



NET SIFIR-ENERJİLİ BİNA MI NET-SIFIR EKSERJİLİ BİNA MI

Net Zero-Energy Building or Net-Zero Exergy Building

Birol Kılıç

ÖZET

İklimsel krize karşı pasif evler, net-sıfır, net-sıfıra yakın binalar gibi tanımlar yeşil bina sertifikasyonlarında ön plana çıkmaktadırlar. Bu tanımların tamamı Termodinamiğin 1.ci yasasına göre geliştirilmiş olup enerjinin sadece niceliği ile ilgili olup, tüm enerji türlerinin ve gücün (elektrik veya mekanik) birim ekserjilerinin aynı oldukları var sayılmıştır. Yeşil bina tanımlarına ilişkin bu gibi geçersiz varsayımlar özellikle giderek önem kazanan düşük ekserjili bölge enerji sistemlerinde ve akıllı kent uygulamalarında önem kazanmakta ve net-sıfır enerji gibi tanımlar anlamsız kalmaktadır. Bu eksikliği gidermek üzere bu çalışmada ekserji tabanlı yeni bina tanımları getirilmiştir. Bunlar, net-sıfır ekserjili bina (NZEXB), net-sıfır ekserjiye yakın bina (nZEXB), nZCB (sıfıra yakın karbon binası), ekserji-pasif bina (EXPB) gibi tanımlardır. Sıfır karbon ayak izli olarak tanımlanan güneş ve rüzgâr enerjili sistemler %100 oranında kullanılsa bile, aslında bünyelerindeki ekserji yıkımlarının bir sonucu olarak sıfır karbon salımlı bir binanın da olamayacağı vurgulanmaktadır. Yeni tanımlamalara örnekler verilmekte ve genelde yapılan yanlışlara düzeltmeler ve yeşil bina değerlendirilmelerine yönelik yeni modeller örneklerle sunulmakta en son olarak da bu çalışmada geliştirilen ve binaların sorumlu oldukları hava kirliliği ile pandemi riski arasında doğrusal bir ilişki tanıtılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Net-sıfır enerjili bina, net-sıfır ekserjili bina, ısı geri kazanımı, labirent ısı geçişi, CO₂ salım sorumluluğu, pandemi

ABSTRACT

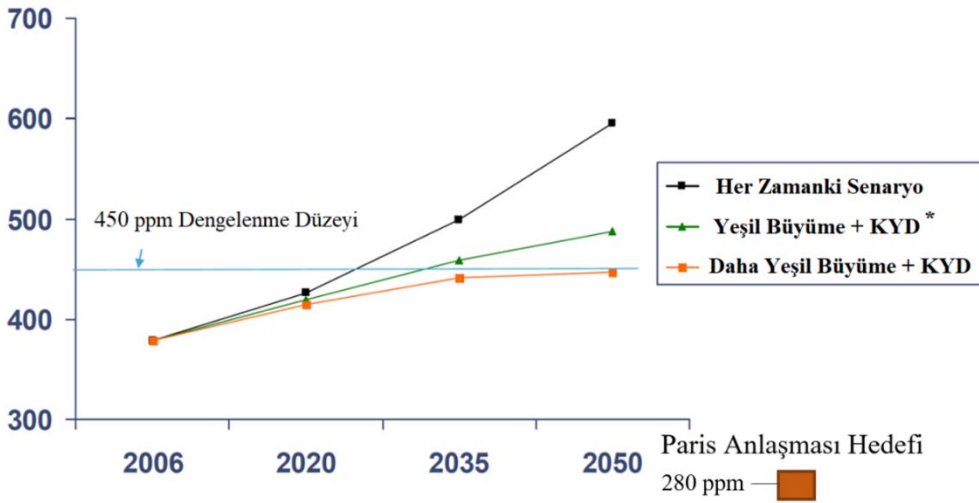
In the quest of finding solutions against the climate crisis, building definitions like passive houses, net-zero, or nearly-zero houses are becoming dominant in green building certification programs. Yet these definitions are always based on the First Law of thermodynamics, which is only concerned with the quantity of energy. This approach assumes that all kinds of energy sources and demand have the same useful work potential or demand, aka exergy, which is not true. This lack of understanding about green buildings is becoming more serious in particular with the advent of low-exergy district energy systems and smart cities for heating, power, and cooling, rendering net-zero energy definitions meaningless. To eliminate such lack of understanding, this research has developed new, exergy-based definitions like net-zero exergy building (NZEXB), nearly-zero exergy building (nZEXB), nearly-zero carbon building (nCB), exergy-passive building. This paper further points out that renewable energy systems, which are touted to be carbon-free, may not be held free from CO₂ emissions, even if they are used by a 100% ratio in buildings and cities, because of their inherent exergy destructions, leading to nearly-avoidable emissions. This paper provides exemplary cases with game-changing, exergy-based facts, and solutions. Finally, the paper introduces a direct link between pandemic and air pollution from buildings and cities.

Keywords: Net-zero energy building, net-zero exergy building, heat recovery, labyrinth heat exchange, CO₂ emission responsibility, pandemic

1. GİRİŞ

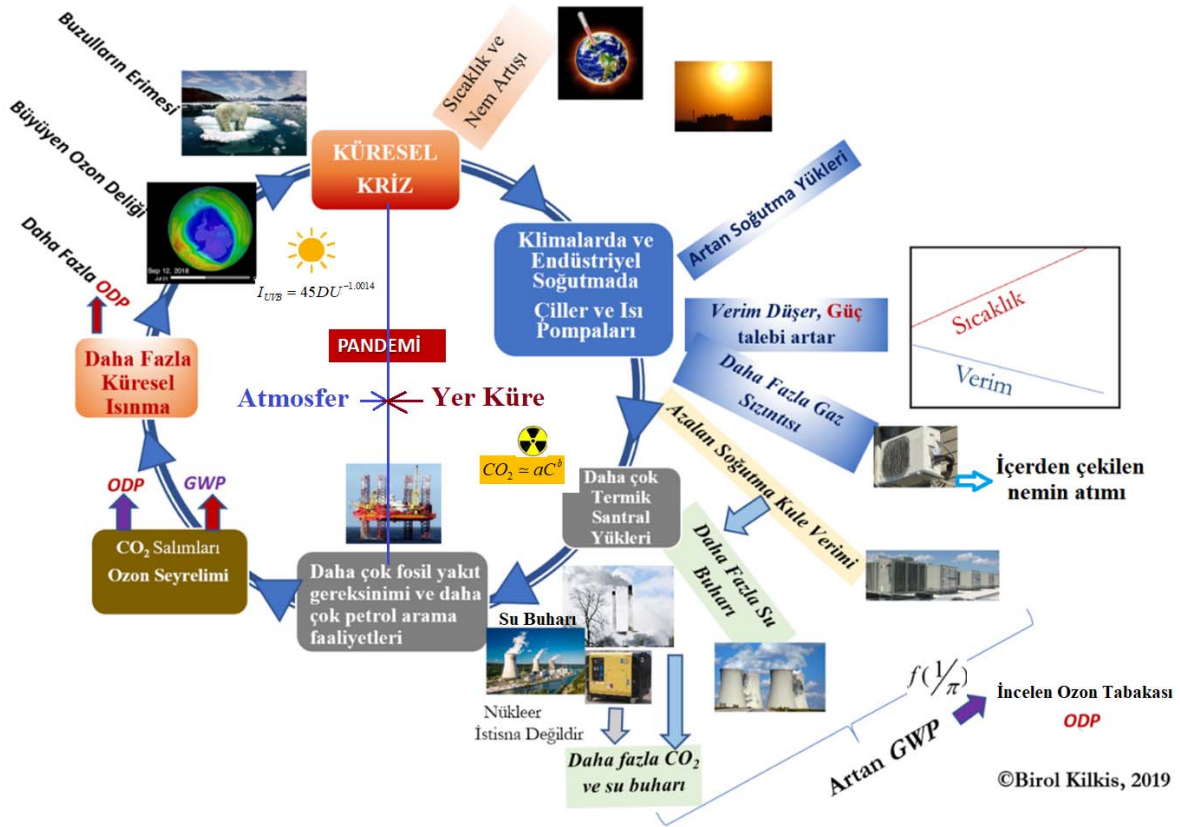
Küresel ısınma sorunu azalmanın aksine giderek artmaya devam etmektedir. Yapılan son ölçümler ve 2050 yılına kadar olan kestirimler bu eğilimi Şekil 1'de değişik senaryolar için ortaya koymaktadır. Halbuki ülkeler CO₂ salımlarının sanayi devriminden öncesi değerlere düşürülmesini hedeflemekte ve enerji tasarrufundan, yenilenebilir enerji kaynaklarına, enerji verimliliğinden, akıllı kentlere kadar geniş bir yelpaze içinde değişik önlemler uygulamaktadır. Ancak bu uygulamaların Paris Anlaşması hedeflerinin (280 ppm) çok uzağında kalacağı görülmektedir. Bu nedenle sorun birçok yabancı devlet adamı tarafından artık küresel ısınma değil, küresel kriz olarak tanımlanmaktadır. Bu yazıda sorun nereden kaynaklanmaktadır sorusu çok değişik bir açıdan cevaplanmakta, artık enerjinin miktarından (nicelik) öte, enerjinin niteliğinin ön plana çıktığı ve bu doğrultuda yeni bir anlayışla yeni çözümler dizisi uygulanmadıkça küresel ısınmaya karşı başarılı olamayacağımız vurgulanmaktadır. Konuya mikro ölçekte bakıldığında, günümüzün sıfır enerjili bina veya akıllı bina tanımlarının da enerji niteliğinin bilinç ve aklında yeniden tanımlanmalarının gerekliliği gösterilmektedir.

Atmosferdeki CO₂ Yoğunluğu, ppm



Şekil 1. Değişik Senaryolara Göre Atmosferik CO₂ Yoğunluğunun 2050 Yılına Kadarki Kestirimleri [1, 2], *KYD: Karbon Yakalama ve Depolama

Bu soruna bir de küresel pandemi boyutu eklenmiştir, zira son bilimsel bulgulara göre hava kirliliği ve atmosferdeki CO₂ yoğunluğu yanı sıra ozon tabakasının incelmeye başlaması hastalık riskini en az %15 arttırmaktadır. Küresel ısınmaya bağlı olarak yapıları çevredeki soğutma gereksinimleri de 2050 yılında en fazla enerji talebini oluşturacaktır. Soğutma süreci, ısıtmaya nazaran enerji niteliğini (Kalite: katma değer potansiyeli) daha az bir akılcılıkla değerlendirebilmektedir. Bu nedenle Paris anlaşması yönündeki çözümlere iki engel daha çıkmaktadır. Bunlar sırası ile pandemi-hava ve atmosfer kalitesi arasındaki ilişkiler ve giderek artan soğutma talepleridir. Birinci soruna kısa vadeli çözümlerden olan "evde kal" sloganı ile biraz da olsa çözüm getirebilsek de net sıfır enerjili veya sıfır karbon gibi tanımlarla bezenen ve "akıllı bina" olarak yüceltilen evler ve kapalı mahaller soruna çözüm getirmeyecektir. Bunun ana nedeni bu gibi tanımların sadece enerjinin miktarı (niceliği) ile ilişkili tutulmasıdır. Şekil 2 de pandemi riski, hava kirliliği, insan sağlığı, çevre ve küresel ısınma arasında insanın kendi elleri ile oluşturduğu kısır döngü soğutma tabanında gösterilmektedir.

