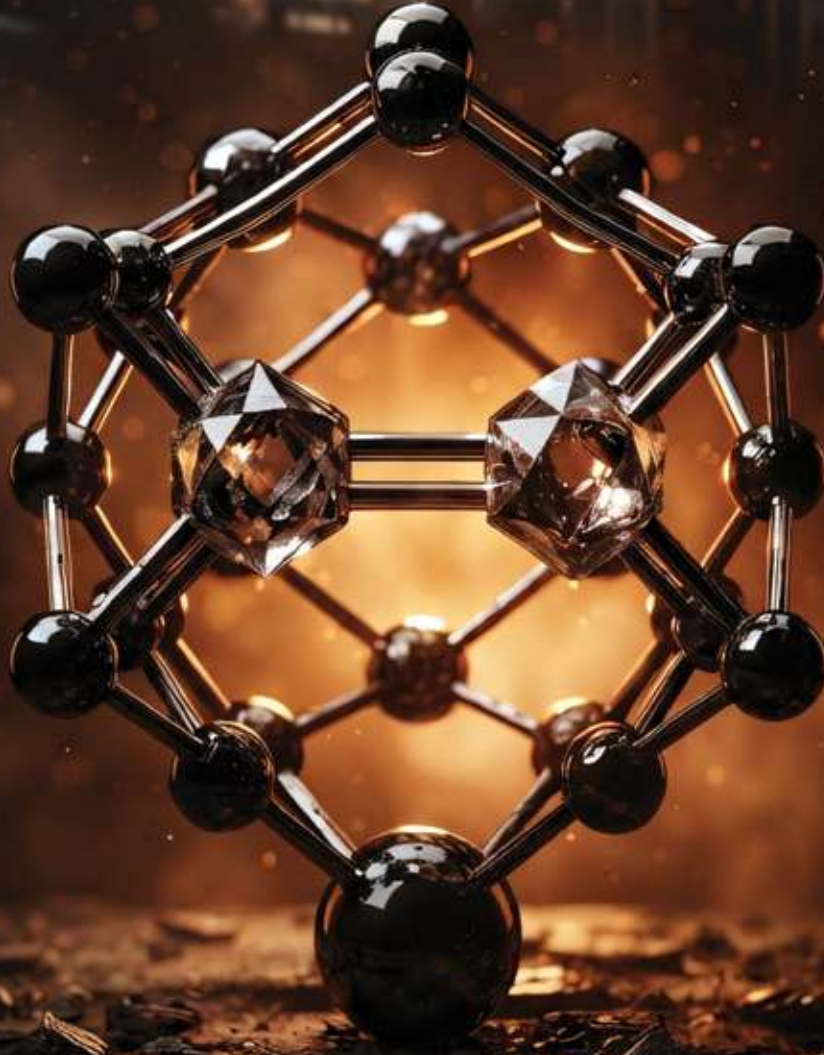


Mimar ve Mühendis

149

MİMAR VE MÜHENDİSLER GRUBU | Yıl: 30 Sayı: 149 Temmuz - Ağustos 2026



KARBONUN YENİ ÇAĞI

YAKALAMA, DÖNÜŞÜM VE NET SIFIR

PROF. DR. EROL KAM: TÜRKİYE’NİN DÜŞÜK KARBONLU GELECEĞİNDE NÜKLEER ENERJİ

PROF. DR. S. LEVENT KUZU: AKDENİZ’DE MAVİ KARBON VE DOĞAL KARBON YAKALAMA

ARAŞ. GÖR. SİMGE SERTGÜMEÇ, PROF. DR. MAHMUT ALTINBAŞ: NET SIFIRDA KARBON YAKALAMA, KULLANMA VE DEPOLAMA

PROF. DR. OKTAY ÖZKAN, DOÇ. DR. HAMDİ MIHÇIOKUR: SÜRDÜRÜLEBİLİR KAMPÜS UYGULAMALARI

PROF. DR. MEHMET ÇAKMAKÇI: SU ARITIMINDA KARBON BAZLI MALZEMELER

EMLAK KONUT BİZİM MAHALLE'DE YENİ ETAP, YENİ FIRSAT 90 AY VADE FARKSIZ

Evi Sahibi Olun!

Kafelerinden restoranlarına, spor tesislerinden çocuk oyun alanlarına, kültürel tesislerinden yeşil alanlarına kadar tüm ihtiyaçlarınıza yanıt veren

Emlak Konut Bizim Mahalle sizleri bekliyor.

90 AY VADE
VARKSIZ

EMLAK KONUT

**BİZİM
MAHALLE**



Gayrimenkulünüzün Değerini Bilin. Gayrimenkul Değerleme Sektörünün YETKİN'i.



DEĞERLEME HİZMETLERİ

- Gayrimenkul Değerleme
- Makine & Tesis Değerlemesi
- Hak & Faydaların Değerlemesi



DANIŞMANLIK

- Kentsel Dönüşüm Danışmanlığı
- Arazi & Proje Geliştirme Danışmanlığı
- Gayrimenkul Konularında Hukuki Danışmanlık



FİZİBİLİTE & ARAŞTIRMA

- Organize Sanayi Bölgeleri Fizibilite Çalışmaları
- Analiz & Fizibilite Çalışmaları



YATIRIM ANALİZİ

- Pazar Araştırma
- Yatırım Analizi



Sektöründe fark yaratmak isteyen kuruluşlar ancak doğru çözüm ortaklarıyla hareket ederek başarıya ulaşabilirler. Yatırımlarınıza kılavuzluk edilmesi, varlıklarınızın profesyonel bir anlayışla değerlendirilmesi ve karmaşık süreçlerin kolayca yönetilmesi konusunda, **Yetkin Gayrimenkul Değerleme ve Danışmanlık A.Ş.** uzman ekibi sizlere hizmet vermekten mutluluk duyacaktır. Gayrimenkul sektörünün farklı alanlarında edindiğimiz deneyim, güçlü teknik altyapı ve yurt çapındaki hizmet ağımla, sizleri de Yetkin farkını görmeye davet ediyoruz.

Telefon: 0 (216) 474 03 44 (pbx)

Fax: 0 (216) 474 03 46

E-Posta: bilgi@ygd.com.tr

Web: www.ygd.com.tr

Altunizade Mahallesi, Sırma Perde Sok. Sırma Apt. No: 23/2 ÜSKÜDAR / İSTANBUL



06

KARBONUN YENİ ÇAĞI - YAKALAMA, DÖNÜŞÜM VE NET SIFIR: Karbon, çevresel bir sorunun ötesinde, yeni nesil mühendisliğin temel çalışma alanlarından birine dönüşüyor. Mimar ve Mühendis Dergisi'nin 149. sayısı, karbon yakalama ve depolamadan biyokömüre, mavi karbondan düşük karbonlu enerji sistemlerine uzanan dönüşümü ele alıyor; karbonu yalnızca azaltmayı değil, ölçmenin, yakalamanın ve yönetmenin mühendisliğini tartışıyor.

08 | TÜRKİYE'NİN DÜŞÜK KARBONLU GELECEĞİNDE NÜKLEER ENERJİ
Prof. Dr. EROL KAM

14 | AKDENİZ ÖLÇEĞİNDE MAVİ KARBON VE DOĞAL KARBON YAKALAMA METOTLARI Prof. Dr. S. LEVENT KUZU

20 | NET SIFIR DÖNÜŞÜMÜNDE KARBON YAKALAMA, KULLANMA VE DEPOLAMA SEKTÖRÜNÜN ROLÜ, FIRSATLARI VE SINIRLILIKLARI
Araş. Gör. ŞİNGE SERTGÜMEÇ, Prof. Dr. MAHMUT ALTINBAŞ

26 | ERCİYES ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR KAMPÜS UYGULAMALARININ GELİŞTİRİLMESİ
Prof. Dr. OKTAY ÖZKAN, Doç. Dr. HAMDİ MIHÇIOKUR

32 | SU ARITIMINDA KARBON BAZLI MALZEMELERİN ROLÜ
Prof. Dr. MEHMET ÇAKMAKÇI

38 | GELECEĞİN KENTLERİNDE LİKİT AĞAÇLAR Doç. Dr. BÖRTE KÖSE MUTLU

42 | KARBONUN GÖRÜNMEYEN YOLCULUĞU Dr. EYYUP ENSAR BAŞAKIN

48 | CO₂ YAKALAMA UYGULAMALARI İÇİN BİYOKÖMÜR
AYŞENUR ÇINAR, Doç. Dr. EBRU KOCA AKKAYA

54 | VERİYLE ŞEKİLLENEN GELECEK SELDA KARTAL



58
ÖZBEKİSTAN:
ŞEHRİN HAFIZASI, MEDENİYETİN İZLERİ
Doç. Dr. MUHAMMED ZİYA PAKÖZ



MMG

İMTİYAZ SAHİBİ

Mimar ve Mühendisler Grubu
adına Genel Başkan
Yavuz SARI

GENEL YAYIN YÖNETMENİ

Abdullah KOÇ
abdullahkoc@mmg.org.tr

EDİTÖR

Sare KURU
sarekuru@mmg.org.tr

YAYIN KURULU BAŞKANI

Sara Betül GÜLER

YAYIN DANIŞMA

KURULU ÜYELERİ

Prof. Dr. Erol KAM
Metin SANCAK
Doç. Dr. M. Ziya PAKÖZ
C. Buket YİĞİT
Sevim YILDIRIM
Mustafa ŞİRİN
Yakup ADANUR
Uğur TEKİN

İLETİŞİM ADRESİ

Kuştepe Biracılar Sok. No: 7
Mecidiyeköy/İstanbul
Tel: 0 212 217 51 00
Fax: 0 212 217 22 63
Web: www.mmg.org.tr
E-posta: mmg@mmg.org.tr

GÖRSEL YÖNETMEN

Nevzat ALBAYRAK

BASKI

Arena Kağıtçılık Matbaacılık
İç ve Dış Tic. Ltd. Şti.
Davutpaşa Cad. Emintaş
Kazım Dıncıl Sanayi Sitesi
No: 138-139 Topkapı / İST.
Tel: 0 212 613 13 88 - 89

YAYIN TÜRÜ

İki ayda bir yayınlanır.
Yerel Süreli Yayın
Ücretsizdir.

Yazı ve reklamların içerik sorumluluğu sahiplerine aittir.
Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.

KENTSEL
DÖNÜŞÜM

TESPİT VE
DEĞERLEME

MİMARLIK

KENTSEL
TASARIM

KENTSEL
STRATEJİ

GAYRİMENKUL
VE İŞ GELİŞTİRME



COĞRAFI
BİLGİ SİSTEMLERİ

ÖZEL PROJELER

PEYZAJ

PLANLAMA

İNŞAAT

0(216) 212 52 52

info@muadplanlama.com

Acibadem Mahallesi Derin Sokak Almondhill D No: 5 Z Kapı No: 2 Üsküdar/İstanbul



MMG GENEL BAŞKANI
YAVUZ SARI

KARBONUN YENİ ÇAĞI - YAKALAMA, DÖNÜŞÜM VE NET SIFIR

Sevgili Okurlarımız,

İklim değişikliği, enerji güvenliği, sanayinin dönüşümü ve sürdürülebilir kalkınma bugün birbirinden ayrı başlıklar olarak ele alınamayacak kadar iç içe geçmiş durumda. Bu büyük dönüşümün merkezinde ise karbon bulunuyor. Sanayi devriminden bu yana ekonomik gelişmenin temel girdilerinden biri hâline gelen karbon, bugün insanlığın üretim biçimlerini, şehirlerini, enerji sistemlerini ve teknolojik tercihlerini yeniden gözden geçirmesine sebep oluyor. Önümüzdeki dönemin temel sorusu artık karbonun varlığı değil; onu nasıl ölçeceğimiz, nasıl azaltacağımız, nasıl yakalayacağımız, nerede depolayacağımız ve hangi alanlarda yeniden değerlendireceğimizdir.

Mimar ve Mühendisler Grubu olarak Mimar ve Mühendis Dergimizin 149. sayısında bu soruya farklı disiplinlerin pence-resinden bakıyoruz. Karbon yakalama, kullanma ve depolama teknolojilerinden biyokömüre; karbon bazlı ileri malzemelerin su arıtımındaki kullanımından mikroorganizmalarla çalışan biyolojik sistemlere kadar uzanan geniş bir teknolojik alanla karşı karşıyayız. Özellikle emisyon azaltımının teknik ve ekonomik açıdan güç olduğu sanayi kollarında karbon yakalama teknolojileri, net sıfır hedeflerine ulaşma yolunda önemli araçlardan biri olarak öne çıkıyor. Biyokömür gibi malzemeler ise atık biyokütleyi değerlendirirken karbonun daha kararlı yapılarda tutulabilmesine yönelik yeni imkânlar sunuyor.

Bu dönüşümün ilham kaynağı kimi zaman doğanın kendisi oluyor. Mikroalglerden yararlanan “likit ağaçlar”, biyoloji ile mühendisliğin kesiştiği yeni araştırma alanlarını şehirlerimize taşıırken; Akdeniz’in deniz çayırları ve kıyısız ekosistemleri karbonun binlerce yıl boyunca doğal süreçlerle nasıl tutulabildiğini gösteriyor. Dolayısıyla geleceğin mühendisliği, doğayla rekabet

eden sistemlerden ziyade doğanın işleyişini anlayan ve bu bilgiyi teknolojik çözümlere dönüştüren bir anlayış üzerinde gelişecektir.

Karbon yönetiminin bir diğer vazgeçilmez unsuru ise veridir. Ölçemediğimiz bir emisyonu yönetemeyiz; doğru veri olmadan gerçekçi azaltım hedefleri belirleyemeyiz. Dijital izleme, uydu teknolojileri, karbon muhasebesi ve yaşam döngüsü değerlendirmeleri bu nedenle iklim politikalarının teknik altyapısının parçaları hâline geliyor. Enerji tarafında ise yenilenebilir kaynaklardan nükleer enerjiye, şebeke yatırımlarından enerji verimliliğine kadar bütüncül bir sistem yaklaşımına ihtiyaç duyuyoruz.

Türkiye’nin düşük karbonlu kalkınma yolculuğunu güçlü bir sanayi, nitelikli mühendislik, bilimsel araştırma ve yerli teknolojik kapasiteyle yürütmesi gerektiğine inanıyoruz. Karbon meselesini bir yük olarak görmek yerine yeni malzemelerin, yeni üretim modellerinin, çevre teknolojilerinin ve yüksek katma değerli çözümlerin geliştirilmesi için bir dönüşüm alanı olarak okumalıyız.

149. sayımızın bu arayışa katkı sunmasını temenni ediyor; akademisyenlerimize, mühendislerimize, araştırmacılarımıza ve değerli yazarlarımıza katkıları için teşekkür ediyorum.

Bir sonraki sayımızda görüşmek üzere...

CURE

KRİZ SONRASI KENTSEL
YENİDEN İNŞA MERKEZİ

Bizi Takip Edin.







KARBONUN YENİ ÇAĞI

YAKALAMA, DÖNÜŞÜM VE NET SIFIR

Karbon, çağımızın en büyük çevresel meselelerinden birinin merkezinde yer alırken yeni nesil mühendislik teknolojilerinin de temel çalışma alanlarından birine dönüşüyor. Artık mesele, emisyonları azaltmanın ötesine geçiyor: karbonun ölçülmesi, yakalanması, kullanılması, depolanması ve doğal döngüler içerisinde yönetilmesi; sanayiden enerjiye, kentlerden denizlere kadar geniş bir dönüşümün kapısını aralıyor.

Mimar ve Mühendis Dergisi'nin 149. sayısı; karbon yakalama ve depolama teknolojilerinden biyokömüre, likit ağaçlardan mavi karbona, karbon bazlı su arıtma malzemelerinden düşük karbonlu enerji sistemlerine kadar uzanan bu yeni dünyayı mercek altına alıyor. Karbonu bir problem olarak tanımlamanın ötesine geçerek, onu yönetmenin ve dönüştürmenin mühendisliğini tartışıyoruz.

TÜRKİYE'NİN DÜŞÜK KARBONLU GELECEĞİNDE NÜKLEER ENERJİ

Küresel enerji krizlerinin ve yükselen karbon maliyetlerinin gölgesinde Türkiye, yüzyıllık arz güvenliği arayışını Akkuyu'nun betonarme kubbelerinden Trakya ve Sinop'un belirsiz ufuklarına taşıyor. Fosil yakıt bağımlılığından net sıfır emisyon hedeflerine uzanan bu yüksek gerilimli hat; sadece megavat saatleri ve bütçe kalemlerini değil, mülkiyet modellerinden devletin denetim erkine, teknolojik egemenlikten iklim diplomasisine kadar ulusal kapasitenin tüm hatlarını yeniden çiziyor.

PROF. DR. EROL KAM

Mimar ve Mühendisler Grubu Genel Başkan Yardımcısı
İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Dekanı

Türkiye'nin enerji politikası artık yalnızca yeni üretim kapasitesi kurma meselesi değildir. Elektrik talebi büyüyor. Sanayi daha fazla ve daha nitelikli enerji istiyor. Ulaştırma, ısıtma ve dijital altyapılar elektrikleşiyor. İklim hedefleri ise fosil yakıtlara dayalı büyümenin sınırlarını daraltıyor. Bu tablo, enerji arzının aynı anda güvenilir, düşük karbonlu ve ekonomik olmasını gerektiriyor. Nükleer enerji politikası da bu üçlü gereksinim içinde değerlendirilmelidir.

Türkiye'de elektrik tüketimi 2025'te yüzde 2,1 artarak 360 bin 929 gigavatsaate ulaştı ve tüm zamanların en yüksek seviyesine çıktı. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının Ulusal Enerji Planı projeksiyonu, tüketimin 2030'da 455,3 bin gigavatsaate, 2035'te ise 510,5 bin gigavatsaate çıkacağını öngörüyor. Bu değerler kesin sonuç değil, planlama varsayımlarıdır; yine de yön açıktır. Elektrik sistemi önümüzdeki on yılda bugünkünden daha yüksek bir yük taşıyacaktır. Talep artışını yalnızca yeni santrallerle karşılamak da yeterli olmayacaktır. Şebeke yatırımı, depolama, talep yönetimi ve enerji verimliliği aynı programın parçaları olmalıdır.

Türkiye, güneş ve rüzgâr kapasitesini hızla artırıyor. Hükümet, bu iki kaynağın toplam kurulu gücünü 2035'te 120 GW'a çıkarmayı hedefliyor. Bu büyüme; iklim politikası ve ithalat bağımlılığının azaltılması için gereklidir. Fakat değişken üretimin payı yükseldikçe sistem esnekliği daha kritik hâle gelir. Nükleer santraller hava koşullarından bağımsız, düşük karbonlu ve sürekli üretim sağlayabilir. Bununla birlikte nükleer enerji, yenilenebilirlerin alternatifi değildir.



**İLK İMZADAN 12
REAKTÖRLÜ HEDEFE
NÜKLEER DÖNÜŞÜM
TAKVİMİ**



**NÜKLEER ENERJİ,
DEĞİŞKEN YENİLENEBİLİR
KAYNAKLARIN ALTERNATİFİ
DEĞİL; İKLİM KRİZİNE KARŞI
KURULAN ESNEK, YÜKSEK
TEKNOLOJİLİ VE ÇOK KATMANLI
ŞEBEKE MİMARİSİNİN
OMURGASIDIR.**



Hükümetler Arası Anlaşma

12 Mayıs 2010

Türkiye Cumhuriyeti ile Rusya Federasyonu arasında Akkuyu sahasında Nükleer Güç Santrali tesisine ilişkin ikili anlaşma Ankara'da imzalandı.



Lisanslama Dönemi

2018 - 2021

Akkuyu NGS'nin 4 ünitesi için kademeli olarak inşaat lisansları tamamlandı ve saha çalışmaları hız kazandı.



İnsan Kaynağı Portföyü

Temmuz 2025

Enerji Bakanlığı verilerine göre Rusya'da nükleer mühendislik eğitimi alan 397 Türk öğrenciden 322'si projede istihdam edildi.



İlk Ünite İnşaat Aşaması

Şubat 2026

Birinci reaktörün inşaatının tamamlanma oranı %99'a ulaştı. NDK tarafından işletmeye alma izni prosedürleri başlatıldı.



Hedeflenen İlk Elektrik Üretimi

2026 Sonu

Test süreçlerinin tamamlanmasının ardından ilk reaktörden şebekeye ilk deneme elektriğinin verilmesi hedefleniyor.



Ulusal Enerji Planı Projeksiyonu

2030 - 2035

Tüketimin 510,5 TWh seviyesine çıkması, yenilenebilir kapasitenin 120 GW'a ulaşması ve Akkuyu'nun tam kapasiteye geçmesi planlanıyor.



Net Sıfır ve SMR Vizyonu

2050 - 2053

2053 net sıfır karbon hedefi kapsamında 12 büyük reaktör ve 5 GW SMR kapasitesinden oluşan hibrit portföy hedefleniyor.



TÜRKİYE’NİN ELEKTRİK İŞTAHI VE YÜK PROJEKSİYONU

Tarihi Rekor: Türkiye’nin yıllık elektrik tüketimi 2025’te %2,1’lik artışla 360.929 GWh seviyesine ulaşarak tüm zamanların zirvesini gördü.

Talebin On Yıllık Eğrisi: Ulusal Enerji Planı varsayımlarına göre, sistem yükünün 2030’da 455,3 bin GWh’e, 2035’te ise 510,5 bin GWh’e yükselmesi bekleniyor.

Genişleyen Hatlar: Sanayideki elektrifikasyon, kentsel dönüşüm ve dijital altyapıların büyümesi, şebekenin önümüzdeki on yılda benzeri görülmemiş bir yükü taşımasını zorunlu kılıyor.

Güçlü iletim hatları, depolama, esnek tüketim ve gerektiğinde hızla devreye girebilen kaynaklarla birlikte çalışmalıdır.

Akkuyu Nükleer Güç Santrali bu politikanın ilk somut ayağıdır. Türkiye ile Rusya arasındaki hükümetler arası anlaşma 12 Mayıs 2010’da imzalandı. Sahada her biri 1.200 MW gücünde dört VVER-1200 ünitesi bulunuyor. Toplam planlanan kapasite 4.800 MW’tır. Dört ünitenin inşaat lisansları 2018-2021 döneminde verildi. Nükleer Düzenleme Kurumu, birinci ünite için işletmeye alma izni verdi.

Enerji Bakanlığının Şubat 2026 tarihli açıklamasına göre birinci reaktörün inşaatı yüzde 99 düzeyindedir. Testlerin tamamlanması ve ilk elektriğin 2026 sonunda üretilmesi hedeflenmektedir. Bu tarih bir politika hedefidir ancak ticari işletme tarihi olarak okunmamalıdır.

Akkuyu tamamlandığında yıllık üretimine ilişkin sonuç; kapasite faktörü, bakım programı ve şebeke koşullarına bağlı olacaktır. Bu nedenle sık tekrarlanan üretim ve ithalat tasarrufu rakamları kesinleşmiş gerçekleşme verisi gibi sunulmamalıdır. Projenin temel

YENİ NÜKLEER PROJELERDE KARARIN ODAĞI YALNIZCA ELEKTRİK ÜRETİM MALİYETİ OLMAMALI. FİNANSMANDAN İNŞAAT VE SÖKÜM RİSKLERİNE, ATIK YÖNETİMİNDEN SİGORTA VE GÜVENLİK YÜKÜMLÜLÜKLERİNE KADAR PROJENİN TÜM YAŞAM DÖNGÜSÜ BİRLİKTE DEĞERLENDİRİLİRKEN, İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ YER SEÇİMİNİN TEMEL KRİTERLERİNDEN BİRİ HALİNE GELİYOR. SİNOP VE TRAKYA İÇİN İSE DEPREMDEN TAŞKINA, SU SICAKLIĞINDAN KURAKLIK VE AŞIRI HAVA OLAYLARINA UZANAN RİSKLERİN TEKNİK VE EKONOMİK VERİLERLE KARŞILAŞTIRILMASI GEREKİYOR.

katkısı daha nettir: Yakıtın küçük hacimde ve uzun dönemli tedarik edilebilmesi, doğal gaz fiyatlarındaki dalgalanmalara karşı elektrik portföyünü çeşitlendirir. Aynı zamanda dört büyük ünitenin tek sahada toplanması yeni bir yoğunlaşma riski doğurur. İletim altyapısı, yedek kapasite ve acil durum hazırlığı buna göre tasarlanmalıdır.

Projenin jeopolitik boyutu daha karmaşıktır. Akkuyu; yap-sahip ol-işlet modeliyle Rus sermayesi ve teknolojisine dayanıyor. Bu yapı, Türkiye’nin ilk santrale erişimini kolaylaştırdı. Buna karşılık finansman, yakıt, teknik hizmetler ve kurumsal bilgi bakımından uzun süreli bir ilişki kurdu. Rusya-Ukrayna Savaşı sonrasında enerji ticaretinin dış politika aracı hâline gelmesi, bu bağımlılıkların dikkatle yönetilmesini gerektiriyor. Çeşitlendirme yalnızca santral

TÜRKİYE ELEKTRİK TALEBİ VE NÜKLEER PROJEKSİYONLAR

PARAMETRE / YIL	2024	2025 (GERÇEKLEŞEN)	2030 (HEDEF)	2035 (HEDEF)	2050 (UZUN VADELİ VİZYON)
Toplam Elektrik Tüketimi	~353 bin GWh	360,9 bin GWh	455,3 bin GWh	510,5 bin GWh	Yüksek Elektrifikasyon Yüğü
Güneş + Rüzgâr Kapasitesi	~30 GW	~35 GW	~80 GW	120 GW	Baz Yük Omurgası ile Entegre
Büyük Nükleer Kapasite	0 MW	0 MW (Test Aşaması)	4.800 MW (Akkuyu)	Akkuyu + Sinop Müzakereleri	12 Reaktör (~15 GW)
SMR (Modüler Reaktör) Payı	0 MW	0 MW	Ar-Ge / Lisanslama	Erken Faz Kurulumlar	5 GW Hedeflenen Kapasite

sayısını artırmak değildir; tedarikçi, yakıt hizmeti, finansman ve teknik yetkinlik bakımından da seçenek üretmektir.

Sinop ve Trakya projeleri bu nedenle stratejik değer taşır. Ancak 2026 itibarıyla iki proje de Akkuyu ile aynı olgunluk düzeyinde değildir. Enerji Bakanlığı, Sinop için Güney Kore ile altı ila on iki aylık bir ortak çalışma ve müzakere süreci yürütüldüğünü açıkladı. Trakya projesi için Çin ve Kanada ile görüşmeler sürüyor. Kesinleşmiş teknoloji, yatırım modeli, kapasite ve devreye giriş takvimi henüz kamuoyuna açıklanmamıştır. Geçmişte gündeme gelen tasarımları güncel kararlar gibi aktarmak bu nedenle yanıltıcı olur.

Yeni projelerde temel ölçüt yalnızca teklif edilen elektrik fiyatı olmamalıdır. Finansman maliyeti, inşaat riski, atık ve kullanılmış yakıt düzeni, söküm yükümlülüğü, sigorta, güvenlik kültürü ve düzenleyici bağımsızlık birlikte incelenmelidir. Yer seçimi de salt üretim ihtiyacına göre yapılamaz. Deprem, taşkın, deniz suyu sıcaklığı, kuraklık ve aşırı hava olayları iklim değişikliği çerçevesinde yeniden değerlendirilmelidir.

Sinop ve Trakya için karar süreci, karşılaştırılabilir teknik ve ekonomik verilerle yürütülmelidir.

Yerleşme politikası, yerli parça oranına indirgenmemelidir. Nükleer sanayide kalıcı değer; nitelikli insan gücü, kalite güvencesi, malzeme izlenebilirliği, bağımsız denetim ve araştırma kapasitesiyle oluşur. Enerji Bakanlığının Temmuz 2025 verilerine göre Akkuyu kapsamında Rusya'ya lisans ve yüksek lisans eğitimi için toplam 397 Türk öğrenci gönderildi ve 322 mezun projede istihdam edildi. Bu program deneyim kazandırıyor; fakat teknoloji edinimi için üniversitelerin, TENMAK'ın, NDK'nin ve yerli sanayinin ortak laboratuvarlar, test altyapıları ve uzun vadeli araştırma programları kurması gerekir. İşletme bilgisinin tek bir şirkette kalması ulusal kapasite oluşturmaz.

Küçük modüler reaktörler de resmî vizyonun parçasıdır. Hükümet, 2050'ye kadar Akkuyu, Sinop ve Trakya'da toplam 12 büyük reaktör ile 5 GW küçük modüler reaktör kapasitesi hedefliyor. Bunlar bağlayıcı yatırım kararları değil, uzun vadeli



HUKUK VE JEOPOLİTİK PARADİGMALAR

Yap-Sahip Ol-İşlet (BOO) Modelinin Mülkiyet Sınırları

Yasal Sorumluluk vs. Çevresel Egemenlik: Akkuyu modeli, yatırım riskini Rus tarafına yüklerken, uluslararası nükleer hukuk bakımından Türkiye Cumhuriyeti devletin saha güvenliği, çevresel izleme ve üçüncü taraf tazminat sorumluluklarını ortadan kaldırmamaktadır.

Tedarikçi Çeşitlendirmesi: Teknoloji transferinin sağlanamaması ve tek sağlayıcıya bağımlılık, enerji diplomasisinde "kilitlenme etkisi" (lock-in effect) riski üretir. Sinop ve Trakya müzakerelerindeki Çoklu-Tedarikçi (Multi-vendor) arayışı bu stratejik çıkmazın sonucudur.



NÜKLEER ENERJİ, TÜRKİYE'NİN NET SIFIR HEDEFİNDE ÖNEMLİ BİR SEÇENEK OLABİLİR; ANCAK TEK BAŞINA ÇÖZÜM DEĞİLDİR. DÜŞÜK KARBONLU ÜRETİM AVANTAJINA RAĞMEN UZUN YATIRIM VE İNŞAAT SÜRELERİ, 2030'LARIN ACİL İHTİYAÇLARINDA VERİMLİLİK, YENİLENEBİLİR ENERJİ, GÜÇLÜ ŞEBEKELER VE SANAYİNİN ELEKTRİFİKASYONUNU ÖNE ÇIKARIYOR. NÜKLEER ENERJİ İSE BU DÖNÜŞÜMÜN YERİNE GEÇMEKTEN ÇOK, UZUN VADELİ VE DENGELİ ENERJİ PORTFÖYÜNÜ TAMAMLAYAN BİR UNSUR OLARAK KONUMLANMALI.

politika hedefleridir. SMR seçenekleri için teknoloji olgunluğu, birim maliyet, lisanslanabilirlik, yakıt tedariki ve atık yönetimi kanıtlanmadan erken tercihten kaçınılmalıdır.

Nükleer enerjinin iklim politikasındaki yeri de ölçülü kurulmalıdır. Santral işletmesi sırasında doğrudan karbon salımı çok düşüktür. Bu özellik, kömür ve doğal gaz üretiminin ikamesinde değer taşır. Ancak nükleer yatırım uzun hazırlık ve inşaat sürelerine sahiptir. Türkiye'nin 2053 net sıfır hedefi açısından 2030'larda sağlanacak azaltımlar yalnızca nükleere bırakılamaz. Enerji verimliliği, yenilenebilir kaynaklar, şebeke modernizasyonu ve sanayide elektrifikasyon daha kısa vadede sonuç



NÜKLEER NESİLLER VE RİSK/GETİRİ ÇERÇEVESİ

ÖZELLİK	GELENEKSEL REAKTÖRLER (VVER-1200)	KÜÇÜK MODÜLER REAKTÖRLER (SMR)
Sermaye ve İnşaat Süresi	Yüksek ilk yatırım maliyeti, 8-12 yıl inşaat	Modüler üretim, düşük ilk yatırım, 3-5 yıl inşaat
Şebeke Uyumu	Baz yük sağlar, esneklik düşük	Yenilenebilirlerle entegre çalışabilen esnek yük
Güvenlik ve Atık	Pasif güvenlik sistemleri, büyük sahalar	Erken aşama ticari olgunluk, basitleştirilmiş soğutma



NÜKLEER ENERJİNİN YERİ

Nükleer enerji, işletme aşamasındaki düşük doğrudan karbon salımı sayesinde kömür ve doğal gazın ikamesinde önemli bir seçenek sunuyor. Ancak uzun hazırlık ve inşaat süreleri nedeniyle Türkiye'nin 2053 net sıfır hedefinde 2030'lu yılların emisyon azaltımı yalnızca nükleere dayandırılmaz. Kısa vadeli sonuçlar için enerji verimliliği, yenilenebilir kaynaklar, şebeke modernizasyonu ve sanayide elektrifikasyon öne çıkarken, nükleer kapasite enerji portföyünün orta ve uzun vadeli tamamlayıcısı olarak konumlanabilir.

TÜRKİYE İÇİN BAŞARI ÖLÇÜTÜ REAKTÖR SAYISI DEĞİLDİR. BELİRLEYİCİ OLAN, PROJELERİN ZAMANINDA VE GÜVENLİ TAMAMLANMASIDIR.

üretmelidir. Nükleer kapasite ise orta ve uzun vadeli portföyün tamamlayıcısı olabilir.

Atık yönetimi, politikanın ertelenmemesi gereken bir başka alandır. Kullanılmış yakıtın santral sahasında geçici depolanması nihai çözüm değildir. Türkiye; sorumluluk paylaşımını, finansman mekanizmasını, taşıma kurallarını ve uzun dönemli depolama seçeneğini işletme başlamadan netleştirmelidir. Yap-sahip ol-işlet modeli, devletin düzenleyici ve çevresel sorumluluğunu ortadan kaldırmaz. Kararlar Nükleer Düzenleme Kurumunun bağımsız denetimi-ne dayanmalıdır. Çevresel izleme sonuçları düzenli biçimde yayımlanmalıdır. Yerel yönetimler ve halk, acil durum planlarına erişebilmelidir. Nükleer güven yalnızca teknik donanım ile kurulmaz; açık veri, hesap verebilirlik ve kurumlar arası görev ayrılığı da güvenlik sisteminin parçasıdır. Böyle bir çerçeve, yeni sahalara ilişkin toplumsal tartışmanın da doğrulanabilir bilgiler üzerinden yürütülmesini sağlar.

Arz güvenliği açısından asıl sorun,

Türkiye'nin petrol ve doğal gaz başta olmak üzere ithal fosil yakıtlara bağımlılığıdır. Resmi açıklamaya göre 2024 enerji ithalatı yaklaşık 65 milyar dolardır. Bu tutar fiyat ve kur hareketlerine duyarlıdır. Nükleer enerji, elektrik üretiminde kullanılan ithal gazı azaltabilir; ancak petrol ağırlıklı ulaştırma talebini doğrudan çözmez. Enerji güvenliği politikası bu nedenle yerli yenilenebilir üretim, verimlilik, elektrifikasyon, yerli petrol ve gaz üretimi, depolama ve kaynak çeşitlendirmesini birlikte ele almalıdır.

Türkiye için başarı ölçütü reaktör sayısı değildir. Belirleyici olan, projelerin zamanında ve güvenli tamamlanmasıdır. Şeffaf maliyet bilgisi de gereklidir. Bağımsız düzenleme, atık politikası ve yerli bilimsel kapasite aynı derecede önem taşır. Akkuyu ilk üretime yaklaşıyor, Sinop ve Trakya ise henüz tercih aşamasındadır. 2026 sonrasında izlenecek yol, nükleer enerjiyi tek başına bir bağımsızlık sembolü olarak değil, çeşitlendirilmiş ve düşük karbonlu enerji sisteminin disiplinli bir bileşeni olarak kurmalıdır.



MUTAŞ

Madencilik San. Tic. A.Ş.



0224 441 22 78

Konak Mah. Barış 120 Sok Ofis Artı No:3/52 Nilüfer – BURSA / TÜRKİYE

AKDENİZ ÖLÇEĞİNDE MAVİ KARBON VE DOĞAL KARBON YAKALAMA METOTLARI

Dünyanın en yoğun tehdit altındaki su havzalarından biri olan Akdeniz, dibindeki devasa organizmalarla insanlığın sanayi çağı günahlarını temizliyor. Su altındaki ormanlar sadece biyolojik çeşitliliği değil, küresel iklim dengesinin kırılğan çizgisini de sırtında taşıyor.

PROF. DR. S. LEVENT KUZU

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Bölümü

Küresel iklim değişikliği ile mücadelede, sera gazı emisyonlarının kaynağında azaltılması stratejilerinin yanı sıra atmosferik karbondioksitin (CO_2) aktif ve kalıcı bir şekilde tutulmasını sağlayan doğal yutak alanlarının korunması ve geliştirilmesi hayati bir zorunluluk halini almıştır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) verilerine göre küresel ısınmanın $1,5^\circ C$ ile $2^\circ C$ eşliğinde sınırlandırılması hedeflenirken, küresel emisyon yükü her geçen yıl artış göstermektedir (Prayoga vd., 2026). Bu süreçte Akdeniz Havzası, küresel ortalamaların üzerindeki ısınma hızı ve yoğun antropojenik baskılar nedeniyle bir "iklim değişikliği sıcak noktası" (*climate hotspot*) olarak tanımlanmaktadır.

Akdeniz özelinde, sanayi, kıyı yapılaşması, aşırı avlanma ve kirlilik gibi baskılar ekosistem bütünlüğünü tehdit ederken iklim değişikliğiyle mücadelede kıyasal ekosistemlerin sunduğu mavi karbon kapasitesi ön plana çıkmaktadır. Mavi karbon, deniz çayırları, tuzlu bataklıklar ve mangrovlar gibi denizel ve kıyasal ekosistemler tarafından fotosentez yoluyla yakalanan ve organik sedimanda uzun vadeli olarak depolanan karbonu ifade eder (Prayoga et al., 2026; Beddu et al., 2025; Koplin et al., 2025). Mavi karbon ekosistemleri, küresel deniz yüzeyinin yalnızca %0,2'sini oluşturmalarına rağmen, denizel sedimanlardaki karbon depolamasının

%50'sinden fazlasından sorumludur (Prayoga et al., 2026). Karasal ormanlara kıyasla birim alan başına 100 kate kadar daha fazla karbon hapsedme yeteneğine sahip olan bu alanlar, Akdeniz'in bölgesel iklim direncinin ve net sıfır emisyon hedeflerinin kilit taşı oluşturmaktadır (Prayoga et al., 2026).

Fotoğraf: Karim Saati / CC BY-SA 4.0

Fotoğraf: Alberto Romeo / CC BY-SA 2.5



Görse: Easy-Peasy AI



Akdeniz'de endüstriyel genişleme, plansız kıyı yapılaşması, kontrolsüz avlanma ve kirliliğin yarattığı çok boyutlu baskılar ekosistem bütünlüğünü varoluşsal bir tehdit altına sokarken; iklim kriziyle mücadelenin yeni cephesi, kıyısız ekosistemlerin sunduğu olağanüstü "mavi karbon" hapsedme potansiyeliyle yeniden şekilleniyor.



Fotograf: Fish & Olive / CC BY-SA 4.0





18 | MİMAR VE MÜHENDİS DERGİSİ | TEMMUZ - AĞUSTOS 2026

al., 2025; Koplin et al., 2025). Bu süreçte hidrodinamik ve morfolojik modeller kullanılarak sediman akışı düzenlenmekte, deniz çayırı fidelerinin tutunabileceği biyo-dostu taban matları tasarlanmaktadır (Koplin et al., 2025).

2. Ekolojik Beton ve Biyo-Dostu Kıyı Yapıları:

Kıyı koruma yapılarında ve liman çevrelerinde geleneksel rijit yapılara alternatif olarak doğa tabanlı çözümler ve mavi-yeşil altyapı tasarımları öne çıkmaktadır (Koplin et al., 2025). Yapay yapılar ile canlı deniz çayırı kuşaklarının ve biyo-dostu kıyı tasarımlarının entegre edildiği hibrit mühendislik yaklaşımları, hem deniz çayırı yayılımını ve tutunmasını desteklemekte hem de kıyı biyo-çeşitliliğini artırmaktadır (Koplin et al., 2025).

3. Hibrit Kıyı Koruma Mühendisliği: Deniz çayırları ve tuzlu bataklıklar, kök ve yaprak yapıları sayesinde kıyı erozyonunu önlemede doğal bir kalkan görevi görür (Beddu et al., 2025; Koplin et al., 2025). Mühendislik tasarımlarında yapay yapılar ile canlı deniz çayırı kuşaklarının entegre edildiği hibrit sistemler, fırtına kabarmaları ve deniz seviyesi yükselmesine karşı en sürdürülebilir korumayı sunmaktadır (Koplin et al., 2025).

İZLEME, MODELLEME VE DİJİTAL TEKNOLOJİLER

Mavi karbon stoklarının ölçülmesi, zaman içerisindeki değişiminin takibi ve karbon kredilendirme mekanizmalarına entegrasyonu için gelişmiş teknolojilerden yararlanılmaktadır. Geleneksel saha örneklemeleri (karot alımı, saha sayımları) zaman alıcı ve kısıtlı alanları kapsarken, günümüzde dijital izleme yöntemleri öne çıkmaktadır (Prayoga et al., 2026):

- **Uzaktan Algılama ve Uydu Teknolojileri:** Copernicus programı kapsamında Sentinel-2A multispektral uydu görüntüleri ve Sentinel-1 SAR verileri; kıyı

kullanımı değişimlerinin, deniz çayırı yoğunluğunun ve alan kaybının yüksek çözünürlükle haritalanmasında kullanılmaktadır (Prayoga et al., 2026).

• Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi

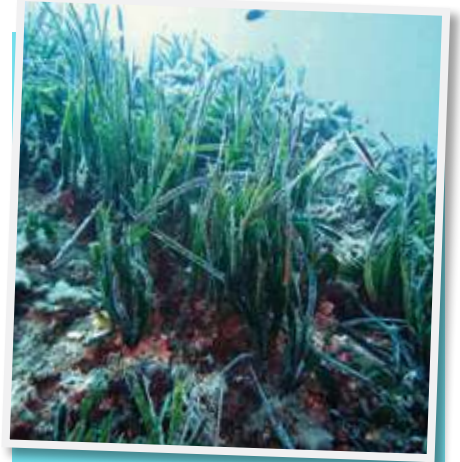
Algoritmaları: Rastgele Orman (*Random Forest-RF*), Destek Vektör Regresyonu (*SVR*) ve CatBoost gibi gelişmiş makine öğrenmesi algoritmaları; spektral bantlar, su kalitesi, deniz yüzeyi sıcaklığı (*SST*) ve tuzluluk (*SSS*) gibi çevresel değişkenleri işleyerek toplam karbon stoklarını son derece yüksek doğrulukla ($R^2 > 0,90$) tahmin edebilmektedir (Prayoga et al., 2026; Chen et al., 2025).

• **InVEST ve Ekosistem Hizmet Modellemesi:** Doğal Sermaye Projesi bünyesinde geliştirilen InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs*) modeli, uzaktan algılama haritaları ile karbon yoğunluğu verilerini birleştirerek alan ölçeğinde tutulan su üstü, su altı ve sediman karbon miktarını mekânsal olarak simüle etmektedir (Prayoga et al., 2026).

EKOSİSTEM ÜZERİNDEKİ ANTROPOJENİK BASKILAR VE TEHDİTLER

Akdeniz'deki mavi karbon yutakları yoğun tehdit altındadır. Dip trolleri ile avlanma, kontrolsüz demirleme, kıyı dolgu çalışmaları, evsel/sanayi kirlilikler ve küresel ısınmaya bağlı deniz suyu sıcaklık artışları *Posidonia oceanica* çayırlarında ciddi gerilemelere yol açmaktadır (Oueslati et al., 2025; Zhao et al., 2025). Bir deniz çayırı alanı tahrip edildiğinde veya sediman tabakası tarandığında, yalnızca gelecekteki karbon tutum kapasitesi kaybolmakla kalmaz, aynı zamanda sedimanda binlerce yıldır birikmiş olan hapsedilmiş karbon yeniden oksijenle temas ederek atmosfere CO_2 olarak geri salınır ve alanı bir karbon yutağından emisyon kaynağına dönüştürür (Prayoga et al., 2026; Oueslati et al., 2025; Benani et al., 2025).

Ayrıca güncel araştırmalar, kıyı



Posidonia oceanica Neden Karasal Ormanlardan Üstün?

