bir bağıntı ile birim maliyeti bina yüksekliğinin ve kat taban alanının bir fonksiyonu olarak tanımlamışlar ve birim maliyetin sadece bina yüksekliğindeki artışla değil, aynı zamanda kat taban alanındaki artışla da artacağını belirtmişlerdir. Bu formüle göre, yükseklik ile birim maliyet eğrisinin eğilimi tüm kat taban alanı büyüklükleri için aynı iken aynı yükseklikteki binalar arasında daha büyük kat taban alanına sahip binaların birim maliyetleri daha yüksek olmaktadır.

Özetle, literatür taraması sonucunda yükseklik ile birim maliyet arasındaki ilişkiyi analiz eden çalışmalar içinde sınırlı sayıda araştırmanın gerçek maliyet verisini kullandığı belirlenmiştir. Ayrıca, bu çalışmalarda kullanılan maliyet verisi de kısıtlıdır: çalışmalara en yüksek 40 katlı bina dahil edilmiştir ve en fazla 36 adet bina incelenmiştir. Özellikle son yıllarda yüksek binalar için yapılmış çalışmaların çoğunda en düşük birim maliyetin gözlemlendiği yükseklik farklılık gösterse de, yükseklik ile birim maliyet ilişkisi U şekline sahip bir eğri olarak tarif edilmiştir. Şu ana kadar yapılmış çalışmalar içinde sadece bir çalışmada kat taban alanının birim maliyete etkisi incelenmiş [9] ve bu ilişki ampirik bir bağıntı ile tanımlanmıştır. Ancak, bu konuda daha detaylı bir analize gerek duyulmaktadır ve bu çalışma ile belirtilen boşlukların doldurulması hedeflenmiştir.

Bu çalışmada incelenen bina sayısı önceki çalışmaların yaklaşık iki katıdır (65 bina) ve çalışmanın odak noktasının yüksek yapılar olmasından dolayı sadece yüksek binalar (9-47 kat) çalışmaya dahil edilmiştir. Ayrıca, yükseklik-birim maliyet ilişkisinin yanı sıra, bu ilişkinin daha iyi yorumlanması için yükseklik ile iş grupları ve bazı temel iş kalemlerinin birim maliyetlerinin değişimi de incelenmiştir. Son olarak, kat taban alanının yükseklik ile birim maliyet ilişkisi üzerine etkisi analiz edilmiştir.

3 Yöntem

Bina maliyeti ile bina tasarım alternatifleri arasındaki ilişkilerin analiz edildiği çalışmalar incelendiğinde iki temel yöntemin kullanıldığı görülmektedir [18]. (1) örnek olarak seçilen binaların verilerini kullanarak farklı tasarım alternatiflerine göre istatistiksel analizler yapmak, [2],[11],[12],[14],[15], (2) tipik bir binanın tasarım özelliklerini değiştirerek (örnek; yükseklik) maliyetteki farklılıkların analiz edilmesi. [10],[19]. Birinci yöntemde örnekler farklı tasarım özelliklerine (ör. yükseklik, kat alanı) sahip olmakta ve analizlerde binaların gerçek maliyet değerleri kullanılmaktadır. Bu yöntemle ilgili en önemli zorluk, istatistiksel analiz yapabilmek için yeterli sayıda projelendirilmiş ya da tamamlanmış yapıya ait maliyet verisini temin etmektir. Gerçek ve doğru maliyet verisine ulaşmanın zorluğundan dolayı [18] önceki çalışmalar incelendiğinde, bu tür çalışmaların sadece 10 ile 36 örnek bina için yapılabildiği ve kısıtlı kaldığı görülmektedir. İkinci yöntemde, tip model bina seçimi yapılmakta ve bu tip model üzerinde farklı tasarım alternatifleri denenerek maliyetleri hesaplanmaktadır. Bu yöntemde karşılaşılan zorluk ise, mevcut binaları temsil edebilecek bir tip binanın seçilmesi ve çok uzun bir tasarım süreci gerektirmesidir [18].

Bu çalışmada ilk yöntem izlenmiştir ve firma kayıtları baz alınarak elde edilen 65 binaya ait gerçek maliyet verileri kullanılarak istatistiksel analizler yapılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler 2006 ile 2013 yılları arasında İstanbul'da şehrin çeşitli yerlerindeki farklı projelerde tünel kalıp sistemi

ile yapılmış ve tamamlanmış çok katlı binalardan alınmıştır. İstanbul'da son yıllarda inşaat faaliyetleri hız kazanmıştır ve yüksek yapılar tamamlanan inşaatlar içinde önemli bir orana sahiptir: şehir genelinde 2.390 tane tamamlanmış, 171 tane yapımı devam eden yüksek yapı (35-100 metre arasında) ile 182 tane gökdelen (100 metreden yüksek) bulunmaktadır [16]. Asya ve Ortadoğu'daki nüfus yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerdekine benzer şekilde İstanbul'da da nüfusun hızlı artışı ve teknolojinin de gelişmesine paralel olarak çok katlı binaların yakın gelecekte sayılarının daha da artması beklenmektedir. Bu çalışmada yüksekliği 25 metre ile 142 metre (9 ile 47 kat) arasında değişen binalar yüksek yapı olarak kabul edilmiş ve incelenmiştir. Bina yüksekliği, tabandan en yüksek mimari elemanın uç noktasına kadar olan mesafe olarak alınmıştır [16]. Kat taban alanı, normal kat plan şeklinin toplam alanıdır [10],[16] ve bu çalışmada 455 m² ile 1.075 m² arasında değişmektedir. Binaların genel özelliklerine ait detaylı bilgi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Binaların genel özellikleri.

