

Doğal Çevre Verilerinin Yüksek Yapılar Özelinde İrdelenmesi: Yaşayan Harika Burj Khalifa

Hatice BAL^{*1}, Hale DEMİR KAYAN²

^{1,2}Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

(Alınış / Received: 03.04.2024, Kabul / Accepted: 06.11.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.12.20)

Anahtar Kelimeler

Dubai,
Burj Khalifa,
Doğal Çevre Verileri,
İnşaat Teknikleri

Özet: Mimari tasarım sürecini biçimlendiren doğal çevre verileri (topografya, iklim, güneş ve rüzgâr vb. parametreler), tasarım kararları alınırken en zorlayıcı faktörlerdir. Bu faktörleri işbirlikçi bir çabayla gerçekleştiren Burj Khalifa, benzersiz bir örnek olmuştur. Yüksekliği 828 metre olan yapı çöl iklimi, kum fırtınaları, güçlü rüzgârlar, yakıcı güneş ve aşındırıcı zayıf bir zemin gibi zorluklara karşı yeni teknikler geliştirmiş ve güncel teknolojileri kullanmıştır. Çalışmada literatür taraması yapılarak, Dubai kentinin güncel ve istatistiksel doğal çevre verileri kullanılmıştır. Bu verilerle inşaat sürecindeki zorluklar karşısında alınan tasarım kararları irdelenmiştir. Bu çalışma ile kulede kullanılan yapı, yöntem ve tekniklerin inşa edilecek yeni yapılar ilham kaynağı olması hedeflenmektedir. Böyle devasa bir binanın yan yatmasını engellemek için "Hymenocallis" adlı çiçeğin formu kullanılarak kulede "burun" ve "kuyruk" kısımları rüzgârı kontrol etmiştir. Zayıf bir zemine karşı temelde yaşanacak sorunlara karşı su yalıtım sistemleri, artırılmış beton kaplama, titanyum ağ, katodik koruma sistemi ve kalıp astarı uygulanmıştır. Güneşin sıcaklığını kontrol altına almak için ise el yapımı özel cam paneller üretilmiştir. Birçok zorluğa karşı çölde yükselmeyi başaran bu ikonik yapı kentin ticari merkezi haline gelmiş ve "En"leri başararak, ezberleri bozmuştur.

Examination of Natural Environmental Data Specific to High-Rise Buildings: Living Wonder Burj Khalifa

Keywords

Dubai,
Burj Khalifa,
Natural Environment Data,
Construction Techniques

Abstract: Natural environmental data (parameters such as topography, climate, sun and wind, etc.) that shape the architectural design process are the most compelling factors when making design decisions. By realizing these factors through a collaborative effort, the Burj Khalifa has been a unique example. The building, which is 828 meters high, has developed new techniques and used up-to-date technologies against difficulties such as desert climate, sandstorms, strong winds, burning sun and a weak abrasive ground. In the study, literature review was conducted and current and statistical natural environment data of Dubai city were used. With these data, the design decisions taken in the face of difficulties during the construction process were examined. With this study, it is aimed that the construction, methods and techniques used in the tower will be a source of inspiration for new structures to be built. In order to prevent such a huge building from tilting sideways, the "nose" and "tail" parts of the tower were used to control the wind by using the form of a flower called "Hymenocallis". Waterproofing systems, increased concrete coating, titanium mesh, cathodic protection system and mold lining were applied to address the problems that would arise in the foundation against a weak ground. Special handmade glass panels were produced to control the heat of the sun. This iconic structure, which managed to rise in the desert against many difficulties, became the commercial center of the city and broke the routine by achieving the "Best".

*İlgili yazar: hatice.ba4265@gmail.com

1. Giriş

İnsanoğlu dinsel ya da simgesel güdülenmelerle hep daha yüksek yapılar inşa etme eğiliminde olmuştur. Tarihi süreçte uygarlıklara bakıldığında; Mısır piramitler, Mezopotamya zigguratlar, Çin pagodalar, Müslümanlar ise minareler ile göğe uzanmaya çalışmışlardır. Yükselme isteği her zaman dinsel olmamıştır. Örneğin; Keops piramidi, 146 metrelik yüksekliği ve etkileyici mimarisiyle Firavun'un gücünü göstermiştir [1]. Yüksek yapıların şehirler için sakıncaları vardır. Mimarlar ve mühendisler tarih boyunca gölge, rüzgâr, trafik yoğunluğu ve pahalı yapımlar gibi sorunlara doğru çözümler üretmek zorunda kalmıştır [2].

"Nisshoken (güneş ışığı hakkı)" Japoncada yapımlar alanında çokça kullanılan bir kelimedir. Yüksek bina yapan kişiler, güneş ışığını kesmesiyle komşularının evine gölge düşürmektedir. Bu gölgeden dolayı insanlar evin ısıtılması için kışın daha çok yakıt tüketmesine sebep olduğundan bina sahiplerine saat başına belli bir bedel ödemek zorunda bırakılmaktadır. Bu bedel inşaatın başlangıcında tek defada ödenmekte bazen bedelin yüksekliği caydırıcılık boyutlarına ulaşabilmektedir [3]. Arazinin az ve nüfusun çok olduğu ülkelerde doğal çevre verilerinin önemi bu uygulamada olduğu gibi anlaşılmaktadır. Bu da modern toplumlarda başarılı projelerin, büyümenin temellerinden biri olduğunu göstermektedir. Ancak, günümüzde proje yönetimi kritik bir beceri durumuna gelmiştir.

Proje yönetimini en iyi şekilde sürdürmüş yapılardan biri de Burj Khalifa'dır. Birleşik Arap Emirlikleri'nin başkenti olan Dubai'de bulunan Burj Khalifa, insanoğlunun şimdiye kadar inşa ettiği, açık ara farkla, en yüksek binasıdır. Hem "Dikey Şehir" hem de "Yaşayan Harika" olarak tanımlanmaktadır [4]. Burj Khalifa'nın hedefi yalnızca dünyanın en yüksek binası olmak değil; aynı zamanda dünyanın en yüksek arzularını da somutlaştırmaktır [5].

Burj Khalifa'nın inşaat sürecinde mevcut teknolojiler kullanılarak; yeni inşaat yöntemleri geliştirilmiş ve dünyanın [6] "En" leri başarılmıştır. En yüksek bina, en çok katlı bina, en hızlı asansör, en yüksek gece kulübü, en yüksek restoran, en yüksek cami [7] ünvanlarına sahip yapı birçok rekora imza atılmıştır. Bu dikey şehir, 828 metrenin üzerinde 160 kattan oluşmaktadır. Karma bir yapı olan Burj Khalifa'nın inşaatı altı yıl sürmüştür. Hükümet bu yapıyı finans, ticaret ve turizm açısından şehrin merkezi haline getirmiştir [8].

Çalışmada literatür taraması yapılarak, Dubai kentindeki doğal çevre verileri ile inşaat sürecindeki

zorluklar karşısında alınan tasarım kararları irdelenmiştir. Bu çalışma ile kulede kullanılan yapımlar, yöntem ve tekniklerin inşa edilecek yeni yapılara ilham kaynağı olması hedeflenmektedir. Dünyanın en yüksek binası olarak tanınan Burj Khalifa için, bu çalışmada doğal çevre verileri kapsamında karşılaşılan sorunlar ve bu sorunlar için üretilen çözümler üzerinde durulmuş; yapı, yazılı ve basılı kaynaklardan faydalanılarak mimari tasarım sürecinde doğal çevre verileri ve bu verilerin getirdiği zorluklara karşı alınan mühendislik ve tasarım çözümlerini detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

1.1. Literatür taraması

Zamanla teknolojinin ilerlemesiyle gelişen ve değişen malzemeler (çelik, betonarme), asansör gibi araçlar, yeni yapı elemanları ve yapımlar tekniklerinin kullanımı vb. gelişmeler 19. yüzyıldan başlayarak daha yüksek binaların yapımlarına olanak vermiştir [1]. CTBUH¹ yüksekliği 50 metre ve üstü olan ya da 14 ve üstü kata sahip olan binaların "yüksek bina", yüksekliği 300 metreden daha fazla olan binaları "süper yüksek bina" ve yüksekliği 600 metreden daha fazla olan binaları ise "mega yüksek bina" olarak sınıflandırmıştır [9]. Yüksek binalar, genel olarak zemine gömülmüş bodrum katının üzerinde yer alan az katlı podyum katı ve onun üzerinde yükselmekte olan kule bölümünden oluşmaktadır [10].

Dünyada yüksek katlı binalara Şikago'da bulunan Monadnock Block ile kapı aralanmıştır [11]. Çelik gibi güçlü bir malzemenin inşaat sürecine girmesiyle ilk olarak Home Insurance ve ardından Tacoma Building binalarının yükselmeye başladığı görülmektedir [12]. Gökdelenlerin tarihinde ise Empire State binasının ayrı bir yeri vardır. Bu bina ABD'ye büyük bir prestij kazandırmıştır. Empire State'in getirdiği gibi bir prestij kazanmak isteyen diğer ülkelerde yükselme yarışı başlamıştır [13].

