



İklim Değişikliği Karşısında Sürdürülebilir Binaların ve Bütünleşik Tasarımın Önemi (BIM Tabanlı Sürdürülebilirlik Analizleri)

The Importance of Sustainable Buildings and Integrated Design against to Climate Change (BIM-Based Sustainability Analyzes)

Kübra KOÇHAN¹ , Can Tuncay AKIN² 

Öz

Son yıllarda gerek Dünya'da gerek Türkiye'de meydana gelen yangınlar, seller, şiddetli kasırgalar gibi doğal afetler artmakla birlikte çevreyi tehdit etmektedir. Bu felaketler doğal sistemin bozulduğunu ve ciddi çevre sorunlarının oluştuğunu göstermektedir. İklim değişikliğiyle artış gösteren ve doğal çevreye zarar veren bu sorunların oluşmasında yapılı çevrenin de büyük bir etkisi vardır. Doğal çevreye zarar veren ve çevreyi kirleten yapılaşmalar artmaktadır. Doğal ekosistemin dengesini bozan bu yapılaşmaların önüne geçmek için bina tasarımların ve uygulamaların çevreye duyarlı olmasına önem verilmelidir. Çalışmada iklim değişikliği karşısında sürdürülebilir binaların önemi vurgulanırken bütünleşik tasarımın sürdürülebilir binaları oluşturmada ne kadar etkili olduğu üzerinde durulmuştur. Entegre tasarımı sağlamak ve proje aşamasında analizler yapmak için Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)'in potansiyel faydaları ele alınmıştır. BIM tasarımın ilk adımından itibaren multidisipliner bir çalışmayla sistemler arası etkileşime dayalı bütünleşik bir yaklaşımla binanın bir bütün olarak performansının optimize edilmesini sağlamaktadır. Sürdürülebilir tasarımı destekleyen BIM uygulamalı analiz çeşitleri açıklanmıştır. Bu analizler için yapılan simülasyonlar daha sürdürülebilir yüksek performans sağlayan binalar belirlemekte ve ilkim değişikliğinin etkisini azaltmaktadır. Sonuç olarak iklim krizini önlemek veya etkisini azaltmak için sürdürülebilir binalar bütünleşik bir sistemle tasarlanıp proje aşamasında BIM destekli yazılımlar ve analiz araçların kullanılması teşvik edilmelidir. Binaların performanslarını değerlendirmek için BIM destekli analiz yazılımlarının mimari tasarımın farklı aşamalarına entegre edilmesi önerilmektedir. Böylece kullanıcıların sağlık ve konforunu korumanın yanında kaynakların da korunup gelecek nesillere aktarılması sağlanabilir.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Sürdürülebilir Bina, Bütünleşik Tasarım, Yapı Bilgi Modellemesi

ABSTRACT

In recent years, natural disasters such as fires, floods and severe hurricanes that have occurred both in the world and in Turkey have been increasing, but also they threaten the environment. These disasters indicate that the natural system is deteriorating and serious environmental problems occur. The built environment also dramatically impacts the formation these problems, which are increasing with climate change and damaging the natural environment. Buildings that harm the natural environment and pollute the environment are growing. In order to prevent these buildings that disrupt the balance of the natural ecosystem, attention should be paid to the environmental sensitivity of building designs and applications. The study emphasizes the importance of sustainable buildings in the face of climate change and focuses on how effective integrated design is in creating sustainable buildings. Building Information Modeling (BIM) has been discussed in order to provide integrated design and to make analyses at the project stage. BIM provides optimization of the performance of the building as a whole an

¹ Corresponded Author: Dicle Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, kbrkchnn@gmail.com, 0000-0002-6078-2302.

² Dicle Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, ctakin@dicle.edu.tr, 0000-0001-9658-7712.



integrated approach based on inter-system interaction with a multidisciplinary study from the first step of the design. The types of BIM applied analysis that support sustainable design are described. Simulations for these analyzes determine buildings that provide more sustainable high performance and reduce the impact of climate change.

As a result, the use of BIM-supported software and analysis tools should be encouraged at the project stage in order to prevent or reduce the impact of the climate crisis. It is proposed to integrate BIM-supported analysis software at different stages of architectural design to evaluate the performance of buildings. In addition to protecting the health and comfort of people, resources must be protected and passed on to future generations.

Keywords: Climate Change, Sustainable Building, Integrated Design, Building Information Modeling (BIM)

GİRİŞ:

İnsan faaliyetleri sonucunda artış gösteren sera gazları çevreyi kirleterek iklim değişikliğine yol açmaktadır. Kuraklık, seller, şiddetli kasırgalar gibi hava olaylarının artması, deniz seviyelerinin yükselmesi ve buzulların erimesi gibi etkiler iklim değişikliğinin göstergesidir. Bu etkiler ekosistemde bozulmalara neden olurken tüm canlı türleri için risk oluşturmaktadır. Son yıllarda gerek Dünya’da gerek Türkiye’de meydana gelen yangınlar, seller, şiddetli kasırgalar gibi doğal afetler artmakla birlikte çevreyi tehdit etmektedir (Şekil 1). Bu felaketler doğal sistemin bozulduğunu ve ciddi çevre sorunlarının oluştuğunu göstermektedir. Düşük yağış ve yüksek hava sıcaklıkları ormanları ve diğer bitki örtüsünü kurutarak orman yangını potansiyelini artırmaktadır. Müdahale edilmesi zorlaşan orman yangınları kuraklığın artışının göstergesidir. İklim değişikliğiyle artış gösteren ve doğal çevreye zarar veren bu sorunların oluşmasında yapılı çevrenin de büyük bir etkisi vardır.



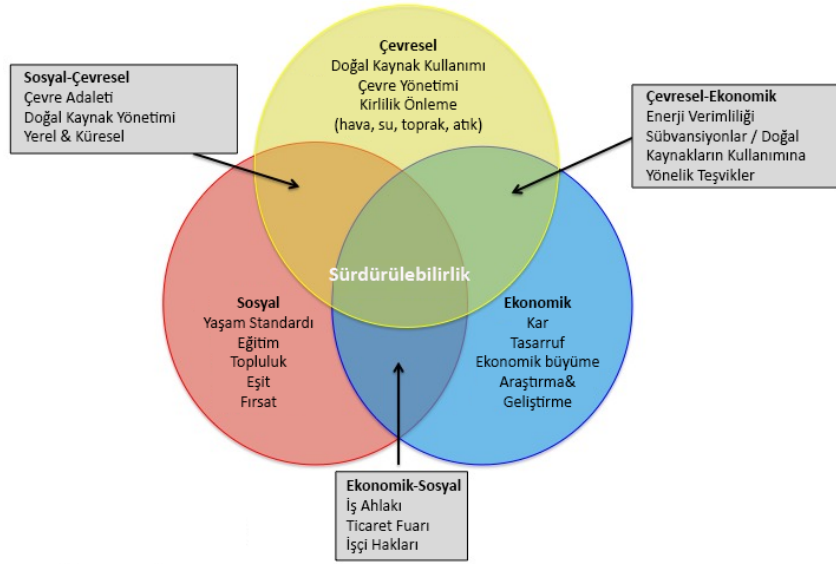
Şekil 1. Dünya’da ve Türkiye’de meydana gelen yangınlar ve sel felaketleri (URL1, URL2, URL3)

İklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmak ve doğal sistemin dengesini korumak için çevreye duyarlı sürdürülebilir binalar önem kazanmaktadır. Sera gazlarının artışını önlemek için binalarda daha çok yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması gerekmektedir. Enerjinin korunumunun sağlanması, su tasarrufunun yapılması ve malzeme korunumuna dikkat edilip doğal malzeme kullanımına öncelik verilmesi gerekmektedir. Bu gereksinimleri karşılayan, enerji tüketimini azaltıp enerji verimliliğini arttıran sürdürülebilir binalara talep artmaktadır. Çalışmada iklim değişikliği karşısında sürdürülebilir binaların önemi vurgulanırken bütünlük tasarımının sürdürülebilir binaları oluşturmada ne kadar etkili olduğu üzerinde durulmuştur. Sürdürülebilir bina tasarımları daha çevreci bir dünyaya katkı bulunacağı için ekolojik duyarlılığa dayalı disiplinler arası ve entegre çalışma gruplarının önemi de artmaktadır. Entegre tasarımı sağlamak ve proje aşamasında analizler yapmak için sistemler arası etkileşime dayalı bütünlük çalışmayı destekleyen Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) ele alınmıştır. BIM tasarımının başından itibaren multidisipliner bir çalışmayla binanın bir bütün olarak performansının optimize edilmesini sağlamaktadır. Bu makalede sürdürülebilir tasarımı destekleyen BIM uygulamalı analiz çeşitleri açıklanmıştır. Bu analizler için yapılan simülasyonlar daha sürdürülebilir ve yüksek performanslı binaların tasarlanmasını mümkün kılarak iklim değişikliğinin etkisini azaltmaktadır. Ayrıca günümüzde sürdürülebilir bina projelerinde BIM destekli analiz yazılımlarının kullanılması ile sağlıklı doğal çevrenin sürdürülmesine katkıda bulunmaktadır.