Özellikler	Değerler
Yükseklik	25-142 m
Kat Sayısı	9-47
Toplam inşaat alanı	3.675-42.000 m ²
Normal kat inşaat alanı	455-1.075 m ²
Bina geometrisi	Dörtgen ve dairesel
Kat yüksekliği	2,80-3,10 m
Dairelerdeki oda sayıları	1, 2, 3 ve 4 odalı
Toplam daire sayısı	28-340
Bodrum kat sayısı	1~7
Kullanılan beton sınıfları	C25, C30, C35, C40
Kullanılan beton çeliği sınıfı	S 420a

Bina maliyetlerini hesaplamak için binalara ait mimari, statik, elektrik ve mekanik projeler üzerinden detaylı metraj çalışmaları yapılmıştır. Metrajlar sonucunda çıkan değerler ile ilgili birim fiyatlar çarpılarak toplam bina maliyetleri oluşturulmuştur. Tüm birim fiyatlar 2013 yılı piyasa koşullarına göre belirlenmiştir ve birim fiyatlara her türlü işçilik, malzeme, kule vinç ve makine-ekipman maliyetleri dahildir. Birim maliyet, maliyetin (ör. toplam maliyet, iş kalemleri bazında maliyet) brüt inşaat alanına bölünmesi ile bulunmaktadır. Brüt inşaat alanı, tüm katların iç kullanım alanları ile koridorlar, merdivenler, mekanik alanlar gibi tüm alanlarının toplamıdır.

Bina yüksekliği ile birim maliyet arasındaki ilişkiyi incelemek için, bundan önce birçok çalışmada kullanılan [11],[14],[15] ve maliyet tahmininde en yaygın başvurulan yöntem olan istatistiksel regresyon analizi yöntemi kullanılmıştır [20]. Analizlerde binalara ait maliyet, yükseklik ve taban alanı değerleri kullanılmıştır. Maliyet bilgileri, binaya ait toplam maliyet, iş grupları bazında maliyet (temel ve bodrum katları içeren altyapı kaba inşaat, zemin ve üst katları içeren üst yapı kaba inşaat, dış ve iç duvarlar, ince inşaat işleri, mekanik, elektrik ve asansör işleri) ve bazı temel iş kalemlerine ait

maliyet (ör. kalıp, demir, beton) verilerini içermektedir. Zemin koşullarının çok değişken olması ve kalitenin projeden projeye değişiklik gösterecek olmasından dolayı, bu iki değere bağlı, kazı ve dolgu işleri, izolasyon işleri, dış cephe işleri, ince inşaat işleri ile elektrik ile mekanik işlerine ait tamamlanma işleri maliyet analizlerine dahil edilmemiştir. Çatı katı işlerine ait maliyetler ise zemin üstü katlar inşaat işlerinin içine dahil edilmiştir. Ayrıca genel gider ve kar firmadan firmaya değişeceğinden dolayı bu kalemler de maliyet hesaplamalarının dışında tutulmuştur.

Çalışmada birim maliyetin yükseklik ile değişimi araştırılmıştır ve bu ilişki üç grupta incelenmiştir, (1) toplam bina birim maliyeti, (2) iş grupları bazında birim maliyet, (3) bazı ana iş kalemleri (ör. kalıp, demir, beton) bazında birim maliyet. Ayrıca bina kat taban alanının birim maliyet ile yükseklik arasındaki ilişkiye etkisi binalara ait üç taban alanı aralığı için incelenmiştir. Birim maliyet ile yükseklik arasındaki analizler, Bennett [21] tarafından verilen kırılıma benzer şekilde, hem toplam maliyet hem de Tablo 3'te verildiği şekilde iş grupları ile bazı temel iş kalemleri için ayrı ayrı yapılmıştır.

4 Veri analizi

Maliyet ve yükseklik arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi için D-Plot Grafik yazılım programı yardımıyla tek değişkenli parabolik regresyon analizleri yapılmıştır ve değişkenler arasındaki ilişki determinasyon katsayısı ile belirlenmiştir. Regresyon analizlerinde bir bağımlı bir de bağımsız değişken kullanılmıştır. Buna göre, "x" metre cinsinden bina yüksekliğini ifade eden bağımsız değişkeni, "y" ise TL/m² cinsinden birim maliyeti ifade eden bağımlı değişkeni temsil etmektedir. Analizler sonucunda çıkan denklemler ikinci dereceden polinom denklemleridir ve

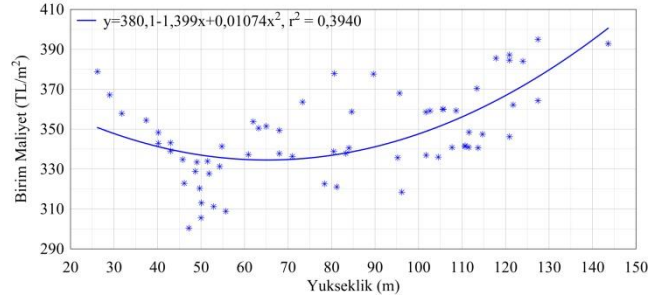
$$y = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

ile ifade edilmektedir. Gerçekleştirilen tüm analizlerde kurulan hipotez testleri yönsüz ve çift kuyrukluudur. Hipotez testinin tek veya çift kuyruklu olması hipotezin oluşturulma biçimine bağlıdır. Çift kuyruklu hipotezler yön belirtmeyen ve parametre ile değer arasında eşitliğin olup olmadığına bakan hipotezlerdir. Yönsüz hipotezler, çift kuyruklu analiz ile test edilir ve çift kuyruklu analizde değişkenler arasındaki ilişkinin yönü bilinmemektedir [23].

Bundan sonraki bölümlerde yükseklik ile toplam birim maliyet ilişkisi, kat taban alanının bu ilişkiye etkisi, iş gruplarının ve temel iş kalemlerinin birim maliyetleri ile bina yüksekliği arasındaki ilişkiler ve bu ilişkilerin sonuçları tartışılmıştır.

4.1 Yükseklik ile toplam birim maliyet arasındaki ilişki

Yapılan regresyon analizine göre elde edilen yükseklik ile birim maliyet arasındaki ilişki Şekil 1'de verilmiştir. Bu eğri, yükseklik ile birim maliyet arasında daha önceki çalışmalarda bulunanlara benzer [10],[11],[12],[14],[15] ve determinasyon katsayıları birbirine yakın bir ilişki olduğunu göstermektedir (ör. Picken ve Ilozor'un [14] çalışmasında r²=0.320, Blackman ve Picken'in [15] çalışmasında r²=0,369). Fakat yükseklik ile birim maliyet eğrisinin dönüm noktası önceki çalışmalardan farklıdır. En düşük maliyet 65 m yani 22 katlı binalarda elde edilirken, Picken ve Ilozor'un [14] 2003 yılında Hong Kong'ta yaptığı çalışmada 100 m'de, Blackman ve Picken'in [15] 2010 yılında Şangay'da yaptığı çalışmada ise 24 m'de elde edilmektedir.