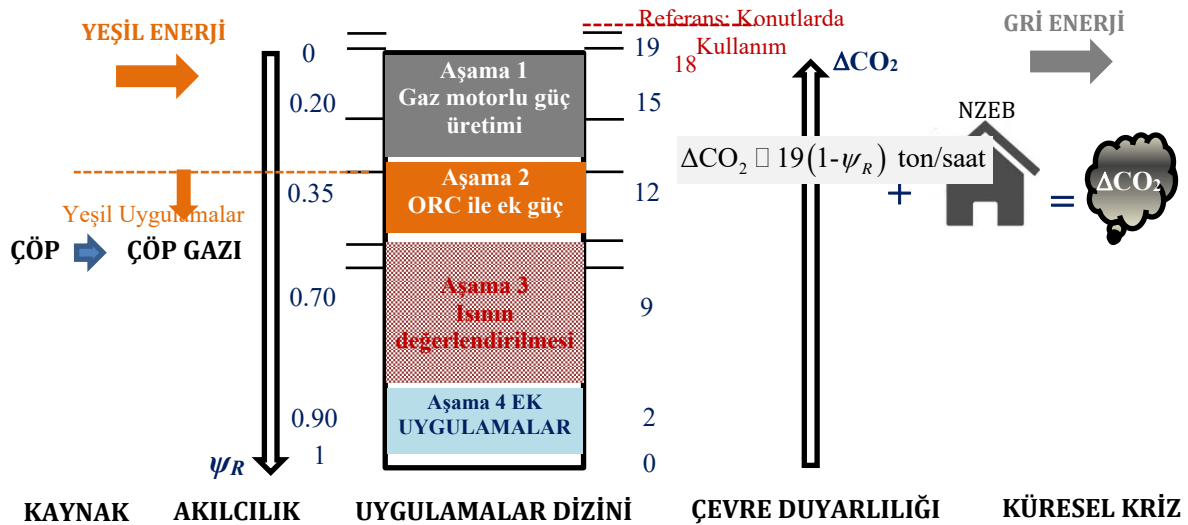


Şekil 2. Küresel Isınma, Enerji Kaynakları, Soğutma ve Pandemi İlişkileri [3,4] ©2020, B. Kılış

1 MW-h elektrik üretimi için doğal gaz santrallerinde soğutma kulelerinden yaklaşık 750 kg su ve 385 kg CO₂ havaya salınır. Kömür ve linyit santrallerinde bu miktar sırası ile yaklaşık 2500 kg H₂O/MW-h ve 1500 kg CO₂/MW-h dir [5]. Öte yandan su buharının sera etkisinin karbondioksitin iki katı olduğu göz önünde tutulduğunda termik santrallerdeki atık ısının soğutma kulelerinden ile su buharı ile birlikte atılması yerine ısının çevrede yararlı işlerde, örneğin bölge ısıtması, sera ısıtması, sıcak su ön ısıtması, tarımsal kurutma gibi uygulamalarda kullanılması, bu uygulamalar yoksa, bu gibi yan sektörlerin oluşturulması ve teşviki büyük önem taşımaktadır. Böylelikle soğutma kulelerinin kullanımlarının azaltılması ile su buharının sera etkisini de azaltılmış olacaktır [6].

Bu noktada, geçtiğimiz aylarda İstanbul Silivri`de devreye alınan Seymen Çöp Gazı Güç Üretim Tesisi çok çevreci bir uygulama olarak olumlu görülebilse de şu anda sadece elektrik gücü üretilmekte, ortaya çıkan ısı ise değerlendirilmemektedir. (Aşama 1). Tüm uygulama aşamaları tamamlandığında 90 MW elektrik gücüne karşılık göre yaklaşık 150 MW atık ısıl güç oluşacaktır. Bu nedenle çöp gazının (Kaynak) değerlendirmesindeki akılcılık henüz yeterli değildir. Bu ısıl güç İstanbul ikliminde-yakın çevrede olmak kaydı ile- (en uzak 10 km) yaklaşık 15000 konutun ısıtma talebini karşılayabilir. Her atılan enerjide olduğu gibi bu ısının kullanılmaması ile ortaya CO₂ salım sorumluluğu ortaya çıkmaktadır zira bu evler büyük ihtimalle doğal gaz, kömür, hatta elektrikle ısıtılmaktadır ve bu sistemlerin CO₂ salımları bulunmaktadır. Şu an bu ısıl güç kullanılmadığına göre mevcut sistem birlikte ısı ve güç (Kojenerasyon) sistemi olma fırsatını da kaçırmış olmaktadır. Yetkililerce ikinci adım olarak Organik Rankin Çevrimli (ORC) ek güç üretim tesisinin kurulacağı belirtilmektedir. Projenin bu ikinci aşaması daha da çevre dostu olması ile birlikte kaynağın değerlendirilmesindeki akılcılık bir miktar daha artacaktır. Ancak, bu aşama gerçekleşse de artı kalan ısının gene havaya atılacağı anlaşılmaktadır. ORC verimi net %10 kabul edilirse, 15 MW ek elektrik gücü sağlanacak geriye gene de en az 100 MW dolayında düşük sıcaklıkta ısıl güç kalacaktır. Bu ısıl gücün kuru soğutma fanları ile havaya atılması yerine değerlendirilmesi ile hem ORC net elektrik üretim kapasitesi artacak, hem de bu kez 10000 yeni konut-düşük sıcaklıkta ısıtma yapılabilen (Döşemeden ısıtma gibi) sistemlere sahip olmak kaydı ile-ısıtılabilir. Bu çözüm henüz düşünülmemiş projenin 3. üçüncü aşaması olacaktır. Üçüncü aşama ile birlikte ORC sisteminin net kapasitesinde 3 MW güçlük bir artış olacağı (Soğutma fanları kullanılmayacak) ve soğutma tesir katsayısının 3.5 olacağı varsayıldığında gerçekleşecek

soğutma kapasitesi yaklaşık 10 MW eder ki bu da gene çevrede olmak kaydı ile en az 350 konut eşdeğeri klima kapasitesine denk gelmektedir. Bu örnekte de görüldüğü üzere ne olursa olsun tüm atık ısılar mutlaka bir veya birkaç şekilde değerlendirilmelidir. Böylelikle küresel ısınmaya karşı akılcı çözümlerden birisi gerçekleşmiş olacaktır. Yetkililerin ifadelerine göre çevrede atık ısıyı kullanacak herhangi bir sektör şu anda bulunmamaktadır. Bu hiçbir şekilde geçerli bir mazeret teşkil etmez. İşte bu noktada iş şehir planlamacılarına düşmektedir. Bu tür çevreci santraller kurulurken hem bu tesislerin konumu daha dikkatlice seçilmeli, hem de çevrede düşük sıcaklıklı ısı talebi yoksa bu gibi talep sektörleri planlanmalı, teşvik edilmeli ve uygulanmalıdır. Günümüzün 5.ci nesil bölge ısıtma sistemlerinde artık 35°C sıcak su konfor ısıtmasına yeter duruma gelmiştir [7]. Şekil 3 de kaynakların değerlendirme akılcılığı, ψ_R ve çevredeki ΔCO_2 salım sorumluluklarının tahmini değerleri görülmektedir. Kamuoyunda sıfır-karbon tesisi olarak görülen söz konusu çöpten enerji tesisinde üçüncü aşama da gerçekleştirilmiş olsa sadece 6 ton dolayında ΔCO_2 salım sorumluluğu olacaktır. Kısacası, bu tesisin bacası yoktur ve fosil yakıtlar kullanılmıyor olsa da değerlendirmede kaynak enerjisi oranında ulusal enerji ve çevre stokunda sorumlulukları bulunmaktadır. Isının kademeli bir biçimde seracılık, kurutma gibi giderek azalan sıcaklıklarda da değerlendirilmesi ile ψ_R 0.90 değerine yaklaşırsa bile hiçbir zaman bu sorumluluk tamamen ortadan kalkmayacaktır (2 ton/h), çünkü Termodinamiğin 2. Yasasına göre her zaman enerji kalitesinde kayıplar olacaktır. Referans bir değer olarak eğer üretilen biyogaz sadece doğal gaz şebekesine verilip konutlarda kullanılacak olsa idi bu uygulamanın ψ_R değeri sadece 0.06 dolayında olacağından ΔCO_2 sorumluluğu yaklaşık 18 ton/h olur. Bu referans değere göre mevcut çöp gazından enerji tesisinin (Aşama 1) çevresel akılcılığı ΔCO_2 cinsinden %17'dir. Bu oran aşama 2 de (ORC) %33'e yükselir. Tüm aşamalar (3 ve 4) tamamlanırsa çevresel akılcılık %88 olur. Görüldüğü üzere atık kaynaklardan güç üretmek güzel bir yaklaşım fakat bu kaynakların daha da akılcı ve çok kademeli olarak değerlendirilmesi çok daha güzeldir. Zaten herhangi bir uygulamanın yeşil kategoride olabilmesi için ψ_R değerinin 0.70'den yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenle Aşama 3 ün de devreye alınması gerekir. Aksi halde sisteme giren yeşil enerji NZEB binada gri enerji olarak son bulacaktır.



Şekil 3. Kaynakları Değerlendirme Akılcılığı, ψ_R ve CO_2 Salım Sorumluluklarının Ters İlişkisi
©2020, B. Kılış

Kocaeli deprem felaketinden sonra yeni inşa edilmekte olan Adapazarı yerleşim bölgelerindeki yeni binaların bulunduğu sahaya oldukça yakın olan (Yaklaşık 6 km) kombine çevrimli, doğal gazlı güç santralinin [8] atık ısısından yararlanma projemizi [9] o zamanki firma yetkililerine sunduğumuzda atık ısının sıcaklığı size yetmez vermeyiz denilerek santral sahasına bile sokulmadığımızı üzücü bir anı olarak hala hatırlarım. Bu bağlamda, yaşam ve toplum zincirindeki tüm sanayiciler, üreticiler, tasarımcılar, müteahhitler, kısacası her sektörden ve disiplinden kişi ve kurumlar ilgi alanlarındaki sistemleri, teknolojik ve bilimsel altyapıyı en iyi şekilde bilecek, paylaşacak ve çevre sorumluluklarının bilinci ile ortak, paylaşımcı ve bütüncül biçimde davranacaklardır. Ancak bu şekilde zincirin halkaları bütünleşebilir. Peki bu örnekler çerçevesinde net-sıfır veya net-sıfıra yakın binaların olumlu destekleri ne kadar olabilir? Her şeyden önce, daha fazla sayıdaki binalara daha düşük sıcaklıklarda hizmet

verebilmek için binaların da enerji tasarruflu olmalarının çok ötesinde, bu binaların da kendi içlerinde kendilerine sunulan kaynağı en akılcı biçimde yani ψ_R değeri en yüksek olacak biçimde değerlendirmeleri gerekmektedir. Değerlendiremedikleri oranda yukarıdaki örnekte olduğu gibi gene ΔCO_2 sorumlulukları olacaktır. Binaların genelde toplam enerji tüketiminden yaklaşık %40 oranında sorumlu oldukları göz önüne alındığında küresel çözüme yapılabilecek çevreden başlanması da ayrı bir akılcılık olacaktır. Ancak, Termodinamiğin 1. Yasası bir bina ne kadar akıllı (Nesnelerin interneti, dijitalleşim, 5 DE sistemler, bilgisayar ağları, yenilikçi güvenlik ve konfor sistemleri gibi donatı ve sistemler gibi) olsa da o binanın ne kadar akılcı olacağını temin edemez. Termodinamiğin 2. Yasasına bu bağlamda mutlak

gerek vardır. Sonuç olarak, bir binaya veya bir kente ne kadar en son teknolojiler ve dijitalleşim yüklenirse yüklenirse o bina veya kentin enerji kaynaklarını kullanımında akılcı olduğu söylenemez. Bu nedenle akıllı bina veya kentler başka bir ölçüt, akılcı bina veya kentler ise çok başka boyutlara sahip başka bir ölçüttür ve küresel krize akıllının oldukça ötesinde akılcı bina ve kentler çare olacaktır. Bu gerek aşağıdaki bölümlerde açıklanmış olup her şeyden önce bir binanın hangi anlamda sıfır olduğunu sorgulamamız gereklidir.

