

İKLİM KRİZİNDE BİM'İN ÜSTLENECEĞİ ROL

Burcu ÖLÇER (ORCID: 0000-0003-3920-9947)

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Enformatik Bölümü
e-posta:burcuolcer12@gmail.com

ÖZET

BİM uygulamaları, mevcut yapı çevre ve yeni yapılacak yapıların yaşam döngüleri boyunca çevreye olan etkilerini, model içerisine girilen yapı elemanları ile ilgili bilgileri ve çevresel verileri kullanarak, dinamik simülasyon ve enerji analizleri yaparak ortaya koymaktadır. Bu makalede, küresel iklim krizine neden olan yapı çevre kaynaklı sera gazı salımlarını, dünya ölçeğinde sınırlandırmayı ve azaltmayı sağlamak amacıyla Yapı Bilgi Modelleme veya diğer tanımıyla Building Information Modelling (BİM) yazılımları ile izlenebilecek yollar ele alınmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İklim Krizi; Yapı Bilgi Modelleme; Sürdürülebilir Mimari; Enerji Analizi; Geri dönüşüm.

ABSTRACT

In this article, it is aimed to investigate the ways that BİM (Building Information Modelling) software can be used to limit and reduce greenhouse gas emissions which caused global environmental crisis.

Keywords: Climate Crisis; Building Information Modelling; Sustainable Architecture; Energy Analysis; Recycling.

1. GİRİŞ

Sanayi devriminden itibaren, fosil kaynaklı yakıtların kullanılması, arazi kullanımındaki değişiklikler ve ormansızlaştırma gibi çeşitli insan etkinlikleri sonucunda, sera gazlarının atmosferdeki birikimleri artmaktadır. Buna bağlı olarak doğal sera etkisinde hızlı bir yükseliş devam etmektedir. Sera gazları miktarındaki bu artış yerkürenin ısınmasına neden olmakta, ısınan yerküre nedeni ile şiddetli kasırgalar, seller, kuraklık gibi hava olaylarının sıklığı ve etkisinde artış, deniz ve okyanus seviyelerinde yükselme, buzulların erimesi gibi etkenler sonucunda ekosistemde bozulmalar yaşanmakta, bitkiler, hayvanlar ve insan toplulukları ciddi risk altında bulunmaktadır. Sera

gazı etkisini azaltmak için, küresel sera gazı emisyonları belirgin düzeyde düşürülmelidir. Bunun için somut önlemler almak, farklı kaynaklardan gelen emisyonları en az seviyeye indirmek gereklidir. Karbon emisyonu salımına etki eden önemli etkenler arasında bulunan yapı çevre aynı zamanda bu krizi önlemede de önemli bir rol üstlenmelidir.

BİM uygulamaları, mevcut yapı çevre ve yeni yapılacak yapıların yaşam döngüleri boyunca çevreye olan etkilerini, model içerisine girilen yapı elemanları ile ilgili bilgileri ve çevresel verileri kullanarak, dinamik simülasyon ve enerji analizleri yaparak ortaya koymaktadır. Bu çıktılar sayesinde hem mevcut yapı stoğu hem de yeni yapılacak yapıların çevreye verdiği zararlar önenebilir.

2. İKLİM KRİZİ NEDİR?

İklim krizi terimi, küresel ısınmanın gezegen üzerindeki tehdidini tanımlamak için kullanılmıştır. ABD eski başkan yardımcısı Al Gore tarafından 1980'lerden itibaren kullanılmaya başlanan terim, Gore tarafından şu şekilde açıklanmaktadır (Gore, 1992).

“Gezegenin devam eden sera gazı emisyonlarından kaynaklanan tehditlerin ciddiyetini uyandırdığına ve iklim savunuculuğunda uzun süredir eksik olan bir tür siyasi irade gücünün teşvik edilmesine yardım edebileceğine inanıyoruz.”

2.1. İklim Krizinin Boyutları

NASA'nın yayınladığı yer yüzeyi- okyanus sıcaklık değişimi verilerini incelendiğinde 138 yılın en sıcak 20 yılı 1997 sonrasında, en sıcak 10 yılı ise 2005 sonrasında yaşanmıştır. En sıcak yıl 2016 yılında yaşanmış, sapma 0.98°C olmuştur. 2018 yılındaki sapma ise 0.8°C olarak ölçülmüştür. 1958 yılından günümüze düzenli olarak ölçülen verilere göre yeryüzündeki CO₂ miktarı 1958 yılında 315 ppm(milyonda bir) değerinde iken 2019 kasım ayında bu değer 408 ppm düzeyine ulaşmıştır. Milattan önce dört yüz binlere dayanan verilere göre en yüksek CO₂ miktarı 300 ppm değerinde ölçülmüştür. 1993 yılından itibaren ölçülen deniz seviyesi ölçümlerine göre ise deniz seviyesinde 93

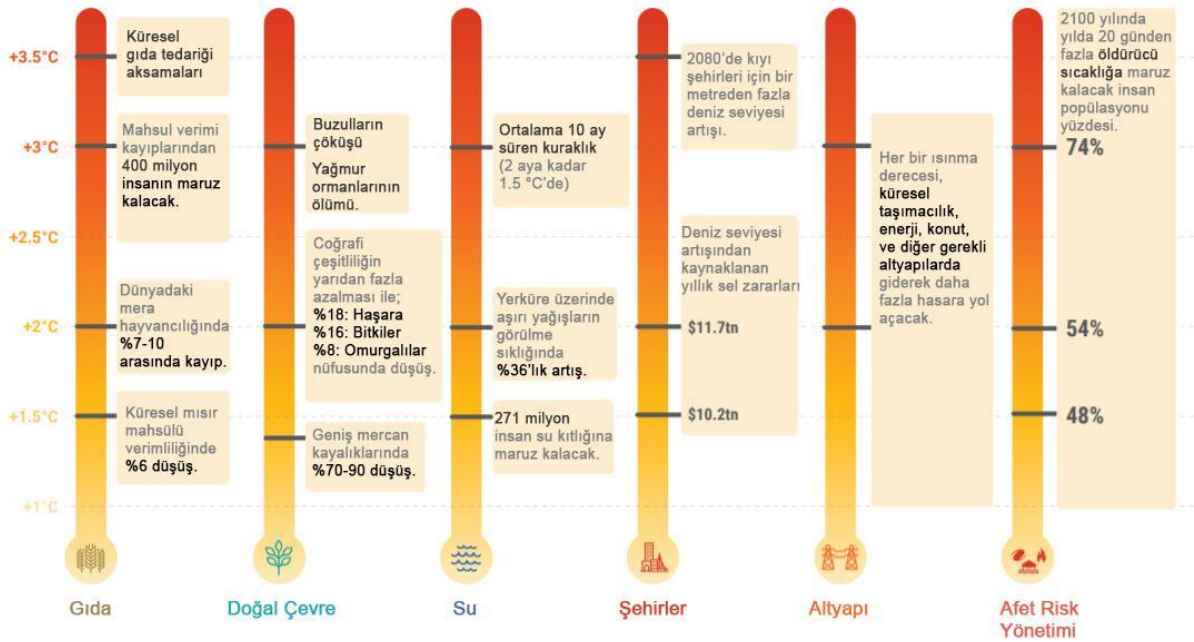
yılından günümüze 95 mm artış görülmüştür (URL-1).

