



RÜZGÂR ENERJİSİ İLE ISITMA SOĞUTMA VE ÇEVRE

Prof. Dr. Birol Kılış

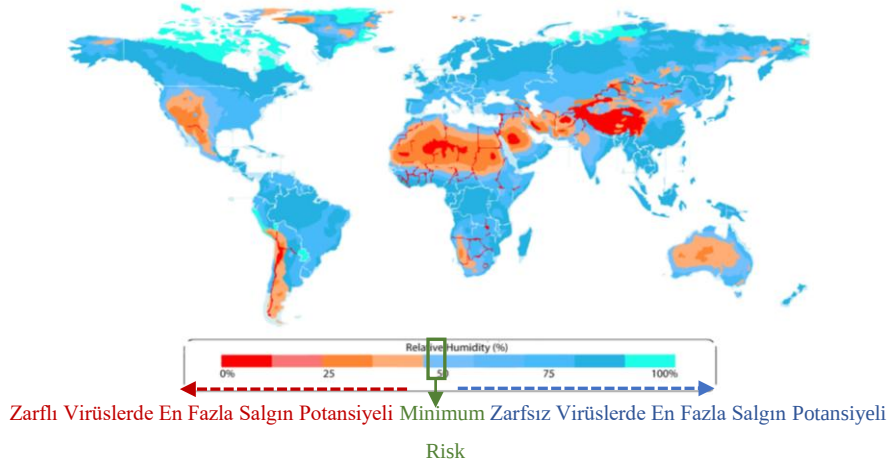


RÜZGÂR ENERJİSİ İLE ISITMA SOĞUTMA VE ÇEVRE

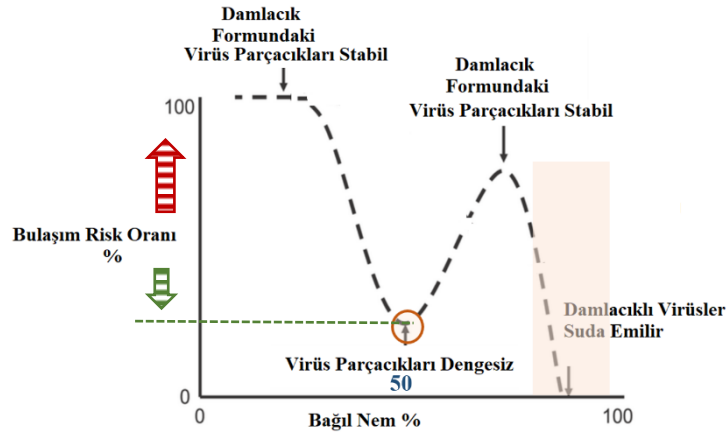
Prof. Dr. Birol Kılış

1. GİRİŞ

Giderek krize dönüşen iklimsel ısınma sadece atmosferi ve çevremizi değil insanlığı da artan bir hız ve boyutta tehdit etmektedir. Bu tehdidin en son zinciri ise tüm ülkeleri sarsan küresel salgındır [1, 2]. Şekil 1 de görüldüğü gibi ülkelerde giderek kurak veya çok nemli iklimler hâkim olmakta, küresel bağıl nem en az bulaş riskine sahip %50 değerinden (Şekil 2) uzaklaşmakta ve ülkelerdeki risk artmaktadır.



Şekil 1. Dünyada Yıllık Ortalama Bağıl Nem Değerleri [5].



Şekil 2. Bağıl Nem (BN) ile Virüs Bulaşma Riski Arasındaki İlişki [1, 3, 4].

Zaten zamanlarının %90'dan fazlasını iç mekanlarda ve ulaşım süreçlerinde geçirmekte olan insanların artan iklimsel ısınmayla oluşan uzun ve şiddetli sıcak dalgalarından ötürü klimalı ortamları daha çok tercih etmeleri sonucu soğutma yükleri artmakta, soğutma mevsimleri uzamaktadır. Alışveriş merkezleri, büyük terminal binaları, kapalı spor salonları ve benzeri tüm büyük tesisler ise yaz ve kış sürekli klimaya gerek duymaktadırlar. Yüksek binaların, özellikle camları bile açılmayan cam kafes binaların ek salgın riskleri de giderek ortaya çıkmaktadır [6]. Uluslararası havalimanı terminal binaları ise, küresel ticaretin zorlaması ile artan sivil havacılık trafiği çerçevesinde dünyanın dört bir yanından her yıl milyonlarca yolcunun sadece gelip geçtiği değil birbiri ile temas ettiği, hatta

sosyalleştiği, alışveriş yaptıkları, yemek yedikleri, gerektiğinde uzun süre istirahat ettikleri birer küresel buluşma ve bulaşma odakları oluşturup her türlü hastalığın ve salgınların dünyanın dört bir yanından gelip tekrar dünyaya yayılabileceği en kritik tesisler haline gelmişlerdir. Ayrıca, terminal binalarının ulaşımdan çok ticari alanlar olarak görülmesi ve aynı bağlamda havalimanlarını uluslararası sivil havacılık göbeği (Hub) yapma özeni de ön plana çıkan diğer etkenlerdir. Bir alışveriş merkezindeki bulaş riski sadece o tesisi ve yakın çevresini kapsarken büyük bir uluslararası terminalin bulaş riski uluslararası boyuttadır ve bu risk sadece maske ve eldiven mecburiyeti, vücut sıcaklığı denetimi, sosyal mesafe, yolcu takibi, sterilizasyon, klima santrallerinde HEPA filtre kullanımı gibi olması gereken fakat ikincil düzeyde kalan artçı yani sadece salgını takip eden ve önceden salgın risklerini azaltamayan önlemlerle giderilemez. Salgını gerçekten önleyici, bütüncül ve uzun soluklu önlemlerin merkezinde klimalı sistemlerle küresel ısınma arasındaki ve Şekil 3’de gösterilen kısır döngünün farkındalığı bulunmaktadır. Bu farkındalık gerçekleşmediği sürece terminaller yıllık yolcu kapasitelerini arttırmakla meşgul oladursunlar, salgına karşı sosyal mesafe alanlarının ($m^2/kışı$) giderek arttırılması [2] ve uçaklarda az yoğunlukta yolcu taşınması gibi önlemler sonucu yolcu kapasitelerinin altında kalmaya mahkûm kalacaklardır. Küresel salgın hafiflese de insanlar uzun süre müzeleri, turistik yerleri sanal ortamda ziyaret etmeye, toplantılarını da internet üzerinden yapmaya devam edeceklerdir. Örneğin, Türk Hava Yolları bu eğilimi fark ederek müşterilerine sanal müzeleri dünya çapında ziyaret fırsatı vermektedir [7]. Bu tür iletişim ve sanal ziyaret ağları küresel ısınmanın yavaşlatılmasında da etkili olacaktır. Büyük toplanma alanlarının ziyaretçileri azaldıkça klima ve havalandırma yükleri azalacak ve kısır döngü kısmen de olsa kırılacaktır. Bu kısır döngü içerisinde CO_2 ve su buharı salımlarının neden olduğu sera etkisi ile (GWP: Global Warming Potential) oluşan iklimsel ısınma sonucu bir yandan klima yüklerinin artması öte yandan hava sıcaklığına bağlı olarak verimlerinin düşmesi ile hem elektrik talepleri artmakta hem de artan soğutucu akışkan kaçaklarının ve VRV/VRF tipi sistemlerdeki sızıntıların ozon katmanının giderek incelmesine (ODP: Ozone Depletion Potential) neden olmaktadır. Ayrıca, insan bağışıklığına zararlı UV ışınları yeryüzüne giderek daha yoğun biçimde ulaşmaktadır. Artan güç talepleri karşısında termik santrallerden daha çok CO_2 ve zararlı partikül salımları ile CO_2 salımlarından iki kat daha fazla sera etkisine sahip su buharının soğutma kulelerinden atmosfere salımı gibi zincirleme etkileşimlerin oluşturduğu kısır döngü giderek hızlanmaktadır -ta ki sürdürülebilir enerji kaynaklarının küresel enerji bilançosundaki payı hızla artana dek. Atmosferin alt katmanları ısınırken oluşturduğu ısıl sera örtüsü nedeni ile ozon katmanı soğuyarak incelmekte güneş ışınları da daha çok yeryüzüne ulaşarak iklimsel ısınmayı daha da çok arttırmaktadır. Atmosferdeki PM_{10} ve $PM_{2.5}$ parçacık yoğunluk değerlerinin yükselmesi ile de insanların virüs bağışıklıklarının azaldığı bilinmektedir [1]. Tüm bu olumsuzluklara karşın, Avrupa Birliği ülkeleri %100 yenilenebilir enerjili şehirler, sıfır enerjili, sıfır ekserjili kentler ve sıfır-karbonlu tesisler, bölge enerji sistemleri ve havalimanları üzerinde çalışmaktadırlar [8]. Sürdürülebilir enerji kaynakları ile kentlerin tümünden elektrifikasyonu kapsamında ısı pompalı ısıtma ve soğutma

[illegible]

*Terminal Binaları Dahil.

2. ÇÖZÜMLEME MODELİ

3

ile, %95 kadarının yararlı işlerde kullanılabildiği elektrik gücünün nerede ve nasıl değerlendirildiği önemlidir ve *Akılcı Ekserji Yönetim Verimi*, $\bar{\psi}_R$ ile ölçülür.

$$\varepsilon_{arz} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{arz}}\right) \quad \{\text{Birim ekserji arzı}\} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{talep} = \left|1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep}}\right| \quad \{\text{Talep edilen birim ekserji}\} \quad (2)$$

$$\sum \varepsilon_{yıkım} ; \varepsilon_{arz} - \varepsilon_{talep} \quad \{\text{Yıkılan ekserji: kayıp}\} \quad (3)$$

$$\bar{\psi}_R = 1 - \frac{\sum \varepsilon_{yıkım}}{\varepsilon_{arz}} ; \frac{\varepsilon_{talep}}{\varepsilon_{arz}} \quad (4)$$

$$\sum CO_2 = \left[\frac{c_l}{\eta_l} + \frac{c_m}{\eta_m \eta_T} (1 - \bar{\psi}_R) \right] Q + \frac{c_m}{\eta_m \eta_T} E \quad \{\text{kg CO}_2/\text{kW-h}\} \quad (5)$$

$$EDR = 1 - \frac{\sum CO_2}{CO_{2baz}} \quad (6)$$

$$CO_{2baz} = \left[\frac{0,2}{0,85} + \frac{0,2}{0,35} (1 - 0,2) \right] 0,5 + \frac{0,2}{0,35} 0,5 = 0,63 \text{ kg CO}_2/\text{kW-h} \quad (7)$$

Denklem 5'deki c_l ve c_m , sırası ile η_l verimle yerinde üretilen ısının yakıt kaynağının ve termik santralde η_m verimle üretilip η_T verimle iletilen elektrik gücünün yakıt kaynağının birim CO_2 salımlarıdır (kg CO_2 /kW-h). Q ve E talep edilen ısı ve elektrik enerjisidir (kW-h). Şekil 4'deki rüzgâr türbininden elde edilen elektrik gücünün elektrikli ısıtıcılarda kullanıldığı en olumsuz senaryoda Denklem 2 uyarınca bina ısıtmasının talep ettiği birim ekserji, ε_{talep} 0,034 kW/kW'dır:

$$\varepsilon_{talep} = \left|1 - \frac{283 \text{ K}}{293 \text{ K}}\right| = 0,034 \text{ kW/kW} .$$

T_{ref} çevre referans sıcaklığı (273+10)K, T_{talep} konfor sıcaklığıdır (273+20)K. Elektrik birim ekserjisinin sadece 0,034 kW/kW'lık bölümü değerlendirilmekte, arta kalanının diğer yararlı işlerde değerlendirme ve geriye dönüş imkânı heba edilmiş (yıkılmış) olmaktadır (Denklem 3):

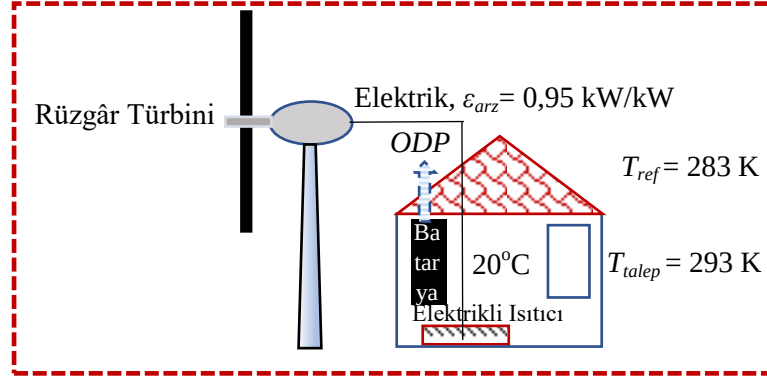
$$\sum \varepsilon_{yıkım} ; 0,95 - 0,034 = 0,916 \text{ kW/kW} , \bar{\psi}_R = 0,036 \text{ (Denklem 4).}$$

Bu uygulamanın küresel sorumluluğu, enerjinin katma değer potansiyelinin önemli ölçüde yıkılması sonucu, elektrik enerjisi dışında başka seçenekleri bulunmayan sektörlerin yıkılan ekserji oranında diğer enerji kaynaklarından elektrik enerjisi temin ederken önlenebilir CO_2 salımlarının oluşmasıdır:

$$\Delta CO_2 = 0,27 \varepsilon_{yıkım} ; 0,27 \varepsilon_{arz} (1 - \bar{\psi}_R) \quad \{\text{kg CO}_2/\text{kW-h}\} \quad (8)$$

Denklem 8 uyarınca birim ısı talebi için bu rüzgâr türbini ΔCO_2 : 0,247 kg CO_2 /kW-h salımdan sorumlu olmaktadır. Akılcılığın yükselmesi için ısıtma tesir katsayısı (COP_h) 4 olan bir toprak kaynaklı ısı pompası eklense (Şekil 5) $\bar{\psi}_R$ yaklaşık COP_h oranında artar ($\bar{\psi}_R$: 0,144), fakat birim ekserji yıkımı ancak $(0,95 - 0,034 \times COP_h) = 0,814 \text{ kW/kW}$ 'a inerken ΔCO_2 sorumluluğu biraz azalır: $0,27 \times 0,814 = 0,22 \text{ kg CO}_2/\text{kW-h}$ (%10). Sıfır salım için COP_h değeri $0,95/0,034=27,9$ olması gerekir ki bu mümkün değildir ve rüzgâr enerjili ısı pompasının ΔCO_2 değeri bir linyit sobasından fazladır.

$$COP_{hmin} = \frac{0,95}{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{talep}}\right)} \quad (9)$$



Şekil 4. Rüzgâr Türbininden Elde Edilen Elektrik Gücü ile Konfor Isıtması [9, 10].