2. NET SIFIR AMA NASIL ve NE SIFIR?

Literatürde çok değişik net-sıfır ve sıfır bina tanımları bulunmaktadır [10, 11]. Tüm bu tanımlar Termodinamiğin 1. Yasasına tabidir. Öte yandan, bu kadar değişik tanımın birbiri ile örtüşmezliği bir sorun, küresel krize kısıtlı destek olabilmeleri daha da büyük sorundur. Bu bölümde bir Net-Sıfır Enerji (Net-Zero Energy Building) Binası 2. Yasa uyarınca modellenmektedir.

Diğer yandan, bölge enerji sistemi ile toplam enerji alışverişi eşit olan bir bina genellikle toplam ekserji alışverişinde eşit olmaz:

$$(E_B + Q_B + C_B)_{bina} = (E_D + Q_D + C_D)_{bölge}$$

Yukarıdaki eşitliğin sağ ve sol taraflarının aritmetik toplamları eşit olduğu sürece bu bina net-sıfır enerjili binadır ve bu toplamların elektrik (E), Isı (Q) ve soğuk (C) alt kırılımları ve toplamdaki payları yanı sıra ısı ve soğuk arz ve talep sıcaklıkları ne olursa olsun sonuç değişmez. Halbuki bu üç enerji türünün birim ekserjileri (ϵ) farklıdır ve yukarıdaki eşitliğe dahil edilmelidir:

$$\left(E_B \times 0.95 + Q_B \times \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{supBH}} \right) + C_B \times \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{supBC}} \right) \right)_{bina} \neq \left(E_D \times 0.95 + Q_D \times \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{supDH}} \right) + C_D \times \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{supDC}} \right) \right)_{bölge}$$

Görüldüğü üzere sadece alt kırılımlar değil sıcaklıklar da önemlidir. 0.95 kW/kW elektrik gücünün birim ekserjisidir. T_{ref} çevre referans sıcaklığı (Genelde 283 K), T_{sup} ısının (Soğuşun) arz sıcaklığıdır.

2.1 Örnek NZEB Bina Modeli

Şekil 4 de bugünün literatüründe Net-Sıfır Enerjili Bina (NZEB) olarak tanımlanan ve çevre dostu olarak bilinen bir bina görülmektedir. Bu binanın bacası yoktur zira tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaktadır. Güneşten elektrik üreten, çatı tipi PV paneller ve gene çatıda konumlu, sıcak su üreten düzlemsel topaclar bulunmaktadır. Ayrıca toprak kaynaklı ve çoğunlukla kendi ürettiği elektrik gücü ile çalışan bir ısı pompasına sahiptir. Binada ufak çapta elektrik bataryaları, sıcak ve soğuk su depoları da bulunmaktadır. Isı pompası mevsime göre soğuk su ve sıcak su üretmektedir. Yıllık ortalama tesir katsayısı her iki işlev için 4 olarak verilmiştir. Bu bina Net-Sıfır Enerjili Bina olarak tanımlanmaktadır çünkü bir merkezi bölge enerji santraline bölge enerji dağıtım sistemi ile bağlı olup yıl boyu elektrik, ısı ve soğuk paylaşmaktadır. Bu binanın yıl boyu üretimi aşağıda verilmiştir.

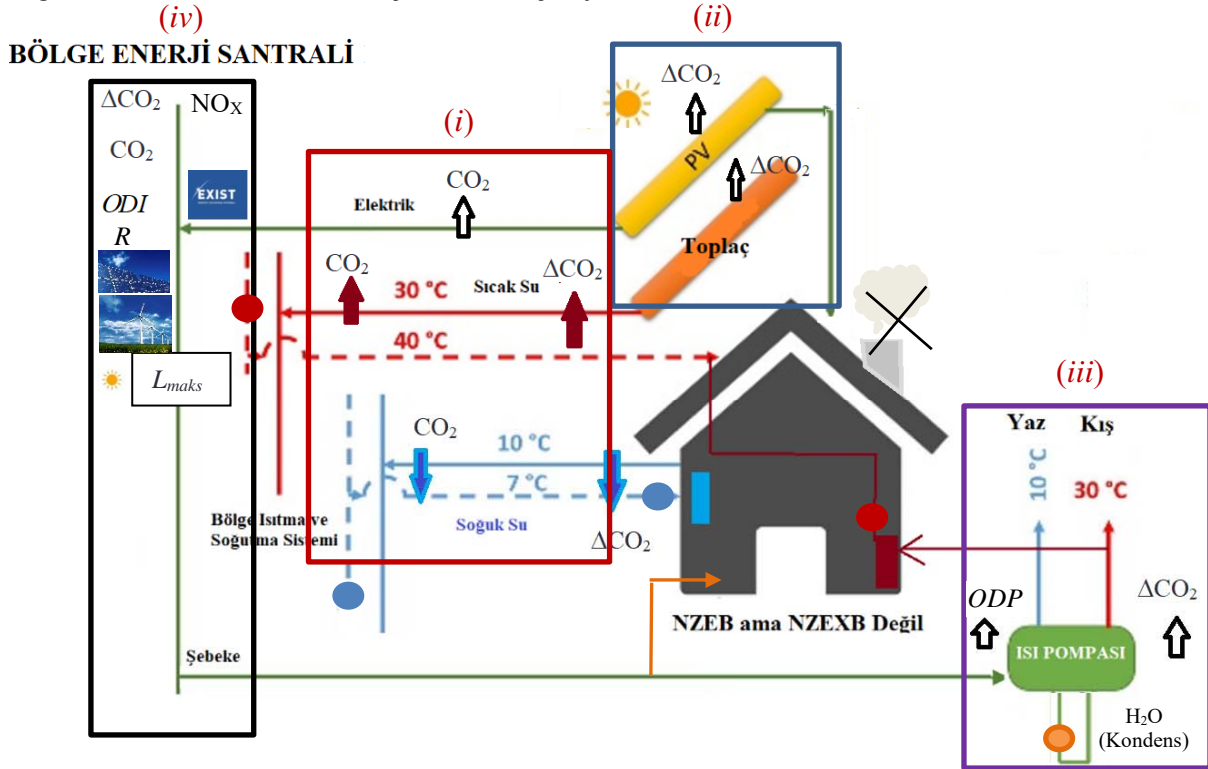
Binanın Ürettiği Enerji Nicelikleri

- 10000 kW-h elektrik,
- 20000 kW-h ısı (**30°C: 303 K**), ve
- 10000 kW-h (**10°C: 283 K**) soğuk. TOPLAM: 40000 kW-h

Binanın Sistemden Aldığı Enerji Nicelikleri

- 13000 kW-h elektrik,
- 25000 kW-h ısı (**40°C: 313 K**), ve
- 2000 kW-h soğuk (**7°C, 280 K**). TOPLAM: 40000 kW-h, Fark = 0 kW-h.

Bu örnekte bölge enerji sistemi ile paylaşılan farklı enerji türleri olan elektrik, ısı ve soğukun enerji nitelikleri yani katma değer potansiyelleri ve buna bağlı CO₂ salım sorumlulukları çok farklıdır. Elektrik gücünün katma değer potansiyeli %95 olmasının anlamı elektrik gücünün 0.95 kadarını yararlı işlere (Katma Değerlere) dönüştürebiliyor olmamızdır. Buna karşılık, 60°C (313 K) sıcak suyun katma değer potansiyeli (Kalitesi, Ekserji) %10, soğutma suyunun ise sadece %7 dolayındadır. Bu kalite farkını gözetmeksizin hepsini alt alta toplarsak 40000 kW eder ve bu çok basit hesaba göre bina *Net-Sıfır Enerjilidir*, çünkü alıp verdiği enerjilerin enerji türlerine bakılmaksızın toplamı eşittir. Bunun da ötesinde hiç fosil yakıt tüketmediği için Sıfır-Karbon Binası olarak da anılmaktadır. Ancak bu basit yöntem bugünün küresel ısınma krizinin çözümünde çok yetersiz kalmaktadır.



Şekil 4. Net Sıfır Enerjili Olarak Tanımlanan Bacasız Bir Bina'nın CO₂ Salım Sorumlulukları
©2020, B. Kılış

2.2. NZEB Binasının Görmek İstemediğimiz CO₂ Salım Sorumlulukları

Yukarıdaki nicel hesapta paylaşılan değişik türdeki enerjilerin kalitesinin arz ve talep arasında ne denli dengeli olduğuna hiç dikkat edilmemektedir. Ortaya çıkan dengesizliklerin neden olacağı CO₂ salım sorumluluklarından ise hiç bahsedilmemektedir. Bahsetmeyi istesek de hesaplayamıyoruz çünkü binada görünen bir fosil yakıt tüketimi gerçekten yok ve Termodinamiğin 1. Yasası bizleri bu noktadan öteye götürmemiyor. İşte küresel ısınmaya karşı en büyük ve esas hata burada başlıyor. Elektrik enerjisi paylaşımında PV panellerde üretilen gücün şebekeye verilmesinde eviricilerden geçmesinden

kaynaklanan olumlu veya olumsuz kalite farkını göz ardı edecek olursak ısıl güç paylaşımlarında kalite farkları ve bunların neden oldukları CO₂ sorumlulukları ortaya çıkmaktadır [12, 13]. Şimdi toplam niceliği 40000 kW-h olan karşılıklı enerji paylaşımlarında farklı enerji niteliklerinin dengesizlikleri göz önünde tutulacaktır. Bu kapsamda, Termodinamiğin 2. Yasası uyarınca ve Şekil 4 de görüldüğü üzere dört ana bölgede toplam on-bir CO₂ salım sorumluluğu noktası fark edilmektedir. Bu bölgeler sırası ile:
i- Bölge enerji sistemi ile ısı ve soğuk alışveriş bölgesi (Boru Hatları, Şekil 5),

- ii- Bina çatısındaki güneş enerji sistemleri,
- iii- Binadaki toprak kaynaklı ısı pompası,
- iv- Şebekenin bağlı olduğu bölge enerji santrali.

Bu modelde bölge ısıtma sisteminin boru şebekesindeki pompa istasyonlarının, binadaki dolaşım pompalarının ve ısı pompasının toprak devresi pompalarının elektrik güç talepleri ihmal edilmiştir. Aslında santral ile bina arasındaki şebekede ısı kalite taşınmakta buna karşılık elektrik gücünün kalitesi kullanılmaktadır. Bunun sonucunda da en fazla mesafe, L_{maks} da bu hesaplarda önemli bir yer teşkil eder ve pompaların neden olduğu CO₂ salım sorumlulukları da hesaba katılmalıdır.