1. Sürdürülebilir Binalar

Yapılı çevre tasarımı, canlı türlerinin yaşamlarının devam etmesinde, iklim değişikliği ve olumsuz çevre gelişimi yüzünden tehdit altında olan çevrenin sürdürülmesinde ve korunmasında etkili bir yer tutmaktadır (Utkutuğ, 2011). Bunun için yapılı çevre tasarımında birçok canlı türünün yaşamını ve insan ilişkilerinin verimli ve sağlıklı olmasını göz önünde bulundurarak tasarlanması önem kazanmaktadır. Sürdürülebilirlik ile çevreye en az müdahaleye ve çevreyle uyuma dikkat edilerek ekolojik dengenin sürdürülmesine katkı sağlanmaktadır.

USGBC (Amerika Birleşik Devletleri Yeşil Bina Konseyi), sürdürülebilirlik ile ilgili yeniliklerin geniş kapsama yayılmasından dolayı; yeşil binalar, yüksek performanslı binalar, sürdürülebilir tasarım gibi terimleri birbirlerine alternatif kullanılabilecek kelimeler olarak karşımıza çıkarmaktadır. Genelde bu terimler, bulunduğu toplumun şartlarına göre binanın çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerini ele almaktadır (Yılmaz, 2012). Sürdürülebilirlik çevresel, sosyal ve ekonomik gelişimi bir arada içinde barındıran kapsamlı bir kavramdır (Şekil 2). Çalışmada sürdürülebilirliğin çevresel (ekolojik) boyutu üzerinde durularak çevre gelişimi ve enerji korunumu ele alınmıştır.

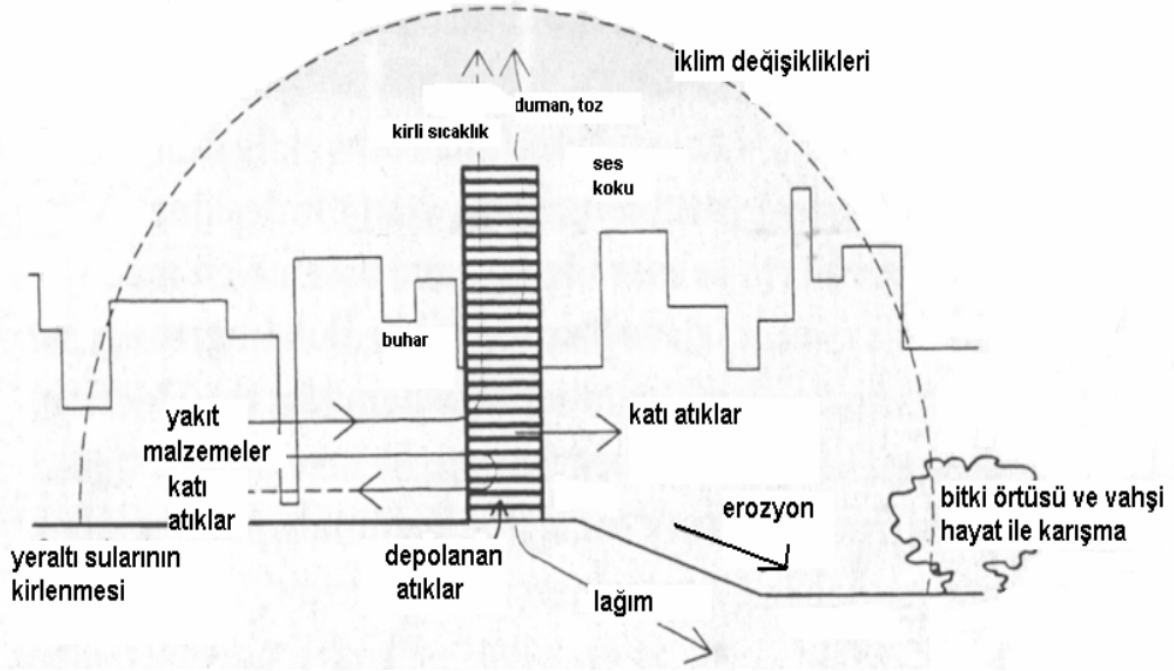


Şekil 2. Sürdürülebilirliğin üç temel bileşen ile ilişkilendirilmesi (Saulters, 2012'den çevrilerek)

Farklı bağlamlar çerçevesinde içeriği zenginlik kazanmış olan sürdürülebilirlik kavramının çevreci yaklaşımları, bugünün kaynaklarının gelecek kuşaklara da aktarılabilmesiyle birlikte günümüzde ve gelecekte evrensel olarak insan nesilleriyle birlikte ekosistemlerin uyumlu birlikteliğinin sosyal, ekonomik ve çevresel önceliklerinin ilkeleri olarak karşımıza çıkmaktadır (Utkutuğ, 2011). Sürdürülebilirlik çevre açısından yenilenebilir kaynakların yerinde ve yeteri kadar kullanılmasıyla ekosistemin işleyişini gözetmelidir (Paker, 2017). Gündelik yaşamda sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda tasarımlar gerçekleştiğinde geleceğe daha sağlıklı ve etkin ulaşımı sağlar. Çevresel sürdürülebilirlik kaynakların korunumunu ve ekolojik dengeyi sağlayarak iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini de azaltmaktadır.

Sürdürülebilir bina tasarımında temel amaç, fosil yakıt kullanımını azaltarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak, atık miktarını ve kirlilik düzeyini minimum düzeye indirerek yaşayanlar için sağlıklı ve verimli ortamlar oluşturmaktır (Özcan ve Erol, 2018). Sürdürülebilir mimarlık kavramının ortaya çıkmasıyla insanlar, gelişen teknolojiyle birlikte doğayı ve insan sağlığını korumayı önceleyen, malzemeleri, suyu ve enerjiyi etkin kullanabilen yapılar tasarlamayı hedeflemektedir (Paker, 2017). Şekil 3'te görüldüğü gibi yapı sisteminde kullanılan malzemeler çevreyi kirletecek ve olumsuz etkileyecek şekilde dış ortama verilmektedir. Dış ortamda zehirli gaz ve atık olarak yayılım

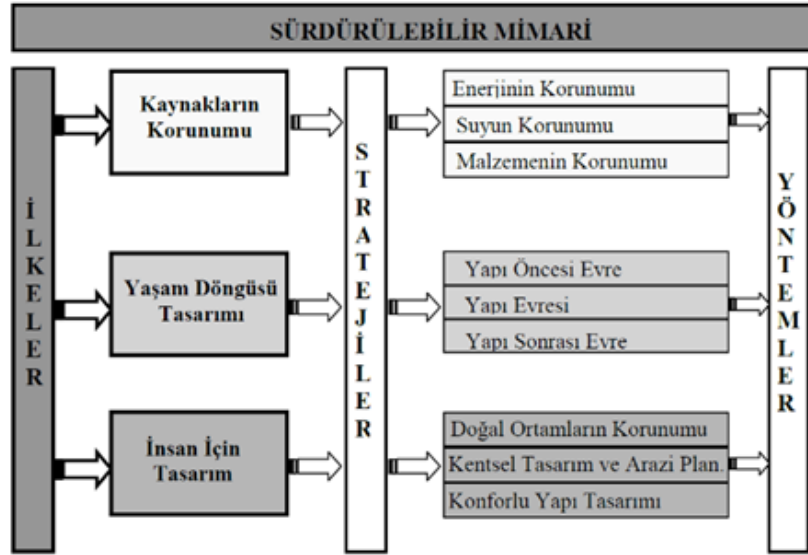
göstermektedir. Yapıda girdi olarak kullanılan malzemeleri azaltmak, dış ortama atık olan fazla ve işlevsiz kaynak harcanmasından kaçınmak ve kaynak korunumunu ve verimini artırmak sürdürülebilirlik ile sağlanmaktadır. Yapı bulunduğu alanın iklimi, coğrafi özellikleri, gereksinim miktarı gibi iç ve dış faktörleri göz önünde bulundurarak ve gelişen teknolojiye yararlanarak tasarlanmalıdır. Bu faktörler doğrultusunda yenilenebilir doğa dostu çevresel kaynakların kullanımı ile sürdürülebilir ve sağlıklı yapılar çevrenin oluşması sağlanmaktadır.



