

Neredeyse Sıfır Enerjili Binalardan (NZEB'ler) Sıfır Emisyonlu Binalara (ZEB'ler): Mevcut durum ve gelecek perspektifleri

Carmen Maduta^{a,*}, Delia D'Agostino^{a,*}, Sofia Tsemekidi-Tzeiranaki^b, Luca Castellazzi^a

^a Avrupa Komisyonu, Ortak Araştırma Merkezi, Ispra, İtalya

^b Network Research Belgium S.A., Herstal, Belçika

ARTICLE INFO

Anahtar kelimeler:

Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar
Sıfır Emisyonlu Binalar
Binalarda Enerji Performansı Direktifi
Binaların karbonsuzlaştırılması
Enerji verimliliği İklim
nötrlüğü

ABSTRACT

Bina sektörü, Avrupa Birliği'nde (AB) sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılmasında önemli bir konuma sahiptir. Yakın zamanda kabul edilen revize Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD), AB bina stokunun 2050 yılına kadar karbon-nötr hale getirilmesine yönelik iddialı hedefler ortaya koymaktadır.

Şu anda, Neredeyse Sıfır Enerjili Bina (NZEB) standardı 2021'den 2030'a kadar tüm yeni binalar için zorunlu olmaya devam etmektedir. Bu çalışma, kapsamlı veri toplama ve uyumlaştırmaya dayalı olarak Üye Devletlerin NZEB standartlarını uygulama konusundaki ilerlemelerini değerlendirmektedir. Bulgular, NZEB konseptinin iyi bir şekilde yerleştiğini ve ortalama enerji performansının son dört yılda yaklaşık %10 oranında arttığını ortaya koymaktadır. Yeni NZEB, NZEB seviyesine göre yapılan yenileme çalışmalarına kıyasla yaklaşık %30 daha düşük enerji talebine sahiptir. Ancak birçok ülke, özellikle yenilenemeyen enerji talebine bakıldığında, önerilen ölçütleri karşılama konusunda hala geride kalmaktadır.

2024 yılında revize edilen EPBD, 2030 yılından itibaren tüm yeni binalar için Sıfır Emisyonlu Bina (ZEB) hedefini belirlemektedir. Bu makale, ZEB gerekliliklerinin mevcut NZEB tanımlarından nasıl evrilebileceğini araştırmaktadır. Öngörüler, toplam birincil enerji talebi için mevcut NZEB seviyelerinden %10 daha iddialı olan gelecekteki ZEB'lerin önerilen kriterlerle daha iyi uyum göstereceğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, NZEB'lerdeki yenilenebilir enerji katkısı %9 ila %55 arasında değişmektedir ve sıfır yerinde karbon emisyonu ZEB standardını karşılamak için yeterli yenilenebilir enerjiyi entegre etmek bir zorluk olmaya devam etmektedir. Bazı ülkelerde, yüksek toplam birincil enerji talebi bu hedefi daha da zorlaştırabilir. Sonuç olarak, ZEB gerekliliklerine ulaşmak için daha katı enerji eşiklerine ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla entegrasyonuna ihtiyaç duyulduğu vurgulanmaktadır.

1. Giriş

Dünya çapında, konut, ticari ve kamu hizmeti binalarından oluşan binalar, toplam enerji tüketiminin yaklaşık %30'undan ve enerjiyle ilişkili sera gazı (GHG) emisyonlarının %26'sından sorumludur [1]. Avrupa Birliği'nde (AB) bina sektörü toplam enerjinin yaklaşık %40'ını tüketmekte ve ilgili emisyonların üçte birine katkıda bulunmaktadır [2]. Sonuç olarak, bu sektör büyük ekonomilerde enerji ve iklim politikalarının ana odağı haline gelmiş ve son yıllarda hedeflenen politikalar ve önlemler yoluyla karbonsuzlaştırmada önemli ilerleme kaydedilmiştir [3].

Operasyonel enerji kullanımını ve sera gazı emisyonlarını azaltmadaki etkinlikleriyle dünya çapında tanınan, neredeyse veya net sıfır enerjili bina

kavramı, iklim açısından nötr bir bina sektörüne ulaşmak için kilit bir çözüm olarak kabul edilmektedir [4]. Büyük küresel ekonomilerin (Çin, Hindistan, AB, Japonya, ABD gibi) sıfır enerjili bina konseptini benimseme biçimlerinde -destekleyici politikalar ve önlemler, benimseme zaman çizelgesi, ilgili paydaşlar, sıfır enerji tüketimi veya emisyonu ulaşma hedefleri ve kullanılan teknolojiler gibi- çeşitli farklılıklar olsa da, genel olarak tüm tanımların temelinde "önce enerji verimliliği" ilkesi etrafında toplandığı görülmektedir [5,6].

AB'de neredeyse sıfır enerjili bina (NZEB) kavramı, 2002 yılında yürürlüğe giren ve giderek daha iddialı hale gelen enerji ve iklim hedeflerine uyum sağlamak için birçok kez revize edilen Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD) kapsamında tanımlanmaktadır. EPBD

Kısaltmalar: CA, Concerted Actions; DHW, Domestic Hot Water; EC, European Commission; EPBD, Energy Performance of Buildings Directive; EPC, Energy Performance Certificate; EU, European Union; GHG, Greenhouse gas; JRC, Joint Research Centre; SFH, Single-Family House; NZEB, Nearly Zero-Energy Building; PEC, Primary Energy Consumption; PV, Photovoltaics; U-value, Thermal Transmittance; ZEB, Zero-Emission Building.

* Sorumlu yazar.

E-posta adresi: Delia.DAGOSTINO@ec.europa.eu (D. D'Agostino).

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.115133>

Alındı 4 Eylül 2024; Gözden geçirilmiş haliyle alındı 26 Kasım 2024; Kabul edildi 29 Kasım 2024

Çevrimiçi kullanılabilir 1 Aralık 2024

0378-7788/© 2024 Yazarlar. Elsevier B.V. tarafından yayınlanmıştır. Bu makale CC BY lisansı altında açık erişimli bir makedir (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Ocak 2021'den itibaren tüm yeni binaların NZEB standardına uygun olmasını zorunlu kılmaktadır [7]. NZEB, çok yüksek enerji performansına sahip, neredeyse sıfır veya düşük miktarda enerji ihtiyacının önemli ölçüde yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjiyle karşılandığı, yerinde ve yakındaki kaynakları da dikkate alan bir bina olarak tanımlanmaktadır. EPBD'de özetlenen geniş NZEB'ye dayanarak, AB Üye Devletleri ulusal, bölgesel veya yerel iklim, sosyal ve ekonomik koşulları dikkate alarak kendi tanımlarını formüle etmişlerdir [8]. Bu da çok çeşitli tanımların ve dolayısıyla farklı hedef seviyelerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Son değerlendirmeler, AB genelinde NZEB ilerlemesindeki önemli farklılıkları vurgulamıştır. D'Agostino ve diğerleri [9] tarafından yürütülen AB'deki NZEB ilerlemesinin 2021 değerlendirmesi, 2020 yılına kadar çoğu AB Üye Devletindeki yasal NZEB performans seviyesinin, 2006'daki ulusal enerji performans seviyelerinden %70 daha zorlu olmasına rağmen, Avrupa Komisyonu (EC) tavsiyesinden daha az iddialı olduğunu ortaya koymuştur [10]. En yaygın yaklaşım, yerinde yenilenebilir enerji kaynaklarını da dikkate alan ve ısıtma, soğutma, havalandırma, kullanım sıcak suyu (DHW), dahili aydınlatma ve yardımcı enerji için birincil enerji talebini gösterge olarak kullanan tek bir bina düzeyinde bir yıl boyunca enerji dengesidir. Çok az tanım, cihazlar ve merkezi hizmetler gibi diğer enerji kullanımlarını içermektedir [11,12]. Diğer çalışmalar, NZEB kriterlerine uyumun Avrupa'daki farklı bölgeler arasında önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Finlandiya, İsveç, Estonya ve Norveç gibi kuzey Avrupa ülkelerinde, ulusal NZEB tanımlarındaki farklılıklar ve ısıtma kaynaklarının (bölgesel ısıtma ve jeotermal enerji gibi) mevcudiyeti çok önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin Finlandiya ve Norveç'te binalar sadece enerji verimliliği ölçütlerini kullanarak NZEB standartlarına daha kolay uyum sağlayabilmektedir. Buna karşılık İsveç ve Estonya'da binaların bu standartları karşılaması için fotovoltaik (PV) sistemler gibi yerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının eklenmesi gerekmektedir [13]. Güney Avrupa'da yapılan bir çalışma, Kıbrıs, Fransa, Yunanistan, İtalya, Portekiz, Romanya ve İspanya gibi ülkelerin özellikle NZEB seviyelerine yönelik yenilemeler için iyi hazırlanmadığını ortaya koymuş ve NZEB standartlarının genellikle daha soğuk iklimleri tercih ettiğini belirtmiştir [14]. Akdeniz iklimine odaklanan İspanya üzerine yapılan bir başka çalışmada, NZEB yenilenemeyen birincil enerji talebinin EPBD'de 2018'de yapılan değişikliklerden önceki duruma kıyasla %46 oranında azaldığı sonucuna varılmıştır [15]. Ayrıca, Harkouss ve diğerleri [16] mevcut NZEB tanımlarının kapsamlı bir incelemesini yapmış ve çeşitli iklim bölgelerinden vaka çalışmaları sunmuştur. Araştırma ayrıca NZEB tasarım optimizasyonunu incelemiş, optimum sonuçlara ulaşmak için amaç fonksiyonlarını, değişkenleri ve kısıtlamaları analiz etmiştir.

Ancak ilerleme AB genelinde eşit değildir. Yakın zamanda yapılan bir araştırma göre Doğu Üye Devletlerinde (Bulgaristan, Hırvatistan, Çekya, Estonya, Macaristan, Letonya, Litvanya, Polonya, Romanya ve Slovakya), NZEB dağıtımı 2050 yılına kadar iklim nötrlüğüne ulaşmak için çok yavaş ilerlemektedir [17]. Fosil yakıtların kullanımdan kaldırılmasına yönelik yetersiz önlemler, yanıltıcı birincil enerji faktörleri, maliyet-optimal yaklaşımındaki tutarsızlıklar ve iç mekan çevre kalitesine yeterince dikkat edilmemesi bu yavaş ilerlemenin başlıca nedenleridir. Bir başka çalışmada, yüksek ön maliyetler, tasarım karmaşıklığı, iklim ve saha kısıtlamaları, bakım ve işletme, NZEB performans seviyelerine ulaşmanın ana zorlukları olarak bulunmuştur [18]. İklim ve enerji hedeflerine ulaşmak için hala önemli çabalar gerekmektedir. Wang ve diğerlerinin gözlemlediği gibi "sıfır enerjiye ulaşmak bir son nokta değil bir süreçtir" ve ulusal/bölgesel NZEB tanımının fiilen uygulanması, nihayetinde iklim açısından nötr bir bina stokuna ulaşmada fark yaratmaktadır [19]. Bu başarı, binanın ilk tasarımı, seçilen malzemeler, inşaatın yürütülmesi ve binanın kullanımı gibi faktörlere bağlı olabilir. Aljashaami ve diğerleri, sıfır enerjili binaları artırmak için yenilenebilir enerji entegrasyonu ile aktif ve pasif verimli teknolojilerin kapsamlı bir yeniden görünümünü sağlamıştır [20]. Kınay ve arkadaşları, yenileme sırasında binalarda enerji tüketimi üzerinde en yüksek etkiye sahip olan temel faktörleri belirlemiş ve çeşitli iklim bölgelerinde ısı yalıtımı ve bina hava geçirmezliğini kilit unsur olarak tespit etmiştir [21]. Bui ve diğerleri, binaların sıfır karbonlu yenilenmesi için karar verme sürecinde işbirlikçi ve entegre bir yaklaşımın önemini vurgulamıştır. Binaların çoğunun halihazırda mevcut olduğu göz önüne alındığında, uygun maliyetli güncelleme

küresel net-sıfır karbon emisyonu hedeflerine ulaşmak için çok önemli bir strateji haline gelmiştir [22]. Ayrıca, sıfır enerjili bir binanın ne ölçüde "sıfır" kalacağının büyük ölçüde nasıl kullanıldığına bağlı olduğu iyi bilindiğinden, kullanıcı davranışı binanın gerçek enerji performansını önemli ölçüde ve daha önce görülmemiş bir şekilde etkileyebilir [23]. Hem yeni hem de mevcut binaların enerji performansını artırmaya yönelik daha güçlü politikalar, yapı malzemeleri ve inşaatın kaynaklanan tüm yaşam boyu karbon emisyonlarını ele almak için üzerinde anlaşmaya varılmış yaklaşımlar, enerji verimliliğine daha fazla yatırım yapılması ve kullanıcı bilincinin artırılması gereklidir [24].

İlerlemeyi hızlandırmak için, 2024 yeniden düzenlenmiş EPBD, AB Yeşil Anlaşma stratejisi [25] ve 2030 ve sonrası için daha geniş iklim hedefleri ile uyumludur. Direktifin 2050 yılına kadar AB'de karbondan arındırılmış bir bina stoku elde etmeye yönelik temel unsurları aşağıdaki alanlarda özetlenebilir:

- Karbonsuzlaştırma (sıfır emisyonlu bina konsepti, binalarda güneş enerjisi kullanımı, tüm yaşam döngüsü karbon hesaplaması, fosil yakıtların aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması);
- Yenileme (konut dışı binalar için Minimum Enerji Performansı Standartları, konut binalarının aşamalı olarak yenilenmesi için ulusal yönergeler, Ulusal Bina Yenileme Planları);
- Etkinleştirici çerçeve (yenileme pasaportları, Tek Durak Noktaları, derin yenileme standardı, ulusal enerji performansı veritabanları, sürdürülebilir finansman, enerji yoksulluğu, uyumlaştırılmış enerji performansı sertifikasyon programı),
- Modernizasyon ve sistem entegrasyonu (dijitalleşme ve ulusal veri tabanları, altyapı ve sürdürülebilir hareketlilik, iç mekan hava kalitesi, havalandırma ve diğer teknik bina sistemleri).