• Oksijensiz Karbon Sanatı:

Karasal ormanlarda devrilen bir ağaç, çürüyerek veya yangınlarla onlarca yıl içinde bünyesindeki karbonu atmosfere salar. Akdeniz'in yerli deniz çayırı *Posidonia oceanica* ise yakaladığı yaprak ve sedimanı dipteki anoksik (oksijensiz) ortama gömer. Ayrışmanın durduğu bu ortam, karbonu binlerce yıl boyunca salınmayacak şekilde mühürler.

• Katmanlaşan Zaman (Matte):

Yüzyıllar boyunca üst üste binen ölü dokular ve sedimandan oluşan "matte" katmanları, su altında adeta binlerce yıllık organik bir karbon kasası işlevi görür.

MAVİ KARBON STOKLARININ ÖLÇÜLMESİ, ZAMAN İÇERİSİNDEKİ DEĞİŞİMİNİN TAKİBİ VE KARBON KREDİLENDİRME MEKANİZMALARINA ENTEGRASYONU İÇİN GELİŞMİŞ TEKNOLOJİLERDEN YARARLANILMAKTADIR.

VERİ VERİFİKASYONU VE KARŞILAŞTIRMALI İNFOGRAFİK TİPLERİ

Ekosistem Tipi	Küresel Alan Payı (%)	Karbon Depolama Sorumluluğu / Yeteneği	Koruma Şekli ve Kalıcılığı
Mavi Karbon Ekosistemleri	0,20%	Denizel sediman depolamasının >%50'si (Birim alanda karasal ormanlardan 100 kata kadar fazla)	Oksijensiz (Anoksik) sediman gömüsü; Binlerce yıl izole
Karasal Ormanlar	~%30	Küresel karasal depolamanın ana taşıyıcısı	Canlı biyokütle ve üst toprak; Yangın/çürüme ile onlarca yılda risk altında



ekosistemlerine ulaşan plastik ve mikrop-lastik kirliliğinin mavi karbon dinamik-leri üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya koymaktadır (Noman et al., 2024). Kıyı ekosistemleri plastik atıklar için bir tuzak görevi görürken, mikropplastik birikimi sediman mikrobiyotasını, azot döngüsünü ve deniz çayırlarının kök/rizom gelişi-mini olumsuz etkileyerek karbon tutum verimliliğini düşürmektedir (Noman et al., 2024).

BÖLGESEL POLİTİKALAR, KARBON PİYASALARI VE SERTİFİKASYON

Akdeniz'de mavi karbon potansiyelinin korunması, yerel mühendislik önlemleri-nin ötesinde bölgesel ve uluslararası poli-tikaların uyumlaştırılmasını gerektirir.

- **UNEP/MAP ve Barselona Sözleşme-si:** Birleşmiş Milletler Çevre Programı / Akdeniz Eylem Planı (UNEP/MAP) kapsamında, Akdeniz'e Özel Önem Sahibi Koruma Alanları (SPAMI) ağının genişletilmesi ve deniz çayırı yatakla-rının kesin koruma statüsüne alınması teşvik edilmektedir.
- **Ulusal Katkı Beyanları (NDC) ve Uluslararası İklim Finansmanı:** Akde-niz kıyıdaş ülkelerinin Paris Anlaşması kapsamındaki Ulusal Katkı Beyanlarına (NDC) mavi karbon ekosistemlerini dahil etmesi, uluslararası iklim finans-manına erişimi kolaylaştırmaktadır (Hil-mi et al., 2025; Benani et al., 2025).
- **Mavi Karbon Kredileri ve Serti-fikasyon:** Mavi karbon projelerinin

piyasalaşması sürecinde, ulusal ve ulus-lararası ölçekte karbon kredilendirme metodolojileri ve sertifikasyon sistemleri geliştirilmektedir (Benani et al., 2025). Restorasyon ve koruma projeleri sonucu elde edilen emisyon azaltımları karbon kredileri şeklinde sertifikalandırılarak, sürdürülebilirlik odaklı yatırımlarla pro-jelerin finansmanı sağlanabilmektedir (Benani et al., 2025; Hilmi et al., 2025). Mavi tahviller gibi yenilikçi finansal araçlar da denizel restorasyon projelerine ve okyanus varlıklarının korunmasına kaynak aktarılmasında stratejik bir rol üstlenmektedir (Hilmi et al., 2025).

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Karbon nötr bir Akdeniz ve dirençli kıyı şeritleri oluşturma vizyonu yalnızca tekno-lojik karbon yakalama sistemlerine değil, doğanın sunduğu mavi karbon ekosistem-lerinin korunmasına ve mühendislik süreç-leriyle desteklenmesine bağlıdır. Mimar, şehir plancısı ve mühendislerin iklim deği-şikliğiyle mücadeledeki ana rolü kıyı şeridi ana planlarından altyapı ve liman tasarımı-larına kadar tüm süreçlerde mavi karbon ekosistemlerinin bütünlüğünü gözetken, gri ve mavi-yeşil altyapıları entegre eden doğa dostu yaklaşımları hayata geçirmek-tir. Uzaktan algılama, yapay zekâ ve sürdürü-lebilir kıyı mühendisliği metotlarının ortak kullanımıyla Akdeniz Mavi Karbon varlığı korunduğu takdirde hem bölgesel biyoçe-şitlilik güvenceye alınacak hem de küresel iklim hedeflerine somut ve kalıcı bir katkı sunulacaktır.

KAYNAKÇA

- Beddu, M. A., Idrus, R., Samawi, F., Paradiman, A. Z., & Jafar, I. (2025). Recent research trends in mangrove management systems (2014-2023) and predictions of future research: A bibliometric analysis. *Watershed Ecology and the Environment*, 7, 187-198.
- Benani, N., Yang, P., Miwornunguie, N., Wang, T., Wu, D., Wang, F., Chen, J., Lv, S., & Mao, G. (2025). Bridging blue carbon and carbon markets: An interdisciplinary analysis of research and technology for climate mitigation. *Ocean and Coastal Management*, 269, 107808.
- Chen, X., Li, M., & Zhang, Z. (2025). Climate change challenges coastal blue carbon restoration in China. *Journal of Environmental Management*, 373, 123502.
- Hilmi, N., Arruda, G., Broussard, D., Benitez, B. M., Sauron, L., Lamaud, T., Jahan, N., & Hall-Spencer, J. M. (2025). Blue carbon as a nature-based climate mitigation strategy for mangrove conservation in Bangladesh. *Journal for Nature Conservation*, 86, 126885.
- Koplin, J., Peter, C., Bischof, K., Böttcher, M. E., Kuhn, A., Logemann, E., Dolch, T., Henkel, S., McCarthy, D., Mueller, P., Morys, C., Pineda-Metz, S. E. A., Reents, S., Reusch, T. B. H., Röschel, L., Rupprecht, F., Stevenson, A., Wiltshire, K. H., Zimmer, M., & Pogoda, B. (2025). Blue Carbon potential in Germany: Status and future development. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 323, 109354.
- Noman, M. A., Adyel, T. M., Macreadie, P. I., & Trevathan-Tackett, S. M. (2024). Prioritising plastic pollution research in blue carbon ecosystems: A scientometric overview. *Science of the Total Environment*, 914, 169868.
- Queslati, W., Jlassi, A., Ben Mna, H., Mesnage, V., Rahmouni, R., Added, A., Trabelsi, L., & Aleya, L. (2025). Blue carbon stock in Tunisian coastal sediments: First assessment and implications for ecosystem conservation and climate change mitigation. *Marine Pollution Bulletin*, 215, 117909.
- Prayoga, S. W., Kurniawan, R., & Gio, P. U. (2026). Remote sensing-based analysis of land use/land cover dynamics and blue carbon assessment in Mahakam River Delta, Indonesia. *Carbon Neutrality*, 5(7), 1-28.
- Sun, S., Song, Z., Guo, L., Duarte, C. M., Macreadie, P. I., Zhang, Z., Fang, Y., Chen, B., Wang, Z., Wang, W., Wang, Y., Fu, D., Li, Y., Wang, Y., Wang, H., & Liu, C.-Q. (2025). A spatial baseline of China's blue carbon stocks for improved monitoring, management, and protection. *Earth's Future*, 13, e2024EF005380.
- Zhao, X., Sun, J., Li, F., Li, S.-W., Su, H.-X., Ma, X.-F., Yang, L., Zheng, G.-X., Sun, W.-L., & Zhang, P.-D. (2025). Current status and influencing factors of blue carbon in seagrass beds: An extensive survey and comprehensive analysis in the Yellow and Bohai Seas, China. *Journal of Environmental Management*, 393, 127038.

GAZZE'Yİ YENİDEN İNŞA ETMEK

ÇALIŞTAY SONUÇ RAPORU ÇIKTI!

RAPORA ULAŞMAK İÇİN:
www.cure.itu.edu.tr



NET SIFIR DÖNÜŞÜMÜNDE KARBON YAKALAMA, KULLANMA VE DEPOLAMA SEKTÖRÜNÜN ROLÜ, FIRSATLARI VE SINIRLILIKLARI

Net sifıra giden yolda tüm emisyonları yenilenebilir enerji ve verimlilikle ortadan kaldırmak mümkün değil. Tam da bu noktada CCUS, özellikle çimento, demir-çelik, rafineri ve petrokimya gibi karbon yoğun sektörler için kritik bir tamamlayıcı olarak öne çıkıyor.

ARAS. GÖR. SİMGE SERTGÜMEÇ

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

PROF. DR. MAHMUT ALTINBAŞ

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Günümüzdeki en önemli konulardan olan iklim değişikliğiyle mücadele, yalnızca yenilenebilir enerji kapasitesinin artırılmasını değil, enerji ve karbonca zengin sektörlerdeki emisyonların da azaltılmasını gerektirmektedir. Enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve döngüsel ekonomi gibi uygulamalar dönüşüm açısından önemli olmakla birlikte; çimento, demir-çelik, kimya, rafineri, hidrojen ve atıktan enerji üretimi gibi sektörlerde emisyonların tamamının bu yöntemlerle ortadan kaldırılması hem teknik hem de ekonomik açıdan zordur. Dolayısıyla karbon yakalama, kullanma ve depolama teknolojileri (CCUS) net sıfır emisyon hedeflerinde adeta bir tamamlayıcı gibi öne çıkmaktadır (Bashmadov ve ark., 2022).

CCUS, tesislerde açığa çıkan karbondioksitin atmosfere salınmadan ayrılması, sıkıştırılması, taşınması ve ardından değerli ürünlere dönüştürülmesi veya uygun alanlarda kalıcı olarak depolanması süreçlerinin tamamını kapsamaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), CCUS teknolojilerinin hem mevcut sanayi tesislerindeki emisyonları azaltabilmesi hem de biyoenerjiyle karbon yakalama ve doğrudan havadan yakalama gibi negatif emisyon seçeneklerine olan katkısından dolayı net sıfır enerji sistemlerinde önemli bir yere sahip olduğunu belirtmektedir (IEA, 2020).



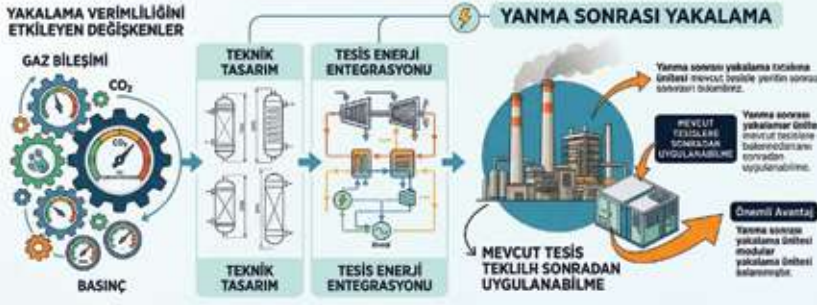


NEDEN CCUS?

Net sıfır dönüşümünde bazı emisyonları tamamen ortadan kaldırmak teknik ve ekonomik açıdan kolay değildir. CCUS, özellikle çimento, demir-çelik, rafineri ve kimya gibi karbon yoğun sektörlerde bu emisyonların azaltılmasını destekleyen tamamlayıcı bir çözüm sunar.

Ancak yakalamak tek başına yeterli değildir. Kullanılan enerji, taşıma altyapısı, depolama koşulları ve CO₂'nin kullanım biçimi, teknolojinin gerçek iklim faydasını belirler.

'CCUS BAŞARISI VE ETKİN CO₂ YAKALAMA'



CCUS'UN BAŞARISI, ÖNCE CO₂'NİN NE KADAR ETKİN YAKALANABİLDİĞİNE BAĞLI. GAZIN BİLEŞİMİ VE CO₂ KONSANTRASYONUNDAN BASINCA, TEKNİK TASARIMDAN TESİSİN ENERJİ ENTEGRASYONUNA KADAR BİRÇOK DEĞİŞKEN BU SÜRECİ BELİRLİYOR. YANMA SONRASI YAKALAMA İSE MEVCUT TESİSLERE SONRADAN UYGULANABİLMESİ SAYESİNDE ÖNEMLİ BİR AVANTAJ SUNUYOR.

KARBON YAKALAMA TEKNOLOJİLERİ

CCUS'dan bahsettiğimizde ilk ve en önemli kısım karbon yakalamadır. Çünkü bu aşamanın bağlı olduğu birçok parametreye vardır. Örneğin, teknik tasarım, gaz akımındaki CO₂ konsantrasyonu, basınç, kirletici bileşimi, tesisin enerji entegrasyonu vb. (Bui ve ark., 2018; Leung ve ark., 2014). Yanma sonrası yakalama, yakıt yakıldıktan sonra baca gazındaki CO₂'nin ayrılmasına dayanır. Halihazırda zaten var

olan tesislere sonradan da uygulanabilmesi önemli bir avantajdır. En yaygın yöntemlerden biri, CO₂'nin monoetanolamin gibi amin bazlı çözücülerle absorplanması ve çözücünün ısıtılarak yenilenmesidir (Rochelle, 2009). Ama bunun bazı dezavantajları olabilmektedir; düşük CO₂ kısmı basıncı, yüksek gaz debisi ve çözücü rejenerasyonu için gerekli buhar, tesisin enerji tüketimini artırma ihtimali olabilir (Saha ve ark., 2012). Son zamanlarda geliştirilen aminler,

iyonik sıvılar, membranlar, katı adsorbanlar ve enzim kullanan sistemler enerji kaybını azaltabilmektedir (Sanz-Perez ve ark., 2016).

Yanma öncesi karbon yakalamada ise yakıt sentez gazına dönüştürülür; CO böylece CO₂ ve hidrojene çevrilir (Leung ve ark., 2014). CO₂ yüksek basınç altında ayırdıktan sonra geriye hidrojen bakımından zengin bir gaz kalır. Bu yaklaşım özellikle gazlaştırma tesisleri, amonyak üretimi ve doğal gazdan düşük karbonlu hidrojen üretiminde önemlidir.

Oksi-yakıt sistemlerinde yakıt hava yerine büyük ölçüde saf oksijenle yakılır. Böylece baca gazı esas olarak CO₂ ve su buharından oluşur; su yoğunlaştırıldıktan sonra yüksek konsantrasyonlu

CO₂ elde edilir (Wall ve ark., 2009). Ama bu şekilde bir sistemin enerji ihtiyacı ve oksijen ortamına uygun ekipman gereksinimi dezavantajdır.

Çimento ve kireç üretiminde geliştirilen bazı kalsinasyon sistemleri, karbonat hammaddesinden kaynaklanan proses CO₂'sini daha yoğun olarak elde etmeyi hedeflemektedir (IEA, 2018). Demir-çelik endüstrisinde yüksek fırın gazı geri dönüşümü, hidrojen bazlı doğrudan indirgeme ile CCS'nin birleştirilmesi; rafineri ve petrokimya sektörlerinde ise hidrojen ünitelerindeki yüksek konsantrasyona sahip akımlar öncelikli uygulama alanlarına örnek olarak verilebilir (IEA, 2020).

CO₂'nin Yolculuğu

Sanayiden gelen karbon, doğru teknolojilerle yakalanır, taşınır ve ya değerli ürünlere dönüştürülür ya da kalıcı olarak depolanır.

CCUS, net sıfırın alternatifi değil; zor azaltılan emisyonlar için tamamlayıcı bir araçtır.

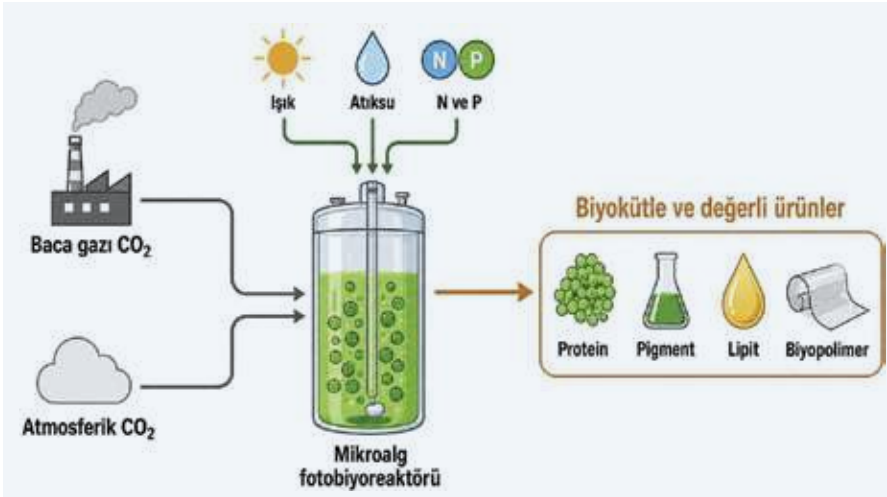


Doğru teknoloji, doğru sektör, daha güçlü iklim etkisi.

Hız artırmada verimlilik, maliyet ve çevresel güvence önemlidir.

CCUS, net sıfır hedefi için zorunlu sektörlerde kritik bir tamamlayıcıdır.

Daha temiz bir gelecek için karbonun yolculuğu devam ediyor.



Şekil 1. Mikroalg temelli CCUS sistemleri mekanizması

BİYOLOJİK YAKALAMA, CO₂'Yİ YALNIZCA UZAKLAŞTIRMAKLA KALMAYIP ONU BİYOKÜTLEYE DÖNÜŞTÜREN DOĞAL BİR SÜREÇTEN YARARLANIYOR. ÖZELLİKLE MİKROALG TEMELLİ SİSTEMLER, KARBON YAKALAMAYI ATIKSU ARITIMI, BESİN ELEMENTİ GERİ KAZANIMI VE PİGMENT, PROTEİN, LİPİD İLE BİYOPOLİMER ÜRETİMİYLE BİR ARAYA GETİREREK ÇOK YÖNLÜ BİR CCUS YAKLAŞIMI SUNUYOR.

Doğrudan havadan karbon yakalama, CO₂'i atmosfer havasından ayırabilmektir. Bu konseptte tesis yeri seçimi de önemlidir; depolama alanına veya düşük karbonlu enerji kaynağına yakın seçilebilir (Fahr ve ark., 2022). Atmosferde CO₂ konsantrasyonunun düşük oluşu hava debisinin yüksek olması gerektiğine ve önemli miktarda enerji ihtiyacına işaret etmektedir. Yakalanan atmosferik CO₂'in kalıcı olarak depolanması net karbon giderimi sağlayabilir ama iklimsel faydanın verimi tabii ki karbon ayak izine de bağlıdır.

Biyolojik yakalama yöntemlerinde mikroalgler, siyanobakteriler, bakteriler, funguslar veya diğer fotosentetik organizmalar CO₂'i biyokütleye dönüştürürler. Bu mikroalg temelli CCUS sistemleri (Şekil 1) atıksu arıtımı, besin elementi geri kazanımı ve pigment, protein, lipid veya biyopolimer üretimiyle bütünleştirilebilir. Bununla birlikte biyolojik fiksasyonun büyük bölümü ürün kullanıldığında veya biyokütle bozulduğunda tekrar atmosfere döner. Bu nedenle mikroalg gibi canlıların kullanıldığı biyoteknoloji her koşulda kalıcı karbon depolama olarak değerlendirilmemelidir.

TAŞIMA VE ALTYAPI

CO₂ yakalanıp su ve diğer safsızlıklar giderildikten sonra yoğunlaştırılmaktadır. Büyük hacimler söz konusu ise boru hatları tercih edilmekte olsa da gemi, tren veya tanker taşımacılığı daha esnek çözüm olarak görülebilmektedir (IEA, 2020; IPCC, 2005).

Güncel duruma bakıldığında, tek bir tesis için kurulan kaynak ve depolama alanı olarak basit bir model yerine; birden fazla emisyon kaynağını ortak taşıma ve depolamada birleştiren model önem kazanmaktadır (IEA, 2021; European Commission, 2024). Ekonomik açıdan da ortak altyapı önemlidir; birim maliyetleri düşürebilir ve küçük tesislerin de sisteme katılımını sağlayabilir.

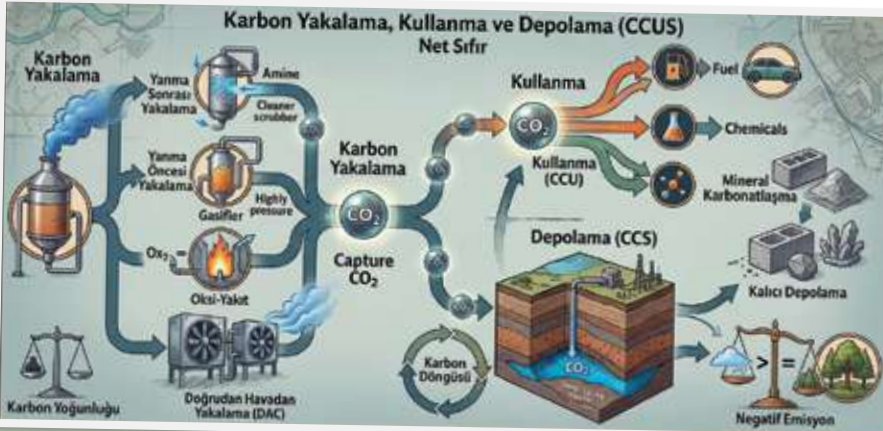
KARBON KULLANIMI

Yakalanan CO₂ çok değerli bir hammadde-dir. Üre, metanol, karbonatlar, polimerler, sentetik yakıtlar, yapı malzemeleri ve sera uygulamaları gibi çok çeşitli alanlarda hammadde olarak kullanılabilir (Hepburn ve ark., 2019; Artz ve ark., 2018). Ama yine de "CO₂ kullanımı" denildiğinde doğrudan emisyon azaltımını düşünmemek gerekir. İklimsel fayda açısından bakıldığında bazı değişkenler çok önem teşkil etmektedir. CO₂'nin kaynağı, dönüşümde kullanılan enerjinin karbon yoğunluğu, ürünün kullanım ömrü ve ürünün mevcut pazarda hangi hammaddenin yerini aldığı gibi değişkenlere dikkat edilmesi gereklidir.

CO₂'nin yakıt veya metanole dönüştürülmesi yüksek miktarda düşük karbonlu hidrojen gerektirir, ürün yakıldığında CO₂ tekrar atmosfere döner; dolayısıyla bu uygulama kalıcı depolama sağlamaz (IEA,

TEKNOLOJİ KARŞILAŞTIRMA MATRİSİ

YAKALAMA YÖNTEMİ	PROSES AŞAMASI	TEMEL MEKANİZMA / KİMYA	ANA AVANTAJI	TEMEL SINIRLILIĞI / RİSK
Yanma Sonrası	Yakıt yandıktan sonra	Amin/Çözücü ile Absorpsiyon	Mevcut tesislere entegre edilebilir (Retrofit).	Yüksek rejenerasyon enerjisi gereksinimi.
Yanma Öncesi	Yakıt yakılmadan önce	Gazlaştırma, Sentez Gazı ve CO/H ₂ Ayrımı	Yüksek CO ₂ kısmi basıncı, daha kolay ayırıştırma.	Yeni tesis mimarisi ve yüksek ilk yatırım maliyeti.
Oksi-Yakıt	Yakılma anında	Saf Oksijen (O ₂) ile yakma	Doğrudan yüksek yoğunlukta CO ₂ ve su buharı üretimi.	Hava ayırıştırma ünitesinin (ASU) devasa enerji çekişi.
Doğrudan Hava (DAC)	Atmosferik ortam	Katı/Sıvı sorbentlerle adsorpsiyon	Tesis konumundan bağımsız, doğrudan negatif emisyon.	Aşırı düşük atmosferik CO ₂ konsantrasyonu (420 ppm).
Biyolojik (Mikroalg)	Biyokütle üretimi	Biyolojik Fotosentez ve Biyo-Sabitlenme	Atıksu arıtımı ve değerli yan ürün (protein/lipid) üretimi.	Ürün yakıldığında/bozulduğunda CO ₂ 'nin doğaya dönüşmesi.



KAVRAMLARIN KISA REHBERİ

CCUS: Carbon Capture, Utilization and Storage. Karbonun yakalanması, kullanılması ve depolanmasını kapsayan bütünlük yaklaşım.

CCS: Carbon Capture and Storage. Yakalanan CO₂'nin kullanılması yerine kalıcı olarak depolanmasına odaklanan yaklaşım.

CCU: Carbon Capture and Utilization. Yakalanan CO₂'nin ürün veya hammadde olarak kullanılması.

Yanma sonrası yakalama: Yakıtın yakılmasından sonra oluşan baca gazındaki CO₂'nin ayrıştırılması.

Yanma öncesi yakalama: Yakıtın sentez gazına dönüştürülmesi ve CO₂'nin yüksek basınç altında ayrıştırılması.

Oksi-yakıt: Yakıtın hava yerine büyük ölçüde saf oksijen ortamında yakılması.

Doğrudan havadan yakalama - DAC: Atmosferdeki CO₂'nin doğrudan havadan ayrıştırılması.

Negatif emisyon: Atmosferden uzaklaştırılan CO₂ miktarının atmosfere salınan miktardan fazla olmasıyla net karbon giderimi sağlanması.

Mineral karbonatlaşma: CO₂'nin kalsiyum veya magnezyum içeren maddelerle reaksiyona sokularak kararlı karbonatlara dönüştürülmesi.

Karbon döngüsü: CO₂'nin yakalanması, dönüştürülmesi, kullanılması ve yeniden atmosfere dönmesi veya kalıcı olarak tutulması arasındaki süreç.

Karbon giderimi: Atmosferdeki CO₂'nin uzaklaştırılması ve yeterince uzun süre tutulması.

Karbon yoğunluğu: Bir enerji kaynağı, üretim süreci veya ürünle ilişkili CO₂ emisyonlarının düzeyi.

2019). Bununla birlikte CO₂ atmosferden doğrudan ya da sürdürülebilir biyolojik kaynaklardan elde edilmiş ve dönüşüm enerjisi de yenilenebilir kaynaklardan sağlanmışsa kapalı bir karbon çevrimi kurulabilir. Havacılık ve deniz taşımacılığı gibi alanlarda bu yaklaşım stratejik değer taşıyabilir.

Mineral karbonatlaşmada kalsiyum veya magnezyum içeren maddelerle CO₂ reaksiyona girerek kararlı karbonatlara dönüştürülür. Beton kürleme, çimento malzemeleri, maden atıkları ve çelik çürüfleri bu alandaki örneklerden bazılarıdır. Karbonun uzun süre tutulabilmesi ve mineral atıkların değerlendirilebiliyor oluşu aslında büyük bir avantaj sağlamaktadır.

TÜRKİYE İÇİN FIRSATLAR

Türkiye için çimento, demir-çelik, rafineri, petrokimya, seramik, cam gibi sektörlerin önemi bilinmektedir. Özellikle bu sektörlerdeki üretim kapasitesi, CCUS teknolojilerinin sanayi dönüşümü açısından önemli hale getirmektedir. Avrupa ile ticari ilişkiler ve Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması, karbonca yoğun ürünlerde ölçülebilir emisyon azaltımını rekabet gücünün bir unsuru haline getirmektedir. Kısa vadede çimento proses emisyonları, hidrojen ve amonyak tesislerindeki yoğun CO₂ akımları, rafineriler ve biyolojik karbon kaynakları pilot uygulamalar için öncelikli olabilir. Özellikle mikroalg tabanlı sistemler atıksu arıtımı, bacası gazı kullanımı ve değerli biyokütle

üretiminin birlikte yürütüldüğü biyorafineri modellerinde kilit rol alabilir.

Doğru önceliklendirme ve güçlü çevresel güvence mekanizmalarıyla CCUS, karbon açısından oldukça yoğun sanayilerin dönüşümünde ve net sıfır hedeflerine ulaşılmasında önemli bir rol üstlenebilir.

KAYNAKÇA

- Artz, J., Müller, T. E., Thenert, K., Kleinekorte, J., Meys, R., Sternberg, A., ... & Leitner, W. (2018). Sustainable conversion of carbon dioxide: an integrated review of catalysis and life cycle assessment. *Chemical reviews*, 118(2), 434-504.
- Bashmakov, I. A., L. J. Nilsson, A. Acquaye, C. Bataille, J. M. Cullen, S. de la Rue du Can, M. Fischedick, Y. Geng, K. Tanaka, 2022: Industry. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P. R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.013
- Bui, M., Adjiman, C. S., Bardow, A., Anthony, E. J., Boston, A., Brown, S., ... & Mac Dowell, N. (2018). Carbon capture and storage (CCS): the way forward. *Energy & environmental science*, 11(5), 1062-1176.
- European Commission. (2024). Towards an Ambitious Industrial Carbon Management for the EU, COM(2024) 62 final.
- Fahr, S., Powell, J., Favero, A., Giarrusso, A. J., Lively, R. P., & Realff, M. J. (2022). Assessing the physical potential capacity of direct air capture with integrated supply of low-carbon energy sources. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 12(1), 170-188.
- Hepburn, C., Adlen, E., Beddington, J., Carter, E. A., Fuss, S., Mac Dowell, N., ... & Williams, C. K. (2019). The technological and economic prospects for CO₂ utilization and removal. *Nature*, 575(7781), 87-97.
- IEA (2018). Technology roadmap: low-carbon transition in the cement industry. International Energy Agency (IEA), *Cement Sustainability Initiative (CSI)*.
- IEA (2020). CCUS in clean energy transitions. *IEA, Paris*.
- IEA (2020). Steel Technology Roadmap. *IEA, Paris*.
- IEA (2021). Carbon capture, utilisation and storage: the opportunity in Southeast Asia, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/carbon-capture-utilisation-and-storage-the-opportunity-in-southeast-asia>, Licence: CC BY 4.0
- IEA, P. (2020). CCUS in clean energy transitions. *IEA, Paris*.
- IPCC, 2005 - Bert Metz, Ogunlade Davidson, Heleen de Coninck, Manuela Loos and Leo Meyer (Eds.) Cambridge University Press, UK. pp 431. Available from Cambridge University Press, The Edinburgh Building Shaftesbury Road, Cambridge CB2 2RU ENGLAND
- Leung, D. Y., Caramanna, G., & Maroto-Valer, M. M. (2014). An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 39, 426-443.
- Putting CO₂ to use: Creating value from emissions. *International Energy Agency (IEA)(2019): Paris, France*, 86.
- Rochelle, G. T. (2009). Amine scrubbing for CO₂ capture. *Science*, 325(5948), 1652-1654.
- Saha, K., Abu-Ramadan, E., & Li, X. (2012). Multicomponent evaporation model for pure and blended biodiesel droplets in high temperature convective environment. *Applied Energy*, 93, 71-79.
- Sanz-Pérez, E. S., Murdock, C. R., Didas, S. A., & Jones, C. W. (2016). Direct capture of CO₂ from ambient air. *Chemical reviews*, 116(19), 11840-11876.
- Wall, T., Liu, Y., Spero, C., Elliott, L., Khare, S., Rathnam, R., ... & Yu, J. (2009). An overview on oxyfuel coal combustion—State of the art research and technology development. *Chemical engineering research and design*, 87(8), 1003-1016.



HER İŞİN TEMELİNDE BİZ VARIZ!

ZEMİN, İKSA VE GEOTEKNİK PROJELERDE ÇÖZÜM ORTAĞINIZ

Firmamız yeraltı araştırmaları ile ilgili her türlü problemin çözümünde jeofizik, jeolojik ve geoteknik yöntemlerle 1990 yılından itibaren yüksek teknoloji ile kaliteli hizmete tecrübeli kadrosuyla devam etmektedir.



TEMEL ARAŞTIRMA VE ZEMİN ETÜDLERİ
GEOTEKNİK PROJELER MADEN VE SU ARAMA PROJELERİ
ÇEVRE KORUMA PROJELERİ MÜHENDİSLİK JEOLJİ HARİTALAR
DEPREM GÜVENLİĞİ KENTLEŞME VE DEPREM PROJELERİ
ULAŞIM PROJELERİ
PROJELERİ

EKŞİOĞLU MİMARLIK MÜHENDİSLİK İNŞAAT VE TİCARET LTD. ŞTİ.

Adres: Cevizli Mah. Hızır Reis Sk. No: 10 D: 27-28 Maltepe - İSTANBUL Tel: 0216 442 19 53 (pbx) Faks: 0216 442 19 55

E-Posta: info@ematurkey.com Web: www.ematurkey.com

ERCİYES ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR KAMPÜS UYGULAMALARININ GELİŞTİRİLMESİ

Büyük kentlerin mikro-ölçekli birer yansıması olan üniversiteler, yalnızca teorik bilgi üreten akademiler değil; iklim krizinin şafağında geleceğin toplumsal, mimari ve teknolojik yaşam biçimlerini prova eden canlı laboratuvarlardır. Erciyes Üniversitesi; ikiz rüzgâr türbinlerinden hidrojen yakıtlı ulaşım ağlarına, dijital atık otomasyonundan döngüsel kompost tesislerine ve engelsiz erişim altyapısına uzanan bütüncül modeliyle; teorik ekolojiyi somut, kapsayıcı ve ölçülebilir bir kent sosyolojisine dönüştürmeyi hedefliyor.

PROF. DR. OKTAY ÖZKAN

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Müh. Böl.

DOÇ. DR. HAMDİ MIHÇIOKUR

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Müh. Böl.

Bu çalışma, kampüs içerisinde sürdürülebilirlik temelli çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan bütüncül bir dönüşümü hedeflemekte ve aynı zamanda enerji verimliliği ve atık yönetiminde yenilikçi uygulamaları hayata geçirmeyi amaçlamaktadır. Üniversite personelinin ve öğrencilerinin çevre bilincini artırmak, kampüsün çevresel ayak izini azaltmak çalışmamızın temel hedefidir. Atık yönetimi alanında web tabanlı bir otomasyon sisteminin kurulması planlanmakta ve bu sayede atıkların ölçülebilir hâle gelmesi, izlenmesi ve raporlanması daha verimli ve şeffaf hale getirilecektir. Sıfır atık stratejisi kapsamında organik atıkların değerlendirilmesi amacıyla kampüs içerisinde kompost tesisi kurulacak ve yemekhane atıkları, dal budak atıkları ve benzeri biyobozunur atıklar dönüştürülerek atılan malzeme türüne göre ya kompost ya da mama elde edilecektir. Kampüs içi ulaşımında hidrojen enerjisi ile çalışan bir bisiklet sisteminin prototipi geliştirilecek ve aynı zamanda



Dünya çapında artan çevre sorunları, doğal kaynakların hızla tükenmesi, ısrafin artması, iklim değişikliği gibi birçok problem, sürdürülebilir uygulamaların her sektörde olduğu gibi büyüklükleri ve nüfusundan dolayı küçük şehirler olarak nitelendirilen üniversitelerde de hayata geçirilmesini zorlu hale getirmektedir.

yenilenebilir enerji kullanımını artırarak enerji altyapısını sürdürülebilir bir yapıya dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Engelli bireylerin kampüs içinde rahatça hareket edebilmesini sağlamak amacıyla ise elektrikli golf araçları ile erişilebilir bir ulaşım sistemi kurulacaktır. Bu çalışma ile üniversite kampüsü, sürdürülebilirlik kavramının yalnızca teorik değil, aynı zamanda uygulanabilir bir yaşam ve öğrenme modeli olduğunu somut örneklerle gösterecektir. Çıktıları, sadece üniversite ölçeğiyle sınırlı kalmayıp, diğer eğitim kurumlarına ve yerel yönetimlere de örnek teşkil edecek nitelikte olacaktır. Üniversitenin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında önemli bir adım olan bu çalışma, çevresel farkındalık ve toplumsal sorumluluğun birleştiği özgün ve etkili bir model sunmaktadır [3,4,7].

Dünya çapında artan çevre sorunları, doğal kaynakların hızla tükenmesi, ısrafin artması, iklim değişikliği gibi birçok problem, sürdürülebilir uygulamaların her sektörde olduğu gibi büyüklükleri ve nüfusundan





**Üniversiteler,
yalnızca geleceğin
profesyonellerini değil;
iklim krizine dirençli yeni
bir kent kültürünün ve kamu
etiğinin ilk yurttaşlarını
yetiştiren mikro-
akademilerdir.**

dolayı küçük şehirler olarak nitelendirilen üniversitelerde de hayata geçirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Bu çalışma Birleşmiş Milletler tarafından 2015 yılında oluşturulmuş toplamda 17 hedefli Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin (SKH) 13. hedefi olan “İklim Eylemi” ile doğrudan ilişkilidir. Üniversitelerin bu sorunlarla mücadelede öncü rol üstlenmesi, yerelden küresele çözüm üretmenin temelini oluşturmaktadır. Üniversitelerin eğitim ve araştırma faaliyetlerini yürütürken aynı zamanda yaşam biçimlerini teşvik eden örnek alanlar olmaları gerekliliği göz önünde bulundurularak bu çalışmada ana hedef, Erciyes Üniversitesi kampüsünde sürdürülebilirlik uygulamalarını artırarak çevresel etkileri en aza indirmek, enerji yönetiminde verimliliği artırmak, atık yönetimini etkin bir şekilde yönetmek ve uluslararası standartlara uygun bir kampüs modeli oluşturmak olarak belirlenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, “SKH 7: Erişilebilir ve Temiz Enerji” hedefleriyle uyumlu olarak enerji yönetiminde verimlilik sağlanması amaçlanmakta; bu



Şekil 1. Çalışma Kapsamında Geliştirilen Atık Yönetim Sistemi Arayüzü

sayede hem doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı desteklenmekte hem de çevresel etkiler azaltılarak uzun vadeli ekolojik denge gözetilmektedir. “SKH 12: Sorumlu Tüketim ve Üretim” kapsamında ise atık yönetiminin etkinleştirilmesi ve daha etkili hale getirilmesi hedeflenmektedir; böylece kaynakların verimli kullanılması, israfın önlenmesi ve çevreye verilen zararın azaltılması sağlanarak sürdürülebilir yaşam biçimlerinin benimsenmesi teşvik edilmektedir. Bu çalışmada, doğal kaynakların

korunması, iklim değişikliği ile mücadele, enerji verimliliği, ekonomik fayda, özellikle kampüs içerisinde farkındalık sağlama, uluslararası alanda rekabet ve saygınlığın artırılması gerekçesine dayanarak aşağıdaki uygulamalar yapılmıştır [3,4,7,12].

KOMPOST TESİSİNİN KURULMASI

Sıfır atık yaklaşımı çerçevesinde yemekhane ve park bahçe atıkları değerlendirilerek kompost elde edilecektir. Organik atıklar kompostlaştırılarak döngüsel ekonomiye



Şekil 2. Çalışma Kapsamında Yapılan Kompostlama Tesisi

ATIKTAN TOPRAĞA, İSRAFTAN İKLİM EYLEMİNE

Organik atıkların doğada çözünebilir ve yeniden değerlendirilebilir kaynaklara dönüştürülmesi, toprak sağlığını destekleyerek karasal ekosistemlerin korunmasına katkı sağlıyor. Gıda israfının şeffaf biçimde ortaya konması ise farkındalığı güçlendirirken karbon ayak izinin azaltılmasına destek olarak SKH 13 ve SKH 15 hedeflerini birlikte besliyor.

katkı sağlaması, kampüs içerisindeki yeşil alanlarda kullanılan kimyasal gübre oranının azaltılması ve sürdürülebilir atık yönetiminin öğrenci ve personelin aktif katılımıyla teşvik edilmesi hedeflenmektedir. Kompostun uygulanması ile döngüsel ekonomiye katkı sağlanacak ve tarım uygulamaları desteklenecektir. Bu girişim, organik

atıkların yeniden değerlendirilmesini sağlayarak "SKH 12: Sorumlu Tüketim ve Üretim" ve "SKH 15: Karasal Yaşam" hedeflerine doğrudan katkı sağlar. "SKH 15: Karasal Yaşam" hedefi, biyolojik çeşitliliğin korunması, ekosistemlerin sürdürülebilir yönetimi ve doğal kaynakların verimli kullanımı üzerine odaklanırken, bu çalışma organik atıkların doğada çözünebilir ve geri dönüştürülebilir hale gelmesini sağlayarak toprak sağlığını iyileştirmekte ve doğal çevrenin korunmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, gıda israfı verilerinin şeffaf biçimde sunulması, farkındalık yaratmanın yanı sıra "SKH 13: İklim Eylemi" kapsamında karbon ayak izinin azaltılmasına yardımcı olur. Bu, özellikle gıda üretimi ve tüketimiyle ilişkili sera gazı salınımlarının azaltılması ve iklim değişikliğiyle mücadelede somut bir katkı sağlanmasını mümkün kılar. Böylece, iklim krizine karşı etkili eylemler geliştirilerek çevresel sürdürülebilirliğe önemli bir destek sunulmuş olur [5,6,8].

ERCIYES ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜNDE ÇİFT 12 KW'LİK RÜZGÂR TÜRBİNİ KURULUMU İLE YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİ

Bu proje, üniversite kampüsünde yenilenebilir enerji kullanımını artırarak enerji altyapısını sürdürülebilir bir yapıya dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Yükseköğretim kurumları, sadece bilgi üreten yapılar değil;



Şekil 3. Çalışmada kurulan rüzgâr enerji santralleri

aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma politikalarının uygulandığı ve örnek teşkil eden yaşam alanlarıdır. Bu bağlamda, kampüs alanına rüzgâr türbini kurulumu, kurumun yenilenebilir enerji kapasitesini artırmanın yanı sıra, iklim dostu ve düşük karbonlu bir gelecek vizyonuna da hizmet etmektedir. Rüzgâr enerjisi yatırımları, üniversite-lerin enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılayabilir. Böyle bir sistem, kampüsün dışa bağımlılığını azaltırken aynı zamanda enerji maliyetlerinin düşmesine de katkı sağlar. Ayrıca, bu tür projeler yalnızca enerji üretimi amacı taşımaz; aynı zamanda mühendislik ve doğa bilimleri öğrencileri için uygulamalı öğrenme fırsatları sunar. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin sahada kullanımı, öğrencilere hem teknik bilgi hem de çevresel farkındalık kazandırır. Sonuç olarak, kampüse kurulmuş rüzgâr türbini; hem kampüs içi enerji talebinin daha temiz kaynaklarla karşılanmasını sağlamış, hem de üniversitenin sürdürülebilirlik vizyonunu güçlendirmiştir [3,4,7,10,12].

