



sustainability



İnceleme

Sürdürülebilir Binalar için Atık Yönetimi ve Operasyonel Enerji: Bir İnceleme

Rosaria E.C. Amaral, Joel Brito, Matt Buckman, Elicia Drake, Esther Ilatova, Paige Rice, Carlos Sabbagh, Sergei Voronkin ve Yewande S. Abraham

Özel Sayı

Sürdürülebilir İnşaat ve Mimarlık

Düzenleyen

Dr. Mary Hardie



<https://doi.org/10.3390/su12135337>



İnceleme

Sürdürülebilir Binalar için Atık Yönetimi ve Operasyonel Enerji: Bir İnceleme

Rosaria E.C. Amaral, Joel Brito, Matt Buckman, Elicia Drake, Esther Ilatova, Paige Rice, Carlos Sabbagh, Sergei Voronkin * ve Yewande S. Abraham * 

İnşaat Mühendisliği Teknolojisi Çevre Yönetimi ve Güvenliği Bölümü, Rochester Teknoloji Enstitüsü, 78 Lomb Memorial Dr., Rochester, NY 14623, ABD; rac7979@rit.edu (R.E.C.A.); jrb5439@rit.edu (J.B.); mebfms@rit.edu (M.B.); ejd4872@rit.edu (E.D.); ei6742@rit.edu (E.I.); ptr3841@rit.edu (P.R.); cs1667@rit.edu (C.S.)

* Yazışma adresi: sv9619@rit.edu (S.V.); ysaite@rit.edu (Y.S.A.) Alındı: 27

Mayıs 2020; Kabul Tarihi: 29 Haziran 2020; Yayın Tarihi: 1 Temmuz 2020



Özet: İnşaat ve yıkım atıkları, katı atıkların önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.

küresel ölçekte düzenli depolama alanlarını doldurmaktadır. İnşaat sektörü tarafından üretilen atıkların önemli bir kısmı önemli bir artık değere sahiptir ve bu nedenle atık yönetimi ve sürdürülebilirlik ilkeleri ve teknikleri uygulanmalıdır. Binalar işletme aşamasında çok fazla enerji tüketir, ancak tasarım ve inşaat sırasında alınan kararlar bina operasyonlarını etkiler. Bu çalışma, bina yaşam döngüsünün farklı aşamalarında verimli kaynak ve atık yönetimi yoluyla ekonomi, toplum ve çevre üzerinde minimum etki sağlayan stratejileri keşfetmek için sürdürülebilir bina uygulamalarını incelemektedir. Bu uygulamalar arasında kirliliğin azaltılması, yeniden kullanım ve geri dönüşüm, enerji tüketimi, somutlaştırılmış karbon ve su kaynakları yönetimi yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: atık yönetimi; yeniden kullanım ve geri dönüşüm; somutlaştırılmış karbon; iç mekan hava kalitesi; akıllı bina işletimi; enerji verimliliği

1. Giriş

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US EPA), Amerika Birleşik Devletleri'nin 1996 yılında 136 milyon ton [1,2] ve 2017 yılında 569 milyon ton inşaat atığı ürettiğini ve bu miktarın kentsel katı atık miktarının iki katından fazla olduğunu iddia etmektedir [2]. Özellikle inşaat atıklarının çoğunun geri dönüştürülebileceği düşünüldüğünde, düzenli depolama alanlarına atılan inşaat atıklarındaki artış şaşırtıcıdır. Küresel olarak, inşaat ve yıkım (C&D) en önemli atık katkıcısıdır [3], düzenli depolama atıklarını sürekli olarak arttırmakta ve iklim değişikliğinde temel bir faktör olan daha fazla metan üretmektedir [1]. Sadece Birleşik Krallık'ta her yıl 120 milyon tondan fazla inşaat, yıkım ve hafriyat atığı üretilirken [4], Avrupa Birliği'nde yılda 450 milyon tondan fazla C&D atığı üretilmektedir [5]. Toplam atığın büyük bir yüzdesini oluşturduğundan, C&D atıklarının yeniden yönlendirilmesi muhtemelen ölçülebilir sonuçlar doğuracaktır. Sektör profesyonelleri, atık üretimini ve bertarafını en aza indirmek için tasarım, inşaat ve kullanım sırasında azaltma, yeniden kullanma ve geri dönüştürme tekniklerini uygulayabilir.

Bina kullanımı ve operasyonları çevre üzerinde daha da zararlı etkilere neden olmaktadır. Konutlar ve ticari binalar, küresel enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır [6]. ABD Enerji Bilgi İdaresi'ne (US EIA) göre, 2019 yılında ABD'de birincil enerji tüketimi yaklaşık 2527 Mtep (100,2 Katrilyon Btu), kişi başına birincil enerji tüketimi ise 7,69 TEP (305 Milyon Btu) olmuştur [7]. Küresel olarak, insanlar 2015 yılında yaklaşık 14.501 Mtep (575 Katrilyon Btu) enerji kullanmıştır [8]. 2019 yılında, şebeke ölçeğindeki elektriğin %62,7'si doğal gaz (%38,4), kömür (%23,5) ve petrol (%0,5) gibi fosil yakıtlardan üretilmiştir [9]. Enerji talebindeki artan büyüme

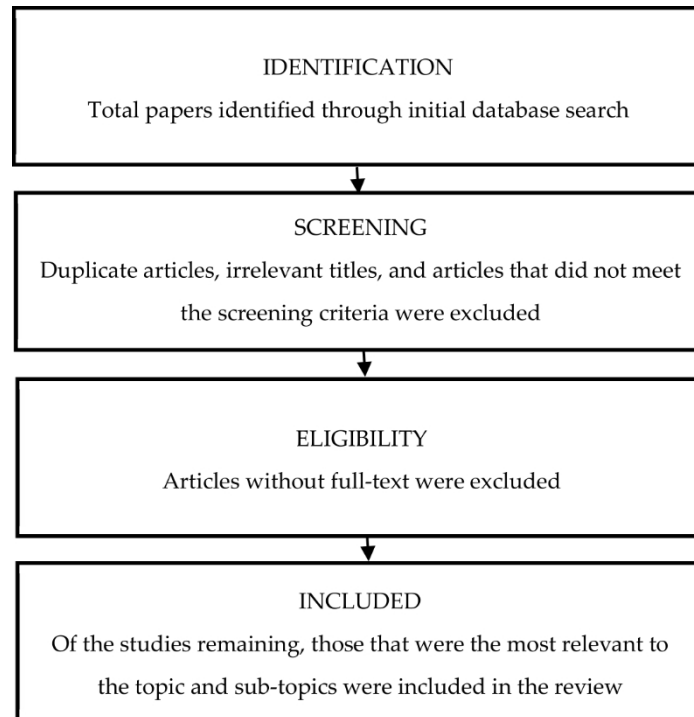
2018'de enerji kullanımıyla ilişkili karbon emisyonlarında %2'lik bir artışa neden olmuştur [10]. Rüzgar, güneş ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları 2016 yılında küresel elektrik üretiminin %24'ünü oluştururken 2018 yılında bu oran %26,2'ye yükselmiştir [11,12].

Sürdürülebilir tasarım ve inşaat, temel olarak binaların olumsuz çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerini en aza indirmeye odaklanmaktadır. Dünya genelinde birçok ülkede yaşanan hızlı kalkınma, yönetilemeyen önemli inşaat atıklarının ortaya çıkmasına neden olmuş, böylece iklim değişikliğine, sağlık tehlikelerine ve ekolojik dengesizliğe katkıda bulunan toprak, su ve hava kirliliğinin artması gibi çevre üzerinde önemli olumsuz etkiler yaratmıştır. Buna ek olarak, kötü tasarım ve inşaat uygulamaları, enerji ve malzeme kaynaklarının israfına yol açarak önemli yaşam döngüsü ekonomik ve çevresel etkilere sahiptir [13].

Bu çalışma, bir binanın yaşam döngüsünün farklı aşamalarında verimli kaynak yönetimi yoluyla maliyetler, toplum ve çevre üzerinde minimum etki sağlayan stratejileri keşfetmek için sürdürülebilir bina inşaatı ve operasyonlarını incelemektedir. Bu makalenin geri kalan bölümleri aşağıdaki şekilde özetlenmiştir. Bölüm 2'de araştırma metodolojisi sunulmaktadır. Bölüm 3, atık yönetimi stratejileri ve binalar için enerji tasarrufu sağlayan teknolojilere odaklanan ve uygulamada etkinliği kanıtlanmış literatür taramasından elde edilen bulguları içermektedir. Bölüm 4'te sonuçlar ve gelecekteki araştırma yönleri sunulmaktadır.

2. Araştırma Metodolojisi

Yazarlar literatür incelemelerini Sistematik İncelemeler ve Meta-Analizler için Tercih Edilen Raporlama Ögeleri (PRISMA) aracını kullanarak, özellikle PRISMA akış diyagramı ve PRISMA kontrol listesindeki yönergeleri benimseyerek tanımlamış, analiz etmiş ve raporlamışlardır [14]. PRISMA, ilgili araştırmaları saptamak ve analitik olarak gözden geçirmek ve incelemeye dahil edilen çalışmalardan bilgi toplamak ve incelemek için sistematik ve istatistiksel uygulamaları kullanır. PRISMA akış diyagramı, yazarlara araştırmalarında rehberlik edecek dört aşamalı kriter sunar: tanımlama, tarama, uygunluk ve dahil etme (Şekil 1) [15].



Şekil 1. Makalelerin seçim sürecini gösteren basitleştirilmiş akış şeması.

Tanımlama aşamasında yazarlar, arama stratejisinde seçilen anahtar kelimeleri kullanarak ASCE İnşaat Mühendisliği Veritabanı, Compendex, Proquest, SAGE dergileri, SpringerLink, Scopus, Web of Science, IOPScience ve Google Scholar gibi veritabanı hizmetleri aracılığıyla potansiyel makaleleri belirledi. Aramada Tablo 1'de yer alan alt konularla ilgili anahtar kelimeler kullanılmıştır. Kullanılan anahtar kelimelerden bazıları kirliliğin azaltılması, tasarım, inşaat atıkları, atık yönetimi, yapı malzemelerinin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü, somutlaştırılmış karbon, sürdürülebilir inşaat, su atıkları, su hasadı, doğal biyolojik çözümler, İç Mekan Hava Kalitesi (IAQ), İç Mekan Çevre Kalitesi (IEQ), akıllı bina, teknoloji, akıllı ev, bina enerji tüketiminin azaltılması, bina enerji verimliliği ve bina enerji tasarrufu stratejileridir. Daha sonra, bulunan makaleler, atıf sayısı ve dergi etki faktörünün kontrol edilmesi de dahil olmak üzere tanımlanmış bir dizi kriter kullanılarak uygunluk ve uygunluk açısından taranmıştır. Yazarlar, belirlenen kaynakların kalitesini değerlendirmek için PRISMA kontrol listesini kullanmış; yalnızca en ilgili makaleler makaleye dahil edilmiştir. Ayrıca, sonuçları daraltmak için aramaya çeşitli filtreler uygulanmıştır; örneğin, belirtilen zaman diliminin dışında kalan makaleleri elemek için bir dönem belirtilmiştir. Hem dergi hem de dergi dışı makaleler dahil edilmiştir.

Tablo 1. Her bir alt konu için aranan ilk üç anahtar kelime.

Hayır	Alt Konu	İlk Üç Anahtar Kelime
1	Sınırlı inşaat için tasarım atık	Tasarım, inşaat atıkları, prefabrikasyon
2	Kirliliğin azaltılması	Kirliliğin azaltılması, yeşil bina, atık yönetimi
3	Yeniden kullanım ve geri dönüşüm değerlendirmesi	Geri dönüşüm, yeniden kullanım, yaşam döngüsü
4	Somutlaştırılmış karbon	Somutlaştırılmış karbon, somutlaştırılmış enerji, sürdürülebilir inşaat
5	Su tasarrufu sağlayan inşaat süreci	Atık su, su hasadı, biyo doğal çözümler
6	(Enerji) (tüketim)	Bina enerji tüketimi, bina enerji verimliliği, bina enerji tasarrufu stratejileri
7	İç Hava Kalitesi (IAQ)	IAQ, İç Mekan Çevre Kalitesi (IEQ), hava kirlleticiler
8	Akıllı bina monitörleri	Akıllı bina, akıllı şebeke, akıllı sayaç

İlk aramalardan elde edilen 667.153 sonuçtan, herhangi bir filtre uygulanmadan önce, 667.070 kaynak, tekrarlama, başlığın ilgisizliği ve uygun olmayan tam metin ve yöntemler gibi kriterler nedeniyle hariç tutulmuştur. Diğer kaynaklar ek aramalardan dahil edilmiştir. Nihayetinde, yalnızca 111 kaynak makaleye dahil edilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Binalarda Atık Yönetimi

3.1.1. Sınırlı İnşaat Atıkları için Tasarım

Tasarımcının Rolü

Mimari ve mühendislik kararları, inşaat aşamasında ortaya çıkan atık miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. İnşaatın tasarım aşaması, atık yönetimini ele almak için en iyi fırsattır. Mimarlar ve mühendisler - tasarımcılar - atık üretimiyle dolu bir projeye karşı ilk savunma hattıdır: atıkları etkin bir şekilde yönetmek için belirleyici rolleri, atıkları projeden çıkarmaya odaklanmaktadır [16,17]. Sahadaki inşaat atıklarının büyük bir kısmı verimsiz tasarım kararlarının sonucudur [3] ve sahadaki tüm atıkların yaklaşık üçte biri mimarların tasarım aşamasında atık azaltma önlemlerini uygulamamasından kaynaklanmaktadır [16]. Estetik ve müşteri talepleri sınırlı sayıda tasarım yönetimi önleminde rol oynayabilir; bu nedenle, önlemleri kendi başlarına yürürlüğe koymak mimarların sorumluluğundadır. Tasarımcılar tasarımlarına atık yönetimi çözümlerini dahil edebilir, müşterilere atıkların ekonomik, sosyal ve çevresel etkilerini gösterebilir ve bu konuda onları eğitebilirler.

faidaları [3]. Atıkları tasarlamak zorlu bir görev olabilir, bu nedenle Atık ve Kaynak Eylem Programı (WRAP) bu fikri beş ilkeye ayırmaktadır: (1) yeniden kullanım ve geri kazanım için tasarım, (2) *saha dışı* inşaat için tasarım, (3) malzeme optimizasyonu için tasarım, (4) atık verimli tedarik için tasarım ve (5) yapı söküm ve esneklik için tasarım [4].