Şekil 1: Yükseklik-Toplam birim maliyet.

Tablo 3: Binalara ait iş grupları ve iş kalemleri.

İş grubu	İş kalemi	Açıklama
Temel ve bodrum katlar (altyapı) kaba inşaat işleri maliyetleri	Kalıp, demir, beton işleri malzeme ve işçilik maliyetleri Kule vinç kirası, montaj ve demontaj maliyetleri	Temel, kolonlar, döşemeler, kirişler ve merdivenlerdeki betonarme işleri
Zemin üstü katlar (üstyapı) kaba inşaat işleri maliyetleri	Kalıp, demir, beton işleri malzeme ve işçilik maliyetleri Kule vinç kirası, montaj ve demontaj maliyetleri	Kolonlar, döşemeler, kirişler ve merdivenlerdeki betonarme işleri
Dış ve iç duvar işleri maliyetleri	8,5 ve 13,5 cm'lik tuğla duvar malzeme ve işçilik maliyetleri	Dış ve iç duvar işleri
İnce inşaat işleri maliyetleri	Sıva işleri malzeme ve işçilik maliyetleri	Duvar sıva işleri Tavan sıva işleri
	Şap işleri malzeme ve işçilik maliyetleri	Zemin şap işleri
Mekanik işleri maliyetleri	Mekanik işler malzeme ve işçilik maliyetleri	Bitirme işleri dışındaki pis su ve temiz su, yangın ve havalandırma tesisatları
Elektrik işleri maliyetleri	Elektrik işleri malzeme ve işçilik maliyetleri	Bitirme işleri dışındaki topraklama ve yıldırımdan korunma, borulama ve kablolama işleri
Asansör işleri maliyetleri	Yolcu ve yük asansörleri malzeme ve işçilik maliyetleri	Yolcu ve yük asansörlerinin temini ve montajı
Kule vinç maliyetleri	Kule vinç kira, montaj, demontaj ve nakliye maliyetleri	Kule vincin nakliyesi, montajı, kaba inşaat süresince çalışır durumda olması ve demontajı

Bu farklılıkların nedenleri olarak bu üç çalışmada binaların inşa edildiği lokasyonların, inşaat yapım tekniklerinin ve bina maliyet hesaplarına dahil edilen maliyet kalemlerinin farklı olması gösterilebilir. Her ülke, hatta her kent, inşaat sektörünü ilgilendiren yerel düzenlemelere sahiptir. Bu düzenlemeler bina tasarımlarını doğrudan etkilemektedir ve bu da bina maliyetlerine yansımaktadır. Örneğin her şehirde binalardaki asansör sayısını belirleyen farklı düzenlemeler bulunmaktadır ve asansör sayısının artması birim maliyeti doğrudan arttırmaktadır. Şangay'da onbir kattan yüksek binalarda ikinci asansör zorunluluğu bulunmaktadır [15]. Öte yandan Hong Kong'taki düzenlemelere göre, asansörlerin sayı ve özelliklerini belirlemek için bir formül kullanılmakta ve buradan çıkan sonuçlara göre asansör sayıları belirlenmektedir. [14]. Son olarak İstanbul'da ise, on katın üzerinde olan veya yirminin üzerinde daireye sahip binalarda iki asansör konulması zorunludur [22]. Ayrıca İstanbul'un birinci derece deprem bölgesinde olması sebebiyle, yapılacak binaların deprem yönetmeliklerinin göz önüne alınarak tasarlanmak zorunda olması maliyeti etkileyen bir başka faktördür. Yükseklik maliyet ilişkisini etkileyen bir diğer faktör de binanın bulunduğu lokasyondaki işçilik ve malzeme temini maliyetleridir. Özellikle İstanbul'da akaryakıt fiyatlarının diğer yerlere göre yüksek olması nakliye maliyetlerini arttırmaktadır. Yüklenicilerin yüksek yapılardaki deneyimi de, hem işin süresini hem de maliyetini büyük oranda etkilemektedir. Örneğin Hong Kong'ta diğer şehirlere göre daha fazla sayıda yüksek yapı bulunmaktadır [16]. Bu şehirdeki inşaat sektörü çalışanlarının yüksek yapı tecrübesinden dolayı Şangay ve İstanbul'a göre işçilik birim maliyetlerin daha da düşük olduğu düşünülmektedir. Bunların yanı sıra, her bir çalışmaya dahil edilen maliyet kalemlerinin farklı olması da toplam maliyetlerin farklı olmasına sebebiyet verebilir. Mesela, Blackman ve Picken [15] yaptıkları çalışmaya ince işler hariç tüm maliyet kalemlerini dahil ettiklerini belirtirken, özel olarak hangi maliyet kalemlerini çalışma dışında tuttuklarını belirtmemiştir. Bu makalede verilen çalışmada ise, ince işler (ör. zemin kaplamaları) ile mekanik ve elektrik işlerinin tamamlanma işleri çalışma kapsamına dahil edilmemiştir. Son olarak, bu çalışmadaki binaların tünel kalıp sistemi kullanılarak inşa edilmesi, binalarda daha fazla perde duvar yapılmasına neden olduğu için, bu çalışmadaki kaba inşaat işleri maliyetinin diğer kalıp sistemleri kullanılan işlerin kaba inşaat işleri maliyetine göre daha yüksek olmasına neden olmaktadır.