Binalar yükseldikçe çevresel koşullardan etkileme oranı da bir o kadar artmıştır. Bu sebeple sadece yükselmek yetmemiş, sürdürülebilir olma, çevreye uyum sağlama, binayı koruma gibi önemli parametreler inşaat sürecine dâhil olmuştur. Örneğin; Gordon Bunshaft'ın Cidde'de yaptığı National Commercial Bank'ın inşasında, o zamanların modası olan dış cephede cam giydirmeye yerine iklime uygun taş kaplı masif duvarlar kullanmıştır [15]. Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi'nin tasarımında ise rüzgâr enerjisini kullanmak üzere yelken formunda iki simetrik kule üç rüzgâr türbiniyle bağlanmıştır [16].

Petronas Twin Tower'ın tasarımında 41. ve 42. katlar arasındaki iki kuleyi birbirine bağlayan 58 metrelik çelik köprü acil durumlarda yangın çıkışı olarak

¹ CTBUH: "Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Yüksek Binalar ve Kentsel Habitat Konseyi (CTBUH)", şehirlerin geleceğiyle üzerinde çalışan bir kuruluştur [14].

kullanılması amacıyla yapıldığı ve her iki kuleye de tam olarak bağlı olmadığı için yoğun rüzgâr ve deprem durumlarında ayrı hareket edebilmektedir [17].

Hong Kong'da bulunan International Commerce Centre'in tasarımında nüfus fazla ve yerleşim alanı oldukça dar olduğundan; şehrin yatay konumunda düzenlenen toplu taşıma araçları binanın içinden geçirilmektedir. Böylece yatay ve dikey mimari ihtiyaca göre tasarlanmıştır [18]. Shanghai World Financial Center tasarımında, sağlamlık için her seviyede küçük çevre kolonları ve çevre kemer kiriş elemanları yapılmıştır. Öyle ki bu elemanlar çökme olmadan binadan sökülebilmektedir [19].

Taipei 101 binası bir kıyı şeridinde inşa edildiği için zayıf zemin koşulları, deprem ve tayfun rüzgârlarına karşı süper sütunlar ve çelik plakalar gibi elemanların kullanıldığı görülmektedir [20]. New York'ta Nordstrom Tower binasındaki gün ışığı hasarını yapan iklim tabanlı gün ışığı modellemesi ile yapının tasarımının geliştirilmesinde öngörülen sorunlar için önlemler alınmasında kullanılmıştır [21]. One World Trade Center binası yükseldikçe köşelerle birleşen aerodinamik bir forma dönüşerek rüzgâr yüklerini yönlendirmektedir [22].

Mekke'deki Abraj Al Bait kulesindeki, konut ve ticari birimler her yıl büyük miktarda elektrik enerjisi tüketmektedir. Bu nedenle, saat kulesinin küçük (laboratuvar boyutunda) bir modeli üretilip rüzgâr ve güneş enerjisi cihazlarının örnekleriyle donatılmıştır. Mevcut hesaplamalara dayanarak, ekipman kurulumunun oldukça düşük maliyetiyle elektrik faturasında büyük tasarruf sağlanabildiği gösterilmiştir [23].

Shanghai Tower'ın inşaatında da Şanghay'da sıkça görülen tayfun kuvvetindeki rüzgârlara dayanmasını sağlamak için tasarım ekibi, kulenin asimetrik formu, daralan profili ve yuvarlatılmış köşelerinden oluşan üç temel strateji ile binayı tasarlamıştır [24].

Dünya'nın ikon yapılarından biri olan Burj Khalifa, ulusal ve uluslararası dergiler, makaleler, haberler, posterler ve sunumlar gibi birçok çalışmaya konu olmuştur.

William F. Baker ve diğerlerinin, 2009 yılında yayımladıkları, "Dünyanın En Yüksek Yapısını Tasarlamının Zorlukları: Burj Dubai Kulesi" başlıklı makalede; kulenin tasarım sürecini ve felsefesini, tasarım ekibini, yanal rüzgârlar ve yerçekimi yükleriyle etkileşimini, inşaatın nasıl yapıldığını ve sorunların başarıyla aşılmasında kullanılan teknolojiyi analizlerle anlatmışlardır [5].

Subramanian, 2010 yılında, "Burj Khalifa, Dünyanın En Uzun Yapısı" başlıklı makalesinde; yapının tasarım ile ilgili sayısal ifadeleri, planları, strüktürel sistemi, rüzgâr yüküne karşı kullanılan mühendislik kararları,

temel, cephe ve mekanik detayları ve bazı özel teknolojik ve teknik sistemleri aktarılmıştır [25].

Zeyna Sanjania, 2012 yılında, "Burj Khalifa: Bir İkon" başlıklı tez çalışmasında; Burj Khalifa'nın mimari özelliklerini, kişisel deneyimlerini ve bu deneyimleriyle ilgili çıkarımlarını anlatmıştır [26].

Bill Baker ve diğerleri, 2015 yılında, "Dünyanın En Yüksek Binalarının Tasarımı ve İnşası: Burj Khalifa, Dubai" başlıklı makalede; tasarım sürecini, mimari çözümlerini ve formunu, rüzgâr yüküne karşı kullanılan mühendisliği, temel detayını, inşaat yöntemlerini, beton teknolojisini ve tasarım süreci boyunca edinilen yeni tecrübelerini anlatmıştır [6].

Mohammed Bin Rashid, 2016 yılında, "Zirvede, Burj Khalifa" başlıklı bilgi broşüründe; yapının iç ve dış tasarımını, strüktürel sistemini, mekanik sistemini, kırdığı dünya rekorlarını, tasarım kararları ile ilgili sayısal ifadeleri kullanarak birçok başlık açmış ve bu bilgileri özet niteliğinde anlatmıştır [4].

Skidmore, Owings & Merrill LLP (SOM), "Burj Khalifa Dünyanın En Yüksek Binasının Mühendisliği" başlıklı sunum çalışmasında; yapının neredeyse her açıdan görselleri bulunmaktadır. İnşaat süreci aşama aşama görsellerle desteklenerek anlatılmıştır. Mühendisliği ile ilgili neredeyse her detayın yer aldığı bu sunum 233 sayfa ile büyük bir arşivdir [27].

Ekoyapı Dergisinde 2017 yılında yayımlanan, "Burj Khalifa: Çöl Çiçeğinden Gökyüzüne Yükselmek" başlıklı çalışmada yapının genel özelliklerinden üç kısa paragrafta özet niteliğinde bahsedilmiştir [28].

Abraham, 2019 yılında, "Çağdaş Dünyada Etkin Proje Yönetimi Gelişmeler: Örnek Olay İncelemesi Burj Khalifa Kulesi" başlıklı makalede; yapının tasarım stratejisini, inşaat kronolojisini ve proje yönetim aşamalarını anlatmıştır [8].

Shubham Jain'in, 2019 yılında, "Örnek Olay İncelemesi Burj Khalifa, Dubai" başlıklı sunum çalışmasında ise mimari açıdan inceleme ağır basmaktadır. Yoğun bir şekilde kat planları, genel özellikleri, detaylı teknik özellikleri, strüktürel sistemi, teknolojik özellikleri, kulenin pozitif ve negatif yönleri anlatmıştır [29].

Makalede, Dubai'nin doğal çevre verilerinden yola çıkarak Burj Khalifa'nın tasarımında alınan kararlar, yukarıdaki çalışmaların perspektifinden faydalanılarak hazırlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Dünya'nın ikonik yapısından biri olan Burj Khalifa aslında Burj Dubai olarak adlandırılmışken [30]; 2010 yılında açılış esnasında projeyi bitirmek için fon sağlayan Birleşik Arap Emirlikleri Başkanı Khalifa bin

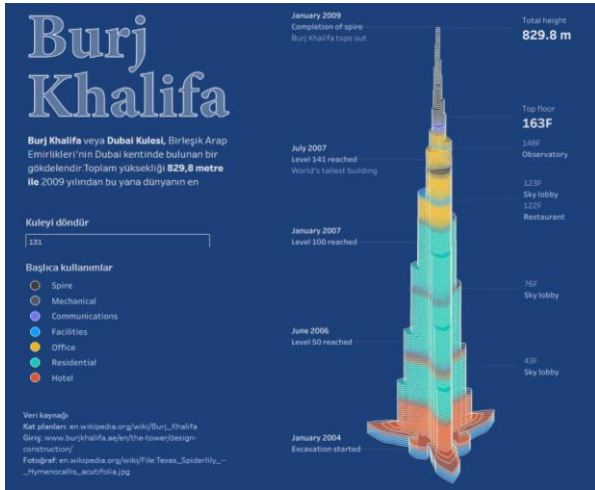
Zayed Al Nahyan'ın onuruna Burj Khalifa olarak yeniden adlandırıldığı duyurulmuştur [31].