Birleşmiş Milletler Hükümetlerarası İklim Paneli'nin (IPCC) 2018 Ekim ayında yayınladığı raporda küresel ısınmada 2°C derecelik bir artışın meydana gelmesi sonucunda, gezegenin 5'de biri ile 12'de biri arası bir büyüklükte yeşil alanın çölleşmesi, mercanların % 99'unun yok olması, 450 milyon insanın yüksek sıcaklıkların etkisi altında kalması, yüz milyonlarcasının iklim değişikliğine bağlı olarak yoksulluk sınırının altına düşmesi anlamına geldiğini belirtilmektedir. Küresel ısınmanın kontrol altına alınamaması durumunda, deniz seviyesindeki yükselmenin tarım alanlarını ve su kaynaklarını kirletmesine bağlı olarak gıda ve su kıtlığı krizlerinde artma görülmesi ve çölleşen toprak miktarında artış olacağı öngörülmektedir. Ortaya çıkacak bu sonuçlar sonrası, kaynak savaşlarının sıklıklaşması, açlıktan ve savaşlardan kaçan göçmen nüfusun, Avrupa ve ABD gibi ülkelerin siyasi dengelerini etkileme riskini de beraberinde getirmektedir.

Şekil 1'de yer kürenin mevcut sıcaklık değerlerinde meydana gelebilecek artış miktarlarına bağlı olarak gıda, doğal çevre, su, şehirler, altyapı ve afet risk

yönetimi başlıkları altında oluşabilecek riskler gösterilmiştir. Mevcut sıcaklık ortalamalarında meydana gelebilecek 3.5°C bir artış küresel gıda tedarikinde aksamalara, buzulların erimesine, aylar süren kuraklık dönemlerine, kıyı şehirleri için deniz seviyelerinde artışa ve buna bağlı olarak yüzbinlerce insanın evlerini terk etmesine neden olacağı öngörülmektedir.

2019 Eylül ayında başlayan ve aylarca süren Avustralya kıtasındaki yangının nedeni olarak alışılmışın dışında kurak geçen mevsim gösterilmektedir. NASA Observatory'de paylaşılan verilere göre yangınlar, atmosfere ve Dünyanın dört bir yanına kadar yükselen dumanlar göndermiştir ve uydular Pasifik'i geçen ve Güney Atlantik Okyanusu üzerinde hareket eden kirleticileri tespit etmiştir. Yerel olarak, duman Sydney'i örterek hava kalitesini önemli ölçüde düşürmüştür. Orman yangınları odun, bitki örtüsü, evler ve diğer malzemeleri tükettikçe, karbon monoksit, karbon dioksit, hidrokarbonlar, azot oksitler, organik karbonlar dahil olmak üzere birçok gaz ve parçacık yaymaktadırlar. Yangın nedeni ile yayılan siyah karbon, insanlar ve hayvanlar için akciğerlere ve kan dolaşımına girecek kadar küçük parçacıklardan oluştuğu için oldukça zararlıdır (URL-2).



Şekil 1. Sıcaklığın artması ile Dünya üzerinde meydana gelebilecek olan olayların risk grafikleri (Global Commission on Adaptation, 2019).

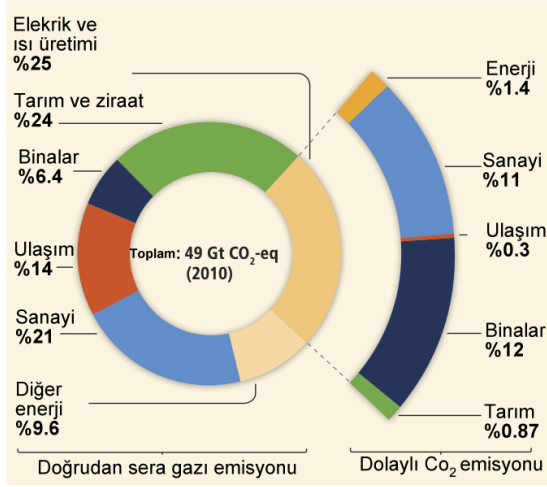
2.2. İklim Krizine Neden Olan Faktörler

2.2.1. Sera Gazları

Dünya, üzerine düşen güneş ışınlarından çok, dünyadan yansıyan güneş ışınlarıyla ısınır. Işınların bu gazlar tarafından tutulmasına sera etkisi denir. Atmosferdeki bu gazların oranı arttıkça, Güneşten

gelen ve yüzeyden yansıyan radyasyonun uzaya geri dönmesi zorlaşmakta ve yer küre içinde kalan ışınlar nedeni ile Dünya hızlı bir şekilde ısınmaya devam etmektedir. Karbondioksit, su buharı, metan, ozon ısıyı atmosferde tutan önemli sera gazlarıdır. CO2; solunum, volkanik patlamalar gibi doğal süreçlerin yanında, fosil yakıtların kullanımı, ormanların yok edilmesi gibi insan kaynaklı

etkenler sonucunda da salınmaktadır. Şekil 2’de yer alan grafikte CO₂ salımına neden olan sektörlerin yüzde oranlı dağılımı verilmiştir.



Şekil 2. Doğrudan ve dolaylı olarak küresel ısınmaya yol açan Co₂ emisyonu dağılımı (IPCC Raporu-2013).

2.2.2. Fosil Yakıtların Kullanımı

Fosil yakıt, karbon ve hidrokarbon açısından zengin, milyonlarca yıl önce ölen canlıların fosillerini toprak altından çıkartılarak elde edilen yenilenemez bir enerji kaynağıdır. Kömür, doğalgaz ve petrol en çok kullanılan fosil yakıt türleridir. Fosil yakıtlar, yapıların ısıtma, soğutma, havalandırma sistemleri ile birlikte birçok makinenin ana yakıt malzemesi olarak kullanılması nedeniyle Dünya üzerinde en yaygın olarak tüketilen enerji çeşididir. Ayrıca plastik, demir ve bir çok farklı malzemenin üretilmesinde de hammadde olarak kullanılmaktadırlar. Fosil yakıt kullanımı sonucunda atmosfere sera etkisine neden olan gazlar salınmaktadır.

2.2.3. Tarım ve Ziraat

Tarımsal ve zirai üretim sonucunda CO₂, CH₄ ve N₂O gazları atmosfere yayılmaktadır. Bitkiler fotosentez yolu ile CO₂ tüketirken aynı zamanda CH₄ ve N₂O gazlarının büyük oranda atmosfere yayılmasından tarım süreçleri sorumludur (IPCC, 2013).

2.2.4. Yapılı Çevre

Yapılar üretim süreçlerinden başlayarak kullanım ömürleri ve yıkım süreçleri de dahil olmak üzere yaşam döngüleri boyunca sürekli bir enerji kullanıcısı ve sera gazı üreticisidirler. Şekil 2’de yer alan verilere bakıldığında sera gazı emisyonlarının yaklaşık %19’undan sorumlu oldukları görülmektedir.