1. Rüzgâr enerjili ısıtmada $\Delta CO_2 = 0,247 \text{ kg CO}_2/\text{kW-h}$, $\bar{\psi}_R = 0,036$.

2. Linyit sobalı ısıtmada $\Delta CO_2 = 0,216 \text{ kg CO}_2/\text{kW-h}$

$$\varepsilon_{arz} = 0,83 \text{ kW/kW \{Linyit\},}$$

$$\varepsilon_{yıkım} = (0,83 - 0,034) = 0,796 \text{ kg CO}_2/\text{kW-h \{Aynı ısıtma talebi için\}, } \bar{\psi}_R = 0,041.$$

Şekil 5`de görüldüğü üzere, rüzgâr enerjisinden aynı ısı pompası ile konfor soğutması yapıldığında sadece ε_{talep} değeri değişir: $(1 - 297/305) = 0,039 \text{ kW/kW}$ ve sonuçta,

3. Rüzgâr enerjili soğutmada $\Delta CO_2 = 0,249 \text{ kg CO}_2/\text{kW-h}$ olur.

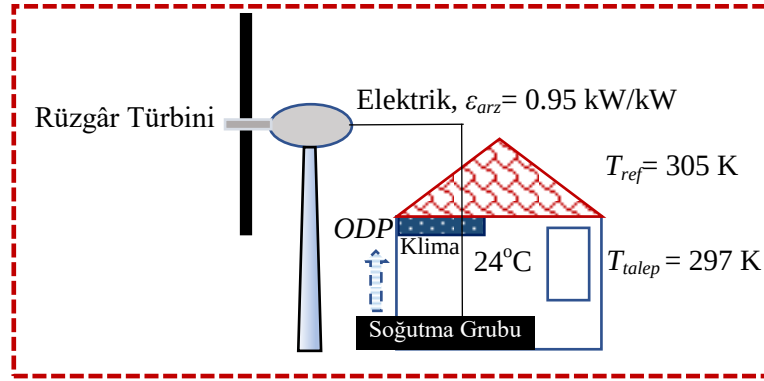
Konfor ısıtması Şekil 4 ve 5 de gösterilen senaryoların aksine yeşil enerji, daha akılcı, yararlı ve ülkeye daha katma değer sağlayabilir uygulamalarda, örneğin elektrikli toplu taşıma, aydınlatma, sanayi uygulamaları gibi elektrikten başka seçenekleri olmayan sektörlerde `elektriği elektrik` olarak kullanan uygulamalar sırasında oluşacak artık ısılar kullanılarak gerçekleştirilebilirdi. Konfor ısıtmasının fosil yakıt dahil birçok seçeneği vardır ve elektrikle ısıtma gerekmezdi. Yenilenebilir enerji kaynaklarından akılcı, verimli ve ekonomik biçimde yararlanılmanın en uygun çözümünü aramak üzere aşağıdaki ekserji-düzeltili tümleşik maliyet formülü geliştirilmiştir [12]. M rüzgâr türbinin veya başka bir güç üreten sistemin satış bedeli (TL), GM cihazın gömülü enerji, malzeme, karbon piyasasındaki gömülü salım maliyeti toplamı, P , cihazın anma gücü (kW) olup KF yıllık kapasite faktörüdür.

$$EDM = \frac{M + GM}{\bar{\psi}_R \times P \times KF \times \eta_T} \quad \{\text{TL/kW}\} \quad (10)$$

Böylece -yenilenebilir olsun veya olmasın- tüm enerji sistemlerinin ekonomi, çevre, enerji ve gömülü maliyetleri birlikte değerlendirilebilmektedir. Şekil 4`deki sistemdeki örnek verilere göre:

$$EDM = \frac{100000 + 80000}{0,041 \times 20 \times 0,90 \times 0,55} = 443458 \text{ TL/kW}$$

Bu hesaplamadan görüldüğü üzere 100000 TL ye satın alınan 20 kW gücündeki bir rüzgâr türbininin ekserji akılcı olmayan ve bir de yıllık kapasite faktörü pek de yüksek olmayan bir yörede uygulanmasının çevreye, ekonomiye, ulusal enerji bilançosuna ve enerji naklindeki verimsizliğe bağlı biçimde ülkeye gerçek maliyeti 443458 TL yani satış fiyatının yaklaşık 4,5 katıdır.



Şekil 5. Rüzgâr Türbininden Elde Edilen Elektrik Gücü ile Konfor Soğutması [9].

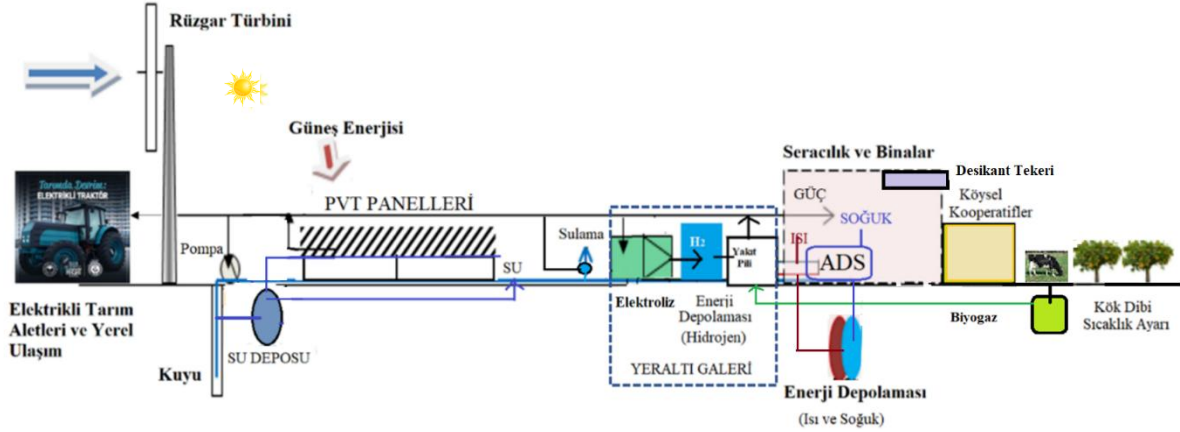
Bu sonuç da göstermektedir ki bir rüzgâr türbini en akılcı biçimde değerlendirilmeli ($\psi_R \rightarrow 1$), gömülü maliyetleri en az olmalı (GM), uygulama yerine yakın olmalı ($\eta_T \rightarrow 1$), yer seçiminde ise çok dikkatli davranılmalıdır (yüksek KF). Hava alanları gibi uygulamalarda rüzgâr türbinlerinin pistlere yakınlığı, yükseklikleri, olası girdap ve elektromanyetik etkilerine karşılık çeşitli kısıtlamalar (FAA Yönergelerine) göz önüne alınarak uzaklığa karşın iletim kayıpları x kapasite faktörü katsayısını yükseltecek bir optimizasyon çalışması daha inşaata başlanılmadan proje aşamasında yapılmalıdır. Güneş enerjisi de benzer kısıtlamalara tabidir. Örneğin, Kanal İstanbul projesi gerçekleşirse, uçakların yaklaşma ve iniş kalkış eksenleri boyunca uzanan 50 kilometrelik durgun su yüzeyinin pilotların gözlerini kamaştırma olasılığına karşı yıl-boyu risk kestirimleri yapılmalı idi [13]. Bu tür çözümler sadece hava trafik güvenliği için değil güneş enerjisi de dahil olmak üzere EDM maliyetini etkiler.

3. UYGULAMA ÖRNEKLERİ

3.1. Vaka Çalışması 1: Çin Devletinin Rüzgâr Enerjisi ile Elektrikli Isıtma Projesi

Bu çalışmada, Çin'de rüzgâr enerjisi ısıtma fikri ele alınmaktadır [9, 14]. Aslında bu fikir yeni değildir [15, 16]. Çin devleti kuzey eyaletlerindeki dağlık ve soğuk iklime sahip yörelerde kışın yerel odun ve linyit kaynakları ile binaların ısıtılmasının yerine CO_2 salımlarının ve hava kirliliğinin azaltılmasına yönelik biçimde yerel rüzgâr türbinleri ile ısıtma projeleri önermiştir (Şekil 4), [9]. Ancak o yörelerde yazın soğutma gereksinimi de olmadığı için rüzgâr türbinlerinin yıllık kapasite faktörleri de düşük olacaktır. Bu tür bir uygulama yerine Şekil 6 da gösterilen köy ölçekli bir tümleşik hidrojen ekonomisi projesi geliştirilmiştir [17]. Bu projede Akılcı Ekserji Verimi, $\bar{\psi}_R$ 0,85'e yükselmekte, toplam CO_2 salımları ise sıfıra yaklaşmaktadır (Gömülü değerler hariç). Rüzgâr türbini aynı türbindir ama projedeki uygulamalar akılcı bir enerji sinerjisini oluşturmaktadır. Rüzgâr türbininden ve

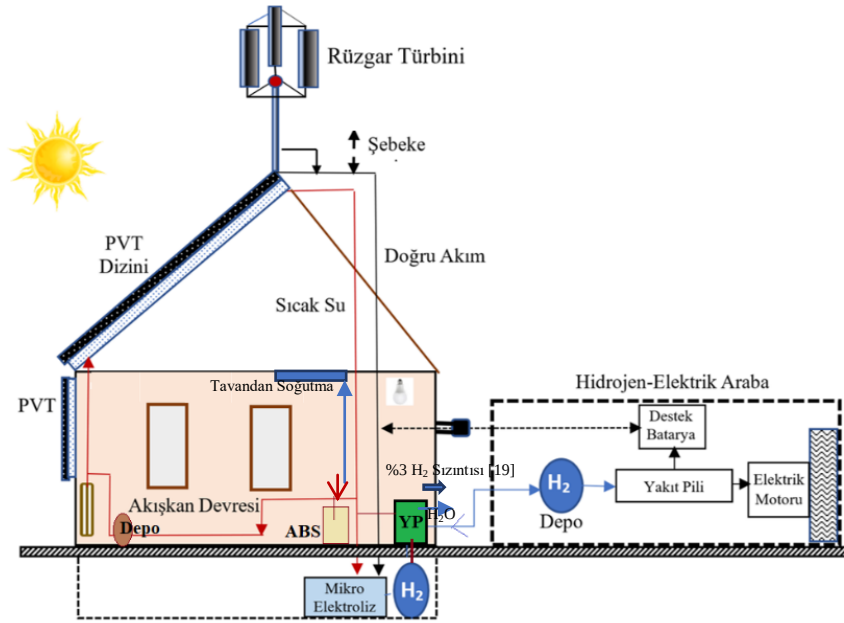
araziden yüksekte konumlandırılan (Tarım arazisinin küçülmesini önlemek üzere) PVT güneş panellerinden elde edilen elektrik gücü yaz aylarındaki tarımı birçok yönden desteklemektedir. Kümülatif biçimde üretilen elektrik gücü ile öncelikle kuyudan su çeken pompa(lar) çalıştırılmaktadır. Suyun bir kısmı ise yeraltı sarnıcında depolanmaktadır. Sulama suyunun bir bölümü önce foto-voltaik-ısı (PVT) panellerin altından geçirilerek ısınarak verimi azalan PV gözeleri soğutulmakta ve verimleri korunmaktadır



Şekil 6. Hidrojen Ekonomisinde Enerji, Su, Tarım, Yapılaşma, Küçük Sanayi ve Çevre Bağı [17].

Bu soğutma işleminde sulama suyunun fazla ısınması otomatik denetimle önlenir. Çok az ısınan su sulamaya verilir ve elektrik gücü aynı zamanda arazideki sulama pompalarında da kullanılır. Elektrik gücü elektrikli traktörlerde ve yerel ulaşım taşıtlarında da kullanılır. Bunların elektrik bataryaları aynı zamanda elektrik enerjisinin depolanması ve gerektiğinde akşam saatlerinde geri kullanılmasında değerlendirilerek ayrıca bataryalı elektrik enerjisinin depolanmasına gerek kalmaz. Elektrik gücü ile suyun arta kalan kısmı ve gerektiğinde depolanan su elektrolize edilerek hidrojen gazı elde edilir. Depolanan hidrojen gazı talebe göre yakıt pillerinde tekrar elektrik gücüne ve ısıya dönüştürülür, su da geri kazanılır. Yaz aylarında sera ve diğer konumlarda gereken soğutma için düşük sıcaklıktaki ısıdan soğuk üreten adsorpsiyonlu soğutma makinesi (ADS) kullanılır. Seralarda nem alımı enerji verimli desikant tekerleri ile gerçekleştirilir ve geleneksel soğutma gruplarında havanın çığ noktasına indirilmesine sonrada tekrar ısıtılmasına gerek kalmaz. Böylelikle önemli enerji tasarrufu sağlanır. Bu sistemler veri merkezlerinde, terminal binalarında da kullanılmaktadır. Tüm cihazlar tarım arazisinin küçülmesini önlemek için yeraltındaki bir galeriye yerleştirilir. Sıcak ve soğuk ayrı tanklarda depolanır. Seralarda kök ısıtması (Gece) ve soğutması (Gündüz) yapılmasının yanı sıra, iklimsel ısınmanın bir neticesi olarak giderek sıklaşan ve etkileri çok artan atmosferik anomalilerden oluşan aşırı sıcak ve soğuklar gibi doğal afetler boyunca meyve ağaçlarının kök diplerinde de ürünleri koruyan ısıtma ve soğutma boruları bulundurulmaktadır. Bu uygulama yurtdışındaki bir tema parkındaki süs ağaçları için başarı ile uygulanmıştır. Köy tipi küçük sanayinin tüm enerji yükleri de sağlanmaktadır. Kışın yaz aylarında hasat edilen ürünlerin hijyenik depolanması, kurutulması, konserve üretimi gibi faaliyetlerle katma değerler arttırılmakta, meyve ağaçları ve sera ürünler kök diplerinden dona karşı korunmaktadır. Hayvancılık ve süt ürünleri sektörü de bu sistemden

yaralanabilmekte ve üretilen biyogaz yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu tür yenilikçi bir proje T.C. Tarım ve Orman Bakanlığına bağlı TARSİM kuruluşuna da sunulmuştur [17]. Şekil 7 konut ölçekli hidrojen ekonomisi görülmektedir. Rüzgâr ve güneş enerjisinden elde edilen elektrik, aydınlatmada, elektrik-elektrik uygulamalarında, hidrojen olarak depolanmasında, yakıt pili (YP) ile tekrar elektrik ve ısı eldesinde, absorpsiyon sistemi (ABS) ile soğutmada kullanılmakta, hidrojen enerjili taşıt ile hidrojen ve elektrik güç takası yapılabilmektedir [18]. Hidrojen gazı sızıntısı %3 olarak kabul edilse bile stratosfer etkisi azdır [19].