KAMPÜS İÇİ ULAŞIMDA ENGELLİLERE YÖNELİK GOLF ARACI KULLANIMI

Proje kapsamında, Erciyes Üniversitesi kampüsünde engelli bireylerin ulaşım ihtiyaçlarının güvenli, bağımsız ve kolay bir biçimde karşılanması amaçlanmaktadır. Tekerlekli



Şekil 4. Elektrikli golf ve güvenlik araçları

"YAŞAYAN LABORATUVAR" (LIVING LAB) PARADİGMASI

Üniversite kampüsleri geleneksel olarak bilgiyi amfilerde üreten ve dış dünyaya aktaran pasif mekânlar olarak kurgulanmıştır. Erciyes Üniversitesi'nin ortaya koyduğu model ise "Living Lab" (Yaşayan Laboratuvar) yaklaşımını merkezine alır. Bu yaklaşıma göre:

- Saha Eşittir Müfredat: Enerji Dönüşümleri Araştırma ve Uygulama Merkezi çatısındaki 40 kWp'lik fotovoltaik sistem, sadece binanın elektriğini karşılamaz; lisans ve lisansüstü öğrencilerin verileri anlık izlediği canlı bir dersliğe dönüşür.
- Prototipten Sosyal Pratiğe: PEM elektrolizör ile üretilen 200 bar basınçlı yeşil hidrojenin bisikletlerde kullanılması, temiz enerjiyi teorik bir fizik denkleminde çıkarıp öğrencinin günlük ulaşım aracına dönüştürür.

sandalye ile kullanıma uygun şekilde tasarlanmış özel donanımlı golf araçlarının devreye alınmasıyla, engelli bireylerin kampüs içerisindeki fiziksel hareketlerinin artırılması ve ulaşım kaynaklı engellerin azaltılması sağlanacaktır. Sistemin mobil uygulama üzerinden erişilebilir hale getirilmesiyle birlikte, kullanıcılar araç talebinde bulunabilecek, aracın mevcut konumunu görebilecek ve memnuniyet anketine katılabilecektir. Bu sayede dijital çözümler ile desteklenen yenilikçi ve kullanıcı odaklı bir ulaşım modeli oluşturulacaktır. Projenin uygulanmasıyla birlikte, üniversite yerleşkinde erişilebilirlik düzeyinin artırılması, sosyal kapsayıcılığın güçlendirilmesi ve engelli bireylerin yükseköğretim yaşamına eşit katılımının desteklenmesi hedeflenmektedir. Aynı zamanda, üniversite bünyesinde erişilebilirlik konusunda kurumsal farkındalık oluşturulması öngörülmektedir. Elektrikli ve çevre dostu araçların tercih edilmesiyle, proje çevresel sürdürülebilirlik açısından da katkı sunacaktır. Ayrıca enerji farkındalığı oluşturmak adına kampüs içi güvenlik araçları şarj edilebilir elektrikli araçlardan teşkil edilmiştir. Elde edilecek çıktılar doğrultusunda, geliştirilen sistemin diğer yükseköğretim kurumlarında uygulanabilirliği değerlendirilebilecek ve yaygınlaştırılmasına yönelik öneriler sunulabilmektedir [3,4,11,13].

YAKIT HÜCRELİ BİSİKLETLERLE SIFIR EMİSYONLU KAMPÜS ULAŞIMI

Proje kapsamında, Erciyes Üniversitesi kampüsünde çevre dostu ve sürdürülebilir bir ulaşım modelinin oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, üniversite bünyesinde kurulan elektrolizör sistemi aracılığıyla yeşil enerji kaynaklarından hidrojen üretimi sağlanacak ve bu hidrojen ile beslenen yakıt hücreli bisikletler kampüs içi ulaşımında kullanılacaktır. Böylece hem sürdürülebilir enerji teknolojileri çalışmadaki sistemin temel bileşenleri arasında; elektrolizör ile hidrojen üretimi, yakıt hücresi teknolojisi ile elektrik üretimi ve bu elektriğin fırçasız doğru akım motoruna aktarılması yer almaktadır. Üretilen elektrik enerjisi, doğrudan bisikletin hareketini sağlayacak şekilde motor sistemine iletilecek, böylece tamamen sessiz, emisyonuz ve yüksek verimli bir ulaşım aracı ortaya konacaktır. Hidrojenin üretildiği PEM elektrolizör sistemi, Erciyes Üniversitesi Enerji Dönüşüm Merkezi'nde konumlandırılacak ve bu



Şekil 5. Çalışmada kullanılan hidrojen yakıtlı bisiklet

ERCIYES ÜNİVERSİTESİ'NDE YEŞİL HİDROJENLE ÇALIŞAN BİSİKLETLER, KAMPÜS İÇİ ULAŞIMDA SIFIR EMİSYONLU BİR MODELİN KAPISINI ARIYOR. PROJE KAPSAMINDA ELEKTROLİZÖR SİSTEMİYLE YENİLENEBİLİR KAYNAKLARDAN HİDROJEN ÜRETİLECEK VE BU HİDROJENLE ÇALIŞAN YAKIT HÜCRELİ BİSİKLETLER SÜRDÜRÜLEBİLİR KAMPÜS ULAŞIMINDA KULLANILACAK.



Şekil 6. Enerji Dönüşümleri Araştırma ve Uygulama Merkezi çatısına kurulmuş fotovoltaik güneş enerjisi sistemi

Erciyes Üniversitesi'nde kurulacak yaklaşık 40 kWp'lik güneş enerjisi sistemi, temiz enerji üretimini eğitim ve araştırmayla buluşturacak. Gerçek zamanlı veriler üzerinden öğrencilerin sistem kurulumu, işletimi ve performansını sahada incelemesine olanak sağlayacak altyapı; enerji verimliliği, üretim optimizasyonu ve lisansüstü araştırmaları desteklerken kampüsün karbon ayak izinin ve enerji maliyetlerinin azaltılmasına katkı sunacak.

merkez, kampüs genelinde temiz enerji dönüşümünün odak noktası haline gelecektir. Buradan elde edilen hidrojen, güvenlik önlemleri alınmış 200 bar'a kadar basınçla dayanıklı gaz tanklarında depolanacak ve bisikletlere yakıt olarak sağlanacaktır. Sisteme entegre edilecek batarya destekli hibrit yapı sayesinde hem rejeneratif frenleme hem de yokuş çıkışlarında güç desteği sağlanabilmektedir. Geliştirilecek enerji yönetim algoritması ile sistem verimliliği, menzil ve performans parametreleri optimize edilecek, elde edilen veriler doğrultusunda hidrojen tüketimi, yakıt hücresi verimi ve motor performansı analizleri gerçekleştirilecektir. Erciyes Üniversitesi'nin enerji

dönüşüm vizyonunu destekleyen yenilikçi bir uygulama niteliğindedir. Kampüs içi ulaşımında hidrojen enerjisinin somut bir örneği olarak dikkat çekecek olan sistem, yeşil kampüs hedeflerine katkı sağlayacak, aynı zamanda öğrenciler, akademisyenler ve ziyaretçiler için çevreci ve modern bir ulaşım alternatifi sunacaktır [12,14,15,16].

GÜNEŞ PANELİ TABANLI ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ VE EĞİTİM ENTEGRASYONU

Erciyes Üniversitesi Enerji Dönüşümleri Araştırma ve Uygulama Merkezi çatısına kurulacak olan yaklaşık 40 kWp gücündeki fotovoltaik güneş enerjisi sistemi ile hem çevreci enerji üretimi sağlanacak hem de



üniversitenin enerji verimliliği politikalarına katkı sunulacaktır. Bu uygulama, sadece laboratuvarın enerji ihtiyacının karşılanmasına değil; aynı zamanda gerçek zamanlı veri takibi, öğrenci projeleri ve lisansüstü çalışmalar için eğitim-araştırma temelli bir altyapı oluşturulmasına hizmet edecektir. Kurulacak sistem sayesinde öğrenciler, güneş enerjisi sistemlerinin kurulum, işletim ve performans analizi gibi tüm süreçlerini sahada gözlemleyebilecek, toplanan veriler ile enerji verimliliği ve üretim optimizasyonu konularında analizler gerçekleştirebilecektir. Üniversitenin yeşil kampüs vizyonunu desteklerken, karbon ayak izinin azaltılması, enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve toplumsal farkındalığın artırılması açısından da çok yönlü katkılar sağlayacaktır. Ayrıca ilerleyen aşamalarda batarya destekli hibrit sistemler ve akıllı şebeke uygulamalarıyla entegrasyon hedeflenerek proje sürdürülebilirliği artırılabilecektir [3,4,7,12].

EĞİTİM VE FARKINDALIK FAALİYETLERİ

Eğitim ve farkındalık faaliyetleri ile bu çalışma, akademik, idari personel ve öğrenciler için sürdürülebilir yaşam pratiklerini öğretme ve günlük hayatta uygulanabilirliğini teşvik edecektir. Bu faaliyetler, üniversitenin sürdürülebilirlik kültürü oluşturma çabalarını “SKH 4: Nitelikli Eğitim” hedefiyle doğrudan ilişkilendirir. Çünkü bilgi ve farkındalık, sürdürülebilir kalkınmanın temelini oluşturur ve bu çabalar, tüm kampüs paydaşlarının çevresel sorumluluklarını kavrayarak sürdürülebilir yaşam biçimlerini benimsemelerine zemin hazırlar. Bu çalışma uzun vadede maliyet tasarrufu sağlayarak,

üniversite bütçesine ve ülke ekonomisine katkıda bulunacaktır [3,7,12].

Sonuç olarak bu çalışma, yeşil kampüs ilkeleri doğrultusunda kampüsün doğal özelliklerini koruyarak, sürdürülebilirlik odaklı enerji ve atıkta ekosistem yönetimini bütüncül bir yaklaşımla ele alarak, üniversite kampüsünü çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik açısından öncü bir model haline getirme hedefi doğrultusunda ortaya çıkmıştır. Sıfır atık hedefleri doğrultusunda, üretilen atıkların değerlendirilmesi kapsamında kompost üretimi ile döngüsel ekonomi ilkeleri kampüs genelinde uygulanacak ve bu süreç, atık yönetimini otomasyon sistemi ile destekleyerek kaynak kullanımının verimli hale getirilmesini sağlayacaktır. Sürdürülebilirlik projelerinin birçoğu, öğrenci ve akademisyenlerin aktif katılımını sağlamada yetersiz kalmaktadır. Bu çalışma, hem kampüs içindeki tüm bireyleri sürece dahil edecek hem de üniversiteyi bir “öğrenme ve uygulama merkezi” haline getirecek ve kapsayıcı bir sürdürülebilirlik kültürünün geliştirilmesi sağlanacaktır. Kampüs, bir “yaşayan laboratuvar” olarak kullanılabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılması ve enerji yönetimi politikalarının uygulanması, uzun vadede enerji maliyetlerini önemli ölçüde düşürecektir. Organik atıklardan elde edilen kompostun kullanılmasıyla hem kimyasal gübre kullanımının önüne geçilecek hem de dışarıdan temin edilen peyzaj bakım maliyetleri azaltılacaktır. Kampüs içinde uygulanacak farkındalık ve eğitim çalışmalarıyla, sürdürülebilir yaşam alışkanlıkları kazandırılacaktır. Türkiye’de birçok üniversitede kullanılmayan otomasyon sistemi ile kampüs içerisinde üretilen

tüm atıkların takibi dijital olarak izlenebilecek, atık türlerine göre verilerin toplanması ve raporlanması yapılacak, etkin bir izleme süreci oluşturulacak ve proje tamamlandığında Türkiye’deki tüm üniversitelere örnek teşkil edecektir. Bu çalışma, hem üniversitenin çevresel sorumluluklarını yerine getirmesine olanak tanıyacak hem de sürdürülebilir kampüs kavramına yenilikçi ve uygulanabilir bir yaklaşım sunarak ulusal ve uluslararası ölçekte değer yaratacaktır [1,3,4,6,7,8,12].

KAYNAKÇA

- Gül, M. and K. Yaman, Türkiye’de atık yönetimi ve sıfır atık projesinin değerlendirilmesi: Ankara örneği. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 2021. 35(4): p. 1267-1296.
- Chan, S., et al., SDG 12: Responsible consumption and production. A review of research needs. Technical annex to the Formas report Forskning för Agenda, 2018. 2030.
- Dawodu, A., et al., Campus sustainability research: Indicators and dimensions to consider for the design and assessment of a sustainable campus. Heliyon, 2022. 8(12).
- Alshuwaikhat, H.M. and I. Abubakar, An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices. Journal of cleaner production, 2008. 16(16): p. 1777-1785.
- Santeramo, F.G. and E. Lamonaca, Food loss-food waste-food security: a new research agenda. Sustainability, 2021. 13(9): p. 4642.
- Çerçioğlu, M., Sürdürülebilir atık yönetiminde sera atıklarının kompost olarak değerlendirilmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2019. 33(1): p. 167-178.
- Ribeiro, J.M.P., et al., Green Campus Initiatives as sustainable development dissemination at higher education institutions: Students’ perceptions. Journal of Cleaner Production, 2021. 312: p. 127671.
- Sayara, T., et al., Recycling of organic wastes through composting: Process performance and compost application in agriculture. Agronomy, 2020. 10(11): p. 1838.
- Üniversitesi, M.A. Örnek Geri Dönüşüm Uygulaması "Kompost Ünitesi". [cited 2025 22.05]; Available from: <https://www.artuklu.edu.tr/tr/haberler/mauden-ornek-geridonusum-uygulamasi-kompost-unitesi>.
- Wind Over Morris. July 2021; Available from: <https://wcroc.cfans.umn.edu/research/renewable-energy/wind-over-morris>.
- Philanthropy, U.o.K.O.o. Wildcards Increase Student Mobility Around Campus. [Web Page] 2019 [cited 2025 14 May 2025]; Available from: <https://philanthropy.uky.edu/your-gifts-at-work/uk-philanthropy-news/wildcards>.
- Seilkhan, A., et al., An Overview of Advancing Green Energy Solutions and Environmental Protection Toward Green Universities. ES Energy & Environment, 2024. 26: p. 1338.
- University, A. jaUnt: On-Campus Mobility Service. [cited 2025 13 May 2025]; Available from: <https://www.auburn.edu/administration/transit/jauntinfo/>.
- Chen, W., et al., Historical patterns and sustainability implications of worldwide bicycle ownership and use. Communications Earth & Environment, 2022. 3(1): p. 171.
- Di Giorgio, P., et al., Thermally integrated energy storage system for hybrid fuel cell electric bike: an experimental study. International Journal of Hydrogen Energy, 2023. 48(54): p. 20914-20922.
- Wang, B., et al., Fuzzy logic optimized threshold-based energy management strategy for fuel cell hybrid E-bike. International journal of hydrogen energy, 2024. 63: p. 123-132. 5.

SAVAŞ SONRASI HALEP

GERÇEKLİK VE ZORLUKLAR ARASINDA KENTSEL YENİDEN YAPILANMA

SEMİNER VE ÇALIŞTAY SONUÇ RAPORU ÇIKTI!

RAPORA ULAŞMAK İÇİN:
www.cure.itu.edu.tr



KARBON TEKNOLOJİLERİ VE UYGULAMALARI: **SU ARITIMINDA KARBON BAZLI MALZEMELERİN ROLÜ**

Sanayi çağının kirlettiği tatlı su kaynakları, atomik ölçekte inşa edilen siyah bir mucizeyle yeniden hayat buluyor: Devasa yüzey alanları ve modifiye edilebilir gözenek mimarileriyle karbon bazlı malzemeler, görünmez zehirlere karşı mikroskobik bir kalkan oluşturuyor. Aktif karbon ve biyokömür ekolojik sürdürülebilirlik ile ekonomiyi aynı potada buluştururken; grafen ve karbon nanotüpler gibi ileri nanomimariler, moleküler düzeydeki seçici ayırma güçleriyle su arıtımında yeni bir çağın kapılarını aralıyor.

PROF. DR. MEHMET ÇAKMAKÇI
Yıldız Teknik Üniversitesi Öğretim Üyesi

Nüfus artışı, sanayileşme ve iklim değişikliğinin etkisiyle temiz suya erişim, günümüzün en kritik çevresel ve toplumsal sorunlarından biri haline gelmiştir. Ağır metaller, fenolik bileşikler, radyonüklidler, kalıcı organik kirleticiler ve tuzluluk gibi farklı kirletici türleri, konvansiyonel arıtma yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda yeni malzeme ve teknolojilerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Geniş yüzey alanları, gözenekli yapıları, düşük maliyetleri ve kimyasal olarak değiştirilebilir yüzey özellikleri sayesinde karbon bazlı malzemeler su ve atık su arıtımında öne çıkmaktadır.

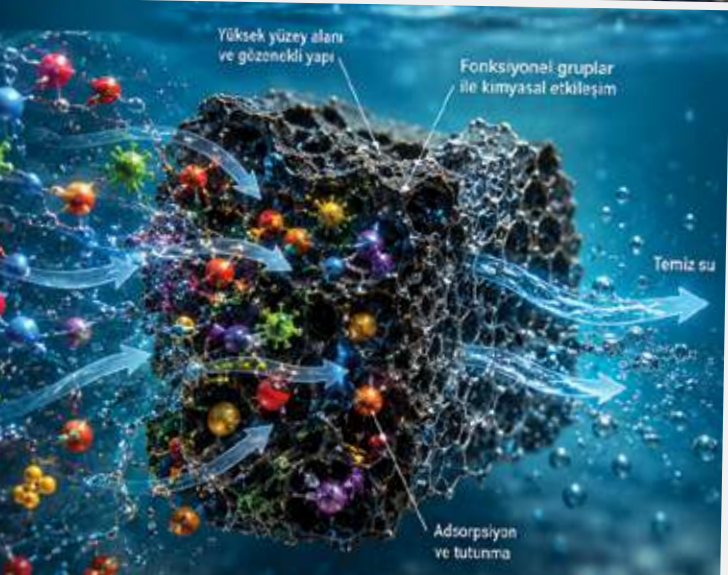
Aktif karbon, biyokömür (biochar), karbon nanotüpler (CNT) ve grafen/grafen oksit (GO) bazlı membranlar başta olmak üzere başlıca karbon teknolojileri ile bu malzemelerin su arıtımındaki uygulama alanları, temel çalışma mekanizmaları, avantaj ve dezavantajları bu çalışmada derlenmiştir.

KARBON BAZLI MALZEMELERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

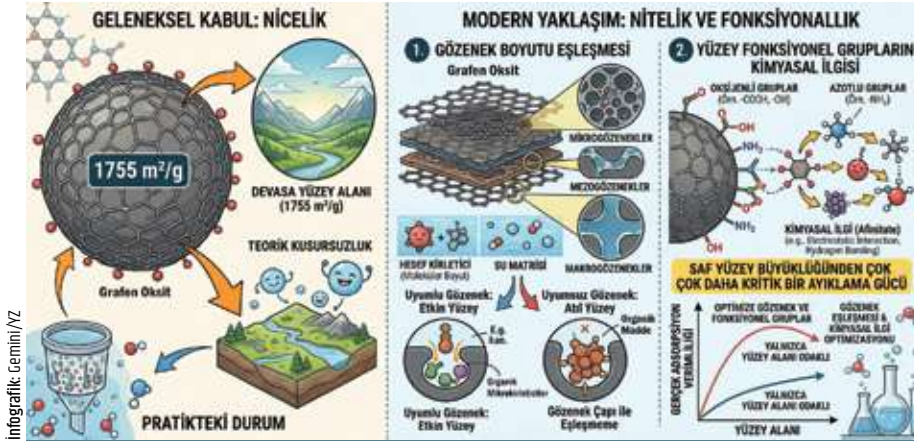
Karbon bazlı malzemeler, yüksek özgül yüzey alanları, gelişmiş ve ayarlanabilir gözenek yapıları, yüzey fonksiyonel grupları ve kimyasal olarak modifiye edilebilmeleri sayesinde çeşitli kirleticilerin adsorpsiyon yoluyla gideriminde önemli bir potansiyele sahiptir. Adsorbanların yüzey özellikleri ve gözenek yapıları, kirleticilerle gerçekleşen yüzey etkileşimlerinin yanı sıra adsorpsiyon kapasitesi ve giderim verimi üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır.

Karbon bazlı adsorbanların BET yüzey alanları yaklaşık 12,7-1755 m²/g arasında geniş bir aralıkta değişmektedir. Özellikle gözenekli grafen, 1755 m²/g ile en yüksek yüzey alanına sahip malzemelerden biri olurken, aktif karbon esaslı adsorbanlarda yüzey





Atomik düzeyde tasarlanan karbon mimarisi; devasa özgül yüzey alanı, ayarlanabilir gözenek labirentleri ve terzi usulü işlenen yüzey kimyasıyla görünmez zehirlere karşı moleküler bir kapana dönüşüyor. Malzemenin mikroskobik topografyası ile kirleticiler arasındaki bu nanotemas, arıtma kapasitesi ve giderim veriminin nihai kaderini belirliyor.



BET YÜZEY ALANI PARADOKSU: NİCELİK Mİ, NİTELİK Mİ?

Adsorpsiyon mühendisliğinde sıklıkla öne sürülen "daha yüksek yüzey alanı, daha iyi arıtım demektir" kabulü, modern malzeme biliminde kırılıyor. Grafen oksitinin 1755 m²/g'a ulaşan devasa yüzey alanı teorik olarak kusursuz görünse de, su matrisindeki hedef kirlenimin moleküler boyutu ile malzemenin gözenek çapı (mikro, mezo veya makro gözenekler) eşleşmediğinde bu alanın büyük kısmı atıl kalır. Yüzeydeki fonksiyonel grupların (oksijenli, azotlu yapılar) kimyasal ilgisi, saf yüzey büyüklüğünden çok daha kritik bir ayıklama gücü yaratır.

alanlarının 135,28-1517 m²/g, karbon nanotüp esaslı malzemelerde ise yaklaşık 58,17-560 m²/g arasında değiştiği görülmektedir. Gözenek hacimleri ise yaklaşık 0,12-1,31 cm³/g aralığında değişmekte olup, bu farklılıklar malzemelerin adsorpsiyon davranışlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Benzer şekilde, aktif karbonun yüzey alanı üretim yöntemine bağlı olarak 273-827 m²/g arasında değişebilmekte; toplam gözenek hacmi ve gözenek çapı gibi parametreler ise özellikle ağır metal giderim performansını doğrudan etkilemektedir (Chakraborty vd., 2022).

Karbon bazlı adsorbanların yanı sıra biyokömür de yüksek yüzey alanı ve geliştirilebilir gözenek yapısı nedeniyle kirlenimlerin gideriminde önemli bir malzemedir. Biyokömürün yüzey alanı, kullanılan hammaddenin türü ve uygulanan piroliz sıcaklığı gibi üretim koşullarına bağlı olarak 1500 m²/g değerine kadar ulaşabilmektedir. Uygun üretim ve adsorpsiyon koşullarının sağlanması durumunda biyokömür ile %90'ın üzerinde adsorpsiyon verimlerine ulaşılabilirdiği bildirilmektedir (Beljin vd., 2024). Dolayısıyla karbon bazlı adsorbanlarda yüksek yüzey alanının tek başına yeterli olmadığı; gözenek boyutu ve dağılımı, toplam

gözenek hacmi, yüzey fonksiyonel grupları ve malzemenin kimyasal özellikleri gibi parametrelerin birlikte değerlendirilmesinin adsorpsiyon performansının anlaşılması açısından önemli olduğu söylenebilir (Chakraborty vd., 2022; Beljin vd., 2024).

SU ARITIMINDA KULLANILAN BAŞLICA KARBON TEKNOLOJİLERİ

Aktif Karbon ve Adsorpsiyon Teknolojisi

Aktif karbon, yüksek adsorpsiyon kapasitesi, geniş yüzey alanı ve farklı nitelikteki kirlenimleri giderme potansiyeli nedeniyle su ve atık su arıtım proseslerinde en yaygın kullanılan adsorbanlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu yaygın kullanım; görece düşük maliyeti, çeşitli organik ve inorganik kirlenimlere karşı etkinliği, farklı arıtma sistemlerine kolaylıkla entegre edilebilmesi ve çevresel açıdan uygun özellikler göstermesi ile ilişkilendirilmektedir (Chakraborty vd., 2022). Aktif karbon; odun, hindistan cevizi kabuğu ve pirinç kabuğu gibi biyokütle kaynaklarının yanı sıra çeşitli tarımsal atıklar ve endüstriyel yan ürünlerden de üretilmektedir. Üretim sürecinde hammaddenin öncelikle karbonizasyon işlemine tabi tutulmakta, ardından fiziksel veya kimyasal aktivasyon uygulanarak yüzey alanı ve gözenek yapısı geliştirilmekte ve adsorpsiyon kapasitesi artırılmaktadır. Aktif karbonun, özellikle fenolik bileşiklerin (Mu'azu vd., 2017) ve radyonüklidlerin sulu ortamlardan uzaklaştırılmasında etkili bir adsorban olduğu bildirilmiştir. Bunun yanı sıra, asit, baz, ozon ve plazma gibi çeşitli yüzey modifikasyon yöntemlerinin uygulanmasıyla aktif karbonun yüzey özellikleri iyileştirilerek adsorpsiyon kapasitesinin artırılabilirdiği belirtilmektedir.



AKTİF KARBON, YÜKSEK ADSORPSİYON KAPASİTESİ, GENİŞ YÜZEY ALANI VE FARKLI NİTELİKTEKİ KİRLİTİCİLERİ GİDERME POTANSİYELİ NEDENİYLE SU VE ATIK SU ARITIM PROSESLERİNDE EN YAYGIN KULLANILAN ADSORBANLARDAN BİRİ OLARAK ÖNE ÇIKMAKTADIR.

Granüler aktif karbon (GAC), içme su-
yunda bulunan sentetik organik kirleticiler-
in giderimi ve kontrolü amacıyla Amerika
Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
(EPA) tarafından önerilen etkin arıtma
yöntemlerinden biri olarak değerlendiril-
mektedir. GAC'ın bu amaçla yaygın biçimde
kullanılmasında; yüksek özgül yüzey alanı,
uygun gözenek boyutu ve dağılımı ile güçlü
adsorptif ve katalitik özellikleri belirleyici
rol oynamaktadır (National Research Co-
uncil [ABD] İçme Suyu Güvenliği Komitesi,
1980).

Biyokömür (Biochar)

Biyokömür, biyokütlenin oksijensiz veya
oksijenin sınırlı olduğu koşullarda piroliz
edilmesi sonucunda elde edilen, karbon
bakımından zengin ve gözenekli bir karbon
esash malzemedir. Düşük üretim maliyeti,
yenilenebilir biyokütle kaynaklarından üre-
tilebilmesi ve tarımsal ile organik atıkların
değerlendirilmesine olanak sağlaması, biyo-
kömürün sürdürülebilir su ve atık su arıtım
uygulamalarında alternatif bir adsorban
olarak öne çıkmasını sağlamaktadır. Bi-
yokömürün adsorpsiyon yoluyla; poliaro-
matik hidrokarbonlar (PAH'lar) ve pesti-
sitler gibi çeşitli organik kirleticilerin yanı
sıra ağır metaller, amonyak, nitrat ve fosfor
türleri gibi inorganik kirleticilerin gideri-
minde de etkinlik gösterdiği bildirilmekte-
dir (Beljin vd., 2024). Kimyasal aktivasyon
(örneğin $ZnCl_2$, KOH gibi maddelerle) ve
yüzey fonksiyonlandırma işlemleri, ham
biyokömüre kıyasla adsorpsiyon kapasitesi-
ni önemli ölçüde artırmaktadır.

Bununla birlikte, biyokömürün laboratu-
var ölçeğinden saha ölçeğine taşınmasında;
performans tutarsızlıkları, yüksek üretim
maliyeti ve mevcut arıtma sistemleriyle
entegrasyon güçlükleri gibi zorluklar bulun-
maktadır (Beljin vd., 2024).

Karbon Nanotüpler (CNT)

Karbon nanotüpler (CNT'ler), silindirik
morfolojileri, yüksek özgül yüzey alanla-
rı ve nanometre ölçeğindeki iç kanalları
sayesinde su ve çeşitli çözünmüş türlerin
hızlı ve seçici biçimde taşınmasına olanak
sağlayan ileri karbon temelli nanomalzeme-
ler arasında yer almaktadır. Özellikle plaz-
ma ile modifiye edilmiş ultra uzun karbon
nanotüplerin, ağırlıklarının %400'ünü aşan
düzeylerde tuz adsorpsiyon kapasitesine
ulaşabildiği ve bu kapasitenin gelişmiş aktif
karbon bazlı adsorbanlara kıyasla yaklaşık



TEK ATOMİK KATMANLI YAPISI, YÜKSEK MEKANİK DAYANIMI VE AYARLANABİLİR NANO GÖZENEKLERİ SAYESİNDE GRAFEN, DESALİNASYON VE MEMBRAN BAZLI AYIRMA TEKNOLOJİLERİNDE SON YILLARDA EN ÇOK ARAŞTIRILAN MALZEMELERDEN BİRİ OLMUŞTUR (DAİ VD., 2022).

iki kat daha yüksek olduğu bildirilmek-
tedir. Bu yüksek adsorpsiyon kapasitesi,
CNT'lerin özellikle tuz giderimi ve desa-
linasyon uygulamalarında umut vadeden
nanomalzemeler olarak değerlendirilmesini
sağlamaktadır.

Bunun yanı sıra, karbon nanotüpler, ince
film nanokompozit (TFN) membranların
geliştirilmesinde de kullanılmaktadır. Tek
duvarlı ve çok duvarlı karbon nanotüple-
rin membran yapısına dahil edilmesiyle
ters ozmoz membranlarının tuz giderim
performansının, mekanik dayanıklılığının
ve kirlenmeye (fouling) karşı direncinin
iyileştirilebildiği bildirilmektedir (Nchoe
vd., 2025).

Grafen ve Grafen Oksit Bazlı Membranlar

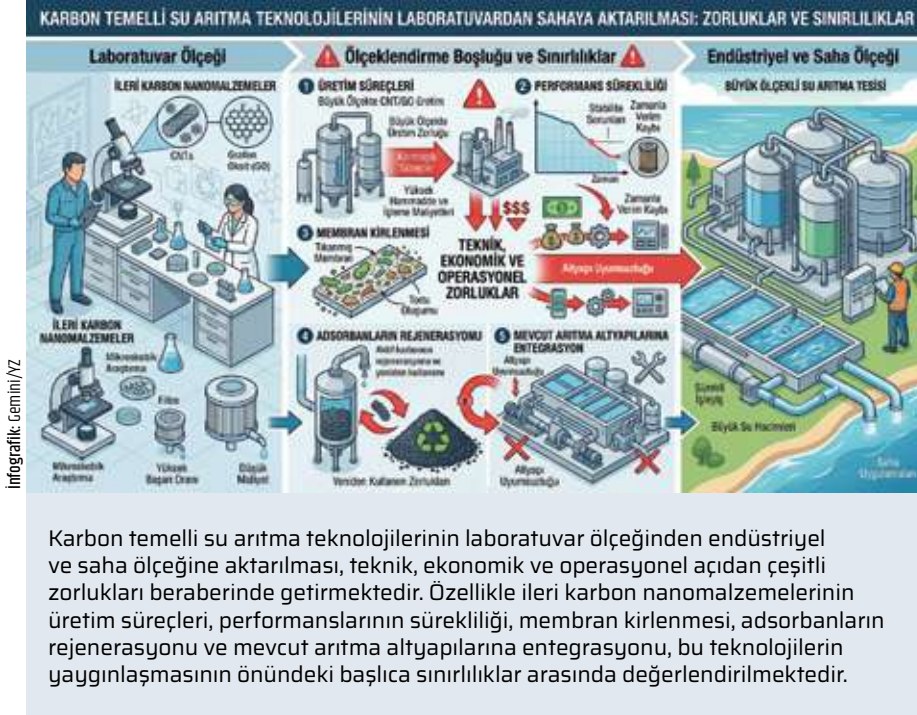
Tek atomik katmanlı yapısı, yüksek meka-
nik dayanımı ve ayarlanabilir nano göze-
nekleri sayesinde grafen, desalinasyon ve
membran bazlı ayırma teknolojilerinde son
yıllarda en çok araştırılan malzemelerden
biri olmuştur (Dai vd., 2022). Grafen oksit
(GO) ile modifiye edilmiş membranlar;
yüksek klor direnci, artırılmış su akışı ve
iyileştirilmiş hidrofilitiklik gibi özellikleriyle

ters ozmoz ve nanofiltrasyon süreçlerinde
biyolojik kirlenmeyi (biofouling) azalt-
maktadır (Nchoe vd., 2025). Grafen bazlı
nanokompozit membranların ayrıca alkali
toprak metalleri, doğal organik maddeler
ve mikroorganizmalara karşı kirlenme
direnci gösterdiği rapor edilmiştir.

Genel olarak nanokompozit membran-
lar -grafen, GO ve CNT dâhil- geleneksel
polimer membranlara kıyasla daha yüksek
su geçirgenliği, daha iyi kirlenme direnci ve
çok işlevli antibakteriyel özellikler sunarak
su ve atık su arıtımında yeni nesil çözümler
olarak değerlendirilmektedir (İsmail vd.,
2023).

KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Karbon temelli su arıtma teknolojilerinin
laboratuvar ölçeğinden endüstriyel ve saha
ölçeğine aktarılması, teknik, ekonomik
ve operasyonel açıdan çeşitli zorlukları
beraberinde getirmektedir. Özellikle ileri
karbon nanomalzemelerinin üretim süreçle-
ri, performanslarının sürekliliği, membran
kirlenmesi, adsorbanların rejenerasyonu ve
mevcut arıtma altyapılarına entegrasyonu,



bu teknolojilerin yaygınlaşmasının önündeki başlıca sınırlılıklar arasında değerlendirilmektedir.

Üretim maliyeti: Grafen ve karbon nanotüpler gibi ileri karbon nanomalzemelerinin yüksek saflıkta ve büyük miktarlarda üretimi, mevcut üretim yöntemlerinin karmaşıklığı ve enerji gereksinimi nedeniyle önemli maliyetler doğurabilmektedir. Bu durum, söz konusu malzemelerin endüstriyel ölçekte ekonomik olarak uygulanabilirliğini sınırlandıran temel faktörlerden biridir.

Performansın sürekliliği: Karbon bazlı adsorbanların adsorpsiyon performansı; pH, sıcaklık, iyonik güç, başlangıç kirletici konsantrasyonu ve doğal organik madde içeriği gibi çevresel ve işletme koşullarındaki değişimlerden etkilenebilmektedir. Bu nedenle, farklı su matrislerinde ve değişken işletme koşullarında performansın sürekliliğinin sağlanması önemli bir araştırma konusu olmaya devam etmektedir (Beljin vd., 2024).

Rejenerasyon ve yeniden kullanımı: Aktif karbon ve biyokömür gibi adsorbanların belirli bir kullanım süresinin ardından rejenerasyona tabi tutulması veya yeniden kullanılması gerekmektedir. Bununla birlikte, rejenerasyon işlemleri

ilave enerji ve işletme maliyetleri gerektirebilmekte ve adsorbanın adsorpsiyon kapasitesinde zamanla meydana gelen azalmalar, yeniden kullanım verimliliğini sınırlayabilmektedir.

Ölçeklenebilirlik ve sistem entegrasyonu: Laboratuvar koşullarında elde edilen yüksek giderim verimlerinin saha koşullarında sürdürülebilmesi, karbon temelli teknolojilerin ölçeklenebilirliği açısından önemli bir gerekliliktir. Mevcut su ve atık su arıtma altyapılarına entegrasyon; proses tasarımı, hidrolik koşullar, işletme gereksinimleri ve maliyet gibi teknik ve lojistik faktörlerin birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Gelecekte, karbon bazlı su arıtma teknolojilerinin geliştirilmesinde yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip, düşük maliyetli ve rejenerasyonu kolay karbon malzemelerinin geliştirilmesi, farklı atık biyokütlelerin hammadde olarak değerlendirilmesi ve karbon malzemelerinin yüzey modifikasyonu yoluyla seçiciliğinin artırılması öncelikli araştırma alanları arasında yer alacaktır. Bunun yanı sıra, karbon bazlı adsorbanların farklı karbon malzemeleriyle veya diğer fonksiyonel malzemelerle birleştirilmesi, hedef kirleticilere yönelik seçici adsorpsiyon kapasitesinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Ayrıca, üretim koşullarının ve adsorpsiyon

proseslerinin makine öğrenmesi gibi veri temelli yöntemlerle optimize edilmesi, malzeme performansının iyileştirilmesi ve endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğin artırılması açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır.

SONUÇ

Karbon bazlı malzemeler; yüksek yüzey alanları, gözenekli yapıları ve yüzey özelliklerinin modifiye edilebilir olması sayesinde su ve atık su arıtımında farklı kirleticilerin giderimi için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Aktif karbon ve biyokömür düşük maliyet ve sürdürülebilirlik açısından öne çıkarken, karbon nanotüpler ve grafen/grafen oksit gibi ileri karbon malzemeleri yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve seçici ayırma özellikleriyle dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, üretim maliyeti, performans sürekliliği, rejenerasyon ve ölçeklenebilirlik gibi sınırlılıkların giderilmesi gerekmektedir. Gelecekte düşük maliyetli, yüksek performanslı ve rejenerasyonu kolay karbon malzemelerinin geliştirilmesi, bu teknolojilerin sürdürülebilir ve endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğini artıracaktır.

KAYNAKÇA

- Beljin, J., Đukanović, N., Anojčić, J., Simetić, T., Apostolović, T., Mutić, S., & Maletić, S. (2024). Biochar in the remediation of organic pollutants in water: A review of polycyclic aromatic hydrocarbon and pesticide removal. *Nanomaterials*, 15(1), 26. <https://doi.org/10.3390/nano15010026>.
- Chakraborty, A., Pal, A., & Saha, B. B. (2022). A critical review of the removal of radionuclides from wastewater employing activated carbon as an adsorbent. *Materials*, 15(24), 8818. <https://doi.org/10.3390/ma15248818>.
- Dai, Y., Liu, M., Li, J., Kang, N., Ahmed, A., Zong, Y., Tu, J., Chen, Y., Zhang, P., & Liu, X. (2022). Graphene-based membranes for water desalination: A literature review and content analysis. *Polymers*, 14(19), 4246. <https://doi.org/10.3390/polym14194246>.
- Ismail, A. F., Goh, P. S., & Yusof, N. (2023). Recent development of nanocomposite membranes for water and wastewater treatment. *Nanomaterials*, 13(10), 1686. <https://doi.org/10.3390/nano13101686>.
- Mu'azu, N. D., Jarrah, N., Zubair, M., & Alagha, O. (2017). Removal of phenolic compounds from water using sewage sludge-based activated carbon adsorption: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10), 1094. <https://doi.org/10.3390/ijerph14101094>.
- National Research Council (ABD) İçme Suyu Güvenliği Komitesi. (1980). An evaluation of activated carbon for drinking water treatment. Drinking water and health. National Academies Press. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK234593/>.
- Nchoe, O. B., Pilay, S., & Iyuke, S. (2025). Advances in membrane technologies for seawater desalination: Carbon- and metal-based nanocomposites for fouling mitigation. *International Journal of Chemical Engineering*, 2025, Article 5958890. <https://doi.org/10.1155/ijce/5958890>.

Atölye41 MAKET

2008 yılından bu yana mimari ve endüstriyel maket tasarımı alanında faaliyet gösteriyoruz. Kocaeli merkezli firmamız, modern teknoloji ile el işçiliğini birleştirerek her ölçekte projeye özel çözümler üretmektedir. Amacımız, projelerinizi gerçeğe en yakın biçimde üç boyutlu olarak yaşatmaktır.



MAKET TÜRLERİ

Mimari Maketler

Konut, villa, toplu yaşam alanları veya ticari projelerin genel görünümünü ölçekli olarak yansıtır. Peyzaj, ışıklandırma ve çevre düzenlemesi detaylarıyla proje sunumlarına değer katar.

Endüstriyel Maketler

Fabrika, tesis ve üretim alanlarının üretim hatlarını veya tesis düzenini 3 boyutlu şekilde gösterir. Eğitim ve tanıtım amaçlı tercih edilir.

Kentsel Tasarım Maketleri

Geniş ölçekli şehir planları, meydan düzenlemeleri, park ve ulaşım sistemlerinin görselleştirilmesinde kullanılır.

İç Mekan Maketleri

Otel, ofis veya mağaza gibi iç mekanların detaylı planlamasını görsel hale getirir.

Maketlerinizi Yüksek Standartlarda Hayata Geçiriyoruz

PROJE ANALİZİ
TASARIM & ÖLÇEK BELİRLEME
ÜRETİM (LAZER KESİM, 3D BASKI, EL İŞÇİLİĞİ)
MONTAJ & DETAYLANDIRMA
TESLİM & SUNUM



Atölye41
MAKET

“Tasarımın
minimize edilmiş en
somut hali.”

0 (262) 321 35 35
0 (533) 422 03 41

SANAYİ MAH. KOZALI SOK. ÇARŞI YAPI
A BLOK NO:10 A İÇ KAPI NO: 17 İZMİT/KOCAELİ

info@atolye41maket.com



Mimari Maket Atölyesi

GELECEĞİN KENTLERİNDE LİKİT AĞAÇLAR

MİKROORGANİZMALARLA KARBON YAKALAMA

Toprağın tükendiği ve betonun gökyüzünü kuşattığı megakentlerde, doğanın milyonlarca yıllık fotosentez mucizesi fotobiyoreaktörlerin sıvı matrisinde yeniden doğuyor. Likit ağaçlar, doğal ormanların bir ikamesi değil; sıkıştırılmış kent dokusunda karbonu yakalayan, biyokütleyi toprağa geri kazandıran biyomimetik bir mühendislik devrimidir.

DOÇ. DR. BÖRTE KÖSE MUTLU

İTÜ Sıfır Atık Enstitüsü Enstitü Müdürü, Sürdürülebilirlik Ofisi Koordinatörü,
Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi

İklim değişikliğiyle mücadelede en temel hedeflerden biri, atmosfere salınan sera gazlarının azaltılmasıdır. Ancak yalnızca yeni emisyonların önlenmesi yeterli değildir; atmosferde bulunan karbondioksitin yakalanması ve mümkün olduğunca uzun süre karbon döngüsünden uzak tutulması da giderek önem kazanmaktadır. Bu nedenle karbon yakalama teknolojileri, enerji ve sanayi sektörlerinin yanı sıra kentlerin sürdürülebilirlik gündeminde de daha görünür hale gelmektedir.

Karbon yakalama denildiğinde çoğunlukla büyük endüstriyel tesislere entegre edilen fiziksel ve kimyasal prosesler aklı gelse de doğa, milyonlarca yıldır kendi karbon yakalama mekanizmalarını işletmektedir. Bitkiler ve fotosentetik mikroorganizmalar, karbondioksiti fotosentez yoluyla organik maddeye dönüştürür. Son yıllarda bu doğal mekanizmaların mühendislik sistemlerine aktarılması, biyolojik karbon yakalama teknolojilerinin gelişmesini sağlamıştır. Mikroalg temelli “likit ağaçlar” da bu yaklaşımın kent ölçeğindeki dikkat çekici örneklerinden biridir.

BİR TANKTAN DAHA FAZLASI: BİYOREAKTÖR OLARAK LİKİT AĞAÇ

Bir likit ağacın etkinliği yalnızca içerisinde mikroalg bulunmasına bağlı değildir. Sistemin kendisi aslında kontrollü bir biyoreaktördür. Mikroorganizmaların sağlıklı biçimde gelişebilmesi için ışık, sıcaklık, pH, besin maddeleri ve gaz transferi gibi birçok parametrenin birlikte yönetilmesi gerekir.

Reaktöre verilen CO₂’nin mikroorganizmalarla temasının sağlanması, uygun ışık koşullarının oluşturulması ve giriş-çıkış CO₂ konsantrasyonlarının izlenmesi sistem performansının değerlendirilmesi açısından önemlidir. Fotobiyoreaktörlerin tasarımı bu nedenle biyoloji ile mühendisliğin kesiştiği bir alandır. Membran fotobiyoreaktörlerin sürdürülebilir CO₂ yakalama ve kullanımındaki potansiyeli de literatürde araştırılmıştır (Senatore ve ark., 2021).

Ancak asıl araştırma sorularından biri şudur: Bu sistemlerde yalnızca belirli mikroalg türlerini kullanmak yerine, farklı karbon yakalama mekanizmalarına sahip mikroorganizmalar bir araya getirilebilir mi?





LİKİT AĞAÇ NEDİR?

“Likit ağaç” olarak adlandırılan sistemler, temel olarak mikroalglerin bulunduğu fotobiyoreaktörlerdir. Mikroalgler sucul ortamda büyürken ışık enerjisinden yararlanarak fotosentez gerçekleştirir, karbondioksiti kullanır ve biyokütle oluşturur. Böylece doğal bir biyolojik süreç, kontrollü bir mühendislik sistemi içerisinde gerçekleştirilebilir.

Mikroalglerin biyolojik karbon yakalama açısından ilgi görmesinin önemli nedenlerinden biri hızlı büyüyebilmeleri ve karbonu biyokütleye dönüştürebilmeleridir. Chlorella ve Spirulina gibi mikroalg/cyanobacteria grupları bu amaçla üzerinde çalışılan organizmalar arasındadır. Mikroalg temelli karbon yakalama sistemleri ve bunların fotobiyoreaktörlerde kullanılması son yıllarda kapsamlı biçimde araştırılmaktadır (Iglina ve ark., 2022; Sun ve ark., 2025).