4.2 Kat taban alanının yükseklik ile maliyet arasındaki ilişkiye etkisi

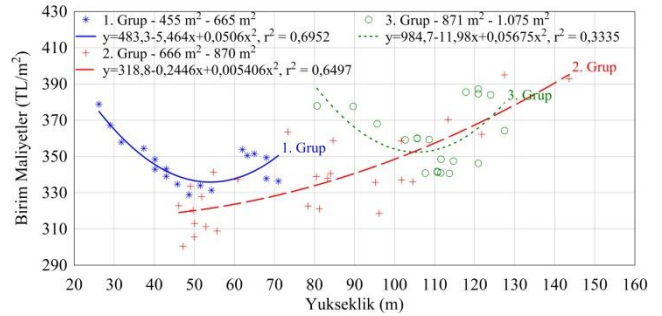
Kat taban alanının yükseklik ile birim maliyet arasındaki ilişkiye etkisini analiz edebilmek için, binaların taban alanı büyüklüklerine göre üç gruba ayrılmıştır (Tablo 4). Taban alanları 455~665 m² arasında olan birinci grup ile taban alanları 666~870 m² arasında olan ikinci grup ve taban alanları 871~1.075 m² arasında olan üçüncü grubun yükseklik-birim maliyet grafiği yükseklik-toplam birim maliyet grafiğine (Şekil 1) benzer bir eğilime sahiptir ve U şeklindedir (Şekil 2). Birinci grupta maliyetin minimum olduğu yükseklik 54 m, üçüncü grupta ise 106 m'dir. Birinci grupta bina yükseklikleri 16 ile 71 m arasında, üçüncü grupta ise 81 ile 128 m arasında değişmektedir. Kat taban alanı 666~870 m² arasında değişen ikinci grupta ise yükseklik ile birim maliyet arasında farklı bir ilişki bulunmaktadır. Bu gruptaki binaların birim maliyetleri yüksekliğin artması ile birlikte artmaktadır.

İkinci gruptaki binaların birim maliyetleri aynı yükseklikte olan birinci ve üçüncü gruptaki binalara göre genellikle daha düşüktür. Örneğin 60 m yüksekliğindeki binalar

incelendiğinde, birinci gruptaki kat alanı düşük olan binalarda birim maliyet 338 TL/m² iken, ikinci gruptaki daha büyük kat alanlı binalarda birim maliyet 324 TL/m² olmaktadır. Benzer olarak yüksekliği 105 m'ye kadar olan binalar analiz edildiğinde ikinci grupta daha düşük kat taban alanlı binaların birim maliyetleri, üçüncü gruptaki daha büyük kat alanlı binaların birim maliyetlerinden daha düşük olmaktadır. Bu sonuçlar, Chau ve diğ. [9] tarafından yapılan çalışma ile benzerlik göstermektedir. Chau ve diğ. [9] yaptıkları çalışmada, aynı yükseklikteki binalardan büyük kat alanına sahip olanın birim maliyetinin her zaman daha yüksek olacağını belirtmiştir.

Tablo 4: Binalarda kat taban alanı sınıflandırması.

Kat taban alanı grubu	Kat taban alanı	Örnek bina sayısı	Yükseklik
1. Grup (Küçük)	455~665 m ²	18	26~71 m
2. Grup (Orta)	666~870 m ²	27	46~144 m
3. Grup (Büyük)	871~1.075 m ²	20	81~128 m



Şekil 2: Yükseklik-Kat taban alanı aralıklarına göre toplam birim maliyet.

Bina yüksekliği, birim maliyet ve taban alanı arasındaki ilişki yasal düzenlemeler ve şartnameler ışığında incelenmelidir. Öncelikle, bina yüksekliği ve taban alanı ile ilgili sınır değerler yönetmelik ve şartnameler gibi düzenlemeler ile belirlenmiştir. Ayrıca, statik şartnameler binalardaki betonarme taşıyıcı sistem kesitlerinin minimum boyutlarını da belirlemektedir ve bu boyutlar belirli yükseklik ve taban alanındaki binalar için asgari şartların sağlanabilmesi için belli bir yüksekliğe kadar sabittir. Dolayısıyla, düşük katlı binalarda, daha düşük kat taban alanına sahip binaların taşıyıcı elemanlarının boyutları, daha büyük kat alanına sahip binaların taşıyıcı elemanlarının boyutları ile hemen hemen aynıdır ve bu durum büyük kat alanına sahip binaların birim maliyetlerinin daha düşük olmasına neden olmaktadır.

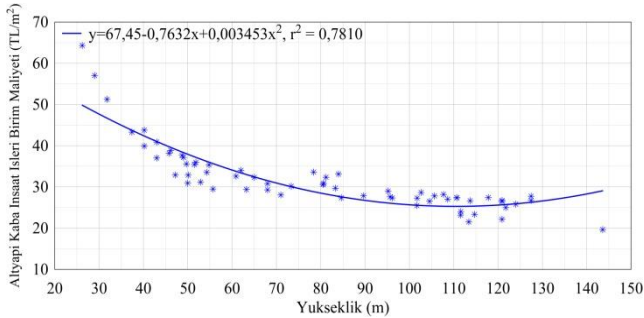
Fakat bir noktadan sonra, taşıyıcı elemanların boyutları arttırılmak zorunda kalınır ve bu da binanın toplam maliyetini arttırarak bahsedilen ilişkiyi değiştirir. Benzer şekilde, asansör işlerinin de dahil olduğu mekanik ve elektrik işlerinde kapasite bina yüksekliği ve kat taban alanına bağlı olan toplam inşaat alanı üzerinden belirlenmektedir. Toplam inşaat alanının belirli bir değerine kadar genellikle aynı kapasitedeki elektrik ve mekanik sistemleri kullanılır. Bu nedenle, toplam inşaat alanı artarken bu sistemlerin maliyetleri sabit kalır ve sonuç olarak büyük inşaat alanlarına sahip binalar için birim maliyeti düşürür. Bu ilişki, mekanik ve elektrik işlerin birim maliyetinin bina yüksekliği ile değişiminin incelendiği bir sonraki bölümde detaylı analizler ile açıklanacaktır. Son olarak, kule vinç

maliyetleri ile kat alanı arasında benzer bir ilişki bulunmaktadır; bu da birim maliyet-yükseklik-kat alanı ilişkisini benzer bir şekilde etkilemektedir.

4.3 Yükseklik ile iş grupları arasındaki maliyet ilişkisi

Bu bölümde, her bir iş grubunun birim maliyetinin yükseklik ile ilişkisi araştırılacak ve elde edilen sonuçlar yükseklik-toplam birim maliyet ilişkisinin ışığında tartışılacaktır. Çıkan sonuçlara göre, altyapı kaba inşaat işleri, üstyapı kaba inşaat işleri, mekanik işler, elektrik işleri ve asansör işlerine ait birim maliyetler ile bina yüksekliği arasında anlamlı ilişkiler bulunmaktadır.