2.2.5. Küresel Nüfus Artış Hızı

Nüfus artışı ile enerji, zirai faaliyet, yapılı çevre gibi bir çok sera gazı üreticisi faaliyet artmaktadır. Sera gazı emisyonlarına neden olan faktörlerin kullanımının artmasına neden olduğu için iklim krizinin en önemli faktördür.

3. YAŞAM DÖNGÜLERİ BOYUNCA YAPILARIN ÇEVREYE ETKİLERİ

Bir binanın tam yaşam döngüsü, hammadde çıkarma, inşaat malzemesi üretimi, yerinde malzeme montajı, kullanım, onarım ve bakım, yıkım veya yeniden kullanım süreçlerini içerir (Gustavsson ve ark., 2010).

“Çevresel sürdürülebilirlik” kavramı uzun yıllardır inşaat endüstrisinde gündemde olmasına rağmen, resmi istatistikler inşaat sektörünün büyük bir enerji tüketicisi olmaya devam ettiğini göstermektedir. Örneğin, tüm küresel enerji son kullanımının yaklaşık %10’u inşaat malzemeleri üretimi sırasında tüketilmektedir. Binaların işletme aşamasında kullandıkları son enerji tüketiminin neden olduğu toplam küresel sera gazı emisyonlarının oranı ise % 30 ile %40 aralığındadır. İnşaat ve yıkım atıkları, gelişmiş ülkelerdeki tüm katı atıkların yaklaşık % 40’ını oluşturmaktadır (Rode ve ark. 2011).

Binaların nasıl inşaa edildiği, nasıl kullanıldığı ve nerede oldukları gibi kriterlerin yanı sıra, binalarda kullanılan malzemelerin üretilmesi süreci, üretilen malzemelerin şantiyede kullanılmak üzere sahaya nakliyesi ve bina yaşam ömrü boyunca, binanın ısıtılması, soğutulması, aydınlatılması için kullanılan fosil yakıtlar, binaların sera gazı emisyonlarına olan etkilerinin başlıca aktörleridir. Sürekli artan sera gazı emisyonları, enerji maliyetleri ve kaynak kıtlığı nedeni ile enerji tüketimini en aza indirmek zorunlu hale gelmiştir. Mimarlık, mühendislik ve inşaat endüstrisi sera gazı emisyonları ve enerji tüketiminde büyük bir paya sahip olmasına rağmen bu konuda yeterli somut adımlar atmaması nedeni ile eleştirilmektedir. (Wong ve ark. 2012).

Binaların emisyonları iki şekilde ölçülmektedir. Bunlardan ilki aydınlatma, ısıtma ve soğutma gibi günlük enerji kullanımı, ikincisi yapının inşaatı sırasında kullanılan malzemenin üretilmesi, nakliyesi ve şantiye süreci olarak belirtilmiştir. Şantiye süreci “bir binanın somutlaşmış karbonu” olarak adlandırılmaktadır ve bu bina yaşam döngüsü boyunca salınan sera gazlarının %11’ine eşittir (GlobalABC, 2018).

Binalarda malzeme kullanımından kaynaklanan CO₂ emisyonları, yapılı çevreden kaynaklı CO₂ emisyonlarının %28’ini oluşturmaktadır. Bu

emisyonaın çoğu, yapı inşaasında kullanılan imento ve elik üretimi sürecinde ortaya çıkmaktadır. Alüminyum, cam ve yalıtım malzemeleri imento ve çelikten sonra yüksek oranda emisyonlara neden olan diğer malzeme türleridir . lkeler doğrudan emisyonları (rneğin binalardaki fosil yakıt yanmasından) ve dolaylı emisyonları (rneğin elektrik tkretiminden) en aza indirmek için çeşitli önlemler alırken, yapıları oluşturan malzeme kaynaklı karbon emisyonu azaltma hedefleri arka planda bulunmaktadır. (GlobalABC, 2018).

Enerji tknetimi ve emisyonların büyük bir bölümü; ısıtma ve soğutma sistemleri, aydınlatma ve elektrikli aletlerin kullanımı ve diğer bina ihtiyaçları gibi binanın işletilmesi ile ilgilidir (Schlueter, 2008).

Yapıların yaşam döngüleri boyunca çevreye verdikleri zararlı etkileri sınırlamak için sürdürülebilir mimari prensiplerinden yararlanmak gerekmektedir.

4. SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ

Sürdürülebilir gelişme terimi ilk kez 1987 yılında Dünya evre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından yayımlanan Ortak Geleceğimiz-Brundtland raporunda kullanılmıştır. Raporda, sürdürülebilir gelişme, “günün gereksinimlerini karşımlarken gelecek nesillerin kendi gereksinimlerini karşılama yeteneklerini ortadan kaldırmayan gelişme” olarak tanımlanmıştır (Brundtland,1987).

Sürdürülebilir mimari ise Sev (2009) tarafından, “içinde bulunduğu koşullarda ve varlığının her döneminde, gelecek nesilleri de dikkate alarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına öncelik veren, çevreye duyarlı, enerjiyi, suyu, malzemeyi ve bulunduğu alanı etkin şekilde kullanan, insanların sağlık ve konforunu koruyan yapılar ortaya koyma faaliyetlerinin tümü” olarak tanımlanmıştır.

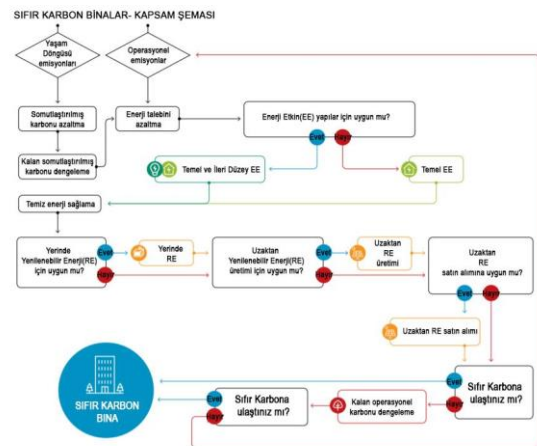
Sürdürülebilir mimari, ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel sürdürülebilirlik başlıklarını kapsamaktadır. Enerji kaynaklarını ve biyoçeşitliliği korumak, enerji tknetimini en aza indirerek enerji maliyetlerini azaltmak, düşük bakım maliyetlerine olanak sağlamak, kullanıcılar için konfor sağlamak gibi alt başlıklara sahiptir (Erenguezgin, 2005).

Sürdürülebilir mimari, yeşil bina ya da evre dostu bina gibi birçok farklı terim ile adlandırılan mimari tasarım prensibinin iki temel paradigması vardır. İliki, fiziksel evre koşulların iç mekan üzerindeki etkisini sınırlamak için doğal çözümler (doğal hava akışı ve gün işığı gibi) kullanan “pasif” tasarım

prensibidir. Soğuk iklim bölgelerinde yapılarda kullanılan kalın duvarlar ve kk boyuttaki pencereler ile nemli bölgelerde avlu ve teraslı doğal havalandırılmalı geleneksel binalar bu kategoriye girmektedir. Pasif tasarım, ısıtma, soğutma, havalandırma, yapay aydınlatma ihtiyaını ortadan kaldırırken veya azaltırken aynı zamanda kullanıcı için konforlu bir ortam sağlamayı amaçlamaktadır. İliki paradigma, binaların enerji yükünü azaltmak için son teknoloji ürünlerin bina yönetim sistemlerine dahil edilerek kullanan daha “aktif” bir yaklaşıma dayanmaktadır. Yüksek performanslı bina kabuğu malzemeleri, ışık tüpleri, fotovoltaiik paneller (PV), rüzgar türbinleri ve diğer yüksek teknolojikli ürünler binalara eklenebilmektedir. Her iki paradigma da yeni binalar ve mevcut bina stoğuna uyarlanabilir (Rode ve diğ., 2011).