Entegre Proje Teslimi (IPD) yönteminin kullanılması, etkili atık yönetimi tekniklerinin uygulanmasına yardımcı olacaktır. Müşteriler, mal sahipleri, mimarlar, mühendisler ve yüklenicilerin tümü tasarım aşamasından binanın inşasına kadar projeye entegre edildiğinden, ekip uygun atık yönetimi uygulamaları geliştirebilir ve kabul edebilir. "Entegre atık yönetiminin ayırt edici özelliklerinden biri, atıkların ilk etapta oluşmasını önlemektir" [1]. Bu nedenle, mimarların inşaat sürecini göz önünde bulundurması en yüksek önceliğe sahiptir [18] çünkü bu, tüm inşaat sürecinden sorumlu olan bireylerin ve esnafın kolektif bir çabasıdır.

Tesis Dışı İmalat/Standardizasyon

Saha dışında üretilmek üzere tasarlanan yapı bileşenleri, *saha* içi inşaatı kolaylaştırır. *Saha* dışı prefabrikasyon ve prekastın faydaları arasında inşaatla ilgili nakliyenin azaltılması, kazaların önlenmesi, hataların, yeniden çalışmanın ve hasarların azaltılmasıyla işçilik kalitesinin iyileştirilmesi, atıkların azaltılması ve inşaat programlarının iyileştirilmesi yer almaktadır [4,16]. Prefabrik binalar, daha düşük emisyon, su ve enerji tüketimi nedeniyle inşaat ve kullanım ömrü sonu aşamalarında daha düşük çevresel etkiye sahiptir [19]. Örneğin, prefabrikasyon beton atıklarını en aza indirmek için en çok önerilen iki çözümden biridir (diğeri tedarik yönetimidir) [20]. Prefabrike bileşenlerin nakliyesinin yerinde imalattan daha az sürdürülebilir olduğu iddia edilebilir, ancak nakliye ile ilgili dikkate alınması gereken birçok faktör vardır. Tamamen bitmiş bileşenlerin etkin yönetimi, tüm alt bileşenlerin taşınmasından ve sahada üretilmesinden daha sürdürülebilir olabilir [21]. Bazı tasarımcılar, prefabrike konutların daha yaygın hale gelmesine rağmen [1], önceden imal edilmiş yapı bileşenlerinin estetik değerinin sınırlı olduğunu savunmaktadır [22]. Ancak estetik bir görüş meselesidir; prefabrikasyon ise standardizasyona benzer şekilde bir sürdürülebilirlik meselesidir. Standardizasyon, malzeme *kesintilerinin* miktarını sınırlayan atık azaltıcı bir uygulamadır [16,17].

Yerinde yapılan çok sayıda *kesimin* önemli bir nedeni standardizasyon ve boyutsal koordinasyon eksikliğidir [17]. Yerinde inşaat, tedarik ve ölçülendirmede hatalara ve malzeme fazlalıklarına eğilimli olabilecek *saha* ölçümlerini içerir. Standart malzeme boyutlarıyla uyumlu olmayan düzensiz şekiller ve ölçülendirme, kesim israfına neden olur; bu nedenle mimarlar ve mühendisler, inşaat aşamasında daha az ölçüm ve kesime ihtiyaç duyulması için malzeme boyutlarıyla koordineli boyutlar kullanarak sistemleri tasarlayabilir ve düzenleyebilir [22,23]. Alçıpan, tuğla, beton duvar ünitesi (CMU), borular ve kanallar için standart yapı malzemesi boyutlarına uymak, sahadaki atıkları azaltabilir ve sahada enkaz ayırma ve taşıma ücretlerine olan ihtiyacı sınırlandırabilir [16]. Standart tasarımlar kontrollü bir ortamda üretilebilir; daha sonra, sahadaki sınırlı esnaf ve sahada kesim nedeniyle sahada inşa edilebilirlik artar ve parçaların hızlı bir şekilde monte edilmesine izin verir [4,16]. Sektör profesyonelleri, prefabrik binaların ve modüler sistemlerin sayısının arttığını görmüştür [18]. Tasarımcılar, bina tasarımının hangi parçalarının *saha dışında* üretilebileceğini veya imal edilebileceğini belirleyebilir ve bileşenlerin üretimi veya kesimi için tasarlanan Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) modelini kullanabilir. Aşağıda açıklandığı üzere BIM, tasarımcıların inşaat israfını sınırlandırmak için kullanabilecekleri en önemli araçtır.

Atık Azaltımı için BIM

İnşaat çizimleri ve şartnameler bir projede kullanılan en önemli belgelerdir. Kötü tasarım kararları büyük miktarlarda atık oluşmasına neden olabilir. İnşaat atıklarının üçte biri genellikle yanlış tasarım ve değişikliklerden kaynaklanmaktadır [20,24]. BIM, tüm tarafların projeyi görselleştirmesine, giderilmesi gereken sorunlu alanları tespit etmesine ve binayı verimli bir şekilde inşa etmek için kullanılabilecek çıkarılabilir bilgiler oluşturmaya olanak tanıyan büyük ölçekli verileri [17] depolar. Tasarım aşamaları sırasında çatışmaları, uygunsuz tasarım tekniklerini, programları ve maliyetleri belirleme yeteneği, işbirliğini kolaylaştırır [18], böylece ilgili tüm taraflar başlangıçtan itibaren dahil olduğu için atık yönetimini iyileştirir.

bitirmeye kadar [3]. BIM'in sahadaki inşaat atıklarını %15-32 oranında azalttığı gösterilmiştir [3,24]. Çatışmaların ve kötü tasarımın inşaatın önce dijital olarak tespit edilmesiyle, değişiklik siparişleri, yeniden çalışma süresi ve maliyetler azaltılarak ve potansiyel olarak ortaya çıkabilecek atıklar sınırlandırılarak [3] bu sorunlar sahada önlenir [16]. Modele tüm proje ekibi tarafından erişilebildiğinden, yükleniciler kolayca malzeme *çıkartımları* oluşturabilir ve kolay sipariş için malzeme listelerini (bazen maliyetler ve model numarasıyla birlikte) dışa aktarabilir [20,24].

BIM, çizim *verimsizliklerini* ve dolayısıyla üretilen atıkları azaltabilir. Won [20] Güney Kore'de atık yönetimi için iki vaka çalışması gerçekleştirmiştir. İlk vaka, toplam taban alanı yaklaşık 120.000 m² olan iki konut birimini, ikinci vaka ise bir beyzbol tesisi ve toplam taban alanı 9995 m² olan bir kulüp binasından oluşan bir spor kompleksini içermektedir. İlk vakada tasarım hatalarının neredeyse %48'inin çizimler arasındaki tutarsızlıklardan kaynaklandığı; ikinci vakada ise tasarım hatalarının %57'sinin mantıksız tasarımdan kaynaklandığı tespit edilmiştir [20]. Çizim tutarsızlıkları ve mantıksız tasarımlar, vaka 1 ve vaka 2'deki toplam yeniden çalışmanın sırasıyla %69 ve %71'ini oluşturmuştur [20]. Won, BIM'in dahil edilmesi halinde inşaat atığı azaltma oranlarının vaka 1 için %15,2 ve vaka 2 için %4,3 olacağını tahmin etmiştir [20].

Gavilan [25], ABD'de iki küçük, bir orta büyüklükte ve bir büyük şirket olmak üzere yüklenici firma büyüklüğünün farklı olduğu dört farklı proje üzerinde vaka çalışmaları gerçekleştirmiş ve eşit sonuçlar elde etmiştir: şirketin büyüklüğü atık yönetimini etkilememiştir [25]. Çalışma, israfın "düşük verimliliğin geleneksel kaynaklarıyla yakından bağlantılı olduğu" sonucuna varmış ve kaynakları genel tasarım, tasarım değişiklikleri ve çizim ve detay hataları dahil olmak üzere altı kategoride düzenlemiştir [25]. Bu tasarım hatalarından kaynaklanan atıklar, yeniden işleme nedeniyle ortaya çıkmaktadır: yüklenici bileşen(ler)i inşa etmişse ve söküp yeniden inşa etmesi gerekiyorsa, malzemelerin kurtarılması mümkün değildir [25]. BIM, tespit edilen altı israf sorunundan söz konusu üçünü çözebilirdi. Tasarım, tüm esnaf tarafından gerçekleştirilen çakışma tespiti ile doğru bir şekilde modellenebilir, böylece kötü tasarım ve kötü çizim belgeleri önlenerek ihtiyaç duyulan tasarım değişiklikleri sınırlandırılabilir.

BIM'in kullanım alanları tasarım aşamasından sonra da devam etmekte, inşaat, devreye alma ve işletme aşamalarında verimlilik sağlamaktadır. BIM modelinin en önemli kullanımlarından biri, birden fazla teknolojiyi ve programı tasarım sürecine entegre ederek inşaatın sonraki aşamalarında kullanılmak üzere verilerin çıkarılmasıdır [3,17]. BIM yazılımından ilgili tüm bilgilerin, unsurların ve spesifikasyonların çıkarılmasıyla atıklar verimli bir şekilde yönetilebilir. İmalat çizimlerini okumak, ölçmek ve düzenlemek yerine, BIM geometrisi imalat programlarında kullanılmak üzere dışa aktarılabilir [16]. İmalat otomatikleştirilir ve tam olarak çizimlerde modellendiği gibi bileşenler üretir. *Saha dışı* imalatın önemi bir önceki bölümde tartışılmıştı. Nihai model inşa edildikten sonra, binanın ömrü boyunca işletme ve bakım amacıyla kullanılmak üzere mal sahibine sunulabilir. Model tam bir dijital kopya olduğundan, tadilat ve bakım işleri yine çakışma tespiti, zamanlama ve malzeme *çıkarma* için BIM'i kullanabilir.

BIM, bir projede yer alan tüm paydaşların ortak bir çabasıdır. Projeyi eksiksiz bir varlık olarak deneyimlemek için modeli kullanmak, tasarımcıların, yüklenicilerin ve mal sahiplerinin uyumlu ve eksiksiz bir anlayışa sahip olmasını sağlar ve sonuç olarak, üretilen atık miktarını etkili bir şekilde sınırlayan tamamen birleştirilmiş bir tasarım, inşaat ve işletme paketi üretir.

3.1.2. Atık Yönetimi ve Kirliliğin Azaltılması

Kirliliğin azaltılması, sürdürülebilir binalara ulaşmanın ve özellikle atık yönetiminin en etkili yollarından biridir, çünkü binalar zehirli toz ve diğer hava kirleticileri, zararlı katı atıklar, su kirleticileri ve gürültü kirliliği de dahil olmak üzere çok çeşitli kirleticilerin salınmasından sorumludur. Genel olarak, üçlü kar hanesi (TBL) sürdürülebilirlik alanında önemli bir muhasebe çerçevesidir ve bina ve inşaat projelerinin sosyal, finansal ve çevresel performansı olmak üzere üç önemli boyutu dikkate almaktadır [26]. TBL'nin sosyal sürdürülebilirlik boyutu, yeşil binaların, bina ve inşaat projesinin yerel toplum üzerindeki potansiyel sosyal etkilerini dikkate almasını gerektirir. Bu, inşaat sırasında yerel halkın istihdam edilmesiyle sağlanabilir.

süreci ve bina sakinlerinin sağlığını destekleyen binaların tasarlanmasıdır, ancak sosyal sürdürülebilirlik çok sayıda başka yönü de içerir ve daha sağlam olması gerekir [27].

Sürdürülebilir binaların finansal yönü, yatırımcılar, yerel toplum ve bir bütün olarak toplum için ekonomik fayda yaratma potansiyeline sahip inşaat projelerinin ekonomik uygulanabilirliğini içerir. Bunu ölçmenin bir yolu, bina için seçilen malzemelerin yaşam döngüsü ekonomik ve çevresel etkilerini tahmin etmektir.

İnşaat projelerinde çevresel sürdürülebilirlik, büyük ölçüde kirliliğin azaltılmasını artıran ve çevre üzerinde minimum etkiye sahip sürdürülebilir bina uygulamalarının kullanılmasını içerir [28]. Sürdürülebilir binalar çeşitli kirlilik azaltma stratejileri kullanmaktadır. Örneğin, bina ve inşaatlarda hava kirliliği sorunu, inşaat tozunun ince su spreyları ile nemlendirilmesi, inşaat sahalarında zehirli atıkların yakılmasının sınırlandırılması ve yerel kaynaklı sürdürülebilir inşaat malzemelerinin kullanılması ile ele alınmaktadır [25]. Su kirliliğinin azaltılması, atıkların geri dönüşüm yoluyla bertaraf edilmesinin etkin bir şekilde izlenmesiyle sağlanır. Son olarak, gürültü kirliliği akustik bariyerler kurularak, uygun şekilde bakımı yapılmış ekipmanlar kullanılarak ve inşaat çalışanlarının işitme kaybını önlemek için uygun ekipmanlar giyilerek azaltılır. Kirliliğin azaltılmasına yönelik diğer stratejiler arasında malzeme seçimi ve uygun atık yönetiminin uygulanması yer almaktadır.