Yükseklik ile altyapı kaba inşaat işleri birim maliyeti arasındaki ilişki Şekil 3'te verilmiştir. Buna göre birim maliyet, bina yüksekliği 110 m'ye (yaklaşık 37. kat) ulaşana dek azalıyor ve bu noktadan sonra, özellikle statik yüklerdeki artış dolayısıyla temel ve bodrum katlardaki taşıyıcı sistem boyutlarının büyümesi ile birlikte hafif bir artış göstermektedir. Temelin ve bodrum katlardaki taşıyıcı sistemin boyutlarının büyümesi ile birlikte demir ve beton miktarları artmakta, bu da maliyetleri arttırmaktadır. Diğer yandan, Blackman ve Picken'in [15] yaptıkları çalışmada altyapı kaba inşaat işleri birim maliyeti ile yükseklik arasındaki eğrinin ($r^2=0,221$) daha düşük bir yükseklikte, 60 m'den sonra, tekrar artış gösterdiği görülmektedir. Fakat, yaptıkları çalışmada yükseklik-toplam birim maliyet arasındaki eğrinin dönüm noktası da bu makalede verilen eğriye göre çok daha düşüktür (24 m'ye karşı 65 m). Ayrıca, Blackman ve Picken [15] çalışmalarında inceledikleri binaların tümünün altyapı kaba inşaat işlerine ait veriyi ulaşamadıkları için sadece 22 binanın verisini kullanarak bu analizleri gerçekleştirmişlerdir. Bu sonuçlar neticesinde, altyapı kaba inşaat işleri birim maliyeti ile yükseklik arasında toplam birim maliyetin yükseklik ile değişimine benzer bir eğri oluşmaktadır. Fakat toplam birim maliyet altyapı kaba inşaat işleri birim maliyetine göre çok daha düşük katlarda (yaklaşık yarısı) artmaya başlamaktadır.

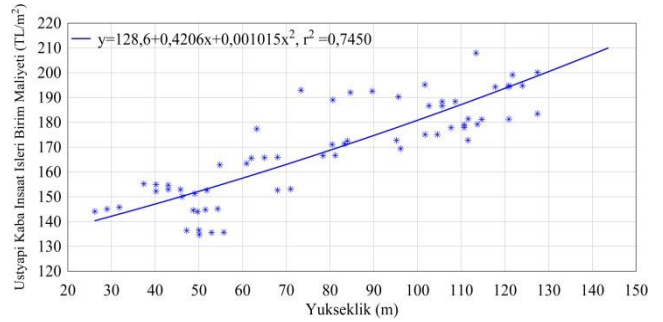


Şekil 3: Yükseklik-Altyapı kaba inşaat işleri birim maliyeti.

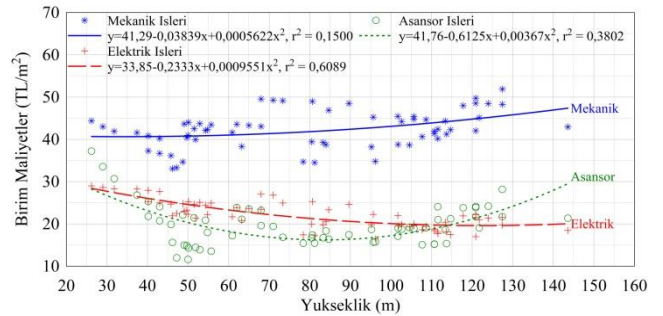
Yükseklik ile üstyapı kaba inşaat işleri birim maliyetinin değişimi Şekil 4'te gösterilmiştir ve eğri yükseklik toplam birim maliyet ilişkisinden tamamen farklıdır. Beklenildiği gibi, üstyapı kaba inşaat işlerine ait birim maliyet, bina yüksekliğinin artması ile birlikte büyüyen taşıyıcı sistem kesitlerinden dolayı artış göstermektedir. Blackman ve Picken'in [15] üstyapı kaba inşaat işleri ile birim maliyet arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmada ise farklı bir eğri gözlemlenmektedir ve birim maliyet 40 m'den sonra tekrar artmaktadır. Ancak, bu çalışmanın determinasyon katsayısı ($r^2=0,268$) çok daha düşüktür.

Şekil 5 Yükseklik ile mekanik, elektrik ve asansör işleri birim maliyetlerinin değişimini göstermektedir. Mekanik işler birim maliyetinde yüksekliğin 34 m'ye kadar artması ile hafif bir

azalma olmaktadır ve bu değerler üzerine çıkması ile birlikte artış göstermektedir. Mekanik işler maliyetinin minimum olduğu bina yüksekliği, yükseklik-toplam birim maliyet- eğrisine göre çok daha düşüktür ve yükseklik-mekanik işler birim maliyeti eğrisi genel olarak artan bir eğilim göstermektedir. Daha önce belirtildiği gibi, elektrik ve mekanik işlerinin kapasiteleri büyük oranda brüt inşaat alanına göre hesap edilmektedir. Bu nedenle belli bir yüksekliğe kadar bu sistemlerin toplam maliyetleri yükseklik artarken hemen hemen sabit kalmaktadır ve bu da yüksek katlı binalarda düşük birim maliyetlerin olmasına sebep olmaktadır. Mekanik işlerde belli bir yükseklikten sonra birim maliyet artışı bir sebebi yüksekliğin 51,50 m'yi geçmesi ile birlikte yangın yönetmeliğinden kaynaklanan zorunluluklardır [24]. Bunlara ilaveten, yüksekliğin artması ile birlikte özellikle su pompaları, tanklar gibi bazı mekanik elemanların kapasiteleri de artmaktadır ve bunlar da maliyet artışına sebebiyet vermektedir.



Şekil 4: Yükseklik-Üstyapı kaba inşaat işleri birim maliyeti.



Şekil 5: Yükseklik-Mekanik, elektrik ve asansör işleri birim maliyeti.