Son yıllarda, birçok ülkede enerji ve kaynak verimliliği için yeni bina projeleri ve güçlendirme projelerinde emisyon azaltımını teşvik eden artan sayıda düzenleme olmuştur. Binaların evresel performansını değerlendirmek için çeşitli ülkelerde farklı derecelendirme sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler arasında; ABD’de Enerji ve evre Tasarımında Liderlik (LEED), İngiltere’de Bina Araştırma Kurulumu evresel Değerlendirme Metodolojisi (BREEAM), Avustralya’da Green Star, Japonya’da evresel Verimliliği Binada Kapsamlı Değerlendirme Sistemi ve Hong Kong’da Bina evresel Değerlendirme Yöntemi (BEAM) Plus yer almaktadır. Mimarlar ve plancılar, binaların çevresel etkilerini ve enerji tknetimini en aza indirme yollarını, artan tasarım, artan enerji verimliliği ve koruma ile değerlendirmektedir (Wong, 2015).

Yapıların evreye olan etkisini azaltmak için ortaya çıkarılan bu değerlendirme ltleri sürdürülebilir mimari anlayışın temel prensiplerini baz alarak oluşturulmuşlardır.



şekil 3. Sıfır Karbon Bina kapsam şeması (WRI, 2019).

Mevcut sürdürülebilir mimari sertifikasyon sistemleri (LEED, BREEAM, vb.) iklim krizine neden olan ölçütleri azaltmak için gerekli tüm parametrelere sahip değildir. Bu nedenle IPCC raporları ile UN Environment'ın GlobalABC raporu baz alındığında yapı çevre kaynaklı karbon emisyonlarını sıfır düzeyine getirmek için World Green Building Council ve International Finance Corporation gibi kurumlara danışmanlık yapan Architecture 2030 tarafından 2018'de yayınlanan Zero Code standardı tanımlanmıştır. Bu standard, yeni yapılacak olan ticari, kurumsal, orta ve yüksek katlı konut yapılarında fosil yakıt bazlı enerji tüketiminin neden olduğu karbon emisyonlarını azaltmak için ulusal ve uluslararası enerji standardını belirlemek adına oluşturulmuştur. Bu standard binaların yıllık enerji tüketimlerini karbon emisyonu oluşturmayan yenilenebilir enerji ile çözerek yüksek enerji verimliliğine ulaşmayı amaçlamaktadır. Şekil 3'te Sıfır Karbon Binalara (Zero Carbon Buildings) ulaşmak için hangi koşulların yerine getirilmesi ile ilgili grafik anlatım yer almaktadır. Bina kabuğu, güneşiği kullanımı, pasif ısıtma, soğutma, havalandırma, yerinde yenilenebilir enerji üretimi ve kullanımı, ekipmanların verimliliği konularına odaklanmaktadır. Küresel sıcaklık artışını 1.5 C ile sınırlandırmayı hedefleyen Paris Antlaşmasının hedeflerini tutturmak için 2050 yılına kadar tüm binaların net sıfır karbon olması gerekmektedir ve günümüzde sıfır karbon yönetmeliğini sağlayan binaların oranı %1'in altında kalmaktadır. Bu yönetmeliğin gereklilikleri ile ilgili özet Şekil 3'te ana başlıkları ile belirtilmiştir. Bu hedefi tutturmak için binalarda alınması gereken en önemli ve kolay yol enerji kullanımını değiştirmektir (WRI, 2019).

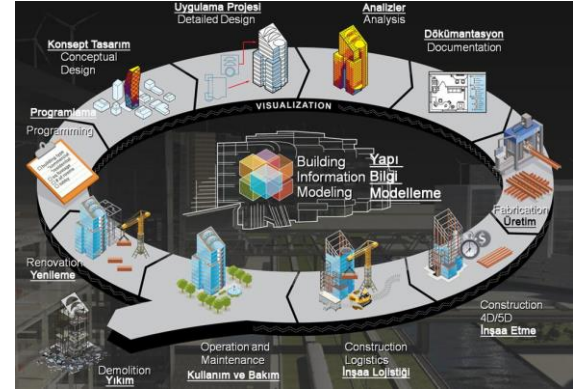
Yeşil BIM (Green BIM), bir projede sürdürülebilirlik ve / veya iyileştirilmiş bina performansı hedeflerine ulaşmak için BIM araçlarının kullanılması olarak kabul edilir (McGraw-Hill Construction, 2010).

Yapılı çevredeki mevcut ya da yapılması planlanan yapılarda enerji analizlerinin yapıp, sonuçların enerji verimli hale gelebilmesi adına yapım tekniği, malzeme gibi alternatiflerin kolayca denenebilmesi açısından Yapı Bilgi Modelleme veya diğer tanımıyla Building Information Modelling (BIM) yazılımları kullanılması maliyet, zaman, yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve sıfır karbon salınımı hedefine ulaşmak açısından oldukça önemlidir.

5. BIM

BIM, mimari, mühendislik ve inşaat endüstrisinde 3 boyutlu modelleme, çakışma tespiti, fizibilite analizi, yapılabirlik incelemesi, maliyet hesabı, iş akışı oluşturma, enerji analizleri, imalat çizimleri,

bina yönetiminde kullanılmaktadır. BIM, inşaat sürecinin verimliliğini arttırmakta, proje paydaşları arasında bilgi paylaşımı ve işbirliğini sağlamakta ve inşaat sürecinde sahanın ihtiyacı olan bilgileri kolaylıkla erişmesini sağlamaktadır. BIM'in zengin veri modeli sayesinde, projeye dahil olan tüm disiplinler, işveren, tasarım ekibi, inşaat, operasyon ve bakım uzmanları, her bir yapı sistemi özelliğini, yapının farklı yaşam döngüsü aşamalarında eş zamanlı olarak görebilmekte ve değerlendirmektedir.



Şekil 4. Binaların yaşam döngüsü ve BIM (Autodesk).

Şekil 4'te görselleştirildiği gibi bir binanın tam yaşam döngüsü, projelendirme aşamasından başlayarak, hammadde çıkarma, inşaat malzemesi üretimi, yerinde malzeme montajı, kullanım, tamir ve bakım, yıkım veya yeniden kullanım süreçlerini içerir. Tüm bu süreçlerde BIM, bir yapının, ön tasarım aşamasından yıkımına kadar fiziksel ve işlevsel özelliklerinin sayısal bir temsili ve yaşam döngüsü boyunca kararlar için güvenilir bir temel oluşturan bilgi kaynağı olarak tanımlanmıştır.