Birleşik Arap Emirlikleri'nde Dubai'nin tam merkezinde yer alan "Şekil 1." Burj Khalifa, şimdiye kadar inşa edilmiş en yüksek gökdelendir. Öyle ki Ramazan orucunu açmak için 150. katın üzerinde yaşayanların üç dakika, 80. katın üzerinde yaşayanların iki dakika beklemesi gerekmektedir [32]. Bu devasa kule dünyanın en önemli turistik yerlerinden biri olarak kabul edilmektedir [8].



Şekil 1. Burj Khalifa [27].

Yüzlerce mühendis ve 100 farklı uyruktan olan yaklaşık 12 bin işçi ile 2004 yılında inşaatına başlanıp 22 milyon saat mesai yapılarak 2010 yılında tamamlanmıştır [33]. Burj Khalifa; otel, rezidans, restoran, gözlem güverteleri, fitness, eğlence kulübü, cami ve 37 katlı şirket ofisleriyle 160 katlı "Şekil 2." çok amaçlı bir kuledir [8].

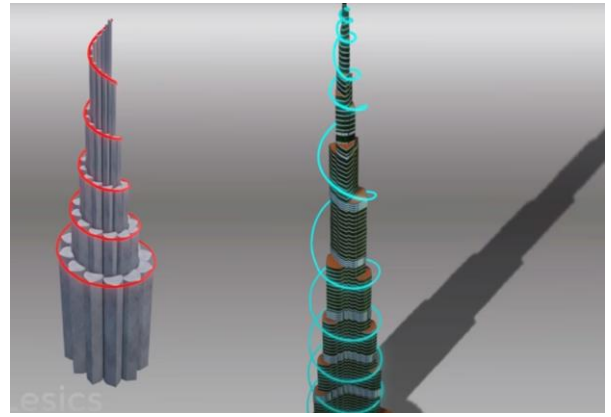


Şekil 2. Burj Khalifa'nın inşaat kronolojisi [34].

Kulenin ana tasarım konseptine, üç eksenli sarmal geometrisiyle organik bir forma sahip olan, yerli bir çöl çiçeği ilham vermiştir "Şekil 3.". Kule merkezi bir çekirdeğe bağlanan üç ayrı kanadın oluşturduğu "Y" formu bir plana sahiptir. Kule yükseldikçe, her kattaki bir kanat, spiral "Şekil 4." bir şekilde geriye çekilerek olumsuz koşulları engellemeye yönelik tasarlanmıştır [6].

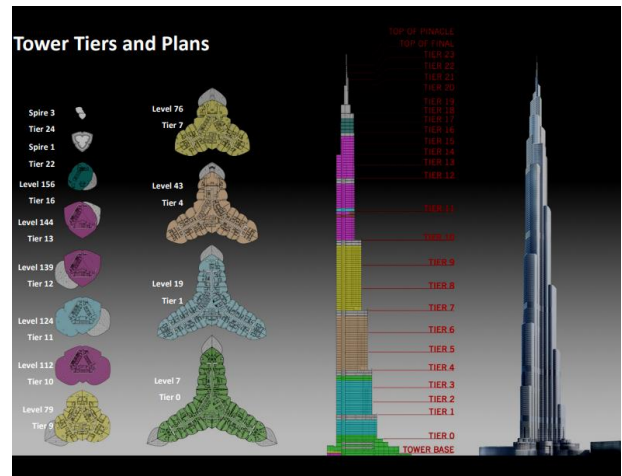


Şekil 3. Tasarım Konsepti [27].



Şekil 4.: Spiralleşen kulenin simülasyonu [35].

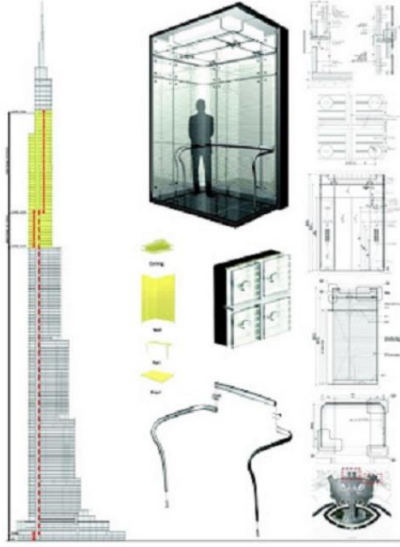
Plan düzleminin merkezinde bulunan farklı yüksekliklerdeki hacimler, çekirdeğin etrafında yükselerek yapının formu oluşturulmuştur. Yapı, spiral şeklinde yukarı doğru yükseldikçe belirli kotlarda kütle parçaları azalmaktadır "Şekil 5.". Doruk noktasına gelindiğinde ise merkezindeki çekirdek sivri bir kule ucuna dönüşmektedir. Her bir kütsel eksilme ile binanın genişliği de azalmaktadır [36].



Şekil 5. Kulenin katman ve planları [27].

Gökdelen, 160. kata kadar 2.909 basamağa sahiptir [37]. Dünya'nın en hızlısı ünvanını alan; maksimum

5.500 kiloyu taşıyabilen, 46 kişilik 57 asansöre sahiptir. Böylece kulenin saniyede 10 metre yükselen asansör sistemleriyle sadece 50 saniyede 120'nci kata çıkılmaktadır "Şekil 6." [33].



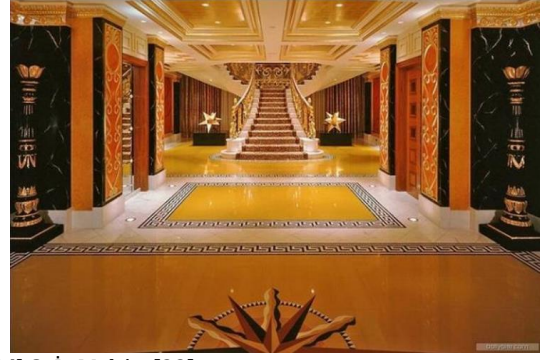
Şekil 6. Asansör sistemi [33].

Gökdelenin dış cephesi 26 bin özel üretilmiş cam panelden oluşmakta ve camların temizliği 3 veya 4 ay sürmektedir. Camın dış yüzeyi güneş ışığını bir ayna gibi yansıtırken "Şekil 7." iç kısmına yerleştirilmiş gümüş plakalar, binanın aşırı ısınmasını önlemek için, kızılötesi ışınları engelleyen bir katman oluşturmaktadır [33].



Şekil 7. Dış yüzeydeki yansıtıcı camlar [27].

Burj Khalifa'nın iç mimarlığını Nada Andric yapmıştır. Andric, ilhamını Dubai'nin yerel kültürünü "Şekil 8." kriter alarak tasarlamış olduğu iç mekânlarda; Venedik siva duvarlar², gümüş traverten döşemeler, paslanmaz çelik, cam, doğal taşlar ve el dokuması kilimler kullanmıştır [33].



Şekil 8. İç Mekân [33].

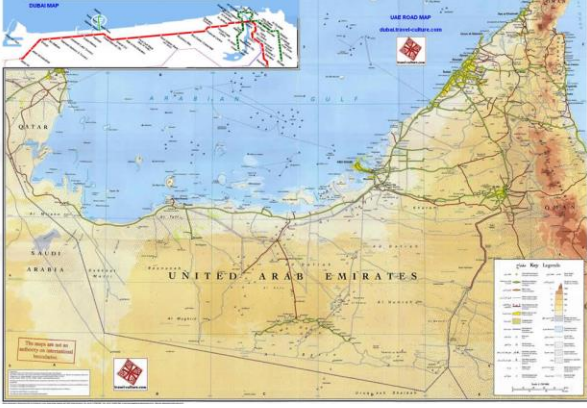
Burj Khalifa binasının tasarım kararları Dubai kentinin 2023 yılı doğal çevre verileri olan topografya, iklim, güneş ve rüzgâr parametreleri üzerinden ele alınmıştır. Burj Khalifa için tasarımı ve uygulamayı etkileyen bu kısıt ve sorunlara karşı üretilen çözümlerin detaylı olarak aktarılması için tasarımcılar tarafından hazırlanmış olan görsel simülasyon grafikleri aktarılmıştır. Böylece çevresel verilerin bina ile olan etkileşiminin okunması kolaylaştırılarak algılanması sağlanmıştır. Üretilen çözümlerin üzerinde durulmuştur. Bununla birlikte gökdelenlerin inşa sürecinden Burj Khalifa'ya doğru tasarımı etkileyen doğal çevre faktörlerinin anlaşılabilmesi için yerli ve yabancı literatür taranmıştır. Burj Khalifa özelinde ise yapı ile ilgili yapılmış yeterli çalışma olmadığından tasarım sürecini aktaran kaynaklardan faydalanılmıştır. Yapı, yazılı, basılı ve dijital yerli/yabancı kaynaklardan faydalanılarak mimari tasarım sürecinde doğal çevre verileri ve bu verilerin getirdiği zorluklara karşı alınan mühendislik ve tasarım çözümlerini detaylı bir şekilde ele alınması kapsamında değerlendirilmiştir. Gelecekte yapılacak bu tür yapılarda doğal çevre verileri dikkate alınarak tasarım yapılması önerilmektedir. Örneğin çöl ikliminde kum fırtınaları ve güneş parametreleri öne çıkarken daha ılıman iklimde nem, soğuk iklimde ısı kayıpları veya tropik iklimde yağış gibi faktörler tasarımda temel alınmaktadır. Bu bağlamda gökdelen tasarımında baz alınacak doğal çevre verileri tartışılmıştır.

