koltek

KOLTEK GLOBAL INFRASTRUCTURE INDEX-2

Ekim 2026

Altyapının Teknik Durumu
Darboğazlar ve Mühendislik Çözümleri
Küresel Teknik Değerlendirme ve
Türkiye Uygulamaları



KOLTEK MÜŞAVİRLİK
TARAFINDAN HAZIRLANMIŞTIR


koltek

RAPORUN KAPSAMI

KOLTEK Global Infrastructure Index Ekim 2026, içme suyu, atık su, drenaj, su depolama ve sulama sistemleri ile karayolu, demiryolu, liman, enerji ve kentsel yer altı altyapısını inceler. Değerlendirme fiziksel kapasiteyi, kullanılabilir kapasiteyi ve kullanıcıya ulaşan hizmeti ayrı gösterir. Teknik çözüm, belirlenen darboğaza ve doğrulanmış uygulama sonucuna bağlanır.

Bu sayının kapsamı ülke sıralamaları ile mega proje envanterlerinden farklı olarak tesis, şebeke ve yapıların teknik incelemesidir. Ekim incelemesi mevcut varlıkların performansı, yenileme seçenekleri ve somut mühendislik ilişkileri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Tablolar teknik bileşenleri ve göstergeleri karşılaştırmaktadır. Sayısal hesap örneklerinin varsayımları metin içinde açıklanmıştır. Türkiye için saha verisi bulunmayan konularda arıza oranı, kayıp veya kazanım uydurulmamıştır.

GİRİŞ
ALTYAPININ GERÇEK PERFORMANSINI GÖRMEK

Bir altyapı yatırımının değeri, sunduğu hizmetle ortaya çıkar. İçme suyu tesisi, arıtılmış suyu güvenilir biçimde kullanıcıya ulaştıran şebekeyle birlikte çalışır. Bir ulaşım yapısı, bağlantıları ve bakım koşullarıyla hizmet verir. Bir sulama sistemi, suyu üretim alanına taşıyan kanallar, borular ve işletme düzeniyle sonuç üretir. Bu bütünlük, altyapı değerlendirmesinin temelini oluşturur.

Ekim sayısında değerlendirmeyi tesis, şebeke ve yapı düzeyinde ele alıyoruz. Mevcut kapasitenin hangi koşullarda kullanılabildiğini, hizmeti sınırlayan teknik noktaları ve bu sınırlamalara karşı geliştirilen çözümleri inceliyoruz. Su ve ulaşım yapılarından enerji bağlantılarına uzanan inceleme, yatırımın fiziksel büyüklüğünü kullanıcıya ulaşan hizmetle birlikte değerlendiriyor.

İnşa edilmiş kapasite, kullanılabilir kapasite ve gerçekleşen hizmet farklı büyüklüklerdir. Bu ayrım yeni yatırım ile rehabilitasyon ihtiyacını birbirinden ayırır. Fiziksel kapasite yeterli olduğu hâlde ekipman, bağlantı veya işletme sorunu yaşayan bir sistem, yalnızca yeni tesis yatırımıyla açıklanamaz. Sorunun bulunduğu bileşen ve hizmete etkisi teknik verilerle belirlenir.

Raporun kapsamı, KOLTEK'in mühendislik ve müşavirlik çalışmalarının temel alanlarıyla ilişkilidir. Su yapıları, arıtma, sulama, taşkın kontrolü, ulaşım, enerji ve kamu tesislerinin altyapısı aynı değerlendirme mantığında ele alınmaktadır. Fiziksel durum, kullanım yükü, hizmet sürekliliği ve uygulama sonuçları her bölümde birlikte incelenmektedir.

Ekim raporu, altyapının mevcut durumunu anlamak ve teknik sorunla çözüm arasındaki ilişkiyi görmek isteyen kamu kurumları, yerel yönetimler, işletmeciler ve yatırımcılar için hazırlanmıştır. Çalışmanın, altyapı yatırımlarının hizmet sonucunu değerlendiren ortak bir zemin oluşturacağına inanıyorum.