Bina Tasarımı ve Malzeme Seçimi

Optimize edilmiş bina tasarımı, yerleşim ve uygun malzeme seçimi TBL'nin önemli bileşenleridir ve atık azaltımına katkıda bulunur. Sürdürülebilir binalarda, seçilen alanlar kentsel yayılmayı en aza indirmeli ve doğal yaşam alanlarının potansiyel tahribatından kaçınmalı, binaları sadece çevre üzerindeki etkilerini azaltmakla kalmayıp aynı zamanda enerji kullanımını en aza indirecek şekilde tasarlamalı ve binanın dayanıklılığını artıran ve performansını iyileştiren uygun malzemeler kullanılmalıdır [29]. Bu, inşaat alanındaki bina ayak izini en aza indirmek için yer seçimi sırasında yağmur suyu akışı gibi mevcut doğal hidrolojik özelliklerden yararlanılarak gerçekleştirilebilir [30]. Buna ek olarak, ısı yalıtımı sağlayan, enerji verimliliğini artıran ve kirliliği ve enerji israfını azaltan uygun malzemelerin seçilmesi önemlidir. Örneğin, yüksek performanslı low-e camlar, binalarda optimum enerji performansının elde edilmesinde kritik öneme sahiptir. Benzer şekilde, sensörler içeren enerji *tasarruflu* ampullerin kullanılması da binalarda enerji kullanımını azaltabilir.

Yapı Malzemelerinin Yeniden Kullanımı ve Geri Dönüşümü

Yeniden kullanım ve geri dönüşüm, binaların çevresel etkisini azaltmaya yardımcı olan önemli bir stratejidir. İzlenecek iyi bir ilke önce azaltmak, yeniden kullanmak ve sonra geri dönüştürmektir. Yeniden kullanım ve geri dönüşüm, ortak bir hedefe ulaşmaya çalışsalar da birbirlerinin yerine kullanılamayan farklı terimlerdir. Geri dönüşüm, "toplanan malların toplanması, ayrıştırılması, işlenmesi ve yeni ürünlere dönüştürülmesi" yoluyla malzemeleri çöp sahasından uzak tutar [31]. Yeniden kullanım süreci sayesinde, toplanan mallar başkalarına aktararak malzemeler atık akışından ve çöp sahalarından uzak tutulur [31]. Bu da vatandaşların, artık bu ürünlere ihtiyaç duymayan başkaları tarafından atılan ürünleri faydalı hale getirmelerine olanak tanıyarak toplumlarımızın refahını artırmaktadır. Çevresel bir perspektiften bakıldığında, yeniden kullanım programları hava, su ve toprak kirliliğini azaltmakta ve doğal kaynakların kullanımını sınırlandırmaktadır [31]. Ekonomik açıdan bakıldığında, yeniden kullanım tüm sosyoekonomik kesimlerden insanların ihtiyaç duydukları ürünleri daha ucuz bir şekilde elde etmelerine yardımcı olabilir [31].

Yeniden kullanılabilir yapı malzemelerinin kullanılması atık kirliliğini ve enerji kullanımını azaltabilir [31]. Çevre dostu yapı malzemeleri arasında ahşap, çelik, alüminyum, demir ve bakır gibi metaller, tuğla, beton, alçıpan ve linolyum döşeme yer alır ve bunların tümü biyolojik olarak parçalanabilir, yeniden kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir. Yeniden kullanılabilir yapı malzemeleri ya tek bir maddeden oluşabilir ya da yeniden kullanılabilen veya geri dönüştürülebilir ayrı ayrı malzemelere ayrılabilir [31,32]. İnşaat ve yıkım, ABD katı atık akışının %30-50'sini oluşturmaktadır ve bu faaliyetlerden elde edilen malzemenin yaklaşık %85'i yeniden kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir malzeme içermektedir [31]. Bu nedenle, kullanım ömürlerinin sonunda yeniden kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir malzemelerin seçilmesi önemlidir. Ayrıca şunları seçmek de yararlıdır

Bu tür malzemeleri uzun bir süre boyunca değiştirmek zorunda kalmanın çevresel etkisini kullanmak için daha uzun ömürlü veya daha uzun ömür beklentisine sahip malzemeler [31].

İnşaattaki hemen hemen her bileşen veya malzeme yeniden kullanılabilir ve yenilenebilir olmasına rağmen, bina inşaatı en savurgan faaliyetlerden biridir [31]. Yeniden kullanım ve geri dönüşüm kavramları kullanılarak bina inşaatı ile ilgili olumsuz sonuçlardan kaçınılabilir. [33]'ün yazarları, malzeme türüne göre kategorize edilmiş atık bertarafını azaltmaya yönelik bazı çevre dostu yöntemler sunmuştur. Kategorilere göre dağılım, her bir malzemenin yaşam döngüsündeki geri dönüşüm olanaklarını göstermekte, bu da daha az atık bertarafı ve daha düşük maliyetle sonuçlanmaktadır. İnsanların uygun atık yönetimi konusunda eğitilmesi ve yetiştirilmesi, çevreye zararlı davranışları engelleyebilir [33].

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA), bir binanın farklı aşamaları boyunca yapı malzemelerinin çevresel etkilerini değerlendirir [31]. Ürün yaşam döngüsünün aşamaları hammadde, üretim, nakliye, kullanım ve bertarafı içerir. Belirli aşamalar azaltılırsa veya döngü birkaç aşamayı atlayabilirse, bu çevre üzerindeki etkiyi, maliyeti ve bir malzemenin kullanılabilirliğini büyük ölçüde azaltacaktır [31]. Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü tarafından geliştirilen Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES) ve Building Industry Reporting and Design for Sustainability (BIRDS) gibi, binaların çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerini belirli bir süre boyunca değerlendirebilen farklı yazılım seçenekleri bulunmaktadır [34]. Bu araçların uygulanması, müşteriler ve tasarımcı ekibi projeleri için malzeme seçerken daha bilinçli olacağından, çevresel etkiyi potansiyel olarak azaltabilir [1].

Çalışmalar, yapı malzemelerinin geri dönüştürülmesinin çevresel etkiyi ve toplam yaşam döngüsü enerjisini %30 oranında azaltabileceğini göstermiştir [35]. İnşaat ve yıkım sürecinde nicelikten ziyade niteliğin dikkate alınması önemlidir. Başka bir deyişle, geri dönüştürülecek malzemelere etkinlik ve sürdürülebilirlik açısından değer biçmek önemlidir. Geri dönüşüm alanında, yukarı dönüşüm ve aşağı dönüşüm olarak bilinen iki kavram vardır [36]. İleri dönüşüm, "tahribatsız geri dönüşüm yoluyla değerini veya faydanın artırılmasıdır" [36]. İleri dönüşümde bir miktar işlem gerçekleştirilse de, işlemin etkisi "ileri dönüştürülmüş ürün tarafından yerinden edilen işlenmemiş malzemenin çıkarılması ve işlenmesinin etkilerinden daha az" olmalıdır [36]. Aşağı dönüşüm, atık malzemelerin daha az değerli bir şeye dönüştürüldüğü süreçtir. Bu normalde, doğası gereği yeniden işlendiğinde eski dayanıklılığını korumasını engelleyen ürünlerde kullanılır [36].

Sürdürülebilirlik uygulamalarının bilinen olumlu yönlerine rağmen, sürdürülebilir uygulamaların ve yöntemlerin tam potansiyeliyle hayata geçirilmesini engelleyen yasal, teknolojik ve ekonomik engeller bulunmaktadır [37]. Sürdürülebilir malzemelerin bulunamaması, doğrudan ve dolaylı maliyetler, sürdürülebilirlik politikalarını uygulama becerisinin olmaması ve deneyim eksikliği, sürdürülebilirliğin küresel ölçekte uygulanmasını engelleyen en yaygın sorunlardan bazılarıdır [37]. Yeniden kullanım ve geri dönüşüm, sürdürülebilirlik ilkelerini tüm toplumlar ve ekonomiler için erişilebilir bir şekilde benimseyen ve teşvik eden pratik ve ekonomik yaklaşımlardır.

Doğru Atık Yönetimi ile Kirliliğin Azaltılması

Bina ve inşaat projelerinde atıkların ortadan kaldırılması ve azaltılması ve malzemelerin yeniden kullanımının artırılması, kirliliği azaltmanın bir diğer önemli yoludur. Bu, nakliye, paketleme ve yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımını dikkate alan yapı ürünlerinin seçilmesi gibi bir dizi stratejinin uygulanmasını içerir [38]. İnşaat sırasında atık olarak ortadan kaldırılan malzemeler etkin bir şekilde yeniden kullanılabilir, böylece kirlilik azaltılabilir ve atık bertarafının maliyetleri ortadan kaldırılabilir. Ayrıca, yıkım C&D malzeme atığına %90 oranında katkıda bulunduğundan, kirliliği ve atık oluşumunu azaltmanın bir yolu olarak daha dayanıklı inşaat malzemeleri kullanılarak ve yıkım en aza indirilerek de etkili atık yönetimi gerçekleştirilebilir [39]. Bina ve inşaat projelerinde yıkım yerine yasisöküm benimsenebilir: yasisöküm, yeniden kullanılabilir malzemelerin daha iyi geri kazanılmasını sağlar, böylece çöp sahası atığı şeklindeki kirliliği en aza indirir ve inşaat maliyetini düşürür. [40]'ın yazarları, sürdürülebilir malzeme yönetimini izlemek için performans ölçütlerini kullanarak araştırmışlardır.

katı atık yönetimi. Önerilen yaklaşımların etkinliğini artırmak için atık akışındaki belirli malzemelere odaklanması gerekmektedir.

3.2. Su Tasarruflu İnşaat Süreci

Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü (UNESCO) ve Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre, dünya nüfusunun %33'ü -yaklaşık 3,5 milyar insan- temiz içme suyundan mahrumdur [41,42]. Küresel nüfus artışı, endüstriyel ve tarımsal aşırı kullanım, yeni yaşam tarzı standartları, iklim değişikliği ve kirlilik kontrolüne yönelik politikaların eksikliği gibi nedenlerle talep eğilimleri yıllık bazda %1 oranında istikrarlı bir şekilde artmıştır [41,42]. Binalar ayrıca sadece ABD'deki tatlı su çekimlerinin yaklaşık %12'sini oluşturmaktadır [43]. Bu nedenle, dünya çapındaki su kıtlığını azaltma çabalarında, su kaynakları yönetimi gereklidir. Bu bölümde, yeşil binaların hazır araçlarla su tasarrufu ve atık su (AAT) yönetiminde nasıl temel bir rol oynadığı ve aynı şekilde sürdürülebilir yönetim uygulamalarını ve atık azaltımını nasıl teşvik ettiği özetlenmektedir.

3.2.1. Su Kaynakları Yönetimi

Binaların tasarımı, inşası ve işletilmesinin farklı aşamalarında uygulanan çeşitli koruma teknikleri ve metodolojileri vardır. Birçok alt kategori olmasına rağmen, iç ve dış mekan su kullanımı arasında bir ayrım vardır, bu nedenle çevre üzerindeki etkilerini açıklığa kavuşturmak hayati önem taşımaktadır [44]. İç mekan su tasarrufu teknikleri arasında akıllı ölçüm, su kullanımını azaltma hesaplayıcıları, su tasarrufu sağlayan armatürler ve çeşitli sonuçlar elde etmek için tasarım sırasında uygulanabilecek gri su geri dönüşümü yer almaktadır [45]. Dış mekan kriterleri arasında yağmur suyu hasadı [46], su *tasarruflu* peyzaj, doğal kaynakların inşası, yeşil teknolojiler ve son zamanlarda yeni biyo-iyileştirme teknikleri gibi alternatif kaynakların kullanımı yer almaktadır.

Su Ölçümü ve İzleme

Ölçüm sistemleri su tüketimini izlemek için stratejik olarak kurulur; toplanan veriler daha sonra Su Stresi Endeksine (WSI) göre tüketim oranlarının karşılanıp karşılanmadığını görmek için değerlendirilebilir. Ayrıca, akıllı yapay zeka tabanlı ölçüm sistemleri kullanılarak, bina sakinlerinin su tüketim davranışlarını izlemek ve böylece su kontrol programlarını teşvik etmek de mümkündür [47].

Tipik analiz, (1) Sıhhi tesisat armatürleri (yani pisuarlar, lavabolar, musluklar, lavabolar ve duşlar), (2) işlem sırasında yoğunlaşma yayan iklimlendirme sistemleri, (3) peyzaj işlemleri (yani sulama, bahçe sulama ve/veya dikey yeşillendirmeler) gibi kaynaklardan geçmiş su tüketimi verilerini toplar, (4) muhtelif (küvetler, havuzlar, bulaşık makineleri, vb.). Düzenli modeller, hizmet ömrü, su kullanım oranları ve herhangi bir teknolojik verimlilik sistemi, düşük sifonlu tuvaletler, düşük akışlı duş başlıkları veya otomatik su *kapatma* vanası ile birlikte su temini ve kanalizasyon deşarjının analizini gerektirir. Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik (LEED) standartları, her bir armatür tipi için iç mekan su kullanımının azaltılmasına yönelik bir hesaplayıcı içermektedir [48].

Bir sistemin fizibilitesini belirlemek için Net Bugünkü Değer (NBD) analizi elde edilebilir [49]. İç Getiri Oranı (IRR) potansiyel yatırımlar için karı ölçer ve Fayda-Maliyet Oranı (BCR) nakit girişlerinin NBD'sinin nakit çıkışlarının NBD'sine oranını gösterir [50]. Sonuçlar, Tüketilebilir Su Oranları (CWR), Bozulabilir Su Kullanımı (DWU), WSI [51] için doğrulanabilir ve aynı zamanda İngiltere'deki İngiliz Standartları Enstitüsü (BSI) veya ABD'deki NSF/ANSI Standard 350 gibi zorunlu bölgesel standartların karşılandığından emin olunabilir.