3. Bulgular

3.1. Topografya

Dubai kenti, kuzey yarım kürede 55°18' doğu boylamı, 25°16' kuzey enlemi üzerindedir [39]. Deniz seviyesinden ortalama 2 metre yüksekliğe konumlanmıştır [40]. Dubai, Basra Körfezi'nin kıyısında yer edinmiş 1971'den beridir kurulmuş Birleşik Arap Emirliği'ne "Şekil 9." ait yedi emirlikten biridir [41]. Abu Dhabi'nin ardından 3.885 km² ile Dubai ikinci en büyük yüzölçümüne sahip emirliktir [42].

²Venedik Sıvası: Temel bileşenleri; ince kireç tozu, doğal pigmentler ve mermer tozu olan bu karışım, duvara uygulandığında sertleşerek neme karşı dirençli bir yüzey oluşmasını sağlayan geleneksel bir duvar kaplama yöntemidir [38].



Şekil 9. Birleşik Arap Emirlikleri Fiziki Haritası [43].

Burj Khalifa, Dubai'nin şehir merkezinin yakınında yer almaktadır "Şekil 10." [25].



Şekil 10. Dubai Haritası [44].

Bu devasa yapı 500.000 ton ağırlığındadır. Sadece 3,7 metre kalınlığındaki podyum³, üçgen çerçeve temelinde dayanmaktadır [29].

Çerçeveyi destekleyen kazıklar 1,5 metre çapında olup 43 metre uzunluğa sahiptir "Şekil 11." Her bir kazığın kapasitesi 3000 tondur [5].



Şekil 11. Kazıklar [29].

³ Podyum, kuleyi zemine sabitleyen taban olarak adlandırılır [29].

⁴ Hem radye temelin hem de kazıkların kullanıldığı bu temel sistemine kazık destekli radye temel denilmektedir. Kazıklı radye temel; kazık, zemin ve radye olmak üzere üç taşıyıcı elemandan oluşan kompozit bir yapıdır [45].

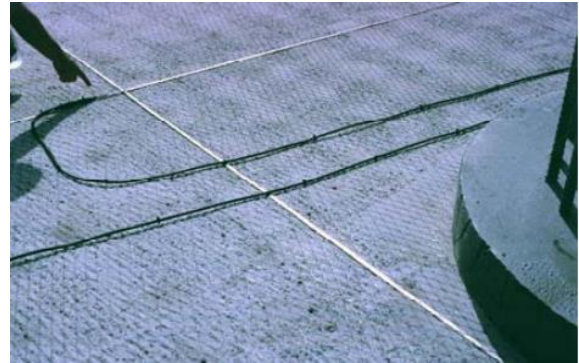
⁵ Beton, içeriğindeki malzemeler sebebiyle tozuma oluşturmaya elverişli bir yapıdadır. Artırılmış beton kaplama uygulamasında kullanılan ürünler betonun

Podyum, üç kanat ve bir merkez çekirdekle dört ayrı bölüm üzerine inşa edilmiştir "Şekil 12." Kule temelleri, kazık destekli radye temelden⁴ oluşmaktadır [5].



Şekil 12. Temel İnşaatı [5].

Devasa ölçüğe sahip olan bu yapı için problemleri saha koşulları sebebiyle çözüm üretilmesi gereken sorunlar ortaya çıkmıştır. Zemin yüzeyinin yaklaşık 2 metre altında bulunan su, son derece aşındırıcı özellik göstermektedir. Zemin yüzeyine yakın olan su, deniz suyundan yaklaşık üç kat daha fazla sülfat ve klorür içermektedir. Kulenin temel sistemi uzun vadeli bütünlüğünü korumak için titiz bir şekilde korozyon önleyici programlarla takip edilmiştir. Su yalıtım sistemleri, artırılmış beton kaplama⁵ ve betona korozyon önleyicilerin eklenmesi ile sıkı bir çatlak kontrolü sağlanmıştır. Radye temelde titanyum ağ⁶ kullanılarak akım katodik koruma sistemi⁷ "Şekil 13." ve kontrollü geçirgenlik kalıp astarı uygulanmıştır [5].



Şekil 13. Akım Katodik Koruma Sistemi [5].

3.2. İklim

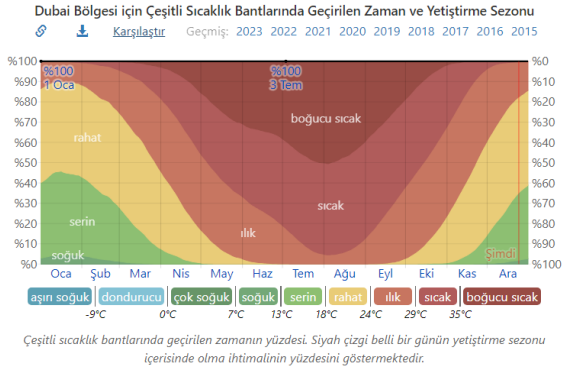
Birleşik Arap Emirlikleri, sırasıyla iki geçiş dönemine ayrılan kış ve yaz olmak üzere iki ana mevsimden oluşan kurak bir çöl iklimine sahiptir. Kış mevsiminde sıcaklık 16,4°C -24°C arasındadır. Yaz mevsiminde ise 50°C ye kadar yükselebilen aşırı sıcaklıklar görülmektedir [49]. "Şekil 14."de özet bir şekilde tüm yıl için saatlik ortalama sıcaklıklar gösterilmektedir. Dikey eksen o günün saatini, yatay eksen o yılın gününü, renk ise o saat ve gün içindeki ortalama

içine nüfuz ederek sertleşmesini ve yoğunlaşmasını sağlayıp, yüzeyin dayanımını artırır. Böylece sağlıklı ve uzun ömürlü betonlar elde edilmektedir [46].

⁶ Titanyum ağ: Asit ve alkali çevre koşullarında ortamları ayırarak tarama ve filtrasyon için kullanılmaktadır [47].

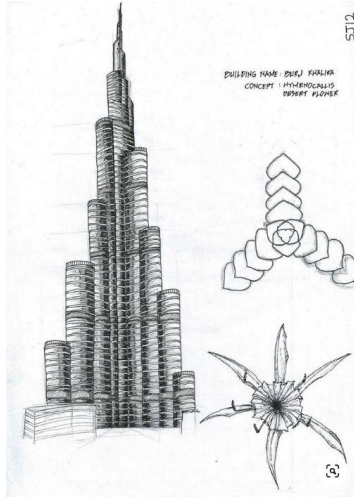
⁷ Katodik Koruma: Metal yapıların korozyondan dolayı deforme olmaması için kullanılan bir tekniktir [48].

sıcaklığı ifade etmektedir. Yıl boyunca sıcak-ılık hava etkisindeyken; Nisan ve Ekim ayları arasında boğucu sıcak- sıcak- ılık hava etkisinin büyük oranda yaşandığı, kış aylarında ise rahat havanın etkisinde olduğu görülmektedir [40].



Şekil 14. Sıcaklık Bandı [40].

Birleşik Arap Emirlikleri topraklarının yaklaşık %80'i çölle kaplıdır. Dünya Bankası verilerine göre ülkenin tarım arazilerinde 2002'den 2018 yılına kadar nerdeyse %50 azalmıştır [50]. Dubai Çöl Koruma Alanı (DDCR), Birleşik Arap Emirlikleri hükümeti tarafından 225 km² lik doğa koruma alanı olarak ilan edilen bölge 50'den fazla bitki, 43 memeli, 120 kuş ve sürüngen türlerine ev sahipliği yapmaktadır. [51]. Burj Khalifa ile ilgili tasarım kararları alınırken bu iklimlerde yetişen "Hymenocallis" adlı çöl çiçeğinden "Şekil 15." İlham alınarak oluşturulmuştur [52].



Şekil 15. Burj Khalifa Tasarım Eskizi [53].

Dubai, su kıtlığının en yüksek olduğu kentlerden biridir [53]. Su ihtiyacı, denizden arıtılan ve göllerinden elde edilen sular ile karşılanmaktadır [54]. Bu sebeple su çok değerlidir. Burj Khalifa da bu kıymetli suyu gelişmiş sistemler ile değerlendirmektedir. Yoğuşma suyunu geri kazanma sistemi bunlardan biridir "Şekil 16.". Klima sistemlerinden yoğuşan su toplanarak sulama tanklarına gönderilmektedir. Yılda 15 milyon galon su sağlayan bu tanklar ile peyzaj "Şekil 17." sulaması yapılmaktadır [29].