5.1. BIM İle Geliştirilen Projelerin Doğaya Salınan Atık Maddeler ve Kullanılan Enerjinin Azaltılmasına Katkıları

BIM, disiplinler arası bilgilerin bir modelde üst üste konulmasına izin verdiğinden, bu yaklaşım çevresel performans analizleri ve sürdürülebilirlik geliştirme önlemlerinin tam ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi için bir fırsat sunmaktadır (Azhar ve ark. 2010).

Sürdürülebilirlik, projenin tasarım aşamasında özel BIM yazılımı kullanılarak yapılan simülasyonlarla sağlanabilir. Bunu yapmak, enerji verimli, sağlıklı ve çevreye daha duyarlı binaların üretimine olanak sağlayacaktır. BIM, bir yapının sayısal temsili olduğundan bir bina içindeki enerji ve su kullanımını taklit edebilmekte, kullanıcıya optimum tasarımı tasarlamasına izin vermektedir (Chong, Lam, 2013).

BIM'in simülasyon teknolojisi, çevre koruma ve yenilenmeyi performans geliştirme ve optimizasyon perspektifinden yürütmeyi mümkün kılmıştır. Bu, çevre koruma çalışmasının verimliliğini ve bilimsel seviyesini büyük ölçüde artırmış ve çevre korumanın kapsamlı bilgi ve modernizasyonunu teşvik etmiştir. Bu nedenle BIM, büyük uygulama değerine ve geniş uygulama olanaklarına sahiptir (Qin, 2018).

BIM yazılımları kullanılarak geliştirilen projelerde çevresel verilere, malzeme özelliklerine vb. verilere dayalı olarak yapılan simülasyonlar ve bunların çıktıları sayesinde binaların yaşam döngüleri boyunca kullandıkları enerji ve neden oldukları atıkları minimum seviyeye indirmek olasıdır.

İklim krizine neden olan sera gazı üretiminin büyük bir bölümü mevcut yapı stoğunda kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle sadece yeni yapılacak olan binalarda BIM kullanımı, analizlerin gerçekleştirilmesi ve buna bağlı olarak tasarım, malzeme, sistem değişikliği yapılması yeterli değildir. Mevcut yapı stoklarından da bu değişimin sağlanması gerekmektedir. Bunun içinde mevcutta bulunan yapıların verileri işlenmeli ve yapı sektörü oyuncularını ile ortak bir çalışma disiplini içinde sürecin nasıl yönetebileceği irdelenmelidir.

Yeşil BIM, bina enerji verimliliği performansını artıran proje yaşam döngüsü boyunca koordineli ve tutarlı bina verisi oluşturma ve yönetme temelli sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmesini kolaylaştıran model tabanlı bir süreçtir (Wong, Zhou, 2015).

Bazı devlet kurumları, ABD Genel Hizmetler İdaresi gibi(GSA) yeni yapılacak tüm binalarda BIM kullanımını zorunlu kılmıştır (GSA, 2007). BIM yazılımları kullanılarak yapılacak yeni yapı stoğunun çevreye olan etkilerini proje aşamasında elde edilen veriler sayesinde önceden hesaplayıp gerekli düzenlemeleri yapmak iklim krizini önlemek adına önemli bir adımdır.

5.2. İklim Krizini Önlemede BIM Sistemleri ile İzlenebilecek Yollar

Bir binanın karbon üretimini azaltmak için en etkili değişiklikler; hizmet ömrünü artırmak ve bina alanı başına enerji tüketimini azaltmaktır (Li ve ark., 2013).

İşletme aşamasında çevresel performansı yöneten bir analiz aracı olarak BIM, çeşitli uygulamalar önermiştir. Bu uygulamalar aşağıdakileri içerir (Novitski, 2009) :

1. Isıtma ve soğutma gereksinimlerinin analizi,

2. Günışığı aydınlatma fırsatlarının ve hem elektrik aydınlatma yükünü hem de müteakip ısı ve enerji yüklerini azaltma araçlarının belirlenmesi,

3. Enerji kullanımını azaltabilecek uygun bina ekipmanlarının seçilmesi.

Yukarıda belirtilen uygulamaların hızlı ve güvenilir sonuçlar vermesi için kullanılacak yazılımlar arasında veri aktarımının eksiksiz ve doğru yapılması gerekmektedir. IFC (Industry Foundation Classes) ve gbXML(Green Building XML) gibi dosya formatları sayesinde BIM yazılımları ve mühendislik analiz araçları arasında veri aktarımı ve değişimi sağlanmaktadır. IFC formatı aynı zamanda sensörler, ölçüm araçları gibi akıllı bina ekipmanlarından gelen bilgiyi sınıflandırmak ve işlemek için yapı yönetiminde kullanılan veri deposu yazılımları ile birlikte kullanılabilir (Mousa and ark., 2016).

Yapıların yaşam döngüsü boyunca iklim krizine olan etkilerini en aza indirebilmek için BIM sistemleri ile izlenebilecek yollar aşamalı olarak aşağıda örneklenmiştir.

5.2.1. Tasarım Aşamasında BIM kullanımı

Kesin tasarım kararlarını mümkün olduğunca erken almak, sürdürülebilir tasarım sürecinin çok daha verimli ve uygun maliyetli olmasına yardımcı olacaktır. BIM sürdürülebilirlik analizi araçları, farklı tasarım seçeneklerini hızlı bir şekilde değerlendirerek ve daha çevreci tasarımları tanımlayarak tasarım ekibinin daha bilinçli kararlar almasını sağlamaktadır (Bynum ve ark. 2012). Bu analizler tasarımcıların, bina tasarımlarının çevreye ve binayı kullanacak kişilere olan etkilerini anlamaya yardımcı olmaktadır. Geleneksel tasarım süreci, tasarımcılara veya proje ekibi üyelerine erken tasarım kararlarının uygulanabilirliğini görselleştirmek için daha az destek sağlamıştır. (Wong, Zhou, 2015).

BIM, bina performans verimliliğini arttırarak, tasarım hataları veya paydaşlar arasındaki iletişimsizlikten kaynaklı gereksiz çevre etkilerini en aza indirgemeye yardımcı olmaktadır (Clevenger, Khan, 2014).

BIM'in bina sürdürülebilirliği için planlama ve tasarımda yardımcı olabileceği farklı yollar özetlenebilir (Krygiel ve Nies, 2008). Bunlar;

1. Binanın yönelimini belirlemek (enerji maliyetlerini azaltabilecek iyi bir yönelim seçmek),

2. Bina kütlesini analiz etmek. (bina formunu analiz etmek ve bina cephesinin optimizasyonu için eşdeğer şeffaflık oranı gibi çeşitli faktörlerin analizi),
3. Güneş ışığı analizi yapmak (Kullanılacak yapay ışık sayısını azaltarak, gereksiz enerji tüketimini engellemek için),
4. Su toplama potansiyelini araştırmak (bir binadaki su gereksinimini azaltmak için),
5. Bina enerji performansını modellemek (enerji ihtiyaçlarını azaltmak veya düşük enerji maliyetlerine katkıda bulunabilecek yenilenebilir enerji seçeneklerini analiz etmek için),
6. Sürdürülebilir malzemelerin uygunluğunu incelemek (malzeme ihtiyaçlarını azaltmak ve geri dönüştürülmüş malzemeler kullanmak için),
7. Saha ve lojistik yönetimini tasarlamak (atıkları ve karbon ayak izlerini azaltmak için).