Şekil 3. Yapının çevre üzerindeki etkileri (Özmehmet, 2005)

1.1. Sürdürülebilir Bina İlkeleri

Sürdürülebilir binaların gelecek nesillere aktarılması ve çevre sorunlarının minimize edilmesi için tasarımlarında dikkat edilmesi gereken bazı ilkeler bulunmaktadır. Bunlar; kaynakların korunumu, yaşam döngüsü tasarımı, insan için tasarım olarak sayılmaktadır. Şekil 4 detaylı olarak incelendiğinde, sürdürülebilir tasarımın üç temel ilkesi görülmektedir (Şenel, 2010). Bu ilkeler doğrultusunda çalışmada kaynakların korunumu üzerinde durulmuştur. Kaynakların korunumu ilkesinde; enerjinin korunumu, suyun korunumu ve malzemenin korunumu üzerinde durularak sürdürülebilir bina tasarımı ele alınmıştır.



Şekil 4. Sürdürülebilir mimarlık için geliştirilen kavramsal çerçeve (Şenel, 2010)

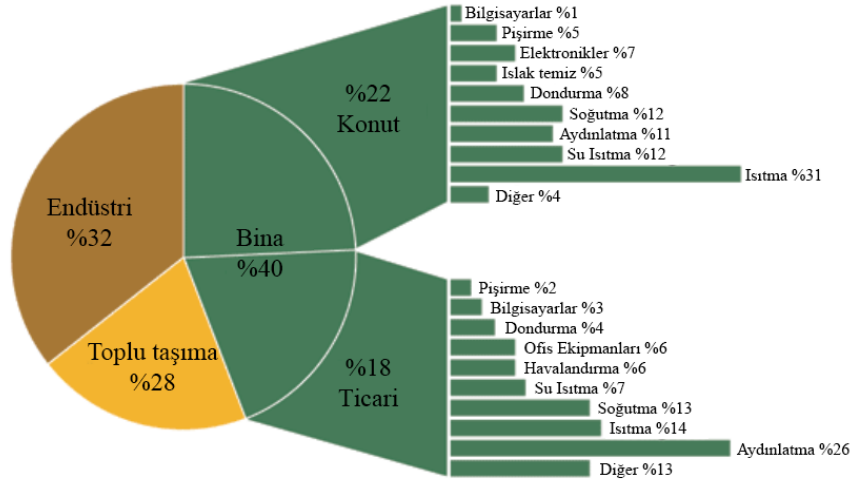
1.1.1. Kaynakların Korunumu

Binalar ve yerleşimler sera gazı salınımının %40'ından, su tüketiminin yaklaşık %12'sinden, atıkların %65'inden ve elektrik kullanımının da %71'inden sorumludur (Sur, 2020). Binaların tükettiği enerji ve çevreye yaydığı zararlı gaz miktarları iklim sorununun sebebi olarak görülmektedir. Bu yüzden binalarda kaynakların korunumu önem kazanmaktadır.

Sürdürülebilir binaların kaynakların korunumu ilkeleri; enerji korunumu, suyun korunumu, malzeme korunumu olarak 3'e ayrılmaktadır. Günümüzde artan kaynak tüketiminin başlıca etkeni binalar oluşturmaktadır. Tüketimin artması ve üretimin azalması sistemde dengesizlik oluşturarak ekolojik sorunlara neden olmaktadır. Bunun için yapılarda tüketimin minimize edilerek doğal kaynak kullanımları artırarak kendi kendine üretebilen ve tüketebilen binaların tasarlanması ile doğaya verilen zararın önüne geçilebilir.

Enerjinin Korunumu

Dünya'daki enerji tüketiminin %40-50'sinin bina yapım veya kullanım aşamasında kullanılmaktadır. Enerji etkin yapı tasarımı, mimari tasarım sürecinde iklim, yön ve hâkim rüzgâr gibi değişken fiziksel çevre verilerinden yararlanarak, enerjiyi verimli kullanmaya yönelik tasarım yapılması olarak tanımlanabilir (Uşma ve Akıncı, 2019). Son yıllarda binalarda enerji tüketimindeki artış iklim değişikliği ve çevre kirliliği gibi sorunların oluşmasının başlıca nedeni haline gelmiştir. Binanın yaşam döngüsü boyunca ısıtma, soğutma, aydınlatma gibi faktörlerin de etkisiyle enerji tüketimi devam etmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Bina yaşam döngüsünde enerji tüketimi (URL4)

Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak zararlı yakıtların önüne geçilip çevreye zarar vermeyen enerji kaynaklarının kullanımı sağlanabilir. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi veya jeotermal enerji gibi temiz enerji kaynakları kullanılabilir. Binalarda enerji korunumunu sağlamak için teknolojinin olanaklarından faydalanıp daha az enerji tüketimi ve çevre kirliliği sağlanabilmektedir.

Suyun Korunumu

Gelecekte olası su sorunlarına karşı yapılarda suyu etkili kullanmak ve suyun korunumunun sağlanması gerekmektedir. Su korunumundaki temel amaç, yapıda kullanılan su miktarının kullanımını azaltmaktır. Yapıda su korunumu sağlandığı durumda suyun temizlenmesi ve dağıtımı için ihtiyaç duyulan enerjiden de tasarruf elde edilmektedir (Yetkin, 2019).

Suyun korunumu ilkesi ile mevcut ekosistemde azalan su kaynağı korunumu sağlanmaktadır. Yağmur suyu toplama sistemleri ile toplanan suların arıtılarak bina içerisinde kullanımı sağlanabilir. Binalarda kullanılan suyun arıtılarak tekrar kullanılmasını sağlayarak çevredeki yeşil alanların sulanmasında kullanılabilir. Böylece suyun daha verimli kullanımı sağlanmakta ve atık miktarı azaltılmaktadır.

Malzemenin Korunumu

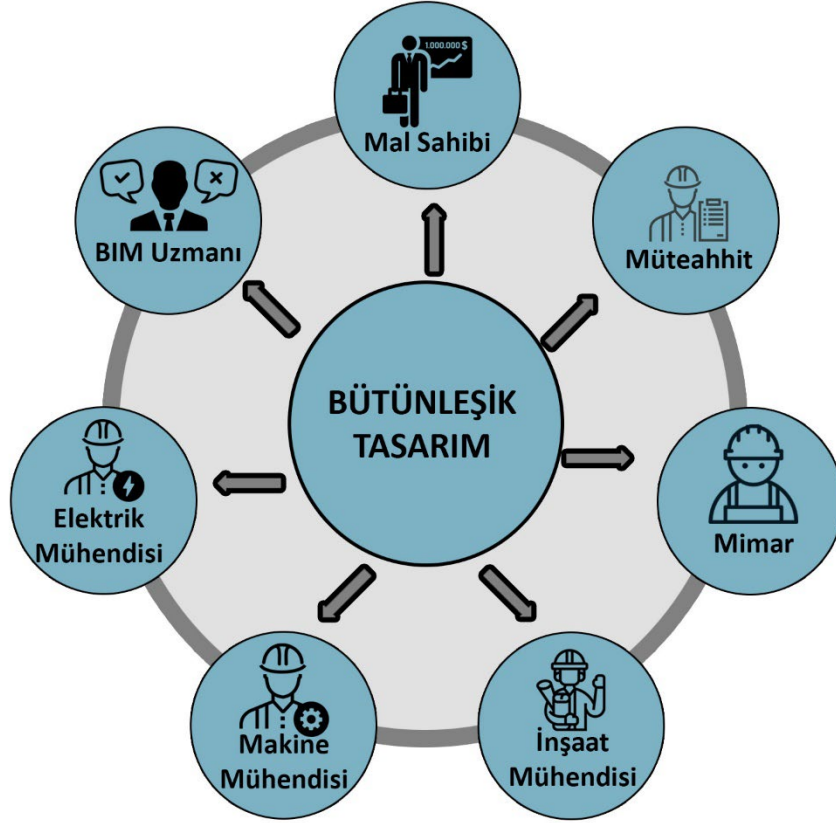
Yapı oluşturulduğunda yapının malzemeleri, ürünleri ve bileşenleri önemli bir kaynak olarak kullanılmaktadır. Bundan dolayı malzeme kullanımı; kaynakların korunumu, doğal hammaddenin korunması ve çevresel etki gibi birçok yönden önem taşımaktadır (Şenel, 2010).

Malzemenin korunumuna ilişkin mevcut yapıların yenilenecek yeniden işlevlendirilmesi, modüler veya standartlaşmış yapı elemanları kullanarak tasarımlarda malzeme korunumu sağlayan mimari tasarım, geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı gibi kriterler göz önünde bulundurularak malzemelerin korunumu ilkesi sağlanmaktadır. Malzeme kullanımını minimize ederek doğal malzemelerin kullanımı ve yerel malzeme seçimi ile yapılarda malzeme korunumu sağlanır. Yapılarda kullanılan malzemelerin de geri dönüşümü yapılarak tekrardan kullanımına olanak verilebilir. Atık malzemelerin ayrıştırılıp geri dönüşümlü kullanılması ve malzeme kullanımının minimize edilmesiyle çevreye verilen zararlı atık miktarı azaltılabilir.