Burak Dalgıç
KOLTEK Yönetim Kurulu Başkan Vekili

YÖNETİCİ ÖZETİ

KOLTEK Global Infrastructure Index Ekim 2026 raporunun temel sonucu, altyapı performansının tesis kapasitesi ile hizmet sonucu birlikte değerlendirilerek anlaşılmasıdır. Su, ulaşım ve enerji sistemlerinde darboğazın yeri farklıdır; teknik müdahalenin kapsamı bu yere bağlıdır. Rapor, bakım, rehabilitasyon, işletme iyileştirmesi ve kapasite artırımını ayrı çözüm türleri olarak ele almaktadır.

WHO ve UNICEF'in 2024 tahminlerinde güvenli yönetilen içme suyu kapsamı yüzde 74, sanitasyon kapsamı yüzde 58'dir. Bu değerler 2026 gerçekleşmesi değildir. IEA'nın 2026 yıl ortası değerlendirmesinde 2025 elektrik talebi büyümesi yüzde 3, 2026 tahmini yüzde 3,6'dır. Erişim verileri hizmet niteliğini, elektrik talebi ise sistem yükünü göstermektedir. [JMP, IEA26]

Su temininde kaynak, arıtma, iletim ve dağıtım zincirinin sınırlayıcı bileşeni belirleyicidir. Şebeke kaybını azaltma ile üretim kapasitesini artırma farklı müdahalelerdir. Atık suda hidrolik yük ve kirletici yük ayrı izlenmektedir. Geri kazanımın teknik ve ekonomik sonucu, arıtılmış suyun niteliğiyle birlikte kullanıcıya olan uzaklığı ve talep sürekliliğine bağlıdır.

Drenaj ve taşkın altyapısında boru kapasitesi kadar yüzey akış yolu, dere geçişleri ve çıkış koşulları önem taşır. Sulama sistemlerinde iletim verimi, hizmet verilen alan ve havza tüketimi farklı göstergelerdir. Kapalı şebekeye geçiş, tek başına havza ölçeğinde su tasarrufu kanıtı değildir; geri dönüş akımları ve tarımsal tüketim birlikte incelenir.

Karayolu, köprü ve tünellerde fiziksel durum ve işletme yükü aynı analizde değerlendirilmektedir. Demiryolu kapasitesi, hat uzunluğundan bağımsız olarak sinyalizasyon, sefer yapısı, istasyon ve bakım aralıklarından etkilenir. Liman kapasitesi rıhtım, saha, kapı ve kara bağlantılarının bütünüdür. Gemi hizmet göstergesi, limanın tüm lojistik performansını temsil etmez.

Enerji bölümünde şebeke genişletme ve mevcut kapasitenin daha iyi kullanımı birlikte incelenmektedir. IEA'nın 2026 analizinde dinamik kapasite belirleme, ağ topolojisi ve gelişmiş güç akışı kontrolü için 330 GW'a kadar ek bağlantı potansiyeli hesaplanmıştır. Bu bir küresel model sonucudur; her ağ için garanti edilen kapasite değildir. [GRID]

Bölümlerin Ortak Sonucu

Mevcut bir altyapı sisteminde performans artışının yolu, sorunun bulunduğu noktaya göre değişmektedir. Kaynak açığı, ekipman arızası, hat kaybı, bağlantı yetersizliği ve yapısal bozulma aynı yatırım tanımıyla karşılanamaz. Mühendislik çözümünün hizmete etkisi, müdahale öncesi ve sonrası aynı göstergelerle ölçüldüğünde doğrulanmaktadır.