Yukarıda özetlenen yolların BIM yazılımlarında kullanılabilmesi için hem akademik hem de ticari çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar arasında, Jalaei ve Jrade'nin (2014) geliştirdiği araç; çeşitli yeşil bina tasarım seçenekleri arasında, sürdürülebilir bina sertifikasyon sistemleri için enerji performans analizi ve maliyet keşfi değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanında bazı ticari yazılımlar da tasarımcıların kavramsal tasarımlarını enerji analitik modellerine dönüştürmelerine yardımcı olmaktadır. Sürdürülebilir tasarımın karmaşık süreçlerini desteklemek için bir çok farklı yazılım aracı geliştirilmeye devam etmektedir.

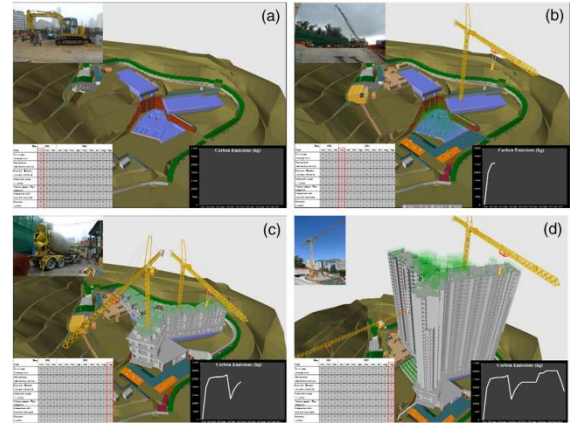
5.2.2. Yapım Aşamasında BIM kullanımı

Yapılarda kullanılan hammaddelerin çıkarılması, üretimi, şantiye alanına sevki aşamalarında ve şantiye sürecinde kullanılan araçların tükettikleri fosil yakıtların atıklarından ortaya çıkan emisyon değerlerini en aza indirmek için bir çok çalışma sürdürülmektedir. Bunlardan biri Peña-Mora ve ark., (2009) şantiye emisyonlarını planlamak, izlemek ve yönetmek için bir çerçeve geliştirdiği çalışmadır. Emisyon tahmini modeli, tasarımcıların planlama aşamasında düşük emisyonlu inşaat stratejileri seçmelerine yardımcı olmakta, bu model aynı zamanda, fiili inşaat aşamasında yönetim kararlarının başarısını belirlemek için bir temel sağlamaktadır.

Şantiye sürecinde oluşan karbon emisyonu değerlerini azaltmak için Artenian ve ark., (2010) BIM ve GIS (Coğrafi Bilgi Sistemi) teknolojilerini kullanarak beton mikser kamyonlarının rotasını optimize etmişlerdir.

Wong ve ark., (2013) ise şantiye süreci boyunca karbon emisyonu seviyelerini tahmin eden ve bu verileri görselleştiren bir araç geliştirmişlerdir. Bu araç, yüklenicilere emisyonların kaynaklarını tanımlamada ve üretilen emisyon miktarlarını belirleme konusunda yardımcı olmaktadır. Bu çalışmaya göre emisyon tahmini görselleştirmesinin geliştirilmesi dört adımdan oluşur;

- Genel proje ve ekipman verilerini toplamak,
- Bina işletme planlarını oluşturmak,
- Tahmini emisyon miktarlarını hesaplamak ve emisyon tahmin modelini (PEEM) ayarlamak,
- 4 boyutlu sanal prototip geliştirmek ve emisyon verilerini almak.



Şekil 5. Yapının CO2 emisyonunu gösteren 4D modeli (Wong ve ark., 2013).

Wong ve ark., yapmış olduğu Toplu Konut Geliştirme Projesinin farklı aşamalarında CO2 emisyonunu gösteren (tahmini) 4D simülasyon modellerinden görseller şekil 5'te yer almaktadır. Temel inşaatından başlayarak çatı konstrüksiyonun tamamlanmasına kadar olan süreç 4D model üzerinden analiz edilmiş ve yapım aşamasında salınacak CO2 miktarına ilişkin veriler sunulmaktadır.

5.2.3. Bina Tesis Yönetimi Aşamasında BIM kullanımı

Binaların işletme aşamasında enerji tüketiminin, bir binanın ömrü boyunca toplam enerji tüketiminin büyük bir kısmını oluşturduğu, bir binanın yaşam döngüsündeki bu aşama, binanın küresel karbon emisyonlarının yaklaşık üçte birini ürettiği belirtilmektedir (Costa, 2013).

Yapılı çevre özellikle de mevcut binalar elektrik enerji tüketiminin %45'inden sorumludur. Bu oranın %40'ı işletme aşamasında tüketilmektedir (Prasad, Hall, 2004). Elektrik tüketiminin karbon emisyonlarındaki payı düşüldüğünde bina yönetimi aşamasında BIM sistemleri kullanılarak verilerin işlenmesi ve akıllı çözümlerin sunulmasının önemi de anlaşılmaktadır.

Bina yönetimi açısından, BIM teknikleri, verimli bina işletimini teşvik etmek, müşterilere hizmet kalitesini artırmak, binanın işletme aşamasında acil durumları azaltmak, güvenlik performansını artırmak ve kaynak israfını azaltmak için yardımcı olmalıdır. Bu avantajların tümü yeşil binaların oluşturulmasını sağlayacaktır (Liao ve ark., 2012).

Piyasada yer alan yazılımlar, bina enerji kullanımının analizi için yenilikçi bulut bilişim teknolojilerini içerirler. Bu yazılımlar, mevcut bir binada enerji tüketimi, karbon emisyonu tahminleri ve yenilenebilir enerji kullanımı için potansiyel değerlendirmelerine izin vermektedirler (Wong ve Zhou, 2015).

Akıllı şehirler için Akıllı Binalar İttifakı (The Smart Building Alliance, SBA) 2012 yılında kurulduğunda, Fransada'ki 200 kurumu bir araya getirerek, birlikte çalışabilir ve akıllı veriler üzerinden aktif bina yönetimine öneri ve çözümlerle yardımcı olabilecek "Ready2Grid" ve "Ready2Services" adı verilen iki kalite patentiyle yapı sektöründeki dijital ve enerji geçişini birleştirmeyi amaçlamıştır. Enerji yönetimi, alan planlaması, atık ve hijyen yönetimi, konfor gibi bir çok alanda BIM yazılım araçlarını kullanmaktadır (GSR, 2017).

Mousa ve ark., (2016) önerdiği BIM ile karbon hesaplama yöntemiyle, sensörlerden alınan veriyi karbon hesaplama yöntemi ve BIM araçları kullanarak anlamlı veri oluşturmuşlardır. Bu çalışma kapsamında işletme sırasında kullanılan elektrik ve doğal gazın ürettiği CO2 miktarını hesaplamışlardır. İlk aşama olan verilerin toplanması için sensörler kullanılmıştır. KiloWatt başına üretilen CO2 miktarına bağlı olarak hesaplama metodu geliştirilmiştir. Bu hesaplamalar MatLAB ve araçlar ile yapılabilmektedir. Karbon hesaplama modeli tamamlandıktan sonra çıkan veriyi BIM modeli içine IFC dosya formatında aktarmışlar ve gerçek zamanlı karbon verisinin model üzerinde etkisini görmeyi mümkün kılmışlardır. Bu sayede yapıdaki hangi alanlarda enerji tüketimine bağlı olarak emisyon değerlerinin fazla olduğu görselleştirilmiş ve alınması gereken önlemler için bir altlık oluşturulmuştur.