Mekanik işlerinin tersine, elektrik işleri birim maliyeti yüksekliğin artması ile birlikte 122 m'ye kadar hızlı bir şekilde azalmakta ve bu değerden sonra hafif bir artış göstermektedir. Mekanik işler ile elektrik işleri birim maliyetlerinin yükseklik ile değişimleri arasındaki temel fark, bazı elektrik iş kalemlerinin maliyetlerinin yüksekliğin değişiminden çok etkilenmemesidir. Örneğin, ana dağıtım panosu, bunların sigortaları ve altyapıları ile saft malzemelerinin maliyetleri yüksekliğin ve brüt inşaat alanının artması büyük ölçüde değişmemektedir. Bu da toplam maliyeti ihmal edilebilir oranlarda etkilemektedir. Fakat bu çalışmadan farklı olarak Blackman ve Picken [15] yükseklik ile elektrik işleri birim maliyeti arasındaki ilişkinin dış bükey bir eğri ile temsil edildiğini belirtmişlerdir. Ancak, bu fark her iki çalışmada yer alan maliyet kalemlerinin farklılık göstermesinden kaynaklanıyor olabilir: Blackman ve Picken [15] çalışmalarına elektrik işleri ile ilgili tüm maliyet kalemlerini dahil etmişlerdir, bu çalışmada ise elektrik bitirme işleri, kalitenin değişimi ile çok farklılık göstereceğinden dolayı maliyet hesaplarının dışında tutulmuştur.

Asansör işleri birim maliyetinin yükseklik ile değişimi toplam birim maliyetin yükseklik ile değişimi ile büyük benzerlik göstermektedir. Asansör işleri birim maliyeti, yüksekliğin 83 m olması ile birlikte minimum değerine ulaşmaktadır ve bu yükseklik değerinden sonra hızlıca artmaktadır. Birim maliyetteki bu artış yüksekliğin belirli bir değer üzerine çıkması ile asansör taşıyıcı halat veya rayları ile asansör makine grubunun kapasitesinin artmasından kaynaklanmaktadır. Asansör kapasiteleri ve buna bağlı olarak maliyetleri, binalardaki yolcu trafiği yoğunluğuna göre hesap edilmektedir. Bu sebeple, sadece bina yüksekliği değil aynı zamanda yapının büyüklüğü, bir başka deyişle, brüt inşaat alanı da asansör maliyetini doğrudan etkilemektedir. Son olarak, yükseklik ile dış ve iç duvarlar ile ince inşaat işleri birim maliyetleri arasında anlamlı korelasyonlar bulunamamıştır. Dolayısıyla bu iki iş grubunun birim maliyeti yükseklik ile değişmediği söylenebilir.

Her on katın birim maliyetlerindeki değişiklikleri izleyebilmek için, binalar kat sayılarına göre dört gruba ayrılmıştır ve her bir grup için eleman bazında iş grupları için ortalama birim maliyetler hesaplanmıştır (Şekil 6). Sonuçlara göre, öncelikle üstyapı kaba inşaat işlerinin ve bunu takip eden mekanik işlerinin birim maliyetleri on katta bir büyük oranda artmaktadır. Buna karşın altyapı kaba inşaat işleri ile elektrik işlerinin birim maliyetleri on katta bir azalmaktadır. Altyapı kaba inşaat işleri ile elektrik işleri birim maliyetleri her on katta bir azalmasına rağmen, altyapı kaba inşaat işlerinin birim maliyeti detaylı analizlerde de görüleceği gibi 41. kattan sonra hafifçe tekrar artmaktadır (Şekil 3). Asansör işlerinin birim maliyeti özellikle 20 ile 29. katlar arasında azalmakta ve daha sonra artmaktadır. Yukarıda belirtildiği gibi, bina yüksekliği ile dış ve iç duvar işleri ile ince inşaat işlerinin birim maliyetleri arasında kayda değer bir korelasyon bulunamamıştır.

4.4 Yükseklik ile iş kalemleri arasındaki maliyet ilişkisi

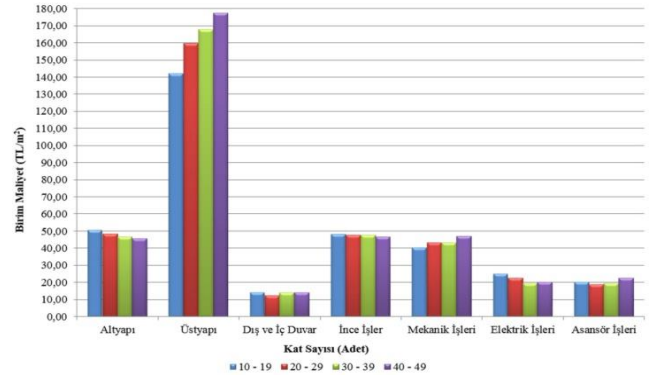
Kaba inşaat işleri içerisindeki bazı iş kalemlerine ait birim maliyetler yüksekliğin artması ile birlikte farklı değişimler göstermektedirler (Şekil 7). Demir ve beton işlerinin birim maliyetleri, kaba inşaat işleri ile benzerlik göstererek yüksekliğin artması ile birlikte artmaktadır. Bunun nedeni olarak da yüksekliğin artması ile artan taşıyıcı sistem kesitleri gösterilebilir. Tüm bunlara ek olarak yükseklik ile kalıp işleri birim maliyeti arasında çok güçlü bir ilişki bulunamamış olsa da, yükseklik arttıkça kalıp işleri birim maliyeti azalmaktadır.