2. Bütünleşik Tasarım

Tasarımın ilk adımından itibaren sürdürülebilirlik hedeflerini öncelikle yapıнын tasarımı, üretimi, kullanımı, işletimi, bakımı- onarımı ve dönüştürme süreçlerini içerecek şekilde binanın bütüncül olarak performansının optimize edilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşımla uygulanan bütünleşik tasarım, multidisipliner bir ekibe ve sistemler arası bir etkileşime dayalı bir sistemdir (Utkutuğ, 2011) (Şekil 6). Bütünleşik tasarım bina sistemleri arasındaki ve bu sistemleri yöneten ekip üyeleri arasındaki iş birliği sürecidir.

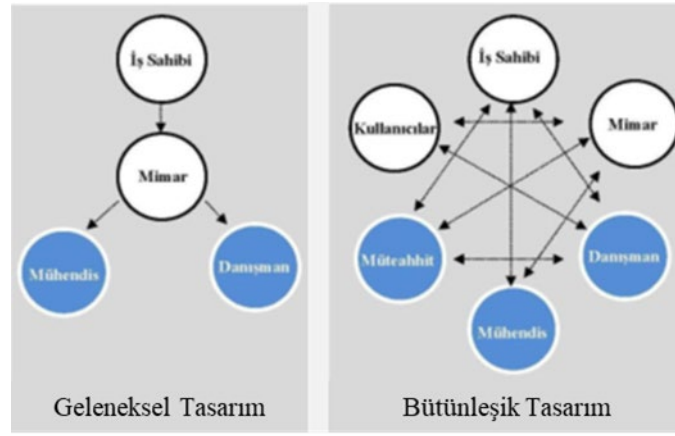
Bina tasarım süreci karmaşık bir bütünün bir arada bulunduğu ve birlikte gelişimin sağlandığı sistemdir. Yapım sektörü, çeşitli tasarım yönetim sistemleri ile ilgili birçok bilgiyi, araştırmayı ve işlem sürecini içermektedir (Yılmaz, 2012).



Şekil 6. Bütünleşik tasarım proje ekibi sistemi (URL5'ten uyarlanarak)

Bütünleşik tasarım sürecindeki karmaşıklığı bir düzene koyup proje içerisinde bulunan ekibin koordinasyonlu bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Projenin başlangıç aşamasında karar verme işlemi ve katılımcıların doğru sıra ile sürece dahil olmaları projenin hızlanmasını ve verimliliğini artırmaktadır.

Şekil 7'de gösterildiği gibi, bütünleşik tasarım sürecinde katılımcılar arası çok yönlü bir ilişki ve kapsamlı birbiri içine girmiş bir takım çalışması görülmektedir. Buna karşın geleneksel tasarım sisteminde katılımcılar arası tek yönlü ve lineer bir ilişki bulunmaktadır. Tüm katılımcıların sürece dahil olması, geleneksel tasarım sisteminde karşılaşılan hatalar, maliyet ve süre artışları gibi faktörlerin önüne geçilmektedir (Yılmaz ve ark., 2010). Bütünleşik tasarım sisteminin proje aşamasında uygulanması ve sürdürülebilir bina analizlerinin yapılması için yapı bilgi modellemesinin (BIM) kullanılması etkili bir yöntem olarak sunulmaktadır.



Şekil 7. Geleneksel ve bütünlük sistemin katılımcılar açısından karşılaştırılması (Yılmaz ve ark., 2010)

Bütünlük tasarım, sürdürülebilir tasarım sürecinin pratikleşmesini sağlamaktadır ve yapının hayat döngüsündeki tüm bileşenlerini kapsamaktadır (URL6). Yapının yaşam döngüsünde bütünlük tasarım geleneksel tasarım yaklaşımına göre daha çok avantaj sunmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1: Geleneksel Tasarım ile Bütünlük Tasarım yaklaşımları arasındaki fark (URL6)

Geleneksel Tasarım Yaklaşımı	Bütünlük Tasarım Yaklaşımı
Tasarım süreci lineerdir.	Yapıya ilişkin enerji ihtiyacı, çevresel etkiler, doğal kaynak kullanımı ve kullanıcı ilişkileri bir bütün olarak ele alınır.
Ekip elemanları gerektiğinde sürece dahil olur.	Ekip elemanları tümüyle süreç içindedir.
Daha çok karar, daha az kişiyle alınır.	Kararlar ekiplerle alınır.
Maliyet önceliklidir.	Yaşam döngüsünde maliyet ve faydalar önceliklidir.
Her sistem tek başına incelenir.	Tam bir optimizasyon için sistemlerin birbirleriyle ilişkilerine önem verilir.
Erken aşamada daha az zaman, enerji ve iş birliği vardır. Çoğu zaman diğer iş gruplarıyla iletişim sağlanmadan iş yürütülür.	Disiplinler arası iş birliği ilk adımda başlar ve projenin başlangıç süreci uzundur. Süreç içerisinde ekip birbirlerinden bilgileri alarak iş yürütülür.

3. Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)

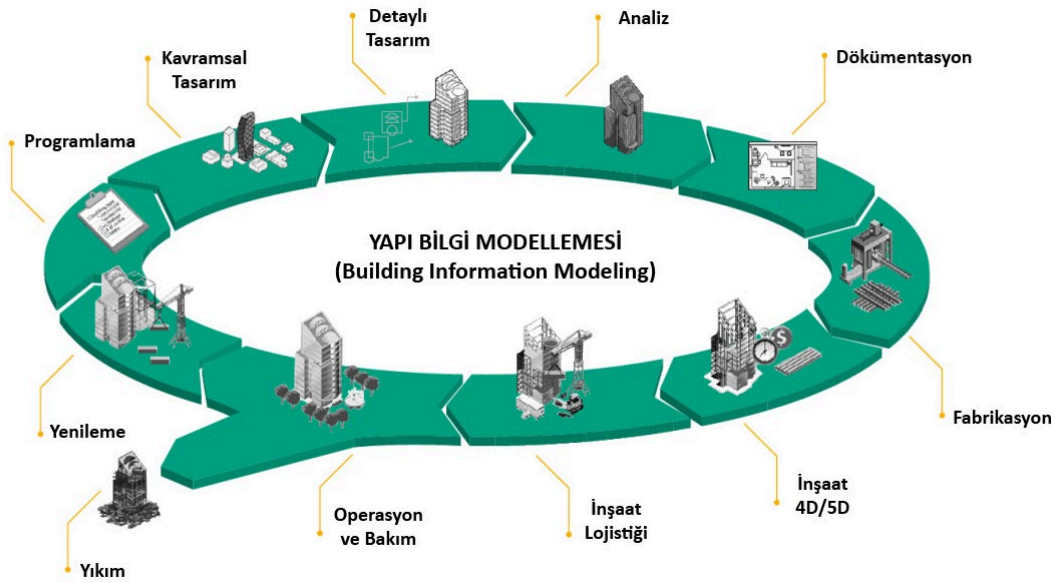
Yapıların çevreye verdikleri zararlar, enerji tüketimleri ve iklim değişikliği göz önüne alındığında sürdürülebilir binaların önemi artmaktadır. Sürdürülebilir binaların ve bütünleşik tasarımın uygulanmasında yapı bilgi modellemesi (BIM) büyük bir önem taşımaktadır. Sürdürülebilirlik, bütünleşik tasarım ve BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) birbiriyle ilişkili olup tasarım sürecinde birbirini destekleyen kavramlardır (Şekil 8). Geri bildirimler sayesinde tasarım alternatifleri değerlendirilerek ideal sonuca varma imkânı sunulmaktadır. BIM, tasarım başlangıcından sonuna kadar uygulandığında ve analizler ile desteklendiğinde daha verimli ve sürdürülebilir sonuçlar elde edilmektedir. Tasarım aşamasında uygulanacak bu modellerle çevre sorunları minimize edilebilmekte ve iklim değişikliğinin etkisini de azaltabilmektedir.

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ↔ BÜTÜNLEŞİK TASARIM ↔ BIM (YAPI BİLGİ MODELLEMESİ)

Şekil 8. Sürdürülebilirlik, bütünleşik tasarım ve BIM ilişkisi

Şekil 9’da görüldüğü gibi yapı bilgi modellemesi (BIM) bir yapıda tasarım, projelendirme, yapım, tesis yönetimi, yeniden kullanım ve yıkım evrelerine kadar olan yaşam döngüsünün tümünde kullanılabilir. BIM, projenin tasarım ve yapım sürecini adım adım izlenebilen, gerektiği anda müdahale edilebilmesine imkân veren üç boyutlu bir platformdur. Bu özelliği ile BIM sistemi yapım aşamasında dahi revizyon kolaylığı imkânı sunabilmektedir (Özcan ve Erol, 2018). BIM 3 boyutlu bir model olmakla birlikte sürekli geliştirilebilen, yapıyla ilgili tüm bilgileri de içeren yönetim ve bilgi paylaşım aracıdır (Sur,2020).