Su Geri Dönüşümü

Gri su, asılı ve yavaş maddelerin uzaklaştırılması için gereken arıtma türüne göre, tipik ev duşları, el ve giysi lavaboları veya açık gri su (LGW) ve ev tuvaletleri ve bazen koyu gri su (DGW) olarak da bilinen mutfak lavabosu ile ayırt edilebilir [52]. Gri su (GW) evsel atık su hacminin %60'ını oluşturmaktadır [53]. Evsel su arıtımının yüksek potansiyeli nedeniyle, gri suyun yeniden kullanımı tatlı su kullanımının korunması için önemli bir uygulama haline gelmiştir.

Ayrıca, su kaynaklarının korunması, tarım arazilerindeki besin maddelerinin geri kazanımı, yeraltı sularının yeniden şarj edilmesi ve atık su deşarjının azaltılması için suyun geri dönüştürülmesi açıkça tanımlanmıştır [54]. Yağmur suyu hasadı (RWH) sistemleri evsel kullanım için içilemez su sağlar ve yağmur suyu *akışını* ve içme suyu talebini %60-80 oranında azaltabilir [55,56].

Doğa Temelli Alternatifler

Doğaya dayalı alternatifler, daha büyük miktarlarda organik maddeyi gidermek için atık su arıtımında giderek daha fazla kullanılmaktadır. [57]'nin yazarları, su kullanılabilirliğini, kalitesini ve riskini iyileştirmek için çeşitli doğa temelli çözümler (NBS) ve bunların uygulamalarını sunmuştur. Bu sistemler, peyzajın iyileştirilmesi gibi çevresel faydaların ötesinde sosyal ve ekonomik faydalar da sunmaktadır [57]. Membran biyoreaktörler (MBR'ler), yeşil veya bitkilendirilmiş duvarlar, dikey yüzey altı akışlı inşa edilmiş sulak alanlar, inşa edilmiş yapay sulak alanlar ve yeşil çatılar gibi diğer uygulamalar, yüzey *akışını* azaltırken yüksek performans göstermiştir [58]. Tipik olarak, bu sistemler yağmur suyunu, bahçe ve DW için gereken toplam su hacminin %60-70'ine eşdeğer bir şekilde, yeniden kullanım için tutmak ve toplamak için yeterli kapasiteye sahip bir rezervuarda toplamak üzere tasarlanabilir. Su hacmi bölgesel iklim ve toprak koşullarına bağlıdır.

Miselyum-biyokütle kompozitleri, diğerlerinin yanı sıra ağır metaller, tütün dumanı, mürekkep, arsenik, kömür katranı damıtılmış bileşikler [60] gibi parçalanabilir toksik maddeler [59] gibi çok faydalı özelliklere sahip yeni bir sürdürülebilir malzeme olarak ortaya çıkmaktadır; ayrıca yeni mikofiltrelerin mikrobiyal cisimciklerin (örneğin E. coli) ve patojenlerin oluşumunu ortadan kaldırdığı da bilinmektedir [61]. Genel olarak mikoremediasyon, kirlenmiş toprak ve suyun arıtılmasına yönelik bir yaklaşımı temsil etmektedir; aslında, çeşitli su yönetimi uygulamaları ile birlikte, yüksek sanayileşmiş ve sıkışık kentsel bölgelerdeki kirli suları temizlemek için sağlam bir eko-araç olarak kendini sunmaktadır.

3.2.2. Dayanıklılık için İnşa Edin

Fırtınalar ve kasırgalar gibi aşırı meteorolojik değişiklikler, daha yoğun yağışlara ve hızlı sel olaylarına neden olmaktadır. Ayrıca, aşırı iklim koşulları mahsulün büyümesini engelleyerek devamlılığını riske atmaktadır. Bu değişiklikler daha sık hale gelmektedir; bu nedenle, yerel toplulukların ve şehirlerin iklim değişikliği aksaklıklarını yönetme kapasitelerinin artırılması, gelecek nesillerin gelişmesi için kilit bir faktördür [62]. Yeşil çatılar ve inşa edilmiş sulak alanlar yağmur suyu *akışını* azaltmakta, kentsel alanlarda ısı adasını hafifletmekte, kendi kendine gıda üretimine olanak sağlamakta ve alternatif bir su kaynağı olarak hizmet etmektedir [63,64]. [65] su-enerji bağıını ve su arıtma, tuzdan arındırma ve diğer amaçlar için su ve enerjiden enerji üretimini tartışmıştır. Bu sistemlerin dayanıklılığını artırmak için su-enerji bağlantısındaki faydalı sinerjilerden yararlanılmalıdır. Amerika Birleşik Devletleri Yeşil Bina Konseyi'nin (USGBC) LEED'i, bu kavramları binaya entegre etmeye odaklanan bölümler sunmaktadır [66,67]. Bu eko-teknikler karmaşık mühendislik sistemleri gerektirir ve 'sürdürülebilirliğin' özüne hizmet etmek için bu sistemlerin Yaşam Döngüsü Etkisini (LCI) düşürmesi gerekir. LCA'ya dayalı su ayak izi standardı (ISO 14046), biyoteknolojilerin beklenen gereklilikleri gerçekten yerine getirmesini sağlamak için bir araç olarak uygulanabilir.

3.3. Somutlaştırılmış Karbon ve Operasyonel Enerji Kullanımı

3.3.1. Somutlaştırılmış Karbon

Somutlaştırılmış karbon, bir ürün veya hizmetin üretimi ve kullanımıyla ilgili karbondioksit (CO₂) veya sera gazı emisyonlarıdır. Bir ürünün somutlaştırılmış enerjisi, ürünü inşa etmek için kullanılan enerjiyle ilişkilidir: inşaatta yer alan çıkarma, rafine etme, işleme, taşıma, imalat ve yıkımı içerir. İnşaat ve yapıları çevrede salınan emisyon miktarı, dünyadaki karbon artışının ana nedeni olmuştur. Bununla mücadele etmek için, bugün dünya somutlaştırılmış karbondaki bir azalmaya doğru ilerlemektedir. Bina sektöründe, karbon etkilerini tamamen azaltma ve aşağıdaki hedeflere ulaşana kadar net sıfır karbon emisyonuna geçme aciliyeti

2050 yılı, 2015 Paris Anlaşması'nın hedefiydi [68]. Temel amaç iklim değişikliği ile mücadele etmek, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve dünya sıcaklığındaki artışı sınırlamaktır [68].

Binalarda Somutlaştırılmış Karbon

Küresel olarak, toplumlar çeşitli sürdürülebilir önlemler alarak karbon emisyonlarını azaltmayı taahhüt etmişlerdir. Bir binanın yaşam döngüsü aşamalarına bakıldığında, binaların ömrünün 50 ila 100 yıl arasında değiştiği açıktır; bu nedenle, binalar gelecekteki etkilere dayanacak kadar esnek olmalıdır [69]. İnşaatta sürdürülebilirlik, yaşam döngüsünü dört farklı aşamaya ayırmaktadır: üretim aşaması, inşaat aşaması, kullanım aşaması ve yaşam sonu aşaması. Üretim aşaması tipik olarak çevreye salınan emisyonlar belirlenirken incelenir. Üretim aşamasında hammaddeler toplanır, çıkarma işlemi gerçekleşir, mallar taşınır ve imalat gerçekleşir. İnşaat aşamasında yapı geliştirilir, yüzeyler uygulanır ve bina kullanıma hazır hale getirilir. Kullanım aşaması, binanın işletilmesini ve bakımını içerir. Son olarak, yaşam sonu aşaması, malzemelerin hizmet dışı bırakılması ve bertaraf edilmesiyle ilgilenir [70,71]. Bir binanın yaşam döngüsü, ilişkili emisyonlarla birlikte somutlaştırılmış karbona sahiptir.

Kentsel çevre, enerji tasarrufu ve emisyon azaltımı için en büyük ihtiyaca sahiptir; küresel karbon emisyonunun %71-76'sını ve küresel enerji tüketiminin %76'sına kadarını oluşturmaktadır [72]. Dünya çapında bina operasyonları, sera gazları (GHG) ile ilgili olarak enerji emisyonlarının %28'ini oluşturmaktadır [73]. Binalarda sera gazı emisyonlarının artmasına katkıda bulunan başlıca bileşenler alan soğutması, cihazlar ve diğer fiş yükleridir [73]. Bu sistemlerin enerji verimli işletilmesi en büyük emisyon azaltımına yol açmaktadır [74].

Binalarda Somutlaştırılmış Karbonun Azaltılması

Emisyon sayısını azaltmak ve sürdürülebilir bir geleceğe doğru ilerlemek için küresel olarak çok sayıda eylem gerçekleştirilmiştir. Birleşik Krallık'ın Karbon Altyapısı Dönüşüm Aracı adı verilen karbon hesaplayıcısı, LCA'nın bir aşaması ayarlandığında, ancak genel enerji tüketimi arttığında yük kaydırmanın gerçekleştiğini ortaya koymuştur [71]. Örneğin, bir yüksek hızlı tren projesi daha küçük bir tren tüneli çapı ile tasarlanmış, böylece ihtiyaç duyulan kazı ve malzeme miktarı azaltılmıştır. Ancak tünel çapının küçültülmesiyle tünel içindeki hava direnci değişmiş, bu da toplam enerji kullanım miktarını artırmıştır [71].

Güney Kore'de, malzemelerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının miktarını azaltmak için ortası boşluk oluşturucularla doldurulmuş boşluklu döşemeler geliştirmeye yönelik testler yapılmıştır. Normal beton döşemelerle karşılaştırıldığında, boşluklu döşemeler sadece aynı görevleri yerine getirmekle kalmamış, aynı zamanda sera gazı emisyonlarında %12'lik bir azalma sağlamış ve toplam maliyetleri düşürmüştür [75].

Birleşik Krallık'ta CEMEX, 2010 yılında hesaplanmış karbon ayak izlerini (çimento, beton ve agrega ürünleri) müşterilerine açıklayan ilk şirket olmuştur [76]. Buna karşılık olarak Kaliforniya, sürdürülebilir bir yönde ilerlemeyi sağlamak için kurallar ve düzenlemeler geliştirdi. Ekim 2017'de Kaliforniya valisi, karbon emisyonlarının miktarını ve küresel ısınma potansiyelini (GWP) azaltacak Temiz Kaliforniya Satın Al Yasasını (BCCA) onayladı [76]. Alternatif yalıtım malzemelerinin araştırılması, karbon emisyonlarını dengelemek için bir başka tekniktir. Yağlı bir bitki tohumu olan kolza tohumu, Avrupa'da yalıtım ikamesi olarak kullanılmakta ve aynı termal direnci ve bina sakinlerinin konforunu korurken karbon emisyonlarında %12'lik bir azalma sağlamaktadır [77]. GWP, farklı gazların küresel ısınma etkilerinin ölçüsüdür [78]. Çeşitli malzemelerin yalıtımını belirleyen bir çalışmada, genişletilmiş mantarın inşaat aşamasında karbon emisyonu miktarını azalttığı ve ısıtma ve soğutma için gereken optimum kalınlığı sağlarken genel olarak GWP'yi düşürdüğü gösterilmiştir [69].

3.3.2. Enerji Tüketimi

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), 2010'dan 2018'e kadar küresel enerji tüketiminin neredeyse iki katına çıktığını ve bunun da CO₂ emisyonlarında %70'lik bir artışa neden olduğunu bildirmiştir [79].

ABD'de binalar tek başına toplam enerji tüketiminin yaklaşık %40'ından sorumludur [80]. Günümüzde insanlar zamanlarının yaklaşık %90'ını daha fazla elektrikli alet kullanarak iç mekanlarda geçirmekte ve bu da kişi başına enerji tüketimini artırmaktadır [80,81]. Ayrıca, ortalama konut büyüklüğünün sürekli büyümesi, alan soğutma ve ısıtma için daha yüksek bir enerji talebine yol açmaktadır [82]. Artan nüfusun iç mekanlarda daha fazla zaman geçirmesi, hem enerji tüketiminde hem de bina operasyonlarıyla ilişkili CO₂ emisyonlarında daha fazla artışa neden olacaktır.

Başlıca konut enerji tüketim kategorileri alan ısıtması (%37), elektrikli ev aletleri (%25), su ısıtması (%19) olup bunları alan soğutması, aydınlatma ve yemek pişirme (her biri %10'dan az) takip etmektedir [80]. Kömür ve doğal gaz şu anda ABD'deki toplam elektrik üretiminin sırasıyla %23,5 ve %38,4'ünü [9] oluşturduğundan, bina enerji tüketiminin azaltılması CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Bu bölümde, bina işletiminden kaynaklanan çevresel yükleri azaltmak veya ortadan kaldırmak için yeni inşaat ve güçlendirme projelerinde kullanılabilecek bina enerji tüketiminin azaltılması ve temiz, yenilenebilir enerji üretimine yönelik en son teknolojilere genel bir bakış sunulmaktadır.

Pasif Bina Enerji Tasarrufu Teknolojileri

(1) Bina Zarfları

Bina kabuğu, bir binanın iç mekanını dış ortamdan ayırır ve bina enerji tüketiminin azaltılmasında önemli bir rol oynar. İyi yalıtılmış bir bina kabuğu, enerji tüketiminde %22'ye kadar tasarruf sağlayabilir [83] ve daha önce tartışıldığı gibi GWP'yi azaltabilir. Örnek olarak, Almanya'da uygulanan Passivhaus standardına uygun bina zarfları, Çin'in Tianjin kentinde kullanılan zarflara göre %49,7 daha yüksek enerji verimliliği göstermektedir [83].