4.5 Yükseklik ile kaba inşaat işleri maliyetlerinin toplam maliyete oranları arasındaki ilişki

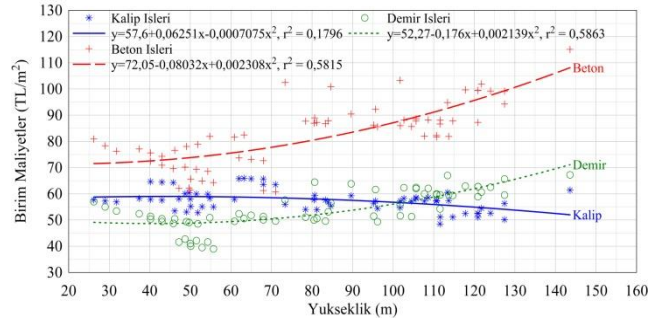
Yükseklik ile altyapı ve üstyapı kaba inşaat işlerine ait maliyetlerin toplam maliyete oranları arasındaki ilişki Şekil 8'de verilmiştir. Buna göre Şekil 3'teki analize benzer olarak yüksekliğin 127 m'ye kadar artması ile altyapı kaba inşaat işlerinin toplam maliyete oranı önce azalmakta daha sonra hafifçe tekrar artmaktadır. Bu artışın nedeni olarak bina yükseldikçe temel ve bodrum katların taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlarının artması gösterilebilir. Üstyapı kaba inşaat işlerinin toplam maliyete oranı ise Şekil 4'teki analizden farklı olarak 128 m'ye kadar önce artmakta daha sonra azalmaktadır. Bu azalma, bina belli bir yüksekliğe ulaştıktan sonra diğer maliyetlerin de artmaya başlamasından dolayı üstyapı kaba inşaat işlerinin toplam maliyet içerisindeki oranının azalmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 9'da yükseklik ile demir, kalıp ve beton işlerine ait maliyetlerin toplam maliyete oranlarının değişimleri verilmiştir. Buna göre demir, kalıp ve beton işlerinin

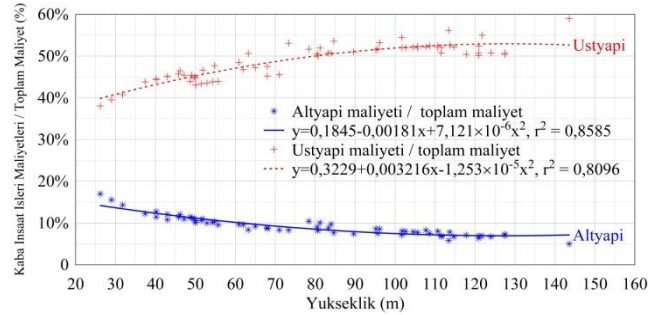
maliyetlerinin toplam maliyete oranları ile yükseklik arasındaki ilişki bu kalemlere ait Şekil 7'de verilen birim maliyetlerin yükseklik ile ilişkilerine benzerdir. Bina yüksekliği arttıkça demir ve beton işlerinin hem birim maliyetleri artmakta hem de toplam maliyet içerisindeki oranları artmaktadır. Tam tersi olarak, kalıp işlerinin birim maliyeti yükseklik ile azalmakta aynı zamanda toplam maliyet içerisindeki oranı da azalmaktadır.



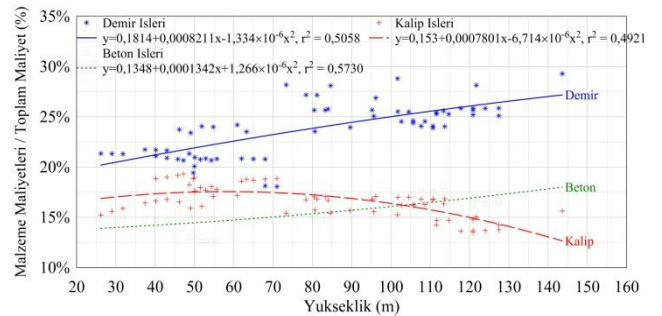
Şekil 6: Kat sayısı-İş grupları birim maliyeti.



Şekil 7: Yükseklik-Demir, kalıp ve beton işleri birim maliyeti.



Şekil 8: Yükseklik-Altyapı ve üstyapı kaba inşaat işleri maliyetlerinin toplam maliyete oranı.



Şekil 9: Yükseklik-Demir, kalıp ve beton işleri maliyetlerinin toplam maliyete oranı.

5 Sonuçlar

Bu çalışma ile yüksek yapılarda birim maliyet ile bina yüksekliğinin ilişkisi incelenmiş ve aynı zamanda kat taban alanının bu ilişkiyi nasıl etkilediği tanımlanmıştır. Çalışmanın katkılarında biri, birim maliyet ile bina yükseklik arasındaki ilişkinin İstanbul'da tünel kalıp sistemi ile inşa edilmiş binalar için elde edilmiş olmasıdır. Çalışma sonucunda bulunan yükseklik ile birim maliyet arasındaki ilişki eğrisi, daha önce yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermekte [10]-[12],[14],[15], ancak eğrinin profili farklılık göstermektedir. Bulunan eğrinin dönüm noktası yaklaşık 65 m'de gözlemlenirken önceki benzer çalışmalarda dönüm noktası Hong Kong'ta 100 m'de, [14] Şangay'da [15] ise 24 m'de ortaya çıkmıştır. Bu farklılıkların nedenleri olarak çalışmada kullanılan bina özelliklerinin farklılık göstermesi, çalışmaların farklı şehirlerde gerçekleştirilmesi dolayısıyla farklı yönetmelik ve şartnamelere tabi olması, maliyet çalışmalarına dahil edilen imalat kalemlerinin her çalışma için değişmesi ve bu imalat kalemlerinin maliyetlerindeki farklılıklar gösterilebilir. Örneğin statik (ör. deprem bölgesi) ve mekanik tasarımlarla ilgili yasal düzenlemeler ve inşaat tekniklerindeki değişiklikler bu farklara neden olabilmektedir.

Çalışmanın bir diğer katkısı, bina kat alanının birim maliyet ile yükseklik arasındaki ilişkiye etkisinin belirlenmesidir. Küçük ve büyük kat alanına sahip binaların yükseklik birim maliyet ilişkisi yine U-şeklinindedir. Fakat orta büyüklükte kat alanına sahip binalarda birim maliyet yüksekliğinin artması ile birlikte artmaktadır. Bununla birlikte, orta büyüklükte kat alanının sahip binaların birim maliyetleri, genellikle aynı yükseklikte fakat daha büyük kat alanına sahip binalardan daha düşüktür. Binaların yükseklik-birim maliyet-kat alanı arasında gözlemlenen ilişki tasarım sürecinde kullanılan düzenleme ve şartnameler ile büyük oranda belirlenmektedir.