Şekil 7. Hidrojen Ekonomisinin Kent-İçi Bireysel Konut Örneği [18].

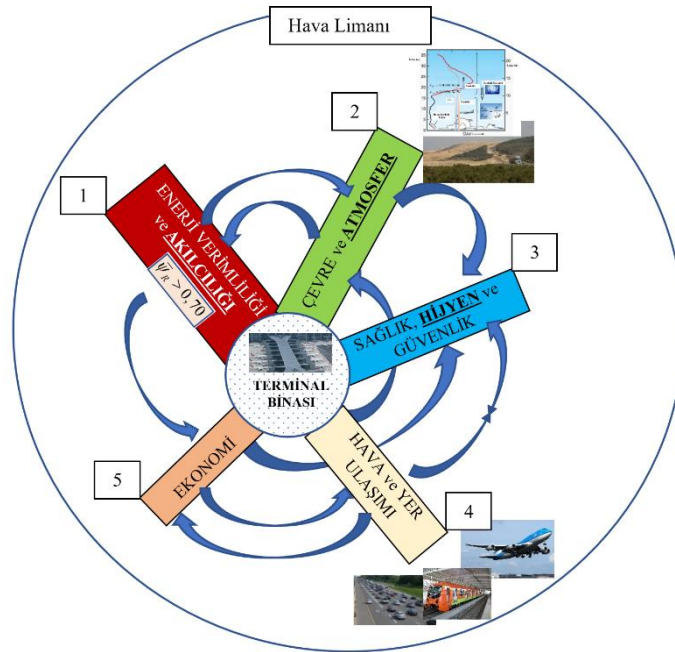
3.2. Vaka Çalışması 2: IGA Hava Limanı Terminal Binası Rüzgârın İki Puanlık Serüveni

Son günlerde, 3. İstanbul IGA havalimanının terminal binasının LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) altın sertifikası aldığı kamuoyuna çok geniş bir PR çalışması ile duyurulmuştur [20]. Her ne kadar orijinal duyurular terminal binası şeklinde ve doğru bir ifade içermekte ise de birçok yayın organı haberi IGA havalimanı altın sertifikası aldı şeklinde duyurmuşlardır. Terminolojideki karmaşa havalimanı mı yoksa terminal binası mı sertifika aldı sorusunu akıllara getirmiştir.

3.2.1. Bir Sürdürülebilir ve Gerçek Yeşil Terminal Binasının Beş Boyutu

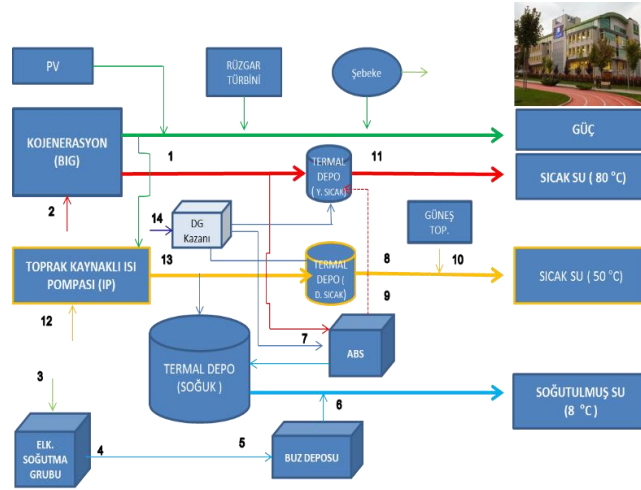
Terminallerin çevre ile olan ilişkileri yeşil bina sertifika programlarında dar bir kapsamda ve tekil bir yapı imajında değerlendirilmektedir. Şekil 8 de ise gerçekten yeşil olması gereken bir terminalin dört ana boyutu görülmektedir. 5ci boyut ise ekonomik boyuttur ve pratikte en ön plana çıkarılarak terminal binaları AVM beklenti ve yapılanmasına dönüştürülmektedir. Birinci ve en önemli olması gereken boyut enerji verimliliği ve bunun da ötesinde, enerjinin katma değer potansiyelinin (Ekserji) akılcı kullanımıdır. Ne yazık ki bu boyut hiçbir yeşil bina sertifikasyonunda yer almamaktadır. Her şeyden önce, Şekil 8 de gösterilen döngü içerisinde bir terminal binası adeta yaşayan bir organizmadır. Terminal binaları da bu bilinçle tasarlanıp bütüncül bir denetim ve değerlendirme algoritması ile

işletiliyor olmalıdır. Yeşil Bina sertifikaları işletimle ilgilenmediğinden derecelendirmeleri anlamsız olmaktadır. Bu boyutta, rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının havalimanındaki ekserji-akılcı ve uygun biçimde değerlendirilmesi de en az bu gibi enerji kaynaklarının genel tüketim içerisindeki payları kadar önemlidir. Bu tespitin tek istisnası TSE Güvenli ve Yeşil Bina Sertifika Belgesidir [21]. İkinci önemli boyut ise çevre ve atmosferdir. Yeşil bina sertifikaları çevre bağlamında bazı değerlendirme puanları oluşturmuş iseler de bir havalimanının gerçek CO₂, su buharı, ozon-zararlı gazlar gibi değişik türdeki salımlarının iklimsel bağlantılarını yeterince değerlendirmemektedir (Şekil 3) [22]. Bu etkileşim artık küresel salgınlarla da iç içe biçimde 3 numaralı sağlık, hijyen ve güvenlik boyutunu da kapsamaktadır.



Şekil 8. Bir Havalimanının Beş Boyutlu Döngüsü.

Dördüncü boyutta terminal binasının kara ulaşımı ile sınırlı kalmamak üzere yer seçiminde uçakların pist ve hava ulaşımındaki enerji, çevre ve güvenlik parametreleri yer alır [23]. IGA terminal binasının LEED değerlendirme çizelgesi (scorecard) [24] incelendiğinde binaya 110 üzerinden 62 puan takdir edilerek altın puan kategorisinin alt sınırına yakın bir noktadan sertifika verildiği anlaşılmaktadır (Altın puan aralığı 60-79). Altın kategorisinin üstünde platin kategorisi bulunmakta olup ilk LEED Platin sertifikasını Türkiye’de 92+4 puanla Ankara’daki Eser Yeşil Binası almıştır [25, 26]. Bu binanın enerji verimliliği, ekserji akılcılığı ve inovasyon kategorilerindeki üstünlükleri Şekil 9’da görülmektedir.



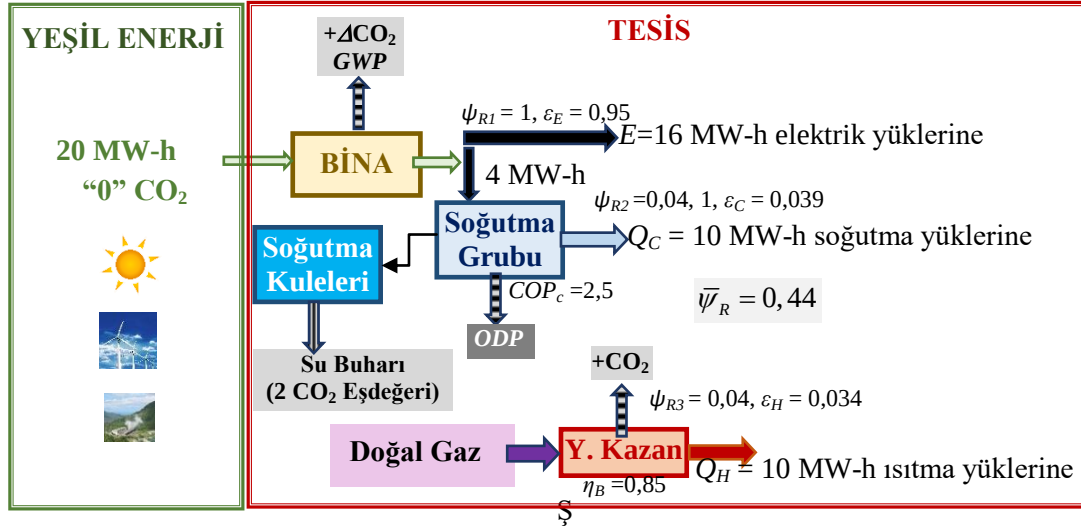
Şekil 9. Eser LEED Platin Ofis Binası Elektromekanik Sistemi [26].

IGA terminalinin scorecardından EAC6 kategorisinde *Yeşil Güç* (green power) maddesinden iki puan aldığı görülmektedir. Bu iki puanın bir yeşil enerji sağlayıcısından en kısa iki yıl süre ile toplam elektrik enerji talebinin en az %35 kadarının enerji miktarı tabanında karşılanması taahhüdü ile kazanıldığı anlaşılmaktadır. Bu puan, toplumun sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelimine örnek bir yaklaşım olarak alkışlanabilmesi için tasarım verilerine göre hangi uygulamalarda ve nasıl değerlendirildiğinin sağlıklı bir kestirim yöntemi ile çevresel ve ulusal enerji bilançomuz boyutunda hava kirliliğine, dolaylı veya dolaysız CO₂ salımlarına ilişkin bütüncül, objektif ve sorgulayıcı kapsamda incelenmesi gerekirdi.

3.2.2. Yeşil Enerjinin Değersizleştirilmesi

Geliştirilen Model önce Şekil 10'da gösterilen ve bütüncül bir yaklaşım içermeksizin sürdürülebilir enerji satın alan bir binayı (Tesis) CO₂-sorumlu kılan referans senaryoyu ele almaktadır. Bu örneğin daha anlaşılır olması için belirli bir süre içerisinde 20 MW-h sürdürülebilir enerji satın alındığı varsayılmaktadır. Bu enerjinin 16 MW-h kısmının tesisin doğrudan aydınlatma ve benzeri elektrik güç taleplerinde tüketildiği, geri kalan 4 MW-h elektrik enerjisinin ise 10 MW-h soğutma (Klima) taleplerini elektrikli ve ortalama soğutma tesir katsayısı (STK, COP_c) 2,5 olan soğutma gruplarına (Çiller) aktarıldığı varsayılmaktadır. Tesisteki birim 10 MW-h ısı ihtiyacı ise yoğunmalı doğal gaz kazanları ile karşılanmaktadır (Şekil 10). Bu senaryoda elektrik enerjisinin 16 MW-h kadarki bölümünün elektrik olarak kullanılmasında şebeke gücü dışında daha akılcı ve çevreci bir seçenek bulunmamaktadır ve tüketimi akılcıdır. Ancak, 4 MW-h elektrik gücü ile 10 MW-h soğutmanın teknolojik alternatifleri bulunmaktadır. Isı taleplerinin de yoğunmalı doğal gaz kazanları ile karşılanması tek seçenek değildir. Bu nedenlerle sürdürülebilir enerjiyi satın almak başka bir olgu, en akılcı ve en iyi seçenekler bağlamında değerlendirilerek çevreye ve ulusal ekonomiye en fazla katkıyı sağlamak bambaşka bir olgudur. “Sıfır” CO₂ salımına sahip yeşil enerjinin böyle bir tesiste sıfır salımdan uzaklaşır ve önemli ölçüde CO₂ salım sorumluluğu oluşur. Eğer tesiste başka bir doğrudan elektrik güç talebi yoksa sağlayıcıdan 16 sadece MW-h enerji talep edilirdi ve 4 MW-h enerjinin daha

yararlı ve katma değerli uygulamalarla değerlendirebilecek müşteriler yönlendirilmesi sağlanabilirdi. Aksi halde Ülkemizin ortalama güç üretim harmanı bağlamında (Termik santrallerin payı kadar) dolaylı ve dolaysız CO₂ salımları ve diğer parçacık salımları ve enerji kayıpları ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle de satın alınan enerji yeşil fakat kullanımı belirli oranda yeşil değildir.



Şekil 10. Referans Senaryo: Yeşil Enerjinin Bir Bina Tesisinde Nasıl Kirlenebileceğine Örnek.