Likit ağaçları gerçek ağaçların rakibi veya onların yerine geçebilecek bir teknoloji olarak değerlendirmek ise doğru değildir. Ağaçlar yalnızca karbon tutmaz; gölgeleme, habitat oluşturma, sıcaklık kontrolü, su döngüsünün düzenlenmesi ve kentsel ekosistemlerin desteklenmesi gibi çok sayıda ekosistem hizmeti sağlar. Likit ağaçların potansiyeli daha farklıdır: Özellikle yoğun yapılaşmış, toprak alanın kısıtlı olduğu veya geleneksel yeşil altyapının uygulanmasının zor olduğu noktalarda biyolojik karbon yakalamayı destekleyebilecek kompakt sistemler olarak düşünülebilir.

YAKALAMAK YETMEZ: KARBONA SONRA NE OLACAK?

Biyolojik karbon yakalamamanın kritik konularından biri de oluşan biyokütlenin yönetimidir. Mikroalglerin CO₂'yi kullanarak büyümesi, karbonun ortadan kaybolduğu anlamına gelmez; karbon büyük ölçüde biyokütlenin yapısına aktarılmış olur. Dolayısıyla sistemin gerçek iklim faydasını değerlendirirken bu biyokütlenin daha sonra nasıl kullanılacağı veya depolanacağı da dikkate alınmalıdır.

Bu noktada seçeneklerden biri biyokömür üretimidir. Reaktörde oluşan fazla biyokütlenin uygun diğer organik atıklarla birlikte oksijensiz koşullarda pirolize edilmesiyle daha kararlı bir karbon formu olan biyokömür elde edilmesi araştırılabilir. Biyokömürün karbon depolama ve farklı çevresel uygulamalardaki potansiyeli literatürde uzun süredir ele alınmaktadır (Mulabagal ve ark., 2016). Böyle bir yaklaşım, likit ağacı yalnızca karbonu yakalayan bir sistem olmaktan çıkarak yakalama, biyokütle üretimi ve karbon depolamayı birlikte değerlendiren döngüsel bir teknolojiye dönüştürülebilir.



BİR LİKİT AĞACIN ETKİNLİĞİ YALNIZCA İÇERİSİNDE MİKROALG BULUNMASINA BAĞLI DEĞİLDİR. SİSTEMİN KENDİSİ ASLINDA KONTROLLÜ BİR BİYOREAKTÖRDÜR. MİKROORGANİZMALARIN SAĞLIKLI BİÇİMDE GELİŞEBİLMESİ İÇİN IŞIK, SICAKLIK, PH, BESİN MADDELERİ VE GAZ TRANSFERİ GİBİ BİRÇOK PARAMETRENİN BİRLİKTE YÖNETİLMESİ GEREKİR.



GELECEĞİN SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTLERİ TEK BİR TEKNOLOJİYLE KURULMAYACAKTIR. DOĞAL YEŞİL ALANLARIN KORUNMASI VE ARTIRILMASI TEMEL ÖNCELİK OLMAYA DEVAM EDERKEN, YENİLENEBİLİR ENERJİ, ENERJİ VERİMLİLİĞİ, DÖNGÜSEL EKONOMİ, SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIM VE YENİ KARBON YAKALAMA TEKNOLOJİLERİNİN BİRLİKTE DEĞERLENDİRİLMESİ GEREKECEKTİR.

KENTLERİN YENİ YEŞİL ALTYAPISINDA LİKİT AĞAÇLAR

Geleceğin sürdürülebilir kentleri tek bir teknolojiyle kurulmayacaktır. Doğal yeşil alanların korunması ve artırılması temel öncelik olmaya devam ederken, yenilenebilir enerji, enerji verimliliği, döngüsel ekonomi, sürdürülebilir ulaşım ve yeni karbon yakalama teknolojilerinin birlikte değerlendirilmesi gerekecektir. Likit ağaçlar bu bütünün küçük fakat yenilikçi bir bileşeni olabilir. Üniversite kampüsleri, kamusal alanlar veya yoğun kent dokuları, bu sistemlerin araştırılması ve gerçek koşullarda performanslarının izlenmesi için yaşayan laboratuvarlara dönüştürülebilir. Bununla birlikte bir sistemin gerçekten sürdürülebilir olduğunu söyleyebilmek için yalnızca tuttuğu CO₂ miktarına bakmak yeterli değildir. Reaktörün kurulması için kullanılan malzemeler, enerji ihtiyacı, aydınlatma, işletme ve bakım gereksinimleri ile oluşan biyokütlenin yönetimi birlikte değerlendirilmelidir. Bu nedenle yaşam döngüsü değerlendirmesi, gelecekteki likit ağaç tasarımlarının önemli araçlarından biri olacaktır.

Belki de geleceğin “ağacı”, bildiğimiz ağacın teknolojik bir kopyası olmayacaktır. Doğal ağaçların vazgeçilmez ekolojik işlevlerini korurken, onların fotosentez ve madde taşınımı gibi prensiplerinden öğrenen

biyoreaktörler geliştirmek daha gerçekçi bir yaklaşım sunmaktadır. Mikroalgler, karbon yutan mikroorganizmalar, biyomimetik malzemeler ve karbon depolama teknolojilerinin aynı sistem içerisinde buluşması, kentlerde karbon yönetimi için yeni bir araştırma alanı açabilir.

Likit ağaçların asıl değeri de belki burada yatmaktadır: Doğanın yerine geçmeye çalışmakta değil, doğanın milyonlarca yıldır kullandığı mekanizmalardan öğrenerek yeni mühendislik çözümleri geliştirmekte...

KAYNAKÇA

- Iglina, T., Iglina, P., & Pashchenko, D. (2022). Industrial CO₂ capture by algae: A review and recent advances. *Sustainability*, 14(7), 3801. <https://doi.org/10.3390/su14073801>
- Mulabagal, V., Baah, D. A., Egiebor, N. O., & Chen, W.-Y. (2016). Biochar from biomass: A strategy for carbon dioxide sequestration, soil amendment, power generation, and CO₂ utilization. In W.-Y. Chen, T. Suzuki, & M. Lackner (Eds.), *Handbook of climate change mitigation and adaptation* (pp. 1937-1974). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6431-0_80
- Senatore, V., Buonerba, A., Zarra, T., Oliva, G., Belgiorio, V., Boguniewicz-Zablocka, J., & Naddeo, V. (2021). Innovative membrane photobioreactor for sustainable CO₂ capture and utilization. *Chemosphere*, 273, 129682. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129682>
- Sun, Z., Bo, C., Cao, S., & Sun, L. (2025). Enhancing CO₂ fixation in microalgal systems: Mechanistic insights and bioreactor strategies. *Marine Drugs*, 23(3), 113. <https://doi.org/10.3390/md23030113>

DELSA



AKILLI EV SİSTEMLERİ

Hayatı daha pratik, güvenli ve keyifli hale getiren akıllı ev çözümleri

- ✓ Mobil Uygulama
- ✓ Anında Bildirim
- ✓ Kablosuz Kurulum
- ✓ Video İnterkom Desteği
- ✓ 7 ve 10 inç ekran seçeneği
- ✓ Genişletilebilir Sistem



KARBONUN GÖRÜNMEYEN YOLCULUĞU

DÖNGÜ, ÖLÇÜM VE TÜRKİYE'NİN YERİ

Karbon ne mutlak bir düşman ne de saf bir dost; o, gezegenin yaşam çarklarını döndüren hassas bir dengenin asli aktörü. İklim krizinin gölgesinde biçimlenen yeni çağda karbon teknolojilerinin geleceği, karbonu atmosferden çekip depolamanın yanında ekosistemdeki dolaşımı güvenilir biçimde izleyebilmekte de yatmaktadır.

DR. EYYUP ENSAR BAŞAKIN

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi

İklim krizi denince aklımıza genellikle sera gazı emisyonları, fabrika bacaları ya da elektrikli araçlar gelir. Oysa gezegenin karbon döngüsünün en büyük ve en az konuşulan bileşeni, her gün ayaklarımızın altında, sessizce çalışan bir mekanizma: bitkilerin fotosentez yoluyla atmosferden çektiği karbon. Atmosferdeki karbondioksit, okyanuslarda çözünen karbonat, toprağın altında milyonlarca yıldır hapsolmuş kömür ve petrol, ormanların gövdesinde biriken odun kütlesi; bunların hepsi tek bir büyük döngünün parçasıdır. Bu döngüyü anlamadan ne iklim krizini ne de karbon teknolojileri kavramının neden bu kadar önemli hale geldiğini anlamak mümkün değil.

KARBON DÖNGÜSÜ NEDİR?

Karbon döngüsü, karbonun atmosfer, okyanuslar, kara ekosistemleri ve jeolojik rezervler arasında sürekli dolaşımıdır [1]. Bu döngünün iki ana hızı vardır. Hızlı döngü dediğimiz kısım, bitkilerin fotosentez yoluyla atmosferden çektiği karbondioksiti şekere, oradan da biyokütleye dönüştürmesiyle başlar; bu süreç bilim dilinde brüt birincil üretkenlik (Gross Primary Productivity – GPP) olarak adlandırılır ve küresel karbon bütçesinin en büyük tek bileşenidir [1,2]. Bir başka deyişle, ormanlar, tarım alanları, çayırlar ve hatta şehir parkları her gün atmosferden inanılmaz miktarda karbondioksiti yutuyor. Bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalar solunum yoluyla bu karbonun bir kısmını atmosfere geri verir; toprak organik maddesi, ölü yapraklar ve kökler yoluyla bir kısmı yıllarca toprakta kalır. Okyanuslar da benzer şekilde hem fiziksel çözünme hem de fitoplankton fotosentezi yoluyla atmosferle sürekli karbon alışverişi yapar [1]. Nitekim insan kaynaklı karbondioksitin yaklaşık yüzde 44'ü atmosferde kalırken, geri kalanının yaklaşık dörtte biri okyanuslar, üçte biri de kara ekosistemleri tarafından emiliyor [3].

Yavaş döngü ise on binlerce, hatta milyonlarca yıl süren jeolojik süreçleri kapsar: kayaçların aşınması, karbonatların çökmesi, organik maddenin fosil yakıtlara dönüşmesi. İnsanlığın 19. yüzyıldan bu yana yaptığı asıl şey, bu yavaş döngüde milyonlarca yılda biriken karbonu (kömür, petrol ve doğal gazı yakarak) birkaç yüzyıl içinde hızlı döngüye geri sokmak oldu. Sorunun özü tam olarak burada: doğa, karbonu yavaşça gömdü; biz onu hızla geri çıkardık.





**DOĞA KARBONU
MİLYONLARCA YILDA
YAVAŞÇA GÖMDÜ; İNSANLIK
İSE ONU BİRKAÇ YÜZYILDA
GERİ ÇIKARDI. SORUNUN
TÜM YIKICILIĞI BU ZAMAN
KAYMASINDA GİZLİ.**



GÖRÜNMEZ KULELER VE UYDU ALGORİTMALARININ PARADOKSU

Türkiye ekosistemi, Akdeniz kuraklığından Karadeniz ormanlarına uzanan karmaşık bir coğrafi çeşitliliğe sahiptir. Saha bazlı Eddy Kovaryans kulelerinin yetersizliği, ülkenin karbon tutum kapasitesini (GPP) izlemede uydu verilerini (MODIS, GOSIF, PML-V2) zorunlu kılmaktadır. Ancak Konya ve Şanlıurfa gibi kurak tarım havzalarında uydu algoritmaları, bitkilerin su kaybını önlemek için gözeneklerini kapatmasını (stomatal kapanma) farklı biçimlerde modellemektedir. Bu durum, aynı arazi parçası için farklı uyduların çelişkili karbon verileri üretmesine neden olmaktadır; iklim adaptasyonu, tarımsal planlama ve uluslararası karbon piyasaları açısından ciddi bir ölçüm belirsizliği yaratmaktadır.

BU GÖRÜNMEZ SÜRECİ NASIL ÖLÇÜYORUZ?

Bitki örtüsünün karbon alım kapasitesini, yani GPP'yi doğrudan ölçmenin en güvenilir yolu, eddy kovaryans adı verilen özel kulelerle yapılan saha ölçümleridir. Bu kuleler bir orman ya da tarım alanının üzerine kurulur ve havadaki karbondioksit ile su buharının anlık hareketini sürekli kaydeder. Ne var ki bu kuleler pahalıdır, kurulumu ve bakımı zordur ve dünyanın büyük bölümünde, özellikle Türkiye gibi coğrafi olarak

çeşitli ve arazi gözlemi seyrek olan ülkelerde, yeterli yoğunlukta bulunmaz. İşte tam bu noktada uydu teknolojileri devreye giriyor. Son yirmi yılda geliştirilen çeşitli uydu tabanlı GPP ürünleri, bitki örtüsünün yansıttığı ışığı, klorofil floresansını ve iklim verilerini birleştirerek geniş coğrafyalarda karbon alımını tahmin edebiliyor. MODIS, GOSIF, TL-LUE, MuSyQ, PML-V2 ve FLUX-COM gibi isimlerle anılan bu veri setleri, farklı algoritmalar ve farklı varsayımlarla çalışıyor; kimi ışık kullanım verimliliği

modeline dayanırken, kimi doğrudan klorofil floresansından, kimi de makine öğrenmesinden yararlanıyor.

DÜNYADA BUGÜN NEREDE DURUYORUZ?

Rakamlar, tablonun ne kadar kritik olduğunu gösteriyor. Küresel Karbon Bütçesi ekibinin COP30 kapsamında paylaştığı güncel verilere göre, fosil yakıt kaynaklı karbon emisyonları 2025'te bir önceki yıla göre yüzde 1,1 artarak 38,1 milyar tonla yeni bir rekor seviyeye ulaştı; birçok ülkede enerji sistemlerinin karbonsuzlaştırılmasında ilerleme kaydedilse de bu, küresel enerji talebindeki artışı dengelemeye yetmiyor [4]. Atmosferdeki karbondioksit yoğunluğu ise şu anda 425,6 ppm (milyonda parça) seviyesinde; bu, sanayi öncesi döneme kıyasla yaklaşık yüzde 50 daha yüksek bir değer [4].

Belki de en çarpıcı gösterge, karbon bütçesi kavramı. Paris Anlaşması'nın 1,5°C hedefini koruyabilmek için insanlığın atmosfere salabileceği toplam karbondioksit miktarı sınırlı; bilim insanlarına göre, küresel ısınmayı %50 olasılıkla 1,5°C'nin altında tutabilmek için bu bütçenin yalnızca yaklaşık 170 milyar tonu kaldı ve mevcut emisyon hızıyla bu miktar önümüzdeki dört yıl içinde tükenecek [4,5]. Bir başka deyişle, 1,5°C hedefini tutturma ihtimali zaten madalyonun sadece bir yüzü; kalan bütçe tükendiğinde bu ihtimal daha da düşecek.

Bu tabloyu daha da endişe verici hale getiren bir başka gelişme ise, doğal karbon yutaklarının (yani ormanların, toprakların ve okyanusların) eski verimlilikle çalışmıyor olması. Araştırmalar, 1960'tan bu yana atmosferdeki karbondioksit artışının yaklaşık yüzde 8'inin, iklim değişikliğinin kara ve okyanus yutakları üzerindeki olumsuz etkisinden kaynaklandığını gösteriyor [4]. Daha da somut bir örnek: Arktik-boreal bölgenin üçte birinden fazlası, artık karbon yutan değil, karbon salan bir alan haline geldi; permafrostun (donmuş toprak) erimesiyle binlerce yıldır orada hapsolan karbon atmosfere geri dönüyor [6]. Yani karbon

Bitkilerin karbon alımını doğrudan ölçmenin en güvenilir yolu eddy kovaryans kuleleri; ancak yüksek maliyetleri ve sınırlı saha ağı, özellikle Türkiye gibi coğrafi çeşitliliği yüksek ülkelerde önemli bir boşluk yaratıyor. Bu noktada devreye giren uydular, ışık, klorofil floresansı ve iklim verilerini birleştirerek geniş alanların GPP kapasitesini tahmin ediyor.



döngüsünün kendisi, iklim değişikliğiyle birlikte değişiyor; bu da geri besleme döngülerinin neden iklim biliminde bu kadar korkulan bir kavram olduğunu açıklıyor.

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİYLE BAĞLANTI: BASİT BİR DENGİ MESELESİ

İklim değişikliğini karbon döngüsünden ayrı düşünmek mümkün değil. Küresel ısınmanın temel nedeni, atmosferdeki sera gazı birikiminin (başta karbondioksit olmak üzere) güneşten gelen enerjiyi tuttuğu için gezegenin ortalama sıcaklığını yükseltmesi. Ama bu tek yönlü bir ilişki değil: sıcaklık artışı da karbon döngüsünü doğrudan etkiliyor. Daha sıcak ve kurak koşullar, bitkilerin su kaybını önlemek için gözeneklerini kapatmasına yol açıyor; bu da fotosentez yoluyla karbon tutma kapasitesini azaltıyor [7]. Aşırı sıcaklıklar ve orman yangınları, biriken karbonu aniden atmosfere geri salıyor [6]. Permafrost erimesi, deniz suyu ısınması ve okyanus asitlenmesi gibi süreçler ise doğal yutakların uzun vadeli kapasitesini zayıflatıyor [4,6]. Bu, kendi kendini besleyen bir sarmal yaratıyor: ısınma arttıkça doğal karbon yutakları zayıflıyor, yutaklar zayıfladıkça atmosferdeki karbon birikimi hızlanıyor, bu da ısınmayı daha da körüklüyor. İşte tam bu yüzden, karbon döngüsünü izlemek (sadece emisyonları değil, doğanın bu karbonu ne kadar geri alabildiğini de takip etmek) iklim politikalarının en kritik bileşenlerinden biri haline geldi.

TÜRKİYE'DE DURUM NE? GPP TAHMİNLERİ: BÖLGESEL BELİRSİZLİK VE TREND ANALİZİ

Türkiye, coğrafi çeşitliliği nedeniyle karbon döngüsü açısından hem ilginç hem de zorlu bir vaka. Akdeniz'in sıcak ve kurak yazlarından Karadeniz'in bol yağışlı, yoğun ormanlık arazisine, Orta Anadolu'nun bozkırdan Güneydoğu'nun sulanan tarım ovalarına kadar geniş bir yelpazede farklı ekosistemler bir arada bulunuyor. Ne var ki Türkiye'de saha bazlı karbon ölçüm istasyonları (eddy kovaryans kuleleri) yok denecek kadar az; bu da ülke genelinde karbon döngüsünü izlemek için uydu verilerine olan bağımlılığı artırıyor.

Bu konuda yürütülen bir bilimsel çalışma, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesini temsil eden noktalarda çok sayıda uydu tabanlı karbon verisini uzun yıllar boyunca karşılaştırdı [2]. Kullanılan istatistiksel testler, incelenen her bölgeden en az bir uydu



SAHA VE UYDU DİVALEKTİĞİ

Sol çerçeve, permafrost çözülmesiyle karbonun atmosfere yeniden salındığı ekolojik kırılmayı; sağ çerçeve, Konya ve Şanlıurfa gibi kurak havzalarda su stresini ölçen mühendislik kulesini simgeler. Doğal yutakların zayıflaması ve uydu algoritmalarındaki sapmalar, iklim politikasının önemli kör noktalarını ortaya koyuyor.

EKOLOJİK DÖNGÜ VE KARBON METRİKLERİ

Kaynak: Küresel Karbon Bütçesi Verileri 6 IPCC

GÖSTERGE / METRİK	KÜRESEL / BÖLGESEL DEĞER	EKOLOJİK VE HUKUKİ ETKİSİ
2025 Fosil Emisyon Rekuru	38,1 Milyar Ton (%1,1 Artış)	Küresel enerji talebinin karbonsuzlaştırma hızını geride bırakması.
Atmosferik CO ₂ Yoğunluğu	425,6 ppm (%50 Sanaayi Öncesi Artış)	Sera etkisinin şiddetlenmesi ve iklimsel geri beslemelerin tetiklenmesi.
Kalan 1,5°C Karbon Bütçesi	~170 Milyar Ton (~4 Yıllık Süre)	Paris Anlaşması yükümlülüklerinin kritik eşiğe dayanması.
Yutak Bozulma Payı	Atmosferik Artışın %8'i (1960'tan beri)	Orman ve okyanusların emilim verimliliğini kaybetmesi.

ürününün diğerlerinden anlamlı ölçüde farklı sonuç verdiğini ortaya koydu; yani "GPP nedir?" sorusunun cevabı, hangi uydu ürününe baktığınıza göre değişebiliyor. Özellikle kurak bölgelerde (Konya ve Şanlıurfa gibi) veri setleri arasındaki uyumsuzluk daha da belirginleşiyor; bunun nedeni, farklı algoritmaların kuraklık koşullarında bitkilerin gözeneklerini kapatarak su kaybını sınırlamasını farklı şekillerde modellemesi. Su kısıtlı ekosistemlerde karbon döngüsünü ölçmek, bol yağışlı bir ormanı ölçmekten çok daha

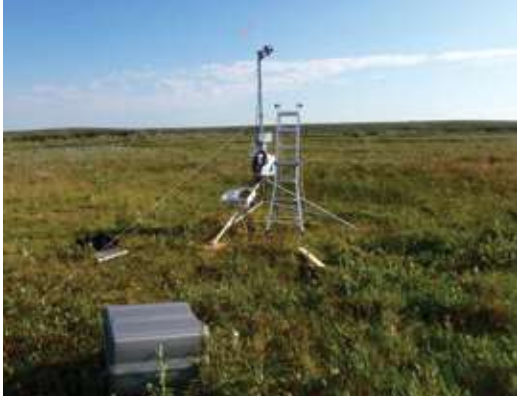
zor bir mühendislik problemi.

Bulgular aynı zamanda umut verici bir eğilime de işaret ediyor: incelenen tüm veri setleri, Türkiye genelinde bitki örtüsünün karbon tutma kapasitesinde anlamlı bir artış olduğunu gösteriyor; bu, küresel ölçekte gözlenen yeşillenme eğilimiyle örtüşen bir sonuç. En yüksek karbon tutma kapasitesi, bol yağışlı ve ormanlık Samsun bölgesinde görülürken, Konya gibi kurak bozkır bölgelerinde bu kapasite en düşük seviyede kalıyor; ancak Konya'da son yıllarda tarım alanlarının genişlemesiyle

SU KİTLİĞİ ÇEKEN BİR BOZKIRDA BİTKİLERİN NE KADAR NEFES ALDIĞINI HESAPLAMAK, BOL YAĞIŞLI BİR ORMANI ÖLÇMEKTEN ÇOK DAHA ÇETİN BİR MÜHENDİSLİK SINAVIDIR.



Akdeniz'den Karadeniz'e, bozkırlardan sulanan ovalara uzanan Türkiye, karbon döngüsünde büyük bir çeşitlilik barındırıyor. Ancak sınırlı sayıda saha ölçüm kulesi, ülkeyi karbon takibinde uydu verilerine daha bağımlı hale getiriyor.



Aynı Türkiye, farklı karbon haritaları: Yedi bölgeden elde edilen veriler, uydu ürünlerinin GPP'yi aynı şekilde ölçmediğini ortaya koyuyor. Özellikle kuraklıkta bitkilerin su kaybını azaltmak için stomalarını kapatması, karbon döngüsünü ölçmeyi çok daha karmaşık bir mühendislik problemine dönüştürüyor.

birlikte karbon tutma kapasitesinde belirgin bir artış da dikkat çekiyor. Bu artışın ne kadarının artan CO₂ seviyelerinin bitkiler üzerindeki gübreleme etkisinden ne kadarının tarımsal genişlemeden ne kadarının da sıcaklık ve yağış rejimindeki değişimlerden kaynaklandığını kesin olarak ayırt etmek kolay değil.

Sonuç olarak, Türkiye'nin en kurak ve iklim değişikliğine en savunmasız bölgelerinde, karbon döngüsünü ne kadar iyi ölçtüğümüz konusunda hâlâ ciddi bir belirsizlik var; tam da bu bölgelerin en çok izlenmeye ihtiyaç duyduğu bir dönemde.

NEDEN ÖNEMLİ?

Karbon piyasaları ve sertifikasyon:

Orman ve tarım alanlarının karbon yutak kapasitesine dayalı karbon kredisi projeleri hızla yaygınlaşıyor. Farklı GPP ürünlerinin aynı alan için farklı sonuçlar verebildiğini bilmek, karbon kredisi hesaplamalarında "hangi veri setine göre?" sorusunun ne kadar kritik olduğunu gösteriyor.

Tarımsal planlama: Konya ve Şanlıurfa gibi kurak tarım bölgelerinde karbon alımındaki artış trendi, sulama yatırımlarının ve tarım politikalarının etkisini izlemek için değerli bir gösterge sunuyor.

Erken uyarı ve iklim adaptasyonu: Bitki örtüsünün karbon alım kapasitesindeki ani düşüşler, genellikle kuraklık stresinin ilk işaretlerinden biridir. Uydu tabanlı GPP izleme, saha gözlemlerinin yetersiz olduğu geniş coğrafyalarda erken uyarı sistemlerine veri sağlayabilir.

Ulusal karbon envanterleri: Paris Anlaşması kapsamındaki raporlama yükümlülükleri, ülkelerin karbon yutak alanlarını doğru şekilde izlemesini gerektiriyor. Saha gözlemi seyrek olan Türkiye gibi ülkeler için, çoklu uydu ürünü karşılaştırması, tek bir veri setine körü körüne güvenmenin risklerini azaltan bir yöntem sunuyor.

ÖNERİLER

Karbon döngüsünü anlamak, artık sadece bilim insanlarının değil, politika yapımcıların, tarım üreticilerinin ve şirketlerin de gündeminde olması gereken bir konu. Bu çerçevede birkaç somut öneri sıralanabilir:

- Saha gözlem ağı genişletilmeli. Türkiye'de eddy kovaryans kulesi sayısının artırılması, uydu verilerinin doğrulanmasını ve karbon tahminlerindeki belirsizliğin azaltılmasını sağlayacaktır. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde bu ağın güçlendirilmesi öncelikli olmalı.
- Çoklu veri kaynağı yaklaşımı

benimsenmeli. Tek bir uydu ürününe ya da tek bir istatistiksel yöntemeye dayanan karbon raporlaması yanıltıcı olabilir; karbon kredisi projelerinden ulusal envanterlere kadar her uygulamada birden fazla veri kaynağının çapraz doğrulanması gerekiyor.

- Kuraklık ve karbon izleme entegre edilmeli. Su kısıtlı bölgelerde karbon tutma kapasitesindeki ani düşüşler genellikle kuraklık stresinin erken işaretidir; bu iki izleme sistemi birlikte tasarlanırsa hem tarımsal planlamaya hem de afet yönetimine katkı sağlar.
- Doğal yutakların korunması, emisyon azaltımı kadar öncelikli görülmeli. Orman

yangınlarının önlenmesi, sürdürülebilir tarım uygulamaları ve toprak organik maddesinin korunması, pahalı karbon yakalama teknolojilerine kıyasla çok daha düşük maliyetli ve hemen uygulanabilir çözümler sunuyor.

• Kamuoyu bilgilendirmesi güçlendirilmeli. Karbon döngüsü ve iklim değişikliği arasındaki bağlantı, teknik jargonun ötesine taşınarak daha geniş kitlelere anlatılmalı; çünkü bu konudaki farkındalık hem bireysel davranış değişikliği hem de kamuoyu desteğiyle şekillenen iklim politikaları için belirleyici.

Karbon ne tamamen düşman ne de tamamen dost bir element. Sorun karbonun kendisinde değil, dengede. Karbon teknolojilerinin geleceği, sadece daha iyi yakalama ve depolama sistemleri geliştirmekten değil, aynı zamanda gezegenin doğal karbon döngüsünü daha güvenilir, çok kaynaklı ve şeffaf yöntemlerle izlemekten de geçiyor. Ve bu dengeyi yeniden kurabilmemiz, önce onu doğru ve güvenilir şekilde ölçebilmemize bağlı.

KAYNAKÇA

- [1] Canadell, J.G., P.M.S. Monteiro, M.H. Costa, L. Cotrim da Cunha, P.M. Cox, A.V. Eliseev, S. Henson, M. Ishii, S. Jaccard, C. Koven, A. Lohila, P.K. Patra, S. Piao, J. Rogelj, S. Syampungani, S. Zaehle, and K. Zickfeld, 2021: Global Carbon and other Biogeochemical Cycles and Feedbacks. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, pp. 673-816, doi: 10.1017/9781009157896.007.
- [2] Başakın, E.E., Stoy, P.C., Demirel, M.C., Pham, Q.B. (2024). Spatiotemporal Variability of Gross Primary Productivity in Türkiye: A Multi-Source and Multi-Method Assessment. *Remote Sensing*, 16(11), 1994. <https://doi.org/10.3390/rs16111994>
- [3] IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) karbon yutakları verileri; aktaran: Cumhuriyet, "İklim Sözlüğü: Karbon Yutağı" (2026). <https://www.cumhuriyet.com.tr/surdurulebilirlik/iklim-sozlugu-karbon-yutagi-2481794>
- [4] Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M.W., et al. (2026). Global Carbon Budget 2025. *Earth System Science Data*, 18(5), 3211-3288. <https://doi.org/10.5194/essd-18-3211-2026>
- [5] Global Carbon Project (2025). "Fossil fuel CO2 emissions hit record high in 2025" basın açıklaması, COP30, Belém. <https://globalcarbonbudget.org/fossil-fuel-co2-emissions-hit-record-high-in-2025/>
- [6] Virkkala, A.M., et al. (2025). Wildfires offset the increasing but spatially heterogeneous Arctic-boreal CO2 uptake. *Nature Climate Change*. <https://doi.org/10.1038/s41558-024-02234-5>
- [7] Stocker, B.D., Zscheischler, J., Keenan, T.F., Prentice, I.C., Seneviratne, S.I., Peñuelas, J. (2019). Drought impacts on terrestrial primary production underestimated by satellite monitoring. *Nature Geoscience*, 12, 264-270. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0318-6>

DİL VE KONUŞMA TERAPİSİ · UÇTAN UCA

Kliniği hayata taşıyoruz.

Lingify; değerlendirme, kişiye özel ev çalışması, ilerleme takibi ve uzman desteğini tek bir bütünleştirici ekosistemde buluşturarak dil ve konuşma terapisini uçtan uca yönetir.



Sistematik

Değerlendirmeden takibe tek süreç



Sürdürülebilir

Seanslar arasında kesintisiz devam



Erişilebilir

Evden, her an, her yerden



Ölçeklenebilir

Bireyden kuruma aynı altyapı

Danışanlar, uzmanlar ve kurumlar için tek platform.



Dil ve konuşma terapisinde
bütünleştirici ekosistem

Daha fazlası için bize ulaşın
lingify.co



CO₂ YAKALAMA UYGULAMALARI İÇİN BİYOKÖMÜR ÜRETİM TEKNİKLERİ VE ÖZELLİKLERİ

AYŞENUR ÇINAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

DOÇ. DR. EBRU KOCA AKKAYA
YTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Karbondioksit (CO₂), küresel iklim değişikliğine katkıda bulunan başlıca sera gazlarından biri olup atmosferik konsantrasyonundaki artış, etkin CO₂ yakalama teknolojilerine olan gereksinimi artırmaktadır. Biyokütlenin oksijensiz veya sınırlı oksijen koşullarında termokimyasal dönüşümü sonucunda elde edilen, yüksek karbon içeriğine ve gözenekli bir yapıya sahip olan biyokömür, CO₂'nin adsorpsiyon mekanizmasıyla yakalanmasında sürdürülebilir ve potansiyel olarak düşük maliyetli bir sorbent olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, biyokömür üretim teknolojileri ve CO₂ tutma kapasitelerini etkileyen fizikokimyasal özellikleri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda; piroliz, gazlaştırma, karbonizasyon ve diğer termokimyasal dönüşüm yöntemleri ile biyokömür üretimi ele alınmış ve elde edilen biyokömürün yapısal ve yüzey özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, biyokömürün CO₂ adsorplama kapasitesi, bu malzemeyi sürdürülebilir ve döngüsel karbon yönetimi kapsamında umut vadeden bir alternatif haline getirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyokömür, biyokütle, CO₂ adsorpsiyonu, termokimyasal dönüşüm

1. GİRİŞ

Küresel sera gazı (GHG) emisyonları, 2024 yılında 57,7 GtCO₂e (Giga ton karbondioksit eşdeğeri) seviyesine ulaşarak rekor düzeye yükselmiş ve 2023 yılına kıyasla %2,3 oranında artış göstermiştir. Bu artış, küresel iklim hedeflerine ulaşılması açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır [1]. Mevcut küresel enerji ve altyapı sistemlerinin önemli ölçüde değişmeden devam edeceği varsayımı altında, 2010-2060 döneminde fosil yakıt kullanımından kaynaklanacak toplam emisyonların 282-701 GtCO₂e aralığında gerçekleşeceği öngörülmektedir [2]. Fosil yakıtlara dayalı enerji tüketiminin neden olduğu yüksek düzeydeki karbondioksit (CO₂) emisyonları ve buna bağlı iklim değişikliği etkilerinin sınırlandırılması

amacıyla, literatürde karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojilerinin yaygınlaştırılması, enerji verimliliğinin artırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının geliştirilmesi, biyolojik karbon yutaklarının güçlendirilmesi ve CO₂ dışındaki sera gazı emisyonlarının azaltılması öne çıkmaktadır [3].

Atmosfere salınan CO₂, tamamen kalıcı bir birikim göstermemekte; atmosfer, okyanuslar ve karasal ekosistemler arasında gerçekleşen doğal karbon döngüsü kapsamında sürekli bir değişim göstermektedir. Okyanuslar, atmosferik CO₂'nin önemli bir bölümünü doğal olarak absorbe etmekte ve bu süreç atmosferik karbon dengesinin düzenlenmesinde



ATMOSFERE SALINAN CO₂, TAMAMEN KALICI BİR BİRİKİM GÖSTERMEMEKTE; ATMOSFER, OKYANUSLAR VE KARASAL EKOSİSTEMLER ARASINDA GERÇEKLEŞEN DOĞAL KARBON DÖNGÜSÜ KAPSAMINDA SÜREKLİ BİR DEĞİŞİM GÖSTERMEKTEDİR. OKYANUSLAR, ATMOSFERİK CO₂'NİN ÖNEMLİ BİR BÖLÜMÜNÜ DOĞAL OLARAK ABSORBE ETMEKTE VE BU SÜREÇ ATMOSFERİK KARBON DENGESİNİN DÜZENLENMESİNDE ÖNEMLİ BİR ROL OYNAMAKTADIR.

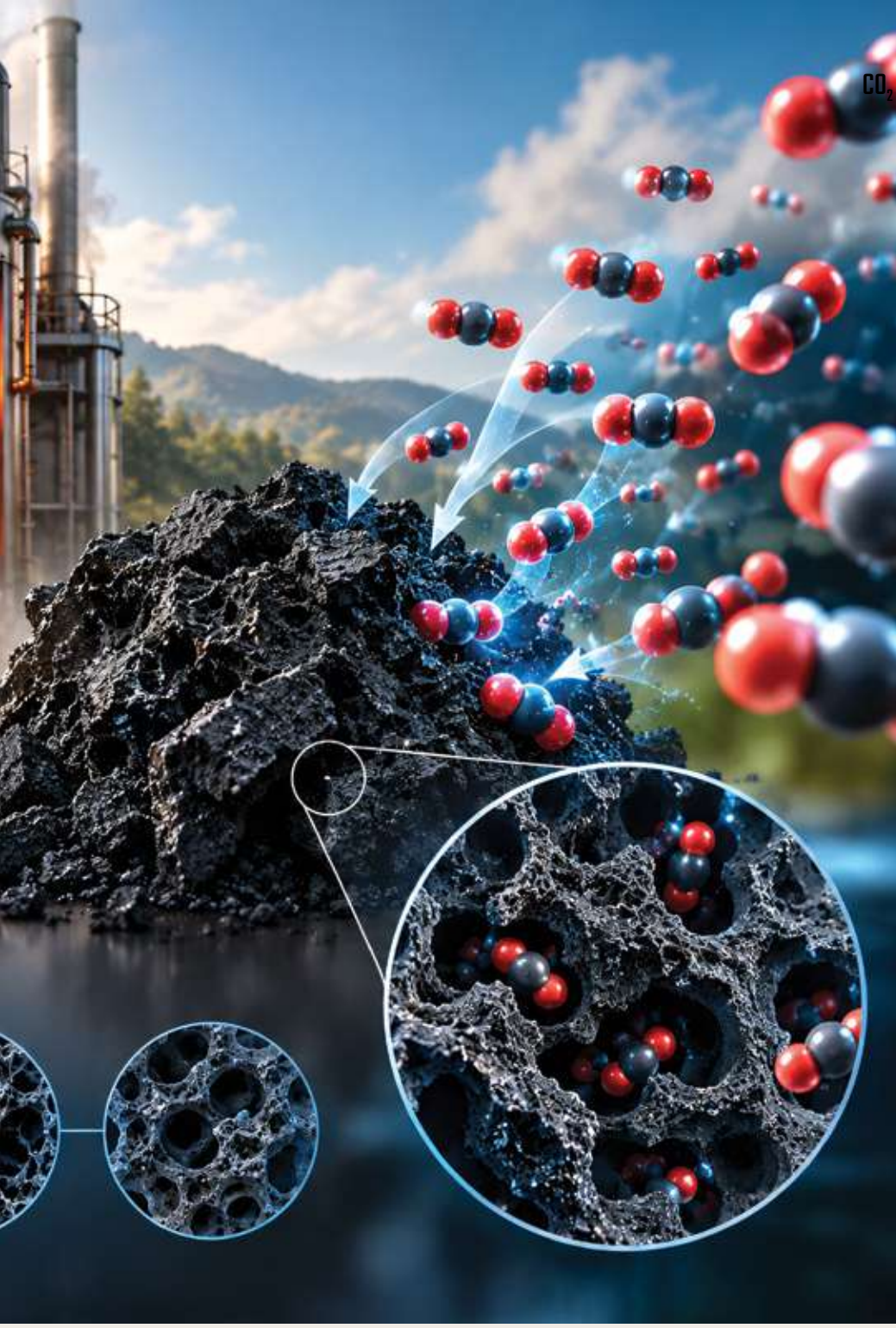
rejenerasyon enerjisi gereksinimi, ekipman boyutlarının büyük olması, çözücülerin zamanla bozunması ve ekipmanlarda korozyon oluşumu gibi dezavantajlar, bu yöntemin enerji ve maliyet açısından daha geniş ölçekli uygulamalarda yaygınlaştırılmasını sınırlandırmaktadır [4]. Çeşitli CO₂ yakalama teknolojileri arasında, katı sorbentler kullanılarak gerçekleştirilen sorpsiyon prosesi, yüksek işletme esnekliği, proses koşullarına uyulanabilirliği ve nispeten düşük bakım maliyeti nedeniyle etkin ve uyulanabilir bir CO₂ yakalama yöntemi olarak öne çıkmaktadır [5]. Çevre dostu ve sürdürülebilir karbonlu sorbentlerden biri olan biyokömür, biyokütle'nin inert koşullar altında piroliz yoluyla termokimyasal olarak dönüştürülmesi sonucunda elde edilmektedir [6]. Biyokömür, zeolit ve aktif karbon gibi geleneksel sorbentlerle karşılaştırıldığında, düşük maliyeti, kolay temin edilebilirliği ve atık biyokütlelerden üretilmesi gibi özellikleri sayesinde büyük ölçekli CO₂ yakalama uygulamaları açısından önemli bir potansiyel sergilemektedir [2]. Biyokömür uygulamalarının yıllık yaklaşık 1 Gt sera gazı emisyonunun tutulmasına katkı sağlayabileceği ve bu kapasitenin küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %10'una karşılık gelebileceği öngörülmektedir [6].

Bu çalışma, biyokömürün CO₂ yakalama teknolojilerinde kullanım potansiyelini değerlendirmeyi ve özetlemeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda biyokömür üretiminde kullanılan başlıca teknolojiler ile CO₂ yakalama kapasitesini etkileyen fizikokimyasal özellikler ele alınmaktadır.

önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, insan kaynaklı CO₂ emisyonlarının önemli ölçüde azaltılması ve atmosfere salınan CO₂'nin sınırlandırılması durumunda, doğal karbon yutaklarının etkisiyle atmosferik CO₂ konsantrasyonlarının uzun vadede azalması mümkün olabilmektedir. Bu çerçevede, özellikle enerji üretimi ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan yüksek miktardaki CO₂ emisyonlarının azaltılması amacıyla, CO₂'nin etkin ve seçici bir şekilde tutulmasını sağlayabilecek

yeni malzemelerin geliştirilmesine yönelik araştırmalar son yıllarda önem kazanmıştır [2].

CO₂'nin ikincil kullanımı veya jeolojik depolanmasını sağlamak amacıyla emisyon kaynaklarından uzaklaştırılmasında, sulu amin çözeltilerine dayalı kimyasal absorpsiyon günümüzde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olup, bu kapsamda özellikle monoetanolamin (MEA) ve dietanolamin (DEA) yaygın olarak tercih edilmektedir. Bununla birlikte, yüksek



2. BİYOKÖMÜR ÜRETİM TEKNİKLERİ

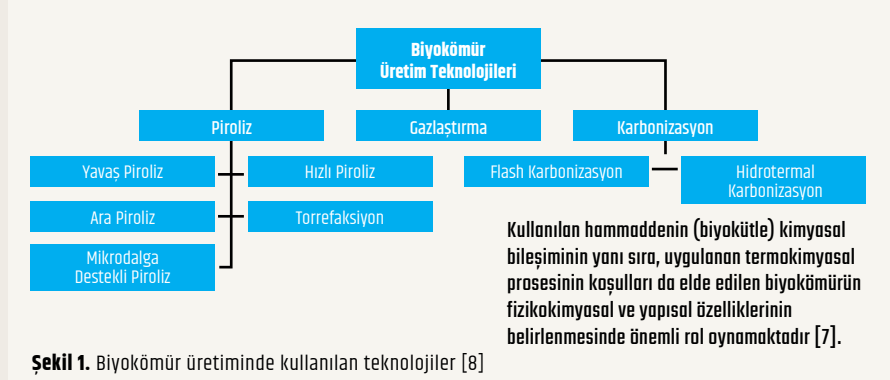
Kullanılan hammaddenin (biyokütle) kimyasal bileşiminin yanı sıra, uygulanan termokimyasal prosesin koşulları da elde edilen biyokömürün fizikokimyasal ve yapısal özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır [7]. Biyokömür üretiminde kullanılan başlıca termokimyasal dönüşüm teknolojileri Şekil 1’de gösterilmektedir.

2.1 Piroliz

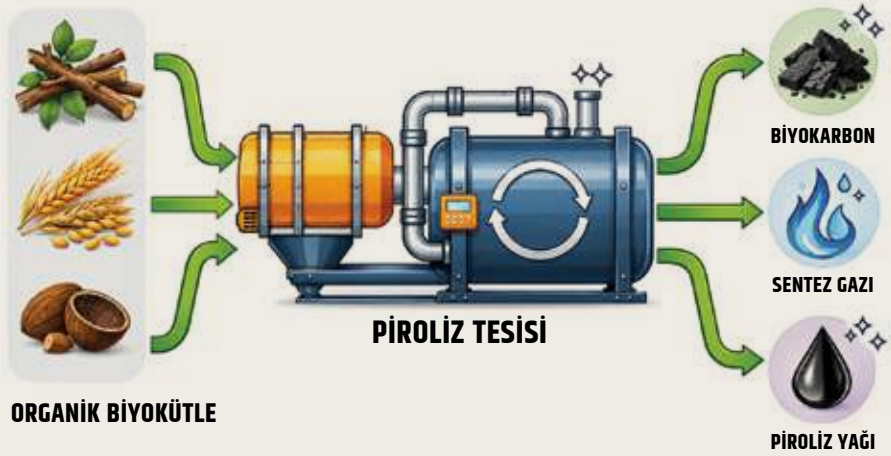
Piroliz, karbonlu malzemelerin oksijenin bulunmadığı koşullarda, genellikle 300–900 °C sıcaklık aralığında termokimyasal olarak parçalanması sonucunda sentez gazı, piroliz yağı ve katı karbonlu ürün (biyokömür) elde edilmesini sağlayan bir termokimyasal dönüşüm teknolojisi olarak tanımlanmaktadır [3,7]. Piroliz sonucunda elde edilen ürünlerin verimi ve özellikleri; hammadde türü ve bileşimi, proses sıcaklığı, ısıtma hızı ve reaktördeki kalış süresi başta olmak üzere çeşitli işletme parametrelerinden önemli ölçüde etkilenmektedir [3]. Bu parametrelerin değişimine bağlı olarak piroliz prosesleri genel olarak yavaş piroliz, ara piroliz, hızlı piroliz, torrefaksiyon ve mikrodalga destekli piroliz olmak üzere beş temel kategoride sınıflandırılmaktadır [8].