Yeniden düzenlenen EPBD, Sıfır Emisyonlu Binalar (ZEB'ler) için bir tanım getirmektedir (Madde 11). Bir ZEB, sıfır veya çok düşük miktarda enerji gerektiren, fosil yakıtlardan sıfır yerinde karbon emisyonu üreten ve sıfır veya çok düşük miktarda operasyonel sera gazı emisyonu üreten çok yüksek bir enerji performansı ile karakterize edilir. Toplam yıllık birincil enerji kullanımı, yerinde ve yakındaki yenilenebilir kaynaklardan, yenilenebilir enerji topluluklarından (Yenilenebilir Enerji Direktifinde [26] tanımlandığı gibi), verimli bölgesel ısıtma ve soğutma sistemlerinden (yeniden düzenlenen Enerji Verimliliği Direktifinde (EED) [27] belirtilen kriterleri karşılayan) veya diğer karbonsuz kaynaklardan karşılanmalıdır. Yeniden düzenlenen 2023 EED'nin 26. Maddesine göre, bölgesel ısıtma ve soğutma sistemleri yenilenebilir enerji, atık ısı veya kojenerasyonla üretilen ısı paylarını 2027 sonunda en az %50'den 2050'de %100'e kadar aşamalı olarak artıracaktır. Alternatif olarak, Üye Devletler bölgesel ısıtma ve soğutma sistemleri için sürdürülebilirlik kriterleri (sera gazı emisyonları) belirlemeyi tercih edebilirler. Ayrıca, yeniden düzenlenen EPBD, Üye Devletlerin en azından en son maliyet-optimal seviyelerine ulaşmak amacıyla ZEB'lerin toplam yıllık birincil enerji talebi için maksimum eşikler getirmelerini zorunlu kılmaktadır ve bu eşikler mevcut ulusal NZEB eşiklerinden en az %10 daha düşük olmalıdır. Ayrıca, operasyonel sera gazı emisyonları ulusal bir maksimum eşige uymalıdır. AB düzeyinde birincil hedef, kamuya ait yeni binaların 2028 yılına kadar ZEB olması, daha geniş hedef ise tüm yeni binaların 2030 yılına kadar ZEB standardını karşılaması ve mevcut binaların 2050 yılına kadar ZEB'lere dönüştürülmesidir. Direktif ayrıca, enerji verimliliğine öncelik veren ve binaları 2030'dan önce NZEB'lere ve sonrasında ZEB'lere dönüştürmeyi amaçlayan ve iç mekan çevre kalitesi, güvenlik ve afet direnci gibi ek unsurları ele alan derin yenilemeleri de tanımlamaktadır [28].

Bununla birlikte, NZEB'den ZEB standartlarına geçiş birkaç hususu beraberinde getirmektedir

Zorluklar. ZEB tanımının etkinliği, özellikle Üye Devletler arasında büyük farklılıklar göstermeye devam eden enerji kullanımı gereklilikleri konusunda NZEB konseptiyle yakın uyumu nedeniyle potansiyel olarak sınırlıdır. Buna ek olarak, yenilenebilir enerji entegrasyonundaki tutarsızlıklar ve sera gazı emisyon eşiklerinin mevcut olmaması, yeni ZEB hedeflerine ulaşmada zorluklara işaret etmektedir.

Bu rapor, AB Üye Devletlerinin 2024 yılına kadar NZEB tanımlarını standartlaştırma konusundaki ilerlemelerini sistematik olarak değerlendirmekte ve

2030'a kadar ZEB standartlarına geçiş için hazır olma durumu. Çalışma aşağıdaki temel araştırma sorularını yanıtlamayı amaçlamaktadır:

- Mevcut NZEB performans seviyeleri AB'nin iklim hedefleriyle nasıl örtüşüyor?
- Mevcut NZEB standartları gelecekteki ZEB gereklilikleri için nasıl bir potansiyele işaret ediyor?
- 2030'a kadar NZEB'den ZEB standartlarına geçişi kolaylaştırmak için ele alınması gereken başlıca zorluklar nelerdir?

Bu soruları ele almak üzere, yenilenemeyen birincil enerji talebi, toplam birincil enerji talebi ve yenilenebilir enerji payı gibi ortak göstergeler kullanılarak tüm Üye Devletlerde NZEB ilerlemesini değerlendirmek için yapılandırılmış veri toplamaya dayalı bir metodoloji geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, önerilen değerlerle karşılaştırma yapılmasına ve mevcut NZEB seviyelerine dayalı olarak potansiyel ZEB performans seviyelerinin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Üye Devletlerin hedefleri arasında doğrudan karşılaştırma yapmanın bu çalışmanın kapsamı dışında olduğunu belirtmek gerekir, çünkü her ülkenin NZEB tanımı kendine özgü iklimsel, ekonomik ve sosyal bağlamına göre uyarlanmıştır ve bu tür karşılaştırmaları dengesiz hale getirmektedir.

Çalışma şu şekilde düzenlenmiştir: **Bölüm 1**'deki mevcut durumdan sonra, **Bölüm 2**'de bu çalışmada kullanılan metodoloji tanıtılmaktadır. **Bölüm 3**'te sonuçlar tanıtılmakta ve özellikle yeni ZEB hedefinin benimsenmesi ışığında ülkeler tarafından kaydedilen ilerleme değerlendirilmektedir. **Bölüm 4**'te ZEB'lere yönelik tespit edilen temel zorluklar tartışılmakta ve **Bölüm 5**'te sonuçlara yer verilmektedir.

2. Metodoloji

2.1. Veri toplama

Bu çalışma, AB Üye Devletleri (26 ülke ve Belçika'nın 3 bölgesi) genelinde NZEB'lerin tanımlarını ve uygulamalarını araştırmaktadır.

Mevcut NZEB tanımları ve kriterlerine ilişkin veriler, geçen yıl boyunca her Üye Devletteki belirlenmiş temas noktalarına ve uzmanlara dağıtılan ülkeye özgü bir şablon (bu belgenin Ekinde rapor edilmiştir) kullanılarak toplanmıştır. Toplanan veriler Avrupa Komisyonu tarafından yönetilmiştir.

Enerji Genel Müdürlüğü ve Ortak Araştırma Merkezi (JRC) ile paylaşılmıştır. Uzmanların irtibat noktaları da dahil olmak üzere EPBD'nin Üye Devletlerde uygulanması hakkında daha fazla bilgi için Concerted Action (CA) EPBD projesine bakınız [29]. Şablon, aşağıdaki unsurları analiz ederek NZEB'lerin enerji performansı hakkında bilgi toplamak üzere tasarlanmıştır:

- Genel bilgiler: tanım tarihi, ilgili yasal ulusal düzenlemeler ve hem yeni hem de NZEB yenileme için tanımlar;
- Kabuk ve teknik sistem gereklilikleri: ısı geçirgenliği (U-değerleri) ve hava geçirmezlik, teknik sistemler için minimum performans gereklilikleri;
- Yenilenebilir enerji gereksinimleri: yenilenebilir enerji payı, kullanılan teknolojiler ve enerji üretiminin yeri hakkında ayrıntılar;
- Enerji performansı gereklilikleri: metrikler, yani toplam, yenilenebilir olmayan ve yenilenebilir enerji talebi ve bina alt kategorilerine göre enerji performans sınıfı (örn. tek aileli evler, çok aileli aile evleri, ofisler, oteller, hastaneler, okullar) ve son kullanımlar dahil;
- Sera gazı emisyon gereklilikleri.

İletişime geçilen 29 kuruluştan 24'ü geri bildirimde bulunurken, 4'ü geri bildirimde bulunmadı

(Bulgaristan, Brüksel, İtalya ve Letonya) ve 1 yanıt gizli olarak işaretlenmiştir (Fransa). Mevcut verileri güncellemek için yanıt veren kuruluşlar ve gizli yanıt için CA EPBD veri tabanına başvurduk [30]. Eksik verileri tamamlamak veya ilk girdileri çapraz kontrol etmek için son bilimsel literatüre de başvurulmuştur. Özellikle, Doğu AB ülkelerindeki NZEB performansı için Attia et al.

[17,31], Yunanistan'daki NZEB performansı için Pallis ve diğerleri [32], Niskanen ve

Rohracher İsveç'teki NZEB performansı için [33], Simson ve diğerleri Estonya, Danimarka ve Finlandiya'daki NZEB performansı için [34], Bienvenido-Huertas ve diğerleri İspanya'daki NZEB performansı için [35], Theokli ve diğerleri Kıbrıs'taki NZEB performansı için [36], Di Turi ve diğerleri İtalya'daki NZEB performansı için [37].

2.2. Veri uyumlaştırma

Yazarların veri toplamasının ardından gözlemlenen temel farklılık, birincil enerji talebi açısından NZEB seviyesini tanımlamak ve kıyaslamak için kullanılan yaklaşımla ilgilidir. Çoğu ülke ve bölge sabit birincil enerji eşikleri tanımlarken, birkaç ülke ve bölge NZEB enerji performansını bir referans binanın enerji performansına göre tanımlamakta, diğerleri ise **Tablo 1**'de gösterildiği gibi bir formüle dayanmaktadır. Buna ek olarak, bazı ülkeler ulusal iklim bölgesine, taban alanı, hacim, kompaktlık gibi geometriye ve/veya Enerji Performans Sertifikası (EPC) sınıfları, verimlilik katsayıları, termal kütle ve diğerleri gibi termal özelliklere dayalı olarak değişen performans değerlerine sahiptir.

AB düzeyinde genel bir NZEB ilerlemesi sağlamak için, bu bölümde ayrıca NZEB performans seviyelerinin sayısal değerlerini tahmin etme metodolojisi tanıtılmaktadır.

Odak noktası, herhangi bir dönüştürme işlemine tabi tutulmamış enerji olarak tanımlanan birincil enerji talebidir. Bu hem yenilenebilir hem de yenilenemeyen enerjiyi kapsar ve ISO 52000-1'de tanımlandığı gibi dönüşüm faktörleri (birincil enerji faktörleri) kullanılarak teslim edilen ve ihraç edilen enerjiden hesaplanır [38,39]. Buna dayanarak, analiz, birçok ulusal tanım tarafından çerçevelenen ve aynı zamanda NZEB seviyelerinin önceki değerlendirmeleriyle karşılaştırmaya olanak tanıyan izin verilen maksimum yenilenemeyen birincil enerji talebine odaklanmaktadır. Benzer metodoloji daha önce [9] tarafından da kullanılmıştır. Ülkeler toplam birincil enerjiye atıfta bulunduğu, yenilenemeyen enerji payı hesaplanır

Tablo 1

AB Üye Devletlerinde birincil enerji talebi için NZEB eşik değerlerinin tanımlanmasına yönelik yaklaşımlar.

NZEB yaklaşımı	Sayısal değer	Referans bir binaya göre	Denklem aracılığıyla hesaplanır
<i>Değişmez</i>	Flaman Topluluğu Valonya Kıbrıs Estonya Finlandiya Macaristan İrlanda Lüksemburg Malta Hollanda Polonya İsveç Slovenya Slovakya Letonya	Çekya Almanya Finlandiya (yenileme) Macaristan (diğer konut dışı) Slovenya (konut dışı)	
<i>İklim bölgelerine göre değişir</i>	Hırvatistan İspanya Romanya	Yunanistan İtalya	Fransa İspanya
<i>Geometriye göre değişir</i>		Brüksel (konut dışı)	Avusturya Brüksel (konut) Danimarka Estonya (tek aile evleri) Fransa Litvanya
<i>Enerjiye göre değişir ve termal özellikler</i>	Bulgaristan (olmayan)	Brüksel (konut) Yunanistan Portekiz	Avusturya Fransa Litvanya İspanya (konut dışı)

Kaynak: yazarların veri toplama ve CA EPBD veritabanı [30]

Yenilenebilir enerji gereksinimleri dikkate alınarak; toplam birincil enerji sağlayan ve yenilenebilir enerjinin payını belirlemeyen durumlar için, yenilenemeyen enerji talebi toplam birincil enerji talebine eşit kabul edilmiştir.

Konut ve konut dışı, yeni ve mevcut NZEB'ler için performans değerlerini türetme adımları aşağıdaki gibidir:

1. **Bina alt kategorileri:** İncelenen değerler, bu ayrımın bina alt kategorileri arasındaki ulusal tanımla yapıldığı tek ailelik evlere ve ofislere karşılık gelmektedir. Bu yaklaşım, EC tavsiyeleri [10] aracılığıyla tek ailelik evler ve ofisler için belirlenen tavsiye edilen NZEB performans seviyeleri ile karşılaştırma yapılmasını sağlamak için benimsenmiştir. Ayrımın yapılmadığı durumlarda değerler konut ve konut dışı kategorilere karşılık gelmektedir.
2. **İklim bölgeleri:** Ulusal iklim bölgelerine göre değişen performans değerlerine sahip ülkeler için, Hırvatistan ve İspanya için bölgelerdeki ortalama değerler, İtalya (E bölgesi) ve Romanya (II bölgesi) için ülkedeki temsili iklim bölgesi ve Yunanistan için iklim bölgelerindeki maksimum değer dikkate alınmıştır. Seçim, ülkenin genellikle değerlerini nasıl bildirdiğine dayanmaktadır [30].
3. **Yenilenebilir enerji payı:** Yenilenebilir enerjinin payı, ulusal tanımda verilen birincil enerji talebi değerinden çıkarılmıştır (Flaman Topluluğu, Bulgaristan, Kıbrıs, Hırvatistan, Lüksemburg, Malta, Hollanda ve Romanya).
4. **Ülkeye özgü metodolojiler:** Ulusal NZEB performans seviyelerini tanımlamak için formüllerin veya referans bina karşılaştırmasının kullanılması nedeniyle, bazı ülkeler ortalama bir NZEB enerji göstergesini tahmin etmek için özel metodolojilere ihtiyaç duymaktadır:
 - a. Avusturya: Yeni binalar için NZEB seviyeleri, gösterge niteliğindeki enerji göstergelerinin ulusal NZEB formülüne dayalı olarak hesaplandığı CA EPBD veri tabanından alınmıştır ([40]'ta tablo 6 ve 7).
 - b. Brüksel-Başkent Bölgesi: Müstakil evlerin NZEB seviyeleri EPC enerji sınıfı A üst sınırına, yeni ofisler için enerji sınıfı B üst sınırına ve yenilenmiş ofisler için enerji sınıfı C üst sınırına eşittir [41].
 - c. Çekya: NZEB seviyeleri, 2023 maliyet-optimal raporunda tanımlanan yeni binalar için referans binalar kullanılarak hesaplanmıştır [42].
 - d. Danimarka: NZEB seviyeleri, 2023 maliyet-optimal raporunda tanımlanan referans binalar kullanılarak hesaplanmıştır [43].
 - e. Finlandiya: EPBD tarafından bu son kullanımlar zorunlu tutulduğundan, cihaz ve kullanıcı ekipmanı enerji de-mandasını ortadan kaldırmak için Üye Devletlerin değerlerinden %15'lik bir pay çıkarılmıştır. Bina yenileme için NZEB seviyeleri, 2023 maliyet-optimal raporunda tanımlanan referans binalar kullanılarak hesaplanmıştır [44].
 - f. Fransa: Yeni binalar için NZEB seviyelerinin ortalaması, her bir bina alt kategorisi için belirtilen iki seçenek arasında alınır (tek aile evleri ve ofisler), CA EPBD çıktısına göre (bkz. Tablo 1, [45]). Yenilenmiş müstakil evlerin NZEB seviyesi, a katsayıları için ortalama değerler kullanılarak hesaplanır (iklim bölgesi proxy) ve b (yükseklik proxy) CA EPBD çıktısında sağlanmıştır. Son olarak, yenilenen ofisin NZEB seviyesi, 2023 maliyet-optimal raporunda [46] tanımlanan referans ofis binası temel alınarak hesaplanmıştır.
 - g. Almanya: NZEB seviyeleri 2024 maliyet-optimal raporundan referans alınmıştır [47].
 - h. Yunanistan: NZEB seviyeleri, yeni binalar için EPC sınıf A üst sınırına ve yenilenmiş binalar için sınıf B + üst sınırına karşılık gelmektedir. Mevcut enerji sınıflarının değerleri 2023 maliyet-optimal raporundan çıkarılmıştır [48].
 - i. İtalya: NZEB seviyeleri, İtalyan NZEB kriterlerine [50,51] dayanan en son maliyet-optimal raporunun [49] sonuçları kullanılarak hesaplanmıştır. Yeni müstakil evler için, çok aileli ev NZEB seviyesi bir vekil olarak kabul edilir. Yenilenmiş binalar için

NZEB eşişinin maliyet-optimal seviyesine (referans bina) eşit olduğu varsayılmaktadır.