Diğer bir deyişle, rüzgâr enerjisi sıfır karbon salımlı biçimde serüvenine başlayıp, tesise yeşil girmekte ama oldukça fazla CO₂ salım sorumluluğu ile birlikte bu serüven son bulmaktadır. 10 MW-h ısı kapasiteli yoğuşmalı kazanların da elbette CO₂ salım sorumluluğu bulunmaktadır. 4 MW-h elektrik enerjisinin soğutma gruplarında kullanılması ile ozon katmanına zararlı soğutucu gaz sızıntıları CO₂ salımları ile de karşılıklı etkileşim şeklinde bütünleşir. Soğutma kulelerinden atılan (Artık) ısı geri kazanılarak düşük sıcaklık uygulamalarında, örneğin klima sistemlerinin tekrar ısıtma (reheat) işlemlerinde, kışın ısınsal panellerde ve veri merkezlerinin soğutulmasında, pist, apron ve servis yolu rampalarının buzlanmasına karşı kullanılabilir. Ancak, bu tür uygulamalarda gerekli olan ısı değiştiricilerinde kullanılacak pompa ve/veya fanların talep ettikleri elektrik gücünün ekserjisi ile (0,95 kW/kW) elde edilen ısı ekserjisinin karşılaştırması yapılmazsa CO₂ salım sorumlulukları daha fazla olabilir [11, 27]. Görüldüğü üzere, yeşil enerjinin kullanımında bu enerjiyi en akılcı biçimde değerlendirecek cihaz melezleşimi ile enerjinin en uygun talep noktalarına dağıtımı ve en uygun oran ve türlerde paylaşımı çok önemlidir. Yeşil enerjinin tesise girmesinden itibaren çoğulcu tümleşikler değişik enerji dönüştürüm, enerji depolama, enerji iletim ve enerji değerlendirme sistemlerini enuygun işleten denetim mekanizmalarından oluşur. Şekil 10'a ilişkin olarak aşağıdaki toplam CO₂ salım hesabının ilk terimi yoğuşmalı kazanın sorumlu olduğu CO₂ salımıdır. İkinci terim başka seçenekler varken soğutmada kullanılan 4 MW-h elektrik enerjisinin ülkenin enerji arz karışımındaki CO₂ karşılığı (hidro dahil 0,16 kg CO₂/kW-h ve akılcı ekserji referans verimi 0,23'e oranla ve yakıttan prize ülke ortalaması şebeke verimi, η_T : 0,30 alınarak), üçüncü terim soğutma kulelerindeki su kaybının CO₂ eşleniği [28], dördüncü terim soğutucu akışkan sızıntılarının ODP ve F-gaz GWP

temelindeki CO₂ karşılığı, son terim ise soğutma kulesi fan ve pompaların elektrik taleplerinin CO₂ karşılığıdır.

$$\begin{aligned}
 CO_2 &= \frac{0,2 \text{ kg CO}_2/\text{kW-h}}{\eta_B = 0,85} (2-0,06) \times 10000 \text{ kW-h} = 4,6 \text{ ton CO}_2 \\
 &+ \frac{0,16 \text{ kg CO}_2/\text{kW-h}}{\eta_T = 0,30} (2-0,23) \times 4000 \text{ kW-h} = 3,8 \text{ ton CO}_2 \\
 &+ 10000 \text{ kW-h} \times 0,02 \times 2 = 0,4 \text{ ton CO}_2 \\
 &+ 0,06 \text{ ton CO}_2 \\
 &+ \frac{0,3 \text{ kg CO}_2/\text{kW-h}}{\eta_T = 0,30} (2-0,23) \times 500 \text{ kW-h} = 0,88 \text{ ton CO}_2 \\
 \Delta CO_2 &= \left[0,27 \times (0,0452 + 0,85 \{1-0,23\}) \right] \times \frac{10000 \text{ kW-h}}{1000 \text{ kg/ton}} = 1,9 \text{ ton CO}_2 \quad \{\text{Yoğuşmalı kazan için}\} \quad (11) \\
 \sum CO_{2\text{es}} &= 11,6 \text{ ton} \quad \{\text{Şebeke termik santrallere dayalı ise 15 ton}\}, \quad EDR = 1 - (15000 \text{ kg}/36000 \text{ kW-h})/0,63 = 0,34.
 \end{aligned}$$

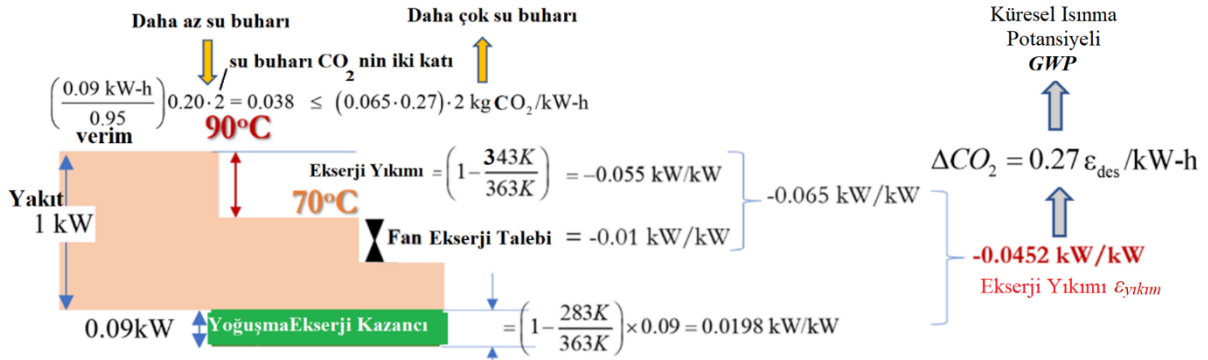
Böylelikle, rüzgâr enerjisinden elde edilen 20 MW-h elektrik enerjisinin toplam CO₂ salım sorumluluğu 15 ton CO₂ değerine ulaşmaktadır. Bu sorumluluk bir ülkedeki enerji arz karışımına da bağlıdır. Örneğin, başka bir ülkede enerji bilançosunda hidroelektrik pay çok düşük ise bu sorumluluk daha da artar. Bu nedenle yeşil bina sertifikasyonunda ülkenin enerji arz kısıtlımı da önemlidir ve değerlendirmelerde göz önünde bulundurulmalıdır.

Geleneksel soğutma gruplarındaki ekserji yıkımının küresel ısınmaya olumsuz katkısı soğutucu akışkan kaçağı eşdeğeri (S_A) olarak da yazılabilir. GWP_{SA} , seçili bir referans soğutucu akışkanın GWP değeridir.

$$S_A = \frac{0,27 \varepsilon_{yıkım}}{GWP_{SA}} \quad \{\text{kg soğutucu akışkan kaçağı eşdeğeri}\} \quad (12)$$

3.2.3. Yoğuşmalı Kazanlar

10 MW-h ısı üreten yoğuşmalı kazanların gizlide kalan CO₂ sorumluluğu da bulunmaktadır: Şekil 11'de görüldüğü gibi, yoğuşmasız bir kazana oranla yaklaşık %9 puan daha verimli olsalar da, çalışma sıcaklığının en yüksek 70°C olabilmesi, yakıtı 90°C'da değerlendirebilen bir yoğuşmasız kazana oranla yakıtta ekserji yıkımına neden olmaktadır. Baca gazından-suya fan ve pompa yüklerinin termik santral bağlamındaki birim ekserji yıkımları da yoğuşmanın birim ekserji kazancından çıkarıldığında (Denklemler 11, ikinci terim) ekserji kazancının eksi olabileceği görülür.



Şekil 11. Yoğuşmalı Bir Doğal Gaz Kazanının Görünmeyen CO_2 Salım ve GWP Sorumlulukları.

Kısacası, rüzgâr enerjisinin Şekil 10 ve Şekil 11'deki gibi tesiste tekil sistemler kullanılarak tüketilmesinin çevresel anlamda hiçbir anlamı kalmamaktadır. Yeşil enerjiyi değerlendirme puanlaması yapılırsa idi böyle bir tesis sıfır puan alırdı. Bu nedenlerle, yeşil enerjinin nasıl kullanıldığını sorgulayıp değerlendirmeyen tüm yeşil bina sertifikaları çok yetersiz, hatta yanıltıcı olabilmektedir.

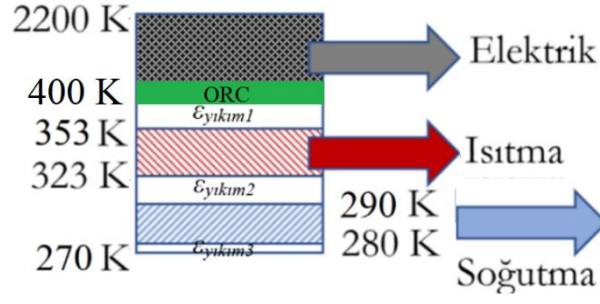
3.2.4. Yeşil Enerjinin Akılcı Değerlendirilmesi

Şekil 12'de 4 MW-h elektrik enerjisinin değersizleştirilmesi yerine tesiste aynı yükler için üçlü üretim sistemi (ÜÜ) uygulansa idi ne olurdu sorusuna cevap verecek üç ayrı senaryo incelenmiştir.

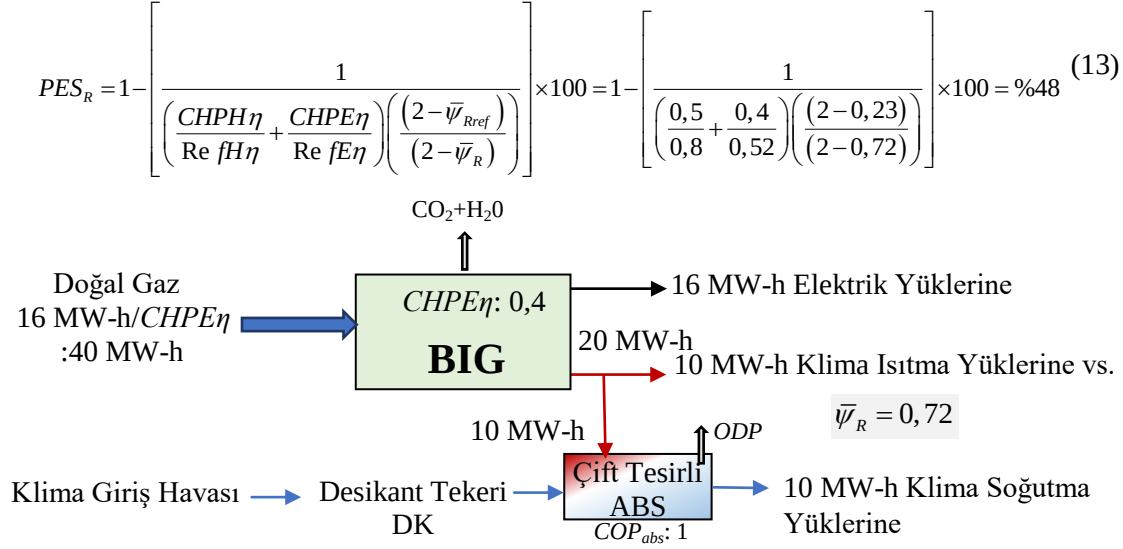
Senaryo 1 (Şekil 12): ÜÜ sistemi 16 MW-h elektrik ve 20 MW-h ısı üretmektedir (Güç-ısı oranı, $C=0,8$). Bu senaryoda rüzgâr enerjisi kullanılmamaktadır. 20-MW-h ısının 10 MW-h'i çift tesirli ($\text{COP}_{\text{abs}}:1$) soğuğa dönüştürülmektedir. BIG motorunun kısmi elektrik üretim verimi, $\text{CHPE}\eta$ 0,4 ve kısmi ısı üretim verimi, $\text{CHPE}\eta$ 0,5 dir. İşletim ve yakıt sıcaklıkları *Akılcı Ekserji Yönetimi Verim Çubuğu* üzerinde (Şekil 13) de gösterilmiştir. 2200K doğal gazın adyabatik alev sıcaklığı, 270K soğutma işlemini de içeren çevre referans sıcaklığıdır. Düşük-ekserjili sistemlerin kullanıldığı bu senaryoda $\bar{\psi}_R$ (Denklem 4) 0,44'den (Şekil 10) 0,72 değerine yükselmektedir:

$$\bar{\psi}_R = 1 - \frac{\left(1 - \frac{353}{400}\right) + \left(1 - \frac{290}{323}\right) + \left(1 - \frac{270}{278}\right)}{\left(1 - \frac{270}{2200}\right)} = 0,72$$

AB 2004/8/EC Yönergesinin yakıt tasarruf teriminin (Primary Energy Savings Ratio) ekserji düzeltili hali olan Denklem 13 uyarınca PES_R +%48 olmaktadır. Bu denklemde 0,5 ve 0,4 kısmi ısı ve elektrik güç üretim verimleri, referans değerleri ise sırası ile 0,80 ve 0,52 olup, $\bar{\psi}_{R\text{ref}}$ 0,23 dür. Yoğuşmalı kazanlarda yakıt tasarrufu bu denkleme göre eksidir ($\text{CHPE}\eta=0$, $\text{CHPH}\eta=\text{RefH}\eta$, $\bar{\psi}_R < \bar{\psi}_{R\text{ref}}$). Klima havasından nem alımı desikant Teker (DK) ile gerçekleştirilerek havanın çığ noktasına soğutulup sonra tekrar ısıtma işlemine gerek kalmamaktadır.



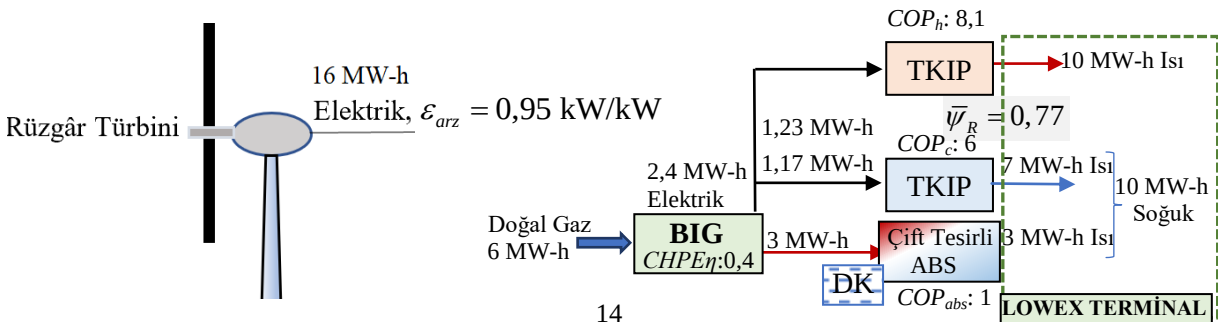
Şekil 12. Organik Rankin Çevrimli (ORC) Üçlü Üretimin Akılcı Ekserji Yönetimi Verim Çubuğu.