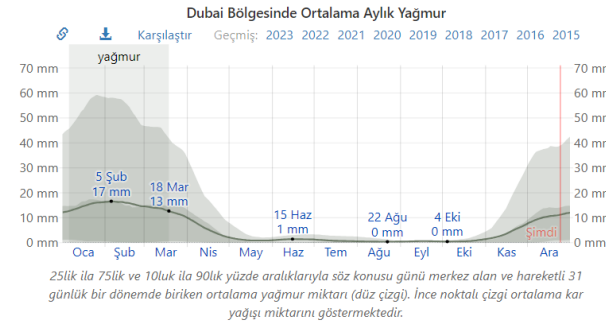


Şekil 16. Yoğuşma suyunu geri kazanma sistemi [29].



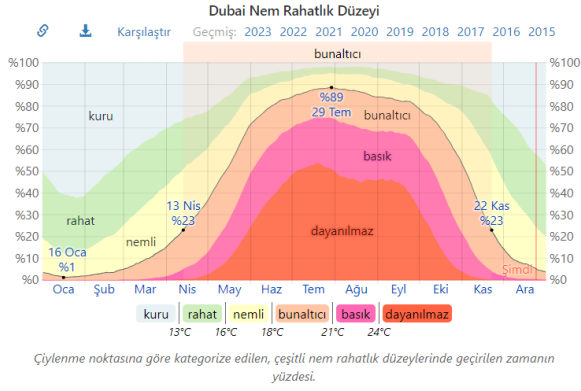
Şekil 17. Peyzaj [29].

Birleşik Arap Emirlikleri'nde yağışlar seyrek ve tutarsızdır [49]. "Şekil 18."de Dubai'nin 31 günlük dönemler üzerinden aylar içerisindeki yağış miktarı gösterilmektedir. Yılın yağmurlu dönemi 6 Ocak tarihinden 17 Mart tarihine kadar 2,4 ay boyunca sürdüğü görülmektedir. Yağmursuz dönemi ise 17 Mart tarihinden 6 Ocak tarihine kadar 9,6 ay boyunca sürdüğü görülmektedir. Dubai bölgesinde en yağmurlu ay Şubat olup, en az yağmurlu ayı ise Ağustos ayıdır [40].



Şekil 18. Ortalama Aylık Yağmur Grafiği [40].

Dubai'de nem rahatlık düzeyi için çiylenme noktaları dikkate alınmıştır "Şekil 19." Yüksek çiylenme nemli hissedilirken düşük çiylenme kuru hissettirmektedir. Yıl içerisindeki en bunaltıcı dönem 12 Nisan tarihinden 21 Kasım tarihine kadar 7,3 ay ve %23 civarında dayanılmaz, basık ve bunaltıcı hissedilmektedir. En az sayıdaki bunaltıcı günler ise Ocak ayında yaşanmaktadır [40].



Çizimleme noktasına göre kategorize edilen, çeşitli nem rahatlık düzeylerinde geçirilen zamanın yüzdesi.

Şekil 19. Dubai Nem Rahatlık Düzeyi [40].

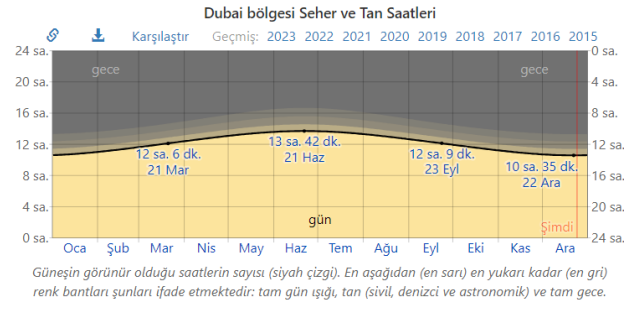
Dubai'nin bu iklim şartlarından ötürü Burj Khalifa'nın inşaatında ilk önce merkezi çekirdeğin ve döşemelerin üç bölüm halinde dökülmesini, ardından kanat duvarları, kanat burun kolonlarının ve döşemelerin dökülmesiyle bu süreç başlamıştır. Hidratasyon ısısından yararlanmak için beton karıştırma ve yerleştirme yöntemleri belirlenmiştir [6]. Böylece çimento bileşenleri çözülmeye devam etse de ısı çıkış hızı hemen hemen sabit kalmaktadır [55]. Bu yöntemlerden biri C50 beton karışımını yavaşlatmak üzere %40 uçucu kül eklenip su/çimento oranı 0.34 olarak kullanılmasıdır. Ek olarak, ısı kazanımını sınırlamak için bir miktar buz kullanılmıştır. Betonun bu karışımında hata olup olmadığını tespit etmek için ise bir test programı "Şekil 20." başlatılarak 3,7 m test küpleri dökülüp sıcaklık performansı ölçülmüştür [6].



Şekil 20. Test Programı [27].

3.3. Güneş

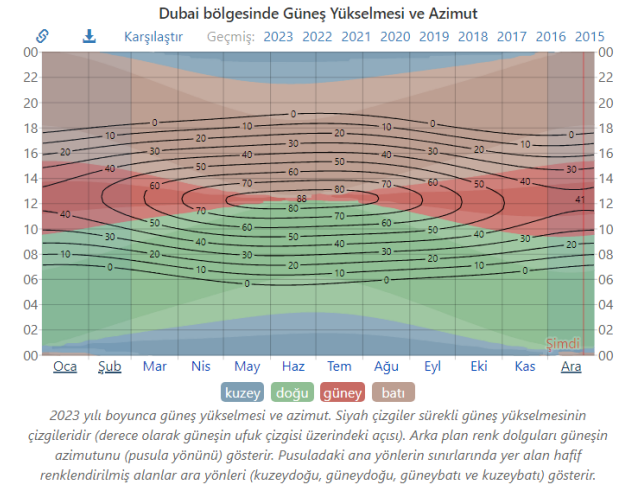
Dubai'de gün uzunluğu yıl boyunca değişiklik göstermektedir "Şekil 21.". En kısa gün, 2023 22 Aralık tarihinde 10 saat 35 dakika iken, en uzun gün ise 2023 21 Haziran tarihinde 13 saat 42 dakika olarak yaşanmıştır [40].



Güneşin görünürlüğü olduğu saatlerin sayısı (siyah çizgi). En aşağıdan (en sarı) en yukarı kadar (en gri) renk bantları şunları ifade etmektedir: tam gün ışığı, tan (sivli, denizci ve astronomik) ve tam gece.

Şekil 21. Dubai için seher ve tan saatleri grafiği [40].

Aşağıdaki grafikte güneşin ufuk çizgisi üzerindeki açısını (güneş yükselmesini) ve pusula yönü (azimutu) gösterilmektedir "Şekil 22.". Dikey eksen günün saatini, yatay eksen ise günü temsil etmektedir [40].



2023 yılı boyunca güneş yükselmesi ve azimut. Siyah çizgiler sürekli güneş yükselmesinin çizgileridir (derece olarak güneşin ufuk çizgisi üzerindeki açısı). Arka plan renk dolguları güneşin azimutunu (pusula yönünü) gösterir. Pusuladaki ana yönlerin sınırlarında yer alan hafif renklendirilmiş alanlar ara yönleri (kuzeydoğu, güneydoğu, güneybatı ve kuzeybatı) gösterir.

Şekil 22. Güneş yükselmesi ve azimutu [40].

Burj Khalifa'nın dış kaplaması yansıtıcı alüminyumdan ve çok sayıda küçük boru şeklindeki kanatçıklı paslanmaz çelik köşelikli panellerden oluşmaktadır. Bu sistem güçlü çöl sıcağına ve güneş ışınlarına daha iyi direnmek için tasarlanmıştır [25]. Birçok yazılı, basılı ve görsel kaynaktan işlenen Burj Khalifa ile ilgili yapılan bir belgeselin sunucusu olan Richard Hammond bu özel cam panellerin çöl sıcağına nasıl direndiğini ispatlamak için minyatür iki oda hazırlayarak bir deney yapmıştır. Bu iki odada tüm özellikleri aynı tutup sadece camlarını farklı kullanmıştır "Şekil 23.". Odalardan birinde Burj Khalifa' da kullanılan özel cam panel, diğerinde ise sıradan cam panel kullanmıştır [56].



Şekil 23. Deney düzeneği [56].

Gündüz, güneşin vurduğu bir noktada iki odanın içinde aynı anda tavanın içine birer yumurta kırarak belli bir süre tutmuştur. İlk olarak her iki oda 33°C

iken bekleme sonucu özel cam paneller ile oluşturulan oda sıcaklığı 40°C'de "Şekil 24." sabit kalırken, sıradan cam kullanılan odanın sıcaklığı 88°C'ye "Şekil 25." çıkarak yumurtayı pişirmiştir [56].