BIM yapıların başlangıç aşamasından başlayarak planlı bir şekilde sürecin işlenmesini sağlamaktadır. Fiziksel çevre ve malzemenin etkisini analiz ederek sayısal ve grafik çıktılar elde edilmektedir. Bütünleşik bir sistemle çalışıldığı için yerinde müdahaleler kısa sürede ve verimli bir şekilde uygulanmaktadır. BIM yapı ile ilgili bilgileri kaydedip depoladığı için yapının yaşam süreci boyunca verimliliğini sağlamakta ve diğer yazılımlardan farklı bir yol izlemektedir.



Şekil 9. Projenin yaşam döngüsünün BIM ile ilişkisi (URL7)

Geleneksel CAD tasarım süreci, proje dokümantasyon sürecinde iken daha fazla çaba ve maliyet gerektirmektedir. BIM sürecinde ise proje sürecinin başında daha fazla çaba gerektirir ve tasarım geliştirme aşamasında düşüşe başlamaktadır. Tasarım süreci boyunca yapılan değişikliklerin CAD programlarında daha düşük değere sahipken BIM ile yapılan değişikliklerde ise daha fazla değere sahip olmaktadır (URL8). Buradan yola çıkarak BIM yazılımları ile sonradan değişiklik yapmak daha az çaba, zaman ve maliyet gerektiğini görebilmekteyiz. Böylece sürdürülebilirlik için daha fazla analiz yapma olanağı doğmaktadır. Yapılan analizler ile çoklu seçenekler arasından verimliliği yüksek olan model seçilip uygulanabilir.

Sürdürülebilirlik, BIM'in altıncı boyutu olarak kabul edilmektedir ve bina projesinin enerji tüketiminin kavramsal aşamada tahmin edilmesini sağlamaktadır. BIM, binaların mümkün olan en iyi sürdürülebilir şekilde planlama, tasarım, inşaat, işletme, bakım ve hizmetten çıkarılmasına yardımcı olmaktadır. İnşaat sektöründe BIM'in kullanıldığı sürdürülebilirlik uygulamaları, sağlıklı yapılı bir çevre yaratmakla birlikte sosyal, çevresel ve ekonomik kaygıları dengeli bir şekilde karşılamaktadır (Khan,2019). BIM'in sürdürülebilirlik boyutu ile binaların performans analizleri yapılabilmektedir. 6B sürdürülebilirlik boyutu, bina çevresine duyarlı ve yüksek performanslı sürdürülebilir bina tasarımına imkân vermektedir (Şekil 10).



Şekil 10. BIM ile model tabanlı çok boyutlu çalışmada 6B sürdürülebilirlik boyutu (Oflluoğlu, 2021)

Bina sürdürülebilirliği için BIM'in planlamada ve tasarımda destek olabileceği kriterler aşağıdaki gibi özetlenebilir (Ölçer, 2020);

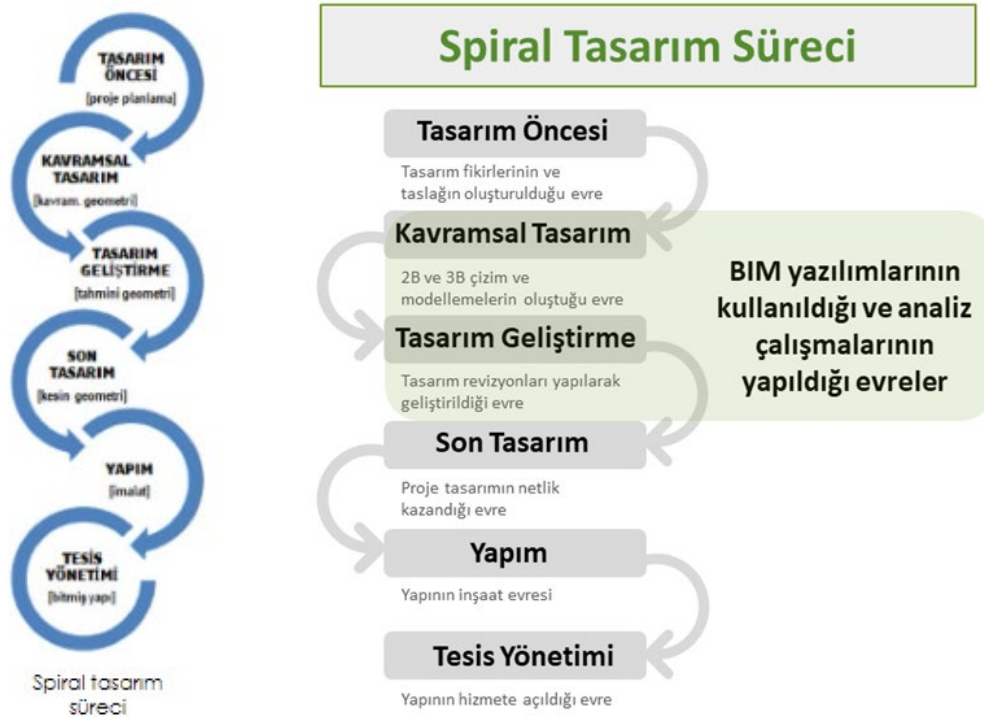
- Enerji maliyetlerini azaltabilecek iyi bir yönelim seçmek (binanın yönelimini belirlemek)
- Bina formunun ve bina cephesinin optimizasyonu için çeşitli faktörlerin analizi (bina kütlesini analiz etmek)
- Gereksiz enerji tüketimini önlemek için yapay ışık sayısını azaltmak (güneşiği analizi yapmak)
- Bir binadaki su gereksinimini azaltmak (su toplama potansiyelini analiz etmek)
- Enerji ihtiyaçlarını azaltmak veya yenilenebilir enerji kullanımlarını analiz etmek (bina enerji performansını modellemek)
- Geri dönüştürülmüş malzemeler kullanmak ve malzeme ihtiyaçlarını minimize etmek (sürdürülebilir malzemelerin uygunluğunu incelemek)
- Atıkları ve karbon ayak izlerini azaltmak (saha ve lojistik yönetimini tasarlamak)

Yukarıdaki kriterler ile BIM yazılımlarının bina sürdürülebilirliğine olan katkısı verilmiştir. Analizlerle bina performans değeri hesaplanır ve çevreyle olan davranışı incelenir. Gözlemler sonucunda verimliliği yüksek bina tasarımları seçilebilmektedir. Tasarım sürecinden önce BIM uygulamaların

kullanılmasına karar verilmeli ve bu doğrultuda hareket edilmelidir. Böylece bina yaşam döngüsü boyunca binanın ve çevresinin verimliliği hedeflenerek kullanım sağlanır.

Kaynakları verimli kullanmak adına tasarım sürecinin başında alınan kararlar önemli sonuçlar vermektedir. Özellikle kavramsal tasarım aşamasında bazı analizlerin zorlanmadan yapılabilmesi önemli avantajlar sunmaktadır. BIM uygulamaları ile yapının sanal modeli inşa edildiğinden dolayı yön ve form açısından optimum yerleşim, rüzgâr, gölge, gün ışığı, aydınlatma ve akustik gibi bazı faktörlere ilişkin analizlerin yapılabilmesi için gerekli veriyi sağlamaktadır (Savaşkan, 2015).

Sürdürülebilir yüksek performanslı bina tasarlama süreci spiral bir döngüye sahiptir. Şekil 11'de görülen bina tasarım süreçlerin kavramsal tasarım evresinde ve tasarım geliştirme evresinde BIM yazılımlarının kullanılması projenin gelişmesinde katkılar sunmaktadır.



Şekil 11. Yüksek performanslı sürdürülebilir bina tasarım süreçlerinde BIM kullanımı, Ofluoğlu, 2018'den uyarlanarak (URL9)

3.1. Sürdürülebilir Tasarımlar İçin BIM Destekli Analiz Çeşitleri

BIM tabanlı yapı modeli performansını ölçen simülasyon yazılımları sayesinde yapı inşasından önce sanal ortamda oluşturulan 3B model ile binanın performansı belirlenebilmektedir. Bu yazılımlarla tespit edilen problemler alanlara erken aşamada çözümler üretilebilmektedir. BIM kullanılarak yapılan görselleştirme ve koordinasyon sayesinde sürdürülebilir bina projeleri için yüksek kalite sunarak minimum atık çözümlerine ve çevreye katkı sağlamaktadır (Gurgun, 2021).