(2) Pencere Camı

Binalar enerjilerinin %60'ını pencerelerden kaybedebilir [84]. Uygun bir pencere/duvar oranının ve pencere camı malzemesinin seçilmesi ısı *kazancını/kaybını* en aza indirir [80]. Yakın kızılötesi elektrokromik pencereler, görsel konfordan ödün vermeden geleneksel pencere malzemelerine kıyasla %50'ye kadar enerji tasarrufu sağlayabilir [84]. Dahası, pencereler yarı şeffaf binaya entegre fotovoltaiik modüllerden yapılırsa enerji üretebilir [80].

(3) Pasif Isıtma

Pasif ısıtma teknolojileri güneş ısı enerjisine dayanır. Tipik teknolojilerden biri, ısıtma yükünün bir kısmını karşılamak için güneş ısı enerjisinin binalara aktarılmasını sağlayan Trombe duvarıdır [80]. Daha gelişmiş bina entegre fotovoltaiik Trombe duvar sistemleri, ısı enerjisine ek olarak elektrik enerjisi de üretmektedir [85].

(4) Pasif Soğutma

Pasif soğutma, soğuk gece havası ile gece havalandırması, zemin soğutması ve güneş kırıcı teknolojiler ile sağlanabilir [80]. Almanya, İtalya ve Türkiye'deki vaka çalışmaları, gece havalandırması sayesinde 13-44 kWh/m² enerji tasarrufu sağlandığını göstermiştir [80]. Toprak-hava ısı eşanjörleri ile temsil edilen yer soğutma sistemleri, elektrikli ısıtıcılara kıyasla elektrik tüketiminde %38 tasarruf sağlayabilmektedir [86]. Atina'daki bir ofis binasında yapılan bir vaka çalışması, güneş gölgeleme için kullanılan yeşil bir çatının, tipik olarak soğutma ihtiyaçları için kullanılan enerjinin %19'unun tasarruf edilmesini sağladığını göstermiştir [80].

Enerji Verimli Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (HVAC), Kullanım Sıcak Suyu ve Aydınlatma

(1) HVAC Sistemleri

Buharlaştırılmalı soğutma, özellikle sıcak ve kurak iklim bölgelerinde etkili olan, binalara serin hava sağlamak için büyüyen bir teknolojidir [87]. Bu teknoloji, hava nemini arttırmak için su kullanımına dayanır ve bunun sonucunda hava sıcaklığı düşer ve çok sıcak iklimlerde geleneksel klimalara kıyasla yaklaşık %16 enerji tasarrufu sağlar [87].

Soğuk giriş ve sıcak çıkış hava akımları arasında ısı değişimini kullanan duyulur ve entalpi ısı geri kazanım sistemleri, boşa harcanan enerjinin %60-95'inin geri kazanılmasını ve ek havalandırma sağlanmasını mümkün kılar [80].

Radyant ısıtma ve soğutma sistemlerinin geleneksel sistemlere kıyasla %15-20'ye kadar daha enerji verimli olduğu kanıtlanmıştır [80]. Yerden ısıtma sistemleri soğuk iklimlerde, soğutulmuş tavanlar ise ılıman ve sıcak yerlerde kullanılabilir [80].

Değişken hava hacimli (VAV) klima sistemleri, geleneksel sistemlere kıyasla %30'a varan mükemmel enerji tasarrufu sağlamaktadır [88]. VAV sistemleri, giriş havası sıcaklığını değiştirmek yerine, giriş ve egzoz havası oranını kontrol ederek iç mekan havasının istenen sıcaklığını koruyabilir [80].

(2) Enerji Verimli ve Otonom Aydınlatma

Geleneksel ampullere göre %80'e kadar daha verimli olan ışık yayan diyot (LED) aydınlatma kullanımının 2030 yılında enerji tüketimini %40 oranında azaltması beklenmektedir [89]. LED verimliliği nedeniyle, güneş, kinetik veya rüzgar enerjisi kullanan *şebeke dışı* uygulamalar için yaygın olarak kullanılabilirler [89].

(3) Yenilenebilir Enerji Üretim Sistemleri

Güneş, rüzgar, jeotermal ve biyoenerji, binalara temiz, yenilenebilir enerji sağlayan başlıca kaynaklardır [80]. Güneş enerjili çatı üstü fotovoltaik (PV) paneller, konut ve ticari inşaat projelerinde uzun bir uygulama geçmişine sahiptir. Bununla birlikte, kullanımları özellikle yüksek binalar için çatı alanı ile sınırlı olabilmektedir [80]. Gelişen bina entegre fotovoltaik (BIPV) teknolojisi bu sorunu çözmeye yardımcı olmaktadır. PV malzeme, pencereleri ve cepheleri elektrik üretim birimlerine dönüştürmek için kullanılabilir ve bu da hava ve suyu ön ısıtabilir [90].

Rüzgardan enerji hasadı güneşten daha az öngörülebilir olma eğiliminde olsa da, binaya monte edilen ve küçük ölçekli rüzgar türbinleri gibi çeşitli rüzgar enerjisi üretim birimlerinin binalar için önemli miktarda enerji sağladığı kanıtlanmıştır [80].

Jeotermal enerji ısıtma, soğutma ve elektrik enerjisi üretimi için bol miktarda bulunan yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Ortam iklim koşullarına daha az bağımlı olması nedeniyle rüzgar veya güneş sistemlerine göre daha tutarlı bir çıktı sağlar [91]. Jeotermal sistemlerin soğutma ve ısıtma amaçlı kullanımı yüksek başlangıç yatırımları gerektirse de, işletme maliyetleri çok düşüktür [78]. Ayrıca, ısıtma ve soğutma amaçlı jeotermal sistemlerin güneş termal kolektörleri, güneş fotovoltaikleri ve soğutma kuleleri gibi diğer tamamlayıcı yenilenebilir enerji sistemleriyle birleştirilmesi ek faydalar sağlamaktadır. Böylece, artan genel verimlilik daha düşük ön ve işletme maliyetleri ile sonuçlanmaktadır. Ayrıca, tamamlayıcı yenilenebilir enerji sistemleri, jeotermal sistemlerin potansiyel kademeli verimlilik düşüşünü ve zemin kirlenmesini önler [78].

Biyokütlenin kendisi, binalara hem elektrik hem de alan ısıtması sağlamak için harika bir kaynaktır [80]. Biyo-gazlaştırma ve anaerobik çürütme gibi çeşitli atıktan enerjiye teknolojileri, organik tarımsal ve gıda atıklarından enerji geri kazanımına olanak sağlamaktadır [92].

Bina enerji verimliliğindeki ilerleme ve temiz, yenilenebilir enerjinin yaygın kullanımı, artan nüfusun enerji ihtiyaçlarını karşılamak için hayati önem taşımaktadır. Bu bölümde sunulan son teknoloji bina enerji tüketimini azaltma stratejileri ve temiz, yenilenebilir enerji üretim teknolojileri sadece enerji tasarrufu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda bina sakinleri için de elverişli bir ortam yaratır.

3.3.3. İç Hava Kalitesi (IAQ)

IAQ'nin Önemi

İç Ortam Kalitesi (IAQ), termal konfor, akustik kalite ve görsel konfor gibi diğerlerinin yanı sıra, bina sakinlerinin memnuniyetinde önemli rol oynayan bileşenlerden biridir [93]. Daha önce de belirtildiği gibi, insanlar zamanlarının çoğunu iç mekanlarda geçirmektedir ve günde kişi başına solunan temiz hava 10 m³'e 12 m³'tür [94]. İyi bir IAQ bina sakinlerinin verimliliğinde artışa yol açabilirken, kötü bir IAQ hasta bina sendromuna [95] ve hatta ölüme neden olabilir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, 3,8 milyon erken ölüm, yetersiz ev içi IAQ nedeniyle gerçekleşmiş ve dünya çapındaki ölümlerin yaklaşık %6,8'ine neden olmuştur [96].

İç Ortam Hava Kirliliği Kaynakları

İnşaat malzemelerinin seçimi, insan eylemleri, iç ve dış kirlleticiler, HVAC sistemleri ve hacim, alan ve yalıtım gibi bazı bina parametreleri gibi faktörler zayıf IAQ'ya katkıda bulunur [94]. Örneğin, gaz sobaları veya şömineler ve ahşap ürünlerden kaynaklanan iç mekan yanması önemli hava kirliliğine neden olabilir [94]. Ayrıca, ıslak HVAC yüzeylerinden üreyen bakteriler de iç mekanlarda kirliliğe neden olabilir [97].

IAQ İyileştirme ve Enerji Tüketimi

IAQ sorunlarını ortadan kaldırmak için standartların, kodların ve kılavuzların geliştirilmesi de dahil olmak üzere birçok strateji uygulamaya konmuştur. Örneğin, Amerikan Isıtma ve Soğutma Mühendisleri Derneği (ASHRAE) standardı 62.1, bina sakinleri için kabul edilebilir hava kalitesini sağlamak amacıyla oluşturulmuştur. Kabul edilebilir hava kalitesini sağlamak için sistemleri tasarlayan, inşa eden, kuran ve bakımını yapan HVAC sektöründeki tüm paydaşlar için bir kılavuz olarak geliştirilmiştir. ASHRAE termal konfor standartları, bina sakinlerinin %80'i iç mekan termal koşullarından memnuniyetsizlik ifade etmediğinde termal konforun elde edildiğini öngörmektedir [98] ve büyük ve küçük ofis binaları için dış havadan havaya jeneratörler sırasıyla sadece 5 cfm/kişi ve 4,2 cfm/kişiye izin vermektedir [99]. Ayrıca ISO 16000-40:2019 [100], yerel gerekliliklere ve sınırlamalara tabi bina kullanıcıları için uygun hava kalitesi kılavuzları sunmak üzere tasarlanmıştır.

Ayrıca, iç mekan havasının kalitesini iyileştirmenin daha sürdürülebilir ve uygun maliyetli yollarını belirlemek için, birçok araştırmacı Azot dioksit (NO₂), formaldehit ve Toplam Uçucu Organik Bileşikler (TVOC'ler) gibi gaz kirleticilerin konsantrasyonları gibi çeşitli parametreleri kullanmıştır. Diğer parametreler arasında inşaat süresi, bina konumu, havalandırma sistemi türü, sıcaklık, bağıl nem, Hava Değişim Oranı (AER), bina türü (ev, ofis, okul, apartman) [97] ve binalarda IAQ'yu değerlendirmek için endeksler bulunmaktadır [101]. Çevre Koruma Ajansı (EPA) da IAQ'yu iyileştirmek için üç çözüm önermiştir: iç mekan kirliliği tedarikçilerini izlemek, havalandırma sisteminin türünü iyileştirmek ve hava temizleyicileri kullanmak [80]. Bu stratejilerin uygulanması iç mekana temiz hava getirebilse de [102], temiz havaya sahip olmak iç ve dış ortam sıcaklığındaki fark nedeniyle enerji tüketimini ve maliyeti artırabileceğinden [93], gelen taze havanın ısıtılması ve soğutulması için enerji tüketimini de dikkate almak kritik önem taşımaktadır [80]. HVAC sistemleri bir binadaki elektriğin %20 ila %60'ını tüketebilir ve bunu azaltmak için sistem tasarımı, kontrol ve enerji geri kazanımı olmak üzere üç strateji ile uygulanabilecek enerji tasarruflu tasarım önerilmektedir [103].

İyileştirilmiş IAQ için Çözümler

Araştırmacılar, enerji tüketimini ve maliyeti azaltırken IAQ'nun korunmasına ve iyileştirilmesine yardımcı olabilecek teknolojiler ve yenilikler bulmuşlardır. Örneğin ısı geri kazanım vantilatörleri, binaya çok daha az maliyetle dış hava üretmek için kullanılabilir; tamamlama havasının devridaim havasına optimum oranı, enerjinin yaklaşık %22,1'ini azaltabileceği için başka bir yoldur [80]. Ayrıca, Talep Kontrollü Havalandırmanın (DCV) bir ekonomizer ile birleştirilmesi IAQ'yu önemli ölçüde iyileştirmiştir ve açıkça görülmektedir ki

geleneksel kontrole kıyasla %88,47 oranında enerji tasarrufu sağlamıştır [104]. Ayrıca, Orta Doğu'da Kuveyt'te yapılan deneysel bir çalışmada araştırmacılar, kabul edilebilir hava kalitesini korurken enerji tasarrufu sağlamak için CC/DV sistemi olarak da bilinen soğutulmuş tavan ve karışık deplasmanlı havalandırma kullanmışlardır. Karma sistem kullanıldığında, enerji tüketimi geleneksel sisteme kıyasla %15 ila %20 oranında azalmıştır [105].

3.3.4. Akıllı Bina İzleme ve Kontrolleri

Diğer tüm yeni bina tasarımlarında olduğu gibi, projenin başlangıcı da bir fikirle başlar. Bina sakinleri, yöneticiler, yükleniciler, tasarımcılar ve bakım personeli de dahil olmak üzere projeye dahil olacak farklı paydaşlar vardır. Bina operasyonları ve akıllı izleme ve kontrollerin uygulanmasına ilişkin kararlar, kilit paydaşları tartışmaya dahil ederken maksimum faydayı elde etmek için projenin erken aşamalarında alınmalıdır. Akıllı bina monitörleri, IEQ sensörlerini ve Bina Otomasyon Sistemi (BAS) ile entegre edilebilen izleme cihazlarını içerir. Tartışılacak başlıca konular akıllı şebekeler, akıllı sayaçlar ve akıllı ev otomasyon sistemleridir.

Enerji Yönetimi

(1) Akıllı Şebekeler

Akıllı şebekeler, bilgi ve enerji için otomatik bir dağıtım sistemidir. Akıllı elektrik şebekesi, binalar ve güç kaynakları ile iletişim kurmak için bilgisayarları kullanarak güç kullanımına ilişkin bilgilerin evin akıllı sayacından bir transformatöre, oradan da elektrik şirketine akmasını sağlar [106]. Bu, yoğun zamanlarda yük atmaya yardımcı olur [106] ve elektrik şirketinin enerji kullanımını izlemesine, ani artışları kontrol etmesine, yoğun kullanım zamanlarını izlemesine ve bir elektrik kesintisinden sonra gücü daha hızlı geri kazanmasına ve yenilenebilir enerjinin entegrasyonuna izin verir [107].