- j. Polonya: CA EPBD veritabanına göre ofislerin NZEB seviyeleri soğutma ve aydınlatma için birincil enerjiyi içermektedir [52].
- k. Portekiz: NZEB seviyeleri, 2018 maliyet-optimal raporunda [53] tanımlanan yeni binalar için referans binalar kullanılarak hesaplanmıştır.
- l. Slovenya: Ofisler için NZEB seviyeleri, 2018 maliyet-optimal raporunda [54] tanımlanan referans binalar kullanılarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, türetilen enerji performansı değerleri ulusal tanımın tam bir temsili değil, bu tanımlara dayalı ortalama performans seviyeleridir.

Yenilenebilir enerji ile ilgili olarak analiz, hem yeni hem de yenilenmiş NZEB'ler için yenilenebilir enerjinin toplam enerji talebinden karşılaması gereken paya (yüzde olarak) odaklanmaktadır. Sayısallaştırma yapan ülkelerin çoğunda minimum yenilenebilir enerji payı da verilmektedir. Bazı ülkeler veya bölgeler mutlak değeri vermiş ve buna ve toplam birincil enerji talebine dayanarak pay hesaplanmıştır (örneğin, Flaman Topluluğu ve Fransa).

Ayrıca, Avrupa Komisyonu'nun tavsiye ettiği ölçütlerle karşılaştırma yapabilmek için Üye Devletler makro iklim bölgelerine (Akdeniz, Okyanus, Kıta, İskandinav) ayrılmıştır. Gruplandırmanın yanı sıra tek ailelik evler (SFH) ve ofisler için önerilen ölçütler Tablo 2'de raporlanmıştır.

3. Sonuçlar ve tartışma

Yukarıda özetlenen metodolojiyi takiben, tek aile evleri ve ofisler için NZEB birincil enerji talebi - ulusal tanımlara dayalı olarak toplam veya yenilenemez - yenilenebilir enerji gereklilikleri ile birlikte her ülke için hesaplanmış ve Tablo 5 (ek) sonuçları raporlamıştır. İlk gözlem, 16 tanımın performans seviyelerini toplam birincil enerji açısından ifade ettiği, 7'sinin yenilenemeyen birincil enerji kullandığı ve 6'sının hem toplam hem de yenilenemeyen rakamlar sağladığıdır. Yeni binalar, tüm ülkelerin/bölgelerin yerleşik bir tanıma sahip olmasıyla daha iyi ele alınırken, mevcut binalar için 15 ülke/bölge farklı bir tanıma sahiptir ve 12'si yeni binalarla aynı tanıma uygulamaktadır. Bazı durumlarda, NZEB yenilemesi tanımlanmış olmasına rağmen, herhangi bir enerji göstergesi gerekliliği bulunmamaktadır. İki ülkede NZEB yenilemeleri için yasal bir tanım bulunmamaktadır. Yenilenebilir enerji katkılarına ilişkin durum oldukça çeşitlidir. Neredeyse tüm tanımlarda (23) bir tür gereklilik mevcuttur, ancak sadece 12 tanesi tüm binaları ve tüm son kullanımları kapsamaktadır. Son olarak, 6 ülke/bölge

Tablo 2
İklim bölgesine göre NZEB tarafından önerilen kriterler [10].

Bina tipi	Net birincil enerji kullanımı kWh/ (m ² y) (yerinde yenilenebilir hariç)	Birincil enerji kullanımı kWh/ (m ² y) (yerinde yenilenebilir dahil)
Akdeniz: Kıbrıs, Hırvatistan, İtalya, Yunanistan, Malta, Portekiz, İspanya		
SFH	0-15	50-65
Ofis	20-30	80-90
Okyanusya: Belçika, Danimarka, İrlanda, Almanya, Fransa, Lüksemburg, Hollanda		
SFH	15-30	50-65
Ofis	40-55	85-100
Kıtasa: Avusturya, Bulgaristan, Çekya, Macaristan, Polonya, Romanya, Slovenya, Slovakya		
SFH	20-40	50-70
Ofis	40-55	85-100
İskandinav ülkeleri: Estonya, Finlandiya, Letonya, Litvanya, İsveç		
SFH	40-65	65-90
Ofis	55-70	85-100

herhangi bir niceliğe sahip değildir.

Bir diğer ilgili husus, bir NZEB'nin birincil enerji talebine dahil edilen son kullanımlarla ilgilidir. **Tablo 6** (ek) her ülke için hesaplamada dikkate alınan son kullanımları göstermektedir. Neredeyse tüm tanımlar konut NZEB birincil enerji talebine ısıtma, soğutma, DHW ve havalandırmayı dahil ederken, 15 tanesi aydınlatmayı da dikkate almaktadır. Tüm tanımlar konut dışı binalardaki tüm son kullanımları içermektedir. Aslında, bina enerji performansı için hesaplama çerçevesi sağlayan EPBD'nin Ek I'i, aydınlatmanın esas olarak konut dışı sektörle ilgili olduğunu belirtmektedir. Yardımcı enerji daha fazla tanıma dahil edilebilir; ancak **Tablo 6** bunu sadece raporlama şablonunda 'yardımcı enerji'den özellikle bahseden ülkeler için raporlamaktadır. Diğer nihai kullanımlarla ilgili olarak Finlandiya, cihazların enerji talebinin dahil edildiğini bildirmektedir.

Aşağıdaki bölümler yenilenemeyen enerji kıyaslamalarını, yenilenebilir enerji payını ve mevcut operasyonel sera gazı emisyon gerekliliklerini sunmaktadır.

3.1. NZEB durumu

3.1.1. Yenilenemeyen enerji kriterleri

Şekil 1, yeni müstakil evler için ortalama yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin minimum 15 kWh/(m² y) ile maksimum 95 kWh/(m² y) arasında değiştiğini ve genel AB ortalamasının yaklaşık 55 kWh/(m² y) olduğunu göstermektedir. Yenilenmiş müstakil evler için tahmin edilen performans seviyesi aralığı daha geniş olup 35 kWh/(m² y) ile 158 kWh/(m² y) arasında değişmektedir ve AB ortalaması 76 kWh/(m² y)'dir.

Konut dışı binalarda (ofisler), ortalama yenilenemeyen birincil enerji tüketimi yeni ofisler için 27 kWh/(m² y) ile 220 kWh/(m² y) arasında değişmektedir (**Şekil 2**'de gösterildiği gibi) ve genel AB ortalaması 70 kWh/(m² y)'dir. Ofislerin NZEB seviyesinde yenilenmesi için değerler 30 ila 152 kWh/(m² y) arasında değişmektedir ve buna karşılık gelen AB ortalaması 85 kWh/(m² y)'dir.

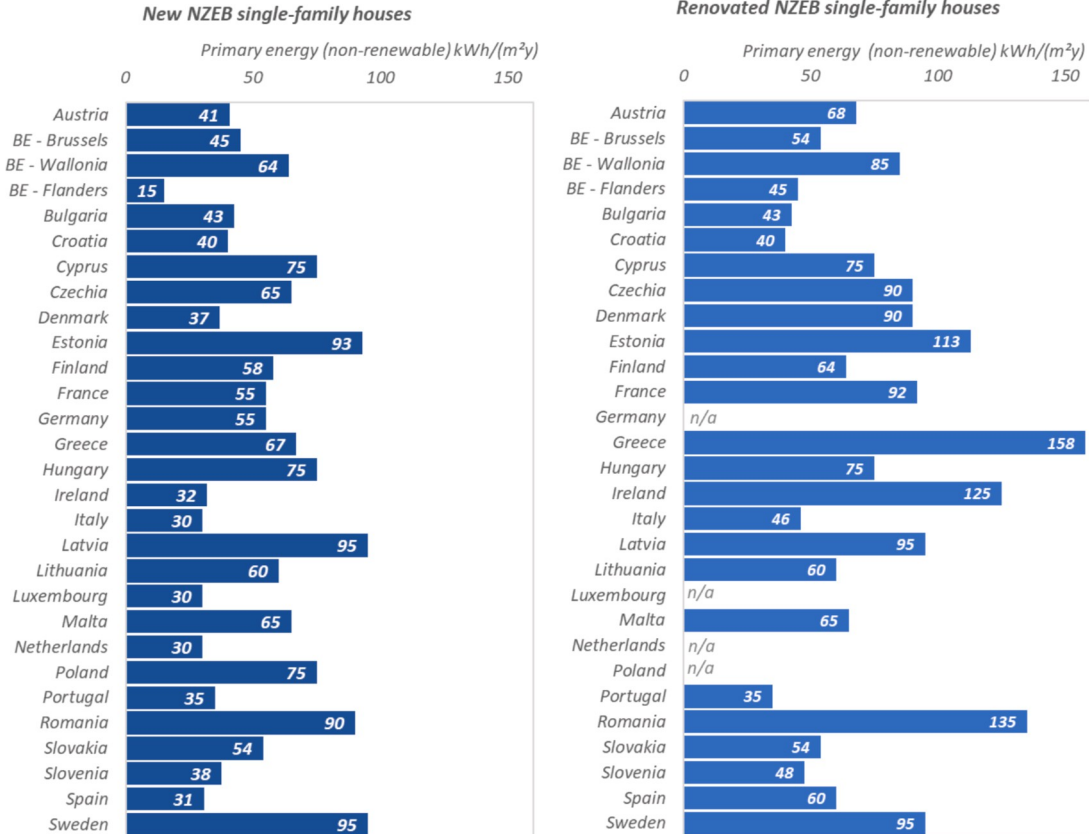
Yeni ve yenilenmiş NZEB'ler için farklı tanımlara sahip ülkelerde, yeni binalar için gereklilikler genellikle yenilemeler için olanlardan daha zordur. Ortalama olarak, yeni müstakil evler için yenilenemeyen birincil enerji talebi, NZEB standartlarına göre yenilenenlere göre yaklaşık %30 daha düşüktür ve yeni ofisler için yenilenen ofislere göre yaklaşık %20 daha düşüktür. Bu fark, daha katı eşik değerlerden (Brüksel, Flaman Topluluğu, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, İrlanda, Yunanistan, Romanya, Slovenya ve İspanya) ve yeni binalar için mevcut binalara kıyasla daha kapsamlı yenilenebilir enerji gerekliliklerinden (Valonya, İrlanda, Malta ve Romanya) kaynaklanmaktadır.

3.1.2. Yenilenebilir enerji gereksinimleri

Yeni NZEB'lerde yenilenebilir enerjinin toplam birincil enerji talebi içindeki payı **Şekil 3** ve **Tablo 5**'te ayrıntılı olarak verilmiştir. Bazı durumlarda, değerlerin bina türleri (Flaman Topluluğu, İrlanda, Hollanda) ve yenilenebilir teknolojiler (Avusturya, Almanya) arasında ortalaması alınmıştır. 29 tanımdan 19'u yeni binalarda ve 13'ü NZEB renovasyonunda yenilenebilir enerjinin payını ölçmektedir.

Yenilenebilir enerji katkısı, hem yeni hem de yenilenmiş NZEB'lerde %9-10 ile %55 arasında değişen büyük farklılıklar göstermektedir. Özellikle, yeni binalar için 7 ülke %25 veya daha az yenilenebilir enerji hedeflerken, 11 ülke %50'ye kadar hedeflemektedir. Sadece Bulgaristan, tüm binalar için toplam birincil enerji talebinde %50'den fazla yenilenebilir enerji payı bildirmektedir (%55). NZEB renovasyonu için, 5 ülke %25'e kadar yenilenebilir enerji payı hedeflerken, 7 ülke maksimum %50'yi hedeflemektedir ve sadece Bulgaristan %55 yenilenebilir enerji payı bildirmektedir.

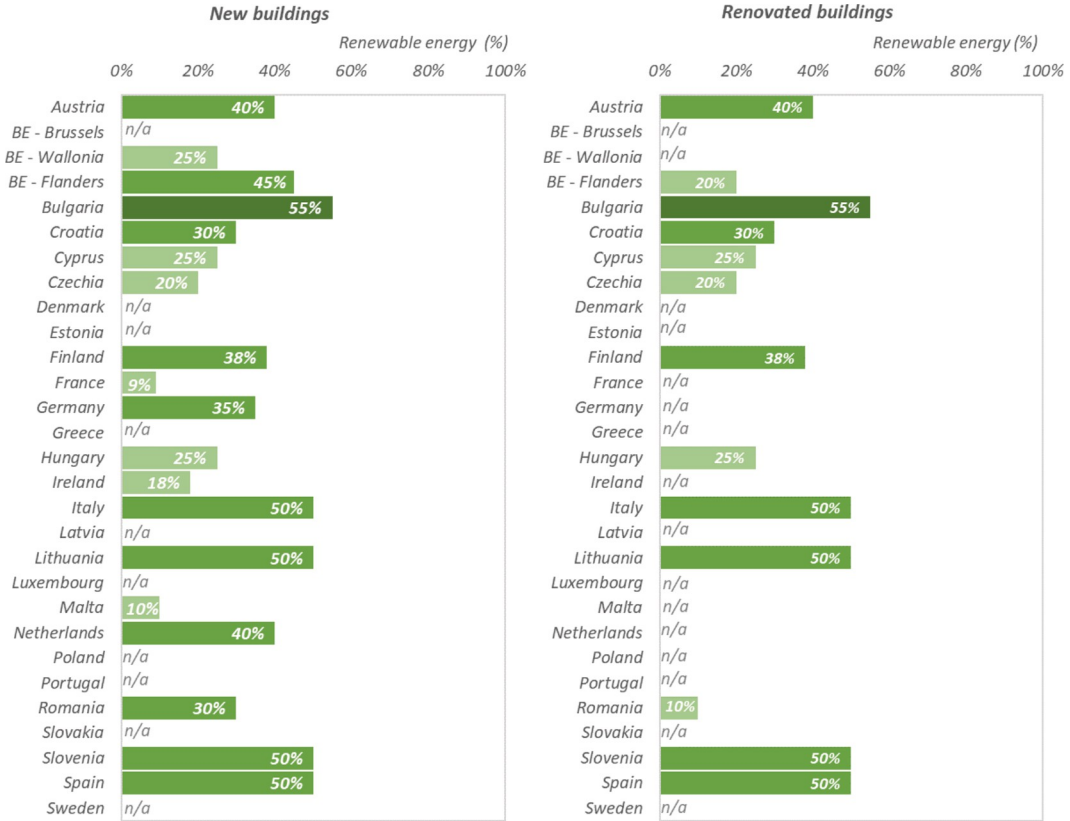
Bazı ülkeler sadece belirli son kullanımlar için (örneğin, Yunanistan %60 ve Portekiz DHW için %50) veya genel yenilenebilir enerji payına ek olarak (İspanya %60-70, İtalya %50 ve Malta DHW için %60-80) gereklilikler bildirmektedir. Ayrıca, kamu binalarında Slovenya %55 yenilenebilir enerji talep ederken, İtalya %60'lık bir hedef belirlemiştir. Lüksemburg, yenilenebilir enerjinin NZEB'lerde tipik olarak yaklaşık %65'ini oluşturduğunu belirtmektedir,



Şekil 1. Ülke veya bölgeye göre, yenilenemeyen birincil enerji talebi kWh/(m² y) cinsinden ifade edilen yeni ve yenilenmiş müstakil evlerdeki NZEB enerji performansı.