5.2.4. Onarım ve Bakım Aşamasında BIM kullanımı

Yapıların periyodik olarak bakımlarının ve olası onarım gerekliliklerinin hızlı bir şekilde yapılması, düşük maliyetlerin yanı sıra daha verimli bir yapı kullanımını sağlamaktadır. Bu sayede olası sorunlar nedeni ile ısıtma, soğutma, aydınlatma vb. tüketimlerde ortaya çıkacak artış kısa sürede normal seviyelere indirilebilmektedir. Yapı içerisinde kullanılan ve eş zamanlı olarak verileri BIM modeline ileten sensörler sayesinde, yapı içerisinde herhangi bir değişim yöneticiler ve bakım ekibi tarafından görülmekte ve hızlı bir şekilde müdahale yapılabilmektedir.

Wong ve Lau 2013 yılında yayınladıkları çalışmada Hong Kong'un yoğun nüfuslu bir bölgesinde mevcut binaların çatılarını yeşil çatı olarak kurgulayan bir çok 3D model üretmişler ve yüksek binaların birbirine olan mesafeleri ve yönelimlerini de dikkate alarak birbirleri üzerindeki gölgelendirme durumlarını analiz etmişlerdir. Bu üç boyutlu sanal model kullanılarak, çalışılan alan içindeki mevcut binaların komşu ya da bitişik binaların gölgelendirmesinden etkilenmeyen alanların miktarı tespit edilmiş ve bu veriler baz alınarak yeşil çatı tasarım modelleri oluşturulmuştur.

Ayrıca mevcut yapıların işletme aşamasında kullandıkları enerji miktarı ile ilgili kaygılar arttıkça bina yöneticileri de mevcut yapıların daha sürdürülebilir olması için alınabilecek önlemleri araştırmaktadırlar. Bu önlemlerin araştırılması, mevcut yapılara sürdürülebilir tasarım özelliklerinin dahil edilmesi, işletme maliyetlerinin azaltılması, çevresel etkilerin sınırlandırılması ve bina dayanıklılığının artırılmasını sağlamaktadır (Wong, Zhou, 2015).

5.2.5. Yıkım ya da Yeniden Kullanım Aşamasında BIM kullanımı

Gelişmiş ülkelerde, inşaat sektörü sürdürülebilirlik esaslarını baz alarak, mevcut binaların, enerji talebini azaltarak ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak daha çevre dostu hale getirmek için çalışmalarını sürdürmektedir. Kuzey Avrupa ve Kuzey Amerika'nın kentleşmiş bölgeleri artık bina stoklarını hızla arttırmamaktadır. Örneğin İngiltere'de mevcut bina stokunun yüzde 75'inin 2050 yılında kullanılması beklenmektedir. Bu gibi durumlarda, mevcut binaların güçlendirilmesi enerji taleplerini ve dolayısıyla sera gazı emisyonlarını azaltmak için kritik bir müdahale alanı haline gelmektedir (Ravetz 2008).

Gelişmekte olan ülkelerde ise artan inşaat faaliyetleri nedeni ile inşaat ve yıkım çalışmalarının

çevreye olan etkileri konusunda endişeler artmaktadır. Bilim insanları yapıların yıkım aşamasında ortaya çıkacak olan atıkların hesaplanması için birçok yazılım geliştirmeye çalışmaktadırlar. Bunlar arasında İngiltere Bina Araştırma Kurumu (UK Building Research Establishment) tarafından geliştirilen SMARTWaste aracı sahada üretilecek atık ürünlerin türlerini ve miktarlarını tahmin etmeye ve tanımlamaya yardımcı olmaktadır. SMARTWaste aracı atık yönetiminin yanı sıra; su, enerji, nakliye, malzeme, biyoçeşitlilik yönetimine yardımcı olmak için topladığı çevre ve yapı verilerinden raporlar sunmaktadır (URL-3).

Akbarnezhad ve arkadaşları, çeşitli bina dönüşümlerinin ekonomik maliyetleri ve çevresel faydaları (karbon salınımı ve enerji tüketiminin en aza indirilmesi) açısından etkilerini değerlendirmek için BIM tabanlı bir model geliştirmişlerdir. Bu model yapım malzemelerinin yaşam döngüsünü analiz etmektedir. BIM veritabanına, malzeme ile ilgili tüm veriler, malzeme özellikleri, taşıyıcı olma özelliği, sahaya nakliyesi, montaj detayları, topografik ve geometrik verileri vb. bilgiler işlenmektedir.

BIM veritabanından alınan bilgiler IFC formatında analiz araçlarına iletilmekte ve Ekonomik ve Çevreci Etki Analizcisi (EEIA) adını verdikleri analiz aracı kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. Kullanılan programın veri kütüphanesi çeşitli yapı malzemeleri, yapım aşaması, kullanım, yıkım veya yeniden kullanım aşamalarındaki malzeme fiyatı, enerji tüketimi ve karbon emisyonu miktarları ile ilgili bilgiler içermektedir. Özellikle yıkım aşaması için geliştirilen bu program ile hangi teknik ile yıkımın gerçekleştirilmesinin uygun olduğu bilgisi elde edilmektedir (Akbarnezhad ve ark., 2014).

Geri dönüşüm, geleneksel yıkım ve katı atık depolama alanlarından çok daha sürdürülebilir bir seçenek olarak görülmektedir. Geri dönüşüm, sadece katı atık depolama işlemi sırasında ortaya çıkan maliyet, enerji kullanımı ve karbon emisyonunun bir kısmından kaçınmakla kalmamakta, aynı zamanda alternatif geri dönüştürülmüş malzemeleri temin ederek yeni malzemelerin çıkarılması talebini de azaltmaktadır (Klang ve ark., 2003).

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İklim krizinin en önemli faktörü olan fosil tabanlı enerji kullanımı ve sonucunda salınan emisyonları en aza indirmek hatta sıfır düzeyine düşürebilmek için yapılması planlanan yeni yapılar ve de mevcut yapı çevrede BIM araçları kullanılarak oluşturulan analizler ve hesaplamalar

sayesinde olası tüm sonuçlar, değerler ve alternatifler hızlı bir şekilde yapıların sayısal ikizleri üzerinden değerlendirilebilir. Bahsedilen bu sistemlerin yaygın olarak kullanılması resmi kurumlar tarafından teşvik edilmeli, geleneksel çizim teknikleri ile sınırlandırılan inşaat endüstrisi eğitiminde köklü değişiklikler yapılmalı ve akıllı yapı sektörünün gelişmesi sağlanmalıdır. Bütün bu önerilerin bir an önce gerçekleştirilmesi iklim krizini önlemek için alınacak en önemli önlemlerden birisidir.