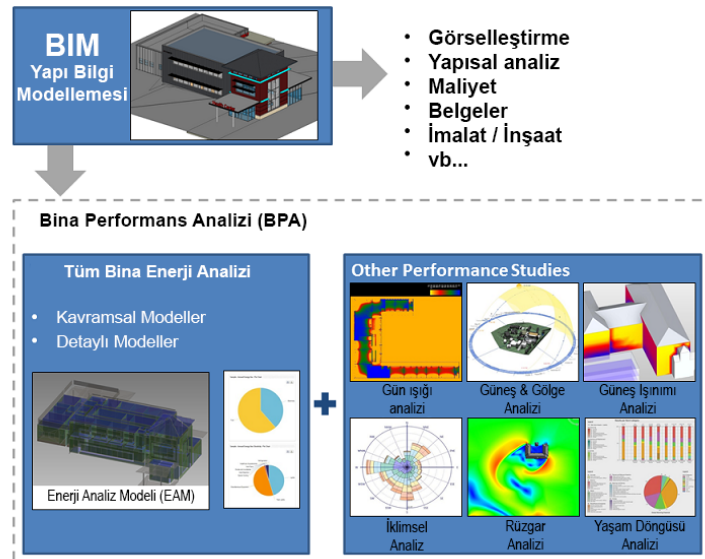
Sürdürülebilir tasarımlar BIM desteği ile daha yüksek performans sağlamaktadır. BIM uygulamaları kapsamında bina performansını analiz eden yazılım çeşitleri bulunmaktadır. Bu yazılım çeşitleri sürdürülebilir bina tasarımına katkı sağlamaktadır. Proje aşamasında analiz çalışmaları ile binaların performans değerleri hesaplanır. Simülasyonlarla yüksek performanslı bina optimizasyonu sağlanır. Yazılımların proje içerisinde doğru bir şekilde kullanılması iklim değişikliği ile ilgili olan sorunların oluşmasını minimize ederek daha sağlıklı ve konforlu alanlar sunmaktadır.

İklim değişikliği sorununu çözmeye çalışmanın önemli yollarında biri verimliliği yüksek tasarımlar üretmektir. Yüksek verimlilik, maliyetleri (enerji ve malzeme kaynakları gibi girdileri) en aza indirirken, değerleri (sonuçları) en üst seviyeye çıkarmayı hedeflemektedir. Yüksek verimlilik ve iklim değişikliği üzerinde yapılan çalışmalar; enerji etkinliğiyle ilgili soruları başta sormak, model oluşturup simülasyon denemeleri yapmak, uzun vadeli çözümler üretmek, bütüncül bir yaklaşımla ele alarak çalışma içerisinde olan kişiler ve müşteri ile iletişim kurmak gibi kriterlere dikkat edilmelidir (Cameron, 2018).

BIM, tüm yapı yaşam döngüsü evrelerinde optimum koşulları sağlayabilmek için aşağıda verilen bazı analiz çeşitlerine ihtiyaç duymaktadır (Özcan ve Erol, 2018);

- İklimsel Analizler
- Enerji Yük Analizi
- Güneş ve Gölge Analizi
- Güneş Işınım Analizi
- Doğal Aydınlatma Analizi
- Rüzgâr Analizi
- Tüm Bina Enerji Analizi

Yapı modeli performansını ölçen simülasyon alanları sunan BIM yazılımları, yapı performansı, fiziksel çevre ve malzeme verileri dahil edilerek sayısal grafik çıktılarla test edilebilmektedir (Şekil 12). Özellikle yapı ve biçimi ile ilgili temel kararların alındığı kavramsal tasarım evresinde yapı performansı ile ilgili verinin üretilebilmesi, bina performansının iyileştirebilmesi için tasarımın yeniden geliştirilebilmesine olanak tanımaktadır. Bina performansını önceden ölçen bu uygulamada bina yapımı ve işletimi sırasında ortaya çıkabilecek zorluklar, gecikmeler ve ilave maliyetler giderilebilmektedir (Ofloğlu, 2021).



Şekil 12. Autodesk Revit ortamında analiz alanları (URL10)

BIM, tasarımınızı tekrar tekrar test etmenize, analiz etmenize ve geliştirmenize yardımcı olabileceğinden sürdürülebilir tasarım için fayda sağlamaktadır. Bina Performans Analizi (BPA) ile simülasyonlar yapılır. BIM enerji analiz araçları, bir binanın enerji performansını ve bina sakinlerinin termal konforunu tahmin edebilir. Genel olarak, belirli bir binanın belirli kriterlere göre nasıl çalıştığını destekler ve farklı tasarım alternatiflerinin karşılaştırılmasını sağlar (Otu, 2016). Bu analizleri yapabilmek için bazı yazılım araçları kullanılmaktadır. Bunlara Autodesk Insight, Autodesk Green Building Studio, Autodesk CFD ve Ingrid Cloud örnek verilebilir.

Autodesk Insight; Revit'e entegre bina performans analiz yazılımıdır (Şekil 13). Bina yaşam döngüsü boyunca enerji ve çevresel performansın optimizasyonu için analizler sunmaktadır (URL11). Autodesk Insight, bina performans tasarımına bütünsel bir yaklaşım için enerji analizi, aydınlatma analizi ve güneş analizini entegre edilmesine izin veren ve bulut tabanlı bir enerji analizi yazılımıdır (Deepa ve ark., 2019).



Şekil 13. Autodesk Insight analiz çeşitleri (Autodesk, 2021)

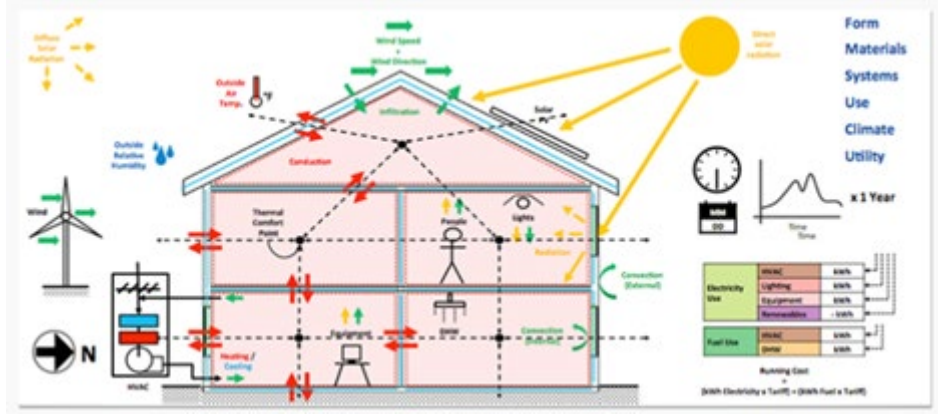
Şekil 14'de görülen Johnson Controls genel merkezi Gensler tarafından tasarlanan ofis binasıdır. Gün ışığı ve manzaraları en üst düzeye çıkarmak için iki uzun dikdörtgen bina oluşturulmuştur. Bina refahı, enerji verimliliği ve akıllı teknoloji kriterlerini üst seviyede tutarak tasarlanmıştır. Autodesk Insight kullanılarak yapay aydınlatma için kullanılan enerji miktarı azaltılmıştır. Binanın genel enerji tüketiminde yerel pazara kıyasla %45 enerji tasarruflu olması beklenerek tasarlanmıştır (URL12).



Şekil 14. Johnson Controls genel merkezi Asya Pasifik, Şangay, Çin (Autodesk, 2021)

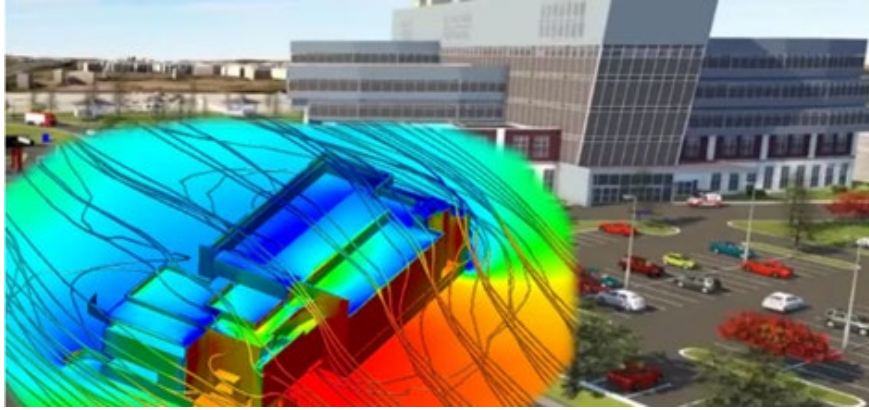
Autodesk Green Building Studio, enerji verimliliğini optimize etmek ve tasarım sürecinin başlarında karbon nötrlüğüne doğru çalışmak için bina performans simülasyonlarına olanak tanıyan esnek, bulut tabanlı bir yazılımdır. Tüm bina enerji kullanımını ve karbon emisyonlarını tasarım sürecinin başlarında optimize edilmesini sağlamaktadır. Green Building Studio®, geleneksel yöntemlere göre çok daha az zaman ve maliyetle yüksek performanslı binalar tasarlama imkânı sunmaktadır (URL13). Autodesk Green Building Studio, web tabanlı bir enerji analiz aracıdır. Tasarımın erken aşamalarında enerji verimliliğini optimize edilmesine, tüm bina performans analizi ile karbon nötr binalar üretilmesine

yardımcı olmaktadır. Tüm bina enerji, su ve karbon analizleri yapmak için GBS aracı kullanılabilir (URL14) Şekil 15).