Şekil 2. Ülke veya bölgeye göre, yenilenemeyen birincil enerji talebi kWh/(m² y) cinsinden ifade edilen yeni ve yenilenmiş ofislerdeki NZEB enerji performansı.



Şekil 3. Yeni binalarda toplam birincil enerji talebinden yenilenebilir enerji payı (%) ve NZEB seviyelerine yenileme.

Ancak bu kurallara bağlı değildir ve referans binaya bağlıdır.

3.1.3. Operasyonel sera gazı emisyon gereklilikleri

NZEB'den ZEB'e geçişle ilgili olarak, şu anda ülkelerin bina standartlarında sera gazı emisyonlarını nasıl ele aldıklarıdır. 2030 yılına kadar, yeni binalar ve ZEB tadilatlarının yerinde karbon emisyonu olmaması ve operasyonel sera gazı emisyonlarının minimum düzeyde olması gerekmektedir. Mevcut NZEB tanımlarında emisyonların bir kriter olarak yer alması, ZEB'lerde operasyonel emisyonların kıyaslanmasına yönelik belirli bir hazırlığa işaret edebilir. **Tablo 3'e** göre, yazarların veri toplamasına göre

26 ülke ve 3 bölgeden sadece 5'i (Avusturya, Danimarka, İrlanda, Almanya ve Romanya) şu anda NZEB tanımlarına emisyon gerekliliklerini dahil etmektedir. Danimarka, taban alanı 1.000 m²'yi aşan yeni binaların yaşam döngüsü CO₂ eşdeğer emisyonlarını sınırlamaktadır² ve Almanya'da emisyonlar referans bina emisyonlarının bir yüzdesi olarak sınırlandırılmıştır. İrlanda ve Romanya, belirli operasyonel emisyon eşiklerine sahip tek ülkelerdir. Özellikle Romanya, hem yeni hem de yenilenmiş NZEB'ler için iklim bölgesi ve bina türüne göre farklılaştırılmış eşikler belirlemektedir.

Operasyonel emisyon kriterleri genellikle ikincil bir gösterge olarak kabul edilir ve birincil enerji kullanımı -özellikle yenilenemeyen enerji- bu emisyonlar için bir vekil olarak görülür [55]. Sonuç olarak, ülkeler doğrudan emisyonları ele almak yerine, mevcut NZEB tanımları doğrultusunda birincil enerji kullanımını sınırlandırmaya daha fazla odaklanma eğilimindedir. Bununla birlikte, çoğu ülkede emisyonlar (CO₂ veya CO₂ -eq) hesaplanmakta ve bazı ülkelerde (Avusturya, Fransa, Lüksemburg, Romanya ve İspanya) emisyonlar için bir EPC sınıfı da dahil olmak üzere EPC'de gösterilmektedir [41]. Bu, emisyonların mevcut NZEB tanımlarının çoğunda belirgin bir şekilde yer almamasına rağmen, 2030 yılına kadar emisyon eşiklerinin getirilmesinin önünü açan çeşitli ulusal bina standartlarında ele alındığını göstermektedir [56].

3.2. NZEB gelişmeleri

3.2.1. Son gelişmeler

NZEB performans seviyelerinin son yıllardaki gelişimini değerlendirmek için, **Şekil 4 ve 5** sırasıyla konut ve konut dışı binalarda 2020 [9] NZEB standartlarını 2023'te bildirilenlerle karşılaştırmaktadır. Bu karşılaştırma, enerji göstergelerinde bu kadar kısa bir zaman aralığında beklenmeyen önemli bir azalmaya işaret etmemektedir. Bununla birlikte, iki önemli gelişmeyi vurgulamaktadır: 1) birkaç bölgede (Wallonia, Flanders, Danimarka, Litvanya, Romanya, İspanya ve İsveç) NZEB standartlarına yönelik yenileme tanımlarının getirilmesi ve 2) NZEB tanımlarını daha katı hale getiren yenilenebilir enerji gerekliliklerinin uygulanması (Wallonia, Finlandiya ve Macaristan'da gözlemlenmiştir).

NZEB eşik değerleriyle ilgili olarak, bu kısa dönemde sadece birkaç ülke NZEB enerji göstergelerini düşürmüştür. Özellikle, Flanders ve Romanya konut binaları için eşikleri düşürürken, Estonya, Lüksemburg ve İspanya bunu tüm bina kategorileri için yapmıştır. Ortalama olarak, 2023'teki NZEB'ler 2020'dekilerden yaklaşık %10 daha iddialıdır ve en büyük gelişmeler yeni binalarda gözlemlenmiştir.

Tablo 3

Ulusal NZEB tanımlarındaki sera gazı emisyon gereklilikleri.

Ülke	Sera gazı emisyon gereklilikleri
Avusturya	Bir bölgede
Danimarka	Yaşam döngüsü gereksinimleri eşiklerle
Almanya	ile karşılaştırıldığında referans bina
İrlanda	Eşikler ile
Romanya	Eşikler ile
Brüksel, Valonya, Flandre, Bulgaristan, Hırvatistan, Kıbrıs, Çekya, Estonya, Finlandiya, Fransa, Yunanistan, Macaristan, İtalya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Malta, Hollanda, Polonya, Portekiz, Slovakya, Slovenya, İspanya ve İsveç	NZEB gerekliliği yok

Kaynak: yazarların veri toplama çalışması

konut binaları ve konut NZEB renovasyonunda daha düşük iyileştirmeler.

Bazı ülkelerde, NZEB enerji performansı referans binaların enerji performansına dayandığından, mevcut NZEB'lerin 3-4 yıl öncesine kıyasla daha iddialı olup olmadığını belirlemek zordur (örneğin Çekya, Almanya, Yunanistan, İtalya ve Portekiz; daha fazla ayrıntı için bkz. **Bölüm 2.2**). Örneğin, Cze- chia için 2023 NZEB değerleri, bir önceki maliyet-optimal raporunda (2018) tanımlanan referans binadan daha düşük birincil enerji talebine sahip olan en son maliyet-optimal raporunda (2023) belirtilen referans binadan türetilmiştir. Referans binanın enerji performansını kullanarak NZEB performans seviyesini hesaplamak, daha iddialı NZEB standartları önermektedir. Bununla birlikte, NZEB tanımının kendisi bu dönemde değişmeden kalmıştır, ancak referans binaların enerji performansı değişmiştir.

3.2.2. Benchmark karşılaştırmaları

Ayrıca, **Şekil 6**, yenilenemeyen birincil enerji talebi açısından mevcut NZEB performans seviyesini, hem yeni hem de yenilenmiş konut binaları (müstakil evler) için AK tarafından tavsiye edilen eşik değer aralığı [10] (**Tablo 2**) ile karşılaştırmaktadır. Çoğu durumda ulusal NZEB birincil enerji talebinin, özellikle NZEB seviyesine göre yenilenmiş mevcut binalar için önerilen kriterlerden daha az iddialı olduğu gözlemlenebilir.

Yeni binalar için, mevcut seviyeler ile ortalama karşılaştırma ölçütü arasındaki fark %400 (Kıbrıs) ile -%50 (Flaman Topluluğu) arasında değişmektedir. NZEB yenilemeleri için bu fark %900 (Yunanistan) ile -%8 (Litvanya) arasında değişmektedir.

Ortalama olarak, yeni NZEB'lerin birincil enerji talebi tavsiye edilen ortalama kriterlerden yaklaşık %75 daha yüksekken, yenilenmiş NZEB'lerin birincil enerji talebi aynı ortalama kriterlerden %170 daha yüksektir. Yeni binalar için Flanders, Lüksemburg, Hollanda, Slovenya, Finlandiya ve Litvanya'da daha düşük değerler gözlemlenirken, NZEB renovasyonu için Finlandiya ve Litvanya AK tavsiyesinden daha iddialı seviyeler bildirmektedir.

Şekil 7, konut dışı binalar (ofisler) için ulusal NZEB performans seviyesi ile Avrupa Komisyonu'nun tavsiye ettiği değerleri (yenilenemeyen birincil enerji) karşılaştırmaktadır [10]. Yeni ve yenilenmiş NZEB ofislerinin performans seviyesine bakıldığında, çoğu durumda birincil enerji talebinin önerilen ortalama seviyelerden daha yüksek olduğu gözlemlenebilir. Yeni ofisler için, mevcut seviyeler ile kıyaslamalar arasındaki fark %633 (Malta) ile -%49 (Slovenya) arasında değişmektedir. NZEB renovasyonu için bu fark % 213 (Kıbrıs) ile % -47 (Finlandiya) arasında değişmektedir. Ancak durum, konut i n ş a a t l a r ı n a kıyasla daha olumlu görünmektedir. Ortalama olarak, yeni NZEB'lerin birincil enerji talebi yaklaşık %55'tir.

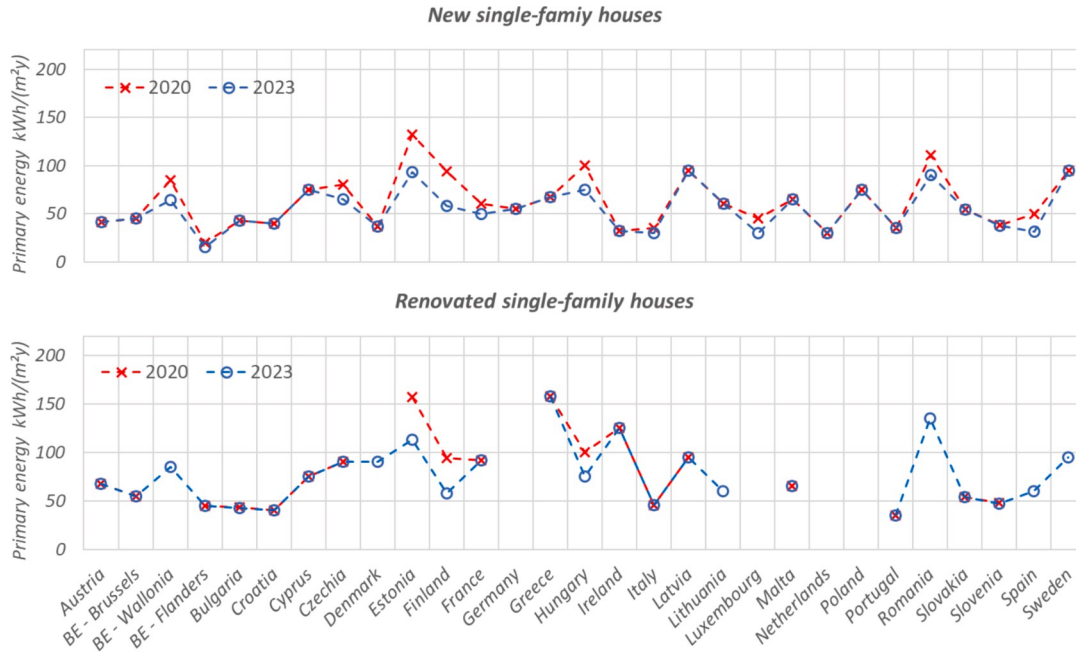
önerilen ölçütlerden daha yüksekken, yenilenmiş NZEB'lerin birincil enerji talebi aynı ölçütlerden %72 daha yüksektir. Yeni binalar için Hırvatistan, Flaman Topluluğu, Danimarka, Almanya, İrlanda, Lüksemburg, Slovenya, Finlandiya ve İsveç'te iyi uygulamalar gözlemlenirken, yenilenmiş NZEB ofisleri için Hırvatistan, Slovenya, Finlandiya ve İsveç, AK tavsiyelerinden daha iddialı seviyeler bildirmektedir.

3.3. Öngörülen ZEB seviyeleri

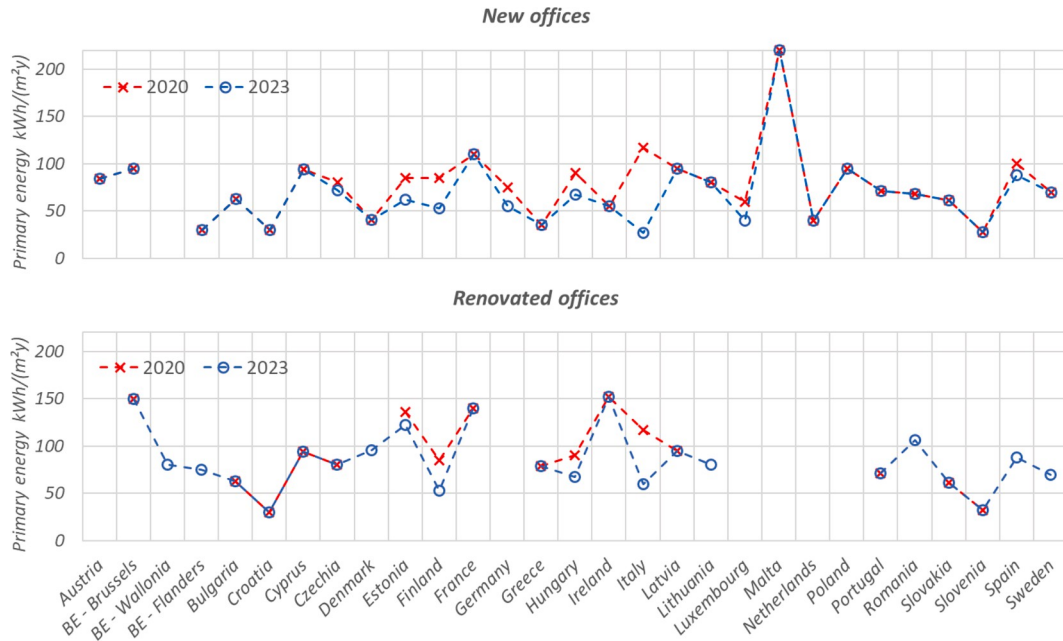
Mevcut NZEB seviyelerine dayalı olarak potansiyel ZEB performans seviyelerinin ulusal düzeyde nasıl görüneceğini anlamak için **Şekil 8 ve Şekil 9** potansiyel ZEB eşiklerini NZEB tarafından önerilen eşiklerle [10] karşılaştırmaktadır (**Tablo 2**). Gösterge niteliğindeki ZEB eşikleri, yeniden düzenlenen EPBD'ye uygun olarak toplam birincil enerji talebinin mevcut ulusal NZEB seviyelerinden %10 daha düşük olarak hesaplanmıştır. NZEB tahmini hem yeni hem de yenilenmiş için toplam birincil enerji talebi seviyeleri,

tek ailelik evler ve ofisler için **Bölüm 2'de** verilen adımlar izlenmiş ve ülkelere göre değerler **Tablo 5'te** (ek) verilmiştir. Yeterli bilgi mevcut olmadığında, toplam birincil enerji talebi yenilenemeyen birincil enerji talebine eşit kabul edilmiştir.