Şekil 13. Enerji ve Çevre Sinerji: Doğal Gazlı Üçlü Üretim, Senaryo 1.

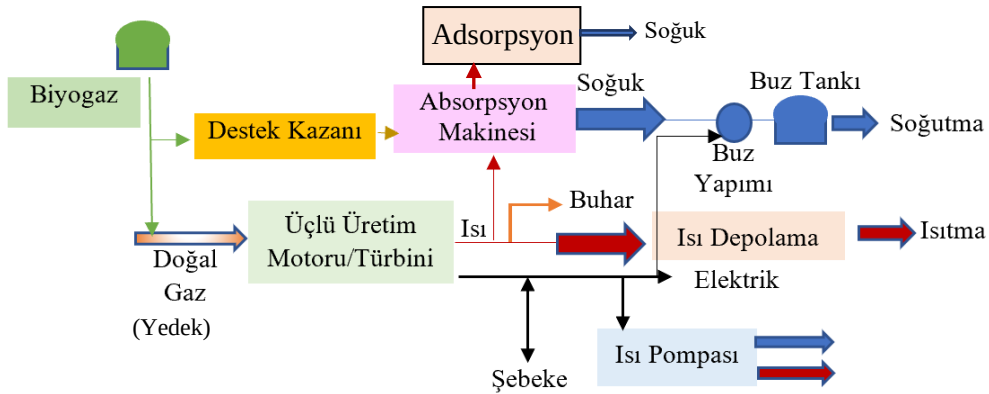
Senaryo 2 (Şekil 14): Bu senaryo 4 MW-h elektrik kapasiteli, doğal gazlı bir üçlü üretim sisteminin toprak-kaynaklı ısı pompaları (TKIP) desteğinde rüzgâr enerjisi ile oluşturduğu yenilikçi bir sinerjidir. 16 MW-h elektrik-elektrik üretimi ve akılcı tüketimi referans senaryoda olduğu gibi rüzgâr enerjisi ile sağlanmaktadır. BIG sistemi ise düşük ekserjili (LOWEX) ısıtma ve soğutma sistemleri ve verimli ısı geri kazanım üniteleri sayesinde yüksek COP_h (8,1) ve COP_c (6) tesir katsayılarına ulaşan ısı pompalarını işletecek olan optimum elektrik gücü kapasitesinde (2,4 MW-h) seçilmiştir. $CHPE\eta$ gene 0,4 kabul edildiğinde doğal gaz tüketimi 6 MW-h olmaktadır. 1,23 kW-h elektrik enerjisi ile çalışan ısı pompası 10 MW-h ısı üretmektedir. Isı pompasından elde edilen 7 MW-h soğuk ile, BIG ünitesinin 3 MW-h ısı çıktısının çift tesirli ABS sisteminde soğuğa çevrilmesi ile 10 MW-h soğuk elde edilmektedir.

Rüzgâr enerjisinin toplam enerji talebine oranı, YEO 16 MW-h/36 MW-h, yani %44 olmaktadır.



Şekil 14. Enerji ve Çevrede Sinerji: Rüzgâr ve BIG Melezi: Senaryo 2.

Senaryo 3 (Şekil 15): Bu senaryo, Senaryo 2'deki rüzgâr enerjili BIG sisteminin aynen korunduğu fakat yerinde üretilen biyogazla doğal gazın ikamesidir. Biyogazlı BIG motorlarının verimi biraz daha düşük olduğundan ($CHPE_{\eta}$: 0,35) yakıt gereksinimi yaklaşık 7 MW-h olmaktadır, ki bu miktarın büyükçe bir havalimanında üretilmesi mümkündür. Doğal gaz ise yedek/tepeleme kaynağı durumundadır. Ayrıca, sistem biraz daha geliştirilmiş ve buhar da üretilmektedir. Üretilen elektrik gücü şebekeye de bağlı olup elektrik enerjisinin depolanmasına gerek duyulmamaktadır. Ayrıca soğuk üretim zincirine ABS sisteminin artık ısısından yararlanan ADS sistemi eklenmiştir. Baz yükleri karşılayan BIG sistemine tepe yükleri karşılamak üzere biyogaz enerjili destek kazanları da eklenmiştir. Sıcak ve soğuk depolama sistemleri etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Bu en güncel şekli ile rüzgâr (ve veya güneş) ve biyogaz enerjili, birlikte ısı ve güç, ABS ve/veya ADS makineleri ile soğuk üretimi sinerjisi, gerçekten yeşil ve sürdürülebilir terminaller için vazgeçilmezdir. Çizelge 1'de referans (En kötü) senaryo ile birlikte yukarıda incelenen üç senaryo mukayese edilmektedir. Rüzgâr enerjisinin kısmen de olsa soğutmada kullanılması ve ısısının da yoğunlaşmalı doğal gaz kazanlarında üretilmesi sonucu Referans Senaryo en fazla CO₂ salımına sahip senaryodur. Rüzgâr enerjisinin kullanılmadığı Senaryo 1 bile bu kadar salım üretmemektedir. Senaryo 3 ise sadece ekserji yıkımlarından oluşan önlenebilir DCO₂ salımlarından sorumludur. Ayrıca, Senaryo 3 en yüksek değerine $\bar{\psi}_R$ sahiptir.



Şekil 15. BIG Sisteminin Yerinde Üretilen Biyogazla Tahriki: Tüm Yenilenebilir Enerji.

Çizelge 1. Referans Senaryo ile Diğer Senaryoların Karşılaştırması.

SENARYOLAR	$\bar{\psi}_R$	ΣCO_2	EDR	PES_R (Yakıt için)	BEO
Referans Senaryo (Şekil 10)	0,44	15 ton	0,34	- %11 ^[1]	0,44
Senaryo 1 (Şekil 12 ve 13) ^[2]	0,72 ^[3]	10,6 ton	0,58	+ %47	-
Senaryo 2 (Şekil 14)	0,77	2,4 ton	0,73	+0,73 ^[4]	0,44
Senaryo 3	0,84	0 + 0,8 ton	0,96	+ %100	1,0

[1] Yoğuşmalı kazan için, ψ_R : 0,04

[2] Rüzgâr enerjisi kullanılmadığından dolayı çevresel etki daha olumlu olsa da yeşil enerji puanını kaybetmektedir.

[3] Şekil 12. [4] Rüzgâr türbininin gömülü yakıt ve enerji değerleri hariç üzere Senaryo 1 ile enerji üretim oranından.

3.2.5. Gerçek Yeşil Terminal Olabilmenin Temel Koşulları

Yukarıdaki vaka çalışmalarına ve Referans Senaryo yanında yenilikçi 3 senaryo hesap ve anlatımlarına göre ortaya çıkan eksiklerin ve avantajların bir gerçek yeşil havalimanı ve terminalinin nasıl ve hangi ölçütlerle değerlendirilmesi gerektiğini göstermiştir. Bu gelenekler-dışı ölçütler aşağıda özetlenmiş ve Çizelge 2`de verilmiştir.

- BIG ve Üçlü Üretim Sistemlerinin ilk seçenek olarak kullanımı,
- Gerekirse ısı pompası teknolojisi ile desteklenmesi,
- Isı Pompalarının *COP* değerinin ısıtmada en az 8 olmasını sağlayacak sistemlerin kurulumu,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı (FAA ve ICAO kuralları dahilinde),
- Atık enerjinin geri kazanımı, depolanması ve akılcı kullanımı,
- Isı geri kazanımları ile soğutma kule ihtiyaçlarının en alt düzeye indirilmesi,
- Atıklardan biyogaz elde edilerek BIG sisteminde yardımcı yakıt olarak kullanılması,
- Yakın çevredeki göl, gölet ve yeraltı suları ile yerleşim bölgeleri ile ısı irtibat kurulumu,
- Düşük ekserji taleplerine sahip (LOWEX) konfor cihazlarının kullanımı,
- Ekserji tabanlı kontrol algoritmalarının geliştirilip uygulanması,
- Havaalanı elektromekanik tesisat ve cihazların toplamında TIER 4 emniyet sistemi,
- $\bar{\psi}_R > 0,70$
- *ODI* Sıfır değerine yakın olmalıdır. *ALT* bir gazın atmosferde kalış süresidir [yıl]

$$ODI = \frac{0,1GWP^{0,03}}{(1-ODP)} \times \left(\frac{ALT}{1} \right)^{0,01} \quad \{ODI < 0,05, ODP < 1\} \quad (14)$$

- Sürdürülebilir Enerji Oranı, *SEO* katsayısının en az %50 olması (Biyogaz dahil),
- Yolcu başına terminal binasında tüketilen ekserji $S > 0,15$ kW-h/terminal yolcusu
- En az elektromanyetik ve akustik etki,
- Emniyet ve en az görünürlük için ısı ve güç sistemlerinin toprak altına yerleştirilmesi
- Küresel salgınlara yüksek direnç. Bu bağlamda yukarıda verilen *S* değerine ilişkin kısıt sosyal alan açısından kaldırılabilir.

Her şeyden önce bir havalimanında düşük ekserjili (LOWEX) sistemler, binalar ve tesisler kurulmalıdır. Bu tarz kurulumlardaki ana tema, enerji ve ekserji ekonomisi bağlamında bir sistemin artık ısısı veya soğğunun diğer bir sistemi besleyecek şekilde kapalı çember oluşturmak olmalıdır. Ülkeler %100 yenilenebilir enerjiye doğru giderken soğutma ve ısıtma sistemleri de daha mutedil sıcaklıklarda yapılmakta, önceden değerlendirmeye alınmayan çok düşük sıcaklıklardaki yenilenebilir ve artık ısı kaynakları ile, örneğin 35°C da ısıtma 17°C de soğutma (Gizli ısılar hariç) yapılmaktadır. Bir havalimanı esas itibarı ile bir kent özelliği taşır ve bu nedenle de tüm tesisler 5.ci nesil bölge enerji sistemleri ile

donatılmalıdır. Bu çerçevede körüğe yanaşan uçakların körük altı klimalar (PCA) yerine aynı bölge enerji sistemlerinden beslenmeleri akılcı olacaktır. Örneğin, Seattle Sea-Tac havalimanı 73 körüğe aynı anda hizmet verebilmektedir. Ancak bir havalimanı sadece yer hizmetleri ve kara tesislerinden ibaret değildir. Havalimanının enuygun yer seçiminden başlayarak hava trafiği ve uçakların yerde, kalkarken ve inerken havalimanı ile ilişkili performansları yanı sıra, transit yolcuların terminalde geçirdiği süreler de enerji verimi ve akılcılığı açılarından önemlidir. Bu kapsamda yeşil bina yerine yeşil havalimanı sertifikasyon sistemleri geliştirilmelidir. Sertifikalar yer-hava-yer bağlamında üç boyutlu bir anlayışa sahip olacağından bölge enerji sistemlerine ilişkin iki boyutlu yeşil sertifikalar da yeterli olmaz. Birçoğu mevcut sertifikalarda olmayan yeni ölçütler sürdürülebilirliği geleneklerin ötesine taşımaktadır (Çizelge 2).

1- Enerji Verimliliği ve Akılcılığı

Çizelge 2. Yüksek Performanslı, Sağlıklı ve Sıfıra-Yakın Karbon Ayakizli Terminal Ölçütleri.

ÖLÇÜT	AÇIKLAMA	KOŞUL	Mevcut Sertifikalar
ψ_R	Akılcı Ekserji Yönetim Verimi	$> 0,70$	x
η	Birinci Yasa Verimi	$> 0,75$	Kısmen
η_{II}	İkinci Yasa Verimi	$> 0,50$	x
PES_R	Ekserji-Tabanlı Fosil Yakıt Tasarruf Oranı	50%	x
BEO	Birincil Enerji Oranı $COP \times \eta$	> 2	Kısmen
SF^1	Isıtma	Pik-Yük Törpüleme Oranı $> 0,3$	x
	Soğutma	Baz Yük/Pik Yük $> 0,4$	
DF	Eş-zamansızlık Oranı (Diversite)	$< 0,2$	x
EDR	CO ₂ Salım Azaltım Oranı	$> 0,70$	Dolaylı olarak
SEO^2	Sürdürülebilir Enerji Oranı	$> 0,50$	Kısmen
$MREX$	Ekserji Düzeltili Nem Alma Etkenliği	$MREX > 3,5$	x
OR^3	Ormansızlaştırma Katsayısı	$< 0,05$	Kısmen
HO	Hijyen Oranı	< 1	x
PMV_{EX}	Ekserji Düzeltili Ortalama Isıl Duyum	$\leq 0,6$	x
IAQ/IAQ_{ref}	İç Hava Kalite Endeksi	$\geq 0,9$	
S	Terminalde birim ekserji tüketimi başına yolcu sayısı	$> 0,15$ [kW-h/yolcu]	x
ε_H	Ekserji Konfor Endeksi	$\leq 2,5$ W/m ²	x
$\Delta CO_2 / \Sigma CO_2$	Önlenebilir CO ₂ Salımlarının Toplam Salıma Oranı	$< 0,40^4$	x
ODI	Tümleşik ozon ve CO ₂ zarar endeksi	$< 0,05$	x
CWI	İklimsel Isınma Endeksi, $CWI = \frac{ODI}{\psi_R}$	$< 0,07$	x
GAR	Yolcunun Terminalde/Havada Tükettiği Ekserji Oranı	$0,01^5$	x
SA	An Küçük Sosyal Alan	$SA > 20m^2/kışı$ [1]	Kısmen ⁶
SAD	Gerçek Zamanda Sosyal Alan Denetimi	Var/Yok Şeklinde	x

¹Yerinde enerji depolaması koşulu ile.

²Yerinde güneş, rüzgâr (FAA kurallarına uygun olmak kaydı ile), jeotermal, yer ısısı, biyogaz Üretimi, vs. (Artık ısı dahil).