Şekil 15. Autodesk Green Building Studio tüm bina enerji simülasyonu (Autodesk, 2021)

Autodesk CFD (Hesaplamalı akışkanlar dinamiği), analistlerin sıvıların ve gazların performanslarını tahmin etmek için kullandığı bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyon yazılımıdır (URL15). Autodesk CFD, bir bina çevresinde hareket eden havanın ve mekanlardaki mikro iklimleri görselleştirerek analiz etme imkânı sunmaktadır (Şekil 16). HVAC faktörü göz önüne alınarak CFD simülasyonları ile bina tasarımların mikro iklimleri, termal konforu ve hava kalitesi gibi etkilerin uyumluluğu analiz edilerek optimizasyonu sağlanmaktadır.



Şekil 16. Autodesk CFD bina analiz simülasyonu (Autodesk, 2021)

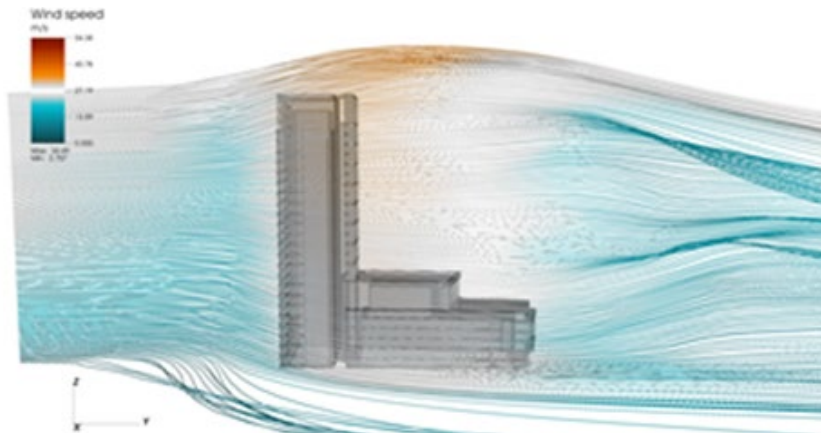
Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) aracıyla algoritmalar kullanılarak akışkan davranışlar ile ilgili sorunları bilgisayar simülasyonlarına yansıtarak analiz edip çözme amaçlı bir simülasyondur. CFD araçları projelere tasarım aşamasında yapılan analiz desteğiyle bazı ekstra maliyetler önlenmektedir (URL16).

Ingrid Cloud, rüzgâr enerjisi endüstrisi için CFD simülasyon hizmetleri sunmaktadır. CO2 emisyonlarını azaltmada katkıda bulunan bu yazılım kara ve açık deniz projeleri için etkili rüzgâr simülasyonları sağlamaktadır (URL17). Şekil 17'de görüldüğü gibi Ingrid Cloud yazılımı rüzgâr performansını birden fazla bina ile karşılaştırmak için rüzgâr skoru, coğrafi konuma dayalı rüzgâr verileriyle rüzgâr konforunu ve komşu bölgedeki binalara ve rüzgâr etkilerine göre rüzgâr yükünü simüle edip bina performansını değerlendirebilmektedir.



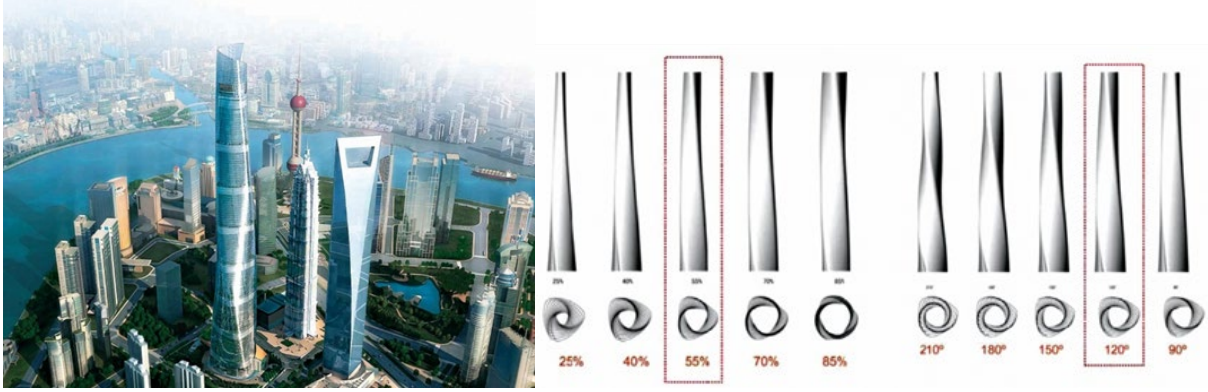
Şekil 17. Ingrid Cloud ile bina çevresinde yapılabilen rüzgâr simülasyonları (Ingrid Cloud, 2021)

Bulut tabanlı bir yazılım olan Ingrid Cloud, kullanıcıların hesaplamalı akışkanlar dinamiği otomatik rüzgâr simülasyonları uygulanmasına olanak tanımaktadır (Şekil 18). Proje tasarım aşamasında Ingrid Cloud rüzgâr simülasyonlarını uygulamak tasarımda zaman ve maliyet konusunda avantaj sağlamaktadır. Rüzgâr simülasyonları, endüstriler arasında ve geleceğin şehirlerini tasarlarken tasarım optimizasyon aracı haline gelmektedir (Silvi, 2020).



Şekil 18. Rüzgâr yükü simülasyonu (Ingrid Cloud, 2021)

Şekil 19 'da görülen Şangay Kule cephesinin asimetrisi, daralarak yükselen kule formu ve bina kütlelerinin yuvarlak köşeleri sayesinde rüzgâr yüklerine karşı performatif form ve strüktür geliştirilmiştir. Katmanlı konstrüksiyon ile inşa edilmiş, karma kullanımlı ve “sürdürülebilir” olarak nitelendirilen bir binadır. Rüzgâr testleri sayesinde kule yanal yüklerini %24 oranında azaltacak olan %55'lik bir daralma açısı ve aksel olarak 120 derece döndürülmüş formda belirlenmiştir. Rüzgâr testleri ile daha sürdürülebilir form oluşturulurken aynı zamanda maliyet konusunda da ciddi azalmalara sebep olmaktadır. Isıtma-soğutma enerjisinden tasarruf sağlamak ve güneşin istenmeyen etkilerinden kaçınmak için etkin cephe sistemlerinden çift kabuk cephe sistemleriyle (termos gibi davranan) binanın enerji etkinliği artırılmıştır. Ayrıca saydam cephe ile yapının doğal olarak iklimlendirilmesi sağlanmıştır. (URL18).



Şekil 19. Solda Şangay Kulesi sağda rüzgâr testleri ile form seçimi, Şangay, Çin (URL18)

SONUÇ VE ÖNERİLER:

Çevreye salınan sera gazlarının ve binalarda tüketilen enerjinin artması iklim değişikliğinin en önemli faktörü olmuştur. Çevreye zarar veren bu emisyonların etkisini azaltmak veya sıfır düzeyine düşürmek için yapıları çevreyi oluşturan binaların sürdürülebilir ve bütünleşik bir tasarım ile uygulanması önem kazanmıştır. Ayrıca binalarda enerji tüketimini azaltmak ve bina verimliliğini artırmak için sürdürülebilir ve bütünleşik tasarımı destekleyen yapı bilgi modellemesi (BIM) yazılımlarının kullanılması önerilmektedir.

Tasarım geliştirme aşamasında BIM tabanlı analiz ve hesaplama araçları ile bina performans analizleri yapılır ve çevreye verilen etkiler değerlendirilir. Bu evrede simülasyonlarla analiz yapılmasında kolaylık, süre tasarrufu ve daha çok analiz yapma imkânı sağlanır. Analizler ve geri bildirimlerden beslenerek çevre dostu ve sürdürülebilir binalar seçilebilmektedir. İklim krizine karşı ve çevreyi koruma adına yapılan düzenlemeler ile insanların sağlık ve konforunu korumanın yanında kaynakların da korunup gelecek nesillere aktarılması sağlanmaktadır. Sürdürülebilir bina tasarımında bütünleşik tasarımın ve BIM yazılımlarının desteğiyle korunmalar sağlanıp yüksek bir verimlilik elde edilmiş olur.

Çalışma sonucunda iklim krizine karşı alınması gereken önlemler ve önem kazanan etkiler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- İklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmak ve doğal sistemin dengesini korumak için çevreye duyarlı sürdürülebilir bina tasarımları önem kazanmaktadır.
- Sürdürülebilir bina tasarımları daha çevreci bir dünya sağladığı için ekolojik duyarlılığa dayalı disiplinler arası ve entegre çalışma grupları ile proje aşamasının bütünleşik bir tasarımla yürütülmesi olumlu bir katkı sağlamaktadır.