(i) Bölgesindeki Enerji Niteliği ve Niceliğindeki Dengesizlikler

Nitelik (Ekserji) Dengesizlikleri

- (10000-13000) kW-h x 0.95 = -2850 kW-h elektrik niteliğinde kayıp,
 - (20000-25000) kW-h x (1-303/313) = -5000 x 0.0319 = -159.5 kW-h ısı niteliğinde kayıp
 - (10000-2000) kW-h x (1-280/283) = +8000 x 0.01 = +80 kW soğuk niteliğinde kazanç
- Toplam Niteliksel Dengesizlik = -2929.5 kW-h

Nicelikte eşit olan bu sistem nitelikte eşit değildir. Nicelikten niteliğe ise ideal Karno çevrimi ile geçilebilir ve nitelikteki farklılıklar enerji nicelikleri tabanında düzeltilince alt alta toplayabilmekteyiz. Bu binanın niteliksel dengede olabilmesi için toplam -29295 kW-h değerinin sıfır olması yetmez. Yukarıdaki üç adet dengesizlik kalemlerinin her birinin ayrı ayrı sıfıra eşit olması gerekmektedir. Bunun nedeni her kalemdeki dengesizliklerin neden olacağı CO₂ salım sorumlulukları ayrıdır. Enerji niteliklerinin bina ve santral arasındaki paylaşımına ilişkin tüm koşullar sağlansa bile santraldeki ve binadaki sistemlerin nitelik dengesizlikleri nedeni ile ne bina ne de kent sıfır karbonlu olamaz. Ancak nZCB (Nearly-zero Carbon Building) veya nZCC (Nearly-zero Carbon City) olabilirler. Bu hesaplardan çıkarılacak yeni dersler özetle, enerji türlerinin ideal Karno çevrimine göre nitelik farkları gözetildiğinde, söz konusu bina net-sıfır enerji binası gibi gözükse de aslında sistemle arasında olması gereken kalite kırılımlarında eşitlik koşullarını sağlamadığı görülmektedir. Örneğin, bu ev bölge enerjisi sisteminden 40°C sıcaklıkta su alırken kendi ürettiği suyu sisteme 30°C sıcaklıkta vermektedir. Elbette bunun sıcaklığa bağlı kalite farkından dolayı maliyetten öte bir çevresel bedeli ve CO₂ salım karşılığı olacaktır. Bu salıma ΔCO₂ yani neredeyse-önlenebilir salım diyoruz. Neredeyse-önlenebilir denmesinin nedeni kalitedeki yıkımlar hiçbir zaman sıfırlanamaz ve bu yıkımların geri kazanım imkânı da yoktur. Hiç görmek istemediğimiz bedel bölge enerjisi sistemine hem suyu 30°C dan 40°C a ısıtmak üzere fosil yakıt yükünün neden olacağı doğrudan CO₂ salımı, hem de kalite dengesizliğini gidermek için ortaya çıkacak ΔCO₂ salımlarında görülecektir (Şekiller 6 ve 7). Enerjideki nitelik farklarının binanın sistemle yaptığı paylaşımında net-sıfır enerji (Ekserji) kalitesinde olmadığı görülmektedir ve sistemin, dolayısı ile, ülkenin enerji bilançosunda bir enerji kalitesi açığı ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle NZEB yerine NZEXB (Net-Sıfır Ekserji Binası) tanımı gerekmektedir.

Nicelik Dengesizlikleri

- (10000-13000) kW-h = -3000 kW-h elektrik enerjisi,
- (20000-25000) kW-h = -5000 ısı
- (10000-2000) kW-h = +8000 kW soğuk.

Toplam Niceliksel Dengesizlik 0 kW-h (NZEB ama ZCB: Net Sıfır Karbon Binası değil).

Bina ve bölge enerji santrali taraflarından bakıldığında salım sorumlulukları ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5. Bina ve Bölge Enerji Sistemleri Arasındaki Dengesizlikler (i)

Enerjinin Nitelik Dengesizliklerinden Kaynaklanan ΔCO_2 :

Enerji nitelik farklarından kaynaklanan ΔCO_2 karşılıkları aşağıda hesaplanmıştır.

Elektrik için = $0.63 \times 2850 = 1799.5 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}$

Isıtma için = $0.27 \times 159.5 = 43.06 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}$

Soğutma için = $-0.27 \times 80 = -21.6 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}$

ΔCO_2 ara toplam = 2821 kg $\text{CO}_2/\text{yıl}$

(iv)-Karşılıklı Isı ve Güç Paylaşımının Farklı Süreçlerde Olması:

Elektrikte: Bina, PV panellerde 10000 kW-h elektrik üretmekte buna karşılık 13000 kW-h elektrik enerjisini muhtemelen termik bir santralden almaktadır. Aradaki fark olan 3000 kW-h elektrik enerjisinin CO_2 karşılığı elektrik üretim, dağıtım ve gerilim değiştirme kayıpları göz önünde tutularak doğal gazlı termik bir kombine çevrim santral tabanında en az **2500 kg $\text{CO}_2/\text{yıl}$** dır.

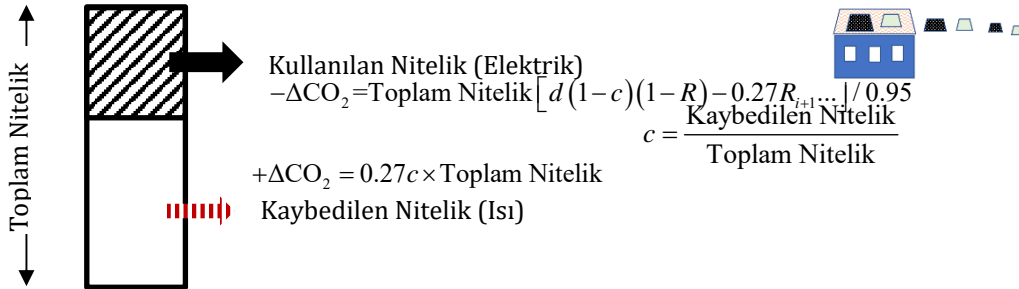
Isıtmada: Bina 20000 kW-h ısı üretmekte buna karşılık 25000 kW-h ısı almaktadır. Aradaki fark muhtemelen doğal gazlı kazanlarda üretilmektedir. $25000 \times 0.2/0.8 = \mathbf{6250 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}}$

Soğutmada: Bu kez bina tükettiğinden daha fazlasını sisteme vermektedir. Bu nedenle CO_2 salımı eksidir. 0.2 doğal gazın birim CO_2 içeriği, 0.4 şebeke ve güç üretim toplam verimi, 4 ise ısı pompasının tesir katsayısıdır. $(2000-10000) \times 0.2/[0.4 \times 4] = \mathbf{-1000 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}}$.

CO_2 ara toplam = 7750 kg $\text{CO}_2/\text{yıl}$

(ii)- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeterli Akılda Kullanılmaması:

Bina çatısındaki PV paneller sadece elektrik üretmektedir. Halbuki ısı da üretebilirlerdi (PVT). Düzlemsel toplaçlar da sadece sıcak su yerine elektrik de üretebilirdi (PVT). Üretmediği ısı kadar güneş enerjisinin kalitesinden kayıp ortaya çıkmaktadır ve dolayısı ile bina çatısındaki güneşlenme alanı çok akılcı kullanılmamaktadır. Bu durum prensip itibarı ile bir jeneratör için de geçerli olup, jeneratörün atık ısı da değerlendirilebilirdi (Birlikte üretim: Kojenerasyon veya üçlü üretim: Trijenerasyon). Bu eksikliğe de karşılık gelen ayrı ve önemli bir ΔCO_2 sorumluluğu bulunmaktadır. PV panelin değerlendirmeyip havaya attığı ısı kadar küresel enerji stokunda kayıp oluşmaktadır. Bu ısı kaybını enerji bağlamında telafi etmek (ofset) için başka bir yerde, başka birileri, başka bir sistem ve yakıt kullanıp kaybedilen ısı kalitesine denk ısı üreteceklerdir.



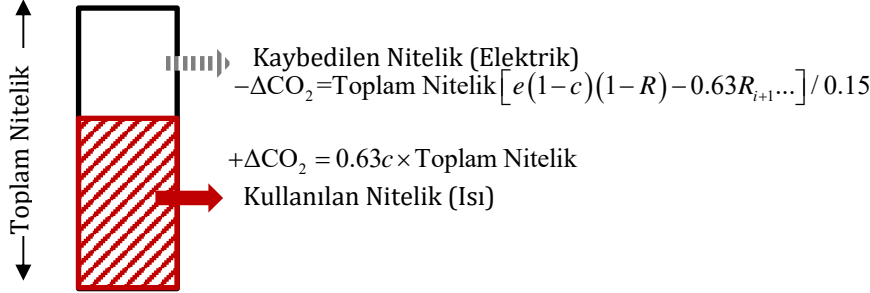
Şekil 6. Enerjinin Kaybedilen Niteliği Kullanılan Nitelikten Sonraki Durumlarda ΔCO_2 Sorumluluğu

0.27 çarpanı bu başka sistemin doğal gazlı ve 0.85 verimli bir kazan varsayışıdır [13]. Buna karşın, PV panelin kullandığı nitelik kadar ürettiği elektrik gücü (Kullanılan nitelik/0.95) küresel enerji stokuna fosil yakıt tasarrufu bağlamında katkı sağlanmaktadır. R terimi başka sistemlerdeki yenilenebilir enerjinin pay oranıdır. d katsayısı fosil yakıt türüne ve üretim elektrik dağıtım ve nakil verimlerine bağlıdır. Örneğin, ulusal şebekede doğal gazlı, kombine çevrim santrali için bu değer yaklaşık 0.5'dir. Ancak ısı üreten yenilenebilir enerji kaynaklarının kendi ΔCO_2 salımları mevcuttur (Şekil 7). Bu nedenle, Şekil 6 ve 7 arasında sonsuz bir döngü oluşur, ΔCO_2 sifıra yakınsamaz, sadece azaltılabilir. Sonuç olarak, güneş enerjili basit bir PV panelin bile net ΔCO_2 salımı seri biçimde uzayıp gider:

$$+\Delta\text{CO}_2 = \text{Toplam Nitelik} \left[0.27c - \frac{d}{0.95}(1-c)(1-R) - 0.27c_{i+1}R_{i+1...} \right]$$

Onun içindir ki bu salımlara neredeyse-önlenebilir salımlar denmektedir. Aynı durum bu kez elektrik üretmeyip sadece ısı üreten düzlemsel güneş toplacı ve kazan için de geçerlidir. Burada 0.63 çarpanı elektrik kalitesinde kaybedilen enerji niteliğinin enerji bağlamında doğal gazlı bir kombine çevrim santralinde telafi edileceğini varsaymaktadır. e katsayısı fosil yakıt türüne ve toplam ısı üretim ve - varsa- bölgesel ısı şebekesindeki dağıtım verimlerine bağlıdır. 0.15 ise ısının kentsel ısıtma uygulamalarındaki ortalama ısı kalitesidir. Terimlerin sadeleştirilmiş şekli ile söz konusu kısır döngünün toplam ΔCO_2 ifadesi $\Delta\text{CO}_2 \geq (0.63+0.27)\text{CO}_2 \times 1.1 \geq \text{CO}_2$ şeklinde yazılabilir. Soğutma kulelerindeki gibi denetimsiz biçimde atmosfere salınan su buharının sera gazı etkisi CO_2 salımlarının

yaklaşık iki katıdır. Termik ve nükleer santraller, yakıt pilleri ve ısı pompalarının ve yoğuşmasız kazanların (kısmen de yoğuşmalı kazanlarda geri kazanılmayan su buharı dahil olmak üzere) su buharı salımlarının da CO₂ eşlenikleri göz önünde tutulduğunda şimdiye kadar hesaplara hiç dahil etmediğimiz ΔCO₂ salım odaklarının atmosferde ölçüp gördüğümüz miktarın (CO₂) en iyimser bir tahminle %100 üne denk olduğu açıktır. Bu nedenle, küresel ısınmaya karşı alınan mevcut önlemler de çözümün sadece yarısıdır.



Şekil 7. Enerjinin Kaybedilen Niteliği Kullanılan Nitelikten Önceki Durumlarda ΔCO₂ Sorumluluğu (Düzlemsel Sıcak Su Toplacı veya Kazan Gibi)

Bu hesaplar kullanılarak Şekil 4 de gösterilen evin güneş enerji sistemlerden kaynaklı ΔCO₂ sorumlulukları yaklaşık olarak PV sistemi için 1400 kg CO₂/yıl, düzlemsel toplaçlar için ise 350 kg CO₂/yıl olarak bulunmuştur: ΔCO₂ Toplamı 1750 kg CO₂/yıl.

Halbuki güneş enerjili sistemler sıfır salımlı sistemler olarak bilinir değil mi?