³Uzun vadede başka bir bölgede dikilecek fidanlar bu orana dahil edilmez (Denklem 17 ve 18).

Çünkü habitat değişmiştir ve ağaçların kesilmiş olduğu aynı bölgelere veya yakınlarına dikilse bile geri dönüşü olmayan bir çevre zararı oluşmuştur ve tamiri imkansızdır. ⁴ $(1-\psi_{Rref})/(2-\psi_{Rref})$. $\psi_{Rref} = 0,23$.

⁵İlgili havalimanının hizmet sunduğu uçakların ortalama seyahat mesafesine göre [29].

⁶Sosyal mesafe olarak ve tüm bina tipolojilerinde ve açık alanlarda da geçerli olan tek bir sabit değer olarak verilmiştir. Halbuki sosyal alan olarak verilmelidir.

$$SA = (SM + 2A + \sqrt{2}TM)^2 \quad \{\text{Kare kenarlı } m^2\} \quad (15)$$

SM , koşullarla bağlı (Dinamik) sosyal mesafe, TM (Tepki mesafesi) hareket halindeki iki insanın birbirlerinden kaçınmalarına yeterli en küçük (Kare köşeli) mesafedir [1]. Kontuarlarda ve kapılarda sosyal mesafeye uyan kişiler için bu ek mesafe sıfır alınabilir. Terminallerde hızla hareket eden insanlar için bu mesafe oldukça fazladır. A_o çarpanı ve n değişkeninin üssü olan c ve d katsayıları binanın tipolojisine, temel fonksiyonlarına, bina hacmine ve katta kullanılır zemin alanına bağlıdır.

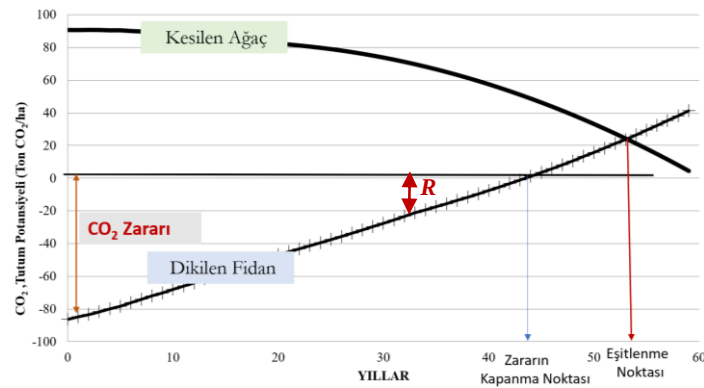
$$SM = A \left(1 + \left[\frac{n}{n_o} \right]^c \right) \quad \{m^2\} \quad (16)$$

$$A = A_o (1 + n^d) \quad (17)$$

n değişkeni anlık gerçek kişi sayısı (kat başına), n_o değişkeni o kat için müsaade edilmiş en fazla kişi kapasitesidir. Denklemlerdeki sabitler gelişmeye açıktır ve içinde bulunulan küresel salgında başrolü oynama potansiyeli olan uluslararası büyük terminallerde öncelikle deneysel ve hesaplamalı akışkanlar mekaniği kestirimleri ile belirlenip uygulanmalıdır.

2- Çevre ve Atmosfer

Bir tesis kurulurken yeterli alana sahip olabilmek adına genelde fazla sayıda yetişkin ağaçlar kesilmektedir. Bir kesilen ağaca 1, 5, veya 10 fidan dikilmesi geleneksel bir şekil almışsa da bu sayılar yeterli olmaz. Şekil 15 de görüldüğü üzere kesilen ağaç ve dikilen fidan türlerine, iklime ve diğer koşullara bağlı kalmak kaydı ile CO_2 salım tutum zararının kapanma noktası 45 ila 50 yılı bulmaktadır. Bu bağlamda geliştirilen ve Denklem 19'da verilen OR ölçütünün 0,05'i geçmemesi arzu edilmelidir. Bu ölçütün amacı birim ormanlık alanda kesilen ağaçların yıllık toplam CO_2 tutum kapasitesinin terminal binasının birim alandaki toplam yıllık CO_2 salımına oranının az olmasını sağlamaktadır. Bu denklemde DF kesilen ağaç sayısı, s kesilen ağaçların ortalama yıllık CO_2 tutumu [$kg CO_2/yıl$], A_F ağaçların kesildiği ormanlık alan [m^2], E_T terminal binasının CO_2 salımlarından sorumlu olan bir yıllık toplam enerji tüketimi [$kW-h$] ve A_T de terminal binasının oturduğu alandır [m^2]. Bu ölçüt ağaç kesimini önlerken yeşil enerjinin artarak kullanılmasını ve akılcı biçimde değerlendirilmesini hedeflemektedir.



Şekil 15. Yetişkin Bir Ağacın Kesiminden Oluşan CO_2 Salım Tutumu Zararının Dikilen Bir Yaşındaki Fidanın Zararı Kapanma ve Eşitleme Noktaları Arasında Geçen Süreler (Yıl) [13].

$$OR = \frac{(DF \times s) / A_f}{(\sum CO_2 \times E_T) / A_T} \quad \{<0,05\} \quad (18)$$

Eşitlik 19 dikilen fidan sayısının kesilen ağaç sayısına olan oranı, N 'ye göre CO_2 salım tutumundaki zararı verir ve müsaade edilen bir CO_2 tutum kayıp oranına (R) göre kaç adet fidan dikilmesi gerektiğini gösterir. Ağaç kesimi sonucu karbon zararının %5 ile sınırlandırılması ($R = 0,05$) için ekilmesi gerekli fidan sayısı, paydasındaki 1 sayısı ihmal edildiğinde Eşitlik 20'den bulunur ($m \sim 1,8$).

$$\delta CO_2 = c \left(\frac{1}{N+1} \right)^m \quad (19)$$

$$N = \left(\sqrt[m]{\frac{100}{0,01+R}} + 5 \right) \times 1,2 = 80 \text{ fidan/kesilen ağaç} \quad \{\%5 \text{ } CO_2 \text{ zararını aşmamak için, } R = 0,05\} \quad (20)$$

1,2 çarpanı dikilen fidanların fire katsayısıdır. 5 sayısı %100 CO_2 salım tutum zararına müsaade edilse bile dikilmesi gerekli en az fidan sayısıdır. Bu sayı, ağaç kesimi ve fidan dikimi sırasındaki gömülü CO_2 salımlarına ilişkindir. Yaklaşık 1 milyon ağacın kesildiği varsayılırsa ve en fazla 10 milyon fidan hemen dikilecekse bile ($N:10$) kesim öncesi ağaçlık alanların CO_2 salım yutumunda %220 azalma olacağı anlaşılmaktadır. Bu oranın %5 olması için 10 milyon değil 82 milyon ağaç dikilmesi gerekmektedir. Yeşil terminal sertifikasyonunda -eğer sertifika sadece terminal binasına veriliyorsa-terminal, apron, uçak park alanları ve bağlantı pistleri (ana pistler hariç) toplam alanının tüm havalimanı alanına oranı kadar zarar payının bu hesaba göre yeşil bina puanlamasından belirli bir katsayı ile düşülmesi gerekir.

3- Sağlık, Hijyen ve Güvenlik

Hava kalitesinin sürekli denetimi ve gerektiğinde binaların alarm durumunda kısmen veya tamamen boşaltılması gerekir. Salgın süresi boyunca daha etkili ve emniyetli olabilecek müsaade edilebilir üst sınırlar aşağıda önerilmekte olup tüm cihazların bu değerlere göre seçilmeleri arzu edilir. Bundan böyle mimarlar binaları tasarlarken bulaş risklerini -özellikle hava limanlarında- ön planda tutmalı, kat yüksekliği ne çok fazla ne de az olmalıdır ve minimum risk için bir enuygun yükseklik hesaplanmalıdır.

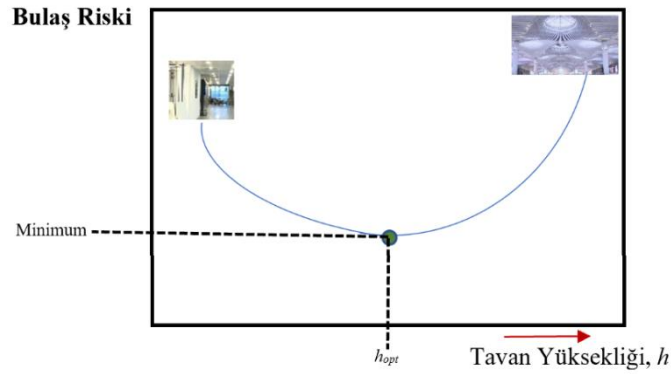
Çizelge 4. Yolcuların (Uçak Tahir ve İptallerinde) ve Çalışanların Terminalde En Fazla Sürekli Olarak

24 Saat Kalabilmelerinin Emniyet Sınırlarına Öneriler.

Parçacık	Ölçüm Üst Sınır Koşul Önerisi
CO	<310 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
P _{2,5}	< 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
P ₁₀	< 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
(NO+NO ₂)	< 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CO ₂	<120 ppm
HO*	< 1

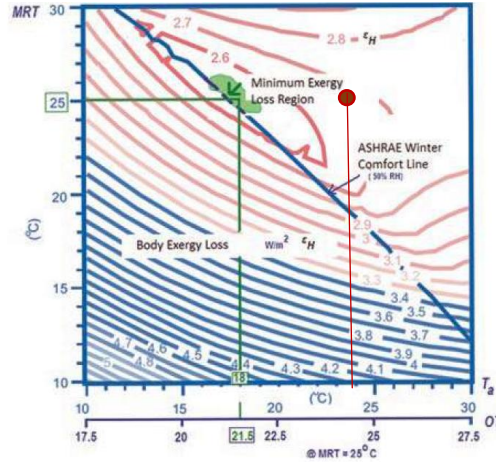
*Bu çizelge değerlerinin tek tek koşullara sürekli uyum sağlamasının yanı sıra HO değerinin de sürekli olarak kendi üst sınır koşulunu topluca sağlaması önerilmektedir.

$$HO = [CO + (NO + NO_2) + P_{2,5} + P_{10}] / 500 < 1 \quad (21)$$



Şekil 16. En Az Bulaş Riski için Enuygun (Optimum) Tavan Yüksekliği [1].

Bu kadar değişken varken Covid-19 salgınına karşı aldığımız artçı önlemler kapsamında, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığının “Havalimanı Pandemi Sertifikası” programını geliştirmesi ve 1 Haziran 2020 itibarı ile uygulamaya başlaması ciddiyle ele alınmış ve yararlı bir başlangıç olabilir fakat geliştirilmelidir ki (Çizelge 4), politik nedenlerle EASA’nın (European Union Aviation Safety Agency) Türkiye’deki tüm havalimanlarını kara listeye alma cüretine hiçbir açık kapı bırakılmasın ve havacılık sektörümüz, yolcular ve ekonomimiz haksız yere zarar görmesin. Bu makalede altı çizildiği gibi en yüksek iç hava kalitesi ve en az bulaş riskleri ön plandadır ve bu bağlamda uçucu organik bileşiklere (OVC) karşı iç mekân malzemeleri (mermer, taş yünü, sunta, mobilya, kaplamalar vs.) de yerli ve milli yeşil sertifikalı olmalıdır. Hatta doğal mermer gibi malzemelerin radyoaktivite düzeyi de önemsenmelidir [21]. Kuru termometre hava sıcaklığı (T_a) yerine operatif sıcaklığa (OT) dayalı iklimlendirme yönetimi genelde stresli olan ve acele ile koşuşturan yolcuların ısıl konforunu daha iyi düzenler. Şekil 17 de görüldüğü üzere bunun koşulu vücuttan en az ekserji kaybıdır. T_a sıcaklığı yaklaşık MRT (ortalama ışımsal sıcaklık glob termometre) ve OT sıcaklıklarının aritmetik ortalaması olup, Şekil 17 ye göre en az ekserji kaybı olan $\epsilon_H = 2,5 \text{ W/m}^2$ konfor sahası içerisinde kalmak üzere MRT 25°C , T_a 18°C ve OT değeri de $21,5^\circ\text{C}$ olmalıdır. Eğer iç mekân sıcaklığı kışın 24°C seçilirse MRT değeri aynı kalmak kaydı ile insanlardan yaklaşık $0,2 \text{ W/m}^2$ kadar daha ekserji kaybı olur ($\epsilon_H = 2,7 / \text{m}^2$). İç hava sıcaklığı arttırıldığı için ısıtma yükleri de artar.



Şekil 17. İnsan Konforu İçin Ekserji Tabanlı Konfor Diyagramı [30].



Şekil 18. Bangkok Terminal Binası: Dünyanın En Büyük Işınım Isıtma Sistemi [30].