Çalışmanın son katkısı ise, iş grupları ve iş kalemlerinin yükseklik ile değişiminin verilmesidir. Yükseklik ile toplam birim maliyet arasındaki ilişkiye benzer olarak, altyapı kaba inşaat işleri, mekanik işler, elektrik işleri ve asansör işleri gibi iş gruplarının yükseklik ile birim maliyet arasındaki ilişkileri U şeklinde eğriler ile tanımlanmaktadır. Ancak, altyapı kaba inşaat işleri, elektrik işleri ve asansör işlerine ait yükseklik-birim maliyet eğrisinin dönüm noktası yükseklik-toplam birim maliyet eğrisinin dönüm noktasına göre daha yüksek katlarda gözlemlenirken (sırasıyla 110 m, 122 m ve 83 m), mekanik işlere ait birim maliyet daha düşük yükseklikte (34 m) artmaya başlamaktadır ve daha çok artış eğilimi göstermektedir. Yükseklik-birim maliyet eğrisinin farklı bir trende sahip olduğu tek iş grubu üstyapı kaba inşaat işleridir ve yüksekliğinin artması ile birlikte birim maliyeti artmaktadır.

Kaba inşaat işlerine ait iş grupları ve iş kalemlerinin maliyetlerinin toplam maliyete oranları ile yükseklik arasındaki ilişki incelendiğinde, üstyapı kaba inşaat işleri dışında yükseklik ile ilgili birim maliyetlerin değişiminde benzer sonuçlar bulunmuştur. Üstyapı kaba inşaat işlerinin toplam maliyet içerisindeki oranı ile yüksekliğinin değişimi ise birim maliyet ile yükseklik arasındaki değişimden farklı olarak 128 m'ye kadar önce artmakta sonra tekrar azalmaktadır.

Bu çalışmanın sonuçları, akademisyenler ve inşaat sektörü çalışanları tarafından özellikle İstanbul'da yapılacak binalarda bina yüksekliği ile birim maliyet arasındaki ilişkinin daha iyi değerlendirilmesi için kullanılabilir. Elde edilen sonuçlar, tasarım sırasında yükseklik ve kat taban alanının -özellikle bina yükseklik sınırlamasının olmadığı yerlerde- maliyeti minimize

edecek şekilde seçilmesine yardımcı olabilir. Gelecekte benzer çalışmalar özellikle ofis binaları ve hastaneler gibi farklı tip binalar ile farklı bölgelerdeki konut binaları için yapılabilir. Son olarak, çelik yapılar incelenerek çıkan sonuçlar betonarme binalarda elde edilen veriler ile mukayese edilebilir.

Teşekkür:

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birim (BAP Proje No: 38176) tarafından desteklenmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

6 Kaynaklar

- [1] Ferry DJ. *Cost Planning of Buildings*. 2nd ed. United Kingdom, London, Crosby Lockwood & Son Ltd, 1970.
- [2] Tregenza P. "Association between building height and cost". *Architects Journal Information Library*, 1031-1032, 1972.
- [3] Bathurst PE, Butler DA. *Building Cost Control Techniques and Economics*. United Kingdom, London, William Heinemann Ltd, 1980.
- [4] Ferry DJ, Brandon PS. *Cost Planning of Buildings*. 5th ed. United Kingdom, London, Collins Professional and Technical Books, 1984.
- [5] Seeley IH. *Building Economics*. 4th ed. New York, USA, Palgrave, 1996.
- [6] Tan W. "Construction cost and building height". *Construction Management and Economics*, 17, 129-132, 1999.
- [7] Ashworth A. *Cost Studies of Buildings*. 5th ed. New York, USA, Pearson Education Ltd, 2010.
- [8] Kirkham R. *Ferry and Brandon's Cost Planning of Buildings*, 8th ed. Oxford, United Kingdom, Blackwell Publishing, 2007.
- [9] Chau KW, Wong SK, Yau Y, Yeung AKC. "Determining optimal building height". *Urban Studies*, 44(3), 591-607, 2007.
- [10] Steyert RD. *The Economics of High-Rise Apartment Building of Alternate Design Configuration*, New York, USA, Construction Research Council, 1972.
- [11] Flanagan R, Norman G. *The Relationship Between Construction Price and Height*, Chartered Surveyor B and QS Quarterly, Summer: 6971, 1978.
- [12] Newton S. *Cost Modeling: A Tentative Specification, Building Cost Techniques: New Directions*, P. S. Brandon, E & FN Son, London, 1982.
- [13] Çıracı M. *Konutlarda Maliyet Tahmini İçin Bir Model*. Ankara, Türkiye, TC. Başbakanlık Toplu Konut İdaresi Başkanlığı, 1996.
- [14] Picken DH, Ilozor BD. "Height and construction costs of buildings in Hong Kong". *Construction Management and Economics*, 21, 107-111, 2003.
- [15] Blackman IQ, Picken DH. "Height and construction costs of residential high-rise buildings in Shanghai". *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(11), 1169-1180, 2010.
- [16] Emporis. "High-rise Building Standards (ESN 18727)". <https://www.emporis.com/building/standard/3/high-rise-building>.(01.07.2015).

- [17] Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH). "CTBUH Height Criteria". <http://www.ctbuh.org/TallBuildings/HeightStatistics/Criteria/tabid/446/language/en-US/Default.aspx> (01.07.2015).
- [18] Warszawski A. "Analysis of costs and benefits of tall buildings". *Journal of Construction Engineering and Management*, 129, 4(421), 2003.
- [19] De Jong P, Wamelink H. "Building cost and eco-cost aspects of tall buildings" *CTBUH 8th World Congress*, Dubai, 3-5 March 2008.
- [20] Lowe DJ, Emsley MW, Harding A. "Predicting construction cost using multiple regression techniques". *Journal of Construction Engineering and Management*, 132, 7(750), 2006.
- [21] Bennett J. *Cost Planning and Computers*, Building cost Techniques: New directions, P. S. Brandon, E & FN Son, London, 1982.
- [22] İstanbul Büyükşehir Belediyesi. "İstanbul İmar Yönetmeliği-2007". http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/kurumsal/Birimler/ImarMd/Documents/imar_yonnetmelik.pdf (01.07.2015).
- [23] Freund JE, Walpole RE. *Mathematical Statistics*, Englewood Cliffs. New Jersey, USA, Prentice-Hall, 1987.
- [24] TC. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik-2007". <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.aspx?MevzuatKod=3.5.200712937&MevzuatTliski=0&sourceXmlSearch=B%C4%B0NALARIN%20YANGINDAN%20KORUNMASI%20HAKKINDA%20Y%C3%96NETMEL%C4%B0K> (01.07.2015).