Bilgisayarları kullanan akıllı şebeke, sistemin kendisini izleyebilir. Şebekenin belirli bölümlerinin ne zaman eskidiğini veya artık verimli olmadığını söyleyebilir. Buna ek olarak, bilgisayarlar gücü bir kaynaktan elektrik kesintisi olabilecek alanlara yeniden yönlendirebilir: acil bir durum sırasında trafik ışıkları veya telefon sistemleri gibi önemli kaynakların ne zaman kesildiğini tespit edebilirler. Bir ev ya da tüm bir mahalle için güç tüketimini yönetebilirler. Talep tarafı katılımı akıllı şebeke teknolojisini desteklemek için önemlidir. [107]'nin yazarları, talep tarafı katılım ortamındaki farklı tüketici türlerini, kullanımlarını yalnızca yoğun saatlerde değiştirenler, kullanım modellerini değiştirmeyenler ve yoğun yüklerini yoğun olmayan saatlere taşıyanlar olarak tanımlamıştır. Talep tarafı katılımı, trafik sıkışıklığını ve sera gazı emisyonlarını azaltmak gibi çeşitli faydalar sunarken [108], tüketiciler ya teşvik temelli ya da fiyat temelli programlar aracılığıyla katılımı seçebilirler [107].

Akıllı şebekeler, elektrik şebekesini izlemenin yanı sıra müşterinin taşınan enerjisini elektrik şirketine geri satmasına veya paylaşmasına olanak tanır. Prosumers, enerji üreten ve ürettikleri fazla enerjiyi paylaşan müşteriler için kullanılan bir terimdir [55]. Gelişmiş Ölçüm Altyapısı (AMI), tüketim modellerini izlemek için Ev Enerji Yönetim Sistemleri (HEMS) [55] ile birlikte kullanıcıları ve kamu hizmetlerini birbirine bağlar. Tüketiciler tarafından üretilen yenilenebilir enerji yeni bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir ve diğer tüketiciler ve şebeke ile paylaşılabilir [55,107].

Profesyonel tüketicilerin akıllı şebekelerle etkileşime girebilmesi için bir iletişim ağı gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için gereken altyapı basitten gelişmiş kadar değişebilir ve aşağıdakilerden birine ihtiyaç duyar: Genel Paket Radyo Hizmeti (GPRS), Bluetooth, ZigBee kısa menzilli kablosuz veya hatta elektrik hatları [55]. Bunlar akıllı şebekeyi evin akıllı sayacına bağlar.

(2) Akıllı Sayaçlar

Akıllı sayaçlar, (1) tüketicilerin elektrik kullanımı hakkında veri toplayabilen, (2) bu verileri yerel elektrik şebekesindeki diğer güç sistemi katılımcılarına iletebilen ve (3) ev aletlerini durdurmak/çalıştırmak için Dağıtım Sistemi Operatörlerinden (DSO'lar) fiyat bilgisi alabilen gelişmiş sayaçlardır [56].

Akıllı sayaçlar yalnızca tüketicinin elektrik kullanımını ölçmekle kalmaz, aynı zamanda akıllı şebeke ile iletişim kurarak bilgileri doğrudan elektrik şirketine aktarır. Tüketici tam olarak ne kadar enerji kullanıldığını bilir. Eğer bir tüketici elektrik şirketine geri satmak için yenilenebilir enerji üretirse, akıllı sayaç tam olarak ne kadar enerji satıldığını bilir [107]. Akıllı bir ev otomasyon sisteminin akıllı bir sayaçla entegre edilmesi, enerji kullanımının kontrol edilmesini sağlar ve enerji israfını azaltabilir.

(3) Akıllı Ev Otomasyonu

Akıllı ev otomasyon sistemleri son yıllarda giderek daha fazla benimsenmektedir [109]. Bir evdeki tüm cihazları kontrol etmenin bir yolu olan bir hub veya merkezi kontrolör gerektirirler. Piyasada, bir güvenlik sistemi olarak hizmet vermek ve kablosuz teknolojiler aracılığıyla bina elektrik sistemlerini ve cihazlarını kontrol etmek gibi farklı işlevlere hizmet eden birçok farklı ev otomasyonu veya hub türü bulunmaktadır [109]. Bunlar bir cep telefonu veya kişisel bilgisayar (PC) üzerindeki uygulamalarla kontrol edilebilir. Bu uygulamalar akıllı sayaçları ve sağladıkları bilgilerin yanı sıra ona bağlı herhangi bir cihazı da izleyebilir. Bu merkezler, "rölatide" kullanımı ortadan kaldırmak için kullanılmayan cihazları tamamen *kapatabilir*. Bu cihazlardan bazıları televizyonlar, oyun konsolları, kahve makineleri ve kablo kutularıdır. Açık olmasalar bile hala enerji kullanıyorlar. Bu uygulamalar, kullanıcı evde olmadığına bile cihazları *kapatma* özelliğine sahiptir ve cihazların ne zaman açılacağını planlayabilir ve hatta uzaktayken kapıları kilitleyip açabilir. En yüksek enerji kullanımı hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlarlar, böylece kullanıcı bilinçli kararlar verebilir. Bazı ev otomasyon sistemleri daha çok kolaylık sağlarken, diğerleri ısı değişimini önlemek için güneşli günlerde panjurları kapatarak veya bulutlu günlerde aynı panjurları açarak enerji kullanımını azaltabilir ve aydınlatma armatürleri yerine doğal güneş ışığının kullanılmasına izin verebilir. Enerji tüketimine ve yoğun zamanlara bağlı olarak en iyi açma veya kapama zamanını belirlemek için sensörlere ve otomasyona sahiptirler.

İnsan Etkileşimleri

Teknoloji tek başına düşük tüketimi garanti etmez [50], bu nedenle "akıllı" binaların "akıllı" kullanıcılar olmadan başarılması mümkün değildir. Bir odayı kullanılmayan TV veya bilgisayar açık halde bırakmak enerji israfına neden olur. İnsan davranışları ve faaliyetleri bina enerji tüketimini ve iç ortam koşullarını etkilediği için bu cihazlardan toplanan veriler de faydalıdır [110].

Telefonlardaki uygulamalar ve "akıllı" termostatlar gibi cihazlar, insanların evde kimsenin olmadığı zamanlarda evdeki sıcaklığı ayarlamasına olanak tanır ve önceden ayarlanmış zamanlar yerine doluluk sensörlerinin kullanılması insan faktörünün etkisini azaltmaya yardımcı olur [111]. Bu uygulamalar aynı zamanda son kullanıcıyı beklenmedik enerji artışları ve düşüşleri konusunda uyarabilir; kullanıcının bilinçli kararlar almasını sağlamak için yararlı bilgiler ve geri bildirimler sağlar.

4. Sonuçlar

4.1. Binalarda Atık Yönetimi

Fiziksel inşaatın önce tasarımcılar, bileşen prefabrikasyonu, malzeme standardizasyonu ve gelişen BIM teknolojilerinden yararlanma yoluyla inşaat atıklarını en aza indirmede belirleyici bir role sahiptir. Sınırlı atık için tasarım yapmak, etkili bir atık yönetimi planına doğru atılması gereken ilk adımdır. İnşaat sırasında, inşaatçılar malzeme yaşam döngüsü konusunda daha bilinçli olmalıdır, çünkü bunu yapmak malzemenin kullanımını, uzun ömürlülüğünü, talebini ve maliyetini en üst düzeye çıkarabilir. Sürdürülebilir malzemelerin bulunamaması, doğrudan ve dolaylı maliyetler, sürdürülebilirlik politikalarını uygulama becerisinin eksikliği ve deneyim eksikliği, sürdürülebilirliğin küresel ölçekte uygulanmasını engelleyen en yaygın sorunlardan bazılarıdır. Yeniden kullanım ve geri dönüşüm, sürdürülebilirlik ilkelerini tüm toplumlar ve ekonomiler için erişilebilir bir şekilde benimseyen ve teşvik eden pratik ve ekonomik yaklaşımlardır.

Dünya genelinde su kaynaklarının güvence altına alınması ve daha iyi yönetilmesi gerekmektedir. Binalar, atık suyun azaltılması ve su tasarrufu arayışında temel bir rol oynamaktadır. Sürdürülebilir bina, paydaşlara verimliliği artırma, atık ve sera gazı emisyonlarını en aza indirme araçları sağlar.

4.2. Enerji Verimli Operasyonlar

Bina enerji tüketimini ele almak, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve atıkları azaltmak için çeşitli yaklaşımlar sunulmuştur. Bu teknolojilerden bazıları uygulamada etkinliklerini zaten kanıtlamıştır. Yeni inşaat projeleri bu teknolojileri içerdikçe, bunların analizi olası enerji tasarruflarının ve uygulama maliyetlerinin daha doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlayacaktır. Bina otomasyonu, akıllı şebekeler ve akıllı sayaçlarla birlikte doğru kullanıldığında enerji verimliliğini artırabilir. Bir binanın ömrü boyunca enerji tasarrufu ve maliyet tasarrufuna yardımcı olacak birçok yenilikçi teknik vardır. Sürdürülebilir bir bina için enerji tüketiminin azaltılması esas olmakla birlikte, iç ortamın kalitesi ve bina sakinleri üzerindeki etkisi de dikkate alınmalıdır. IAQ, bina sakinlerinin refahı ve üretkenliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olan IEQ'nun bir bileşenidir, çünkü zayıf bir IAQ hasta bina sendromuna ve üretkenliğin azalmasına neden olabilir. IAQ, insan faaliyetleri, iç ve dış ortam kirleticileri ve HVAC sistemleri tarafından tehlikeye atılabilir. Enerji tasarruflu çözümlerin uygulanması ve mevcut IAQ standartlarına uyulması kabul edilebilir IAQ'ya yol açabilir.

Yukarıda bahsedilen tüm bu girişimleri ve teknolojileri uyumlu hale getirmek ve aynı zamanda üçlü alt çizgi sürdürülebilirliğine ulaşmak için çalışırken, önerilen CO₂eq azaltımının uygulanabilir olduğundan emin olmak için yaşam döngüsü etkileri analiz edilmelidir.

4.3. Öneriler ve Gelecek Araştırmalar

Yüksek ön maliyet, teknolojinin düşük oranda benimsenmesi ve yerel kanun ve politikalar, inşaat sektörü atık yönetimi uygulamalarını iyileştirmek ve mevcut ve gelecek nesiller için enerji verimliliğini teşvik etmek için çalışırken sürdürülebilir bina savunucularının bütünsel olarak dikkate alması gereken zorlu hususlardan bazılarıdır. Gelecekte yapılacak araştırmalar, paydaşların ve toplumların karar verme sürecinde doğru araçlara sahip olması, atıkların azaltılması ve sürdürülebilir bina işletmeciliğinin teşvik edilmesi için Özkaynak Getirisi (ROE) değerlendirmeleri yoluyla döngüyü kapatmaya yönelik yaklaşımları keşfedecektir.

Yazar Katkıları: Tüm yazarlar bu çalışmada işbirliği yapmış ve katkıda bulunmuştur. Tüm yazarlar araştırma yapmış ve ilk taslağın çeşitli bölümlerini birlikte hazırlamıştır. Tüm yazarlar, uyumlu bir nihai makale oluşturmak için ilk taslağı gözden geçirmiş ve düzenlemiştir. S.V. ve Y.S.A. son taslağı düzenlemiş ve gözden geçirmiştir. Tüm yazarlar makalenin yayınlanan versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.

Finansman: Bu araştırma herhangi bir dış finansman almamıştır

Çıkar Çatışmaları: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Referanslar

1. Keeler, M.; Vaidya, P. *Fundamentals of Integrated Design for Sustainable Building*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2016.
2. US EPA. İnşaat ve Yıkım Malzemelerinin Sürdürülebilir Yönetimi. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.epa.gov/smm/sustainable-management-construction-and-demolition-materials> (7 Nisan 2020 tarihinde erişilmiştir).
3. Akinade, O.O.; Oyedele, L.O.; Ajayi, S.O.; Bilal, M.; Alaka, H.A.; Owolabi, H.A.; Arawomo, O.O. BIM teknolojisi kullanılarak inşaat atıklarının tasarlanması: Paydaşların sektöre yönelik beklentileri. *J. Clean. Prod.* **2018**, *180*, 375-385. [CrossRef]
4. WRAP. Atıkların Tasarlanması: İnşaat Mühendisliği için Tasarım Ekibi Kılavuzu. Çevrimiçi olarak mevcuttur: [https://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Designing%20out%20Waste%20-%20a%20design%20team%20guide%20for%20civil%20engineering%20-%20Part%201%20\(interaktif\)](https://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Designing%20out%20Waste%20-%20a%20design%20team%20guide%20for%20civil%20engineering%20-%20Part%201%20(interaktif)) (13 Nisan 2020 tarihinde erişilmiştir).
5. Ortiz, O.; Pasqualino, J.C.; Castells, F. İnşaat atıklarının çevresel performansı: İspanya, Katalonya'da yapılan bir vaka çalışmasından üç senaryosunun karşılaştırılması. *Waste Manag.* **2010**, *30*, 646-654. [CrossRef] [PubMed]
6. Center for Clean Air Policy. Bina Enerji Verimliliğinde Başarı Hikayeleri. Çevrimiçi olarak erişilebilir: https://ccap.org/assets/Success-Stories-in-Building-Energy-Efficiency_CCAP (7 Nisan 2020 tarihinde erişilmiştir).
7. ABD EIA. Toplam Enerji. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/index.php?tbl=T01.07#?fM&start==200001> (12 Mayıs 2020 tarihinde erişilmiştir).
8. Wirfs-Brock, J. Energy Explained: Nereden Geliyor ve Ne Kadar Kullanıyoruz? Çevrimiçi olarak mevcuttur: <http://insideenergy.org/2017/01/12/energy-explained/> (29 Nisan 2020 tarihinde erişilmiştir).