Yavaş Piroliz

Yavaş piroliz prosesinde, diğer piroliz koşulları ile karşılaştırıldığında katı ürün veriminin ve dolayısıyla biyokömür oluşumunun daha yüksek olduğu bildirilmektedir. Karbonizasyon olarak da adlandırılan yavaş piroliz, yüksek katı ürün verimi sağlaması nedeniyle uzun yıllardır biyokömür üretiminde yaygın olarak kullanılan bir termokimyasal dönüşüm yöntemi olarak öne çıkmaktadır [9]. Prosese adını veren “yavaş” ifadesi, düşük ısıtma hızını ve nispeten uzun reaksiyon süresini ifade etmektedir. Tarımsal ve ormancılık atıkları, alg biyokütlesi, atık lastik, ham petrol gibi organik atıklar yavaş piroliz prosesi ile biyokömür üretiminde hammadde olarak değerlendirilebilmektedir. Yavaş pirolizde nispeten yüksek piroliz sıcaklığı, daha düşük ısıtma hızı ve yüksek bekleme süresi gibi proses parametreleri, yüksek karbon içeriğine ve istenen fizikokimyasal özelliklere sahip biyokömürlerin elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu koşullarda biyokütlenin uçucu bileşenlerinin daha fazla uzaklaştırılması, buna bağlı olarak



Şekil 1. Biyokömür üretiminde kullanılan teknolojiler [8]



PIROLİZ, KARBONLU MALZEMELERİN OKSİJENİN BULUNMADIĞI KOŞULLARDA, GENELLİKLE 300–900 °C SICAKLIK ARALIĞINDA TERMOKİMYASAL OLARAK PARÇALANMASI SONUCUNDA SENTEZ GAZI, PIROLİZ YAĞI VE KATI KARBONLU ÜRÜN (BİYOKÖMÜR) ELDE EDİLMESİNİ SAĞLAYAN BİR TERMOKİMYASAL DÖNÜŞÜM TEKNOLOJİSİ OLARAK TANIMLANMAKTADIR [3,7].

biyokömürün karbon içeriğinin artması sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, biyokömürün kalitesi yalnızca toplam karbon içeriğiyle sınırlı olmayıp, pH, özgül yüzey alanı, gözeneklilik, yüzey fonksiyonel grupları ve besin elementi içeriği gibi çeşitli fizikokimyasal özelliklerin birlikte değerlendirilmesiyle belirlenmektedir [10].

Hızlı Piroliz

Hızlı piroliz, yavaş piroliz ile karşılaştırıldığında daha yüksek proses sıcaklıkları (800-1250°C), daha yüksek ısıtma hızları (10-200 °C/s) ve daha kısa bekleme süreleri (1-5 s) ile karakterize edilen bir termokimyasal dönüşüm sistemidir. Hızlı piroliz prosesinde, ürün dağılımı proses koşullarına ve kullanılan hammaddenin özelliklerine bağlı olarak değişimle birlikte,

yaklaşık %10-25 oranında katı biyokömür, %10-20 oranında yoğunlaşmayan sentez gazı ve %65-75 oranında biyo-yag elde edilebilmektedir [11]. Hızlı pirolizde yavaş pirolize göre daha yüksek miktarda ve kalitede biyoyag üretilir [12].

Ara Piroliz

Biyokütlenin ara pirolizi, yavaş ve hızlı piroliz prosesleri arasında yer alan; genellikle 300-500°C sıcaklık aralığında, 1-10 °C/s ısıtma hızında ve kısa bekleme sürelerinde gerçekleştirilen bir termokimyasal dönüşüm teknolojisidir [8]. Diğer piroliz yöntemleri ile karşılaştırıldığında ara pirolizin, farklı hammadde türlerinin işlenmesine olanak sağlayan proses esnekliği ve kaliteli biyo-yag ile yüksek kaliteli biyokömür üretme potansiyeli sunduğu bildirilmektedir.

YAVAŞ PİROLİZ PROSESİNDE, DİĞER PİROLİZ KOŞULLARI İLE KARŞILAŞTIRILDIĞINDA KATI ÜRÜN VERİMİNİN VE DOLAYISIYLA BİYOKÖMÜR OLUŞUMUNUN DAHA YÜKSEK OLDUĞU BİLDİRİLMEKTEDİR. KARBONİZASYON OLARAK DA ADLANDIRILAN YAVAŞ PİROLİZ, YÜKSEK KATI ÜRÜN VERİMİ SAĞLAMASI NEDENİYLE UZUN YILLARDIR BİYOKÖMÜR ÜRETİMİNDE YAYGIN OLARAK KULLANILAN BİR TERMOKİMYASAL DÖNÜŞÜM YÖNTEMİ OLARAK ÖNE ÇIKMAKTADIR [9].

Ayrıca, elde edilen organik fazın biyodizele benzer özelliklere sahip olduğu ve sıvı ürünlerin farklı fazlara kolaylıkla ayrılabilirdiği belirtilmektedir. Nem içeriği yüksek hammaddelerin herhangi bir kurutma işlemine gerek duyulmaksızın işlenebilmesi ve oluşan biyokömürün buharla etkileşimi sonucunda aktif karbon benzeri yüzey özellikleri kazanabilmesi, ara pirolizin önemli avantajları arasında değerlendirilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle ara piroliz, biyoyakıt ve biyokömürün eş zamanlı üretimine olanak sağlayan bir termokimyasal dönüşüm yöntemi olarak giderek daha fazla ilgi görmektedir [13].

Torrefaksiyon

Torrefaksiyon, biyokütlenin inert ortamda, düşük ısıtma hızlarıyla (<50 °C/dk) ve genellikle 200-300 °C sıcaklık aralığında kontrollü olarak ısıtılması yoluyla gerçekleştirilen bir termokimyasal ön işlem yöntemidir. Bu proses, biyokütlenin fizikokimyasal özelliklerini iyileştirerek yakıt kalitesinin ve enerji yoğunluğunun artırılmasını ve dolayısıyla sonraki termokimyasal dönüşüm süreçlerindeki uygulanabilirliğinin geliştirilmesini amaçlamaktadır [14]. Torrefaksiyon prosesi sonucunda, kahverengiden siyaha kadar değişen renk tonlarına sahip homojen bir katı ürün elde edilmekte; bunun yanı sıra su, organik bileşikler ve lipitlerden oluşan yoğunlaşabilir ürünler ile CO₂, CO ve CH₄ başta olmak üzere yoğunlaşmayan gazlar açığa çıkmaktadır [15].

Mikrodalga Destekli Piroliz

Mikrodalga teknolojisi, enerji tüketimini ve işlem süresini azaltma potansiyeli nedeniyle 1990'lı yılların ortalarından itibaren biyokütlenin termal işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Geleneksel termal ısıtma sistemlerinde ısı, konveksiyon, iletim ve radyasyon mekanizmaları aracılığıyla hammaddenin yüzeyinden iç kısımlarına doğru aktarılmakta olup, bu

süreç malzemenin termal özelliklerine bağlı olarak görece yavaş ve enerji açısından verimsiz olabilmektedir. Buna karşılık, mikrodalga ısıtmada elektromanyetik enerji malzemenin içerisine nüfuz ederek, dielektrik özellikleri uygun olan bileşenler tarafından absorbe edilmekte ve elektromanyetik enerjinin termal enerjiye dönüşmesi sonucunda malzemenin hacmi içerisinde doğrudan ısı oluşmaktadır. Bu hacimsel ısıtma mekanizması, geleneksel ısıtma yöntemlerine kıyasla daha hızlı sıcaklık artışı ve daha kısa işlem süresi sağlayabilmekte, dolayısıyla biyokütlenin termal ön işlemlerinde enerji verimliliğinin artırılmasına katkıda bulunabilmektedir [16]. Son yıllarda, mikrodalga destekli piroliz, yüksek ısıtma hızları sağlayabilmesi, seçici ve hacimsel ısıtma mekanizması sayesinde daha homojen sıcaklık dağılımı oluşturmaması, reaksiyon sürelerini kısaltması ve enerji verimliliğini artırması nedeniyle elektriksel piroliz yöntemlerine kıyasla giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra proses sırasında istenmeyen yan ürünleri azaltabilmesi, ürün verimini ve kalitesini iyileştirebilmesi nedeniyle çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir [17].

2.2 Gazlaştırma

Gazlaştırma, karbonlu malzemelerin oksijenin sınırlı olduğu koşullarda, daha yüksek sıcaklıklarda (>500 °C) termokimyasal olarak parçalanması sonucunda sentez gazı (genelde H₂ ve CO), katran ve katı karbonlu ürün (biyokömür) elde edilmesini sağlayan bir termokimyasal dönüşüm teknolojisi olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak gazlaştırma prosesi ile elde edilen

biyokömür verimi, piroliz gibi diğer termokimyasal işlemlere göre daha düşüktür. Bu durum sınırlı oksijen varlığında tam oksidasyon işleminin gerçekleşmemesi sonucu CO oluşumu ile ilişkilendirilmektedir [18].

2.3 Karbonizasyon

Flash Karbonizasyon

Flash karbonizasyon, biyokütlenin basınçlı bir reaktör ortamında, kontrollü hava enjeksiyonu altında ve orta düzeyde sıcaklık ile kalış süresinde işlenmesini içeren hızlı bir termokimyasal dönüşüm prosesidir. Bu koşullar altında biyokütlenin dönüşümü sonucunda, sıvı yan ürün oluşumu sınırlı olmakla birlikte, yüksek miktarda katı karbonlu kömür ve gaz ürünleri elde edilebilmektedir [8].

Hidrotermal Karbonizasyon

Hidrotermal karbonizasyon (HTC), özellikle yüksek nem içeren biyokütlenin, suyun bulunduğu ortamda, yüksek basınç altında ve genellikle 150-300 °C sıcaklıklarda karbonca zengin katı bir ürüne dönüştürülmesini sağlayan bir termokimyasal dönüşüm prosesidir. HTC'nin en büyük avantajı biyokütlenin kurutulmasına çoğu zaman gerek duyulmamasıdır. Biyokütle temel olarak lignin, selüloz ve hemiselüloz gibi organik bileşenlerden oluşur ve bu yapı doğrudan kömüre dönüşmez. Bunun yerine suyun ve sıcaklığın etkisiyle biyokütle dönüşüm süreci, hidroliz, dehidrasyon/dekarboksilasyon, yoğunlaşma ve hidrokömür şeklinde bir dizi reaksiyon ile gerçekleşir [19].

3. BİYOKÖMÜRÜN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Biyokömürün CO₂ yakalama kapasitesi, başta özgül yüzey alanı, gözenek boyutu, gözenek hacmi, biyokömürün yüzeyinin bazikliği, yüzey fonksiyonel gruplarının varlığı, alkali ve alkali toprak metallerinin varlığı, hidrofobiklik, polarite ve aromatiklik gibi çeşitli fizikokimyasal özelliklerden etkilenmektedir. Bununla birlikte söz konusu özellikler, biyokütlenin türü ve bileşimine bağlı olarak farklılık göstermektedir [20].

TORREFAKSİYON, BİYOKÜTLENİN İNERT ORTAMDA, DÜŞÜK ISITMA HIZLARIYLA (<50 °C/DK) VE GENELLİKLE 200-300 °C SICAKLIK ARALIĞINDA KONTROLLÜ OLARAK ISITILMASI YOLUYLA GERÇEKLEŞTİRİLEN BİR TERMOKİMYASAL ÖN İŞLEM YÖNTEMİDİR.

BIYOKÖMÜRÜN CO₂ YAKALAMA KAPASİTESİ, BAŞTA ÖZGÜL YÜZEY ALANI, GÖZENEK BOYUTU, GÖZENEK HACMİ, BIYOKÖMÜRÜN YÜZEYİNİN BAZIKLIĞI, YÜZEY FONKSİYONEL GRUPLARININ VARLIĞI, ALKALİ VE ALKALİ TOPRAK METALLERİNİN VARLIĞI, HİDROFOBİKLİK, POLARİTE VE AROMATİKLİK GİBİ ÇEŞİTLİ FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERDEN ETKİLENMEKTEDİR.

Biyokömürün özgül yüzey alanı, toplam gözenek hacmi ve gözenek boyutu dağılımı, CO₂ adsorpsiyon kapasitesini belirleyen başlıca fiziksel özellikler arasında yer almaktadır [21]. Özellikle gözenek yapısının CO₂ moleküllerinin adsorpsiyon bölgelerine erişimini ve gözenekler içerisinde tutulmasını doğrudan etkilediği bilinmektedir. Bu kapsamda biyokömürün mikro-, mezo-, makrogözeneklerden oluşan gözenek yapısı, CO₂'nin adsorpsiyon davranışında önemli roller üstlenmektedir. Kua (2026) yaptığı çalışmada, talaştan farklı sıcaklıklarda (300, 500, 700 ve 1000 °C) üretilen biyokömürlerin gözenek yapısı ile CO₂ yakalama performansı arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Çalışma sonuçları, CO₂ adsorpsiyon kapasitesinin yalnızca mikro gözenek varlığıyla açıklanamayacağını, toplam gözenek hacmi ve gözeneklilik gibi yapısal özelliklerin de adsorpsiyon performansı üzerinde belirleyici rol oynadığını ortaya koymuştur. Araştırmacı, CO₂ yakalama kapasitesi ile toplam gözenek hacmi arasında güçlü bir korelasyon (R₂: 0,7894) bulunduğunu belirtirken, mezo- ve makro gözenek geçirgenliği ile olan ilişkinin daha düşük düzeyde kaldığını rapor etmiştir [22].

Biyokömürün CO₂ adsorpsiyon kapasitesi, alkalilik, mineral bileşimi, yüzey fonksiyonel gruplarının varlığı, hidrofobiklik ve polar olmama gibi biyokömürün kimyasal özelliklerinden etkilenir [20]. Jiang ve ark., (2023), çam talaşından elde edilen biyokömürün CO₂ adsorpsiyonunda yüzeyde bulunan oksijen içeren fonksiyonel grupların rolünü araştırmıştır. Elde edilen sonuçlar özellikle karboksil ve diketon gruplarının CO₂ adsorpsiyonu açısından aktif bölgeler olduğunu göstermiştir [23]. Bu sonuçlar,

biyokömürün CO₂ adsorpsiyon kapasitesinin gözenek çapı ve dağılımı gibi fiziksel özelliklere değil, aynı zamanda yüzey fonksiyonel gruplarının kimyasal özelliklerine de bağlı olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇ

Biyokömür, sahip olduğu fizikokimyasal özellikler ve sunduğu avantajlar nedeniyle CO₂ adsorpsiyonu için potansiyel olarak uygun maliyetli, sürdürülebilir ve çevre dostu bir adsorbent olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte biyokömürün CO₂ adsorpsiyon kapasitesi, kullanılan biyokütlenin türü ve bileşimi, üretim teknolojisi, işlem koşulları ve proses sonunda elde edilen ürünün fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir. Sıcaklık, ısıtma hızı, kalış süresi ve reaktör tipi gibi operasyonel parametrelerin biyokömürün gözenek yapısı, karbonlaşma derecesi, aromatikliği ve yüzey fonksiyonel grupları üzerinde belirleyici olduğu dikkate alındığında, üretim prosesinin hedeflenen CO₂ yakalama uygulamasına göre optimize edilmesi önem taşımaktadır. Sonuç olarak, biyokömür üretimi ile atık biyokütlelerin değerlendirilmesi ve CO₂'nin adsorpsiyon yolu ile tutulmasına olanak sağlaması, bu malzemeyi hem döngüsel ekonomi hem de düşük maliyetli CO₂ yakalama teknolojileri açısından dikkat çekici bir alternatif haline getirmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Emissions Gap Report 2025: Off Target - Continued Collective inaction puts Global Temperature Goal at Risk, United Nations Environment Programme, 2025. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/48854>.
- [2] A.E. Creamer, B. Gao, M. Zhang, Carbon dioxide capture using biochar produced from sugarcane bagasse and hickory wood, Chemical Engineering Journal 249 (2014) 174-179. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.03.105>.
- [3] S. Jung, Y.-K. Park, E.E. Kwon, Strategic use of biochar for CO₂ capture and sequestration, Journal of CO₂ Utilization 32 (2019) 128-139. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2019.04.012>.
- [4] X. Zhang, S. Zhang, H. Yang, Y. Feng, Y. Chen, X. Wang, H. Chen, Nitrogen enriched biochar modified by high temperature CO₂-ammonia treatment: Characterization and adsorption of CO₂, Chemical Engineering Journal 257 (2014) 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.07.024>.
- [5] X. Xu, Y. Kan, L. Zhao, X. Cao, Chemical transformation of CO₂ during its capture by waste biomass derived biochars, Environmental Pollution 213 (2016) 533-540. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.03.013>.
- [6] C. Zhang, Y. Ji, C. Li, Y. Zhang, S. Sun, Y. Xu, L. Jiang, C. Wu, The Application of Biochar for CO₂ Capture: Influence of Biochar Preparation and CO₂ Capture Reactors, Ind. Eng. Chem. Res. 62 (2023) 17168-17181. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.3c00445>.
- [7] M. Köves, V. Madár, M. Ringer, T. Kocsis, Overview of Traditional and Contemporary Industrial Production Technologies for Biochar along with Quality Standardization Methods, Land (Basel). 13 (2024) 1388. <https://doi.org/10.3390/land13091388>.
- [8] S. Safarian, Performance analysis of sustainable technologies for biochar production: A comprehensive review, Energy Reports 9 (2023) 4574-4593. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.03.111>.
- [9] N.L. Panwar, A. Pawar, B.L. Salvi, Comprehensive review on production and utilization of biochar, SN Appl. Sci. 1 (2019) 168. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0172-6>.
- [10] D. Wang, P. Jiang, H. Zhang, W. Yuan, Biochar production and applications in agro and forestry systems: A review, Science of The Total Environment 723 (2020) 137775. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137775>.
- [11] K.K. V, N.L. Panwar, Pyrolysis technologies for biochar production in waste management: a review, Clean Energy 8 (2024) 61-78. <https://doi.org/10.1093/ce/zkae036>.
- [12] P. Roy, G. Dias, Prospects for pyrolysis technologies in the bioenergy sector: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 77 (2017) 59-69. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.136>.
- [13] D. Kazawadi, J. Ntalikwa, G. Kombe, A Review of Intermediate Pyrolysis as a Technology of Biomass Conversion for Coproduction of Biooil and Adsorption Biochar, Journal of Renewable Energy 2021 (2021) 1-10. <https://doi.org/10.1155/2021/5533780>.
- [14] M.N. Cahyanti, T.R.K.C. Doddapaneni, T. Kikas, Biomass torrefaction: An overview on process parameters, economic and environmental aspects and recent advancements, Bioresour. Technol. 301 (2020) 122737. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122737>.
- [15] J. Shankar Tumuluru, S. Sokhansanj, J.R. Hess, C.T. Wright, R.D. Boardman, REVIEW: A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications, Industrial Biotechnology 7 (2011) 384-401. <https://doi.org/10.1089/ind.2011.7.384>.
- [16] F. Motasemi, M.T. Afzal, A review on the microwave-assisted pyrolysis technique, Renewable and Sustainable Energy Reviews 28 (2013) 317-330. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.008>.
- [17] T. Qiu, C. Li, W. Zhao, M.Y. Naz, Y. Zhang, Microwave-assisted pyrolysis of biomass: Influence of feedstock and pyrolysis parameters on porous biochar properties, Biomass Bioenergy 193 (2025) 107583. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107583>.
- [18] S. You, Y.S. Ok, S.S. Chen, D.C.W. Tsang, E.E. Kwon, J. Lee, C.-H. Wang, A critical review on sustainable biochar system through gasification: Energy and environmental applications, Bioresour. Technol. 246 (2017) 242-253. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.177>.
- [19] J. González-Arias, M.E. Sánchez, J. Cara-Jiménez, F.M. Baena-Moreno, Z. Zhang, Hydrothermal carbonization of biomass and waste: A review, Environ. Chem. Lett. 20 (2022) 211-221. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01311-x>.
- [20] P.D. Dissanayake, S. You, A.D. Igalavithana, Y. Xia, A. Bhatnagar, S. Gupta, H.W. Kua, S. Kim, J.-H. Kwon, D.C.W. Tsang, Y.S. Ok, Biochar-based adsorbents for carbon dioxide capture: A critical review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 119 (2020) 109582. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109582>.
- [21] E.B. Dayoub, Z. Tóth, G. Soós, A. Anda, Chemical and Physical Properties of Selected Biochar Types and a Few Application Methods in Agriculture, Agronomy 14 (2024) 2540. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112540>.
- [22] H.W. Kua, Ascertaining the role of mesopores and macropores in capturing carbon dioxide in multi-hierarchical biochar sorbent: a theoretical and experimental approach, Biochar 8 (2026) 33. <https://doi.org/10.1007/s42773-025-00549-w>.
- [23] D. Jiang, H. Li, S. Wang, X. Cheng, P. Bartocci, F. Fantozzi, Insight the CO₂ adsorption onto biomass-pyrolysis derived char via experimental analysis coupled with DFT calculation, Fuel 332 (2023) 125948. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125948>.

UNTD

İNŞAAT

DURSUNKÖY YENİŞEHİR EVLERİ

ADIYAMAN DEPREM KONUTLARI

HATAY DEPREM KONUTLARI

GELECEĞİN İNŞASI DEVAM EDİYOR

Mega Projelerle Adım Adım Geleceğe...
Sektördeki uzun yıllara dayanan tecrübemizle müşterilerimizi tüm safhalarda destekleyerek, onlara hem yerel hem de uluslararası inşaat hizmetleri sunuyoruz.



/ UNTDİNSAAT

WWW.UNTDİNSAAT.COM.TR



VERİYLE ŞEKİLLENEN GELECEK

KARBON YÖNETİMİ VE TÜRKİYE'NİN NET SIFIR YOLCULUĞU

Karbon yönetimi, iklim hedeflerinin ötesinde işletmeler için giderek daha kritik bir veri ve yönetim alanına dönüşüyor. Türkiye'nin 2053 net sıfır hedefi doğrultusunda enerji, sanayi ve diğer sektörlerde dönüşüm hız kazanırken, emisyonların doğru ölçülmesi, verinin anlamlandırılması ve azaltım adımlarının somutlaştırılması sürdürülebilir geleceğin temel koşulları arasında yer alıyor.

SELDA KARTAL

Ürün Yöneticisi, Observer Dijital Teknolojiler

Karbon, günlük hayatımızda kullandığımız enerjiden ürettiğimiz ürünlere kadar birçok sürecin içerisinde bulunan temel bir elementtir. Elektrik tüketirken, bir araç kullanırken, bir fabrikada üretim yaparken veya satın aldığımız bir ürünün tedarik zincirini düşündüğümüzde aslında karbon döngüsünün bir parçası haline geliyoruz.

Karbonun doğadaki hareketi yeni bir süreç değildir. Atmosferde bulunan karbondioksit bitkiler tarafından fotosentez sırasında kullanılır, canlılar ve toprak üzerinden farklı yapılar aktarılır, okyanuslar tarafından tutulur ve çeşitli doğal süreçlerle tekrar atmosfere döner. Bu döngü milyonlarca yıldır devam etmektedir.

Kalkınmış ülkelerin ekonomilerinin büyük bir bölümü, karbon içeren yakıtların, plastiklerin, kimyasal maddelerin, dokumaların ve ilaçların işlenmesine ve üretimine dayanır. Karbon temelli sentetik bileşiklerin üretilmesi ve kullanılması, birçok ülkede yaşama düzeyini derinlemesine etkilemiştir. Kısaca günümüzde karbon sadece doğal yollarla değil insan eliyle de atmosfere salınmaktadır.

Bugün karbon konusunda konuşurken sadece "ne kadar karbon üretiliyor?" sorusuna değil, "Karbon nerede oluşuyor?", "Hangi faaliyet sonucunda ortaya çıkıyor?" ve "Bu emisyon nasıl ölçülüyor?" sorularına da cevap vermek gerekiyor.



KARBONU ÖLÇMEDEN YÖNETMEK MÜMKÜN MÜ?

Karbon yönetiminin temelinde ölçüm bulunmadır. Bir işletmenin veya tesisin emisyonlarını azaltabilmesi için öncelikle mevcut durumun ortaya çıkarılması gerekir.

1990'larda William E. Rees ve Mathis Wackernagel tarafından geliştirilen "ekolojik ayak izi" yaklaşımının alt bileşenlerinden biri olarak ortaya çıkan Karbon Ayak İzi, 2005 yılında BP'nin yürüttüğü küresel reklam kampanyalarıyla geniş kitlelere ulaşarak herkes tarafından bilinir hale gelmiştir.

Bireylerin, kuruluşların, ürünlerin veya ülkelerin



KALKINMIŞ ÜLKELERİN EKONOMİLERİNİN BÜYÜK BİR BÖLÜMÜ, KARBON İÇEREN YAKITLARIN, PLASTİKLERİN, KİMYASAL MADDELERİN, DOKUMALARIN VE İLAÇLARIN İŞLENMESİNE VE ÜRETİMİNE DAYANIR. KARBON TEMELLİ SENTETİK BİLEŞİKLERİN ÜRETİLMESİ VE KULLANILMASI, BİRÇOK ÜLKEDE YAŞAMA DÜZEYİNİ DERİNLEMESİNE ETKİLEMİŞTİR. KISACA GÜNÜMÜZDE KARBON SADECE DOĞAL YOLLARLA DEĞİL İNSAN ELİYLE DE ATMOSFERE SALINMAKTADIR.

faaliyetleri sonucunda atmosfere salınan toplam sera gazı miktarının belirli yöntemlerle hesaplanması ve ortak bir birimde ifade edilmesi, karbon performansının takip edilebilmesini sağlar.

CO₂e, yalnızca karbondioksiti değil, aynı zamanda metan (CH₄), nitröz oksit (N₂O) ve florlu gazlar gibi diğer sera gazlarını da tek bir ortak ölçekte toplar. Yani burada sadece karbondioksit miktarına bakmak yeterli değildir. Bu nedenle farklı gazların etkileri genellikle

karbondioksit eşdeğeri (CO₂e) üzerinden ifade edilmektedir.

Hesaplama ise oldukça temel bir mantığa dayanmaktadır:

$$\text{Faaliyet Verisi} \times \text{Emisyon Faktörü} = \text{Sera Gazı Emisyonu}$$

Özetle karbon yönetiminin aslında veri yönetimiyle doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Doğru veri olmadan doğru karbon hesabı yapmak, doğru hesaplama olmadan da etkili bir azaltım planı

oluşturmak mümkün değildir.

Sayaç → Veri toplama → Veri tabanı → Enerji analizi → Karbon hesaplama → Raporlama → Aksiyon

Şeklinde bir süreç oluşturulabilir.

TÜRKİYE'DE KARBONUN FOTOĞRAFI

Türkiye'nin mevcut durumuna bakıldığında enerji sektörü karbon emisyonlarında önemli bir paya sahiptir.

TÜİK'in 27 Mart 2026 tarihinde yayımladığı 1990-2024 sera gazı emisyon istatistiklerine göre Türkiye'nin toplam sera gazı emisyonu 2024 yılında 584,5 milyon ton CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Bu değer 2023 yılına göre %5,3'lük bir artış anlamına gelmektedir. Kişi başına toplam sera gazı emisyonu ise 2024 yılında 6,8 ton CO₂ eşdeğeri seviyesine ulaşmıştır.

Sektörel dağılıma bakıldığında enerji sektörü açık ara ilk sırada bulunmaktadır. 2024 yılında toplam emisyonların %71,8'i enerji kaynaklı emisyonlardan oluşmuştur. Bunu %12,9 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %12,6 ile tarım ve %2,6 ile atık sektörü takip etmiştir. Enerji sektörü kaynaklı emisyonlar 2024 yılında 419,9 milyon ton CO₂ eşdeğeri seviyesine ulaşmıştır.

Bu rakamlar Türkiye açısından önemli bir noktayı ortaya koymaktadır.



TÜRKİYE'NİN İKLİM POLİTİKALARI AÇISINDAN EN ÖNEMLİ HEDEFLERİNDEN BİRİ 2053 NET SIFIR EMİSYON HEDEFİDİR. TÜRKİYE'NİN UZUN DÖNEMLİ İKLİM STRATEJİSİ KAPSAMINDA SERA GAZI EMİSYONLARININ EN GEÇ 2038 YILINDA EN YÜKSEK SEVİYESİNE ULAŞMASI VE SONRASINDA AZALTILARAK 2053 YILINDA NET SIFIR EMİSYONA ULAŞILMASI HEDEFLENMEKTEDİR.

Karbon emisyonlarının azaltılması konusunda enerji sektörü ve enerji tüketiminin verimli yönetilmesi kritik bir konudur.

İKLİM KANUNU İLE YENİ BİR DÖNEM

Türkiye'nin iklim politikaları açısından en önemli hedeflerinden biri 2053 net sıfır emisyon hedefidir. Türkiye'nin Uzun Dönemli İklim Stratejisi kapsamında sera gazı emisyonlarının en geç 2038 yılında en yüksek seviyesine ulaşması ve sonrasında azaltılarak 2053 yılında net sıfır emisyonu ulaşılmaya çalışılmaktadır.

Bu hedef yalnızca enerji sektörünü ilgilendiren bir hedef değildir.

Enerji, sanayi, ulaştırma, tarım, binalar, atık yönetimi gibi birçok sektörün birlikte dönüşmesi gerekmektedir.

Türkiye'nin ilk İklim Kanunu'nun 2025 yılında yasalması da bu dönüşüm açısından önemli bir adım olmuştur.

Kanun kapsamında sera gazı emisyonlarının azaltılması ve iklim değişikliğine uyum için yasal ve kurumsal bir çerçeve oluşturulmuş; Emisyon Ticaret Sistemi, gönüllü karbon piyasaları, gömülü sera gazı emisyonları ve adil geçiş gibi kavramlar mevzuat içerisinde yer almıştır.

Bu gelişme karbon yönetiminin işletmeler açısından yalnızca gönüllü bir çevre çalışması olmaktan çıkıp daha sistematik bir yönetim alanına dönüşmekte olduğunu göstermektedir.

Önümüzdeki dönemde firmaların enerji tüketimlerini, emisyonlarını ve karbon

performanslarını daha düzenli takip etmeleri gerekecektir.

SONUÇ

Karbonun yolculuğu atmosferde başlayıp bir fabrikanın bacasında sona eren basit bir süreç değildir. Karbon; enerji üretiminden sanayiye, tedarik zincirinden ulaşıma, tüketimden uluslararası ticarete kadar birçok alanın içerisinde hareket etmektedir.

Türkiye açısından bakıldığında 2024 yılında 584,5 milyon ton CO₂ eşdeğeri ulaşan toplam sera gazı emisyonu ve bunun %71,8'ini oluşturan enerji kaynaklı emisyonlar, enerji yönetiminin karbon azaltımındaki önemini açıkça göstermektedir.

Diğer taraftan yenilenebilir enerji kurulu gücündeki hızlı artış, Türkiye'nin enerji sisteminde önemli bir dönüşüm yaşandığını da göstermektedir. Ancak bu dönüşümün sürdürülebilir olması için üretim tarafındaki dönüşümün yanında tüketim tarafında da verimlilik ve dijitalleşme çalışmalarının artırılması gerekmektedir.

Bu nedenle geleceğin işletmeleri açısından karbon verisi, yalnızca çevre raporlarında yer alan bir gösterge olmayacaktır. Enerji tüketimini, üretimi, maliyetleri ve ticareti etkileyen önemli bir yönetim verisi olacaktır.

Belki de karbonun görünmeyen yolculuğunu görünür hale getirmenin yolu şu üç adımda özetlenebilir:

Önce ölçmek. Sonra anlamak. Ardından azaltmak.

Karbon Ayak İzinin Kısa Tarihçesi ve Hesaplama Matematiği

Kavramın Doğuşu: 1990'larda William E. Rees ve Mathis Wackernagel tarafından geliştirilen "ekolojik ayak izi" yaklaşımının bir alt bileşeni olarak ortaya çıkmıştır.

Küresel Bilinirlik: 2005 yılında enerji devi BP'nin yürüttüğü küresel kampanyalarla geniş kitleler tarafından tanınır hale gelmiştir.

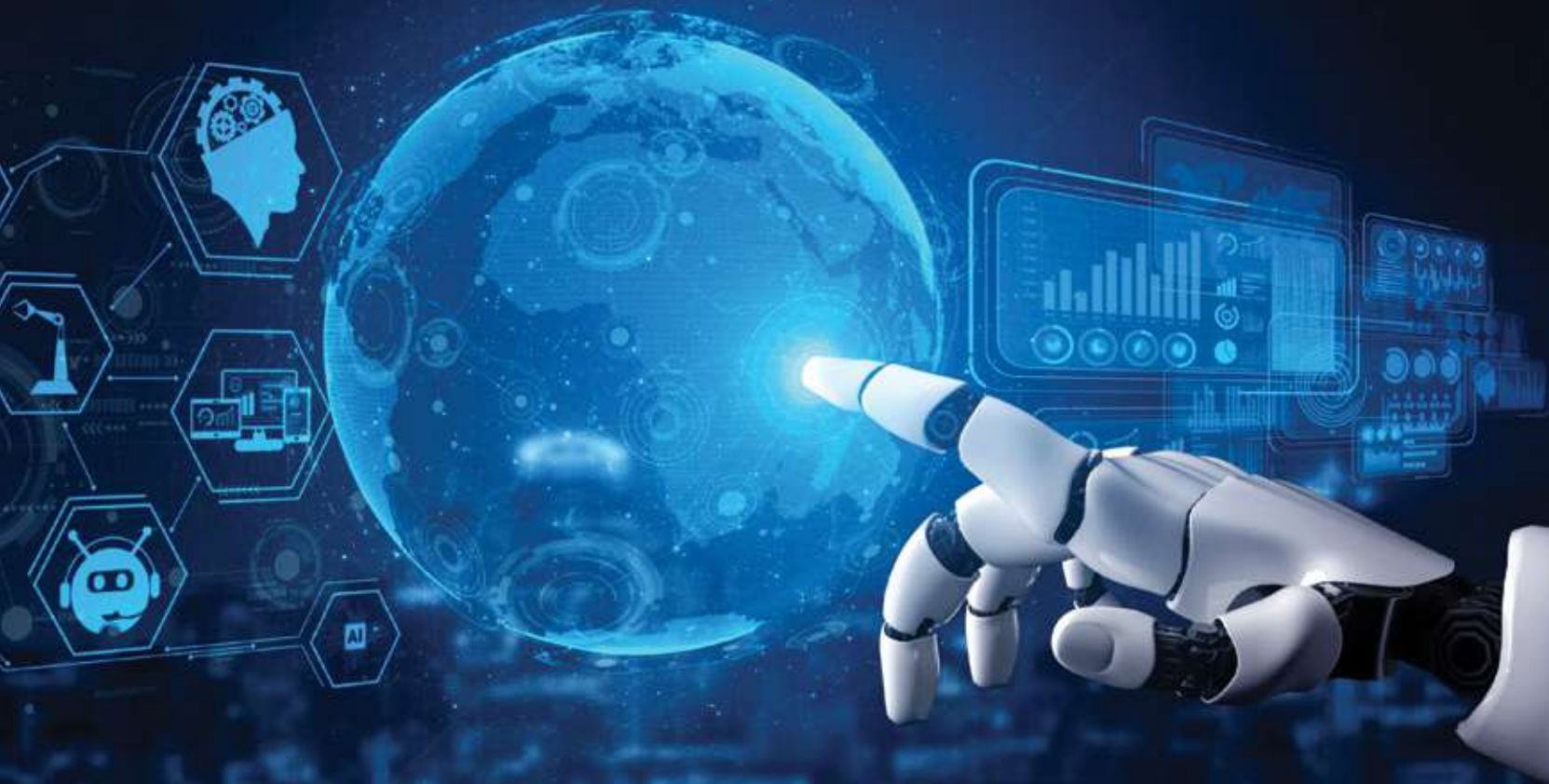
Temel Formül: Atmosfere salınan toplam sera gazı miktarını hesaplamanın temel denklemi şu prensibe dayanır: Faaliyet Verisi x Emisyon Faktörü = Sera Gazı

Emisyonu Ortak Ölçek (CO₂e): Yalnızca karbondioksit değil; metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O) ve florlu gazlar gibi diğer sera gazları da tek bir ortak ölçekte (CO₂ eşdeğeri) toplanır.



pusulacx

*Müşterilerimizi dinleyerek,
onların gerçek ihtiyaçlarını
anlamaya odaklanıyoruz.*



www.pusulacx.com.tr



info@pusulacx.com.tr



+90 312 419 30 00

Özbekistan

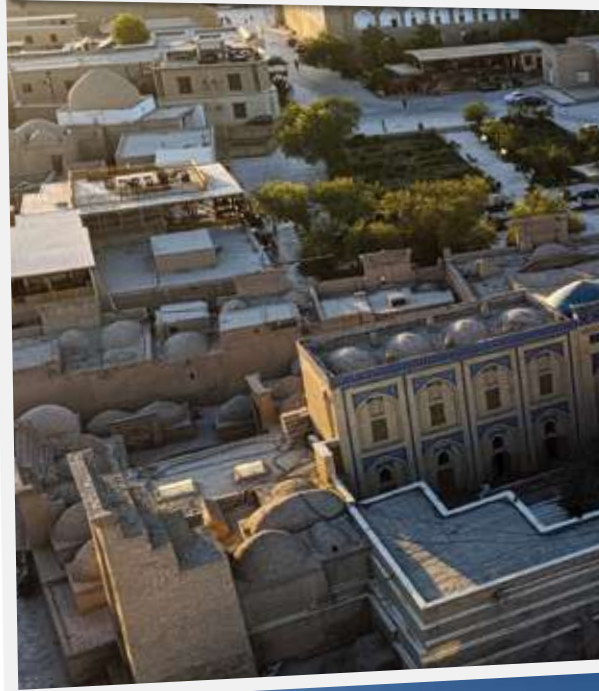
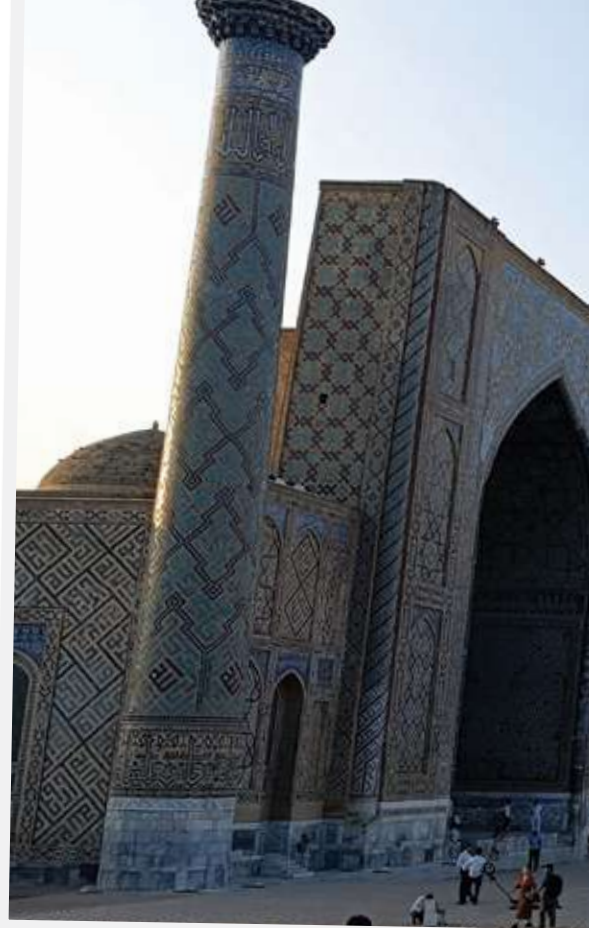
Şehrin Hafızası, Medeniyetin İzleri

*-Hive, Buhara, Semerkand ve
Taşkent Üzerinden
Bir Şehir ve Medeniyet Okuması-*

Bir şehri anlamak, yalnızca anıtlarına bakmakla mümkün değil. Hive'nin surları içinde korunan mahalle dokusu, Buhara'nın su, ilim, ticaret ve maneviyatla örülen kentsel ağı, Semerkand'ın iktidarı görünür kılan anıtsal ölçeği ve Taşkent'in deprem sonrasında yeniden kurulan modern yüzü, şehrin fizikî biçiminin ardında daha derin bir düzen bulunduğunu gösteriyor. Bu dört şehir üzerinden uzanan yolculuk, mimarlığın yanı sıra hafıza, mülkiyet, zanaat, inanç, kamusal hayat, afet, yeniden inşa ve teknoloji meselelerini aynı soruda buluşturuyor: Bir şehri inşa etmekle onu gerçekten mamur etmek arasındaki fark nedir?

DOÇ. DR. MUHAMMED ZİYA PAKÖZ

İTÜ Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü Öğretim Üyesi
İTÜ Kriz Sonrası Kentsel Yeniden İnşa Merkezi (CURE) Müdürü
MMG Yönetim Kurulu Üyesi





MUHAFAZA

Mâverâünnehir'de Şehri Okumak

Hive, Buhara, Semerkand ve Taşkent; Orta Asya'nın yatay topoğrafyasından Anadolu'nun kubbeli silüetlerine uzanan ve doğrudan hayatı, ilmi ile iktidarı biçimlendiren devasa bir mekân felsefesi.

Islam Hoca Minaresi'nin dar merdivenlerinden yukarı çıktığımızda güneş Hive'nin üzerinden çekilmek üzereydi. Aşağıda toprak rengi meskenlerden müteşekkil sık bir doku, onun arasından yükselen medreseler, kubbeler, saray duvarları ve minareler, biraz ötede şehri çepeçevre kuşatan surlar görünüyordu. Gün boyunca ayrı ayrı gezdiğimiz eserler, yukarıdan bakınca birbirine bağlanıyor, tek tek mimari yapılardan ziyade bir şehrin bütünü görünür hâle geliyordu.

Belki Özbekistan seyahatinin beninde bıraktığı en kuvvetli intiba da buydu: Bir yapıyı anlamak için yalnız kendisine değil, hangi şehir içinde, hangi diğer yapılarla, hangi hayat tarzıyla ve hangi tarihî hafızayla birlikte teşekkül ettiğine bakmak

gerekıyor. 4-11 Eylül 2026 tarihleri arasında Hive, Buhara, Semerkand ve Taşkent'te bulunduğumuz seyahat boyunca, aynı medeniyet havzasının içinde yer alan fakat birbirinden hayli farklı dört şehir tecrübe

ettik. Hive, muhafaza edilmiş bütüncül dokusuyla; Buhara, su, ilim, ticaret ve tasavvufun ördüğü kentsel ağıyla; Semerkand, iktidarın ve medeniyet iddiasının anıtsal mimarisiyle; Taşkent ise kırılmalar, modernleşme ve yeniden inşa tecrübesiyle karşımıza çıktı.

Bir şehir plancısı olarak ister istemez yollara, meydanlara, merkezlere, eşiklere, yapı adalarına ve silüete bakıyorsunuz. Fakat bu şehirler insanı kısa sürede planın ve morfolojinin ötesine geçiriyor. Zira şehir yalnız binaların, yolların ve açık alanların tekibi değildir. Suyun nasıl temin edildiği,

Aradaki evleri, avluları ve dar sokakları çıkardığınızda geriye bir şehir değil, yalnızca bir eserler kataloğu kalır.



**Orta Asya'da
Mimari ve
Şehirselleşme
Dönüşümü**

Mekânın Felsefesi: Metni Okuma Anahtarları

Nâ-Tamamlığın Hafızası:

Kalta Minar üzerinden
"tamamlanmamışlık" kavramının
mimari hafıza ve siyasi güç temsili
açısından analizi.