Özellikle büyük mekanlarda en hassas OT ve nem denetiminin bu tür sistemlerle gerçekleşmesi ile hissedilir yüklerin azalması ve küçülen kanalların gümüş iyon kaplama ve uzak UV (Far UVC:207-222 nm) ile sterilizasyonu, daha etkin ve ekonomik biçimde mümkün olur, fan güç gereksinimleri azalır [31-33]. Ekserji düzeltili ortalama ısıl duyumu (PMV_{ex}), ısınımsal ısı yüklerinin toplam hissedilir yüke oranı, PR , iç hava kalitesinin (IAQ) referans değerine ($IAQ_{ref}:100$) oranı ve a , b , c ölçeklerine bağlıdır:

$$PMV_{EX} = PMV + a |0,6 - PR|^2 + b \varepsilon_H + c \left(\frac{IAQ_{ref}}{IAQ} \right) \leq 0,6 \quad (22)$$

4- Hava ve Kara Ulaşımı

Her ne kadar yolcuların terminallerde geçirdiği ortalama sürelerde neden oldukları salımlar yolculuk sırasında neden oldukları salımlar içerisinde küçük bir paya sahip olsalar da bu pay terminal binalarının yeşil sertifika değerlendirmelerinde gerekli bir ölçüttür. Bu ölçütün de ekserji kırımlı biçimde yapılması gerektiği olgu Çizelge 3 de örneklenmektedir. İdeal Karno çevrimi tabanında değişik ekserjilere sahip enerji türleri, örneğin elektrik (0,95 kW/kW), buhar (0,80 kW/kW), 90°C ısı (283 K referans sıcaklığında 0,22 kW/kW), 60°C ısı (0,15 kW/kW), 45°C döşemeden ısıtma ısısı (0,11 kW/kW), 7°C klima soğuğu (303 K referans sıcaklığında 0,08 kW/kW), 18°C soğutulmuş giriş soğuğu (0,04 kW/kW) gibi kırımlar bir terminal binasında tanımlanmalıdır. Örneğin, terminal binasında yolcu başına enerji tüketimi, E_p değerleri (10 kW-h/yolcu-yıl) şeklinde eşit olan iki ayrı havaalanındaki (A ve B) terminallerin ekserji kırımları Çizelge 3'de gösterildiği gibidir. Görüldüğü üzere, literatürdeki tanıma göre E_p değeri eşit olması nedeni ile aynı enerji performansına sahip gibi

gözükten A ve B terminal binalarının çevresel performansı tükettikleri enerjinin niteliksel ve niceliksel yönlerden akılcı kullanımı ve paylaşımı, düşük ekserjili sistemlerin kullanımı gibi farklılıkları nedeni ile ekserji-düzeltili E_{XP} değeri B terminali için 5,3, A terminal için 28,2`dir. Bu farkın temel nedeni ekserjinin akılcı yönetimini gösterir ψ_R değerinin A terminalinde 0,15 ve B terminalinde 0,65 gibi çok farklı olmasıdır.

Çizelge 3. İki Değişik Havaalanı Terminal Binalarında Ekserji Kırılımı. $E_p = 10$ kW-h/yolcu-yıl.

Hava Alanı	Parametre	Terminal Binaları Enerji Kırılımı kW-h/yolcu-yıl							E_p	E_{XP}
		Elektrik	Buhar	90°C Isı	60°C Isı	45°C Isı	7°C Soğuk	18°C Soğuk		
A $\psi_R=0.15$	E_{pi}	3	0.5	2.5	1.5	-	2.5	-	10	28.2
	ε_i	0.95	0.80	0.22	0.15	0.11	0.08	0.04		
B $\psi_R=0.65$	E_{pi}	2.5	0.5	-	1.5	3	0.5	2	10	5.3
	ε_i	0.95	0.80	0.22	0.15	0.11	0.08	0.04		

Literatürdeki E_p değeri de yeni bir yaklaşımla ve REMM Modeli uyarınca birim $\Sigma CO_2 = 1$ kg CO_2 salım karşılığında terminalde kaç yolcunun ağırlandığını belirleyen S ölçütüne dönüştürülmüştür.

$$S = \frac{1}{\Sigma CO_2} = [E_p \{a(2 - \psi_R) + b\}]^{-1} \quad (23)$$

Ekserji akılcılığı az bir terminalde ($E_p = 10$, $\psi_R = 0.15$), a ve b katsayıları sırası ile 0,07 ve 0,67 ise S değeri sadece 0.125 yolcu/kg CO_2 olur. Bunun anlamı, söz konusu terminalde atmosfere salınan toplam (önlenebilir ve doğrudan salım olarak) her bir kg CO_2 gazı karşılığında terminalde her bir yolcunun geçirdiği ortalama bir süre içerisinde 8 kg CO_2 salınmaktadır ($1/S$). B terminalinde ise bu miktar 7,6 kg CO_2 dir. Yılda 1 milyon yolcu için bu küçük gözükten fark 600 ton CO_2 /yıl salıma eşdeğerdir. A ve B terminalleri arasındaki bu fark, E_{XP} değerlerinin arasındaki (28,2-5,3) kW-h/10 kW-h = 2,29 kW-h/kW-h birim ekserji yıkımına bağlı önlenebilir CO_2 hesabında da (Denklem 8) ortaya çıkmaktadır:

$$1000000 \text{ yolcu-yıl} / 1000 \text{ kg/ton} \times 0,27 \times 2,29 \text{ kW-h/kW-h} = 618 \text{ ton.}$$

Enuygun konum seçiminde havalimanına varsa mevcut bağlantı yolları ve metro ulaşımı kadar uçakların ulusal ve uluslararası hava trafik, yönerge, anlaşma ve izinlerine bağlı iniş kalkış rotaları, uçakların yerde ve havada tükettikleri yakıt ve salımları, baskın rüzgâr yönleri hatta kuş göç yolları da önemlidir. Bu gibi faktörlere bağlı olarak enuygun konuma ulaşım için yeni metro ve otoyol bağlantıları gerekiyorsa bu yatırımların en son kentsel istasyon veya otoyol ağzından havalimanına kadar olan özel ulaşım bölümleri oranındaki yatırım maliyetleri, gömülü ve işletim sırasında ek salım sorumlulukları puanlamada yer almalıdır. IGA havalimanının konum itibarı ile olası deniz ulaşımı ise artı puan alabilirdi. Bu değerlendirme yapılmamış fakat bisiklet parkı için puan verilmiştir. Hava alanlarında genellikle terminal binasının ana yollarında bisikletle ulaşım mümkün değildir.

5- Ekonomi

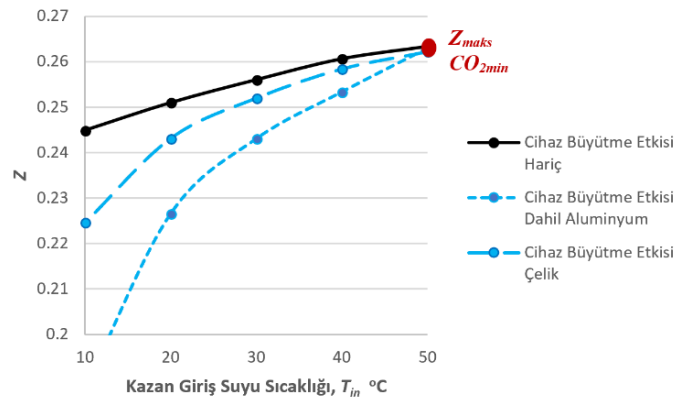
Bir havalimanının değerlendirmesinde ekonomik çıkar ve beklentiler artık en önemsiz ölçüt durumuna gelmiştir. Bir havalimanı öncelikle ilk 4 maddeye (Şekil 13) dikkat etmelidir. Bununla birlikte eğer ekonomiklik değerlendirilecekse AVM tipi finans kurallarından önce çevre ve atmosfer, iç hava kalitesi,

enerji verimliliği ve enerji akılcılığı, salgın riskinin en aza indirgenmesi, gömülü maliyetler gibi parametreler bir arada yorumlanmalıdır. Bu bağlamda öncelikle EGM (Denklem 10) ve PES_R (Denklem 20) ölçütleri kullanılmalıdır. PES_R fosil yakıtlar kullanılıyorsa ekserji düzeltili yakıt tasarrufunu ifade eder. İyi tasarlanmış bir üçlü üretim sisteminde bu tasarruf %40 değerini aşabilir (Senaryo 1).

3.2.5. Yeşil Binalarda Doğru Bilinen Temel Yanlışlar

3.2.5.1. *Yeşil enerjinin tesiste nasıl kullanılacağı önemli değildir.* Bu varsayım önceki bölümlerde incelendiği üzere (Rüzgâr-elektrikle ısıtma, Sekil 4) doğru değildir.

3.2.5.2. *Yoğuşmalı kazanlar çok çevrecidir.* Aksine, bir yoğuşmalı kazanın en az (CO_{2min}) salım sorumluluğu için verimin en yüksek, kazan giriş sıcaklığının da en az olması gerekmez. Bu koşul Şekil 19'da görüldüğü gibi kazan girişinin çığ noktasına çok yakın olmasını gerektirir. Z katsayısı kazan veriminin giriş sıcaklığı ile değişimine, elektrik gücünün sağlandığı toplam verime, çevre referans ve talep sıcaklıklarına bağlıdır. $c_{üld}$ yakıtın üst ısı değerine göre hesaplanmış birim CO_2 içeriğidir.



Şekil 19. Kazan Giriş Suyu Sıcaklığına Göre Z Katsayısının Değişimi [34].

$$CO_2 = \frac{c_{üld}}{Z} \quad (24)$$

Kazan veriminin artması için kazan giriş sıcaklığı azaltılırsa alüminyum ve çelik radyatörler için gösterildiği gibi bu kez ısıtıcıların büyütülmesi gerekir ve CO_2 salımları daha çok artar.

3.2.5.3. *Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri çok pahalıdır.* Aslında ithalata dayalı olsalar da ithal edilen doğal gazla ödenen dövize karşılık 2 ila 3 yıl içerisinde geri ödenebilmektedirler [30].

3.2.4.4. Tasarım ve işletmede 1.Yasa yeterlidir. Tam tersine yenilenebilir ve artık enerji kaynaklarının daha çok kullanılmasına ilişkin avantajlar ancak 2. Yasa ile anlaşılabilir.

3.2.5.5. *Isı pompaları çok yararlıdır.* Bugünün teknolojisinde çoğu zaman değildir [35]. Aşağıdaki eşitlikler bir toprak kaynaklı ısı pompasının ısıtmadaki en fazla performansı (HPF), kaynak sıcaklığı T_k ya oranla arz edebileceği sıcaklık, T_{arz} yanı sıra, ısıtma gidiş ve dönüş sıcaklıkları ile oldukça sınırlıdır. a ve b sabitleri ısı pompasının doğrusallaştırılmış COP eğrisine ilişkindir.

$$HPF = \frac{COP \cdot \varepsilon_{arz}}{0,95} = \left(\frac{COP}{0,95} \right) \left(1 - \frac{T_{dönüş}}{T_{gidiş}} \right) \quad (25)$$

$$T_{arz} = \sqrt{\left[\left(\frac{a}{b} \right) + T_k \right] T_k} \quad (26)$$

$$T_{gidiş} = T_{dönüş} \left(\frac{a}{2b} \right) \quad (27)$$

3.2.5.6. *Havadan-Havaya ısı geri kazanımı çok verimli ve ekonomiktir.* Bu tür cihazlar sektörde çok ekonomik, kendini çok çabuk geri ödeyebilen, CO₂ salımlarında önemli azaltım sağlayabilen ve tesir katsayıları çok yüksek ($COP > 10$) çevre ve enerji dostu sistemler olarak bilinmektedir. Bu avantajlar aslında sadece Termodinamiğin 1. Yasasına göredir ve sürecin arka planı hiçbir zaman anlatılmaz ve bilinmez. Aslında, havadan-havaya ısı geri kazanım cihazlarında kullanılan tüm pompa ve fan güçlerinin tükettiği ilave elektrik gücünün (P , ε_p : 0,95 kW/kW) ε_Q birim ekserji kazanımı ile geri kazanılan ısıl gücün (Q_G) birim ekserjiler arasındaki ters orantıyı aşmamalıdır. Örneğin, kışın 283K sıcaklığındaki dış hava ısı geri kazanımı ile iç mekâna 300K sıcaklıkta veriliyorsa pompa ve fan güçlerinin toplam elektrik güç talebi elde edilen ısıl gücün %6 değerini aşmamalıdır. Bu oran aşılsa ısı geri kazanım cihazının COP değeri 15 bile olsa ekserji tabanlı tesir katsayısı ($COPEX$) bir değerinden küçük olur ve bu oranda önlenebilir ΔCO_2 salımlarından sorumlu olur.

$$\frac{P}{Q} < \frac{\varepsilon_Q}{\varepsilon_p} = \frac{\left(1 - \frac{283K}{300K} \right) \text{kW/kW}}{0,95 \text{kW/kW}} = 0,06 \quad (28)$$

$$COPEX = COP \times \left(\frac{\varepsilon_Q}{\varepsilon_p} \right) = 15 \times \frac{\left(1 - \frac{283}{300} \right)}{0,95} = 0,895 < 1: \quad (29)$$

$$\Delta CO_2 = 0,27(1 - ww \quad EX)Q_G \quad \{ \text{Isı geri kazanımında } P \text{ } \varepsilon_Q \} \quad (30)$$

Bu örnekte, birim kW ısı geri kazanımı, Q_G ye karşılık gelen ΔCO_2 değeri 0,028 kg CO₂ dir. Eğer ısı geri kazanımı satın alınan rüzgâr enerjisi ile gerçekleştiriliyorsa ve tesise kadar sıfır CO₂ salımla geldiği öne sürülse bile söz konusu `yeşil enerjinin` ısı geri kazanımında kullanılmasının ekserji akılcılığı da sorgulanmalıdır. Bu tür çok basit tasarım ve işletim hesaplarına ve puanlamaya yer verilmediğinden termodinamiğin ikinci yasasına göre mevcut yeşil bina sertifikalarının hiçbir anlamı kalmaz.

3.2.5.7. *Enerji Depolaması ekonomik değildir ve gereksizdir.* Enerji depolaması tepe yüklerin törpülenmesinden de öte üçlü üretim sistemlerinin akılcı kullanımına yönelik olarak ısıtma ve soğutma yüklerinin tepe noktaları arasına zaman farkı oluşturmak ve cihazların daha küçük kapasitelerde seçimini sağlamak üzere çok gereklidir.