9. ABD EIA. Enerji Kaynağına Göre ABD Elektrik Üretimi Nedir? Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=427&t=3> (15 Mayıs 2020 tarihinde erişilmiştir).
10. Dudley, B. BP Statistical Review; BP Statistical Review of World Energy: Londra, Birleşik Krallık. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf> (13 Mayıs 2020 tarihinde erişilmiştir).
11. REN21. Yenilenebilir Enerji 2019 Küresel Durum Raporu; REN21 Sekreteryası: Paris, Fransa, 2019.
12. C2ES. Yenilenebilir Enerji. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.c2es.org/content/renewable-energy/> (19 Haziran 2020 tarihinde erişilmiştir).
13. Cabeza, L.F.; Rincón, L.; Vilariño, V.; Pérez, G.; Castell, A. Binaların ve bina sektörünün yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) ve yaşam döngüsü enerji analizi (LCEA): Bir inceleme. *Yenileme. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* **2014**, *29*, 394-416. [CrossRef]
14. Moher, D.; Liberati, A.; Tetzlaff, J.; Altman, D.G.; Prisma, G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: PRISMA bildirisi. *PLoS Med.* **2009**, *6*, e1000097. [CrossRef] [PubMed]
15. Moher, D.; Altman, D.G.; Liberati, A.; Tetzlaff, J. PRISMA bildirimi. *Epidemiyoloji* **2011**, *22*, 128. [CrossRef]
16. Osmani, M.; Glass, J.; Price, A.D. Mimarların tasarım yoluyla inşaat atıklarının azaltılmasına ilişkin bakış açıları. *Atık Yönetimi.* **2008**, *28*, 1147-1158. [CrossRef]
17. Bilal, M.; Oyedele, L.O.; Akinade, O.O.; Ajayi, S.O.; Alaka, H.A.; Owolabi, H.A.; Qadir, J.; Pasha, M.; Bello, S.A. İnşaat atık analitiği (CWA) için büyük veri mimarisi: Kavramsal bir çerçeve. *J. Build. Eng.* **2016**, *6*, 144-156. [CrossRef]
18. Dünya Ekonomik Forumu. *İnşaatın Geleceğini Şekillendirmek. Zihniyet ve Teknolojide Bir Atılım*; Dünya Ekonomik Forumu: Cenevre, İsviçre, 2016.
19. Wadel, G. Sanayileşmiş mimaride sürdürülebilirlik: Konutlara uygulanan modüler hafif yapı (La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda). 2009. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB11830.pdf> (1 Temmuz 2020 tarihinde erişilmiştir).
20. Won, J.; Cheng, J.C.; Lee, G. BIM tabanlı tasarım doğrulaması ile önlenen inşaat atıklarının nicelleştirilmesi: Güney Kore'de vaka çalışmaları. *Atık Yönetimi.* **2016**, *49*, 170-180. [CrossRef]
21. Pacheco-Torgal, F.; Cabeza, L.F.; Labrincha, J.; De Magalhaes, A.G. *Eco-Efficient Construction and Building Materials: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA), Eko-Etiketleme ve Vaka Çalışmaları*; Woodhead Publishing: Sawston, UK, 2014.
22. Poon, C.-S.; Yu, A.T.; Jaillon, L. Hong Kong'daki şantiyelerde bina atıklarının azaltılması. *İnşaat Manag. Econ.* **2004**, *22*, 461-470. [CrossRef]
23. Ekanayake, L.L.; Ofori, G. Bina atık değerlendirme puanı: Tasarım tabanlı araç. *Yapı. Environ.* **2004**, *39*, 851-861. [CrossRef]
24. Won, J.; Cheng, J.C. İnşaat ve yıkım atık yönetimi ve minimizasyonu için bina bilgi modellemesinin potansiyel fırsatlarının belirlenmesi. *Autom. Constr.* **2017**, *79*, 3-18. [CrossRef]
25. Gavilan, R.M.; Bernold, L.E. Bina inşaatında katı atıkların kaynak değerlendirmesi. *J. Constr. Müh. Manag.* **1994**, *120*, 536-552. [CrossRef]
26. Slaper, T.F.; Hall, T.J. Üçlü alt çizgi: Nedir ve nasıl çalışır? *Indiana Bus. Rev.* **2011**, *86*, 4-8.
27. Missimer, M.; Robèrt, K.-H.; Broman, G.; Sverdrup, H. Sosyal sürdürülebilirlik için sistematik ve genel bir yaklaşımı olasılığının araştırılması. *J. Clean. Prod.* **2010**, *18*, 1107-1112. [CrossRef]
28. Haoux, G. Sürdürülebilir bina tasarımında tipoloji yöntemine yaklaşım. *J. South China Univ. Technol.* **2007**, *35*, 199-201.
29. Kibert, C.J. *Sürdürülebilir İnşaat: Green Building Design and Delivery*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2016.
30. Bansal, S.; Singh, S. Mukarba chowk ve Barapulla, Delhi'deki yükseltilmiş yol koridorunda sınıf ayırıcıların sürdürülebilir inşası. *Int. J. Adv. Res. Innov.* **2014**, *1*, 194-203.
31. Kralj, D.; Marić, M. Yapı malzemelerinin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü. *WSEAS Trans. Çevre. Dev.* **2008**, *4*, 409-418.
32. Tam, V.W.; Tam, C.M. İnşaat atıklarının geri dönüşümü için uygulanabilir teknoloji üzerine bir inceleme. *Kaynak. Conserv. Recycl.* **2006**, *47*, 209-221. [CrossRef]
33. Tam, V.W. İnşaatta yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir atık oranı. *Açık Atık Yönetimi. J.* **2011**, *4*, 28-32.
34. Lippiatt, B.C.; Greig, A.L.; Lavappa, P.D. BEES Online: Yapı ürünleri için yaşam döngüsü analizi. 2010. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <http://ws680.nist.gov/bees/> (1 Temmuz 2020 tarihinde erişilmiştir).

35. Chau, C.; Leung, T.; Ng, W. Binalarda yaşam döngüsü değerlendirmesi, yaşam döngüsü enerji değerlendirmesi ve yaşam döngüsü karbon emisyonu değerlendirmesi üzerine bir inceleme. *Uygulama Enerji* **2015**, *143*, 395-413. [CrossRef]
36. Rose, C.M.; Stegemann, J.A. İnşaat sektöründe atık yönetiminden bileşen yönetimine. *Sürdürülebilirlik* **2018**, *10*, 229. [CrossRef]
37. Davies, O.; Davies, I. Sürdürülebilir inşaat tekniklerinin uygulanmasının önündeki engeller. *MAYFEB J. Environ. Sci.* **2017**, *2*, 1-9.
38. Eckart, K.; McPhee, Z.; Bolisetti, T. Düşük etkili kalkınmanın performansı ve uygulanması - Bir inceleme. *Bilim. Total Environ.* **2017**, *607*, 413-432. [CrossRef] [PubMed]
39. ABD EPA. Sürdürülebilir Malzeme Yönetiminin Geliştirilmesi: 2017 Bilgi Formu. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-11/documents/2017_facts_and_figures_fact_sheet_final.pdf (12 Mayıs 2020 tarihinde erişilmiştir).
40. Anshassi, M.; Laux, S.J.; Townsend, T.G. Sürdürülebilir malzeme yönetimini atık yönetimi planlaması ve politikasına entegre etmeye yönelik yaklaşımlar. *Kaynak. Conserv. Recycl.* **2019**, *148*, 55-66. [CrossRef]
41. WWAP (Birleşmiş Milletler Dünya Su Değerlendirme Programı). Birleşmiş Milletler Dünya Su Değerlendirme Programı. *Birleşmiş Milletler Dünya Su Kalkınma Raporu 2014* içinde; UNESCO: Paris, Fransa, 2014; Cilt 1.
42. Prüss-Üstün, A.; Bos, R.; Gore, F.; Bartram, J. *Daha Güvenli Su, Daha İyi Sağlık: Sağlığı Korumak ve Geliştirmek için Müdahalesinin Maliyetleri, Faydaları ve Sürdürülebilirliği*; Dünya Sağlık Örgütü: Cenevre, İsviçre, 2008.
43. Greer, F.; Chittick, J.; Jackson, E.; Mack, J.; Shortlidge, M.; Grubert, E. LEED'de enerji ve su verimliliği: LEED puanları iklim sonuçlarıyla ne kadar bağlantılı? *Energy Build.* **2019**, *195*, 161-167. [CrossRef]
44. Cheng, C.-L. Tayvan'da Yeşil Bina için su tasarrufu önlemlerinin değerlendirilmesi. *Yapı. Environ.* **2003**, *38*, 369-379. [CrossRef]
45. Hajji, A.M.; Suprianto, B.; Ariestadi, D. Endonezya'da yeşil bina derecelendirme araçlarının bir parçası olarak su koruma yöntemleri - vaka çalışması: Universitas Negeri Malang, Endonezya'da entegre derslik binası tasarımı. *MATEC Web Konf.* **2018**, *204*, 04004. [CrossRef]
46. Prodanovic, V.; Hatt, B.; McCarthy, D.; Zhang, K.; Deletic, A. Gri suyun yeniden kullanımı için yeşil duvarlar: Kirleticilerin uzaklaştırılmasında ortamın rolünü anlamak. *Ecol. Eng.* **2017**, *102*, 625-635. [CrossRef]
47. Ridoutt, B.G.; Pfister, S. Tüketimsel ve bozucu su kullanımını tek bir bağımsız ağırlıklı göstergeye entegre eden yeni bir su ayak izi hesaplama yöntemi. *Int. J. Life Cycle Assess.* **2013**, *18*, 204-207. [CrossRef]
48. Dobiáš, J.; Macek, D. Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik (LEED) ve bunun bina işletme harcamaları üzerindeki etkisi. *Procedia Eng.* **2014**, *85*, 132-139. [CrossRef]
49. Pfister, S.; Saner, D.; Koehler, A. Küresel enerji üretiminde tatlı su tüketiminin çevresel önemi. *Int. J. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi.* **2011**, *16*, 580-591. [CrossRef]
50. Bavaresco, M.V.; D'Oca, S.; Ghisi, E.; Lamberts, R. İnsan boyutunu değerlendirmek ve bina-performans döngüsüne dahil etmek için teknolojik yenilikler: Bir inceleme. *Energy Build.* **2019**, *202*, 109365. [CrossRef]
51. Friedler, E. Bireysel evsel gri su akışlarının kalitesi ve bunun yerinde arıtma ve yeniden kullanım olanakları için anlamı. *Çevre. Technol.* **2004**, *25*, 997-1008. [CrossRef] [PubMed]
52. Rac'ek, J. Kentsel Alanlarda Gri Suyun Yeniden Kullanımı. *Su Kalitesi ve Miktarı Yönetimi* içinde; Springer: Berlin, Almanya, 2020; s. 195-217.
53. Zadeh, S.M.; Hunt, D.V.L.; Lombardi, D.R.; Rogers, C.D.F. Paylaşılan kentsel gri su geri dönüşüm sistemleri: Su kaynak tasarrufu ve ekonomik yatırım. *Sürdürülebilirlik* **2013**, *5*, 2887-2912. [CrossRef]
54. Boano, F.; Caruso, A.; Costamagna, E.; Ridolfi, L.; Fiore, S.; Demichelis, F.; Galvão, A.; Pisoeiro, J.; Rizzo, A.; Masi, F. Gri su arıtımı için doğaya dayalı çözümlerin gözden geçirilmesi: Uygulamalar, hidrolik tasarım ve çevresel faydalar. *Sci. Total Environ.* **2020**, *711*, 134731. [CrossRef]
55. Zafar, R.; Mahmood, A.; Razzaq, S.; Ali, W.; Naeem, U.; Shehzad, K. Tüketici tabanlı enerji yönetimi ve akıllı şebekede paylaşım. *Yenileme. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* **2018**, *82*, 1675-1684. [CrossRef]
56. Ciuciu, I.G.; Meersman, R.; Dillon, T. *Social Network of Smart-Metered Homes and Smes for Grid-Based Renewable Energy Exchange*; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2012; pp. 1-6.
57. WWAP (Birleşmiş Milletler Dünya Su Değerlendirme Programı). *2018 BM Dünya Su Kalkınma Raporu, Su için Doğa Temelli Çözümler*; UNESCO: Paris, Fransa, 2018.
58. Chang, N.-B.; Rivera, B.J.; Wanielista, M.P. Karışık belirsizlikler altında yeşil bir binada yeşil çatılar kullanarak su tasarrufu ve enerji tasarrufu için optimum tasarım. *J. Clean. Prod.* **2011**, *19*, 1180-1188. [CrossRef]