Hipostil Mekânın Cemaat

Sosyolojisi: Cuma Camii'ndeki
ahşap sütunlu düzenin ürettiği,
merkezi bir görsel hiyerarşi yerine
ritmik ve yayılı bir mekân algısı.

Açık Hava Müzesi vs. Yaşayan

Kent: İçan Kale'nin koruma
başarısı ile turistik tüketim baskısı
arasında sıkışan "ruh kaybı"
tehlikesi.

Çadırdan Saraya Hafıza

Transferi: Yerleşik idareye
geçen göçebe kültürlerin, saray
avlusuna çadır zemini entegre
ederek kurduğu süreklilik mantığı.

İslam Hoca Minaresi'nden gün batımında Hive panoraması

Mâverâünnehir Mimarisinin Şekillenmesi

9. - 12. Yüzyıl

Karahanlılar ve Samaniler
döneminde tuğla işçiliği
gelişti, Kalan Minaresi gibi
masif ve müstakil tipolojisi ile
çok sütunlu cami geleneğinin
önemli örnekleri ortaya çıktı.

Timurlu Rönesansı ve Anıtsal Kentleşme

14. - 15. Yüzyıl

Timur ve halefleri döneminde
Semerkand merkezli ölçeği zorlayan
anıtsal yapılar, devasa piştaklar
(anıtsal portal cepheleri) ve çini
kaplı çifte kubbeler şehirlerin ana
karakteri haline geldi.

Hive ve Buhara Hanlıkları Dönemi

16. - 19. Yüzyıl

Hive (İçan Kale) ve Buhara'da
medrese-cami-çarşı
entegrasyonu tamamlandı.
Taş Havli ve Kalta Minar
gibi geç dönem idari ve dini
yapılar inşa edildi.

Çarlık ve Sovyet Müdahalesi

19. Yüzyıl Sonu - 20. Yüzyıl

Geleneksel dokulara Batılı ve
Sovyet kentsel müdahaleleri
yapıldı. Taşkent modern bir
Sovyet kentine dönüştürülürken,
Hive müze-şehir konseptiyle
korumaya alındı.



Hive-Buhara-Semer kand-Taşkent seyahat güzergâhımız (ChatGPT 5.6 yardımıyla üretilmiştir)

ticaretin nerede aktığı, ilmin nerede tedris edildiği, ibadetin hangi mekânlarda müşte-rek hayata dönüştüğü, insanların kimlerin etrafında bir araya geldiği, hangi hatırayı muhafaza ettiği, iktidarın kendisini şehir-de nasıl temsil ettiği de şehrin bünyesine dâhildir. Fizikî biçimin ardında bir hayat nizamı, o hayat nizamının ardında da bir insan ve medeniyet telakkisi vardır.

Seyahat aynı zamanda bizi sürekli başka coğrafyalara götürdü. Hive Cuma Camii'nin ahşap sütunları arasında Mescid-i Nebvî'yi ve Kurtuba'yı, Buhara'nın medreseleri ve ticaret kubbeleri arasında Konya'yı, Kayseri'yi ve Bursa'yı, Semerkand'ın dev piştaklarının önünde Anadolu'nun taçkapılarını, Orta Asya'nın kalın ve çoğu defa müstakil minareleri karşısında Osmanlı'nın

ince, çok şerefeli ve cami kütesine eklem-len minarelerini düşünmemek mümkün değildi.

Fakat bu benzerlikleri basit bir "Orta Asya'dan Anadolu'ya intikal" hikâyesine indirgemek de isabetli olmaz. İnsanlar, fikirler, ilim çevreleri, zanaatkârlar, mal-zemeler ve yapı teknikleri coğrafyalar arasında hareket eder; vardıkları her yerde iklim, topografya, siyaset, iktisat ve mahallî kültür tarafından yeniden yorumlanırlar. Süreklilikler kadar kopuşlar, doğrudan aktarımlar kadar paralel çözümler vardır. Mâverâünnehir'den Horasan ve İran'a, ora-dan Anadolu'ya uzanan ana çizgi, Suriye-Mısır tecrübesi, Anadolu'nun yerel birikimi ve Bizans'ın mekânsal mirasıyla birleşerek yeni terkiplere dönüşür.

Dolayısıyla bu yazı, görülen eserlerin sıralandığı bir seyahat günlüğünden ziyade, Özbekistan şehirlerinin zihnimde açtığı bazı meselelerin peşinden gitmeye çalışı-yor: muhafaza ve hayat, ilim ve şehir, su ve mahalle, ticaret ve kamusal mekân, iktidar ve anıtsallık, yıkım ve ihya, hafıza ve yeni-den inşa. Bu meselelerin ilkiyle Hive'de karşılaştık.

HİVE: BİR ŞEHİRİN BÜTÜNÜYLE MUHAFAZASI

Hive'ye girdiğinizde ilk hissedilen şey tek yapıların ihtişamından ziyade dokunun devamlılığıdır. İçan Kale'de (Ichan Qala) medrese, cami, minare, saray, türbe, çarşı, sokak ve ev; birbirinden koparılmış tarihî parçalar hâlinde değil, hâlâ aynı şehirselle

Doğu ile Batı Arasında Formları ve Şehir Silueti

Mâverâünnehir (Hive / Buhara / Semerkand): Minareler çoğunlukla cami kütesinden bağımsız, kalın tabanlı, göğe doğru konikleşen masif kulelerdir. Şehir silüetinde minarelerle birlikte yüksek medrese piştakları (taçkapılar) hakimiyet kurar.

Anadolu Selçuklu: Minareler cami kütesine yakınlaşır; tuğla ve çini işçiliği öne çıkar. Çifte minareli medrese cepheleriyle anıtsal giriş vurgulanır.

Osmanlı Klasik Dönemi: Minare inceler, yükselir, çok şerefeli bir kalem formunu alır ve merkezi kubbeli cami kütesiyile organik bir mimari bütüne dönüştürülür.

bütünün unsurları olarak okunabiliyor. Yaklaşık 26 hektarlık sur içi alanda onlarca anıtsal eserle yüzlerce geleneksel meskenin birlikte varlığını sürdürüyor olması, Hive'yi bir "anıtlar koleksiyonu" olmaktan çıkarıp bütünüyle tecrübe edilebilir bir tarihî şehir hâline getiriyor.

Çoğu tarihî kentte geçmişi bugün parçalar hâlinde okuruz. Bir cami kalmıştır ama çevresindeki mahalle yoktur, bir han ayakta ama onu besleyen ticaret güzergâhı değişmiştir, bir saray korunmuştur fakat onun şehirle kurduğu münasebet kopmuştur. Hive'nin kıymeti, anıtlar alelade görünen yapı arasındaki bu rabıta hâlâ gösterilebilmesinde. Dar sokak, avlulu mesken, yüksek sağır duvar, gölgeli geçiş, bir köşeden ansızın görünen minare veya medrese cephesi aynı şehirsiz ritmin parçalarıdır.

Bu bütünlük beraberinde müşkül bir soru da getiriyor: Bir tarihî doku ne kadar çok muhafaza edilirse o kadar mı yaşar? İçan Kale'nin olağanüstü korunmuşluğu, onu turistik tüketimin kuvvetli baskısıyla da karşı karşıya bırakıyor. Medreseler müzeye, dükkâna veya konaklama mekânına dönüşüyor, sokaklar giderek ziyaretçiye göre tertip ediliyor. Şehir ile açık hava müzesi arasındaki hudut zaman zaman inceliyor. Belki asıl mesele, özgün işlevin her ne pahasına olursa olsun sürdürülmesinden ziyade, yapının ve dokunun ruhunu taşıyan münasebetlerin devam edip etmediğidir.

BİR MEDRESEDE GECELEMEK

Bu soruyu Hive'de ilk geceden itibaren biraz içeriden tecrübe ettik. Kaldığımız otel, 19. yüzyıldan kalma bir medrese yapıydı. Gündüz onlarcasını dolaştığımız medreselerden birinin akşam olduğunda konakladığımız mekâna dönüşmesi garip bir yakınlık meydana getiriyor. Gündüz "hücre" olarak incelediğiniz küçük mekân gece odanız, revak odanıza giden yol, avlu ise artık bakıp geçtiğiniz mimari bir unsur değil, kaldığınız yerin müşterek sahası oluyor.

Elbette bugün bir otel odasında kalmakla asırlar evvel burada tahsil gören bir talebenin hayatı arasında doğrudan bir benzerlik kurulamaz. Fakat kalın duvarı, küçük hücreyi, avluya açılan kapıyı, gece avluya çöken sessizliği bedenle tecrübe etmek; tarihî yapıya uzaktan temaşa etmekten farklı bir idrak imkânı veriyor. Yapı, seyredilen bir geçmiş olmaktan çıkıp birkaç saatliğine günlük hayatınıza dâhil oluyor.



Konakladığımız Muhammed Rahim Han Medresesi'nin avlusundan görüntüler



Hive Cuma Camii

Cuma Camii'nin anıtsallığı göğü yaran devasa bir cephede değil; insanı içeri aldıktan sonra sınırları eriten ahşap sütunların ritminde gizlidir.

Hive'de tarih biraz böyle, insanın iliklerine kadar nüfuz ederek hissediliyor.

CUMA CAMİİ: AHŞABIN DİLİ

Hive'de beni en fazla tesiri altında bırakan yapılardan biri Cuma Camii oldu. Dışarıdan bakıldığında kendisini pek ilan etmeyen, hatta çevresindeki medrese ve minarelerin yanında mütevazı kalan bir yapı. Ne devasa bir piştaki ne de uzaklardan görülen büyük bir kubbesi var. İçeri girildiğinde ise

bambaşka bir âlem açılıyor: iki yüzü aşkın ahşap sütun, loş mekân içinde birbirinin ardınca sıralanıyor; bakışı belirli bir merkeze yöneltmekten ziyade mekânın içinde dağıtan, hudutları adeta eritip çoğaltan bir ritim meydana getiriyor.

Bu mekân ister istemez hipostil cami geleneğini hatıra getiriyor. İlk Mescid-i Nebvî'nin sade, çok taşıyıcılı cemaat mekânından İslâm coğrafyasının farklı bölgelerinde teşekkül eden sütunlu camilere,

oradan Kurtuba Ulu Camii'ne ve Hive'ye uzanan bir mimari akrabalık söz konusu. Bunu doğrudan birbirini takip eden bir kopyalama zinciri olarak değil, geniş bir cemaat mekânını örtme ve müşterek ibadete imkân verme meselesine farklı coğrafyaların verdiği akraba cevaplar olarak düşünmek daha doğru.

Hive'de bu dili hususî kılan ise ahşap. Sütunlar yalnız taşıyıcı değil, farklı devirlerden kalmış oyma desenleri, başlıkları ve yaşlanmış yüzeyleriyle müstakil birer sanat eseri. Aynı çatıyı taşırken birbirinin aynısı değil. Tekrar ile farklılık güzel bir terkibe kavuşuyor. Cuma Camii'nin anıtsallığı da tam burada başlıyor: büyüklüğünü ilan eden bir cephe yerine, insanı içine aldıktan sonra tesirini gösteren bir mekân. Semerkand'da göreceğimiz Bibi Hanım Camii ise anıtsallığı bambaşka bir yoldan, ölçeği zorlayarak kuracaktı.

KALTA MİNAR: NÂ-TAMAM KALAN İDDİANIN HAFIZASI

Hive'nin en kolay hatırlanan imgelerinden biri Kalta Minar. Muhammed Emin Han tarafından 19. yüzyıl ortasında başlatılan minare tamamlanamamış; bugün gördüğümüz geniş ve bodur gövde, çok daha yüksek olması düşünülen yapının yalnız başlangıç kısmı. Onu görünce insanın zihni kendiliğinden eksik kısmı tamamlamaya çalışıyor.

Minarenin Buhara'dan görülebilecek kadar yükseltilmek istendiğine dair mahallî bir rivayet de anlatılıyor. Tarihî doğruluğunu ihtiyatla karşılamak gerekir, fakat rivayetin kendisi bile manidar. Zira mimarinin hükümdarlar ve şehirler arasındaki rekabetin dili hâline gelebildiğini gösteriyor.

Kalta Minar'ın tesiri ise paradoksal biçimde tamamlanamamışlığından geliyor. Tamamlansaydı belki Orta Asya'nın görkemli minarelerinden biri olacaktı; bugün ise yarıda kesilmiş bir niyetin, büyük bir iddianın ve tarihin beklenmedik müdahalesinin hatırası. Mimarlık çoğu zaman tamamlanmayı kemal ile eş tutar. Kalta Minar, bazen nâ-tamam kalmanın da hafıza üretebildiğini gösteriyor. Ve bizi daha büyük bir meraka hazırlıyor: Orta Asya'nın geniş çaplı ve çoğu zaman müstakil minareleri, Anadolu'ya ve Osmanlı'ya doğru ilerledikçe nasıl incelmış, şerefeleri nasıl çoğalmış, camiyle münasebeti nasıl değişmiştir? Bu soruya Buhara'daki Kalan Minaresi önünde yeniden döneceğiz.



Kalta Minar'ın mevcut fotoğrafı ve yapılmamış bölümün ince kontur çizgileriyle tahayyülî tamamlaması (Sağdaki denemeyi ChatGPT 5.6 ile yaptım)



Kalta Minar, mimarlık tarihine radikal bir şerh düşer: Bazen nâ-tamam kalmak da tamamlanmak kadar güçlü bir hafıza üretir.



Kalta Minar gece görüntüsü

İKİ SARAY, İKİ MEKÂN TELAKKİSİ

Hive'deki Ko'hna Ark ile Taş Havli Sarayı, yalnız hanların hayatını değil, iki farklı mekân teşekkülü biçimini de düşündürüyor. Ko'hna Ark -adı üzerinde "eski kale"- zaman içinde gelişmiş, muhtelif işlevlerin birbirine eklenmesiyle teşekkül etmiş bir hükümdarlık yerleşkesi. Taş Havli ise daha geç tarihli ve daha belirgin bir tertip fikrine sahip; harem, kabul ve idarî mekânlar avlular etrafında daha açık biçimde

ayrışıyor. Küçük ölçekte, şehircilikte de sıkça karşılaştığımız bir karşıtlık: tedricen ve organik biçimde teşekkül eden mekân ile baştan tasarlanmış bir tertibe göre kurulan mekân.

Saraylarda beni en çok düşündüren ayrıntılardan biri kabul avlularındaki yurt / çadır yeri oldu. Taş duvarlarla çevrilmiş yerleşik bir sarayın ortasında çadır için ayrılmış bir zemin... Bozkırın hareketli hayatından surlarla çevrili şehre, çadırdan

Taş duvarlarla çevrilmiş yerleşik bir sarayın ortasındaki çadır zemini; bozkırın hareketli ruhunun devletleşme sürecinde mekâna kazınmış derin ve köklü bir nişanesidir.

saraya, göçebe yahut yarı göçebe siyasî kültürden yerleşik devlet düzenine geçilmiş, fakat eski hayatın hafızası bütünüyle terk edilmemiş, sarayın içine alınmış. Mekân burada yalnız ihtiyaca cevap vermiyor, hafızayı da muhafaza ediyor.

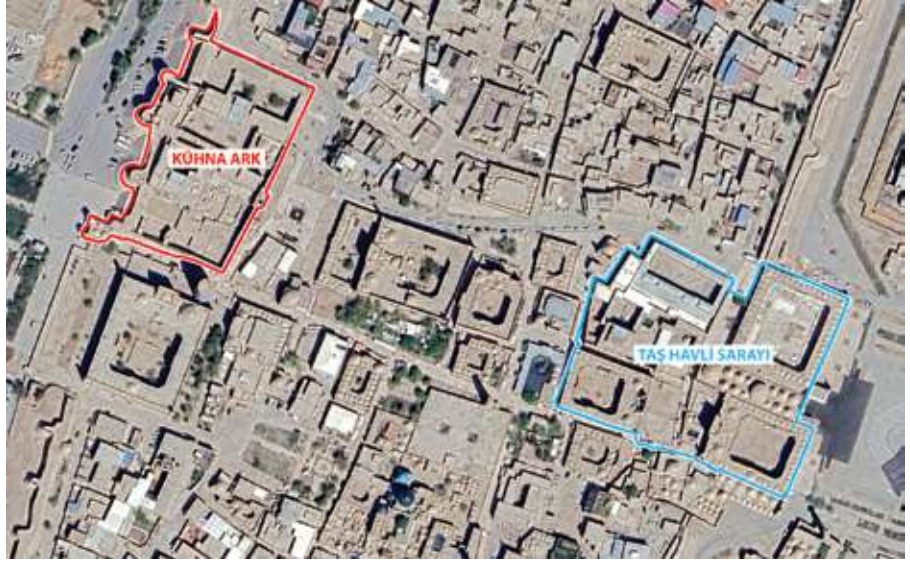
Yazlık ve kışlık camilerin aynı saray bünyesinde bulunması da dikkate şayan. Aynı ibadet, mevsime göre farklı mekânlarda icra ediliyor; yazın gölge, hava ve açıklık; kışın muhafazalı hacim öne çıkıyor. Modern yapıda mekanik sistemlerle çözmeye çalıştığımız iklim meselesinin burada doğrudan mimari tertibin içine yerleştiğini görüyorsunuz. Saray duvarlarındaki faniliği hatırlatan yazılar ise bütün bu ihtişamı başka bir mânâ dairesine yerleştiriyor: hükümdar, taht ve debdebe var; fakat hepsinin üzerine fanilik hükmü yazılmış.

İSLAM HOCA MİNARESİ'NDEN ŞEHRİ TEMAŞA

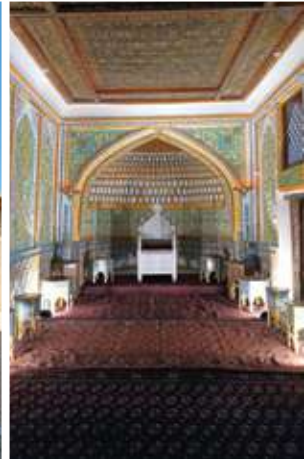
Hive'yi sokak seviyesinde dolaştıktan sonra İslam Hoca Minaresi'ne çıkmak şehri ikinci defa görmek gibiydi. Aşağıda gün boyunca tek tek ziyaret ettiğimiz eserler artık birbirlerinden kopuk değildi. Doğu-batı istikametindeki hareket, surlar ve kapılar, medrese kütleleri, saraylar, camiler, minareler ve bütün bunların arasını dolduran mesken dokusu aynı manzaranın parçalarına dönüşmüştü.

Yukarıdan bakınca anıtların kıymeti kadar onları taşıyan sıradan dokunun kıymeti de belirginleşiyor. Aradaki evleri, avluları, dar sokakları ve alelade görünen yapıları zihnen silip yalnız camileri, medreseleri, sarayları ve minareleri bırakırsanız geriye bir şehir değil, bir eserler kataloğu kalır. Hive'nin koruma düşüncesine verdiği en temel ders belki de budur: şehir mirası, tek tek anıtların yekûnu değil; anıt, mesken, sokak, meydan ve gündelik hayat arasındaki münasebetlerin bütünüdür.

Minarenden bakarken başka bir fark



Ko'hna Ark ve Taş Havli'nin uydu görüntüsü (Google Earth Pro ve ChatGPT 5.6 yardımıyla hazırlanmıştır)



Ko'hna Ark: altta ortada kurinishkhana (kabul avlusu); ortadaki dairesel yükselti çadır / yurt yeri.

daha dikkat çekiyordu. Osmanlı şehirlerinden aşına olduğumuz silüette büyük cami kubbesi ile ince minareler birbirini tamamlar. Hive'de ise yatay, toprak rengi dokunun arasından daha kalın ve daha müstakil minareler yükseliyor, medreseler ve saraylar da şehir silüetinde camiler kadar kuvvetli bir yer işgal ediyor. Neden Mâverâünnehir şehirlerinde medreseler

bu kadar görünür? Piştaqlar neden bu kadar büyük? Minare neden çoğu zaman camiden müstakil? Cami, medrese, çarşı ve mahalle arasındaki münasebet Anadolu'ya ve Osmanlı'ya doğru nasıl değişiyor? Hive bize önce şehrin bütününe gösterdi. Buhara ise bu bütünlüğün yalnız taş, tuğla ve ahşaptan ibaret olmadığını daha açık biçimde gösterecekti.

TERKİP

Buhara

Suyun, İlmin ve Maneviyatın
Ördüğü Şehir

Hive’de fiziksel bir sur içi bütünlüğüyle karşılaşan seyyah, Buhara’ya adım attığında taşın ve tuğlanın ötesinde akan görünmez bir dokuya çekilir. Burası yalnızca medreselerin ve minarelerin toplandığı bir coğrafya değil; suyun, ilim halkalarının, vakıf ağlarının ve manevi silsilelerin birbirine kenetlediği devasa bir kentsel organizmadır.

Hive’de şehrin fizikî bütünlüğü öne çıkıyordu; Buhara’ya vardığımızda ise başka bir his ağır bastı: şehri meydana getiren şey görünen yapılardan ibaret değildi. Medreseler, camiler, minareler, hanlar ve kubbeli çarşılar elbette vardı; fakat bunların arasında akan başka bağlar da hissediliyordu: suyun etrafında teşekkül eden mahalle

hayatı, ticaret güzergâhları, vakıflar, ilim halkaları, ziyaretgâhlar ve asırlar boyunca şehirle birlikte yaşayan manevî silsileler.

“Buhara-i Şerif” tabiri bu bakımdan yalnız şiirsel bir sıfat değil. Buhara, asırlar boyunca İslâm dünyasının büyük ilim ve tasavvuf merkezlerinden biri olmuş; tarihî kaynakların ve UNESCO kayıtlarının işaret ettiği yüzlerce cami ve yüzden fazla medrese, bu ilmî yoğunluğun mekândaki

tezahürü hâline gelmiş. Hive’nin sur içindeki yoğun bütünlüğüne karşılık Buhara kendisini daha ziyade bir ağ olarak hissettiriyor: bir medreseden çıkıp kubbeli çarşıya giriyor, oradan bir havuzun kenarına ulaşıyor, birkaç sokak sonra bir mahalle camisinin ahşap sütunlarıyla karşılaşılıyor. Şehri tek tek yapılardan ziyade, yapılar arasındaki münasebetler üzerinden okumak daha isabetli.





Leb-i Havuz etrafındaki anıt eserler ve onları çevreleyen konut dokusu
(Kaynak: Google Earth Pro)

Maddeden Manaya: Buhara'nın Tarihî Katmanları

Sâmânî Türbesi'nin İnşası 9.-10. Yüzyıl

Tuğlanın hem taşıyıcı hem de süsleme ögesi olarak kullanıldığı, merkezi kubbeli yapım geleneğinin İslâmî mimarideki erken ve ikonik örneği.

Kalan Minaresi ve Po-i Kalan Kompleksi

1127 (Karahanlı Dönemi)

Karahanlılar devrinde yükselen 46 metrelik tekil kule, kentsel ölçekte bağımsız bir işaretleyici olarak şehrin silüetini belirledi.

16. Yüzyıl Ticaret ve İlim Ağı

16. Yüzyıl

Şeybaniler döneminde Toki Zargaron, Toki Telpak Furushan ve Toki Sarrafon gibi kubbeli çarşıların inşasıyla ticaret omurgası anıtsal külliyeyle birleştirildi. Buhara Yahudi cemaati için önemli bir ticaret ve zanaat merkezi teşekkül etti.

Yedi Pir Silsilesi ve Manevi Harita

12.-14. Yüzyıl

Abdülhâlık Gucdüvânî'den Bahâeddin Nakşibend'e uzanan Hâcegân silsilesi, şehrin fiziksel sınırlarını aşan bölgesel bir ziyaret ve maneviyat coğrafyası oluşturdu.

Şehir Mekânından Medeniyet Mimarisine

Ekolojik Altyapı ve Kentsel Odak:

Buhara'nın mahalle ölçeğindeki yakınlık ve gündelik erişim düzeni, bugünkü 15 dakikalık şehir tartışmalarıyla dikkate değer bir tarihî paralellik kurmaya imkân verir. Su, yalnızca bir peyzaj ögesi veya iklim dengeleyici değil; ibadet, ticaret ve toplumsal etkileşimin kesiştiği temel kamusal omurgadır.

Mimaride İşlevsel Yakınlık: Timurlu mimarisinin ihtişamlı tezyinatına karşın Sâmanî Türbesi; tuğlanın strüktürel ve estetik gücünü aynı anda sergileyerek form, malzeme ve ışık-gölge dengesinin en yalın, en yüksek ifadesini sunar.

altyapı, dolayısıyla da insanların buluştuğu, dinlendiği, konuştuğu, alışveriş yaptığı ve ibadet ettiği mahalle odağı.

Leb-i Havuz bunun en bilinen örneği. Adı zaten "havuzun kenarı" demek. Kukeldaş Medresesi, Nadir Divan Begi Medresesi ve hankâhıyla birlikte baktığınızda su, mimari kompozisyonun ortasına yerleşiyor. Fakat mesele yalnız estetik değil: su, ağaç, gölge, ilim, ibadet, ticaret ve sohbet aynı mekânda birbirine değişiyor. Hoca Zeyniddin Camii'nin arkasındaki daha mütevazı havuz ise bu sistemin mahalle ölçeğindeki ifadesini gösteriyor. Büyük anıtların gölgesinde kalan bu küçük odaklarda şehrin asıl

bünyesi daha iyi hissediliyor.

Burada "mahalle" yalnız idarî bir sınır değil; suya, mescide, sokağa ve komşuluğa dayanan bir yakınlık nizamı. Modern şehir-cilik şehri çoğu zaman işlevleri birbirinden ayırarak tanzim etmeye alıştı: konut alanı, ticaret alanı, eğitim alanı, ibadet alanı, yeşil alan... Buhara'nın tarihî dokusu ise bu unsurları ayırmaktan ziyade birbirine yaklaştırarak hayat üretiyor. Bugün "15 dakikalık şehir" diye yeniden konuştuğumuz yakınlık meselesinin, başka iktisadî ve toplumsal şartlar altında çok daha eski şehir tecrübelerinde karşılıklarının bulunması tesadüf değil.

Şehri tek tek yapılardan ziyade, yapılar arasındaki münasebetler üzerinden okumak daha isabetlidir; Buhara kendisini anıtsal bir kütle değil, kesintisiz bir ağ olarak hissettirir.

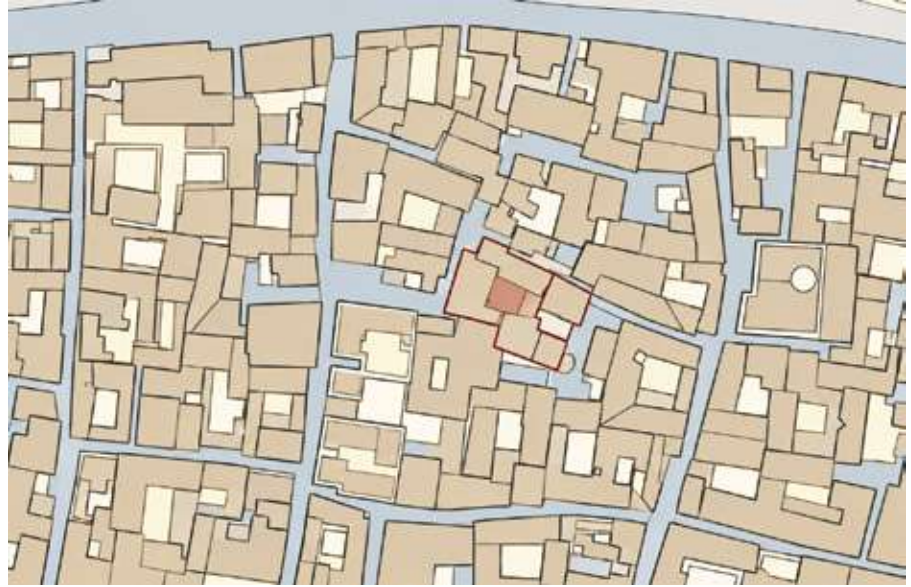
BİR BUHARA EVİNDE KALMAK

Hive'de medresede, Buhara'da ise geleneksel bir avlulu evde konakladık. Bu iki tecrübenin arka arkaya gelmesi öğreticiydi. Hive'de kamusal ve eğitim amaçlı bir tarihî yapının hücrelerinde kalmıştık; Buhara'da ise şehrin asıl dokusunu teşkil eden meskenin içine girdik. Sokaktan bakıldığında ketum olan yapı, kapıdan içeri girince avlu etrafında açılıyordu: dışarıya kapalı, içeriye dönük bir hayat.

Plan üzerinde gördüğümüz "avlulu konut tipi" ile onun içinde yaşamak arasında fark var. Sokaktan avluya geçişteki eşikler, odaların dış mekânla kurduğu münasebet, gölge ve hava hareketi, mahremiyetin yalnız duvarla değil bir dizi mekânsal geçişle temin edilmesi... Bir gece dahi olsa bu düzenin içinde bulunmak, ev-avlu-sokak münasebetinin neden yüzyıllarca bu coğrafyanın temel konut biçimlerinden biri olduğunu daha iyi hissettiriyor. Burada iklim ile içtimâî hayat birbirinden ayrılmıyor; avlu hem ışık ve havayı düzenleyen bir iklim elemanı hem de ailenin müşterek hayatının merkezi.

HAVUZUN ETRAFINDA ŞEHİR

Buhara'ya dair hafızamda en kuvvetli kalan unsurlardan biri havuzlar oldu. Bugün "su ögesi" dediğimiz şeyi çoğu zaman bir meydanı güzelleştiren peyzaj unsuru olarak düşünüyoruz. Tarihî Buhara'da ise su bundan çok daha fazlasıydı: hayatî bir



Kaldığımız avlulu Buhara evi ve yakın çevresi (Kentsel doku ChatGPT 5.6 yardımıyla şematize edilmiştir. Gerçek dokuyu tam olarak yansıtmayabilir)



Leb-i Havuz'un yaşayan kamusal mekânı ve Nadir Divan Begi Hankâhı (üstte), Havuz çevresindeki anıtsal yapılar (altta) (Harita: Google Earth Pro)

Kentsel Hukuk ve Mülkiyet Sınırı

Nadir Divan Bey'in Leb-i Havuz projesi karşısında mülkünü satmak istemeyen Yahudi kadının kadı kararıyla korunması anlatısı, kamu yararı veya kamulaştırma gücünün bireysel haklar karşısındaki sınırını tartışmak için tarihi bir referans niteliğindedir. Medeniyet seviyesi, üretilen devasa eserlerin büyüklüğü kadar, o eserler yükselirken gözetilen adalet terazisiyle de ölçülür.

Halvet der encümen (Toplum içinde Yalnızlık): Kentsel kalabalık ve ticari akslar içinde bulunurken dahi iç dünyayı ve ahlakı muhafaza etme prensibi. Bu tasavvufi ilke ile avlulu konutun mahremiyet-müştereklik dengesi birlikte düşünülmeye müsaittir.

Manevi Coğrafya: Planlama haritalarında görülmeyen; hafıza, aidiyet, ziyaret ve manevi yönelişlerle kenti şekillendiren görünmez hatlar.

Yaşayan Mirasın Devamlılığı: Bir yapının korunmasının yalnızca koruma kurulları veya restorasyonla değil, yaşayan fonksiyonların varlığıyla mümkün olduğu gerçeği.



Hoca Zeyniddin Camii arkasında yer alan Buhara'daki en eski havuzlardan biri ve etrafında oluşan mahalle (Harita: Google Earth Pro)

SÂMÂNÎ TÜRBESİ: TUĞLANIN KONUŞTUĞU YAPI

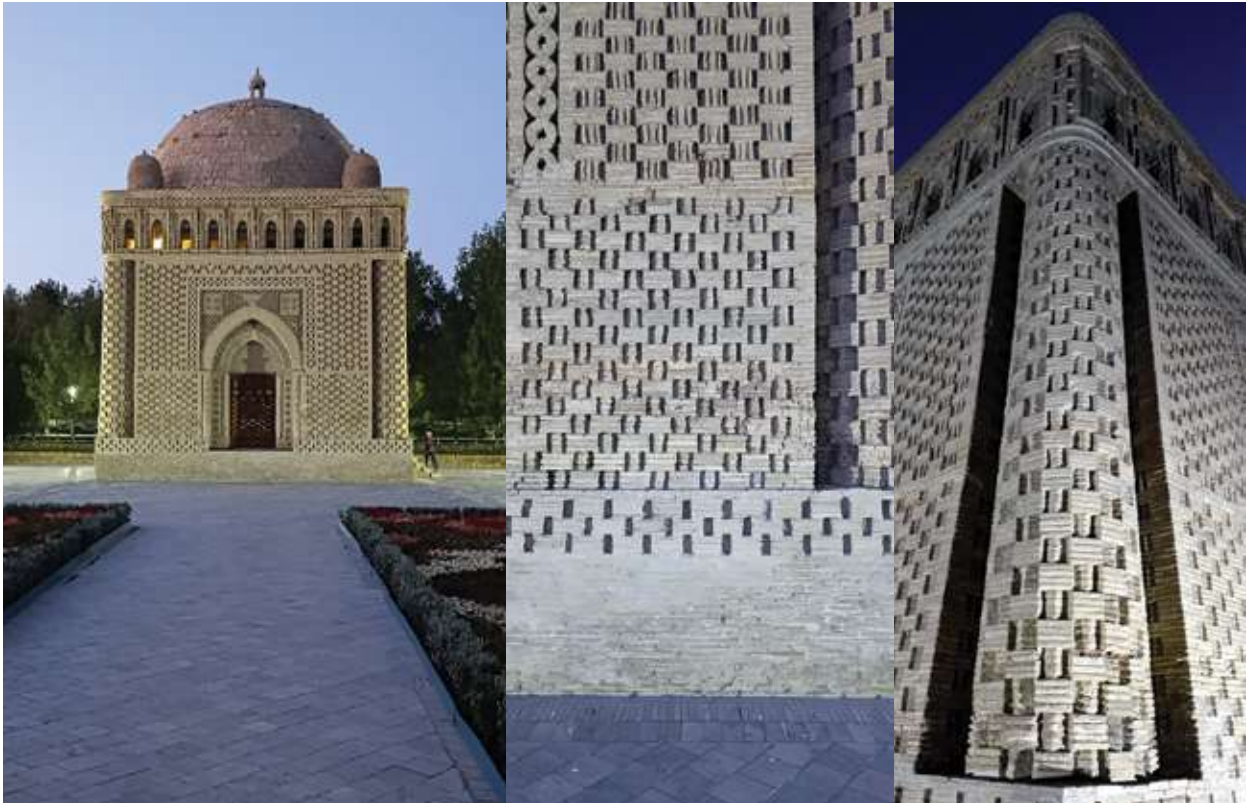
Buhara'nın büyük medreseleri ve yüksek minareleri arasında Sâmânî Türbesi ilk bakışta hayli mütevazı. 9.-10. yüzyıllara tarihlenen küçük kübik yapı, yaklaşıldıkça başka türlü bir kuvvet kazanıyor. Beze- me yapının üzerine sonradan giydirilmiş değil; tuğlanın dizilişi değişikçe ışıık ve

gölge değişiyor, duvar aynı anda hem strüktür hem tezyinat oluyor. Malzeme kendisini saklamıyor; tuğla, tuğla olarak güzelleşiyor.

Semerkan'da göreceğimiz Timurlu mimarisi bütün imkânlarını seferber ederek göz kamaştırırken, Sâmânî Tür- besı birkaç temel unsurla kuvvetli bir mimari tesir meydana getiriyor. İhtışamın

her zaman büyüklük ve zengin bezeme ile kurulmadığını hatırlatıyor. Aynı zamanda İslâm öncesi Orta Asya ve İran'ın merkezî kubbeli yapı tecrübesinin İslâmî dönemde yeni bir mânâ içinde yeniden tertip edil- mesinin de erken ve güçlü örneklerinden biri. Medeniyet çoğu zaman böyle teşekkül ediyor: eski biçim bütünıyla yok olmuyor; yeni mânâ içinde yeniden yerini buluyor.

Sâmânî Türbesi'nde bezeme yapının üzerine giydirilmiş bir süs değildir; tuğla, kendi strüktürüyle güzelleşerek ihtışamın her zaman büyüklükle kurulmadığını fısıldar.



Sâmânî Türbesi'nin tuğla dokusu



Kalan Minaresi ve Po-i Kalan Külliyesi (Kalan Camii: sağda; Mir-i Arab Medresesi: solda)

Buhara'da minare, caminin silüetine tabi bir uzantı değil; kendi başına duran, bulunduğu çevrenin yönünü tayin eden bağımsız bir kentsel alamettir.

ARK'TAN PO-İ KALAN'A: KUDRET, İBADET VE İLİM

Buhara Arki, şehrin siyasî kudretinin yüz-yıllar boyunca yer tuttuğu yüksekçe bir eşik. Kale-saray sistemi ile karşısındaki Bolo Havuz çevresi, devlet ve gündelik şehir arasındaki ilişkiyi okumaya imkân veriyor. Buradan Po-i Kalan'a uzandığınızda başka bir kudret diliyle karşılaşıyorsunuz: bu defa hükümdarlık kalesinin değil, cami ve medresenin kurduğu kentsel kompozisyon.

1127'de Karahanlı devrinde inşa edilen Kalan Minaresi, yaklaşık 46 metrelik yüksekliğiyle tarihin en kuvvetli düşey işaretlerinden biri. Hive'de gördüğümüz minarelerle akrabalığı hemen hissediliyor: geniş çaplı, tuğladan, yukarı doğru daralan ve büyük ölçüde kendi başına duran bir kule. Osmanlı minaresine alışmış bir göz için burada ince gövde, belirgin şerefeler, sivri külâh ve cami bedenine sıkı eklemelenme yok. Fakat mesele eksiklik değil, başka

bir minare telakkisi. Burada öncelikle kendi başına duran bir şehir alameti; camiyi işaret ediyor ama caminin silüetine tabi olmuyor, bulunduğu çevrenin yönünü kendisi tayin ediyor.

Po-i Kalan'da mesele yalnız minare değil. Bir tarafta cuma camisi, karşısında Mir-i Arab Medresesi ve aralarında kalan kentsel boşluk... İbadet ile ilim aynı meydanın iki cephesinde birbirine bakıyor. Mâverâünnehir şehirlerinde medresenin Osmanlı şehirlerinde alıştığımızdan çok daha yüksek bir kentsel temsil gücüne sahip olduğunu burada daha iyi hissediyorsunuz. Osmanlı'da medrese son derece mühimdir; fakat büyük külliye mimari hiyerarşinin merkezine ekseriyetle cami yerleşir. Buhara'da ise medrese kendi başına çarşı veya meydan cephesini kurabilecek kadar müstakil ve görünür bir kurum. Bunun en uç ifadesini daha sonra Registan'da görecektik.

MİMARİ & KURUMSAL MUKAYESE

1. Medrese

Buhara Modeli: Kentsel meydan ve çarşı cephelerini bizzat kuran, yüksek temsil gücüne sahip müstakil anıt.

Osmanlı Modeli: Müstakil çözümler olmakla birlikte, çoğunlukla külliye hiyerarşisi içerisinde konumlanan birim.

2. Minare

Buhara Modeli: Kalan Minaresi örneğinde olduğu gibi, cami bedeninden bağımsız, tek başına kent sembolü ve yönlendirici kule.

Osmanlı Modeli: Cami-kubbe kompozisyonunu tamamlayan düşey unsur.

3. Ticaret Aksı

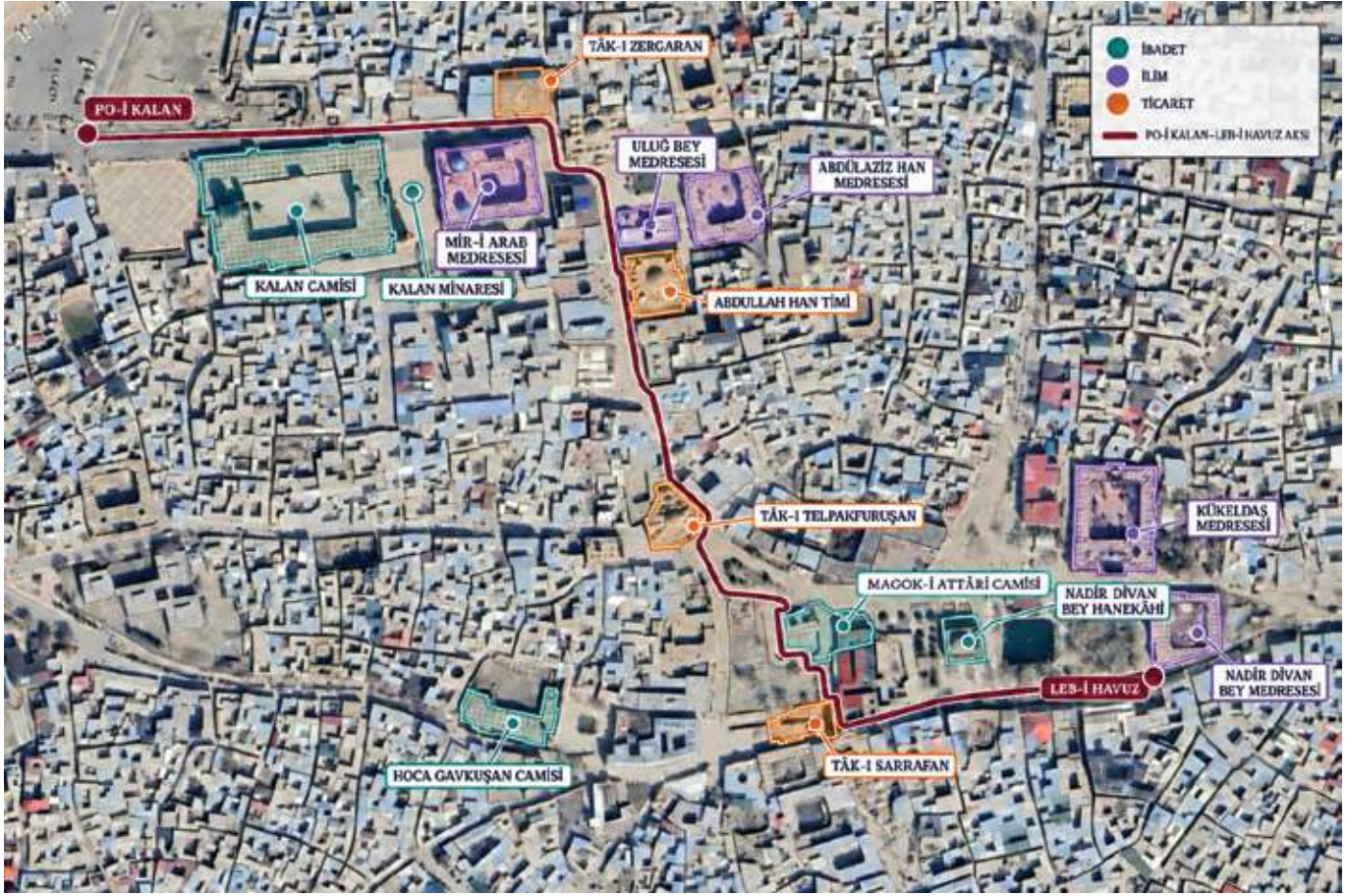
Buhara Modeli: Kubbeli ticaret yapıları (Toki) ile anıtsal medrese ve camileri birbirine bağlayan kesintisiz şehir omurgası.

Osmanlı Modeli: Bedesten ve hanlar etrafında kümelenmiş, merkeze dönük ticari odak bölgeleri.

4. Kamusal Alan

Buhara Modeli: Su (Havuz), gölge, ticaret, eğitim ve ibadetin iç içe geçtiği çok işlevli mahalle odakları.

Osmanlı Modeli: Meydan, çeşme, hazire ve avlu ilişkisiyle kademelendirilmiş kamusal geçişler.



Po-i Kalan - Leb-i Havuz ilim-ibadet-ticaret aksı (Harita: Google Earth Pro; Görselleştirme: ChatGPT 5.6)

Doğu'dan Batı'ya medeniyetin izi sürülecekse, bu iz minareden bile ziyade; anıtları, ilmi ve ibadeti birbirine bağlayan dükkânlar ve kubbeli çarşılardır.