Bu karşılaştırma, bir kuruluşu değerlendirirken çok çeşitli bir manzara ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Konut binalarının yenilenemeyen birincil enerji talebinde NZEB performans seviyeleri arasında 2020 ve 2023 karşılaştırması.

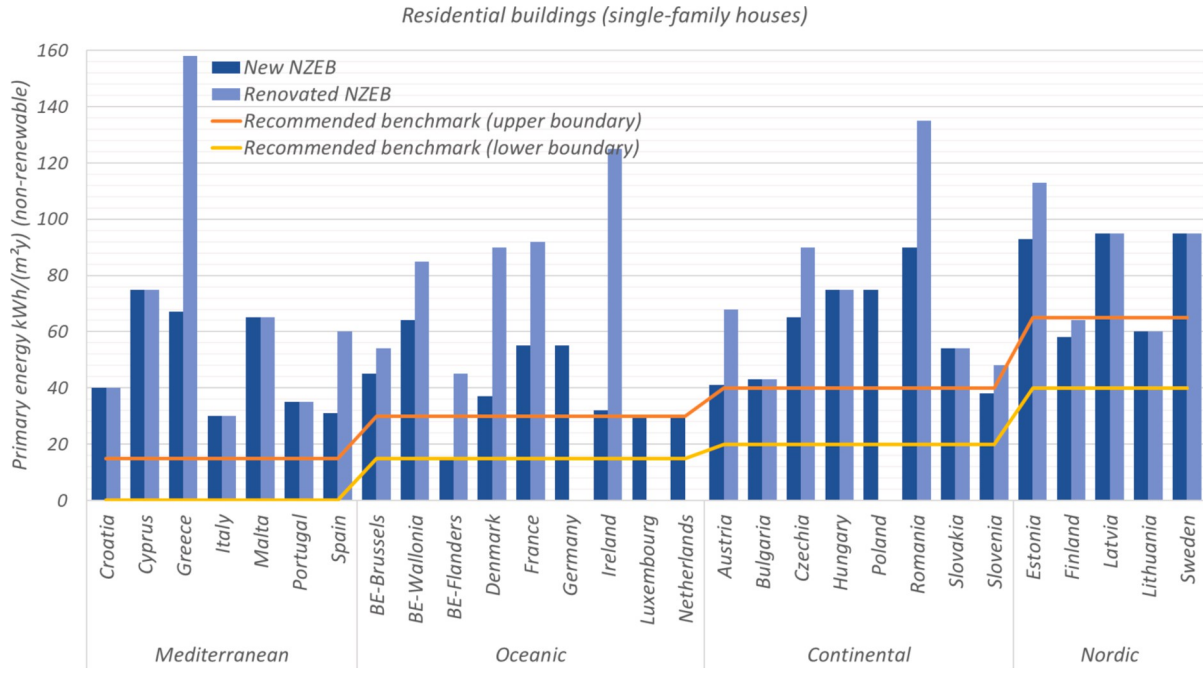


Şekil 5. Konut dışı binaların yenilenemeyen birincil enerji talebinde NZEB performans seviyeleri arasında 2020 ve 2023 karşılaştırması.

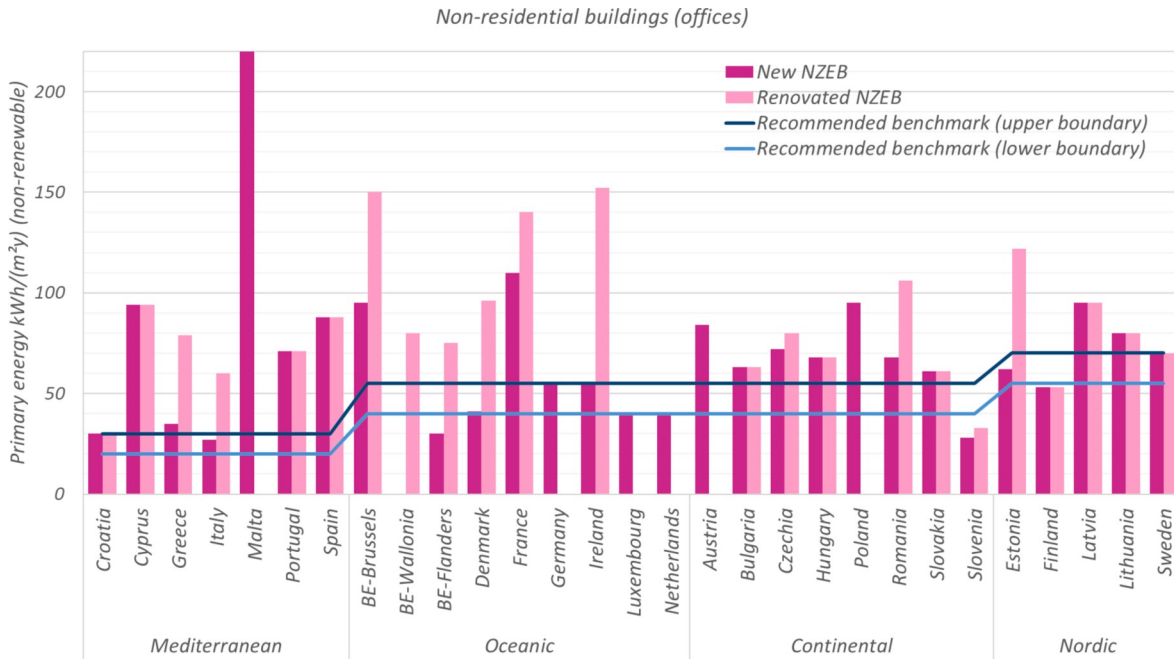
Tek ailelik evlerin toplam birincil enerjisi için tavsiye edilen kriterlere [10] göre potansiyel %10 ZEB, NZEB'den daha iddialıdır (Şekil 8). Tavsiye edilen aralığın üst sınırına bakıldığında, 7 tanımın tavsiye edilen eşik üzerinde olduğu görülmektedir. Farklı iklim bölgeleri dikkate alındığında, Kıta ülkeleri daha az iddialı olup 8 değerden 4'ü üst sınırı aşarken, Okyanusya grubu daha uyumlu tanımlara sahiptir ve 9 tanımdan sadece 1'i üst sınırı aşmaktadır. Bununla birlikte, aralığın alt sınırı değerlendirildiğinde, gösterge niteliğindeki ZEB seviyeleri birçok ülkede tavsiye edilen değerlerle uyumlu değildir ve sadece 10 ülke alt sınırın altına düşmektedir.

Şekil 9, NZEB tarafından önerilen ölçütleri (alt ve üst sınır) [10] ve toplamda gösterge niteliğindeki ZEB performans seviyelerini karşılaştırmaktadır

ofisler için birincil enerji. Genel olarak, karşılaştırma genel olarak olumlu bir görünüm ortaya koymaktadır. Müstakil evlere benzer şekilde, ZEB birincil enerji talebi, ofislerin NZEB birincil enerji talebinden %10 daha düşük olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, 5 ülkenin önerilen birincil enerji aralığının üst sınırından daha yüksek bir ZEB eşikine sahip olacağı görülmektedir. Tavsiye edilen eşik değerlerin alt sınırı dikkate alındığında durum çok az değişiklik göstermekte ve sadece 2 ülke daha uyumlu hale gelmemektedir. Genel olarak, Orta-Akdeniz grubu en az iddialı grup olarak görünürken, Okyanusya grubu en iddialı gruptur.



Şekil 6. Konut binaları için Konut binaları (tek ailelik evler) için ulusal NZEB performans seviyesi ile AK tarafından önerilen değerler (yenilenemeyen birincil enerji) arasındaki karşılaştırma.



Şekil 7. Ulusal NZEB performans seviyesi ile Konut dışı binalar (ofisler) için ulusal NZEB performans seviyesi ile AK tarafından önerilen değerler (yenilenemeyen birincil enerji) arasındaki karşılaştırma.

4. ZEB'lere yönelik temel zorluklar

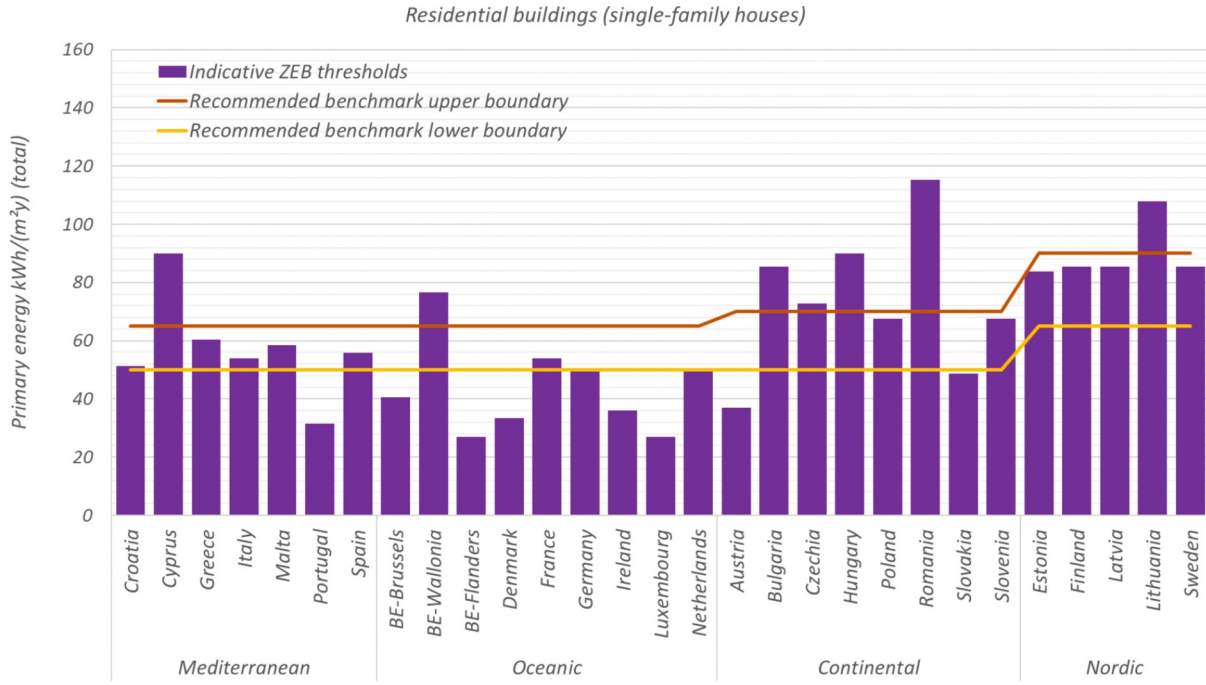
4.1. Enerji talep eşikleri

ZEB'ler çok yüksek enerji performansına sahip olmalı, fosil yakıtlardan yerinde karbon emisyonu üretmemeli ve minimum operasyonel sera gazı emisyonu üretmemelidir. Enerji ihtiyacı, yerinde veya yakınında bulunan yenilenebilir enerji kaynakları, yenilenebilir enerji toplulukları, verimli bölgesel ısıtma ve soğutma sistemleri (2023 yeniden düzenlenmiş EED kriterlerine göre) veya diğer karbonsuz kaynaklardan karşılanmalıdır. ZEB yıllık birincil enerji kullanımı en az %10 olmalıdır.

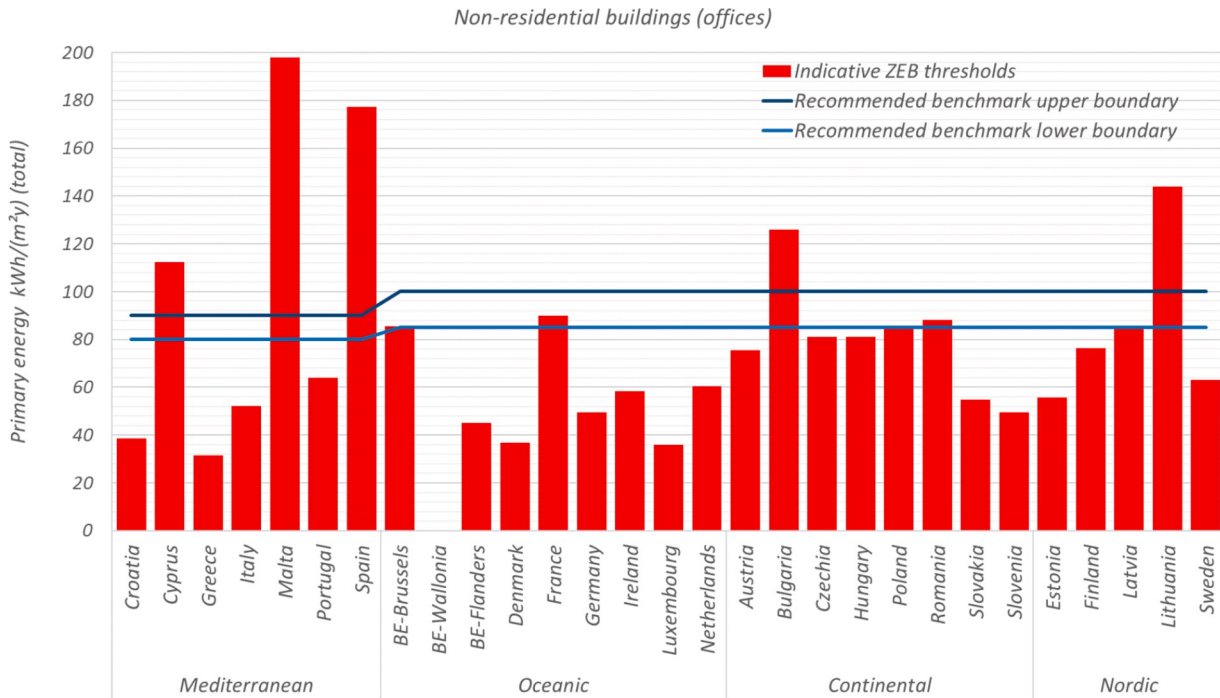
Ulusal NZEB eşik değerlerinden % daha düşük ve en azından maliyet açısından optimum

En son ulusal raporda belirlenen seviyeler. Operasyonel sera gazı emisyonları ulusal eşik değerlere uygun olmalıdır.