59. Sabbagh, C. *Mantar Miselyum Kompozit Malzemelerinin Şebeke Üzerindeki Dielektrik Özellikleri ve Potansiyel Endüstriyel Uygulaması*; Sürdürülebilirlik Sistemlerinde Yüksek Lisans için RIT Bitirme Tezi; RIT Bitirme Tezi: Rochester, NY, ABD, 2019.
60. Khan, I.; Aftab, M.; Shakir, S.; Ali, M.; Qayyum, S.; Rehman, M.U.; Haleem, K.S.; Touseef, I. Ağır metal (Cd ve Cr) ile kirlenmiş toprağın yerli metalotoleranslı mantar izolatları ile mikromemediasyonu. *Environ. Monit. Değerlendirmek*. **2019**, *191*, 585. [CrossRef]
61. Álvarez, S.P.; Tapia, M.A.M.; Duarte, B.N.D.; Vega, M.E.G. Kirlenmiş tarım toprakları için bir araç olarak fungal biyoremediasyon. *Mycoremediation and Environmental Sustainability* içinde; Springer: Berlin, Almanya, 2017; s. 1-15.
62. Shafique, M.; Kim, R.; Rafiq, M. Yeşil çatı faydaları, fırsatlar ve zorluklar-Bir inceleme. *Yenileme. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* **2018**, *90*, 757-773. [CrossRef]
63. Santamouris, M. Şehirleri soğutmak - ısıyla mücadele etmek için yansıtıcı ve yeşil çatı azaltma teknolojilerinin gözden geçirilmesi island and improve comfort in urban environments. *Güneş enerjisi* **2014**, *103*, 682-703. [CrossRef]
64. e Sousa, R.d.C.; Miranda, O.L. Taşkın bölgesi tanımlaması için sulak alanların hidrolojik ve hidrolik modellere dahil edilmesi: Durán, Ekvador'a bir uygulama. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* **2018**, *28*, 375-383. [CrossRef]
65. Miletto, M. Su ve enerji bağı: Dünya su kalkınma raporu 2014 bulguları. *Proc. Int. Doç. Hydrol. Sci.* **2015**, *366*, 93. [CrossRef]
66. Hake, A. Sürdürülebilir Yeşil Çatıların Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik Yoluyla Teşvik Edilmesi (LEED). Lisans Tezi, Kansas Eyalet Üniversitesi, Manhattan, KS, ABD, 2007.
67. Pfister, S.; Vionnet, S.; Levova, T.; Humbert, S. Ecoinvent 3: LCA'da su kullanımının değerlendirilmesi ve su ayak izinin kolaylaştırılması. *Int. J. Life Cycle Assess.* **2016**, *21*, 1349-1360. [CrossRef]
68. Dimitrov, R.S. İklim değişikliğine ilişkin Paris anlaşması: Kapalı kapılar ardında. *Glob. Environ. Politics* **2016**, *16*, 1-11. [CrossRef]
69. Bastante-Ceca, M.J.; Cerezo-Narváez, A.; Piñero-Vilela, J.-M.; Pastor-Fernández, A. Bir binanın inşaat aşamasında daha düşük CO2 emisyonuna yol açan yalıtım çözümünün belirlenmesi. *Energies* **2019**, *12*, 2400. [CrossRef]
70. Karlsson, I.; Rootzén, J.; Johnsson, F. İnşaat tedarik zincirlerinde net sıfır karbon emisyonuna ulaşma-İsveç'teki bir yol inşaatı projesinin analizi. *Yenileme. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* **2020**, *120*, 109651. [CrossRef]
71. Jackson, D.J.; Brander, M. altyapı sektörü için somutlaştırılmış karbon hesaplama araçlarından yük kayması riski. *J. Clean. Prod.* **2019**, *223*, 739-746. [CrossRef]
72. Hu, M.; Pavao-Zuckerman, M. Net sıfır ve kentsel çevrenin esneklik araştırmalarının literatür taraması: Büyük veri kullanılarak yapılan bir atıf analizi. *Energies* **2019**, *12*, 1539. [CrossRef]
73. Abergel, T.; Dean, B.; Dulac, J.; Hamilton, I. 2018 Küresel Durum Raporu: Sıfır Emisyonlu, Verimli ve Dirençli Binalar ve İnşaat Sektörüne Doğru. Binalar ve İnşaat için Küresel İttifak. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.worldgbc.org/sites/default/files/2018%20GlobalABC%20Global%20Status%20Report> (19 Haziran 2020 tarihinde erişilmiştir).
74. Röck, M.; Saade, M.R.M.; Balouktsi, M.; Rasmussen, F.N.; Birgisdottir, H.; Frischknecht, R.; Habert, G.; Lützkendorf, T.; Passer, A. Binaların somutlaştırılmış sera gazı emisyonları - Etkili iklim değişikliği azaltımı için gizli zorluk. *Uygulama Enerji* **2020**, *258*, 114107. [CrossRef]
75. Na, S.; Paik, I. Döşeme için alternatif yapısal sistem ile sera gazı emisyonlarının ve maliyetlerin azaltılması: Güney Kore örneklerinin karşılaştırmalı analizi. *Sürdürülebilirlik* **2019**, *11*, 5238. [CrossRef]
76. Jordan, N.; Bleischwitz, R. sürdürülebilir enerji geçişleri için bir yapı taşı olarak somutlaştırılmış emisyonların yönetişiminin meşrulaştırılması. *Küresel. Geçişler* **2020**, *2*, 37-46. [CrossRef]
77. Pavelek, M.; Adamová, T. Kararlı ve Kararsız Durum Koşullarında Sürdürülebilir Bina İnşaatı için Biyo-Atık Isı Yalıtım Paneli. *Malzemeler* **2019**, *12*, 2004. [CrossRef] [PubMed]
78. US EPA. Küresel Isınma Potansiyellerini Anlamak. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials> (19 Haziran 2020 tarihinde erişilmiştir).
79. IEA. *Küresel Enerji ve CO2 Durum Raporu 2019*; Uluslararası Enerji Ajansı: Paris, Fransa, 2019.
80. Cao, X.; Dai, X.; Liu, J. Son on yılda sıfır enerjili binalar için dünya çapında bina enerji tüketim durumu ve en son teknolojiler. *Energy Build.* **2016**, *128*, 198-213. [CrossRef]
81. Wong, L.-T.; Mui, K.-W.; Tsang, T.-W. İç mekan hava kalitesi tarama stratejilerinin değerlendirilmesi: IAQ taraması için adım adım bir yaklaşım. *Int. J. Environ. Res. Public Heal.* **2016**, *13*, 1240. [CrossRef] [PubMed]

82. Lorek, S.; Spangenberg, J.H. Konutta sosyal inovasyon yoluyla enerji yeterliliği. *Enerji Politikası* **2019**, *126*, 287-294. [CrossRef]
83. Zhou, Z.; Wang, C.; Sun, X.; Gao, F.; Feng, W.; Zillante, G. Konut binalarında bina kabuğu tasarımı ve işletme optimizasyonundan ısıtma enerjisi tasarrufu potansiyeli: Kuzey Çin'de bir vaka çalışması. *J. Clean. Prod.* **2018**, *174*, 413-423. [CrossRef]
84. Cannavale, A.; Ayr, U.; Fiorito, F.; Martellotta, F. Bina enerjisini verimliliğini ve görsel konforu artırmak için akıllı elektrokromik pencereler. *Energies* **2020**, *13*, 1449. [CrossRef]
85. Hu, Z.; He, W.; Ji, J.; Hu, D.; Lv, S.; Chen, H.; Shen, Z. Üç tip bina entegre fotovoltaik (BIPV) Trombe duvar sisteminin yıllık performansı üzerine karşılaştırmalı çalışma. *Appl. Energy* **2017**, *194*, 81-93. [CrossRef]
86. Gao, J.; Li, A.; Xu, X.; Gang, W.; Yan, T. Toprak ısı eşanjörleri: Sıfır enerjili binalar için uygulamalar, teknoloji entegrasyonu ve potansiyelleri. *Yenileme. Enerji* **2018**, *128*, 337-349. [CrossRef]
87. Cuce, P.M.; Riffat, S. Bina uygulamaları için evaporatif soğutma sistemlerinin son teknoloji incelemesi. *Yenileyin. Sürdürülebilir. Energy Rev.* **2016**, *54*, 1240-1249. [CrossRef]
88. Okochi, G.S.; Yao, Y. Değişken hava hacimli (VAV) iklimlendirme sistemlerindeki son gelişmeler ve teknolojik ilerlemeler üzerine bir inceleme. *Yenileme. Sürdürülebilir. Energy Rev.* **2016**, *59*, 784-817. [CrossRef]
89. Primiceri, P.; Visconti, P. Güneş enerjisiyle çalışan LED tabanlı aydınlatma tesisleri: Kablosuz kontrol, enerji tasarrufu ve hızlı bakım elde etmek için son teknolojilere ve gömülü IoT cihazlarına genel bir bakış. *J. Eng. Appl. Sci. ARPN* **2017**, *12*, 140-150.
90. Liang, R.; Wang, P.; Zhou, C.; Pan, Q.; Riaz, A.; Zhang, J. Belirli PV/T hibrit modüllere sahip aktif bir güneş bina cephesinin termal performans çalışması. *Enerji* **2020**, *191*, 116532. [CrossRef]
91. Olabi, A.G.; Mahmoud, M.; Soudan, B.; Wilberforce, T.; Ramadan, M. Jeotermal tabanlı hibrit enerji sistemleri, çevre dostu enerji yaklaşımlarına doğru. *Yenileme. Energy* **2020**, *147*, 2003-2012. [CrossRef]
92. Chiron, M.; Tojo, S.; Ueda, M. Atık biyokütleden enerji üretimi. *Geri Dönüşüm Tabanlı Organik Tarım in a City içinde*; Springer: Berlin, Almanya, 2020; pp. 91-112.
93. Zogla, G.; Blumberga, A. adresindeki yeni bir apartmanda farklı havalandırma olanaklarının enerji tüketimi ve İç Hava Kalitesi. *Environ. İklim. Technol.* **2010**, *4*, 130-135. [CrossRef]
94. Wang, Y. Yapı Malzemelerinin İç Mekan Kirleticileri ve Kirlilik Kaynakları Üzerindeki Etkisi Üzerine Çalışma. *IOP Konf. Serisi: Earth Environ. Sci.* **2018**, *108*, 042024. [CrossRef]
95. Kim, J.; de Dear, R. Bireysel IEQ faktörleri ile genel çalışma alanı memnuniyeti arasındaki doğrusal olmayan ilişkiler. *Yapı. Environ.* **2012**, *49*, 33-40. [CrossRef]
96. DSÖ. *Evsel Hava Kirliliğinden Kaynaklanan Hastalık Yükü 2012*; Dünya Sağlık Örgütü: Cenevre, İsviçre, 2014.
97. Langer, S.; Bekö, G. İsveç konut stokunda iç mekan hava kalitesi ve bunun bina özelliklerine bağımlılığı. *Yapı. Environ.* **2013**, *69*, 44-54. [CrossRef]
98. ASHRAE. *Standart 55-2010, İnsan Oturumu için Termal Çevre Koşulları*; Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği: Atlanta, GA, ABD, 2010.
99. ASHRAE. *Standart 62.1, Kabul Edilebilir İç Mekan Hava Kalitesi için Havalandırma*; Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği: Atlanta, GA, ABD, 2004.
100. ISO-16000-8. İç Ortam Havası Bölüm 8: Havalandırma Koşullarını Karakterize Etmek İçin Binalarda Havanın Yerel Ortalama Yaşlarının Belirlenmesi. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:16000:-40:ed-1:v1:en> (20 Nisan 2020 tarihinde erişilmiştir).
101. Wei, W.; Ramalho, O.; Derbez, M.; Ribéron, J.; Kirchner, S.; Mandin, C. Altı iç mekan hava kalitesi indeksinin uygulanabilirliği ve uygunluğu. *Yapı. Environ.* **2016**, *109*, 42-49. [CrossRef]
102. Xie, T. İç mekan hava kirliliği ve kontrol teknolojisi. *IOP Konf. Serisi: Earth Environ. Sci.* **2018**, *170*, 032084. [CrossRef]
103. Westphalen, D.; Koszalinski, S. *Ticari Bina Hvac Sistemlerinin Enerji Tüketim Karakteristikleri Cilt ii: Termal Dağıtım, Yardımcı Ekipmanlar ve Havalandırma*; Arthur D. Little Inc (ADLI): Buenos, Arjantin, 1999; Cilt 20, s. 33700-33745.
104. Wang, S.; Xu, X. Enerjiyi iyileştirmek için dış havalandırma hava akış hızının optimum ve sağlam kontrolü verimlilik ve IAQ. *Yapı. Environ.* **2004**, *39*, 763-773. [CrossRef]
105. Chakroun, W.; Ghali, K.; Ghaddar, N. Enerji tasarrufu için soğutulmuş tavan ve karışık deplasmanlı havalandırma ile şartlandırılan odalarda hava kalitesi. *Energy Build.* **2011**, *43*, 2684-2695. [CrossRef]

106. Santacana, E.; Rackliffe, G.; Tang, L.; Feng, X. Akıllanmak. *IEEE Power Energy Mag.* **2010**, *8*, 41-48. [[CrossRef](#)]
107. Kakran, S.; Chanana, S. Dağıtık üretimle entegre akıllı şebekelerin akıllı operasyonları: Bir inceleme. *Yenileyin. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* **2018**, *81*, 524-535. [[CrossRef](#)]
108. Hamidi, V.; Smith, K.S.; Wilson, R.C. İletim ve Dağıtım Sektöründe Akıllı Şebeke Teknolojisi İncelemesi. Proceedings of the Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), IEEE PES, Gothenberg, İsveç, 11-13 Ekim 2010; pp. 1-8.
109. Gunge, V.S.; Yalagı, P.S. Akıllı ev otomasyonu: Bir literatür taraması. *Int. J. Comput. Appl.* **2016**, *975*, 8887.
110. Abraham, Y.S.; Anumba, C.J.; Asadi, S. Bina Enerji Kullanımını ve Kullanıcı Davranışını İzlemek için Veri Algılama Yaklaşımları. İnşaat Mühendisliğinde Bilgi İşlem 2017 Bildiriler Kitabı, Seattle, WA, ABD, 25-27 Haziran 2017; s. 239-247.
111. LaMarche, J.; Cheney, K.; Christian, S.; Roth, K. *Ev Enerji Yönetimi: Ürünler ve Trendler*; eScholarship; Kaliforniya Üniversitesi: Oakland, CA, ABD, 2017.



© 2020 yazarlar tarafından. Lisans sahibi MDPI, Basel, İsviçre. Bu makale Creative Commons Attribution (CC BY) lisansı (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hüküm ve koşulları altında dağıtılan açık erişimli bir makaledir.