ÇARŞI: ANITLARI BİRBİRİNE BAĞLAYAN OMURGA

Buhara'nın şehircilik bakımından en öğretici taraflarından biri, anıtsal yapılar ile ticaret dokusu arasındaki irtibat. Po-i Kalan'dan Leb-i Havuz'a doğru yürüdüğünüzde medrese, cami ve tarihî yapılar birbirlerinden kopuk ziyaret noktaları olarak kalmıyor; aralarından ticaret akıyor. Toki Zargaron, Toki Telpak Furushan ve Toki Sarrafon gibi kubbeli ticaret yapıları yol kesişimlerini örterken aynı zamanda şehrin ana hareket omurgasını işaretliyor.

Buhara'daki cami + medrese + tâk + dükkân + han + hamam örgüsü ile Konya ve Kayseri'den Bursa Hanlar Bölgesi'ne, oradan İstanbul'daki bedesten ve Kapalıçarşı çevresine uzanan sistem arasında birebir bir eşitlik kuramayız; fakat

kuvvetli bir şehircilik akrabalığı var. Çarşı yalnız alışveriş yapılan yer değil; şehrin muhtelif müesseselerini birbirine bağlayan müşterek omurga. Belki Doğu'dan Batı'ya takip edilmesi gereken en kuvvetli izlerden biri, minareden bile ziyade çarşıdır.

MAGOK-I ATTARI: ŞEHİR TOPRAĞIN ALTINDA DA DEVAM EDER

Bu aks üzerinde karşımıza çıkan Magok-i Attari Camii, Buhara'nın tarihî katmanlarını en müşahhas biçimde gösteren yapılardan biri. Yapının bugünkü tabanı mevcut sokak seviyesinin birkaç metre altında kalıyor. Şehir yükselmiş, eski yapı aşağıda kalmış; dünün zemin kotu bugünün çukuruna dönüşmüş.

Burada Cengiz Han istilasından korunmak için caminin bilinçli biçimde toprağa

gömüldüğü yönündeki mahallî anlatıyı da dinledik. Rivayet güzel; fakat tarihî veriler daha ihtiyatlı olmayı gerektiriyor. Yapının bugünkü çukur konumu, yüzyıllar boyunca yükselen şehir kotu ve arkeolojik tabakalarla daha sağlam biçimde açıklanabiliyor. Belki hakikatin kendisi rivayetten daha ilginç: şehir gerçekten de kendi geçmişinin üzerine yükseliyor. Yapılar yıkılıyor, yolların kotu değişiyor, yeni tabakalar birikiyor; şehir adeta zamanın içinde alınmış bir kesite dönüşüyor.

Cengiz Han'ın yıkım hafızası ise bizi başka bir meseleye hazırlıyordu. Mâverâünnehir tarih boyunca yalnız büyük medeniyetlerin inşa ettiği bir coğrafya değil; orduların geçtiği, şehirlerin tarumar edildiği ve yeniden kurulduğu bir saha. Bir sonraki durağımız Semerkand'da, yıkmak ile imar etmek

arasındaki bu gerilim Timur üzerinden çok daha sert biçimde karşımıza çıkacaktı.

ÇOĞUL ŞEHİR: BUHARA YAHUDİLERİ

Buhara'yı yalnız Müslüman yapıları üzerinden okumak şehrin tarihî bünyesini eksik bırakır. İpek Yolu'nun büyük ticaret merkezlerinden biri olan şehir, asırlar boyunca farklı dinî ve etnik topluluklara ev sahipliği yaptı. Bunların en köklülerinden biri Buhara Yahudileri idi. Bilhassa 16. yüzyıldan itibaren Buhara, Orta Asya Yahudilerinin önemli merkezlerinden biri hâline geldi; Yahudi mahalleleri, sinagogları ve ticaret-zanaat ağları şehir hayatının bir parçası oldu. Kumaş ve iplik boyacılığı ile ipek ve pamuk ticaretinde de

belirgin bir yer edindiler.

Leb-i Havuz'un teşekkülüne dair anlatılan meşhur hikâye bu çoğul hayatın hukukî tarafını göstermesi bakımından ayrıca manidardır. Rivayete göre Nadir Divan Bey, havuzu yaptırmak istediğinde arazide bulunan Yahudi bir kadının evini satın almak ister; kadın ise satmayı kabul etmez. Mesele kadıya intikal ettiğinde hüküm kadının lehine verilir: Mülkü, rızası olmadan elinden alınamaz. Daha sonra Yahudi cemaatine başka bir yerde arazi tahsis edilmesi üzerine anlaşmaya varıldığı anlatılır. Hikâyenin bazı tafsilatları rivayet mahiyetinde olsa da, bir vezirin büyük imar teşebbüsü karşısında dinî azınlığa mensup bir ferdin mülkiyet hakkının korunması son

derece dikkat çekicidir.

Elbette bunu kusursuz bir eşitlik nizamı gibi romantikleştirmek doğru olmaz. Bununla birlikte, kendi tarihî şartları içinde değerlendirildiğinde İslâm şehirlerinin farklı dinî cemaatleri hukukî bir statü içerisinde şehir hayatına dâhil etme kabiliyeti, özellikle Orta Çağ Avrupa'sındaki tecrübelerle mukayese edildiğinde oldukça ileri bir birlikte yaşama modeli ortaya koyuyordu. Farklılık bütünüyle ortadan kaldırılmıyor, fakat şehrin bünyesinde kendisine bir yer bulabiliyordu.

Leb-i Havuz'daki hikâye bu bakımdan yalnız geçmişe ait hoş bir hatıra değil. Bugünün kamulaştırma, kentsel dönüşüm ve mega proje tartışmalarına da eski bir



Magok-i Attari Cami



Buhara ve çevresinde Yedi Pir güzergâhını gösteren tabelalardan biri



Yedi Pir Türbe ve Külliyelerinden fotoğraflar (her bir ziyaret yerinden bir fotoğraf eklenmiştir)



Bolo Havuz Camii'nin son cemaat mahalli ve minaresi

Bir caminin gerçek devamlılığı ayakta kalan duvarlarından ibaret değildir; orada hâlâ ezan okunuyor, abdest alınıyor ve saflar tutuluyorsa mimari miras yaşayan bir sosyal müessesedir.

soru yöneltiliyor: Büyük bir eser yahut kamu adına yürütülen bir imar faaliyeti karşısında ferдин hakkının hududu nedir? Belki medeniyetin seviyesi yalnız meydana getirdiği büyük eserlerle değil, o eserleri inşa ederken en zayıf olanın hakkına ne ölçüde riayet edebildiğiyle de ölçülmeli.

YEDİ PİR: ŞEHRİN GÖRÜNMEYEN COĞRAFYASI

Buhara'da geçirdiğimiz zamanın en hususî kısmı, bir gün boyunca takip ettiğimiz Yedi Pir güzergâhıydı. Abdülhâlık Gucdüvân'den başlayarak Ârif-i Rîvegîrî, Mahmud İncirfağnevî, Ali Râmitenî, Muhammed Bâbâ Semmâsî ve Seyyid Emir Külâl üzerinden Bahâeddin Nakşibend'e ulaşan Hacegân-Nakşibendî silsilesinin ziyaretgâhlarını takip ettik.

Şehircilik nazarından bu rota alışıldık haritalarda pek görünmez. Bir ulaşım ağı değil, bir ticaret aksı değil, idarî bölgeleme hiç değil. Fakat insanların asırlar boyunca yürüdüğü, ziyaret ettiği, hatırladığı ve mânâ yüklediği bir manevî coğrafya. Planlama haritalarında yolları, parselleri, yoğunlukları, donatı alanlarını ve merkezleri gösteririz; insanların hayatında bazı

mekânları diğerlerinden ayıran hatıra, hürmet, aidiyet ve manevî yönelişleri ise kolay kolay haritalayamayız. Oysa onlar da şehri inşa eder.

Şehrin fizikî bir coğrafyası olduğu kadar manevî bir coğrafyası da vardır.

Hacegân yolunun "halvet der encümen" gibi esasları da şehir ve medeniyet üzerine düşünürken ayrı bir kapı açıyor: cemiyetin içinde bulunurken iç dünyayı muhafaza edebilmek. Bunu doğrudan bir şehircilik reçetesine dönüştürmek zorlama olur, fakat iyi şehrin ferdiyet ile cemiyet arasında kurduğu muvazene bakımından mânidar. İnsanı ne kalabalığın içinde eriten ne de müşterek hayattan koparıp yalnızlaştıran bir şehir fikri... Medeniyet yalnız büyük eserler yapmakla kurulmaz; o eserleri meydana getirecek insan telakkisi, ahlâk ve hayat nizamı yoksa geriye biçim kalabilir.

Yedi Pir yolunun nihayetinde Bahâeddin Nakşibend Külliyesi'ne ulaşıyor. Coğrafi olarak tarihi Buhara'nın dışında, fakat şehrin manevî hafızasında merkezî bir yerde. Burada mimari ihtişamdan ziyade devam eden kullanım öne çıkıyor: insanlar yalnız tarihi bir anıt görmeye gelmiyor; dua ediyor, oturuyor, konuşuyor, ziyaret

ediyor. Korumanın belki de en yüksek mertebelerinden biri bu: bir mekânın yalnız malzemesiyle değil, mânâsıyla da yaşama-ya devam etmesi.

BOLO HAVUZ: YAŞAYAN CAMİ

Buhara'daki en sıcak hatıralarımdan biri Bolo Havuz Camii. Önündeki havuz, yüksek ve ince ahşap sütunlu eyvanı, zengin bezemeli tavanı ve gerideki kapalı ibadet mekânıyla, seyahat boyunca sıkça karşılaştığımız su-gölge-ahşap-ibadet terkiibini bir araya getiriyor. Fakat bizim hatıramızda mimariden ziyade insan kaldı. İkinci ve yatsı namazlarını burada kalabalık bir cemaatle kıldık. Namaz sonrasındaki kısa ve samimi sohbetler, bir şehri tanımanın bazen yapıların yaşını bilmekten daha sahih yolları olduğunu hatırlattı.

Bir caminin gerçek devamlılığı duvarlarının ayakta kalmasından ibaret değil. Orada hâlâ ezan okunuyor, insanlar abdest alıyor, yan yana saf tutuyor ve birbirleriyle selamlaşıyorsa mimari miras aynı zamanda yaşayan bir içtimâî müessese olmaya devam ediyor. Buhara'dan geriye, görünen yapılar kadar onları bir arada tutan görünmeyen bağların da şehri kurduğu hissi kaldı.



İRÂDE

Samerkand

İktidarın, Hafızanın ve İhyanın Şehri

Buhara'nın tedricî ve ağsal dokusundan sonra Samerkand, anıtsal ölçeği ve güçlü temsil iradesiyle karşılar. Registan, Şah-ı Zinde ve Bibi Hanım; ilim, hafıza ve iktidarın aynı şehirde farklı mekânsal düzenler üretebildiğini gösterir.



Registan Meydanı'nı çevreleyen üç medrese

Buhara'dan Semerkand'a geçince yalnız şehir değil, ölçek de değişiyor. Buhara insana sokak, havuz, çarşı ve mahalle üzerinden yaklaşırken Semerkand daha ilk karşılaşmada büyük jestlerle konuşuyor: dev piştaklar, yüksek kubbeler, geniş meydanlar, türbeler ve hükümdarlık yapıları. Buhara'nın tedricen teşekkül etmiş dokusuna karşılık Semerkand'da bazı dönemlerde şehre güçlü bir siyasî iradenin müdahalesi çok daha açık hissediliyor.

Fakat Semerkand'ı yalnız Timur'un şehri olarak okumak eksik olur. Afrâsiyâb'ın

kadim yerleşmesi, İslâmî Semerkand, Timurî başkent, Şeybânîler, hanlık ve emirlikler devri, 19. yüzyıldan itibaren Rus İmparatorluğu'nun yeni şehir parçası, Sovyet dönemi ve bağımsız Özbekistan'ın kendi tarihini yeniden yorumlama teşebbüsleri... Şehir, üst üste yazılmış bir palimpsest gibi.

REGİSTAN: MEYDANI BİNALAR MI KURAR, BOŞLUK MU?

Meydan, medreselerden arta kalan sahipsiz bir alan değil, onları birbirine bağlayan müşterek sahne. Şehir yalnız yapıların değil, yapıların arasında bıraktığımız boşlukların da sanatıdır.

Semerkand denildiğinde ilk hatıra şüphesiz Registan. Bugün üç büyük medresenin çevrelediği bu meydanın kuvveti, yalnız tek tek yapıların mimarisinden değil, birbirleriyle kurdukları münasebetten geliyor. Bir tarafta 15. yüzyılın Uluğ Bey Medresesi, karşısında 17. yüzyıl Şirdar, ortada Tilla Kori... Farklı devirlerde yapılmış üç eser bugün tek bir kentsel kompozisyon gibi okunuyor.

Semerkand'ın Taşlaşan Zaman Tüneli

Afrâsiyâb Dönemi ve Zerdüş/Hellenistik Miras

M.Ö. 6. Yüzyıl - M.S. 8. Yüzyıl

Sogdiana'nın kalbi olan kadim şehir, İskender'in fethinden Arap-İslam ordularının gelişine kadar ipek yolu ticaretinin ve multi-kültürel yapının odağı oldu.

Kusam b. Abbas'ın (ra) Semerkand'a Ulaşması

676 (M.S.)

Kusam b. Abbas'ın (ra) Semerkand seferine katıldığı ve burada şehid olduğu rivayet edilir; kabri zamanla Şah-ı Zinde'nin manevi çekirdeğine dönüşmüştür.

Moğol Tahrifatı ve Afrâsiyâb'ın Terki

1220

Cengiz Han ordularının kenti tahrip etmesiyle eski şehir (Afrâsiyâb) terk edildi, yerleşim güneye -bugünkü Semerkand merkezine- kaydı.

Timurî Rönesansı ve Başkent Semerkand

1370 - 1405

Timur kenti imparatorluk merkezi yaptı. Fethettiği coğrafyalardan getirdiği zanaatkarlarla Bibi Hanım, Gur-ı Emir ve önemli anıtsal yapıları inşa ettirdi.

Uluğ Bey'in İlim Odağı ve Registan'ın Doğuşu

1409 - 1449

Astronom ve hükümdar Uluğ Bey, Registan'daki ilk medreseyi ve rasathaneyi kurarak şehri İslam dünyasının ilim merkezine dönüştürdü.

Yalantuş Bahadır ve Registan'ın Tamamlanışı

17. Yüzyıl

Yalantuş Bahadır, Uluğ Bey Medresesi'nin karşısına Şirdar ve Tilla Kori medreselerini yaptırarak bugün bilinen üçlü Registan kompozisyonunu tamamladı.

Çarlık ve Sovyet Dönemi Müdahaleleri

1868 - 1991

1868 sonrası Rus idaresinde tarihi şehrin yanında Avrupaî planlı yeni kent kesimi gelişti.

Bağımsızlık ve İhya/Milli Hafıza Siyaseti

1991 - Günümüz

İmam Buhârî, İmam Mâtürîdî ve Kerimov türbeleri ekseninde tarihi mirasın milli kimlik doğrultusunda yeniden üretimi ve turizm odaklı kentsel dönüşüm süreci başladı.

Burada esasen üç büyük piştağın karşılıklı konuşmasıyla kurulmuş bir meydan var. Osmanlı şehrinde büyük külliye'nin hâkim unsuru çoğunlukla kubbeli camidir. Registan'da ise karşımızda üç medrese bulunuyor; üstelik bunlar tali eğitim yapıları değil, şehrin en kuvvetli kamusal cephesini teşkil ediyor. Mâverâünnehir'de medresenin şehir içindeki mevkiini belki hiçbir yer bu kadar açık anlatmıyor. Uluğ Bey'in hükümdarlığıyla birlikte astronomi ve matematikle meşgul bir âlim olması da mekânın temsil ettiği "ilim" fikrine ayrı bir mânâ katıyor.

Üç yapının arasında kalan boşluk da en az yapılar kadar mühim. Meydan, medreselerden arta kalan sahipsiz bir alan değil, onları birbirine bağlayan müşterek sahne. Şehir yalnız yapıların değil, yapıların arasında bıraktığımız boşlukların da sanatıdır.

BİR GÖSTERİ MEKÂNI OLARAK TARİHİ ŞEHİR

Semerkand'daki ilk gecemizde Registan'a yeniden gittik. Saat dokuz civarında ışık ve ses gösterisi başladı; gündüz tarihi eser olarak incelediğimiz üç medrese, gece dev bir sahnenin dekoruna dönüşüyordu. Cepheleer ışıqla renkten renge bürünüyor, müzik ve hareketli görüntüler yapıların yüzeyine yansıtılıyordu.

Bir ay kadar önce Singapur'da Gardens by the Bay'de Garden Rhapsody ve Marina Bay'de Spectra gösterilerini izlemiştik. Eyfel Kulesi'nden pek çok dünya şehrine kadar ışık, küresel turistik şehrin müşterek lisanlarından biri hâline geliyor.

Registan'da ise ışığın yüzeyi sıradan çağdaş bir bina değil, yüzlerce yıllık medreseler. Bu durumda şu soru kaçınılmaz: Tarihi şehir ne zaman yaşatılan bir miras, ne zaman seyredilen bir gösteriye dönüşür?

Bunun basit bir cevabı yok. Gösteri meydanı gece de canlı tutuyor, binlerce insanı bir araya getiriyor ve Semerkand'la kuvvetli bir görsel bağ kuruyor. Öte yandan tarihi yapı kendi hikâyesinden ayrılarak tüketilecek bir imgeye de dönüşebilir. Turizm çağında birçok şehir için mesele aynı: dünyaya açılırken kendisine mahsus olanı nasıl muhafaza edecek?

ŞAH-İ ZİNDE: BİR KABRİN ETRAFINDA TEŞEKKÜL EDEN ŞEHİR

Registan anıtsal meydanın kuvvetini gösteriyorsa, Şah-ı Zinde bambaşka bir mekânsal tecrübe sunuyor. Yükselen dar bir yolun iki tarafında sıralanan türbeler, kubbeler, piştaklar ve geçişler, büyük bir merkezî yapı olmaksızın küçük bir "türbeler şehri" meydana getiriyor. Bu teşekkülün manevî merkezinde Hz. Peygamber'in (sav) amcasının oğlu Kusam b. Abbas'ın (ra) hatırası bulunuyor. Mâverâünnehir'e kadar gelmiş bir sahabinin kabri, asırlar içinde güçlü bir ziyaretgâha dönüşüyor, hükümdarlar ve ileri gelenler de onun yakınında defnedilmeyi arzu ediyor.

Burada şehircilik bakımından beni asıl düşündüren, bir kişinin hatırasının nasıl mekânsal bir çekim merkezi meydana getirdiği idi. Bir ulaşım düğümü, iktisadî merkez veya hükümdarlık sarayı olmaksızın, ziyaret ve hürmet zaman içinde



Registan'da gece ışık gösterisi



Şah-ı Zinde'nin türbeler sokağı

Semer kand'da İki Farklı Kamusal Tecrübe

Registan ile Şah-ı Zinde, aynı şehir içinde kamusal mekânın iki farklı teşekkül biçimini gösterir. Biri açıklık, temsil ve müşterek görünürlük üzerinden; diğeri ise hareket, ziyaret ve manevî yoğunluk üzerinden tesir kurar.

Registan: Açıklık, Temsil ve Müşterek Sahne

Üç büyük medresenin karşılıklı yerleşimiyle teşekkül eden geniş meydan, ilim, iktidar ve kamusal temsilin aynı boşlukta bulunduğu anıtsal bir sahnedir. Mekânın kuvveti yalnız yapıların ihtişamından değil, aralarında bıraktıkları kontrollü boşluktan doğar. Bugün de kalabalık buluşmalara, törenlere ve gösterilere imkân veren bu açıklık, Registan'ın kentsel temsil gücünü sürdürür.

Şah-ı Zinde: Hareket, Ziyaret ve Manevî Yoğunluk

Şah-ı Zinde'de ise kamusal tecrübe geniş bir meydana değil, yükselen dar bir güzergâh boyunca ardı ardına sıralanan türbelerden doğar. Mekân, ziyaretçiyi bir noktada toplamak yerine adım adım ilerletir; her eşik, her kubbe ve her türbe yolculuğun başka bir durağına dönüşür. Buradaki tesir, kitlesel temsilden ziyade hafıza, ziyaret ve manevî yöneliş üzerinden kurulur.

Biri şehri bir meydana toplar, diğeri bir güzergâh boyunca derinleştirir. Registan ile Şah-ı Zinde arasındaki fark, Semer kand'da kamusal mekânın tek bir biçimde değil; ilim, temsil, hafıza ve ziyaret gibi farklı anlam katmanlarıyla teşekkül edebildiğini gösterir.

Bir şehrin yükselişi başka şehirlerin yıkımı ve insanların zorunlu hareketi üzerine kurulmuşsa, 'imar' kelimesi kendiliğinden masum kalmıyor.

mimariyi bir noktada topluyor. Buhara'daki Yedi Pir yolunda sezdiğimiz hakikat burada başka bir şekilde görünür oluyor: manevî çekim de mekân üretir.

Kusam b. Abbas'ı (ra) Medine'den binlerce kilometre uzaktaki bu coğrafyaya getiren saik üzerinde düşünmemek de zor. İlk Müslüman nesillerin hareketliliğini yalnız askerî fetih kavramıyla açıklamak kifayetsiz kalır; tebliğ, yeni coğrafyalara ulaşma arzusu ve dönemin siyasî şartları iç içedir. Bugün birkaç saatlik yolculukla ulaştığımız

coğrafyalar onlar için aylar süren yollar, dağlar, çöller ve bilinmezliklerdi. O hareketlilik yalnız siyasî haritaları değil, şehirlerin manevî coğrafyasını da değiştirdi.

TİMUR: YIKIM İLE İMAR ARASINDAKİ PARADOKS

Semer kand'ı Timur'dan bahsetmeden anlamak mümkün değil; fakat onu yalnız "büyük hükümdar" yahut yalnız "yıkıcı fatih" şeklinde tek bir sığara hapsetmek de tarihî gerilimi ortadan kaldırır. İran'dan

Horasan'a, Irak'tan Anadolu'ya kadar yürüttüğü seferler büyük tahribatlara ve insan kayıplarına yol açtı. Aynı Timur, Semer kand'ı dünyanın en ihtişamlı başkentlerinden biri hâline getirmek için muazzam bir imar faaliyetine girişti; fethettiği coğrafyalardan ustaları, sanatçıları ve zanaatçıları da başkentine taşıdı.

Bu durumda Semer kand'ın ihtişamının arkasında yalnız servet değil, başka şehirlerden çekilip getirilen maharet ve emek de bulunuyor. Şehrin güzelliğini temaşa



Bibi Hanım Camisinin dev piştaklarının şehir silüetine etkisi
(Hz. Hızır Camisinden bir fotoğraf)

Mimaride Kudretin Sınırı: Bibi Hanım Camii

Timur'un Hindistan seferinin ardından 1399-1405 yılları arasında inşa ettirdiği Bibi Hanım Camii, Timurlu anıtsallığının en güçlü örneklerinden biridir. Tarihî kaynaklar, Timur'un 1404'te Semerkand'a döndüğünde ana girişin ölçeğini yetersiz bularak yeniden ve daha büyük yapılmasını emrettiğini aktarır. Bu müdahale, yapının yalnız bir ibadet mekânı değil, hükümdarlık kudretinin de temsil vasıtası olarak tasarlandığını gösterir. Ancak devasa ölçek ve hızlı inşa süreci yapısal sorunları beraberinde getirmiş; sonraki depremler ve zaman içindeki tahribat yapıyı ağır biçimde etkilemiştir. Bibi Hanım, anıtsal ölçek arzusuyla malzeme ve strüktürün sınırları arasındaki gerilimin çarpıcı bir örneğidir.

Mimaride kudret yalnız büyüklük değil, nispeti ve tekniğin hududunu idrak edebilme maharetidir.

ederken bu bedeli unutmamak gerekir. Bir şehrin yükselişi başka şehirlerin yıkımı ve insanların zorunlu hareketi üzerine kurulmuşsa, "imar" kelimesi kendiliğinden masum kalmıyor. Yıkarak inşa etmek bazen aynı siyasî kudretin iki yüzü olabiliyor.

BİBİ HANIM: ÖLÇEK NE ZAMAN TAŞKINLIĞA DÖNÜŞÜR?

Bu gerilimin mimarideki en kuvvetli tezahürlerinden biri Bibi Hanım Camii. Yapıya yaklaştığınızda ilk his ölçüdür; daha doğrusu, ölçünün bilinçli biçimde zorlanması. Dev piştak, yüksek kubbeler ve büyük avlu, insan ölçeğinin çok üzerine çıkan bir temsil arzusunu açıkça ilan ediyor. Timur'un Hindistan seferinden sonra yaptırdığı cami sıradan bir cuma camisi değil, başkentin ve hükümdarlığın kudretini görünür kılacak bir nişane olacaktı.

Tarihî anlatılar Timur'un inşaatın ölçeğinden dahi tatmin olmadığını, ana girişin yeterince heybetli olmadığını kanaatiyle büyütülmesini istediğini aktarır. Burada piştak artık yalnız kapı değildir, bir iktidar beyanıdır. Fakat mimarinin fizik kanunları siyasî ihtirasa bütünüyle tabi olmaz. Yapı daha erken dönemlerden itibaren statik

sorunlar yaşamış, depremler ve zaman içindeki tahribatla ağır zarar görmüş, modern devirde geniş ölçüde rekonstrüksiyon geçirmiştir. Bu bakımdan Bibi Hanım bize anıtsallığın bir bedeli olabileceğini de gösterir: mimaride kudret yalnız büyüklük değil, nispeti ve tekniğin hududunu idrak edebilme maharetidir.

Hive Cuma Camii ile Bibi Hanım'ı zihnimde yan yana koyduğumda fark daha da çarpıcı hâle geliyor. Hive'de anıtsallık

ritimden doğuyordu, burada ölçekten. İki yapı da İslâm dünyasına ait, fakat insanla kurdukları münasebet ve kudreti ifade etme biçimleri son derece farklı.

GUR-I EMİR: KUDRETİN NİHAyetİNDE BİR KABRE VARMA SI

Timur'un şehrindeki bu okumayı Gur-ı Emir tamamlıyor. Başlangıçta torunu Muhammed Sultan için tasarlanan, daha sonra Timur'un ve hanedan mensuplarının



İmam Buhârî Külliyesi

defnedildiği türbe, imparatorluk kudretinin nihayetinde vardığı yeri hatırlatıyor. Seferler, saraylar, camiler, medreseler ve şehirler... Sonunda bir kabir. Hive saraylarında gördüğümüz fanilik hatlarını burada yeniden hatırlamamak mümkün değil. Medeniyetin eser bırakma iradesiyle insanın fani oluşu arasındaki gerilim, İslâm şehirlerinin mimarisinde tekrar tekrar karşımıza çıkıyor.

İMAM BUHÂRÎ: TARİHİ BUGÜNE TAŞIMAK

Semer kand'daki en farklı tecrübelerimizden biri, büyük ölçüde yenilenmiş İmam Buhârî Külliyesi oldu. Burada yalnız geçmişten intikal etmiş bir tarihî eseri ziyaret etmiyorduk; geçmişte yaşamış büyük bir âlimin hatırasını 21. yüzyılın mekânında yeniden görünür kılmak üzere kurulmuş geniş bir külliye vardı. İmam Buhârî'nin İslâm ilim tarihindeki mevkii tartışmasız; şehircilik ve mimarlık bakımından asıl soru ise bu büyüklükte bir şahsiyetin hatırasının bugünün mekânında nasıl temsil edileceğiydi.

Yeni külliye geleneksel Özbek mimarisinin revak, sütun, avlu ve bezeme repertuarı çağdaş malzeme ve tekniklerle yeniden yorumlanıyor. Burada taklit ile devamlılık arasındaki ince hudut üzerinde düşünmek gerekiyor. Gelenek aynı biçimin asırlar boyunca tekrarlanması mı, yoksa aynı esasların yeni malzeme, ihtiyaç ve tekniklerle yeniden yorumlanabilmesi mi? Kanaatimce külliyenin gerçek başarısı yalnız ne kadar "geleneksel görüldüğü"yle değil; zamanla yaşayan bir ilim, ziyaret ve müşterek hayat merkezi olup olamayacağıyla ölçülecek. Zira biçimlerin tekrar edilmesi tek başına medeniyet mekânı üretmeye kâfi değil, o biçimlerin içinde hayatın yeniden teşekkül etmesi gerekiyor.

İMAM MÂTÜRİDÎ: HAFIZAYI GÖRÜNÜR KILARKEN DOKUYU KAYBETMEK

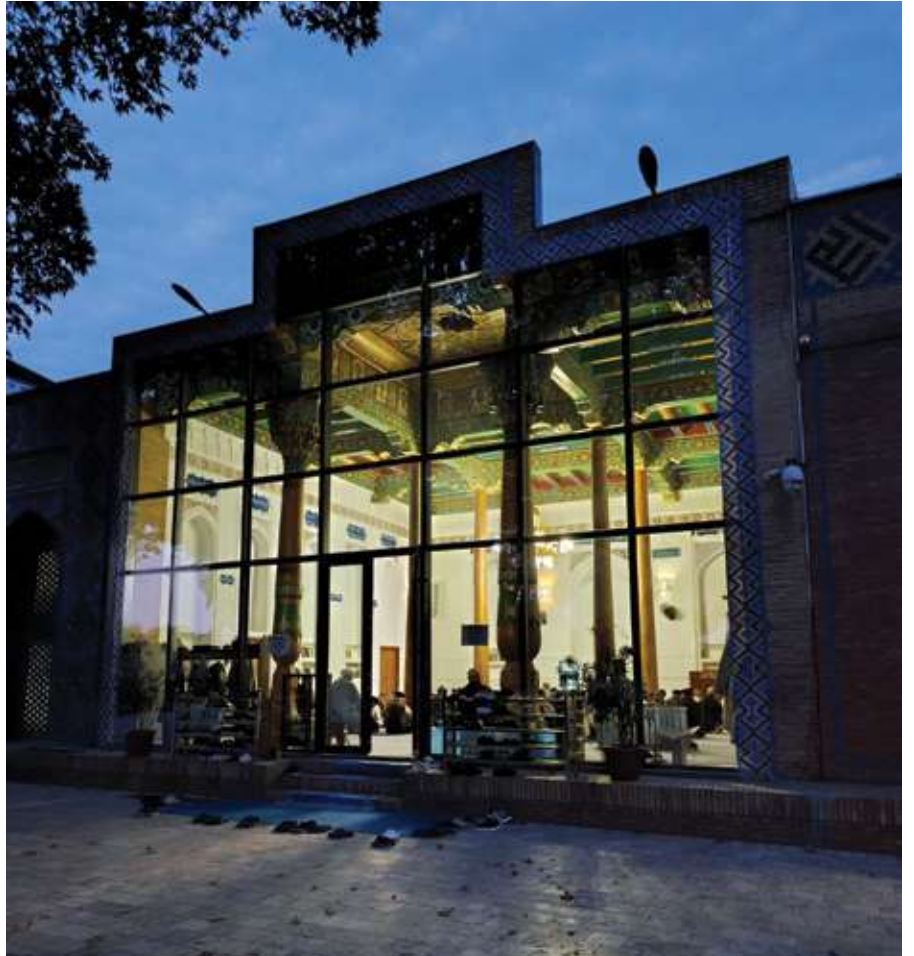
Semer kand'da şehircilik bakımından en fazla düşündüğüm yerlerden biri İmam Mâtürîdî'nin kabri ve çevresiydi. Ziyaretimiz sırasında bölgede yoğun bir inşaat ve çevre düzenleme faaliyeti sürüyor; geniş bir alan kamulaştırılıyor; mevcut yapılar kaldırılıyor ve burada bulunan tarihî mezarlarla büyük şahsiyetlerin daha görünür olacağı yeni bir ziyaret çevresi hazırlanıyordu.

Bir taraftan İmam Mâtürîdî gibi İslâm düşüncesinin en mühim isimlerinden

Bir eseri ihya etmek, yalnız onu büyütmek ve etrafını boşaltmak değildir; bazen asıl ihya, onu kendi tarihî münasebetleri içinde muhafaza edebilmektir.



İmam Mâtürîdî Türbesi çevresinde devam eden çevre düzenleme, inşaat ve kamulaştırma çalışmaları



Ubeydullah Ahrar Külliyesi'nde sabah namazı sonrası avlu ve cami



Hz. Hızır Camii avlusu ve İslam Kerimov türbesi



Şah-ı Zinde - Registan - Gur-i Emir aksı (Harita: Google Earth Pro; Görselleştirme: ChatGPT 5.6)

birinin kabrinin bilinmesi, ziyaret edilebilmesi ve çevresindeki tarihî mezarların korunması anlaşılır ve kıymetli. Diğer taraftan bunu yapabilmek için yaşayan şehir dokusunu ne kadar ortadan kaldırılabiriz? Bir tarihî şahsiyeti görünür hâle getirirken, onun yaşadığı şehrin ölçeğini ve hafızasını

görünmez hâle getirme ihtimali var mı?

Bir eseri ihya etmek, yalnız onu büyütmek ve etrafını boşaltmak değildir, bazen asıl ihya, onu kendi tarihî münasebetleri içinde muhafaza edebilmektir.

Dünyanın birçok yerinde anıtların çevresini “açmak” adına yapılar yıkıldı ve büyük

boşluklar üretildi. Neticede anıt daha görünür oldu ama onu tarih içinde anlamlı kılan çevre kayboldu. İmam Mâtürîdî çevresindeki dönüşüm tamamlandığında ortaya çıkacak neticeyi yeniden görmek isterim. Burası, çağdaş Özbekistan’ın kendi İslâmî geçmişiyle nasıl münasebet kurduğunu anlamak bakımından önemli bir laboratuvar.

UBEYDULLAH AHRAR: ŞEHİRİN İÇİNDE BAŞKA BİR ÖLÇEK

Semerkand’da sabah namazı için Ubeydullah Ahrar’ın türbesinin bulunduğu külliye gittik. Registan’ın devasa piştaklarından, Bibi Hanım’ın ölçeğinden ve İmam Buhârî Külliyesi’nin yeni ihtişamından sonra buradaki ilk his sükunetti. Kentsel doku içinde daha mütevazı ölçekte, bakımlı, yaşayan bir cami ve türbe... Sabah namazında cami doluydu, imam Meryem Suresi’nden okudu. Bazen bir yapının ne kadar “yaşadığını” anlamak için restorasyon raporlarından önce sabah namazındaki saflara bakmak gerekiyor.

Caminin giriş cephesindeki camlı düzenleme ile avlu arasında kurulan görsel rabıta da dikkat çekiciydi. Geleneksel bir külliye yapılmış çağdaş bir müdahale olmasına rağmen, iç ile dış arasındaki münasebeti koparmıyor. Ubeydullah Ahrar’ın burada bulunması, Buhara’da takip ettiğimiz Hacegân-Nakşibendî yolunu Semerkand’a bağlıyor; şehirler arasındaki irtibatın yalnız hükümdarlar, ticaret ve mimari biçimlerle değil, ilim ve tasavvuf silsileleriyle de kurulduğunu gösteriyor.

HZ. HIZIR, KERİMOV VE YAKIN TARİHİN KATMANI

Şah-ı Zinde’den Bibi Hanım istikametine ilerlerken yüksekçe bir noktada Hz. Hızır Camii bulunuyor. Buradan eski Afrâsiyâb sahası ile yeni Semerkand arasında bir eşikte olduğunuzu daha iyi hissediyorsunuz. Bugün mekâna yakın tarihten başka bir tabaka da eklenmiş durumda: bağımsız Özbekistan’ın ilk cumhurbaşkanı İslam Kerimov’un türbesi caminin hemen yakınında.

Burada uzun bir siyasî muhasebeye girmek gerekmiyor, fakat mekânsal komşuluğun kendisi dikkat çekici. Sovyet sonrası dönemde dinî alanı sıkı biçimde kontrol eden ve dindar kesimlere yönelik sert uygulamalarıyla da anılan bir devlet



IICAS hizmet binası önünde Direktör Evren Rutbil ile bir hatıra fotoğrafı

Kentsel Miras ve Kriz: CURE ve IICAS Perspektifi

IICAS ziyareti, CURE'un kriz kavramını tarihî çevreler bağlamında düşünmek için de bir zemin sundu. CURE açısından kriz, sadece savaş veya deprem gibi ani yıkımlarla gerçekleşmez. Kentleşme sürecinin kendisi de bazen kriz/ler üretir.

adamının, vefatından sonra tarihî bir caminin yanı başında anıtsal bir türbeye defnedilmesi, modern devletin dinî hafızayla kurduğu münasebetin çelişkilerini görünür kılıyor. Aynı devlet geleneği, İmam Buhârî, İmam Mâtürîdî ve Bahâeddin Nakşibend gibi şahsiyetleri millî hafızanın mühim unsurları olarak yeniden öne çıkarabiliyor. Bu gerilim, bağımsızlık sonrası Özbekistan'ın şehirlerinde de okunuyor.

BİR AKS ÜZERİNDE SEMERKAND

Şah-ı Zinde - Hz. Hızır - Siyob Pazarı - Bibi Hanım - Registan hattı, Semerkand'ın muhtelif katmanlarını kısa bir mesafe içinde ardı ardına görme imkânı veriyor. Başlangıçta sahabe hafızası ve türbeler, ardından eski şehrin eşiği, sonra yaşayan pazar, Timur'un büyük camisi ve nihayet medreselerin kurduğu Registan. Maneviyat, gündelik hayat, ticaret, iktidar ve ilim, aynı şehir dokusu içinde birbirine değişiyor.

Siyob Pazarı'nın Bibi Hanım'ın hemen yanı başında bugün de canlı biçimde devam etmesi özellikle kıymetli. Büyük anıtın dibinde gündelik hayat sürüyor. Belki tarihî şehirlerin yaşayabilmesinin sırlarından biri, anıtın yanında hayatın devam etmesine müsaade etmek.

SEMERKAND'DA BUGÜNE TEMAS

Semerkand ziyaretimiz yalnız tarihî eserleri görmekten ibaret değildi. International Institute for Central Asian Studies (IICAS) Direktörü Evren Rutbil ile bir araya gelerek Orta Asya'nın tarihî şehirleri, kültürel miras ve muhtemel akademik iş birlikleri üzerine konuştuk, İTÜ Mimarlık Fakültesinin ve İTÜ Kriz Sonrası Kentsel

Yeniden İnşa Merkezi'nin (CURE) çalışmalarından bahsettik. Bu görüşme, seyahat boyunca zihnimizde dolaşan bir meseleyi bugüne taşıdı: kriz yalnız savaş yahut ani afet değildir. Tarihî çevrenin tedricen kaybı, kontrolsüz kentleşme ve uzun vadede şehirlerin kırılganlığını artıran dönüşümler de birikerek kriz üretebilir.

Semerkand asırlardır yıkılıyor, kuruluyor ve yeniden yorumlanıyor. Bugün karşı karşıya olduğu mesele Moğol istilası veya bir Timur seferi değil; turizm, büyük ölçekli yatırımlar, ulaşım, yeni yapılaşma, mirasın yeniden üretimi ve yaşayan şehir ile temsil edilen tarih arasındaki muvazene. Kriz bazen birkaç saniyede meydana gelir, bazen yıllar boyunca sessizce birikir.

Semerkand'dan ayrılırken zihnimde kalan esas kavram "irade" oldu: şehri değiştirebilecek siyasî irade, ilmi asırlar ötesine taşıyan irade, bir sahibinin hatırasını yaşatan toplumsal irade, çağdaş devletin geçmişini yeniden görünür kılma iradesi. Fakat irade tek başına kifayet etmiyor. Büyük bir irade muazzam eserler meydana getirebilir, aynı irade büyük tahribatlara da yol açabilir. Bu gerilim, seyahatimizin son durağı Taşkent'te modern şehircilik diliyle yeniden karşımıza çıkacaktı.

YENİDEN İNŞA

Taşkent

Kırılma, Modernleşme ve Yeni Şehir Arayışı

1966 depreminde geleneksel dokunun önemli bir bölümü ağır hasar gördü; ardından Taşkent Sovyet modernizminin önemli laboratuvarlarından birine dönüştü. Bugün ise Yeni Taşkent ve Smart City projeleri şehrin yeni büyüme gündemini oluşturuyor.

Semerkand'dan Taşkent'e geçtiğimizde seyahatin ritmi değişti. Hive, Buhara ve Semerkand'da günün büyük kısmını sokakta, yapılarda, avlularda ve meydanlarda geçirmiştik. Taşkent'te ise zamanımızın önemli bölümü İTÜ CURE adına yaptığımız görüşmelere ayrıldı. Özbekistan İktisadiyat Asembliyası'nda başlayan toplantımız beklediğimizden uzun sürdü, dolaşısıyla şehri diğer üç şehir kadar dolaşma ve adım adım okuma imkânımız olmadı. Bu yüzden Taşkent hakkında hüküm vermekten ziyade, gördüklerimizi şehrin tarihi ve şehircilik arka planı içinde anlamlandırmak daha doğru.

Bununla birlikte Taşkent, seyahatin bütününe tamamlayan çok güçlü bir soru bırakıyor: Bir şehir büyük bir kırılmadan sonra nasıl yeniden kurulur?

1966: KIRILMANIN ARDINDAN MODERN ŞEHİR

Taşkent elbette 1966 depremiyle başlamıyor. Eski mahallaları, avlulu meskenleri, çarşıları, camileri ve medreseleri, 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren gelişen Rus şehri, Sovyet başkentinin yeni merkezi ve bağımsızlık sonrasının temsil mekânları birbirinin üzerine eklenmiş durumda. Fakat bugünkü

şehrin en büyük kırılmalarından biri 26 Nisan 1966 depremi. Deprem, özellikle geleneksel yapı stokunda büyük tahribat meydana getirdi ve yüz binlerce insanın barınma düzenini etkiledi. Ardından gelen yeniden inşa ise Taşkent'i Sovyet modernist şehircilik anlayışının en önemli laboratuvarlarından birine dönüştürdü.

Geniş akslar, büyük yapı adaları, yeni sosyal konut alanları, kamusal yapılar, yeşil sistem ve depreme dayanıklı mühendislik çözümleri, şehrin ölçeğini ve silüetini köklü biçimde değiştirdi. Bu modernist mirasın bir kısmının 2026'da UNESCO Dünya Mirası Listesi'ne alınması da önemli: mesele artık yalnız Sovyet döneminin "yeni" mimarisini değil, o dönemin kendisini de

korunması gereken bir tarihi katman olarak görmeye başladığımızı gösteriyor.

Afet sonrası yeniden inşa açısından burada tanıdık bir gerilim var. Afet, bir taraftan büyük bir insanî ve fizikî kayıp meydana getiriyor, diğer taraftan normal zamanlarda kolay kolay açılmayacak ölçekte bir müdahale sahası doğuruyor. Dar sokaklar açılıyor, yeni yollar geçiriliyor, parseller yeniden tertip ediliyor, toplu konut alanları ve yeni merkezler kuruluyor. Şehir daha sıhhi, daha dayanıklı ve altyapı bakımından daha kuvvetli hâle gelebiliyor, fakat aynı anda eski şehrin hafızasından, komşuluk ilişkilerinden ve yerleşik mekânsal alışkanlıklarından ne kadarının kaybolduğu sorusu da ortaya çıkıyor.

1966 Taşkent Depremi ve Sovyet Modernizminin UNESCO Unvanı

26 Nisan 1966 sabahı 5.2 büyüklüğündeki deprem Taşkent'i vurduğunda, ölçeği küçük görüne de odaktaki sığlık nedeniyle geleneksel kerpiç yapı stocku çöktü; 300 binden fazla insan evsiz kaldı. Tüm SSCB'den getirilen mimar ve işçilerle şehir, "Sovyet Halklarının Kardeşliği" mitosuyla devasa geniş bulvarlar, depreme dayanıklı betonarme paneller ve anıtsal kamu binalarıyla yeniden planlandı. 2026'da 1960'lardan 1990'ların başına uzanan seçili on modernist yapı ve kompleksin Dünya Mirası Listesi'ne alınması, yakın dönem modernist mirasın korunmasına verilen önemin güçlü bir örneğidir.