Architecture 2030 tarafından yayınlanan Net Zero Buildings standardında yer alan hesaplama ve analiz ilkeleri baz alınarak oluşturulacak BIM tabanlı yeni analiz araçları sayesinde, iklim krizi konusunda yapı sektörünün alması gereken önlemler her bir bina ve şehir için analizlerin hızlı bir şekilde yapılmasını sağlayabilir. Alınan sonuçlar bina yaşam döngüsünün tüm aşamalarında kullanılarak Paris Antlaşması hedeflerine ulaşılabilir.

BIM tabanlı kullanılabilen analiz ve hesaplama araçlarının geliştirilmesi ve açık kaynaklı olarak kullanılması gereklidir.

Ayrıca binaların çevreye verdiği etkiyi azaltmak için yapıları kullanan kullanıcıların da etkisinin önemli olduğu unutulmamalıdır. Yapı yönetimi olarak adlandırdığımız bölümde atık ve enerji kullanımını konusunda her bir bireyin bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

7.KAYNAKLAR

Akbarnezhad, Ong, Chandra, 2014. Economic and environmental assessment of deconstruction strategies using building information modeling, *Autom. Constr.* 37, 131–144.

Artenian, Sadeghpour, Teizer, 2010. A GIS framework for reducing GHG emissions in concrete transportation, *Proc. of Construction Research Congress, Canada*, sayfalar; 1557–1566.

Azhar, Brown, Sattineni, 2010. A case study of building performance analyses using building information modeling, *Proceedings of the 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Bratislava, Slovakia*.

Brundtland, 1987. *Our Common Future- Brundtland Report by World Commission on Environment and Development- United Nations*.

Bynum, Issa, Olbina, 2012. Building information modeling in support of sustainable design and construction, *J. Constr. Eng. Manag.* 139 24–34.

- Chong, Wang, (2014) Improving quality and performance of facility management using building information modelling. In: Luo Y (ed) Cooperative design, visualization, and engineering. Springer International Publishing, Berlin, pp 44–50
- Clevenger, Khan, 2014. Impact of BIM-Enabled Design-to-Fabrication on Building Delivery, *Pract. Period. Struct. Des. Constr.* 19, 122–128.
- Costa, Keane, Torrens, Corry, 2013. Building operation and energy performance: monitoring, analysis and optimisation toolkit, *Appl. Energy* 101 310–316.
- D. Li, H. Chen, E. C. Hui, J. Zhang and Q. Li, "A Methodology for Estimating the Life-Cycle Carbon Efficiency of a Residential Building," *Building and Environment*, vol. 59, pp. 448-455, 2013.
- Erengözgin, 2005. Enerji Mimarlığı. 4. Yenilenebilir Enerjiler Sempozyumu ve Sanayi Sergisi Bildiri Özetleri, Ege Üniv. Güneş Enerjisi Enstitüsü, 47-48.
- General Service Administration U.S. (GSA), 2007. GSA Building Information Modeling Guide Series 01—Overview, General Services Administration, Washington, DC, USA.
- GlobalABC, 2018. Global alliance for buildings and constructions, 2018 Global Status Report.
- Gustavsson, Joelsson, Sathre, 2010. Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-story wood-framed apartment building, *Energy Build.* 42 (2) 230–242.
- Global Commission on Adaptation, 2019. Adapt Now: A Global Call For Leadership on Climate Resilience.
- GSR, 2017. Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector, Global Status Report, UN Environment.
- Gore, 1992. *Earth in the Balance*, A Bloom Book.
- Jalaei, Jade, 2014. Integrating BIM with green building certification system, energy analysis, and cost estimating tools to conceptually design sustainable buildings, *Construction Research Congress*, 140–149.
- Klang, Vikman, Bratteb, 2003. Sustainable management of demolition waste -an integrated model for the evaluation of environmental, economic and social aspects, *Resour. Conserv. Recycl.* 38,317–334.
- Krygiel, Nies, 2008. *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling*, John Wiley & Sons.
- Liao, Tan, Li, 2012. Research on the application of BIM in the operation stage of green building, *Appl. Mech. Mater.* 174 2111–2114.
- McGraw-Hill Construction, 2010. *Green BIM: How Building Information Modelling is Contributing to Green Design and Construction: SmartMarket Report*, McGraw-Hill Construction.
- Mousa, Luo, McCabe, 2016. Utilizing BIM and Carbon Estimating Methods for Meaningful Data Representation. *International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction*.
- Novitski, 2009. BIM promotes sustainability, Practitioners are finding paths to green through interoperable software.
- Prasad, Hall, 2004. *Construction challenge: sustainability in developing countries*. London: RICS Leading Edge Series.
- Peña-Mora, Ahn, Golparvar-Fard, Hajibabai, Shiftehfar, An, Aziz, Song, 2009. A framework for managing emissions during construction, in *National Science Foundation, Cairo, Egypt (Ed.), Proceedings of the NSF International Workshop on Green Buildings and Sustainable Construction*.
- Qin, 2018. *The Use of BIM Information Building Models in Environmental Protection*.
- Ravetz, 2008. "State of the stock – What do we know about existing buildings and their future prospects?" *Energy Policy*, 36, 12, 4462-4470.
- Rode, Burdett, Gonçalves 2011. "Buildings: investing in energy and resource efficiency" published in *United Nations Environment Programme, (corp. ed.) Towards a green economy: pathways to sustainable development and poverty eradication. United Nations Environment Programme*, pp. 331-373.
- Sev, 2009. "Sürdürülebilir Mimarlık", *Yapı-Endüstri Merkezi*, Yem Yayın
- Schlueter, Thesseling, 2008. Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages, *Autom. Constr.* 18 pp.153–163.
- WIT, 2015. *Transactions on The Built Environment*, sayı 149, WIT Press.

Wong, Li H., Wang, Huang, Luo, Li V., 2012. Toward low-carbon construction processes: the visualisation of predicted emission via virtual prototyping technology.

Wong, H. Li, Wang, Huang, Luo, V. Li, 2013. Toward low-carbon construction processes: the visualization of predicted emission via virtual prototyping technology, Autom. Constr. 33 s.72–78.

Wong, Lau, 2013. From the ‘urban heat island’ to the ‘green island’? A preliminary investigation into the potential of retrofitting green roofs inMongkok district of Hong Kong, Habitat Int. 39, 25–35.

Wong, Zhou, 2015. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review.

WRI, 2019. World Researches Institute, Accelerating Building Decarbonization: Eight Attainable Policy Pathways to Net Zero Carbon Building For All.

WRI-Ross Center, 2019. Unlocking The Potential For Transformative Climate Adaptation in Cities. Background Paper. Authors, based on Chu, E., Brown, A., Michael, K., Du, J., Lwasa, S., and Mahendra, A.

İnternet Kaynakları

URL-1 <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>
(Erişim tarihi 17 Kasım 2019).

URL-2
<https://earthobservatory.nasa.gov/images/145898/au-ssie-smoke-plumes-crossing-oceans> Aussie Smoke Plumes Crossing Oceans (Erişim tarihi 4 Ocak 2020).

URL-3
<https://www.bresmartsite.com/products/smartwaste/#section2> SMARTWaste (Erişim tarihi 19 Aralık 2019).