(iii) Isı Pompası. Bu cihazın elektrik tüketip daha düşük kalitede ısı veya soğuk üretmesi nedeni ile kalite kaybı oluşmaktadır. Tipik bir toprak kaynaklı ısı pompasının iç mekân konfor klimasındaki enerji kaynaklarını akılcı kullanım ölçütü, ψ_R yaklaşık 0.15 değerindedir. Binada 3 kW elektrik güç talebi olan bir ısı pompasının yılda 3500 saat çalıştığı da varsayılırsa bunun ΔCO₂ karşılığı,

$$\Delta\text{CO}_2 = 0.63 \times 3 \text{ kW} \times 0.95 (1-0.15) \times 3500 \text{ h} = \mathbf{5342 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}} \text{ olur.}$$

Burada 0.63 çarpanı kullanılmıştır zira kaybedilen kalite elektrik gücüdür.

Ayrıca, ısı pompasının tesir katsayısının yıl ortalaması o binanın gerçek anlamda akılcı olabilmesi için gerekli olan 8 değerinden [13] azdır ($COP = 4$). Bu nedenle söz konusu ısı pompası santralden gerekenden iki kat fazla elektrik enerjisi talep etmektedir. Yaklaşık bir hesaplama:

$$\text{CO}_2 = 3 \text{ kW} \times 3500 \text{ h} \times (1/4-1/8) \times 0.2/0.4 = \mathbf{656 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}}.$$

Ayrıca söz konusu ısı pompası içerdiği soğutucu akışkan (Örneğin 1.5 kg) nedeni ile ozon tabakasına yıl boyu zararlı gaz sızdırmaktadır (LR , örneğin %15). Kullanılan gazın türüne göre gazın bir de küresel ısınma potansiyeli vardır (GWP , örneğin 1200). Bu değerlere kullanılarak soğutucu akışkan gaz sızıntısının CO₂ eşleniği aşağıdaki eşitlikten bulunabilir:

$$\text{CO}_2 \cong \left(\frac{1200}{1} \right) \left(\frac{15}{100} \times 1.5 \text{ kg} \right) = \mathbf{270 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}}.$$

Bu ısı pompasının toplam CO₂ sorumluluğu 6268 kg CO₂/yıl olur. İmalat ve malzeme gömülü salımları dahil değildir. Soğutma rejiminde iç mekândan çekilen nem ve ısı sonuç itibarı ile atmosfere atılmaktadır. Bu hesaplara su buharının ve atmosfere atılan ısının sera etkileri de eklenmelidir [4].

Tablo 1. Şekil 4 de gösterilen Dört Sorumluluk Bölgesinin CO₂ salımları

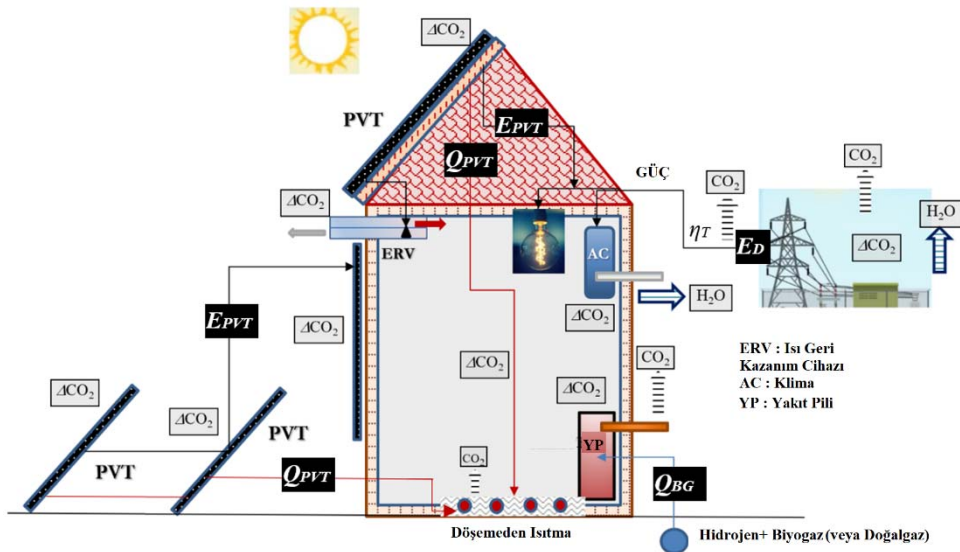
| CO ₂ , kg CO ₂ /yıl ve Yüzdeler | CO ₂ Salım Sorumluluk Bölgeleri (Şekil 4) | | | |
|--|--|------|-------|------|
| | (i) | (ii) | (iii) | (iv) |
| CO ₂ | 2821 | 1750 | 6268 | 7750 |
| Toplam | 18589 | | | |
| % | 15.2 | 9.4 | 33.7 | 41.7 |

Görüldüğü gibi, bu binanın hiç bacası yok ama CO₂ salım sorumlulukları oldukça fazladır. Bu bacasız binanın yılda toplam 18.6 ton karbondioksit salımından dolayı da olsa sorumludur. Bu miktarın 10 tonu

ise şimdiye kadar hiç hesap edilmeyen ve 2. Yasanın gösterdiği ΔCO_2 salımlarıdır ve CO_2 salımına (8.6 ton) oranı 1'den fazladır (1.16). Bu sonuçta gösteriyor ki, küresel ısınmaya karşı net-sıfır binaların tasarım, tanım, tarif ve işletimlerinde yeni bir düşünce tarzına ihtiyacımız vardır ve yeni bir metot bulmamız gerekmektedir. Aslında bu metot 1850'li yıllardan beri Termodinamiğin 2. yasasında (Rudolf Clausius ve William Thomson-Kelvin) saklıdır ama bu şekilde kullanmak düşünülmemiştir bile.

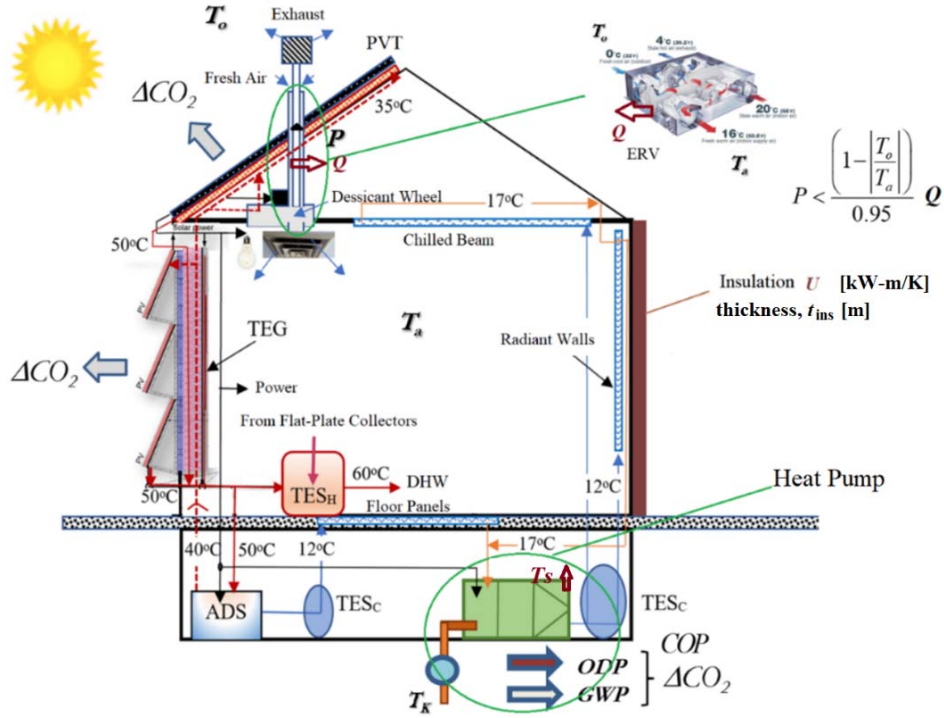
3. GERÇEK NET-SIFIR ENERJİLİ BİNA TASARIM ÖRNEKLERİ

Şekil 8 ve Şekil 9 da iki ev tasarımı gösterilmektedir. Şekil 8'deki ev bölge enerji sistemine bağlı olup biyogaz, gerektiğinde doğal gaz ve yüzde 20 oranında hidrojen karışımı yakıtı bölge enerji sisteminden almakta, buna karşılık ürettiği elektrik ve ısıyı sistemle paylaşmaktadır. Temin ettiği yakıtın kalitesi ekserji anlamında 0.88 kW/kW, temin ettiği ve sağladığı elektrik gücünün 0.95 kW/kW, ısının ise 0.15 kW/kW olması ile bu ev sisteme geri verdiği elektrik ve ısının miktarlarını ayarlayarak NZEXB statüsünü koruyabilmektedir. Buda gösteriyor ki "akıllı" binaların akıllı da bina otomasyonunda ekserji akıllı ile çalışma durumundadır. Hidrojen ise örneğin, Karadeniz suyunda büyük miktarlarda bulunan H_2S gazının dalga, rüzgâr ve güneş enerjilerinden hidrojen üretmek üzere özel imal edilmiş bir hidrojen gemisinde Karadeniz'de yüzde-yüz yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilip mekik hidrojen gemileri ile kıyıya, örneğin Sinop kentine taşınmaktadır. Böylelikle Sinop kenti hidrojen kentine ve NZEC (Net-Zero Exergy City) statüsüne kavuşabilecektir [14]. Şekil 9 da ise Akdeniz iklimine uygun ve bölge enerji sisteminden bağımsız bir güneş evi gösterilmektedir. Bu bağımsız güneş evi ZEB statüsünde ve karbondioksit salımlarını da optimum tasarımla en az düzeye indirdiği için nZCB türünde bir yapıdır.

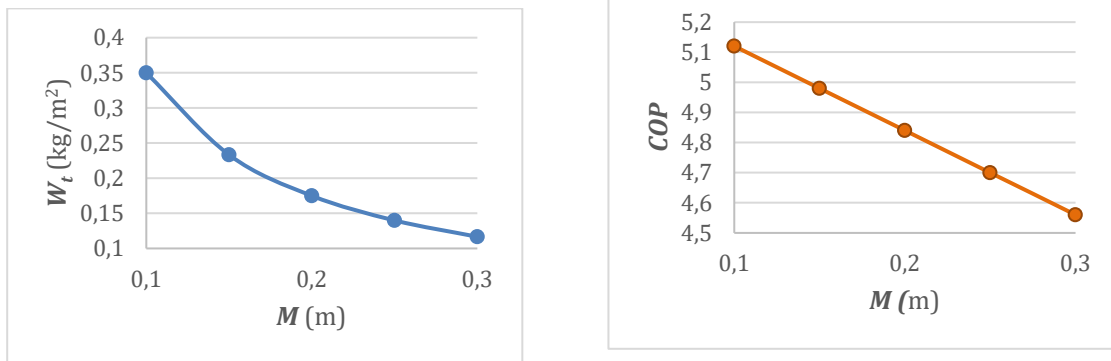


Şekil 8. Net Sıfır Enerjili Hidrojen Evi ©2020, B. Kılış

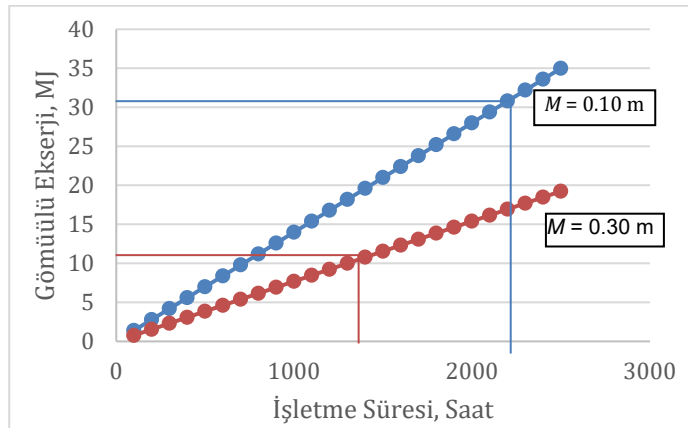
Şekil 9'da yer alan ısı pompası ile döşemeden ısıtma panel performansı arasında doğrudan ilişki bulunmaktadır. Panel (Döşeme) içerisindeki boru demetlerinin arasındaki mesafe, M ne kadar azalırsa boru malzemesi ve işçilikle ilintili gömülme enerji malzemesi ağırlığı W_f cinsinden olmak üzere, ekserji ve CO_2 salımları o denli artar. Buna karşılık ısı pompasının COP değeri dolayısıyla işletme kazancı artar ve en uygun bir geri ödeme planı ortaya çıkar. Şekil 10'da gösterilen ilişkiler çerçevesinde Şekil 11 de örnek bir uygulama gösterilmiştir. Bu uygulamada, M arttıkça COP değerinin azalmasına karşın geri ödeme süresi kısalmaktadır.