3.2.5.8. *Rüzgâr ve güneş enerji santralleri uygun olan her yerde kurulabilir.* Federal Aviation Administration (FAA) havalimanı yakınlarına rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinin kurulumuna kısıtlar getirmiştir. Dolayısı ile, havalimanı yer seçiminde, yapılacak havalimanına yakın noktalarda

bu gibi sistemler önceden bulunuyorsa bu tesislerin sökülüp yer değiştirme masrafları ile yer değiştirirken uğrılacak enerji üretim ve ilgili CO₂ salım yutum kayıpları puanlamada (-) olarak belirli oranlarda göz önünde tutulmalıdır. Örneğin, IGA havaalanına çok yakın 12 adet ve her biri yerinde 2 MW elektrik üretim tasarım gücüne sahip rüzgar türbinlerinin sökülmesi, taşınması, tekrar kurulup tam kapasite ile işletmeye alınma süresi 5 ay olarak tahmin edilse ve taşınılan yöredeki kapasite faktörünün (KP) en az 0,3 değerinde aynı kalacağı kabul edilse bile ulusal ekonomiye toplam mali zararın ötesinde yaklaşık 25,9 x 10⁶ kW-h enerji kaybı (yaklaşık 23,3 Milyon TL gelir kaybı) ve yaklaşık 10,000 ton CO₂ salım tutumundan zarar oluşacaktır. (Verimi 0,52 olan doğal gazlı termik santral bazında). Eğer havalimanı inşası rüzgâr türbinlerine biraz daha uzakta olabilseydi bu kayıplar olmayacağı gibi yerinde yeşil enerji üretim kategorisinden ve Senaryo 3'deki 7 MW-h üçlü üretim sisteminin yakıtı atıklarından üretilen biyogazla karşılanmasından [37] yerinde yeşil enerji puanları kazanılabilirdi.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Görünen odur ki, bina ve tesisin tümü akılcı ve çevreci kurgulanıp işletilmedikçe yeşil enerjinin başına büyük sorunlar yüklenmektedir. Yeşil elektrik, elektrik enerjisinden başka seçenekleri olmayan birincil taleplerde değerlendirilmelidir. Konuya IGA terminali özelinde bakıldığında bu tür tesisler yüksek verimli, yeşil LEED sertifikalı olsalar dahi kamuoyunda mevcut bilgiler dahilinde, klima, konfor, sıcak su, buhar, diğer soğutma gibi sistemler, temel teknolojileri tarihi eskilere dayanan geleneksel sistemlerle işletiliyor olabilmektedirler [36]. Örneğin, soğutma tepe (pik) yükleri törpüleyecek bir soğuk depolama sistemi yoktur. Soğutma, elektrikle çalışan soğutma grupları yerine daha akılcı olan absorpsiyon ve/veya adsorpsiyonlu makinelerde birlikte ısı ve güç üretiminin sunduğu ısı ile gerçekleştirilse bile, ısının soğuğa dönüştürülmesinde ekserji yıkımları oluşmaktadır. Bu nedenle ısı, mümkün olduğunca, elektrik enerjisinde olduğu gibi ısı-ısı uygulamalarında değerlendirilmelidir. Pik ısı ve soğuk yüklerinin zaman kaydırması ile ısı talebi az olduğu zamanlarda depolanan ısıdan soğuk üretilirse ekserji kayıpları azaltılır. Bu nedenle, buzda veya suda enerji depolaması kaçınılmazdır. Diğer avantajlar ise ısı ve soğuk pik yüklerinin törpülenmesi ile cihazlar baz yüke göre seçilebilmesi ile yatırım ve işletme maliyetlerinin azalması, verimlerin yükselmesidir. Yenilikçi birçok sistem, yeşil enerji kaynakları dahil her türlü enerji kaynağını sadece verimli değil daha akılcı kullanan, çevreyi çok daha az kirleten sistemlerle tümleşik üçlü üretim sistemleri birçok terminalde standart sistemler olarak kullanılmaktadır. (Çizelge 5).

Çizelge 5. Kojenerasyon/Trijenerasyon Sistemi Bulunan Hava Alanlarının Kısa Listesi.

BÖLGE	Kojenerasyon/Trijenerasyon Sistemine Sahip Uluslararası Hava Alanları	
	Ülke	Havaalanları
Kuzey Amerika	ABD	Atlanta, JFK, Chicago-O Hare, LAX, Rochester, Washington-Dulles, Houston, San Fransisco, Pittsburg, John Wayne, Seattle, Sacramento, Connecticut-Bradley
	Kanada	Toronto, Edmonton
	Madrid	Barajas

Avrupa	Hollanda	Amsterdam-Schiphol
	Almanya	Frankfurt, Munich, Düsseldorf, Köln/Bonn
	İtalya	Milano, Roma Fiumicino, Malpensa, Bari (Biyoyakıtlı)
	İngiltere	Heathrow
	İskoçya	Dublin
	İspanya	Madrid-Barajas
	İsveç	Arlanda
	Türkiye	Atatürk, Sabiha Gökçen, Antalya, Esenboğa
	Avusturya	Salzburg
	Belçika	Brüksel
	Yugoslavya	Belgrad
	Yunanistan	Atina
	İzlanda	Kevflavik
	Danimarka	Copenhagen
Asya	Çin	Şangay-Pudong, Pekin-Daxing, Gansu-Lanzhou
	Japonya	Tokyo-TIAT, Narita
	Güney Kore	Incheon
	Tayland	Suvarnabhumi
	Hong Kong	Hong Kong International
	İsrail	Ben Gurion
	BAE	Dubai
	Malezya	Kuala Lumpur
Avustralya	Avustralya	Adeladia, Sydney, Perth
Afrika	Kenya	Jomo Kenyatta

5. KAYNAKÇA

- [1] Kılış, B. 2020. Küresel Salgının Hatırlattıkları, İklimsel Isınma ve Klima Sistemleri, *Tesisat Mühendisliği*, MMO İstanbul Şubesi, Sayı 177. <<https://www.mmo.org.tr/yayin-turu/tesisat-muhendisligi-dergisi>>
- [2] Kılış, B. 2020. Küresel Ekonomide Küresel Salgınlar, İklimsel Isınma ve Atmosfer, *BRİQ Dergisi*, Haziran Sayısı (Basım sürecinde).
- [3] Anice C Lowen, A., Samira Mubareka, S., Steel, J. and Palese, P. 2007. Influenza Virus Transmission is Dependent on Relative Humidity and Temperature, *PLoS Pathog*, Vol. 3 (10), 2007 Oct., PMC2034399, <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2034399/>> En son ziyaret: 14.05.2020.
- [4] <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3457514/>> En son ziyaret: 14.05.2020.
- [5] <<https://h2omachine.com/humidity-maps/#single/0>> En son ziyaret: 14.05.2020.
- [6] Etherington, C. 2020. High-rise Urban Living and Covid-19: What are the Risks and Can we Design Pandemic-Proof Buildings, *CITYREALTY*, April 9, 2020. <<https://www.cityrealty.com/nyc/market-insight/features/future-nyc/high-rise-urban-living-covid-19-what-risks-can-we-design-pandemic-proof-buildings/43581>> En son ziyaret: 9.06.2020.
- [7] <<http://links.mail-link.turkishairlines.com/servlet/MailView?ms=NDI1OTkzOTkS1&r=NDEyNjU0Njk0MzYzS0&j=MTc2MjcwODMzMwS2&mt=1&rt=0>> En son ziyaret: 9.06.2020.
- [8] Kilkis, B. 2020. Barriers, Solution, and Metrics for 100% Renewable Cities, Special Report to ETIP RHC Meeting, 2 March 2020, Brussels

- [9] Kilkis, B. 2019. Rational Utilization of Wind Energy For Heating Purposes in Cold Climates in China, Technical Note 1 for Sustainability and Decarbonization In China, 26 p. Ankara.
- [10] Kilkis, B. 2020. Exergetic Sustainability Metrics for From Renewable Energy to Heat, The 15th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES), September 1-5 2020, Cologne. (Paper Accepted).
- [11] Kilkis, B., Exergy-Optimum Coupling of Heat Recovery Ventilation Units with Heat Pumps in Sustainable Buildings, *J. sustain. dev. energy water environ. syst.*, DOI: <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d7.0316>.
- [12] Kilkis, B. 2020. Accelerating the Transition to 100% Renewable Era. But How? Exergy Rationality in the Built Environment, in: Uyar T. (eds), Accelerating the Transition to 100% Renewable Era. *Lecture Notes in Energy*, Vol. 74, pp: 1-49.
- [13] Kılıkış, B. 2019. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü Kanal İstanbul Projesi Çevresel Etki Değerlendirmesi Raporu Hakkında Kişisel Görüş, Öneriler ve İtiraz Belgesi, 26 sayfa, Çevre ve Şehircilik Bakanlığına Sunu, 30.12.2019. Ankara.
- [14] YE. 2019. Çin Isınmada Rüzgar Enerjisinin Kullanılmasını Teşvik Edecek, *Yeni Enerji*, Sayı 70, Haber, s: 14, Mayıs-Haziran 2019. ISSN: 1307-9212.
- [15] Kılıkış, B. 1977. Communications on a Windmill Design, Wind and Sun Compendium, *TOOL*, No. 4, December, 1977, Amsterdam.
- [16] Kilkis, I. B., Utilization of Wind Energy in Space Heating and Cooling with Hybrid HVAC System and Heat Pumps, *Energy and Buildings*, Vol. 30, pp. 147-153, 1999.
- [17] Kılıkış, B. 2020. Tarımda Doğal Afetler, İklimsel Isınma ve Enerji Sinerjisi, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, TARSİM'e Yazılı Sunu, 10 Haziran, Ankara.
- [18] Kılıkış, B. 2019. Design of a Sustainable Hydrogen House for Future Hydrogen Cities, 4th International Hydrogen Energy Technologies Congress (IHTEC 2019), June 20-23, Edirne, *Proceedings*, pp:56-62.
- [19] Jacobson M. Z. 2008. Effects of Wind-Powered Hydrogen Fuel Cell Vehicles on Stratospheric Ozone and Global Climate, *Geophysical Research Letters*, Vol. 35, Issue 19 October 2008, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2008GL035102> En son ziyaret: 10.06.2020.
- [20] “Bir Zafer Anıtı: İstanbul Havalimanı” Belgeseli, 31 May 2020 tarihinde yayınlandı, <<https://www.youtube.com/watch?v=nk30SiXAWkk&fbclid=IwAR1ChE0GwJtXld5GJ959rDY8adoWpzhKZ7E9MILH23pTfZMhWrgi-Tt7aNO>> En son ziyaret: 9.06.2020.
- [21] TSE. 2011. Güvenli ve Yeşil Bina Sertifika Sistemi <<https://tse.org.tr/IcerikDetay?ID=41&ParentID=30>> En son ziyaret: 9.06.2020.
- [22] Kılıkış, B. 2019. The Importance of Exergy Rationality and Storage for 100% Renewable Targets in Decoupling Sustainable Development and Ozone Depletion, Sunu, UNIDO Workshop, September 16-17, 2019, Antalya. Turkey.

- [23] Kılıkış, B. 2019. Havaalanı Terminal Binalarında Ekserji Akılcılığı ve Küresel Isınma, *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi: SÜHAD*, Cilt 4, Sayı 1: SARES.
- [24] <<https://www.usgbc.org/projects/istanbul-airport?view=scorecard>> En son ziyaret: 9.06.2020.
- [25] Cakmanus, I., Kunar, A., Toprak, G., Gulbeden, A. 2010. A Case Study in Ankara for Sustainable Office Buildings, *Clima 2010 - REHVA World Congress Conference*, May 9-12 2010, Antalya.
- <<http://www.olimposenerji.com/a-case-study-in-ankara-for-sustainable-office-buildings>> En son ziyaret: 09.06.2020.
- [26] Gülbeden, A. E. 2019. Yüksek Performanslı Binalarda Enerjinin Akılcı Kullanımı İçin Mekanik Tasarım ve Optimum Kontrol Algoritmasının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Ü. FBE, Konya.
- [27] Kılıkış, B. 2019. Binaların Havalandırılmasında Isı Geri Kazanım Cihazlarının Ekserjik Performansı, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, *Bildiriler Kitabı*, s: 644-651 MMO yayın no: E/MMO/702-1, 17-20 Nisan 2019, İzmir,
- [28] Power Engineering, 2017, Cooling Tower Heat Transfer Fundamentals, Issue 7, Vol. 121.
- <<https://www.power-eng.com/2017/07/12/cooling-tower-heat-transfer-fundamentals/#gref>> En son ziyaret: 9.6.2020.
- [29] Kilkis, B. 2019. A Holistic View of Sustainable Aviation, *Sustainable Aviation*, Eds: Karakoç, H. and et.al.), Chapter 5, pp: 97-117.
- [30] Kılıkış, B. 2019. Yeşil Hava Limanlarında Beraber Isı ve Güç Sistemleri, *Termodinamik Dergisi*, Sayı 318, s: 62-74.
- [31] Kılıkış, B. 2009. A Dynamic Operative Sensor for Low-Exergy High-Performance Buildings, *ASHRAE T. Vol. 116, Part 2*, pp: 108-115.
- [32] Evren, M. F., Özsunar, A., Kılıkış, B. 2016. Exp. Investigation of Energy-Optimum Radiant-Convective Heat Transfer Split for Hybrid Heating Systems, *Energy and Buildings* 127, pp: 66-74.
- [33] Kilkis, I. B., Suntur, S. R., and Sapci, M. 1995. Hybrid HVAC Systems-When should the sensible, latent, and other functions of an HVAC System be decoupled? *ASHRAE J. Vol. 37*, pp: 23-28 Dec.1995.
- [34] Kılıkış, B. 2018. Enerjinin Sakınımı ve Mühendislik Etiği, *Termodinamik* Sayı 312, Ağustos 2018, s: 58-60.
- [35] Kilkis, B. 2000. Kilkis, I. B. Rationalization and Optimization of Heating Systems Coupled to Ground Source Heat Pumps, *ASHRAE Transactions*, Vol. 106, Pt. 2, pp. 817-822, 2000. *ASHRAE Transactions*, MN-00-13-1.
- [36] ASHRAE. History of Air Conditioning <<https://www.ashrae.org/about/mission-and-vision/ashrae-industry-history/air-conditioning-still-cool-after-100-years>> En son ziyaret: 9.06.2020.
- [37] Taşeli, B., Kılıkış, B. 2016. Ecological Sanitation, Organic Animal Farm, and Cogeneration: Closing the Loop in Achieving Sustainable Development-A Concept Study with On-site Biogas Fueled Trigeneration Retrofit in a 900 Bed University Hospital, *Energy and Buildings*, 2016, 129, pp: 102-119.