Şekil 24. Özel cam panelli oda 40°C [56].



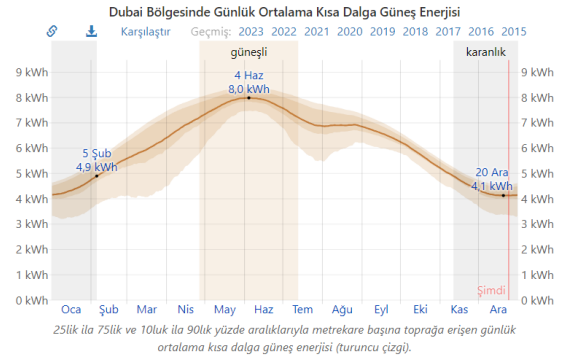
Şekil 25. Sıradan cam panelli oda 88°C [56].

Dış cephe kaplamasında 28.261 adet cam panel tek tek elle kesilerek kullanılmıştır. Kule, 18 adet kalıcı olarak monte edilmiş ray ve sabit teleskopik kızak ile donatılmıştır "Şekil 26.". Bu raya monteli üniteler, dış cephe bakımında kullanılmaktadır [25].



Şekil 26. İnşaat süreci [25].

Güneş, ultraviyole ve kısa dalga radyasyonlarına sahiptir. Kısa dalgalar ile gelen güneş ışığının ortalama günlük enerjisi yıl boyunca ciddi oranlarda farklılıklar göstermektedir "Şekil 27.". Dubai bölgesinde en güneşli ay olan Haziran ayında ortalama 7,8 kWh enerji yayarken; güneş ışınlarının az olan dönemi olan Aralık ayında metrekare başına ortalama 4,2 kWh enerjinin altında günlük ortalama kısa dalga enerjisi yaymaktadır [40].



Şekil 27. Kısa dalga güneş enerjisi grafiği [40].

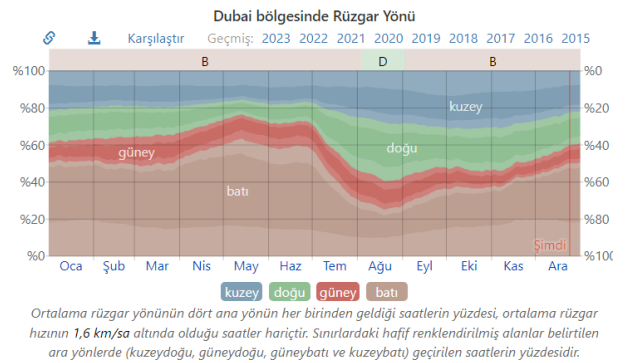
Güneş enerjisini kullanmak için, Burj Khalifa'da, 2,7 m²'lik alana 378 güneş paneli yerleştirilerek 32.000 kWh enerji elde edilmektedir "Şekil 28.". Bu enerji de kule için kullanılmaktadır [29].



Şekil 28. Güneş panelleri [29].

3.4. Rüzgâr

Yeryüzünün ısınması ve soğuması sonucunda ortaya çıkan kuvvetlerin etkisiyle yatay yönde devamlı yer değiştirebilen atmosfer basıncıyla oluşan hava hareketine "rüzgâr" denilmektedir [58]. Rüzgâr, bu hava hareketiyle mimari tasarımlarda binalarda titreşime neden olmaktadır. Rüzgâr sonucu oluşan titreşimler dış cephedeki camları, panelleri ve diğer bileşenleri etkilediğinden yapıların tasarımını değiştiren doğal faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Rüzgâr yükünün yapılar üzerindeki etkisi, titreşimin şiddetine, hızına ve yönleneşine göre değişiklikler göstermektedir [59]. "Şekil 29." da Dubai için rüzgârın yıl boyunca dört ana yönden esse de batı yönlü rüzgârın etkisi daha baskın görülmektedir [40].



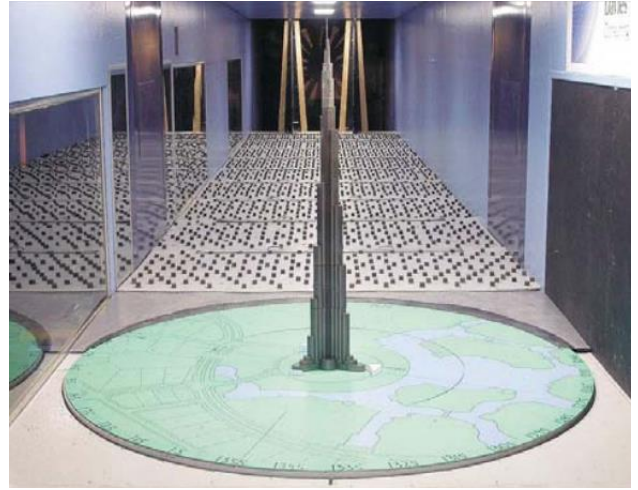
Ortalama rüzgâr yönünün dört ana yönün her birinden geldiği saatlerin yüzdesi, ortalama rüzgâr hızının 1,6 km/sa altında olduğu saatler hariçtir. Sınırlardaki hafif renklendirilmiş alanlar belirtilen ara yönlerde (kuzeydoğu, güneydoğu, güneybatı ve kuzeybatı) geçirilen saatlerin yüzdesidir.

Şekil 29.Rüzgâr yönü grafiği [40].

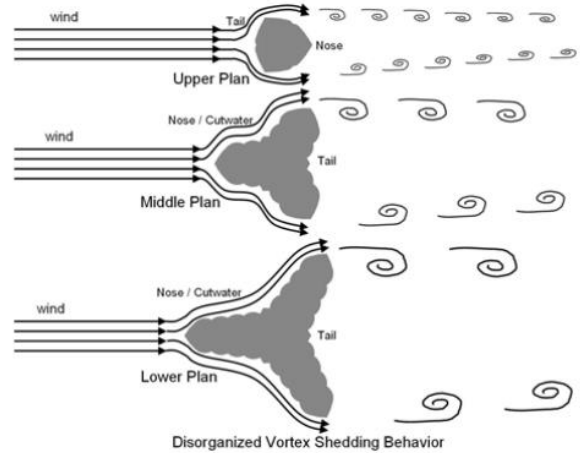
Dubai, çöl üzerine kurulduğundan dolayı sık sık kum fırtınaları yaşanmaktadır. Buradaki kum fırtınalarının hızı ortalama, saate 40 ila 150 km arasında farklılıklar göstermektedir [57]. Burj Khalifa'nın tasarım sürecinde de rüzgâr yükü kritik bir rol oynamıştır [6]. Kum fırtınalarının yaşandığı durumlarda devasa binanın yan yatmaması için "Şekil 30." yapı temelinin uçlarındaki beton kazıklarının sayısını arttırmak uygun görülmüştür [57].

**Şekil 30.** Kum fırtınası simülasyonu [35].

Rüzgârın yapı üzerindeki etkisini belirlemek ve tasarımı bu yönde düzenlemek üzere kapsamlı bir rüzgâr tüneli programı gerçekleştirilmiştir. Analiz ve tasarım için ABD'li Computers&Structures Inc. firmasının geliştirdiği "ETABS" yazılımı kullanılmıştır [25]. Her test turunda veriler bu yazılım aracılığıyla analiz edilip bina yeniden şekillendirilmiştir [6]. Bu çalışmada çoğunlukla 1: 500 ölçekte modeller kullanılmıştır. Bu modellerde katı model kuvvet dengesi testleri, tam aeroelastik⁸ model çalışması "Şekil 31.", yerel basınç ölçümleri ve yaya rüzgârı ortamı çalışmaları incelenmiştir [5].

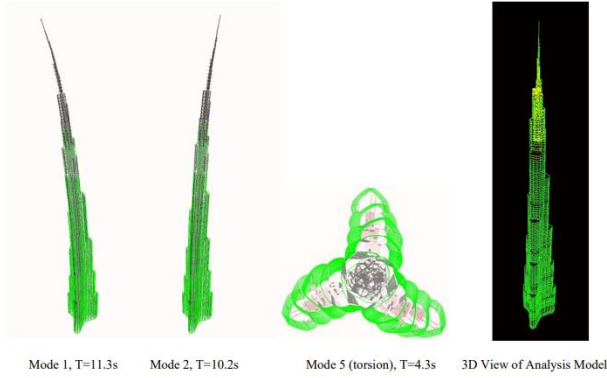
**Şekil 31.** Aeroelastik Rüzgâr Tüneli Modeli [5].