Önerilen ZEB tanımı mevcut NZEB standartlarından daha iddialı olmakla birlikte bazı endişeleri de beraberinde getirmektedir. Önemli sorunlardan biri, enerji talebi gereklilikleri açısından NZEB konseptine benzerliğidir. Yeni müstakil evler için Flandre'da 30 kWh/(m² y)'den Romanya'da (iklim bölgesi II) 128 kWh/(m² y)'ye ve ofisler için Yunanistan'da 35 kWh/(m² y)'den Malta'da 220 kWh/(m² y)'ye kadar Üye Devletler arasında büyük farklılıklar gösteren NZEB'lerin toplam birincil enerjisi bu tutarsızlığı vurgulamaktadır (Tablo 5, ek). Bu tür farklılıklar ZEB tanımının etkinliğini etkileyebilir, çünkü ulusal



Şekil 8. Konut binaları için Konut binaları (tek ailelik evler) için toplam birincil enerji talebinde önerilen NZEB eşikleri ile ulusal göstere niteliğindeki ZEB eşikleri arasındaki karşılaştırma.



Şekil 9. Konut dışı binalar (ofisler) için Konut dışı binalar (ofisler) için toplam birincil enerji talebinde önerilen NZEB eşikleri ile ulusal göstere niteliğindeki ZEB eşikleri arasındaki karşılaştırma.

uygulama benzer ZEB varyasyonlarına ve bazı durumlarda yüksek değerlere yol açabilir.

ZEB tanımı aynı zamanda bina içi karbon emisyonlarını da yasaklamakta ve bina içi sistemlerin (ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve DHW için) yalnızca yenilenebilir enerji ile çalıştırılmasını gerektirmektedir. Bu, özellikle yerinde yenilenebilir enerji kaynaklarına doğrudan erişimi olmayan binalar için zorlayıcı olabilir. Bu gerekliliği karşılamak için, binalar enerji taleplerini "enerji tasarrufu" doğrultusunda büyük ölçüde azaltmalıdır.

ZEB kriterleri içinde kalmak için "önce verimlilik" ilkesi. Bu, 2030 yılına kadar hem enerji hem de emisyon hedeflerini dengelemek için mevcut bazı NZEB eşiklerinde önemli revizyonlar gerektirebilir.

4.2. Yenilenebilir enerji entegrasyonu

Bir başka endişe alanı da yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonudur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının önerilen katkısı yüksek olsa da

(Akdeniz ülkeleri için %70 ve Okyanusya ülkeleri için %50, Avrupa Komisyonu tarafından önerilen kriterlere göre hesaplanmıştır, [Tablo 2](#)), ulusal NZEB'lerdeki yasal yenilenebilir enerji katkıları önemli ölçüde değişmekte ve genellikle yetersiz bir şekilde ölçülmektedir [\[15\]](#). Sonuç olarak, birçok durumda toplam enerji talebi, yenilenemeyen enerji talebini etkili bir şekilde yansıtmakta ve çeşitli tanımları uyumsuz göstermektedir. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji, özellikle de PV sistemleri gibi yerinde kaynaklar, NZEB seviyelerine ulaşmak için genellikle vazgeçilmezdir. Isı pompaları gibi elektrikle çalışan ısıtma ve soğutma sistemleriyle birleştirildiğinde, çatı üstü PV sistemleri, NZEB seviyelerini net birincil enerji eşikleri dahilinde tutmak için genellikle uygun maliyetli bir çözümdür [\[32\]](#). Bununla birlikte, tüm binaların uygun maliyetli PV dağıtımını sağlamak için yeterli güneş radyasyonuna erişemeyeceği iyi bilinmektedir [\[57\]](#). Ayrıca, güneş enerjisinin kesintili olması ve enerji depolama çözümlerine duyulan ihtiyaç da yaygın olarak benimsenmesi için zorluklar oluşturabilir. Yeni ZEB gereklilikleri, 2030'dan itibaren yerinde ve yakındaki yenilenebilir enerji kaynakları, yenilenebilir enerji toplulukları, verimli bölgesel ısıtma ve soğutma sistemleri ve diğer karbonsuz kaynaklar gibi kabul edilebilir enerji kaynaklarını açıkça tanımlayarak bu sorunları ele almayı amaçlamaktadır. Bu değişim, 2023 yeniden düzenlenmiş EED kapsamında 2050 yılına kadar karbonsuzlaştırmayı başarmak için gerekli olan merkezi ısıtma ve soğutma sistemlerine daha fazla güvenmeyi teşvik edebilir ve yenilenebilir enerji topluluklarının gelişimini teşvik edebilir [\[58\]](#). Ayrıca, bataryalar gibi enerji depolama sistemlerinin entegrasyonu ve akıllı şebekeler ile enerji yönetim sistemlerinin geliştirilmesi, güvenilir, verimli ve yenilenebilir bir enerji arzı sağlamak için çok önemli olacaktır [\[59\]](#).

4.3. Operasyonel sera gazı emisyon eşikleri

ZEB standartlarının 2030 yılına kadar benimsenmesi için kritik bir husus, emisyon eşiklerinin paralel olarak uygulamaya konmasıdır. İster karbondioksit ister toplam sera gazı açısından olsun, işletme emisyonlarının sınırlandırılması iklim nötrlüğüne ulaşma yolunda hayati bir adımdır. Enerji verimliliği önemli bir itici güç olmakla birlikte, 2050 iklim nötrlüğü hedefine ulaşmak için temiz enerji ile tamamlanması gerekmektedir. Özellikle mevcut binalar için, teknik bina sistemlerinin elektrifikasyonu ve fosil yakıt kullanımının yerini alacak yenilenebilir enerji ile birlikte kabukların derinlemesine yenilenmesi ulusal politikalarda daha fazla ele alınmalıdır [\[60\]](#). Üye Devletlere operasyonel emisyonlar için kendi eşiklerini belirleme konusunda tanınan serbestlik, AB genelinde hedef seviyelerinde önemli farklılıklara ve düzenlemeleri desteklemek için çeşitli politika önlemlerine neden olabilir. Ancak bu esneklik, her ülkenin kendine özgü iklimsel, ekonomik ve sosyal koşullarına uyum sağlanmasına olanak tanımaktadır. Akdeniz ülkeleri ile Kıta ve Okyanus ülkelerinin daha sıcak bölgelerinde, sadece daha yüksek termal yalıtım seviyelerine güvenmek yerine, güneş kazançlarını kontrol etmek, çatılar ve duvarlar için daha yüksek yansıtma özelliğine sahip daha açık renkli yüzeyler benimsemek ve pencerelerden daha iyi güneş kontrolü uygulamak (örneğin, daha düşük güneş ısısı kazanç faktörü) gibi özellikleri içeren uygun bir dış cephe tasarımı yoluyla daha yüksek işletimsel emisyon azaltımı elde edilebilir. Ayrıca, teknik ısıtma ve soğutma sistemlerinin elektrifikasyonu ile yenilenebilir enerji sistemlerinin benimsenmesi, daha yüksek seviyelerde dış cephe ısı yalıtımından daha uygun maliyetli olabilir [\[32,61\]](#). Bu husus, AB genelinde öngörülen artan soğutma ihtiyaçları dikkate alındığında daha da önemlidir [\[62\]](#). Buna karşılık, daha soğuk iklimlerde, dış cephe iyileştirmeleri yoluyla ısıtma enerjisi talebini azaltmak, operasyonel sera gazı emisyonlarını azaltmak için gerekli olmaya devam etmektedir [\[63\]](#). Bu yaklaşım, enerji tasarrufunu daha da artırmak için güneş kazançlarını en üst düzeye çıkarmak ve iç ısı kaynaklarını etkin bir şekilde kullanmak gibi pasif tasarım stratejileriyle tamamlanabilir. Üye Devletlerde halihazırda yaygın olarak uygulanan optimum maliyet metodolojisi, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji entegrasyonu arasında her ülkenin veya bölgenin özel koşullarına göre uyarlanmış en uygun maliyetli dengeyi bularak işletme emisyonlarının kıyaslanması için değerli bir araç olarak hizmet edebilir [\[64\]](#).

4.4. Somutlaştırılmış sera gazı emisyonu endişeleri

Bununla birlikte, literatürde kapsamlı bir şekilde tartışıldığı üzere, NZEB standartları operasyonel emisyonları başarılı bir şekilde azaltırken, somutlaştırılmış emisyonlar çoğu bina standardında büyük ölçüde ele alınmamıştır ve önümüzdeki yıllarda önemli zorluklar teşkil edecektir [\[65,66\]](#). Bazı durumlarda, operasyonel emisyonlar azalsa bile daha yüksek enerji verimliliğine sahip binaların somutlaştırılmış karbonunun artabildiği gözlemlenmiştir [\[67,68\]](#). Bunun başlıca nedeni, daha büyük miktarlarda malzeme ve daha karmaşık teknik sistemlerdir. 2024 yılında yeniden düzenlenen EPBD, bina sektöründe sıfır yaşam döngüsü CO₂ -eşdeğer sera gazı emisyonlarına doğru ilerlemenin bir parçası olarak, 2030 yılından itibaren tüm yeni binalar için küresel ısınma potansiyellerine ve bireysel sera gazı emisyonlarına dayalı olarak yaşam döngüsü CO₂ -eşdeğer sera gazı emisyonlarının hesaplanmasını ve açıklanmasını gerektirmektedir.

İleriye dönük olarak, yeni binaların tasarım aşamasında ve mevcut binaların yenilenmesinde somutlaştırılmış karbonun azaltılması ve belki de kıyaslama ölçütleriyle desteklenmesi çok önemli olacaktır. Farklı bina tipleri, iklimler ve ekonomiler nedeniyle binalarda somutlaştırılmış karbonu azaltmak için herkese uyan tek bir çözüm olmasa da, somutlaştırılmış karbonu en aza indirmek için birkaç ortak yaklaşım kullanılabilir. Yerel olarak temin edilebilen, düşük karbonlu malzemelerin kullanılması, malzeme ve nakliye ile ilişkili emisyonları azaltacaktır [\[69\]](#). Örneğin, geleneksel inşaat malzemelerinin (duvar, beton ve çelik gibi) yerine kerestenin kullanılması, daha iyi hava geçirmezlik sağlamanın yanı sıra (tuğla duvarlara kıyasla ahşap panellerle yaklaşık %40 daha yüksek [\[71\]](#)) somutlaştırılmış sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltır (betonun yerine mühendislik ürünü ahşap kullanılması %36 [\[70\]](#)). Termal zarfla ilgili olarak, cam ve taş yünü, polistiren ve poliüretan gibi malzemeler, maliyet etkinliği ve kullanılabilirliği nedeniyle şu anda AB genelinde yaygın olarak kullanılmaktadır; ancak yüksek çevresel etki göstermektedirler [\[72\]](#). Daha düşük çevresel etkilere sahip ısı yalıtım malzemelerinin uygulanabilir seçenekleri mantar, kamyş ve ahşap lifli paneller, keten, kenevir, saman balyası, koyun yünü ve aynı zamanda yerel mevcudiyetlerine ve uygulama teknolojisinin uygunluğuna bağlı olarak selüloz veya geri dönüştürülmüş tekstil gibi geri dönüştürülmüş malzemelerdir. Bu tür malzemelerin kullanımı, düşük ısı iletkenliği ve düşük somutlaştırılmış karbonu bir araya getirdikleri için daha düşük yaşam döngüsü CO₂ -eşdeğeri emisyonlarla sonuçlanabilir. Ayrıca, biyo-bazlı malzemeler kullanım ömürlerinin sonunda bir atık yönetimi stratejisi olarak yüksek atıktan enerjiye potansiyeli göstermekte, inşaat atıklarını azaltmakta ve döngüsel ekonomiyi desteklemektedir [\[73\]](#). Sürdürülebilir malzemelere ve inşaat uygulamalarına verilen önem sadece somut karbonu azaltmakla kalmaz, aynı zamanda toksik olmayan, çevre dostu malzemeler kullanarak daha iyi iç mekan koşullarını da teşvik eder.

4.5. NZEB ve ZEB seviyelerine göre yenileme

İyi bilinen ve beklemede olan bir zorluk, bina yenileme, özellikle de yeniden düzenlenen EPBD tarafından 2030 yılına kadar NZEB seviyesine yenileme ve 2030'dan sonra ZEB olarak tanımlanan derin yenilemedir. Sonuçlar, yenileme için NZEB tanımının yeni binalar için NZEB tanımına kıyasla daha az ele alındığını ve bazı durumlarda tamamen eksik olduğunu, belirli enerji göstergelerinden veya yenilenebilir enerji gerekliliklerinden yoksun olduğunu göstermektedir. Her ne kadar 2021 durumuna kıyasla iyileşmeler gözlemlenmiş olsa da, daha fazla çabaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Binaların yenilenme hızını ifade eden yenileme alımı genellikle iki gösterge ile değerlendirilir: i) bina stokundan yıllık olarak yenilenen taban alanını (veya bina sayısını) ifade eden yıllık yenileme oranı ve ii) enerji tasarrufu (veya emisyon azaltımı) açısından yenilenenin gerçek etkinliğini ifade eden yenileme derinliği. Ancak, bu göstergelerin her ikisi de, özellikle NZEB yenilemeleri ile ilgili olarak, büyük ölçüde bilinmemektedir. Üye Devletler genellikle yeni ve yenilenmiş NZEB'ler arasında ayrım yapmakta veya NZEB yenilemelerini gerçekleştirilmiş olanlardan ayırt etmekte zorlanmaktadır [\[74\]](#). Önceki araştırmalara göre [\[75\]](#), binalardaki nihai enerji kullanımı 2019 seviyelerine göre 2030 yılına kadar %14, 2050 yılına kadar ise %41 oranında azaltılabilir. Doğrudan operasyonel sera gazı emisyonları da şu kadar azaltılabilir

2030'a kadar %35 ve nihayet 2050'ye kadar %94 azaltıma ulaşacaktır. Bu tahminlere ulaşmak için yenileme oranlarının 2020 oranının iki katından fazla olması (yaklaşık %1) ve derin yenilemeler içermesi gerekmektedir. Ancak, bildirilen planlı yenileme oranları %1 ile %6 arasında değişmekte olup, çoğu ülke yıllık %1,5 ile %3,0 arasında bir oran hedeflemektedir. Bu durum, tüm yenileme stratejilerinin enerji ve karbonsuzlaştırma hedefini sürdürmek için yeterince iddialı olmadığını göstermektedir. Buna ek olarak, bu yenilemelerin derinliği genellikle belirtilmemekte ve potansiyel etkinin anlaşılmasında bir boşluk bırakmaktadır. Yenilemelerin derinliği kontrol edilmediğinde, binaların enerji ve emisyon hedeflerini karşılamak için yeterince enerji verimli olmayan bir seviyede yenilendiği bir kilitlenme etkisi ortaya çıkabilir. Daha düşük enerji tasarrufu sağlayan hafif veya orta dereceli yenilemeler, hedeflere ulaşmak için daha yüksek yıllık yenileme oranları gerektirecektir [76]. Ancak bu, kalifiye işgücü eksikliği, saha hazırlama maliyetleri ve yüksek inşaat malzemesi maliyetleri gibi piyasa engelleri nedeniyle zorlayıcı olabilir. Bundan kaçınmak için, operasyonel emisyon göstergeleri de dahil olmak üzere NZEB yenilemesine yönelik spesifik ve net göstergeler içeren bir tanımın ana hatlarıyla belirlenmesi önemlidir. Bu, gerçekleştirilen yenilemelerin derin yenileme (yani NZEB veya ZEB) ile uyumlu hale getirilmesini, enerji ve emisyon tasarrufu kilitlenmelerinin önlenmesini ve hedeflere son teslim tarihlerinde ulaşılmasını sağlayacaktır.