Şekil 9. Karbonsuzlaşmada Akdeniz Güneş Evi, ZEB ama ZCB değil sadece nZCB ©2020, B. Kılış



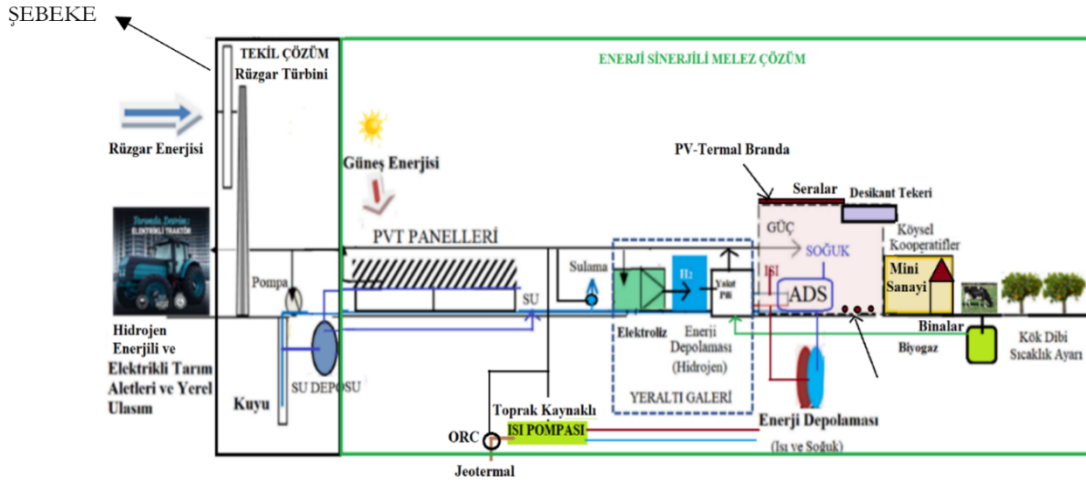
Şekil 10. Merkezler-Arası Boru Aralık Mesafesi, M ile Malzeme Gömülü Giderleri ve COP Değişimi



Şekil 11. Gömülü Ekserjinin Isı Pompasının COP Değerindeki Artışla Geri Dönüşü

4. NET-SIFIRDA TARIM VE HAYVANCILIK

Günümüzün yavaş kentlerinde tarım hayvancılık ve ilgili endüstri artık kentlerin ayrılmaz birer parçası olarak görülmektedir. Bir diğer nedenle de tarım ve hayvan kökenli biyogaz üretiminin kentsel atıklar ile buluşturulmasındaki fiziksel kolaylıktır. Şekilde 12 da gösterildiği üzere bu tür bir tarım ve hayvancılık kooperatifi sinerjisi şebeke elektriğine de gerek duymayabilmekte bilakis -eğer şebekeye bağlı ise-şebekeye elektrik bile satabilmekte, böylelikle kendi tarım sigortası havuzunu kooperatif bünyesinde imcece usulü ile oluşturabilmektedir [15]. Su gereksinimini de kendisi yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayabilmektedir. Çiftçilerin en büyük sorunu hala çözülmemeyen elektrik faturaları ve faturalar kabardıkça da bazen dağıtım şirketlerinin trafosu söküp götürmesi, faturalar ödense bile bu kez trafo ve bağlantı ücretleri tahsil etmek istemesidir. Küresel ısınma kaynaklı atmosferik anomalilerin giderek artması sonucu devletin yürüttüğü sigorta havuzunun (TARSİM) çökme durumuna gelme olasılığına karşı, tarım ve hayvancılıkta bu tür uygulamaları sigorta sisteminden daha fazla desteklemesi de akılcı bir yaklaşım olacaktır. Bu proje önerisinde karbondioksit salım sorumlulukları sıfıra yaklaşmakta, hayvansal atıklardan biyogaz üretilmektedir. Rüzgâr ve güneş enerjisi, gerektiğinde tesir katsayısı yüksek olmak kaydı ile ısı pompaları da kullanılarak oluşturulan enerji sinerjisi ile yenilenebilir enerji kaynaklarının çok amaçlı ve en akılcı biçimde değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Bu projede hidrojen yakıtlı tarımsal mekanizasyon ve hareketlilik (mobilité) de sıfıra yakın salımlıdır.



Şekil 12. Bütüncül Sinerjili Yeşil Tarım ve Hayvancılık Köy Kooperatifi ©2020, B. Kılış [15]

5. OLUMSUZ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

1- 'Net-Sıfır Enerjili' Orta Okul

ABD'nin Oregon eyaletinde bulunan the Hood River Ortaokulu ülkede ilk net-sıfır enerji devlet okulu olarak LEED Platin sertifikasına layık görülmüş, Energy Star değerlendirmesinde de 100 puan almıştı (Şekil 13). 1.ci Yasa uyarınca bu bina pasif enerji binasıdır [16].



Şekil 13. LEED Platin Sertifikalı Hood River Ortaokulu

Binanın uygun çatı alanlarında yerleşik PV paneller tasarım koşullarında 35 kW elektrik üretmekte, paneller altından geçen doğal hava akımı ile de PV panellerin soğutulmasına ve bir miktar ısının binada değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu ısının yararlı bölümünün 75 kW olduğu ve sıcaklığının da 45°C olması durumunda elde edilen toplam ekserji:

$$E_x = 35 \text{ kW} \times 0.95 \text{ kW/kW} + 75 \text{ kW} \times \left(1 - \frac{283 \text{ K}}{[273+45] \text{ K}} \right) = 41.5 \text{ kW}$$

7°C-12°C 100 kW soğutma yükünde PV panellerin ürettiği elektrik gücünün, ortalama COP değeri 3 olan bir toprak kaynaklı ısı pompası sisteminden karşılanmasına yeterli olabileceği (%100 yenilenebilir enerji) düşünülse bile ortaya ekserji yıkımı ve CO₂ salım sorumluluğu çıkmaktadır:

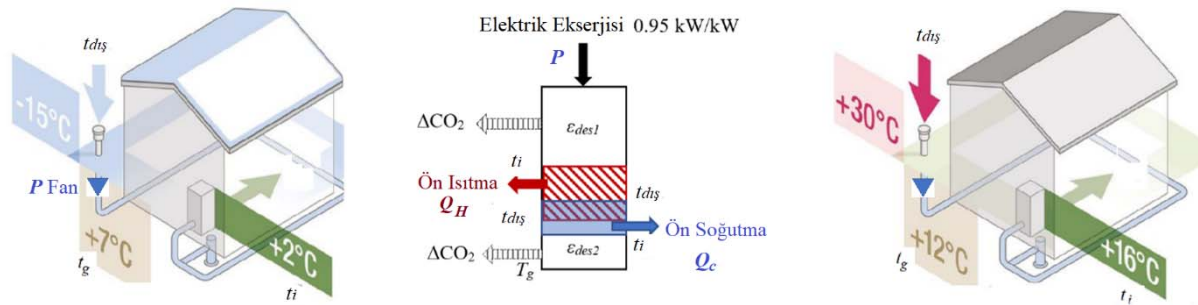
$$E_{x_{des}} = (35 \times 0.95) - 35 \times 3 \times \left(1 - \frac{280}{285} \right) = 33.25 - 1.84 = 31.4 \text{ kW}$$

Söz konusu ekserji yıkımının neden olduğu CO₂ salımı: $\Delta \text{CO}_2 = 0.27 \times 31.4 = 8.5 \text{ kg CO}_2/\text{h}$

Bu salıma binadaki ve PV destekli ısı pompası sistemindeki diğer ekserji yıkımları dahil edilmemiştir ve söz konusu salım sorumluluğu, bir saatte 100 km yol giden bir SUV cipin egzozundan saldığı CO₂ salımına eşittir. Isı pompasının kullandığı soğutucu akışkanın neden olduğu ODP, GWP etkileri, ayrıca ısı pompasının COP değerinin 8'den az olması nedeni çevresel sorunlar bu okulun değerlendirilmesinde göz ardı edilmiştir. Sonuç itibarı ile bu okul bugünkü tasarımı ile %100 yenilenebilir enerjili ve hatta net-sıfır enerjili olabilir ama net-sıfır ekserjili, sıfır karbon salımlı ve Ekserji-Pasif bina asla olamaz.

2. Labirent Sistemi

Şekil 14'de uluslararası pazarlarda satılan ve toprak altında açılan yapay galerilerde taze havanın yazın ön soğutmasının ve kışın da ön ısıtmasının yapıldığı bir sistemin çalışma esasları özetlenmektedir [16]. Bu sistemde soğuk (veya sıcak) dış taze hava labirentten P gücündeki bir elektrikli fan yardımı ile dolaştırılarak ısıtılmakta (kışın, Q_H) veya soğutulmaktadır (Yazın, Q_C). Sistemin ekserji-akılcı olabilmesinin çözümündeki koşul $P \times 0.95$ fan gücü ekserjisinin $Q_H(1 - ([273+t_{dış}]/[273+t_i])$ kazanılan ısı güç değerinden az olması gerekir. Bu koşul yazın $Q_C(1 - ([273+t_i]/[273+t_{dış}])$ şeklindedir. Yıkılan birim ekserjiler oranında ise ΔCO_2 sorumluluğu bulunmaktadır. Gerekli ekserjik koşullar sağlanmadıkça, örneğin, kış rejimi için P 0.25 kW gücünden fazla seçilirse, yeşil olarak tanıtilen bu sistemin çevresel katkısı olmayacaktır.