Binaya aeroelastik rüzgâr tüneli üzerinden çeşitli revizyonlar yapılmıştır. Bazı revizyonlar kulenin geometrisiyle ilgili olarak: kanatların boyutu ve şekliyle, geri çekilmelerin sayısı ve aralıkları süreç boyunca değiştirilmiştir. Bir diğer revizyon da binanın yönlendirmesiyle ilgilidir. Kulenin altı önemli rüzgâr yönü vardır. Bu yönlerin hepsi kanatların ana eksenlerine paraleldir. Rüzgârın her bir kanadın "burnuna" doğru estiği üç yön ve rüzgârın her bir kanadın "kuyruğuna" doğru estiği üç yön "Şekil 32." binanın merkezindedir [6].

**Şekil 32.** Kuledeki Rüzgâr Davranışı [6].

Kule inşaat sürecinde dahi rüzgâr tüneli tesisinde test edilerek her zaman güvenlik sağlanmıştır. Kulenin şekli rüzgâr kuvvetlerinin çok azalmasını sağlamıştır. Üç boyutlu ve dinamik analiz "Şekil 33."; kulenin en yüksek noktasında toplam 1,5 metre sallanır, birinci modun periyodu 11,3 saniye, dikey yanal mod 10,2 saniye ve beşinci burulma modu 4,3 saniye olduğunu göstermiştir [25].

⁸ Aeroelastisite, "elastik, ataletsel ve aerodinamik kuvvetlerinin mühendislikteki elastik yapıların üzerindeki etkileşimini inceleyen bir çalışma alanıdır" [60].



Şekil 33. Üç Boyutlu Analiz Modeli ve Dinamik Mod Şekilleri [5].

Bu sonuçlar, tahmin edilen bina hareketlerini ISO (International Organization for Standardization) standartlarının tavsiye edilen değerleri içinde olduğunu göstermiştir [5].

4. Tartışma ve Sonuç

Yapı tasarımları ile ilgili kararların alınmasında doğal çevre verileri büyük önem taşımaktadır. Topografya, iklim, güneş ve rüzgârın kontrol edilmesinin bir yapı üzerindeki etkileri kullanıcının konforunu ve binanın sürdürülebilirliğini belirleyen en önemli etkenlerdendir. Bu çalışmada “Dikey Şehir” “Yaşayan Harika” olarak tanımlanan [4] Burj Khalifa binasına odaklanılmıştır.

Dünyanın en yüksek binası olarak, inşaat sürecindeki zorluklar karşısında alınan tasarım kararları ile çevresel etkenleri ustalıkla yönetmiş olan ve dünyanın enleriyle tanınan Burj Khalifa, zorlu bir doğal çevre içerisinde uyguladığı çözümleri detaylı bir şekilde ele almasıyla dikkat çekmiştir.

Dubai, kum fırtınalarının ve denizden gelen rüzgârların etkisi altındaki bir kenttir. Burj Khalifa için “Hymenocallis” adlı bir çöl çiçeğinin formunun bu kuvvetlere karşı dayanıklı olmak için güçlü bir esin kaynağı olduğu görülmüştür. Kulenin oturduğu zeminin aşındırıcı ve zayıf olmasına karşın alınan önlemler ve üretilen çözümler, başarılı bir işbirliği örneğidir. Dubai’nin zorlu iklim koşullarında su kullanımı ve güneşin etkisinin avantaja çevrildiği görülmüştür.

Sonuç olarak, bu devasa yapının tasarımcıları proje yönetimini en iyi şekilde sürdürerek Dubai toplumuna ve ekonomisine büyük katkılar sağlamıştır. Burj Khalifa; yapısal sistem gereksinimleri, mühendislik becerileri, şartları zorlayan çözümleri, kullanılan son teknolojileri ve mimari estetiğiyle bundan sonraki tasarımlar için bir ilham kaynağı niteliindedir.

Etik Beyanı/Declaration of Ethical Code

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında

uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Hasol, D. 2007. Yüksek, Daha Yüksek, En Yüksek!. <http://www.doganhasol.net/yuksekk-daha-yuksekk-en-yuksekk-2.html> (Erişim Tarihi: 18.11.2023).
- [2] Hasol, D. (2001) “İkiz Kulelerin Düşündürdükleri”, YAPI dergisi, 239/Ekim 2001, s.41-42. <https://www.doganhasol.net/ikizkulelerin-dusundurdukleri-2.html> (Erişim Tarihi: 16.08.2024).
- [3] Hasol, D. (1999) “Japonya’dan İzlenimler”, Mimari İzlenimler, YEM Yayın, 1999, s.153. <https://www.doganhasol.net/japonyadan-izlenimler-2.html> (Erişim Tarihi: 16.08.2024).
- [4] Boulevard, R., B., M. 2016. At The Top Burj Khalifa. Fact Sheet. <https://www.burjkhalifa.ae/img/fact-sheet.pdf> (Erişim Tarihi: 06.10.2024).
- [5] Baker, F. W., Pawlikowski, J. J., Young S. B. 2009. The Challenges in Designing the World’s Tallest Structure: The Burj Dubai Tower. Structures 2009: Don’t Mess with Structural Engineers, 1471-1480.
- [6] Baker, B., Pawlikowski J. 2015. The Design and Construction of the World’s Tallest Building: The Burj Khalifa, Dubai, Structural Engineering International, 25:4, 389-394.
- [7] Wikipedia. 2024. Burc Halife. https://tr.wikipedia.org/wiki/Burc_Halife (Erişim Tarihi: 16.08.2024).
- [8] Abraham, O. A. 2019. Effective Project Management in Contemporary Developments: Case Study Burj Khalifa Tower. Iconic Research And Engineering Journals, Volume 3, Issue 2, 690-701.
- [9] CTBUH. 2010. Criteria for Defining and Measuring Tall Buildings. https://store.ctbuh.org/PDF_Previews/Posters/Criteria_2010_Preview.pdf (Erişim Tarihi: 16.08.2024).
- [10] Fraidoon, A. B. 2020. Betonarme Yüksek Bir Binanın TBDY 2018’e Göre Tasarımı ve Deprem Performansının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 162.
- [11] Smarthistory. 2023. Pushing the Limits, The Monadnock Building. <https://www.youtube.com/watch?v=c2hie9nlx4M> (Erişim Tarihi: 16.08.2024).

- [12] Begeç, H. 1999. Çok Katlı Binalarının Gelişiminin Biçimlenme Özellikleri Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir. 173.
- [13] Tevfik, M. 2021. Bir Zamanlar Dünyanın En Yüksek: Empire State Binası. <https://hangitarihte.com/neoldu/tarih/bir-zamanlar-dunyanin-en-yuksegi-empire-state-binası/> (Erişim Tarihi: 16.08.2024).
- [14] CTBUH. 2024. About Us. <https://www.ctbuh.org/about> (Erişim Tarihi: 16.08.2024).
- [15] Sev, A. 2011. Geçmişten Geleceğe Enerji Etkin Yüksek Yapılar Ve Uygulama Örnekleri, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye.
- [16] Begeç, H. 2022. Yüksek Yapılarda Rüzgâr Türbinlerinin Kullanımının İncelenmesi. Eksen Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi, 3(2). 1-18.
- [17] Arkitektuel. 2020. Petronas İkiz Kuleleri. <https://www.arkitektuel.com/petronas/> (Erişim Tarihi: 11.08.2024).
- [18] Malott, D. 2011. International Commerce Centre. Elevator World, May 2011. 76-80.
- [19] Katz, P.L., Pedersen K., Robertson L., Robertson E.L., 2008. Case Study: Shanghai World Financial Center. CTBUH Journal, 2008 Issue II. 10-14.
- [20] Shieh, S. S., Chang, C. C., & Jong, J. H. 2003. Structural Design Of Composite Super-Columns for the Taipei 101 Tower. In Proceedings of International Workshop On Steel And Concrete Composite. Constructions. 25-33.
- [21] Mardaljevic, J., Janes, G. ve Kwartler, M. 2015. The 'Nordstrom Tower': A Landmark Daylight Injury Study. School of Civil and Building Engineering, Loughborough University. CIE 28th Session, Manchester, UK, June 28- July 4, 2015.
- [22] Lewis K., Holt N. 2011. Case Study: One World Trade Center. CTBUH Journal. 2011 Issue III. 14-19.
- [23] Gawad, A., A. 2021. Development Scheme of the Clock-Tower in Makkah by Employment of Renewable Energy Resources. Cairo, Egypt. Conference: Fourteenth International Conference of Fluid Dynamics 2-3 April 2021.
- [24] Archdaily. 2016. Shanghai Tower / Gensler. <https://www.archdaily.com/783216/shanghai-tower-gensler> (Erişim Tarihi: 11.08.2024).
- [25] Subramanian N. 2010. Burj Khalifa, World is Tallest Structure, NBM & CW, Vol. 15, 199-211.
- [26] Sanjania, Z., 2012, Burj Khalifa: An Icon, De Montfort University Faculty of Art & Design Leicester School Of Architecture Arch3031 Architectural Discourse.
- [27] Young B., SOM. 2017. Burj Khalifa, Engineering the World's Tallest Building. https://seaoa.wildapricot.org/resources/Documents/2017%20Convention/2017%20Presentations/Burj_SEAOA_2017_vf.pdf (Erişim Tarihi: 02.01.2024).
- [28] EKOYAPI. 2017. Burj Khalifa: Çöl Çiçeğinden Gökyüzüne Yükselmek. <https://www.ekoyapidergisi.org/burj-khalifa-col-ciceginden-gokyuzune-yukselmek> (Erişim Tarihi: 16.08.2024).
- [29] Jain, S. 2019. Case Study- Burj Khalifa, Dubai. <https://www.slideshare.net/ShubhamJain685/burj-khalifa-172039480> (Erişim Tarihi: 01.12.2023).
- [30] Sarık. 2019. Burj Khalifa. <https://architectuul.com/architecture/burj-khalifa> (Erişim Tarihi: 15.08.2024).
- [31] Milliyet Gazetesi. 2010. Burj Dubai'nin Adı Halife Oldu. <https://www.milliyet.com.tr/pembenar/burj-dubai-nin-adi-halife-oldu-1181923> (Erişim Tarihi: 15.08.2024).
- [32] BBC NEWS. 2011. Dubai Burj Khalifa: Ramadan fast 'lasts longer high up'. <https://www.bbc.com/news/world-middle-east-14437334> (Erişim Tarihi: 02.01.2024).
- [33] Durucu, Ş. 2014. 18 Maddede Modern Zamanların Babil Kulesi Burj Al Khalifa. <https://listelist.com/babil-kulesi-burj-al-khalifa/> (Erişim Tarihi: 05.02.2024).
- [34] Durucu, Ş. 2014. 18 Maddede Modern Zamanların Babil Kulesi Burj Al Khalifa. <https://listelist.com/babil-kulesi-burj-al-khalifa/> (Erişim Tarihi: 05.02.2024).
- [35] Shija W. 2020. Workbook: Burj Khalifa (Dubai Tower). https://public.tableau.com/views/BurjKhalifaDubaiTower/TheTower?%3Aembed=y&%3AshowVizHome=no&%3Adisplay_count=y&%3Adisplay_static_image=y&%3AbootstrapWhenNotified=true&%3Alanguage=ja&%3Amobile=true&:embed=y&:showVizHome=n&:apiID=host0 (Erişim Tarihi: 01.02.2024).
- [36] Lesics. 2022. Burj Khalifa | All the Engineering Secrets of the Mega structure. <https://www.youtube.com/watch?v=SqFx0cBR0oo> (Erişim Tarihi: 25.12.2023).
- [37] Arkitektuel. 2020. Burj Khalifa. <https://www.arkitektuel.com/burj-khalifa/> (Erişim Tarihi: 01.02.2024).
- [38] Emaar Properties PJSC. Burj Khalifa. <https://www.burjkhalifa.ae/en/the-stories.aspx> (Erişim Tarihi: 16.08.2024).