5. Sonuçlar

Bu çalışma, 26 AB Üye Devleti ve üç Belçika bölgesinde uygulanan Neredeyse Sıfır Enerjili Bina (NZEB) tanımlarının kapsamlı bir değerlendirmesini sunmaktadır. Analiz, Sıfır Emisyonlu Binalara (ZEB'ler) doğru ilerlemede hem ilerlemeyi hem de zorlukları vurgulayarak NZEB standartlarında çeşitli bir manzara ortaya koymaktadır.

Ortalama olarak, yenilenebilir olmayan birincil enerji talebi yeni NZEB'lerde yenilenmiş NZEB'lere göre %30 daha düşüktür. Ayrıca, yenilenebilir enerji katkısı hem yeni hem de yenilenmiş NZEB'lerde %9-10 ile %55 arasında değişen büyük farklılıklar göstermektedir. Bazı ülkelerde yenilenebilir enerji miktarları henüz belirlenmemiştir. Kritik bir bulgu, mevcut NZEB tanımlarının birçoğunun Avrupa Komisyonu'nun yenilenemeyen birincil enerji talebi için önerdiği kriterleri aşmasıdır. Bununla birlikte, bazı ülkeler ve bölgeler geçtiğimiz yıllarda NZEB eşiklerini başarılı bir şekilde düşürmüş ve hem yeni hem de yenilenmiş binalar için daha iddialı standartlar getirmiştir. Bu gelişmeler, AB çapında uyumlaştırma karmaşık olsa da, hedeflenen ulusal revizyonların enerji performansında önemli gelişmeler sağlayabileceğini vurgulamaktadır.

Birincil enerji talebi mevcut NZEB birincil enerji talebi seviyelerinden %10 daha düşük olarak hesaplanan gelecekteki ZEB standardına bakıldığında, önerilen kriterlere görünürdeki uyumun kısmen ele alındığı görülmektedir. Ancak, uyumluluk toplam birincil enerjiye dayanmaktadır. Hem NZEB hem de ZEB standartlarının önemli bir ayağı olan yenilenebilir enerji katkısı önemli bir zorluk olarak görünmektedir. Toplam birincil enerji dikkate alındığında ZEB standartları daha uyumlu görünse de, gerçek yenilenebilir enerji entegrasyonu yetersiz kalmaktadır. Sonuç olarak, ZEB enerji kullanımı operasyonel emisyonlara yol açarak sürdürülebilirlik açısından EPBD kriterleriyle uyumlu olmayan bir performans sergileyebilmektedir. ZEB kriterlerine tam olarak uymak için binalar yenilenebilir enerji kaynaklarına öncelik vermelidir. Entegrasyon, sıfır yerinde ve çok düşük işletme emisyonlarını yerine getirmek için gereklidir. Ancak, birçok tanımdaki mevcut yüksek toplam birincil enerji eşikleri bu uyumu zorlaştırabilir. Bu nedenle, bazı ülkeler ve bölgeler enerji verimliliğini zorlamak ve yenilenebilir enerjinin entegrasyonunu teşvik etmek için NZEB tanımını revize edebilir. Ayrıca, 2050 yılına kadar karbondan arındırılmış bir bina stokuna ulaşmak için, bina yenileme oranının hızlandırılması, EPBD'de artık açıkça belirtilen derin yenileme ile eşleştirilmelidir. Operasyonel sera gazı emisyon eşiklerinin belirlenmesi, yenilemelerin derin yenileme standartlarıyla uyumlu olmasını sağlayarak enerji ve emisyon tasarruflarının kilitlenmesini önleyebilir.

NZEB'den ZEB'e geçiş, AB'nin aşağıdaki hedeflerine ulaşması için çok önemlidir

iklim nötrlüğü hedefleri. Mevcut NZEB tanımları ilerleme gösterirken,

ZEB gerekliliklerini karşılamak ve AB'nin iklim ve enerji hedeflerini yerine getirmek için iyileştirmelere ihtiyaç vardır. Bu değişim, ulusal standartların gözden geçirilmesini ve sıkılaştırılmasını, yenilenebilir enerji entegrasyonunun artırılmasını, operasyonel sera gazı emisyon eşiklerinin belirlenmesini ve uyarlanabilir işaretlere ve sürdürülebilir malzemelere odaklanılmasını gerektirmektedir. Ayrıca, daha fazla enerji verimliliği ile ilişkili sağlık faydalarının vurgulanması, hem çevresel kalitenin hem de bina sakinlerinin refahının iyileştirilmesinde ZEB standartlarının değerini vurgulamaktadır.

CRedit yazarlık katkı beyanı

Carmen Maduta: Yazım - orijinal taslak, Araştırma, Biçimsel analiz, Veri düzenleme, Kavramsallaştırma. **Delia D'Agostino:** Yazım - orijinal taslak, Araştırma, Biçimsel analiz, Veri düzenleme, Kavramsallaştırma. **Sofia Tsemekidi-Tzeiranaki:** Yazım - orijinal taslak, Araştırma, Biçimsel analiz, Veri düzenleme, Kavramsallaştırma. **Luca Castellazzi:** Süpervizyon, Araştırma, Biçimsel analiz, Kavramsallaştırma.

Rekabetçi çıkar beyanı

Yazarlar, bu makalede rapor edilen çalışmayı etkileyebilecek bilinen herhangi bir rakip finansal çıkarları veya kişisel ilişkileri olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, JRC'nin EPBD'nin uygulanmasına teknik ve bilimsel destek sağladığı Enerji Genel Müdürlüğü ile Ortak Araştırma Merkezi (JRC) Genel Müdürlüğü arasındaki idari düzenleme çerçevesinde hazırlanmıştır. Enerji Genel Müdürlüğü'nün işbirliği ve sağladığı bilgiler için müteşekkirdir.

Burada ifade edilen görüşler tamamen yazarlara aittir ve hiçbir koşulda Avrupa Komisyonu'nun resmi görüşü olarak kabul edilemez. Sofia Tsemekidi-Tzeiranaki Avrupa Komisyonu, JRC'de danışman olarak görev yapmaktadır.

Ek A. Tamamlayıcı veriler

Bu makalenin tamamlayıcı verileri <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.115133> adresinde çevrimiçi olarak bulunabilir.

Veri kullanılabilirliği

Veriler talep üzerine kullanıma sunulacaktır.

Referanslar

- [1] Uluslararası Enerji Ajansı, "Binaların izlenmesi. Enerji Tüketimi. Şu adresten erişilebilir: <https://www.iea.org/energy-system/buildings>," 2023.
- [2] Avrupa Komisyonu, "Enerji ve AB binalarına ilişkin temel bilgiler," Enerji. Binalarda Enerji Performansı Direktifi. [Çevrimiçi]. Mevcut: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en.
- [3] A. Stechemesser, ve diğerleri, Büyük emisyon azaltımları sağlayan iklim politikaları: Yirmi yıldan küresel kanıtlar, Science 385 (6711) (Ağustos 2024) 884-892, <https://doi.org/10.1126/science.adl6547>.
- [4] D. D'Agostino, L. Mazzearella, Neredeyse sıfır enerjili bina nedir? Genel bakış, uygulama ve tanımların karşılaştırılması, J. Build. Eng. 21 (Ocak 2019) 200-212, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.10.019>.
- [5] J. Li, Z. Gou, Net sıfır enerjili binalarda kalkınma açığının giderilmesi: Çin, Hindistan ve Amerika Birleşik Devletleri üzerine karşılaştırmalı bir çalışma, Energy Sustain. Dev. 79 (Nisan 2024) 101418, <https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101418>.
- [6] X. Sun, M.A. Brown, M. Cox, R. Jackson, Mandating better buildings: a global review of building codes and prospects for improvement in the United States, WIREs Energy Environ. 5 (2) (Mart 2016) 188-215, <https://doi.org/10.1002/wene.168>.
- [7] Avrupa Komisyonu, "Binaların enerji performansı (yeniden düzenleme). Bir direktif önerisine ilişkin 12 Mart 2024 tarihli Avrupa Parlamentosu yasama kararı