- Entegre tasarımı sağlamak ve proje aşamasında analizler yapmak için Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) kullanılması avantaj sağlamaktadır.
- BIM destekli analiz yazılımları geri bildirimlerden beslenerek bina tasarım aşamasında kaçınılması gereken durumların erken farkına varılmasını sağlayıp uygulamadan sonraki riskleri minimuma indirmektedir.
- Binaların performanslarını değerlendirmek için BIM destekli analiz yazılımlarının tasarım uygulamalarında entegre edilmesi önerilmektedir ve bu yazılımların kullanılması teşvik edilmelidir.
- BIM yazılımların açık kaynak olarak erişiminin sağlanması ve yaygınlaşması sağlanmalıdır.
- BIM uygulamalı analizler ile yapılan simülasyonlar daha sürdürülebilir yüksek performans sağlayan binalar belirlemekte ve iklim değişikliğinin etkisini azaltmaktadır.

Etik Standart ile Uyumluluk

Çıkar Çatışması: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

Etik Kurul İzni: Bu çalışma için etik kurul iznine gerek yoktur.

Finansal Destek: Yoktur.

KAYNAKÇA:

- Cameron, L. (2018). Tasarımcıların ve Mühendislerin İklim Değişikliği İçin Tasarıma Başlayabilmesinin Beş Yolu. Erişim: <https://redshift.autodesk.com.tr/iklim-degisikligi-icin-tasarim/>. Erişim Tarihi: 28.09.2021.
- Deepa, K., Suryarajan, B., Nagaraj, V., Srinath, K., Vasanth, K. (2019). Energy Analysis of Buildings. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Volume: 06, Issue: 01, e-ISSN: 2395-0056.
- Gurgun, A. P., Koc, K. & Atabay, Ş. (2022). Yapı Bilgi Modellemesi Kullanımının Sürdürülebilir Yeşil Bina Projeleri Üzerine Etkileri. Teknik Dergi, 33 (3), DOI: 10.18400/tekderg.715574.
- Khan, A., Ghadge, A.N. (2019). Building Information Modelling (BIM) based Sustainability analysis for a construction project. Erişim: <https://www.researchgate.net/publication/331373855>. Erişim Tarihi: 25.09.2021.
- Ofluoğlu, S. (2016). BIM ve Sürdürülebilirlik. Erişim: <https://www.researchgate.net/publication/328875476>, BIM_ve_Sürdürülebilirlik. Erişim Tarihi: 20.09.2021.
- Ofluoğlu, S. (2021). BIM Destekli Tasarımlar daha Sürdürülebilir Yapılar Yaratıyor. Erişim: <https://www.researchgate.net/publication/352491620>. Erişim Tarihi: 20.09.2021.
- Otuh, N. F. (2016). BIM Based Energy/Sustainability Analysis For Educational Buildings – A Case Study. Lisans Tezi, HAMK University of Applied Sciences, İnşaat mühendisliği, Visamäki.
- Özmehmet, E. (2005). Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Akdeniz İklim Tipi İçin Bir Bina Modeli Önerisi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Ölçer, B. (2020). İklim Krizinde BİM'in Üstleneceği Rol. Yapı Bilgi Modelleme, Cilt: 02, Sayı: 02, ISSN 2687-4660.

- Özcan, U., Erol, İ. (2018). Sürdürülebilir Tasarımda Yapı Bilgi Modellemesi (BIM). International Congress on Engineering and Architecture, Alanya, Turkey.
- Paker, B. (2017). Sürdürülebilir Bina Üretiminde Mimarın Yapısal Atık Oluşumuna Bakış Açısının İncelenmesi: Bursa Alan Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Savaşkan, M. O. (2015). Yüksek Enerji Performanslı Konut Yapıları için BIM Tabanlı Bir Açık Kaynak Bilgi Sistemi Modeli. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sur, Y. (2020). Bim ve Akıllı Konut Teknolojilerinin Konut Yenileme Projelerinde Kullanımına Sürdürülebilirlik Bağlamında Yaklaşım. Yapı Bilgi Modelleme, Cilt: 02, Sayı: 02, ISSN 2687-4660.
- Saulters, O. (2012). Advancing Green Sustainable Environmentally Preferable Purchasing as a Strategic Process for Improved Partnerships & More Resilient Campus Community. Sustainability Symposium. Erişim: https://www.researchgate.net/publication/274312357_Advancing_Green_Sustainable_Environmentally_Preferable_Purchasing_as_a_Strategic_Process_for_Improved_Partnerships_More_Resilient_Campus_Community. Erişim Tarihi: 17.12.2021.
- Silvi, F. (2020). Ingrid Cloud Uses Self-Learning Algorithms to Drive Wind Simulations. Erişim: <https://dataidedesign.com/ingrid-cloud-uses-self-learning-algorithms-to-drive-wind-stimulus/>. Erişim Tarihi: 27.09.2021.
- Şenel, A. (2010). Sürdürülebilir Bina Yapım İlkelerinin ve Yeni Yaklaşımların İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Uşma, G. Akıncı, N. F. (2019). Yenilenebilir Enerji Kullanımı ve Konutlarda Enerji Etkinliği: Türkiye'deki Duruma Genel Bir Bakış. VII. Umteb International Congress on Vocational & Technical Sciences], Batumi, Georgia, 12.
- Utkuğ, G. (2011). Sürdürülebilir Bir Geleceğe Doğru Mimarlık ve Yüksek Performanslı Yeşil Bina Örnekleri. X.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- Yetkin, E. G. (2019). Sürdürülebilir Mimarlık Kapsamında Yapılarda Su Korunumu Stratejileri. Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi, 2(2): 70-78.
- Yılmaz, B., Arditi, D., Korkmaz, S. (2010). Yüksek Performanslı (Yeşil) Binalarda Bütünleşik Tasarım Sistemi. 1. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara.
- Yılmaz, B. (2012). Türkiye için Sürdürülebilir Bina Performans Kriterleri ve Bütünleşik Tasarım Yönetim Modeli Oluşturulması. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- URL1:<https://listelist.com/orman-yanginlarinin-agir-bilancosu-turkiye/>. Erişim Tarihi: 27.09.2021.
- URL2:<https://www.iklimhaber.org/avustralyadaki-dev-yanginlar-3-milyon-hayvani-etkiledi/>. Erişim Tarihi: 27.09.2021
- URL3:<https://www.cumhuriyet.com.tr/haber/karadeniz-felaketi-yasiyor-kastamonu-ve-sinopu-sel-vurdu-1859723> . Erişim Tarihi: 28.09.2021.
- URL4:<https://www.seas.ucla.edu/~pilon/PCMIntro> . Erişim Tarihi: 12.09.2021.
- URL5:<https://docplayer.biz.tr/2963355-Bina-enerji-performansi-ve-butunlesik-bina-tasarim-yaklasimi.html>. Erişim Tarihi: 07.01.2022.

- URL6: <https://turkeco.com/yesil-bina-ve-butunlesik-tasarim/>. Erişim Tarihi: 08.01.2022.
- URL7: <https://muhendzm.blogspot.com/2018/11/bimbuilding-information-modeling.html>. Erişim Tarihi: 07.01.2022
- URL8: <https://www.bimteknoloji.com/fikir/bim-kisayolu-yok/> . Erişim Tarihi: 08.10.2021.
- URL9: http://www.sayisalmimar.com/kurslar/sertifikalar/surdurulebilir_bim.pdf . Erişim Tarihi: 15.12.2021.
- URL10: <https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/BPA-BPAWorkflows/files/GUID-43DAB177-3A4F-496C-BECB-2591FD04FC10-htm.html>. Erişim Tarihi: 17.12.2021.
- URL11: <https://www.autodesk.com/products/insight/overview#> . Erişim Tarihi: 15.09.2021.
- URL12: <https://www.autodesk.com/customer-stories/johnson-controls> . Erişim Tarihi: 15.09.2021.
- URL13: <https://gbs.autodesk.com/GBS/> . Erişim Tarihi: 17.09.2021.
- URL14: https://www.yesilbinadergisi.com/yayin/696/surdurulebilir-yapilar-kapsaminda-tasarim-analiz-ve-simulasyon-icin-autodesk-cozumleri_20927.html#.YVVvdZpByUk . Erişim Tarihi: 19.09.2021.
- URL15: <https://www.autodesk.com/products/cfd/overview> . Erişim Tarihi: 20.09.2021.
- URL16: http://erketasarim.com/cfd_analizi.pdf . Erişim Tarihi: 22.09.2021.
- URL17: <https://www.ingridcloud.com/wind-simulations/wind-energy/> . Erişim Tarihi: 25.09.2021.
- URL18: http://www.stefano-andreani.com/wp-content/uploads/2014/11/MIT_Page_04.jpg. Erişim Tarihi: 06.10.2021.