- [38] Kale Mimarlık. 2024. Venedik Sıva Nedir? <https://www.italyansivaboya.com/venedik-siva-nedir/> (Erişim Tarihi: 03.01.2024).
- [39] GeoHack. 2024. GeoHack-tr:Dubai. https://geohack.toolforge.org/geohack.php?pagename=tr:Dubai¶ms=25.2697_N_55.3095_E (Erişim Tarihi: 18.08.2024).
- [40] Wearher Spark. 2023. Dubai Bölgesinde Yıl Boyu İklim ve Hava Durumu. <https://tr.weatherspark.com/y/105470/Dubai-Birle%C5%9Fik-Arap-Emirlikleri-Ortalama-Hava-Durumu-Y%C4%B1-Boyunca> (Erişim Tarihi: 25.12.2023).
- [41] Morris, J. M. 2009. United Arab Emirates. https://www.researchgate.net/publication/38183802_United_Arab_Emirates (Erişim Tarihi: 18.08.2024).
- [42] TETSİAD. BAE Ülke Raporu. <https://www.tetsiad.org/files/raporlar/bae.pdf> (Erişim Tarihi: 18.08.2024).
- [43] Birleşik Arap Emirlikleri Haritası ve Birleşik Arap Emirlikleri Uydu Görüntüleri. <https://www.turkiye-rehberi.net/birlesik-arap-emirlikleri-haritasi.asp> (Erişim Tarihi: 18.08.2024).
- [44] Dubai Haritası ve Dubai Uydu Görüntüleri. <https://www.turkiye-rehberi.net/harita/birlesik-arap-emirlikleri/dubai-haritasi.asp> (Erişim Tarihi: 18.08.2024).
- [45] Özdemir U. O. 2006. Kazıklı Radye Temellerde Taban Basıncı Değişiminin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 43s, İstanbul.
- [46] KYK Blog. 2019. Endüstriyel Zeminlerde Artırılmış Beton Dayanımı ve Tozumsuzluk. <https://www.kyk.com.tr/blogdetay-endstriyel-zeminlerde-artirilmis-betondayanimi-ve-tozumsuzluk> (Erişim Tarihi: 03.01.2024).
- [47] Baoji Tianbo Metal. 2021. Titanyum Ağ Nedir? <https://tr.tianbometal-wom.com/info/what-is-titanium-mesh61643434.html> (Erişim Tarihi: 03.01.2024).
- [48] MEB. 2011. Kimya Teknolojisi, Korozyon ve Katodik Koruma. https://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Korozyon%20Ve%20Katodik%20Koruma.pdf (Erişim Tarihi: 19.08.2024).
- [49] IFRC. UNITED ARAB EMIRATES (UAE) Climate Fact Sheet. https://prddsgofilestorage.blob.core.windows.net/api/documents/UAE_-_Climate_Fact_Sheet/UAE_Climate_Fact_Sheet_EN.pdf (Erişim Tarihi: 19.08.2024).
- [50] The Level Consulting. 2023. Dubai'de tarım nasıl geliyor? <https://thelevelconsulting.ae/tr/media/kak-v-dubae-razvivaetsya-selskoe-khozyaistvo> (Erişim Tarihi: 18.08.2024).
- [51] Dubai Çöl Koruma Alanı. <https://www.visitdubai.com/tr/places-to-visit/dubai-desert-conservation-reserve> (Erişim Tarihi: 18.08.2024).
- [52] Garcia F.C. 2014. Burj Khalifa- A. Smith. <https://es.paperblog.com/burj-khalifa-a-smith-2858565/> (Erişim Tarihi: 08.02.2024).
- [53] UCLG-MEWA ve CDP.2021.Orta Doğu Ve Batı Asya'daki Yerel Yönetimlerden İklim Eylemi. https://uclgmewa.org/uploads/file/bde3bf4a6887485cbffbda2868fb092/Orta_Dogu_ve_Bati_Asyadaki_Yerel_Yonetimlerden_Iklim_Eylemi.pdf (Erişim Tarihi: 19.08.2024).
- [54] EURONEWS. 2023. Dubai İçme Suyu Üretimi İçin Bulut Tohumlama Gibi Teknolojileri Kullanıyor. <https://tr.euronews.com/next/2022/11/24/dubai-icme-suyu-uretimi-icin-bulut-tohumlama-gibi-teknolojileri-kullaniyor> (Erişim Tarihi: 19.08.2024).
- [55] Şahin G.F. 2022. ÇİMSA. Hidratasyon Süreçleri Nedir? Hidratasyon Aşamalarına Göre Dayanıklı Beton Nasıl Sağlanır? <https://cimsa.com.tr/formulhane/gri-cimento/hidratasyon-surecleri-nedir-hidratasyon-asamalarına-gore-dayanikli-beton-nasil-saglanir/> (Erişim Tarihi: 19.08.2024).
- [56] DMAX Türkiye. 2020. Burc Halife: Dünyanın En Yüksek Gökdeleni- Richard Hammond ile Dev Yapılar.https://www.youtube.com/watch?v=JBCBDtdye_o&t=508s (Erişim Tarihi: 08.01.2024).
- [57] Yurt Gazetesi. 2023. Depremde zeminin önemi anlatılırken, Burj Khalifa çölde nasıl ayakta kalıyor? <https://www.yurtgazetesi.com.tr/dunya/depreme-zeminin-onemi-anlatilirken-burj-khalifa-colde-nasil-ayakta-kaliyor-h220316.html> (Erişim Tarihi: 24.11.2023).
- [58] Kaymak K.M. 2009. Rüzgâr Enerjisi. <https://web.itu.edu.tr/~kaymak/images/windpower.html> (Erişim Tarihi: 24.11.2023).
- [59] SMD. 2023. Cephe ve Gökdelen Dekorasyonlarında Rüzgârın Etkisi Uygun Bir Seçimdir. <https://smddecoration.com/> (Erişim Tarihi: 24.11.2023).
- [60] Akbal Ö. 2018. Hafif Bir Uçağın CFD Yöntemi ile Aeroelastik Analizi. Bitirme Çalışması. İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul. 7-9. (Erişim Tarihi: 25.08.2024).