Şekil 14. Taze Havanın Ön Isıtma ve Soğutma İşlemi İçin Labirent Sistem [17]

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyanın ilk akıllı binası olan 38 katlı Hartford City Place binasının hizmete girmesinden (1984) tam 36 sene geçti. O yıllarda akıllı binadan anlaşılanlar yangın, güvenlik ve ofis otomasyonu, ileri düzey haberleşme ağı, konfor ve enerji sistemlerinin otomatik izleme ve denetiminden ibaretti [18]. O yıllardan bu yana akıllı bina tarifinde görünürde birçok değişiklikler olmasına karşın bina ısıtma, soğutma ve klima sistemlerinde son yüzyılı aşkın süredir olduğu gibi temel ve çok yenilikçi gelişmeler yaşanmadı. Diğer bir deyişle bina enerji sistemleri boyutunda temel teori ve uygulama hep aynı kaldı. Aslında bina konfor sistemleri dünyada son yüz yılı aşkın süredir atılım yapamayan ender sektörlerden

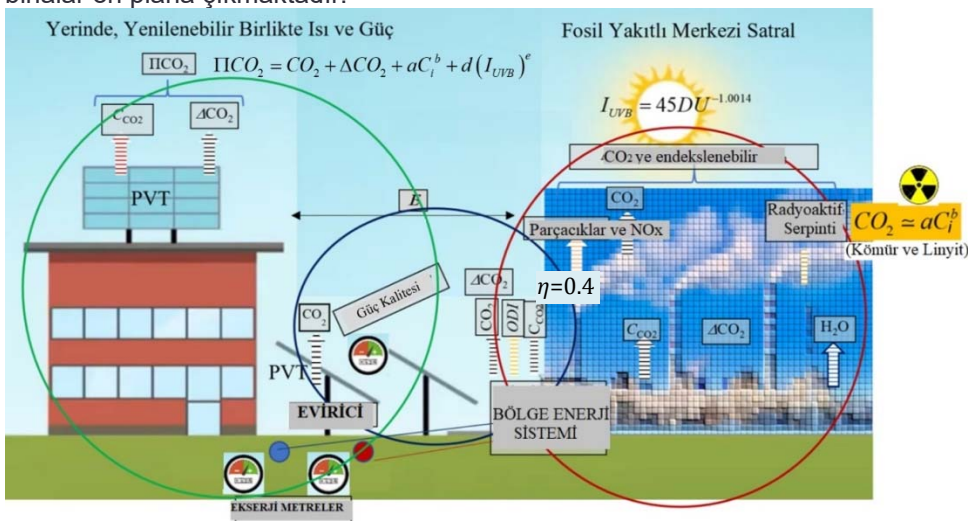
birisidir. Nitekim ASHRAE 7.5 ve 1.6 teknik komitelerinin akıllı bina tariflerinde 1980'li yıllardan beri çok değişiklik görülmemektedir bu tanımların enerji boyutu ASHRAE Standardı 90.1'de, o da sadece 1. Yasa çerçevesinde ele alınmaktadır. Bu durumda, NZEB tanımından NZEXB tanımına geçmek hayli zor olacaktır. Örneğin, tekil PV ve düzlemsel sıcak su toplaçlarının melezi olan PVT sistemleri, bina yalıtımlarının TS 825 öngörülerinden öte ısı pompası etkinliğini de hesaba katan ısı yalıtımları, ısı pompalarının tesir katsayılarının sekiz değerinin üzerine çıkarılmaları, hidrojen ekonomisine önem verilmesi, ısı geri kazanım ünitelerinin ekserji boyutunda tasarlanmaları ve bölge enerji sistemlerinde pompaj giderlerinin gene ekserji tabanında ele alınması gibi yenilikçi ve konunun arka planına dikkat eden bütüncül çözümler küresel kriz sorununun çözülmesinde önemli görevler paylaşacaklardır. Konuya bu gibi bütüncül ve 2. Yasa tabanında bakıldığında, akıllı bir bina 2. Yasa uyarınca akıllı bir bina olamayabilir, yani enerji kaynaklarını akıllı kullanım fonksiyonlarına ve mantığına sahip olmayabilir, olsa olsa akıllı alt yapısı ile kolaylaştırıcı bir görev üstlenebilir. Bu bağlamda, enerjide akıllılık yerine akılcılık ön plana çıkmaktadır. Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planında da artık *Akıllı Şehirler* ve *Akıllı Binalar* deyimi yer almalı ve küresel krize enerji alanında bütüncül bakmanın yararları konusunda farkındalık kazanmalıyız. Aynı sorun Avrupa ülkelerinde de yaşanmaktadır. AB'nin geliştirmekte olduğu ve bina enerji performans belgelerine ek olarak hazırladığı "Akıllıya Hazır Olma Göstergesi" (The European Smart Readiness Indicator, *SRI*) gene dijitalleşim, otomasyon, haberleşme ağları gibi kalıplaşmış boyutlara hazır olma ölçütünden başka bir şey değildir [19]. Diğer bir çalışmada [20] yenilenebilir enerji kaynakları ile üreten tüketiciler arasındaki talepleri dengeleyecek akıllı enerji sistemlerini (Power Matcher) geliştirilmektedir. Bu projenin olumsuz yanı sadece elektrik gücünü içermesi nedeni ile enerjinin sadece niceliği üzerinde durmaktadır. Halbuki bu çalışmanın *Exergy Matcher* olması ve bu kapsamda ısı ve soğuk güçlerine de yer vermesi gerekirdi. Bu atılımlar yapılmadıkça Avrupa Birliği'nin 2050 yılına kadar yüzde yüz yenilenebilir enerjilerle ısıtma ve soğutma hedefinin [21] yakalanması mümkün olmayacaktır. Günümüzde binalar artık yalnız değildir. Günümüzde Avrupa'nın bazı ülke kentlerinin yarısından çoğu bir şekilde bölge enerji sistemlerine, dolayısı ile diğer binalara bağlıdır. Bu nedenle sıfır enerjili binalar artık anlamını tamamen yitirmiş, bunu yerini net-sıfıra yakın ekserjili binalar ve kentler almıştır. Şekil 13'de binaları ve kentleri görmemiz gereken yeni bir bütüncül perspektif sunulmaktadır. Bu yazıda birçok kez yer verildiği gibi Şekil 15'deki bütüncül farkındalık da oluşmadıkça küresel krizin ancak yarısını çözebileceğiz. Artık kalorimetre yerine ekserji metre kullanmamız gerekliliği de bundandır. Bu perspektifte en önemli çözüm anahtarı ise ψ_R değerinin çok artırılmasıdır. Bu gereklilik aşağıdaki şekilde açıklanabilir ve nitekim Tablo 1'deki örnek çözümde de görülmektedir.

$$CO_2 \text{ toplam} = CO_2 + c(1 - \psi_R) = 0.45 + 0.5(1 - \psi_R) = 0.45 + 0.5(1 - 0.2) = 0.41 + 0.40.$$

Burada, $c = (0.27 \text{ ve } 0.63)/2$, yaklaşık 0.5 alınabilir.

$$CO_2 = \text{Yakıtların birim salımı/verim (1 Yasa: Enerjinin miktarı, nicelik)} = 0.35/0.85 = 0.41 \text{ (Yaklaşık)}$$

Görüldüğü üzere bu yaklaşık teorik çözümde de ΔCO_2 'nin CO_2 ye oranı 1'e yakındır ve biz bunu görmüyoruz daha da olumsuz yanı görmek istemeyip ihmal ediyoruz. O zaman da küresel krizin kesin çözümün çok uzağında kalacağız. Bu alanda net-sıfır binaları da önemli oranda sorumlu olacaklardır. Bu bağlamda, enerji tüketiminin yaklaşık %40 kadarının binalarda olması nedeni ile net-sıfır veya sıfır binalar ön plana çıkmaktadır.



Şekil 15. Net-Sıfıra Yakın Ekserjili Bina (Üreten Tüketici) ve Kent Modeli ©2020

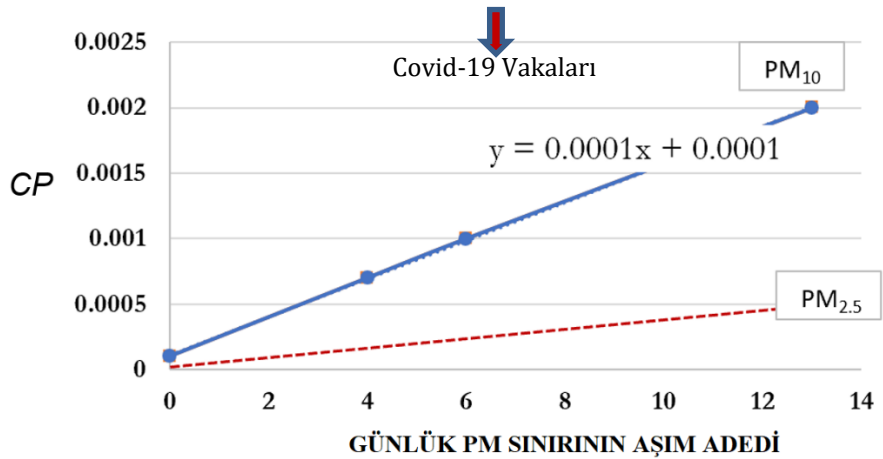
Demek oluyor ki, enerjide nitelik nicelikten önemli hale gelmiş ve 2. Yasa akıllı kent ve binaların akılcılığa devşirilmesinde olmazsa olmaz konumuna gelmiştir. Bu yazıda bu alışılmamış gerçekler vurgulanmış ve çözüme yönelik çok yeni tanımlar ve örnekler getirilmiştir. Örneğin, net-sıfır enerji (NZEB) yerine net-sıfıra yakın ekserji binasının (nZEXB) enerji kaynaklarında gerçek akılcılığın vazgeçilmez tanımı olduğu gösterilmiş, bu bağlamda sıfır karbon binasının da olamayacağı, ancak sıfır karbona yakın binaların olabileceği gerçekçiliği üzerinde durulmuştur (nZEXB). Artık nitelik nicelikten daha önemli bir hale gelmiştir. Ne yazık ki, hala doğal gazın önemli bir bölümünün (Sanayi payından daha fazla) binalarda ısıtmada, mutfak ve banyolarda kullanımını sadece yaklaşık %6 akılcılıkla da olsa öngörürken binaların akıllı ve verimli olduklarını varsaymaktayız (Kazan verimi en az %80). Bu zihniyetin değişmesinin gerekliliği ortadadır. Ayrıca ulusal kaynaklarımızın çeşitlilik ufkunu ve farkındalığını da genişletmemiz gerekmektedir. Sadece doğal gaz aramalarına-haklı gerekçelerle-önem verirken diğer kaynaklarımıza da önem hatta öncelik vermeliyiz. Örneğin Karadeniz'in yetki sınırları içerisinde deniz suyundaki H₂S gazından gene Karadeniz üzerindeki rüzgâr, dalga ve güneş enerjisinden yararlanarak hidrojen üretimi ile kentlerimizin ve yapılarımızın daha akılcı hale dönüşmesi mümkündür [14]. Yapılan son tıbbi araştırmalar göre enerjinin en az %35'ini tüketen binaların oluşturduğu hava kirliliği Covid-19 vaka artışının en az %15'inden sorumludur. Bu orana insanların kapalı mekanlarda yaşamalarının ve yakın temaslarının etkisi dahil değildir. Şekil 15'de gösterildiği gibi, binaların güç talep ettikleri termik santrallerin oluşturduğu kirlilik de dahil edildiğinde birim nüfusa dayalı vaka sayısı (CP) ile dört boyutlu CO₂ salımları (ΠCO₂) arasında doğrusal bir eşitlik bulunmuştur. NO_x ve ΠCO₂ arasındaki ilişkiyi veren (f) oranının küresel ortalaması 0.05 alınmıştır.

$$CP = (0.000035f \times \Pi CO_2 + 0.0001) \quad \{En\ az\ olmalı\} \quad (1)$$
$$I_{UVB} = 45DU^{-1.0014} \quad (2)$$

$$\Pi CO_2 = CO_2 + \Delta CO_2 + aC_i^b + d(I_{UVB})^e \quad (3)$$

Toplam Doğrudan N. Önlenebilir Radyasyon Ozon Seyrelim

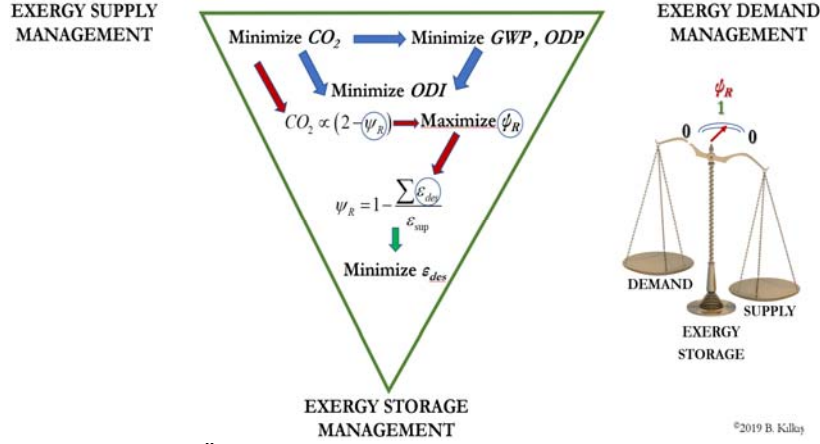
$$PM_{2.5} = f \Pi CO_2 \quad (4)$$



Şekil 16. NO_x Salımlarının Bir Gündeki Sınır Değerleri Aşma Adedine Göre Vaka Sayısı Nüfus Oranı, CP