- Binaların enerji performansına ilişkin Avrupa Parlamentosu ve Konsey kararı (yeniden düzenleme). Kabul edilen metinler." 2024.
- [8] Avrupa Komisyonu, "Neredeyse sıfır enerjili binalar. Uygulama, izleme ve raporlama, şu adresten erişilebilir: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en#implementation-monitoring-and-reporting." 2021.
- [9] D. D'Agostino, S.T. Tzeiranaki, P. Zangheri, P. Bertoldi, Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) development in Europe, *Energ. Strat. Rev.* 36 (Temmuz 2021) 100680, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100680>.
- [10] Avrupa Komisyonu, "Neredeyse sıfır enerjili binaların teşvik edilmesine yönelik Kılavuz İlkeler ve 2020 yılına kadar tüm yeni binaların neredeyse sıfır enerjili binalar olmasını sağlamaya yönelik en iyi uygulamalar hakkında 29 Temmuz 2016 tarihli ve 2016/1318 sayılı Komisyon Tavsiye Kararı," 2016.
- [11] R. Simson, K.E. Thomsen, K.B. Wittechen, J. Kurnitski, A Comparative Analysis of NZEB Energy Performance Requirements for Residential Buildings in Denmark, Estonia and Finland, *E3S Web Conf.* 246 (2021) 14001, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124614001>.
- [12] L. Gibbons, S. Javed, Çevresel performans sertifikalarının istatistiksel analizi ve literatür taraması ile İskandinav iklimlerinde neredeyse sıfır enerjili çok katlı apartman binalarının HVAC çözüm setlerinin ve enerji performansının gözden geçirilmesi, *Energy* 238 (Jan. 2022) 121709, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121709>.
- [13] F. Reda, Z. Fatima, Entegre güneş enerjisi teknolojileri ve dinamik doluluk profili kullanan apartman binaları için Kuzey Avrupa neredeyse sıfır enerjili bina konseptleri: Finlandiya ve diğer Kuzey Avrupa ülkelerine odaklanma, *Appl. Energy* 237 (Mar. 2019) 598-617, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.029>.
- [14] S. Attia, et al., Güney Avrupa'da neredeyse sıfır enerjili binaların (nZEB) tasarımına genel bakış ve gelecekteki zorluklar, *Energ. Buildings* 155 (Nov. 2017) 439-458, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.043>.
- [15] L.M. Lo 'pez-Ochoa, J. Las-Heras-Casas, J.M. González-Caballín, M. Carpio, Akdeniz ülkelerinde neredeyse sıfır enerjili konut binalarına doğru: Binalarda Enerji Performansı Direktifi 2018'in İspanya'da uygulanması, *Energy* 276 (Ağustos 2023) 127539, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127539>.
- [16] F. Harkouss, F. Fardoun, P.H. Biwole, NZEB'de optimizasyon yaklaşımları ve iklim araştırmaları-Bir inceleme, *Build. Simul.* 11 (5) (Ekim 2018) 923-952, <https://doi.org/10.1007/s12273-018-0448-6>.
- [17] S. Attia, et al., Overview and future challenges of nearly zero-energy building (nZEB) design in Eastern Europe, *Energ. Buildings* 267 (Jul. 2022) 112165, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112165>.
- [18] Z. Ma, M. Arıcı, Y. Sun, S. Singh, A. Shahsavari, Towards net-zero energy/emission buildings for sustainable development, *Energy Sustain. Dev.* 80 (Jun. 2024) 101448, <https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101448>.
- [19] R. Wang, W. Feng, L. Wang, S. Lu, Soğuk bölgelerdeki sıfır enerji binalarının kapsamlı bir değerlendirilmesi: Çin, ABD ve Avrupa Birliği'nden örneklerin gerçek performansı ve temel teknolojileri, *Energy* 215 (Ocak 2021) 118992, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118992>.
- [20] B.A. Aljashami, et al., Sıfır enerjili binalara ulaşmak için yenilenebilir enerjiye dayalı binalar için ısıtma, havalandırma ve soğutma teknolojilerindeki son gelişmeler: Sistematik bir inceleme, *Results Eng.* 23 (Eylül 2024) 102769, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102769>.
- [21] U. Kınay, A. Laukkanen, J. Vinha, Karbon-nötr için konut bina stoku hedeflerinin yenilenme dalgası: Finlandiya ve Türkiye örnek olaylarının enerji talebi açısından değerlendirilmesi, *Energy Sustain. Dev.* 75 (Ağustos 2023) 1-24, <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.04.014>.
- [22] T.T.P. Bui, C. MacGregor, N. Domingo, S. Wilkinson, Sıfır karbon yenilemeye yönelik işbirliği ve entegrasyon: Bir Yeni Zelanda vaka çalışması, *Energy Sustain. Dev.* 74 (Haziran 2023) 361-371, <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.04.005>.
- [23] T. Hong, D. Yan, S. D'Oca, C. Chen, Binalarda kullanıcı davranışına ilişkin on soru: Büyük resim, *Build. Environ.* 114 (Mar. 2017) 518-530, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.006>.
- [24] Birleşmiş Milletler Çevre Programı, "Bina ve İnşaat için Küresel Durum Raporu. Temellerin ötesinde. Bina sektöründen kaynaklanan emisyonları azaltmak için sürdürülebilir çözümlerin yaygınlaştırılması." <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095>, Nairobi, 2024.
- [25] Avrupa Komisyonu, "Komisyon'dan Avrupa Parlamentosu, Konsey, Avrupa Ekonomik ve Sosyal Komitesi ve Bölgeler Komitesi'ne Bildirim: The European Green Deal," Brüksel, COM(2019) 640, Kasım 2019.
- [26] Avrupa Komisyonu, "Yenilenebilir kaynaklardan enerji kullanımının teşvik edilmesine ilişkin 11 Aralık 2018 tarihli ve 2018/2001 sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi (AB) (yeniden düzenleme)." 2018.
- [27] Avrupa Komisyonu, "Enerji verimliliğine ilişkin ve (AB) 2023/955 sayılı Tüzüğü (yeniden düzenleme) tadil eden 13 Eylül 2023 tarihli ve (AB) 2023/1791 sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi." 2023. [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023L1791>.
- [28] G. Kakoulaki, C. Maduta, G. Tsionis, P. Zangheri ve M. Bavetta, "Asbest varlığı ve sismik risk dikkate alınarak hassas AB bölgelerinin belirlenmesi. EUR 31550 EN, Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg, 2023, ISBN 978-92-68-04254-0, doi:10.2760/652785, JRC133139," 2023.
- [29] Concerted Action EPBD, "Yeni Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (NZEB) - 2022'deki Durum. Available at: [https://confluence.external-share.com/content/18675/ca_epbd_v_database_2020_\(public\)/1953075488/2234843137](https://confluence.external-share.com/content/18675/ca_epbd_v_database_2020_(public)/1953075488/2234843137)." 2024.
- [30] Concerted Actions EPBD, "Concerted Action EPBD - Enabling implementation of the Energy Performance of Buildings Directive, şu adresten erişilebilir: <https://epbd-ca.eu/database-of-outputs>." 2020.
- [31] S. Attia, P. Kosin'ski, R. Wo 'jcik, A. Weglarz, D. Koc, O. Laurent, Polonya konut bina stokunda enerji verimliliği: Bir literatür taraması, *Journal of Building Engineering* 45 (Jan. 2022) 103461, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103461>.
- [32] P. Pallis, et al., Yunanistan'daki sıfır enerjili ofis binalarında verimlilik önlemlerinin enerji ve ekonomik performans değerlendirmesi, *Build. Environ.* 206 (Aralık 2021) 108378, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108378>.
- [33] J. Niskanen, H. Rohrer, Bir hesaplama politikası: İsveç'te sıfır enerjili binalara giden yolların müzakere edilmesi, *Technol. Soc. Chang.* 179 (Haziran 2022) 121630, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121630>.
- [34] R. Simson, E. Arum 'agi, K.E. Thomsen, K.B. Wittechen, J. Kurnitski, Danimarka, Estonya ve Finlandiya NZEB gerekliliklerinin Nordik ve Okyanus iklimlerindeki ofis binaları için Avrupa Komisyonu önerileriyle karşılaştırılması, *E3S Web Conf.* 356 (2022) 01017, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202235601017>.
- [35] D. Bienvenido-Huertas, D. Sa 'nchez-García, C. Rubio-Bellido, J.A. Pulido-Arcas, İspanya'da neredeyse sıfır enerjili binaların (nZEB) uygulanması için adaletsiz enerji çerçevesinin analizi, *Journal of Building Engineering* 35 (Mar. 2021) 102011, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102011>.
- [36] C. Theokli, C. Elia, M. Markou, C. Vassiliades, Kıbrıs Lefkoşa'da mevcut bir binanın enerji renovasyonu ve BIPV/ T çift cephe sisteminin pasif katkısının araştırılması: Bir vaka çalışması, *Energy Rep.* 7 (Kasım 2021) 8522-8533, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.03.025>.
- [37] S. Di Turi, L. Ronchetti, R. Sannino, Net ZEB hedefine doğru: İtalya'daki yeni ofis binaları için detaylı enerji analizi ve maliyet değerlendirmesi, *Energ. Buildings* 279 (Ocak 2023) 112707, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112707>.
- [38] C. Maduta, G. Melica, D. D'Agostino, P. Bertoldi, Towards a decarbonised building stock by 2050: Avrupa'da sıfır emisyonlu binaların (ZEB'ler) anlamı ve rolü, *Energ. Strat. Rev.* 44 (Kasım 2022) 101009, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.101009>.
- [39] ISO 52000-1, "Binaların enerji performansı - Kapsayıcı EPB değerlendirmesi - 1. Bölüm: Genel çerçeve ve prosedürler." 2017.
- [40] CA EPBD, "EPBD'nin Avusturya'da Uygulanması, <https://www.ca-epbd.eu/outputs> adresinden erişilebilir." 2020.
- [41] G. Ruggieri, C. Maduta, G. Melica, "Progress on the implementation of energy performance certificates in EU," Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg (2023), https://doi.org/10.2760/522233_JRC135473.
- [42] Sanayi, Ticaret, Enerji Verimliliği ve Tasarruf Bakanlığı, Çekya, "Çekya'da minimum enerji performansı gerekliliklerinin maliyet-optimal seviyelerinin hesaplanması. Available at: https://circabc.europa.eu/ui/group/092d1141-bdbc-4dbe-9740-aa72b045e8b3/library/30a6e0cd-055a-4623-95ab-e529c2a1b1be?p=1&n=10&sort=modified_DESC." 2023.
- [43] K. Jesper, R. Jørgen ve A. Søren, "Danimarka'da minimum enerji performansı gerekliliklerinin maliyet-optimal seviyelerinin hesaplanması, Yapılı Çevre Bakanlığı. Available at: https://circabc.europa.eu/ui/group/092d1141-bdbc-4dbe-9740-aa72b045e8b3/library/30a6e0cd-055a-4623-95ab-e529c2a1b1be?p=1&n=10&sort=modified_DESC." 2023.
- [44] Finlandiya Çevre Bakanlığı, "Finlandiya'da minimum enerji performansı gerekliliklerinin maliyet-optimal seviyelerinin hesaplanması. Erişim adresi: https://circabc.europa.eu/ui/group/092d1141-bdbc-4dbe-9740-aa72b045e8b3/library/30a6e0cd-055a-4623-95ab-e529c2a1b1be?p=1&n=10&sort=modified_DESC." 2023.
- [45] CA EPBD, "EPBD'nin Fransa'da Uygulanması, <https://www.ca-epbd.eu/outputs> adresinden erişilebilir." 2020.
- [46] Ekolojik Geçiş ve Bölgesel Uyum Bakanlığı, "Fransa'da minimum enerji performansı gerekliliklerinin maliyet-optimum seviyelerinin hesaplanması. Available at: https://circabc.europa.eu/ui/group/092d1141-bdbc-4dbe-9740-aa72b045e8b3/library/30a6e0cd-055a-4623-95ab-e529c2a1b1be?p=1&n=10&sort=modified_DESC." 2023.
- [47] Federal Almanya Cumhuriyeti, "Almanya'da minimum enerji performansı gerekliliklerinin maliyet açısından optimum seviyelerinin hesaplanması. Erişim adresi: https://circabc.europa.eu/ui/group/092d1141-bdbc-4dbe-9740-aa72b045e8b3/library/30a6e0cd-055a-4623-95ab-e529c2a1b1be?p=1&n=10&sort=modified_DESC." 2018.
- [48] Çevre ve Enerji Bakanlığı, "Yunanistan'da minimum enerji performansı gerekliliklerinin maliyet açısından optimum seviyelerinin hesaplanması. Erişim adresi: https://circabc.europa.eu/ui/group/092d1141-bdbc-4dbe-9740-aa72b045e8b3/library/30a6e0cd-055a-4623-95ab-e529c2a1b1be?p=1&n=10&sort=modified_DESC." 2023.
- [49] ENEA, "İtalya'da minimum enerji performansı gerekliliklerinin maliyet-optimal seviyelerinin hesaplanması. Available at: https://circabc.europa.eu/ui/group/092d1141-bdbc-4dbe-9740-aa72b045e8b3/library/30a6e0cd-055a-4623-95ab-e529c2a1b1be?p=1&n=10&sort=modified_DESC." 2021.
- [50] İtalyan Hükümeti, "3 Mart 2011 tarihli ve 28 sayılı Kanun Hükmünde Kararname: Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Kullanımının Teşvikine ilişkin 2009/28/EC sayılı Direktifin Uygulanması." *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, 71, 81." 2011.
- [51] İtalyan Bakanlığı, "26 Haziran 2015 tarihli Bakanlıklar Arası Kararname: Enerji Performansı Hesaplama Metodolojilerinin Uygulanması ve Binalar için Reçetelerin ve Minimum Gerekliliklerin Tanımlanması." 2015.
- [52] CA EPBD, "EPBD'nin Polonya'da Uygulanması, <https://www.ca-epbd.eu/outputs> adresinden erişilebilir." 2020.
- [53] Enerji ve Ekoloji Genel Müdürlüğü ve ADENE, "Portekiz'de minimum enerji performansı gerekliliklerinin maliyet açısından en uygun seviyelerinin hesaplanması. Available at: https://circabc.europa.eu/ui/group/092d1141-bdbc-4dbe-9740-aa72b045e8b3/library/30a6e0cd-055a-4623-95ab-e529c2a1b1be?p=1&n=10&sort=modified_DESC." 2018.
- [54] Altpayır Bakanlığı, "Slovenya'da minimum enerji performansı gerekliliklerinin maliyet-optimal seviyelerinin hesaplanması. Available at: https://circabc.europa.eu/ui/group/092d1141-bdbc-4dbe-9740-aa72b045e8b3/library/30a6e0cd-055a-4623-95ab-e529c2a1b1be?p=1&n=10&sort=modified_DESC." 2018.

- [55] V. Dokoupilov^a, M. Formaⁿek^k, P. Hora^k, Mevcut verimsiz binaların neredeyse sıfır emisyonlu binalara dönüştürülmesi - Çek Cumhuriyeti'nden bir konut b i n a s ı n ı n vaka çalışması, *Energ. Buildings* 315 (Jul. 2024) 114301, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114301>.
- [56] C. Maduta, D. D'Agostino, Avrupa Birliği'nde Sıfır Emisyonlu Binalar (ZEB) uygulamasının hazırlığı, *E3S Web Conf.* 523 (2024) 04009, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452304009>.
- [57] V. Kapsalis, et al., Küresel kentsel ortamda büyük ölçekli çatı üstü fotovoltaik dağıtımının eleştirel değerlendirmesi, *Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev.* 189 (Ocak 2024) 114005, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114005>.
- [58] W. Wu, H.M. Skye, Konut tipi net sıfır enerjili binalar: İnceleme ve perspektif, *Renew. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* 142 (Mayıs 2021) 110859, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110859>.
- [59] D. Mariano-Hern^{andez}, L. Hern^{andez}-Callejo, A. Zorita-Lamadrid, O. Duque-P^{erez} ve F. Santos Garcia, "Bina enerji yönetim sistemi için stratejilerin gözden geçirilmesi: Model öngörülü kontrol, talep tarafı yönetimi, optimizasyon ve arıza tespit ve teşhisi," *Journal of Building Engineering*, vol. 33, p. 101692, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.job.2020.101692.
- [60] T. Fotiou, P. Fragkos, E. Zisarou, Decarbonising the EU Buildings|Model-Based Insights from European Countries, *Climate* 12 (6) (Jun. 2024) 85, <https://doi.org/10.3390/cli12060085>.
- [61] M. Noro, F. Busato, Enerji Tasarrufu, Enerji Verimliliği veya Yenilenebilir Enerji: İtalya'da Konut Sektörünün Karbonsuzlaştırılması için Hangisi Daha İyi? *Energies* 16 (8) (Nisan 2023) 3556, <https://doi.org/10.3390/en16083556>.
- [62] D. D'Agostino, D. Parker, I. Epifani, D. Crawley, L. Lawrie, Gelecekteki iklim neredeyse sıfır enerjili binaların (NZEB'ler) tasarımını ve performansını nasıl etkileyecek? *Enerji* 240 (Şubat 2022) 122479 <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122479>.
- [63] Y. Boussaa, A. Doodoo, T. Nguyen, K. Rupa-Gadd, İsveç'te Çok Daireli Bir Binanın Bina Kabuğuna Pasif Enerji Verimli Önlemlerin Entegre Edilmesi: Nihai Enerji Tasarrufu ve Maliyet Etkinliğinin Analizi, *Buildings* 13 (10) (Ekim 2023) 2654, <https://doi.org/10.3390/buildings13102654>.
- [64] P. Zangheri, D. D'Agostino, R. Armani, P. Bertoldi, Binaların Enerji Performansı Direktifine Uygun Olarak Üye Devletlerde Maliyet-Optimal Metodoloji Uygulamasının İncelenmesi, *Buildings* 12 (9) (Eylül 2022) 1482, <https://doi.org/10.3390/buildings12091482>.
- [65] F. Prideaux, K. Allacker, R. H Crawford, ve A. Stephan, "Integrating life cycle assessment into the building design process-a review," *Environ. Res: Infrastruct. Sustain.*, vol. 4, no. 2, p. 022001, Jun. 2024, doi: 10.1088/2634-4505/ad3577.
- [66] A. Palomar-Torres, J.M. Rey-Hern^{andez}, A. Rey-Hern^{andez}, F.J. Rey-Martinez, NZEB'den ZEB'e geçiş için yeni bir yaşam döngüsü değerlendirme metodolojisi. Örnek olay incelemesi, *Journal of Building Engineering* 97 (Nov. 2024) 110868, <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.110868>.
- [67] N.C. Kayaçetin, B. Hozatlı, Neredeyse sıfır enerjili bina tanımları için temsili bina tipolojilerinin tüm yaşam karbon değerlendirmesi, *Journal of Building Engineering* 95 (Oct. 2024) 110214, <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.110214>.
- [68] M. Ro^{ck}, et al., Embodied GHG emissions of buildings - The hidden challenge for effective climate change mitigation, *Appl. Energy* 258 (Jan. 2020) 114107, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>.
- [69] N.N. Myint, M. Shafique, Binaların somutlaştırılmış karbon emisyonları: Net sıfır binalara doğru bir adım atmak, *Case Stud. Constr. Mater.* 20 (Temmuz 2024) e03024, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03024>.
- [70] Y. Kang, B. Shin, S. Kim, Yenilikçi dış cephe stratejileri ile sera gazı emisyonu azaltımının artırılması: İklim adaptasyonu için çapraz lamine ahşap binalara odaklanma, *Energ. Buildings* 317 (Aug. 2024) 114380, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114380>.
- [71] S. Kallioras, D. Bournas, F. Smioldo, I. Giongo, M. Piazza ve F. J. Molina, "Betonarme binaların sismik güçlendirmesi için çapraz lamine ahşap: Substructured pseudodynamic tests on a full-scale prototype," *Earthq Engng Struct Dyn*, s. eqe.4222, Ağustos 2024, doi: 10.1002/eqe.4222.
- [72] G. Grazieschi, F. Asdrubali, G. Thomas, Bina yalıtım malzemelerinin somutlaştırılmış enerji ve karbonu: Eleştirel bir inceleme, *Cleaner Environ. Syst.* 2 (Haziran 2021) 100032, <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100032>.
- [73] C. Rabbat, S. Awad, A. Villot, D. Rollet, Y. Andre^s, Binalarda biyokütle bazlı yalıtım malzemelerinin sürdürülebilirliği: Fransa'daki mevcut durum, kullanım ömrü sonu projeksiyonları ve enerji geri kazanım potansiyelleri, *Renew. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* 156 (Mar. 2022) 111962, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111962>.
- [74] D. Paci, ve diğerleri, "Karbonsuzlaşmaya giden yol: AB ülkeleri 2030 enerji verimliliği ve bina hedeflerine ulaşma yolunda mı?," *eccee Summer Study Proceedings, Chamouille, Fransa, Haziran 2024*.
- [75] C. Maduta, D. D'Agostino, S. Tsemekidi-Tzeiranaki, L. Castellazzi, G. Melica, P. Bertoldi, Avrupa Birliği'nde iklim nötrlüğüne doğru: Üye Devletlerde Binalarda Enerji Performansı Direktifi uygulamasının değerlendirilmesi, *Energ. Buildings* 301 (Dec. 2023) 113716, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113716>.
- [76] P. Zangheri ve diğerleri, "Karbonsuzlaştırma ve Covid-19 geri kazanımı için bina enerji yenilemesi, EUR 30433 EN, Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi, Lüksemburg, 2020, ISBN 978-92-76-24766-1, doi: 10.2760/08629, JRC122143," 2020.