Hazret-i İmam Külliyesi

Yeniden inşa, sıfırdan inşa değildir; karşımızda boş bir arazi değil, hafızası, mülkiyeti, komşuluğu ve yaraları olan bir şehir vardır.

Bu soru bugün CURE'un çalışma sahasında yer alan pek çok coğrafya için de geçerli. Afet veya savaş sonrasında yalnız

Afet sonrası yeniden inşa sıfırdan inşa değildir; karşımızda boş bir arazi değil, hafızası, mülkiyeti, komşuluğu ve yaraları olan bir şehir vardır.

daha sağlam ve düzenli bir şehir kurmak kâfi mi, yoksa kırılan şehrin sosyal rabitalarını, mülkiyet düzenini ve hafızasını da mümkün olduğu kadar muhafaza etmek mi gerekir? Taşkent'in 1966 sonrası tecrübesi bu bakımdan ayrıca dönüp çalışılmayı hak ediyor.

HAZRET-İ İMAM: GELENEĞİ YENİDEN ÜRETMEK

Taşkent'te gezebildiğimiz esas tarihî çevre Hazret-i İmam Külliyesi oldu. Kaffâl eş-Şâşî'nin kabri etrafında zaman içinde teşekkül eden bu merkez, farklı devirlerin yapılarını bir araya getiriyor: eski türbe ve medreselerle, 2007'de geleneksel Özbek mimarisinin diliyle inşa edilen büyük Hazret-i İmam Camii aynı külliye içinde yan yana.



Ahşap Sütunun Sanatı: Hive'den Hazret-i İmam'a Yaşayan Hafıza

Orta Asya İslam mimarisinde ahşap sütun (oyma direk) ve açık eyvan mimarisi, iklimsel bir zorunluluk olmanın ötesinde sosyo-mekânsal bir imzadır. Hive Cuma Camii'nde bazıları 9.-12. yüzyıllara tarihlenen ahşap sütunlardan 2007 yılında tamamlanan Hazret-i İmam Camii'ne uzanan bu gelenek, taşın değil zanaatın sürekliliğini temsil eder. Mesele yalnız eski ahşabı korumak değil; malzeme bilgisini, oyma tekniğini ve usta-çırak aktarımını yaşatmaktır.

Bütün eski yapıları kusursuz biçimde koruyup onları yapabilecek ustaları kaybedersek, medeniyetin yalnız mahsulünü muhafaza etmiş oluruz; o mahsulü yeniden üretebilen bilgiyi değil.

Bizim dikkatimizi özellikle caminin yazlık kısmındaki ahşap sütunlar ve zemin işçiliği çekti. Hive Cuma Camii'nden Bolo Havuz'a, saray eyvanlarından mahalle camilerine kadar yol boyunca tekrar tekrar gördüğümüz ahşap sütun, Taşkent'te 21. yüzyılda yeniden üretiliyordu. Farklı bölgelerden ustaların bir araya geldiği bu yeni yapıda, "geleneği korumak" meselesinin başka bir vechesi görünür oluyor: Bir geleneği yalnız eski eserleri restore ederek mi muhafaza ederiz, yoksa o eserleri üretebilen zanaatı yaşatarak mı?

Bütün eski yapıları kusursuz biçimde

koruyup onları yapabilecek ustaları kaybedersek, medeniyetin yalnız mahsulünü muhafaza etmiş oluruz; o mahsulü yeniden üretebilen bilgiyi ve mahareti değil. Hazret-i İmam'ın en öğretici tarafı, eski ile yenin aynı yerde yan yana durması ve geleneğin yalnız nesne olarak değil, beceri olarak da intikal edebilmesi.

PILAV KAZANININ VE CAMİNİN ETRAFINDA GÜNDELİK HAYAT

Taşkent'te günün bir durağı bizi anıtsal mimariden gündelik hayata götürdü: Besh Qozon'da pilav ve samsa yedik.

Dev kazanlarda hazırlanan Özbek pilavı, burada mutfakın arka odasında saklanan bir faaliyet değil; insanların gördüğü, kokusunu duyduğu ve etrafında toplandığı müşterek bir merasim gibi.

Akşam ve yatsı namazlarını ise Ko'kcha taraflarında Şeyh Zeyniddin Camisi'nde kıldık. İmam En'âm Suresi'nden okudu: "Şüphesiz ben, hakka yönelen birisi olarak yüzümü, gökleri ve yeri yoktan yaratana döndürdüm. Ben, Allah'a ortak koşanlardan değilim." (En'âm, 79) Seyahat hafızasında bazen yapının ölçüsünden ve tarihinden daha kalıcı olan küçük şeyler var: bir caminin loşluğu, yanınızdaki cemaat, imanın okuduğu süre, bilmediğiniz bir şehirde tanıdık bir safın içine girmek. Taşkent'te aklımda kalan hatıralardan biri de bu oldu.

BÜYÜK PROJELER VE ŞEHRİN ÖLÇÜSÜ

Taşkent ziyaretimizin önemli kısmını Özbekistan İktisadiyat Asemblıyası ile gerçekleştirdiğimiz uzun görüşme oluşturdu. Şehircilik, mimarlık, akademik iş birliği ve muhtemel müşterek çalışmalar üzerine konuşurken, ülkede hazırlanan ve yürütülen büyük ölçekli projeler de geniş yer tuttu. Başta Yeni Taşkent olmak üzere "Smart City" yaklaşımları, yeni gelişme alanları, ulaşım ve altyapı yatırımları, büyük konut ve karma kullanım projeleri ardı ardına zikredildi. Hızla büyüyen Özbekistan'ın şehirleşmeyi yalnız mevcut kentlerin kontrolsüz genişlemesine bırakmak istemediği; yeni merkezler ve yeni şehir parçaları kurma iradesinin son derece kuvvetli olduğu anlaşıyordu.

Yeni Taşkent bu iradenin en görünür örneği. Yaklaşık 20 bin hektarlık alanda, uzun vadede 2 milyon nüfusu barındırması hedeflenen yeni şehir için metro bağlantıları, yaya ve bisiklet ağları, yeşil sistem,

Yıkımdan Geleceğe Taşkent

19. Yüzyıl İkinci Yarısı

19. Yüzyıl İkinci Yarısı
Rus İmparatorluğu'nun Taşkent'i ele geçirmesiyle geleneksel Özbek mahallaları ile geniş caddeli Avrupa tarzı "Rus Şehri" yan yana gelişmeye başladı.

Sovyet Başkenti Statüsü

1930
Taşkent, Özbekistan SSC'nin başkenti ilan edildi. İdeolojik mimari yapılar ve ilk toplu konut hamleleri şehre girmeye başladı.

Büyük Kırılma: 26 Nisan Depremi

26 Nisan 1966
5.2 büyüklüğündeki sarsıntı geleneksel konut dokusunu yıktı. Tüm Sovyet cumhuriyetlerinden gelen yardımlarla şehir modernizm laboratuvarı olarak baştan inşa edildi.

Bağımsızlık ve Temsil Mekanları

1991
Özbekistan'ın bağımsızlığı sonrası Sovyet simgeleri kaldırılarak millî kimliği öne çıkaran anıtsal meydanlar ve kamu binaları inşa edildi.

Hazreti İmam Külliyesinde Yeni Düzenlemeler

2007
Geleneksel ahşap zanaatını ve Özbek mimarlık dilini yaşatan yeni külliye yapısı tamamlanarak geçmiş ile gelecek arasında bağ kuruldu.

UNESCO Takdiri ve 'Yeni Taşkent' Vizyonu

2026
1966 sonrası inşa edilen Sovyet Modernisti miras UNESCO Dünya Mirası Listesi'ne önerildi. Aynı dönemde 20 bin hektarlık "Yeni Taşkent" mega akıllı şehir projesi başlatıldı.

enerji verimliliği, üniversite kampüsleri ve “15 dakikalık şehir” gibi çağdaş şehircilik ilkeleri öne çıkarılıyor. Mevcut Taşkent’in nüfus ve altyapı baskısı düşünüldüğünde, büyümeyi başıboş bırakmak yerine ulaşımı, altyapıyı, konutu ve kamusal hizmetleri baştan birlikte düşünme iradesi elbette kıymetli bir imkân.

Fakat birkaç gün boyunca Hive, Buhara ve Semerkand’ı dolaştıktan sonra, büyük projelerden söz edilen o toplantıda zihnimde başka bir soru da belirdi: Bir şehri baştan kurmakla bir şehrin teşekkül etmesi aynı şey midir? Buhara’yı Buhara yapan yalnız medreseleri ve Kalan Minaresi değildi; havuzların etrafında oluşan hayat, mahalleler, vakıflar, ticaret, ilim ve asırlar boyunca biriken hafıza bunların arasını dolduruyordu. Hive’nin kıymeti de anıtlarla meskenlerin, sokaklarla avluların aynı bünyenin parçaları hâlinde kalabilmesinden geliyordu. Bunların hiçbirisi bir master planın teslim tarihinde tamamlanabilecek şeyler değil.

Bir havaalanı veya köprü “tamamlanabilir”, şehir ise bu anlamda hiçbir zaman tamamlanmaz.

İnsanların oraya yerleşmesi, bazı sokakları benimsemesi, küçük ticaretin kendine yer bulması, çocukların aynı mahallede büyümesi, komşulukların kurulması ve müşterek hafızanın birikmesi zaman ister. Plancı bunların cereyan edeceği zemini hazırlayabilir, fakat hayatın tamamını önceden tasarlayamaz. Mega projelerin en büyük riski, bu mütevazılığı kaybetmeleri ve şehri büyük bir mimari-mühendislik nesnesi gibi telakki etmeleridir.

Dünyadaki yeni şehir teşebbüsleri bu konuda ihtiyatlı olmamız gerektiğini gösteriyor. Suudi Arabistan’daki NEOM ve The Line, teknolojiyle sermayenin şehir tahayyülünü ne kadar büyütebileceğinin çarpıcı bir örneği oldu; fakat başlangıçta 170 kilometrelik olağanüstü bir ölçekle sunulan vizyonun maliyet ve uygulanabilirlik karşısında yeniden gözden geçirilmesi, siyasî iradenin şehrin bütün şartlarını tek başına tayin edemeyeceğini hatırlattı. Abu Dabi’deki Masdar City de ilk dönemdeki kusursuz “sıfır karbonlu şehir” iddiasını bütünüyle gerçekleştiremedi; buna karşılık hedeflerini tashih ederek sürdürülebilir yapı, enerji ve düşük karbon teknolojilerinin denendiği kıymetli bir laboratuvara dönüşebildi.



Özbekistan İktisadiyat Asemblıyası ile görüşmemizden bir kare

Medeniyet, sahip olunan kudreti sonuna kadar kullanmak değil, gerektiğinde ona hudut koyabilme kabiliyetidir.

Songdo tecrübesi ise “akıllı şehir” fikrinin sensör ve dijital sistemlerden ibaret olmadığını; toplu taşımaya erişim, karma kullanım, yürüme, bisiklet ve kamusal alanla birleştiğinde anlam kazandığını gösteriyor.

Buradan çıkarılacak netice, büyük projelerin yanlış olduğu değildir. Mesele büyüklüğün kendi başına meziyet sayılmaması ve şehir kurmanın mühendislik kudretine indirgenmemesidir. Semerkand’da Bibi Hanım’ın önünde ölçek üzerine düşündüğüm mesele, Taşkent’te 21. yüzyılın diliyle yeniden karşımıza çıktı. Timur’un mimarisi kudreti devasa piştak ve kubbe üzerinden görünür kılarken, bugün kudret projenin kaç hektar olduğu, kaç milyar dolarlık yatırım çektiği, kaç milyon kişiyi barındıracağı ve ne kadar “akıllı” teknoloji kullandığı üzerinden de ifade ediliyor. Lisan değişmiş olabilir; ölçeğin iktidarı temsil etme kabiliyeti devam ediyor.

Tam da bu sebeple medeniyet perspektifinden başka bir ölçüye ihtiyacımız var. Medeniyet, sahip olunan kudreti sonuna kadar kullanmak değil, gerektiğinde ona hudut koyabilme kabiliyeti de olmalı. Her yapılabilir olanın yapılması gerekmez, her büyük yatırım şehir hayatını aynı ölçüde zenginleştirmez. Bazen küçük bir mahalle meydanı, bir havuzun etrafındaki gölge

veya yürüyerek ulaşılabilen bir çarşı, devasa bir prestij projesinden daha fazla şehir üretebilir.

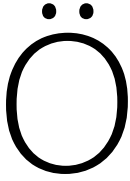
Yeni Taşkent’i de bu gözle değerlendirmek gerekir. Asıl mesele kaç milyon kişinin yaşayacağı yahut kaç yüksek yapının inşa edileceği değil; farklı gelir gruplarının aynı şehirde yer bulup bulamayacağı, konutun yalnız bir yatırım nesnesine dönüşüp dönüşmeyeceği, küçük esnafın ve mahalli iktisadın yaşayabileceği mekânların bulunup bulunmayacağı, okulun, caminin, pazarın ve parkın gündelik hayat içinde nasıl yerleşeceği, insanların uzun mesafelere mahkûm olup olmayacağı ve hepsinden önemli mahallenin nasıl teşekkül edeceğidir.

“Akıllı şehir” de bu noktada yeniden tarif edilmeli. Şehre ne kadar sensör yerleştirildiğinden ziyade, bütün bu teknolojinin insanın zamanını, enerjisini ve lüzumsuz mesafelerini azaltıp azaltmadığı; müşterek hayatı ve erişilebilirliği kuvvetlendirip kuvvetlendirmediği önemlidir. Teknoloji şehre hizmet ediyorsa kıymetlidir; şehir teknolojiyi sergilemek için kuruluyorsa vasıta ile maksat yer değiştirmiş demektir. Büyük yeni şehirler baştan sona bitmiş bir eser olarak değil, safha safha gelişecek, tecrübeden öğrenecek, gerektiğinde tashih edilecek ve insanlara kendi şehirlerini kurabilecekleri bir hareket sahası bırakacak açık sistemler olarak tasavvur edilmelidir.

UMRAN

Dört Şehirden Bir Medeniyet Okuması

Hive'nin çöl surlarından Semerkand'ın anıtsal iradesine, Buhara'nın suyla örülü içtimai ağından Taşkent'in kırılmalarla şekillenen modern çehresine... Taşın, toprağın ve yapının sınırlarını aşarak insan, mekân ve mânâ arasında kurulan o büyük terkîp: Orta Asya'dan Anadolu'ya şehir kurma usulü ve medeniyetin görünmeyen altyapısı.



Özbekistan'dan dönerken zihnimde tek tek yapılardan ziyade şehir ile medeniyet arasındaki münasebete dair birtakım izler kaldı.

Hive'nin surları içinde muhafaza edilen doku, Buhara'nın su, ilim, ticaret ve tasavvufu örülmüş ağı, Semerkand'ın anıtsal iradesi ve Taşkent'in kırılma ile yeniden inşa tecrübesi yan yana geldiğinde, geçmişe duyulan romantik bir hayranlıktan daha fazlası ortaya çıkıyor. Bu şehirler bugünün şehirlerini düşünmek için de birer ayna hâline geliyor.

YAPIDAN ŞEHRE, ŞEHİRDEN MEDENİYETE

Mesleğimiz gereği şehri fizikî unsurları üzerinden okuyoruz: yollar, parseller, yapı adaları, yoğunluklar, merkezler, açık

alanlar ve ulaşım ağları. Bunların hepsi gerekli. Fakat Buhara'daki bir havuzun etrafında teşekkül eden hayatı yalnız arazi kullanım haritası anlatamaz. Şah-ı Zinde'nin neden o şekilde oluştuğunu bir ulaşım modeli açıklayamaz. Yedi Pir güzergâhını merkezler kademelenmesinde göremeyiz. Bir medresenin neden hükümdar için saray kadar kuvvetli bir temsil vasıtasına dönüşebildiğini yalnız yapı tipolojisi üzerinden anlayamayız.

Şehir aynı zamanda hafıza, inanç, iktisat, ilim, ahlâk, siyaset, mülkiyet, vakıf, zanaat ve müşterek hayatın mekânda aldığı şekildir. Medeniyet ise yalnız büyük eserler inşa etmek değil, o eserleri meydana getiren insan ve hayat nizamını kurabilme ve sürdürülebile kabiliyetidir. Buhara'dan geriye yalnız Kalan Minaresi kalmış olsaydı

elimizde güzel bir tarihî kule olurdu, fakat Buhara olmazdı. Registan'ın medreseleri ayakta olup onların ilim, ticaret ve şehir hayatıyla bütün tarihî rabitaları silinseydi fevkalâde bir sahne kalabilirdi, fakat aynı ölçüde bir şehir kalmazdı.

Anıt yapmak başka, şehir kurmak başka; şehir kurmak da medeniyet inşa etmekten daha dar bir iştir.

ORTA ASYA'DAN ANADOLU'YA: İZLER, KIRILMALAR VE YENİDEN TERKİP

Seyahat boyunca en fazla düşündüğüm meselelerden biri, gördüğümüz mimari ve şehircilik unsurlarının Anadolu ve Osmanlı dünyasıyla münasebetiydi. Minare, bunun en kolay okunan örneği. Buhara ve Hive'nin geniş çaplı, kütesel ve çoğu zaman camiden müstakil kulelerinden

Anıt yapmak başka, şehir kurmak başka; şehir kurmak da medeniyet inşa etmekten daha dar bir iştir.

Orta Asya-İran-Anadolu Hattından Osmanlı Şehirciliğine

Mâverâünnehir Anıtsal Doku Çağı

9. - 15. Yüzyıl

Sâmânî ve Timurî rönesansı ile piştak, kütesel minare ve dev avlulu medrese tipolojisi gelişti. Şehir, vakıf yapı grubunun ağ şeklinde örülmesiyle biçimlendi.

Anadolu Selçuklu Geçiş ve Terkip Evresi

12. - 13. Yüzyıl

Doğu mirası taş işçiliği ve taçkapı formuyla buluştu. Ahşap direkli camiler ve kapalı medrese modelleri Anadolu topografyasına uyarlandı.

Erken Osmanlı ve Külliye Nüvesi

14. - 15. Yüzyıl (Bursa - Edirne)

Ticaret ağları (Hanlar Bölgesi) korunurken, külliye kavramı gelişti. Külliyeler doğrudan yeni bir kentsel mahallenin kurucu nüvesi hâline geldi.

Klasik Osmanlı Şehir Mimarisi

16. Yüzyıl (İstanbul)

Mimar Sinan çağı ile merkezi kubbe egemenliği, topografyayı işleyen kentsel silüet, külliye sistemi ve ince minare formlarıyla zirveye ulaştı.

Anadolu Selçuklu minarelerine; oradan Bursa, Edirne ve İstanbul'un giderek incelen, şerefeleri çoğalan, sivri külahıyla yükselen ve cami külesine eklenen minarelerine kadar bir biçimsel değişim takip edilebilir. Asıl değişen yalnız yükseklik değil; yükseklik/çap oranı, camiyle kurulan münasebet, şerefenin rolü ve minarenin şehir silüetindeki mânâsıdır.

Benzer bir değişim medresede görülüyor. Mâverâünnehir'de medrese şehrin en görünür kamusal yapılarından biri; Registan'da meydanın üç cephesini medreseler kuruyor. Anadolu'ya ve bilhassa klasik Osmanlı'ya geldiğimizde medrese kaybolmuyor, bilakis eğitim sistemi genişliyor, fakat mimari hiyerarşide çoğu zaman caminin gerisine çekiliyor. Süleymaniye'de medreseler devasa bir eğitim sisteminin parçası, fakat şehrin gördüğü esas imge kubbeli cami.

Anıtsal girişte de benzer bir dönüşüm var. Mâverâünnehir'in dev piştaki Anadolu Selçuklu mimarisinde taçkapı üzerinden güçlü biçimde yaşamaya devam ederken, klasik Osmanlı'da anıtsallığın ağırlık merkezi giriş cephesinden merkezî kubbeli kütleyle kayıyor. Çok kaba bir ifadeyle Mâverâünnehir'de piştak + avlu + medrese + müstakil minare; Anadolu Selçuklu'da taçkapı + avlu + taş/tuğla terkibi; klasik Osmanlı'da kubbe + külliye + ince minare + topografik silüet öne çıkıyor.

Fakat bu yolu düz bir ok hâlinde çizmek yanıltıcı olur. Mâverâünnehir-Horasan-İran-Anadolu hattına Suriye ve Mısır'ın İslâmî şehir tecrübesi, Anadolu'nun mahallî gelenekleri ve Bizans'ın kubbeli mekân birikimi de ekleniyor. Osmanlı şehri bunlardan herhangi birinin basit devamı değil; muhtelif birikimlerin yeni bir terkibi. Belki medeniyetlerin devamlılığı da tam böyledir: miras, biçimi aynen tekrar etmekle değil, onu yeni şartlar içinde yeniden yorumlayabilecek kudreti muhafaza etmekle sürer.

DAĞILMIŞ AĞDAN KÜLLİYEYE, ÇARŞIDAN MAHALLEYE

Buhara ile Osmanlı şehirlerini mukayese ederken kurumların şehirdeki dağılışı bilhassa dikkat çekiyor. Buhara'da cami, medrese, hankâh, havuz, çarşı, hamam ve kervansaraylar şehir boyunca bir ağ teşkil ediyor. Po-i Kalan'dan ticaret kubbelerine, oradan Magok-i Attari ve Leb-i Havuz'a uzandığınızda farklı işlevler birbirine ekleniyor, fakat bunların tamamını içine alan tek bir mimari kompleks yok. Osmanlı

Miras, biçimi aynen tekrar etmekle değil; onu yeni şartlar içinde yeniden yorumlayabilecek kudreti muhafaza etmekle sürer.

şehir tecrübesinde ise bu unsurların önemli bir kısmı giderek külliye bünyesinde bir araya geliyor. Cami, medrese, imaret, hamam, sıbyan mektebi, darüşşifa, türbe ve ticari birimler aynı vakfın ve aynı mimari tertibin parçaları olabiliyor.

Burada yalnız mimari bir fark değil, şehir kurma usulünde bir değişim var. Buhara'da şehir çeşitli vakıf yapılarının birbirine örülmesiyle teşekkül ederken, erken Osmanlı'da bilhassa Bursa'dan itibaren külliye'nin kendisi yeni bir şehir parçası meydana getirebiliyor. Külliye kuruluyor; çevresinde yollar, meskenler ve mahalleler teşekkül ediyor. Külliye bir bakıma küçük bir şehir nüvesine dönüşüyor. Elbette bunu mutlaklaştırmamak gerekir; iki gelenekte de istisnalar çoktur. Fakat genel eğilim, kurumsal mekânın örgütlenmesinde anlamlı bir farklılığa işaret ediyor.

Çarşıya baktığımızda ise süreklilik daha kuvvetli. Buhara'nın kubbeli ticaret aksları ile Bursa Hanlar Bölgesi veya İstanbul'un bedesten çevresi arasında güçlü bir akrabalık var. Tâk, han, dükkân, hamam, cami ve medrese; Anadolu'da bedesten, arasta ve kapanlarla yeni şekiller alıyor. Esas fikir değişmiyor: ticaret yalnız ekonomik faaliyet değil, şehrin kamusal omurgalarından biri.

Mahallede ise yakınlık meselesi öne çıkıyor. Buhara'nın havuz, küçük cami ve meskenler etrafında teşekkül eden mahalleleriyle Osmanlı mahallesini birebir özdeşleştirmek doğru değil, fakat ikisinde de ibadet mekânına, suya, komşuya ve gündelik ihtiyaca yakınlık müşterek hayatın temel şartlarından biri. Modern şehirde kompaktlığı bugün daha çok ulaşım ve karbon üzerinden tartışıyoruz. Tarihî şehir bize başka bir gerekçe daha veriyor: yakınlık yalnız mesafeyi azaltmaz, müşterek hayatı da mümkün kılar.

MUHAFAZA, İHYA VE YENİDEN ÜRETİM

Dört şehirde sürekli karşımıza çıkan bir başka mesele, geçmişle nasıl münasebet kuracağımızdır. Hive'de bütün bir dokunun

muhafazasını; Semerkand'da İmam Buhârî Külliyesi'nde tarihî bir şahsiyetin hatırasının yeni mimariyle yeniden temsilini; İmam Mâtürîdî çevresinde hafızayı görünür hâle getirmek için yaşayan dokunun geniş ölçüde dönüştürüldüğü bir müdahaleyi; Taşkent Hazret-i İmam'da ise geleneksel zanaatın çağdaş bir yapıda yeniden üretilmesini gördük.

Bunların tamamını aynı "koruma" kelimesiyle açıklamak güç. Muhafaza, bize intikal etmiş olanı kaybetmemek; ihya, zayıflamış veya unutulmuş bir değeri tekrar hayata dâhil etmek; yeniden üretim ise geçmişin biçim ve sembollerini bugünün ihtiyaçları içinde yeni baştan yorumlamaktır. Üçünün hudutları zaman zaman birbirine karışıyor. Asıl tehlike, ihya ettiğimizi düşünürken tarihî olanı ortadan kaldırmak. Bir türbenin çevresini bütünüyle boşaltıp büyük bir meydan açtığımızda anıt daha görünür olabilir, fakat onun asırlar boyunca içinde yaşadığı şehir dokusunu kaybedebiliriz. Bir medreseyi kusursuz restore edip çevresini bütünüyle turistik işleve tahsis ettiğimizde yapıyı koruyup hayatla rabıtasını zayıflatabiliriz.

Muhafaza edilmesi gereken yalnız yapı değil; yapının şehirle ve hayatla kurduğu münasebetlerdir.

İHTİŞAM, ÖLÇÜ VE KUDRET

Özbekistan seyahati anıtsallık meselesini de yeniden düşündürdü. Sâmanî Türbesi küçük ama tesirliydi; Hive Cuma Camii ritimle, Bibi Hanım ise ölçeği zorlayarak tesir kuruyordu. Registan'ın piştakları da insanı karşılarında küçültüyordu. Bu örnekler yan yana geldiğinde eski fakat hâlâ canlı bir mesele beliriyor: büyüklük ile büyüklük hissi aynı şey değildir.

İhtişam bazen ölçekte, bazen nispette, bazen ritimde, bazen malzemenin işlenişinde, bazen de yapının taşıdığı mânâda ortaya çıkar. Timurî mimari kudreti dev piştak ve kubbelerle ilan ederken, klasik Osmanlı mimarisi özellikle Sinan'la birlikte anıtsallığı kütlelerin nispeti, merkezî kubbe, ince minareler ve topografya üzerindeki

Suyun ve Sözü'nün Ağları: Sosyo-Mekânsal Altyapı

Modern şehircilik altyapıyı su, kanalizasyon ve ulaşım ağlarına indirir. Oysa tarihi Mâverâünnehir şehirleri başka bir altyapı matrisi sunar:

Yedi Pir Güzergâhı: Manevî coğrafyayı ve mekânsal rotayı çizen zihinsel ağ.
Vakıf Müessesesi: İlim, ibadet ve sosyal yardımlaşmayı besleyen iktisadî altyapı.
Mahalle & Havuz: Komşuluğu, yakınlığı ve müşterek hayatı üreten içtimâî hücre.
Medrese: Binasının ötesinde bilgi ve norm üreten düşünsel altyapı.

Kudret yalnız yapabilme gücü değil;
gerektiğinde ölçü koyabilme terbiyesidir.

yerleşim üzerinden kurar. Bibi Hanım önünde hissedilenle Süleymaniye'nin avlusunda hissedilen arasındaki fark, kudretin mimaride ne kadar farklı dillerle ifade edilebildiğini gösteriyor.

Medeniyet perspektifinden daha temel mesele ise şudur: kudret yalnız yapabilme gücü değil, gerektiğinde ölçü koyabilme terbiyesidir. Ölçek büyüdükçe 'ne yapabiliriz?' sorusunun yanına 'ne yapmalıyız?' sorusunu koymak daha da mühim hâle gelir.

ŞEHİRİN GÖRÜNMEYEN ALTAPISI

Modern şehircilikte altyapı denildiğinde su, kanalizasyon, enerji, ulaşım ve iletişim ağlarını düşünürüz. Buhara bana başka bir altyapının daha mevcut olduğunu hatırlattı: manevî, içtimâî ve ahlâkî altyapı. Yedi Pir güzergâhı fizikî altyapı değildir; fakat asırlar boyunca insanların hareketini, hafızasını ve yönelişini tayin etmiş. Medrese yalnız bina değil, ilim üretme ve aktarma altyapısı. Vakıf yalnız hukukî müessese değil, caminin, medresenin, imaretin, çeşmenin ve hizmetlerin devamını mümkün kılan iktisadî altyapı. Mahalle yalnız morfolojik hücre değil, komşuluk ve dayanışmanın içtimâî altyapısı. Cami yalnız ibadet yapısı değil, cemaat meydana getiren müşterek mekân.

Bu sebeple tarihî şehirlerden öğrenmek, onların biçimlerini bugüne aynen taşımak değildir. Bugün İstanbul'da veya hızla büyüyen herhangi bir kentte Buhara'nın havuzlarını, Hive'nin surlarını yahut Registan'ın piştaklarını yeniden yapmak zorunda değiliz. Asıl mesele, bu biçimleri meydana getiren esasları okuyabilmek: insan ölçeği, yakınlık, iklimle uyum, mahremiyet, müşterek mekân, işlevlerin birbirine yakınlığı, yürüme, su, gölge, yerel malzeme, zanaat, vakıf, ilim ve hafıza. Biçim değişebilir, hikmet devam edebilir.

DÖRT ŞEHİR, DÖRT KELİME

Seyahati tek bir şemaya indirecek olsam dört şehir için dört kelime seçerdim. Hive: muhafaza -şehri yalnız anıtlarıyla değil, dokusuyla muhafaza edebilmek. Buhara: terkip -suyu, ilmi, ticareti, ibadeti, mahalleyi ve maneviyatı birbirinden koparmadan şehir hayatına dönüştürebilmek. Semerkand: irade -şehri değiştirebilecek kudretin hem büyük eserler hem büyük tahribatlar meydana getirebileceğini görmek. Taşkent: yeniden inşa -kırlan veya büyüyen bir şehri daha dayanıklı ve çağdaş biçimde kurarken hafızayı ve içtimâî devamlılığı nasıl koruyacağımızı düşünmek.

Bu dört kelime birbirinden bağımsız değil. Muhafaza edilmeyen şehrin hafızası kaybolur. Terkip kabiliyeti zayıflayan şehir parçalanır. İrade ölçsüzleşirse imar tahribata dönüşebilir. Yeniden inşa geçmişle

Geçmişle Kurulan Üç Farklı Mekânsal İlişki

Muhafaza - Hive

Tarihî dokuyu yalnız tekil anıtlarıyla değil; sokak, mesken, kamusal mekân ve gündelik hayat arasındaki münasebetlerle birlikte koruyabilmek.

İhya / Yeniden Görünür Kılma - Semerkand, İmam Mâtürîdî Çevresi

Zayıflamış veya görünürlüğü kaybetmiş tarihî ve manevî hafızayı yeni mekânsal düzenlemelerle tekrar öne çıkarmak. Ancak bu müdahale mevcut dokunun kaybı pahasına gerçekleşiyorsa, ihyanın kendisi de tartışmalı hâle gelir.

Çağdaş Yeniden Yorumlama - Taşkent, Hazret-i İmam

Geçmişten devralınan mimari dil, zanaat ve sembolleri yeni bir yapıda çağdaş ihtiyaç, malzeme ve tekniklerle yeniden yorumlamak. Bu, restorasyon veya rekonstrüksiyon değil; tarihî referanslarla üretilmiş yeni mimaridir.

irtibat kurmazsa yeni bir kopuş üretebilir. Bütün bunlar bizi seyahatin başından beri çevresinde dolaştığımız daha geniş bir kavrama götürüyor: umran.

SON SÖZ: İNŞA ETMEKTEN MAMUR ETMEYE

"İmar" ile "umran" aynı kökten gelir; fakat umran yalnız bina yapmak, yol açmak veya altyapı döşemek değildir. İnsanların geçinebildiği, emniyet içinde yaşayabildiği, ilim üretebildiği, ibadet edebildiği, komşuluk kurabildiği, hatıralarını taşıyabildiği ve gelecek tahayyül edebildiği bir hayat nizamını da kuşatır. Bu sebeple bir şehrin ne kadar inşa edildiği ile ne kadar mamur olduğu her zaman aynı şey değildir.

Özbekistan'a tarihî şehirleri görmek için gittik, dönerken zihnimde bugünün şehirleri vardı. Hive'nin surlarından İstanbul'un tarihî mahallelerine, Buhara'nın havuzlarından bugünün kamusal mekânlarına, Registan'ın medreselerinden üniversitelerimizin şehirle kurduğu münasebete, Yedi Pir'den şehirlerimizin görünmeyen manevî coğrafyasına, Taşkent'in deprem sonrası tecrübesinden afetlerden sonra yeniden kurmaya çalıştığımız şehirlere, Yeni Taşkent'ten çağımızın mega projelerine doğru zihinsel bir yolculuk devam ediyordu.

Şehircilik çoğu zaman geleceği planlama mesleği olarak tarif edilir. Fakat geleceği kurabilmek için yalnız geleceğe bakmak kifayet etmiyor. Şehirlerin hangi şartlarda teşekkül ettiğini, neyin onları yaşattığını, hangi müdahalelerin onları zenginleştirdiğini ve hangi müdahalelerin aralarındaki görünmeyen rabitaları kopardığını anlamak gerekiyor. Geçmiş aynen tekrar etmek değil; geçmişte üretilen hikmeti bugünün şartları içinde yeniden düşünebilmek asıl mesele.

Şehir, taşın ve toprağın nizamından ibaret değildir; insan, mekân ve mânâ arasında kurulmuş uzun soluklu bir terkiptir. Onu mamur etmek de ancak bu terkinin tamamını görebildiğimiz ölçüde mümkündür.



Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi



Allianz Tower



Maxx Royal Bodrum Resort

Sürdürülebilirlik ve Mühendislik çözümlerimiz ile geleceğe değer katıyoruz.

Faaliyetlerimiz:

- Elektrik Proje Tasarım ve Danışmanlığı
- Yeşil Bina (LEED, BREEAM, EDGE, WELL) Danışmanlığı
- Aydınlatma Danışmanlığı
- Enerji Modellemesi
- Gün Işığı Analizi
- EPD Belgelendirmesi
- Ürün Yaşam Döngüsü Analizi (LCA)



ERKE Ofis Binası



ERKE Sürdürülebilir Bina
Tasarım Danışmanlık

'Delivering Sustainable Buildings'

+90 216 369 7393

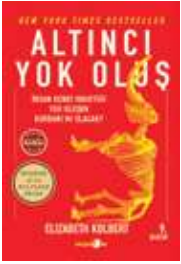
info@erketasarim.com

İstanbul

London

Dubai

KİTAPLIK



ALTINCI YOK OLUŞ

Elizabeth Kolbert
OKUYAN US YAYIN

Hem samimi, hem eğlenceli, hem de bilgi dolu bu kitapta, New Yorker yazarı Elizabeth Kolbert, insanın, gezegenimizdeki hayatı, diğer hiçbir türün yapmadığı şekilde değiştirmesinin nedenini ve nasılını anlatıyor. Çok sayıda disiplinde yapılmış araştırmaları, yok olmuş türlerin tanımlarını ve kavram olarak yok oluşun geçmişini bir araya getiren Kolbert, gözlerimizin önünde yok olmakta olan türlere dair etkileyici ve kapsamlı bir hikâye sunuyor. Kolbert, altıncı yok oluşun insanlığın en kalıcı mirası olmaya aday olduğunu gösteriyor ve bizleri insan olmanın anlamını yeniden düşünmeye zorluyor.



YAŞANMAZ BİR DÜNYA

David Wallace-Wells
DOMİNGO YAYINEVİ

David Wallace-Wells, Guardian gazetesinin “çağı tanımlayan kitap” olarak nitelediği Yaşanmaz Bir Dünya’da son bilimsel çalışmalardan faydalanarak bizleri yakın geleceğimizle tanıştıyor. O geleceğin, içinde yaşayanlara nasıl görüneceği -ısının küresel politikayı nasıl dönüştüreceği, böyle bir dünyada teknolojinin ve doğanın ne anlama geleceği, kapitalizmin sürdürülebilirliği ve insanın ilerleyişinin tuttuğu yol- üzerine kafa yoruyor. Yaşanmaz Bir Dünya aynı zamanda bir harekete geçme çağrısı. Dünya tarihi boyunca salınmış toplam karbon miktarının yarısından fazlasını son otuz yılda atmosfere bıraktığımızı düşünürsek, sadece bir kuşak içinde gezegeni bu hale getirmişiz demektir. Ve tüm bu felaketleri önleme sorumluluğu yine tek bir kuşağın omuzlarında. O kuşak, bizim kuşağımız.



ENERJİ VE MEDENİYET: BİR TARİHÇE

Vaclav Smil
İSTANBUL BİLGİ
ÜNİVERSİTESİ

Vaclav Smil, Enerji ve Medeniyet’te insanlık tarihini enerji kaynaklarıyla kurduğu ilişki üzerinden ele alıyor. Tarım öncesi topluluklardan fosil yakıtlara ve iklim krizinin şekillendirdiği günümüze uzanan kitap, enerjinin üretim ve kullanım biçimlerinin toplumları, ekonomileri ve medeniyetleri nasıl dönüştürdüğünü ortaya koyuyor. Smil, farklı disiplinlerden yararlanarak enerji tarihinin temel dönüm noktalarını ve bu dönüşümlerin sonuçlarını kapsamlı bir bakışla inceliyor.

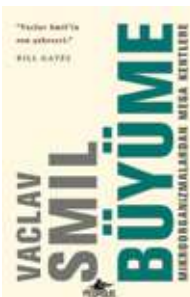
1994 tarihli ilk edisyonun baştan sona gözden geçirilip genişletilmesiyle hazırlanan Enerji ve Medeniyet, Ebru Kılıç’ın çevirisiyle ilk kez Türkçede.



İŞTE BU HER ŞEYİ DEĞİŞTİRİR

Naomi Klein
AGORA KİTAPLIĞI

“Şok Doktrini” kitabının yazarı Naomi Klein bu kıskırtıcı eserinde, küresel ısınmanın doğrudan kapitalizmin mantığından kaynaklandığını anlatıyor ve iklim değişikliğinin insanlık için bir uyanma çağrısı olduğuna, dünyanın ısınmasını önleyemezsek mahvolmamızın kaçınılmaz olacağına dikkat çekiyor...



BÜYÜME MİKROORGANİZMALARDAN MEGA KENTLERE

Vaclav Smil
PEGASUS YAYINLARI

Vaclav Smil, Büyüme’de mikroorganizmalardan mega kentlere uzanan geniş bir ölçekte, doğa ve toplumdaki büyüme süreçlerini inceliyor. Bakterilerden insan gelişimine, tarımdan enerji dönüşümlerine, nüfus artışından şehirler ve küresel ekonomiye kadar farklı sistemlerin nasıl büyüdüğünü ve bu büyümenin sonuçlarını disiplinlerarası bir bakışla ele alıyor.

NİKAH, KUTLAMA, ŞİRKET YEMEKLERİ İÇİN GENİŞ SALONLARIMIZDA

SİZLERİ BEKLİYORUZ.



25 yılı aşkın bir süredir Tuzla'da Balkan köfte geleneğini başarıyla sürdüren FİLİZLER, bugün Üsküdar, Tuzla ve Pendik restoranlarıyla, 2000'e yakın oturma kapasitesiyle sizlere hizmet etmekten gurur duymaktadır.

REZERVASYON

T : 0216 396 54 54
0216 396 54 50

GSM : 0536 866 23 23

ÇALIŞMA SAATLERİ

08:00 - 22:30

Üsküdar

Harem Sahil Yolu No: 61
(Kız Kulesi Karşısı) İstanbul

T : 0216 342 00 00
GSM : 0532 298 04 14

Tuzla

Cami Mahallesi Cumhuriyet Cad.
No: 135 İstanbul

T : 0216 395 91 06
GSM : 0533 691 14 77

Pendik

Fevzi Çakmak Mah. Tevfik İleri Cad.
No: 40/B

T : 0216 396 54 54
0216 396 54 50
GSM : 0536 866 23 23

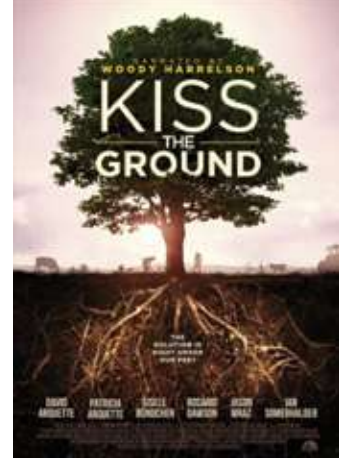


Filizler Köftecisi

SİNEMA

**WALL-E (2008)**

Pixar Animation Studios tarafından üretilen ve 2008 yılında gösterime giren, Akademi Ödüllü efsanevi bir 3D animasyon ve bilim kurgu filmidir. Film, çevre kirliliği nedeniyle terk edilmiş çöp dolu bir Dünya'da yapayalnız kalan ve tek görevi çöpleri sıkıştırmak olan sevimli bir robotun, gezegene gönderilen gelişmiş bir arama robotu olan EVE (Eve) ile karşılaşmasını ve ardından gelişen destansı aşk hikâyesini konu alır.

**KISS THE GROUND (2020)
ONARICI TARIM**

İklim değişikliğiyle mücadele etmek ve gezegeni korumak için onarıcı tarımın (regenerative agriculture) kilit rolünü anlatan 2020 yapımı ödüllü bir belgesel filmidir. Aynı zamanda bu hareketin arkasında duran ve her yıl milyonlarca insana ulaşarak toprak sağlığını canlandırmayı hedefleyen kar amacı gütmeyen Kiss the Ground organizasyonunun da adıdır.

**DARK WATERS (2019)
KARANLIK SULAR**

Dark Waters (Karanlık Sular), kimya devi DuPont'un çevre katliamını ve toplumu zehirlemesini gözler önüne seren, gerçek olaylara dayalı 2019 yapımı bir Amerikan hukuksal gerilim filmidir. Yönetmenliğini Todd Haynes'in üstlendiği filmin başrollerini Mark Ruffalo (avukat Robert Bilott rolünde) ve Anne Hathaway paylaşmaktadır.

**CHASING CORAL (2017)
MERCAN PEŞİNDE**

Chasing Coral (Mercan Peşinde), küresel ısınma ve iklim değişikliği nedeniyle okyanuslardaki mercan resiflerinin hızla yok oluşunu gözler önüne seren, 2017 yapımı ödüllü bir Amerikan belgesel filmidir. Yönetmenliğini Jeff Orlowski'nin üstlendiği yapım, su altındaki bu trajik değişimi çarpıcı ve sarsıcı bir görsellikle belgeler.

**THE BOY WHO HARNESSSED
THE WIND (2019)**

Türkçe adıyla Rüzgarı Dizginleyen Çocuk, Malavili genç mucit William Kamkwamba'nın köyünü kıtlıktan kurtarmak için hurda parçalarından rüzgar türbini inşa etmesini anlatan gerçek bir başarı hikâyesidir. İlk olarak 2009 yılında bir anı kitabı olarak yayımlanan bu ilham verici öykü, daha sonra geniş kitlelere ulaşan popüler bir sinema filmine ve tiyatro oyununa uyarlanmıştır.

BİZİ TAKİP EDİN

    /yymuhendisleri



Yeryüzü Mühendisleri
Engineers Worldwide





Y. Güler
2017

GÜÇLÜ ALTYAPI, GÜVENLİ GELECEK

Endüstriyel tesislerden otellere, alışveriş merkezlerine kadar anahtar teslim projelerinizde güven, ekonomi ve kalite sunuyoruz.



HİZMETLERİMİZ

- Orta ve Alçak Gerilim Elektrik Sistemleri
- Proje ve Danışmanlık Hizmetleri
- Zayıf Akım Dağıtım Sistemleri
- Kesintisiz Güç Sistemleri (UPS, Generatör)
- Yangın ve Güvenlik İhbar Sistemleri
- Bina Otomasyon Sistemleri





TURKISH AIRLINES

EŞSİZ LEZZETLER İÇİN MÜKEMMEL BİR AN

Ödüllü yemeklerimizin tadını çıkarın.

STAR ALLIANCE



Ürün ve hizmetler, uçuşun süresine ve uçağın modeline göre değişiklik gösterebilir.