Şekil 16` da görüldüğü üzere, günlük PM (Part per million) sınırının aşım sayısı ile (CP) arasındaki doğrusal ilişkiden hareketle, kendileri karbondioksit salmasa bile sorumlu oldukları salımlardan ve ozon tabakasını seyreltici soğutucu akışkan kullanmaktan ve güç alışverişinde buldukları termik santrallerden hatta jeotermal santrallerden oluşan radyoaktif serpintilerden dolayı vaka sayıları artmaktadır. Bu nedenle neredeyse önlenebilir salımlardan sorumlu olan tüm binalar, ki buna net-sıfır enerjili binalar, sıfır karbon binaları da dahildir, bundan böyle sadece yeşil değil güvenli ve pandemi dirençli binalar tanımı kullanılmalıdır. Bunun da çözümü net-sıfıra yakın ekserjili binalar olmalıdır. Nitekim, TSE Güvenli ve Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemi kısmen de olsa bu tanımı değerlendirmektedir. Bu makalede önlenebilir CO₂ salımlarının göz ardı edilmeye devamı durumunda

küresel krizin de devam edeceği vurgusu bağlamında, Dünyayı politikacılar ve salt ekonomistler idare ettiği sürece küresel ısınma ve buna bağlı sorunlar artmaya devam edecektir. Şekil 17'de görüldüğü üzere artık kâğıt paranın hala geçerli olduğu borsaların önemi giderek çevre, sağlık, pandemi, hava kirliliği ve küresel kriz altında ezilmekte ve terazinin bir kefesini diğer yöne basmaktadır.



Şekil 17. Ekserji, Çevre, Sağlık Üçlemesi

7. SİMGELER

| | |
|---------------|--|
| a, b, d, e | Eşitlik 3 çarpanları ve üssü |
| c | Yıkılan ekserji/toplam ekserji |
| C_i | Radyoaktif serpinti Curie değeri |
| C | Soğuk, kW-h |
| CP | Vaka sayısının birim nüfusa oranı |
| DU | Dobson Birimi (Ozon Tabakası İçin) |
| E | Elektrik enerjisi, kW-h |
| E_{Xdes} | Ekserji Yıkımı, kW |
| f | NO_x ve PCO_2 arasındaki ilişkiyi veren küresel ortalama |
| GWP | Küresel ısınmaya katkı potansiyeli |
| I_{UVB} | Yeryüzüne ulaşan UVB ışını değeri |
| M | Panel Isıtma veya soğutma sisteminde boru merkezleri arası mesafe, m |
| ODP | Ozon katmanının inceltme potansiyeli |
| PM | Milyondaki parça sayısı, ppm |
| Q | Isı, kW-h |
| R | Enerji stokundaki yenilenebilir enerji payı |
| t | Sıcaklık, °C |
| T | Sıcaklık, K |
| W_t | Malzeme ağırlığı, kg |
| PCO_2 | Toplam CO_2 salım sorumluluğu (Eşitlik 3) |
| ΔCO_2 | Neredeyse-önlenebilir CO_2 salım sorumluluğu |
| ψ_R | Ekserji tabanında enerji kaynaklarını değerlendirme akılcılığı |
| ϵ | Birim ekserji, kW/kW |

Alt Simgeler

| | |
|-------|--------------------------------------|
| B | Bina |
| C | Soğutma |
| D | Bölge (District) |
| des | Yıkım (Birim ekserjide), kW |
| $dış$ | Dış Hava |
| H | Isıtma |
| i | Ön ısıtılan veya soğutulan taze hava |
| ref | Referans (Çevre sıcaklığına ait) |
| sup | Arz |

Kısaltmalar

| | |
|-------|--------------------------------|
| EXPB | Ekserji-pasif bina |
| KYD | Karbon yakalama ve tutma |
| NZEB | Net-sıfır enerjili bina |
| NZEXB | Net-sıfır ekserji binası |
| nZEXB | Net-sıfır ekserjiye yakın bina |
| nZCB | Sıfıra yakın karbon binası |
| nZCC | Sıfıra-yakın karbon kenti |
| ORC | Organik Rankin Çevrimi |

8. KAYNAKÇA

- [1] Hawksworth, J. 2008. The World in 2050 Can Rapid Global Growth Be Reconciled with Moving to A Low Carbon Economy? Price Water Coopers, 22 pages, London.
<https://www.pwc.com/gx/en/psrc/pdf/world_in_2050_carbon_emissions_psrc.pdf>
- [2] ACS. What are The Greenhouse Gas Changes Since The Industrial Revolution? ACS Climate Science Toolkit Greenhouse Gases.
<<https://www.acs.org/content/acs/en/climatescience/greenhousegases/industrialrevolution.html>>
- [3] Kılış, B. 2020. Küresel Salgının Hatırlattıkları, İklimsel Isınma ve Klima Sistemleri, Tesisat Mühendisliği, Sayı 177, Özel Sayı-Haziran 2020, s:16-24.
- [4] Kılış, B. 2019. The Importance of Exergy Rationality and Storage for 100% Renewable Targets in Decoupling Sustainable Development and Ozone Depletion, UNIDO Workshop on Ozone, September 16-17 2019, Antalya.
- [5] J. Macknick, R. Newmark, G. H., and Hallet, K.C. 2012. Environmental Research Letters. 7 doi:10.1088/1748-9326/7/4/045802.UCSUSA. 2013.
<Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature>, <<https://www.ucsusa.org/resources/water-power-plant-cooling>>
- [6] Hansen, K. 2008. Water Vapor Confirmed as Major Player in Climate Change. NASA Report No: 11.17.08
<[https://doi.org/10.2298/TSCI200412287K](https://www.nasa.gov/topics/earth/features/vapor_warming.html#:~:text=And%20since%20water%20vapor%20is,(about%2011%20square%20feet).>></p><p>[7] Kilkis, B. 2020. Exergy-Rational District Energy Model for 100% Renewable Cities with Distance Limitations, <i>Thermal Science</i>, Vol. 24, No. 6A, pp: 1-21, <a href=).
- [8] ENKA. Adapazarı-Gebze 1600 MW Powerplant. <<https://www.enka.com/tr/portfolio-item/turkiye-yap-islet-gebze-adapazari-dogal-gaz-kombine-cevrim-elektrik-santralleri/>>
- [9] Kilkis, I. B. 2002. Environmental Economy of Low-Enthalpy Energy Resources in District Energy Systems, *ASHRAE Transactions*, Vol. 108, Part 2, pp: 580-588.
- [10] Torcellini, P. A., and Crawley, D. B. 2006. Understanding Zero-Energy Buildings, *ASHRAE J.*, September 2006, pp: 63-69.
- [11] Crawley, D., Pless, S., and Torcellini, P. 2009. Getting to Net Zero, NREL/JA-550-46382, September 2009.
- [12] Kılış, B. ve Kılış, Ş. 2015. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Birleşik Isı ve Güç Üretimi, TTMD Teknik Yayını, No: 32, 372 sayfa, Doğa Yayıncılık. ISBN:978-975-6263-25-9.
- [13] Kilkis, B. 2019. Exergy-Optimum Coupling of Heat Recovery Ventilation Units with Heat Pumps in Sustainable Buildings, *J. Sustain. Dev. Energy Water Environ. Syst.*, 8(4), pp: 815-845, 2020, DOI: <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d7.0316>
- [14] Kılış, B. 2020. Exergy-Based Hydrogen Economy with 100% On-Board Renewables, H₂S Reserves and Coastal Hydrogen Cities in the Black Sea Region, Technical Report, Submitted to Turkish Ministry of Energy and Natural Resources, 79 pages.
- [15] Kılış, B. 2020. Tarım Sigortalarında Doğal Afetler, İklimsel Isınma ve Enerji Sinerjisi, TARSİM, T. C. Tarım ve Hayvancılık Bakanlığına Sunulan Rapor, 16 Sayfa, Haziran 2020, Ankara.
- [16] Brown, C., and Fichtl, T. L. 2013. A Building That Teaches, *High Performing Buildings*, Winter 2013, pp: 38-46, ASHRAE.
- [17] REHAU. 2021. Awadukt Thermo Ground-Air Heat Exchanger.

<<https://www.rehau.com/uk-en/ground-heat-exchanger>>

[18] Li Ning, L. 2017. Smart Buildings Can Help China Manage Energy Use, Global Times Published: 2017/10/25 22:33:39,

<<https://www.globaltimes.cn/content/1071983.shtml#:~:text=In%201984%2C%20the%20City%20Place,and%20architecture%20equipment%20management%20systems>>.

[19] Vladimir, A. ve diğerleri. 2018. The European Smart Readiness Indicator (SRI) for Buildings, *REHVA J.*, December 2018, pp: 47-52.

[20] TNO. 2013. Powermatcher. <<https://www.tno.nl/media/1986/tno-powermatcher-jrv140416-01.pdf>>

[21] RHC. 2019. 2050 Vision for 100% Renewable Heating and Cooling in Europe. <<https://www.rhc-platform.org/content/uploads/2019/10/RHC-VISION-2050-WEB.pdf>>, www.rhc-platform.org

9. ÖZGEÇMİŞ

Birol Kılış

1949 yılında Ankara da doğdu. ODTÜ Makina Müh. Bölümünden 1970 yılında Yüksek Şeref derecesi ile mezun oldu. 1971-1972 yıllarında TÜBİTAK bursu ile Brüksel von Karman Enstitüsünde akışkanlar mekaniği ve aerodinamik konularında çalışarak şeref derecesi ile mezun oldu. 1973 yılında Y. Lisans ve 1979 yılında Doktora derecelerini aldı. 1981 yılı TÜBİTAK Teşvik Ödülü sahibi Kılış, 1999 da ODTÜ Makine Müh. Bölümü Profesör kadrosundan emekli oldu. 1980'li yıllarda altı adet Isı Pompası TSE Standardı hazırlamıştır. ASHRAE'nin değişik teknik komitelerinde görevlidir. 2003 yılında uluslararası başarılarından dolayı ASHRAE Fellow üyeliğine yükseltilen Kılış 2004 yılında da Distinguished Lecturer seçilmiş, 2008 yılında *Distinguished Service* ve *Exceptional Service* ödülleri almıştır. Green Energy Council üyesi, *Int. Journal of Green Energy* ve *Exergy* Dergilerinin Editörler Kurulu üyesi ve IEA Heat Pump Programı gözlemci üyeliğinde bulunmuştur. Ayrıca ASHRAE El Kitaplarının revizörlüğü yapmaktadır. Yeşil ve sürdürülebilir binalar, karbon dioksit salımları, enerji performansı, ekserji akılcılığı ve bölge enerji sistemleri üzerinde ekserji tabanlı çözümleri bulunmaktadır. Yeni Nesil Melez Güneş Enerjisi Sistemleri ve Isı Pompaları üzerinde patentleri mevcuttur. Avrupa Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Isıtma ve Soğutma Kurulu (RHC) alt komite ikinci Başkanı olup AB Başkanlığına karbon dioksit azaltımı konusunda raporlar hazırlamaktadır. Türkiye'nin ilk LEED Platin Binasının Mekanik Tasarım Danışmanlığını gerçekleştirmiş olan Kılış, Türk Tesisat Mühendisleri Derneğinin 13. Dönem Yönetim Kurulu Başkanlığında da bulunmuştur.