İÇİNDEKİLER

1. Küresel Altyapıda Ekim 2026 Durum Özeti 7
2. İçme Suyu Temini Arıtma ve Dağıtım Şebekeleri 13
3. Kanalizasyon Atık Su Arıtma ve Geri Kazanım 19
4. Yağmur Suyu Drenaj ve Taşkın Kontrolü 25
5. Barajlar Göletler Sulama ve Su İletim Yapıları 31
6. Karayolları Köprüler Viyadükler ve Tüneller 37
7. Demiryolu Metro ve Tramvay Sistemleri 43
8. Limanlar Terminaller ve Lojistik Bağlantılar 49
9. Enerji Tesisleri ve Teknik Sistemlerde Yenileme 55
10. Kentsel Yer Altı Altyapısı Zemin ve Yerleşim Bağlantıları 61

Her bölüm altı ana incelemeden oluşmaktadır. Bölüm dosyaları bağımsız okunabilir; birleşik raporda aynı sayfa düzeni ve gösterge tanımları korunmaktadır. Kaynakça rapor sonunda yer almaktadır.

1 Küresel Altyapıda Ekim 2026 Durum Özeti

1.1 Kapasite ve Hizmet Arasındaki Fark

Altyapı durumu, inşa edilmiş kapasitenin kullanıcıya sunduğu hizmetle birlikte incelenir. Bir arıtma tesisinin kapasitesi, su kaynağı ve dağıtım hattından bağımsız değildir. Bir yol kesimindeki şerit sayısı, bağlantı kavşağının taşıdığı yükü açıklamaz. Kurulu kapasite, kullanılabilir kapasite ve gerçekleşen hizmet üç ayrı değerlendirme düzeyidir.

Fiziksel büyüklükler yatırımın kapsamını gösterir. İşletme kayıtları hizmetin sürekliliğini ve niteliğini gösterir. Tasarım hedefi ile fiilî performans arasındaki fark, teknik incelemenin konusu olur. Bu bölümde karşılaştırma ölçüm, tahmin ve açıklayıcı hesap ayrımına dayanır.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Kurulu kapasite	Kurulmuş varlığın nominal büyüklüğü	Tesisin fiziksel sınırını gösterir
Kullanılabilir kapasite	İşletmeye açık bölüm	Bakım ve kaynak koşullarından etkilenir
Gerçek hizmet	Kullanıcıya sunulan miktar	Dağıtım ve kalite koşullarını içerir
Kesinti	Sıklık ve süre	Kullanılabilirliğin zaman boyutudur
Fiziksel durum	Muayene kaydı	Yenileme ihtiyacının dayanağıdır

Bir kapasite sorunu, sistemin hangi noktasında oluştuğu belirlendiğinde açıklanır. Üretim artışı ile iletim artışı aynı sonuç değildir. Hizmetteki eksiklik, bakım kaynaklı kullanılabilirlik kaybından doğuyorsa çözüm ekipman ve işletme durumuna yönelir. Sürekli pik yük tasarım sınırını aşıyorsa kapasite artırımı ayrı incelenir. Rapor bu ayrımları korur; teknik koşulu bilinmeyen tesis için yetersizlik hükmü üretmez.

Kapasite değerlendirmesinin bilanço sınırı, hangi girdilerin ve çıktılarının ölçüldüğünü belirler. Tesis girişindeki sayaç ile kullanıcı sayacı farklı noktaları temsil eder. İki ölçümün aynı dönemi kapsaması karşılaştırmanın ön koşuludur. Aksi durumda depo doluluğundaki değişim kayıp gibi görünebilir. Ulaşımda da tek bir kesimin akımı ağın bütün yolculuklarını temsil etmez. Raporun karşılaştırmaları bu sınırı korur. Teknik sonuç, hangi bileşene ve hangi zamana ait olduğu belirtilerek sunulur. Göstergelerin ortak birimde görünmesi, aynı hizmeti ölçtükleri anlamına gelmez.

Kaynak ve kapsam: OECD Management of assets throughout their life cycle (2026)

1.2 Küresel Hizmet ve Talep Göstergeleri

WHO ve UNICEF'in 2024 tahminlerinde güvenli yönetilen içme suyu kapsamı yüzde 74, sanitasyon kapsamı yüzde 58'dir. Bu değerler Ekim 2026 ölçümü değildir; yayımlanmış referans dönemin görünümüdür. Hizmet kapsamının dışında kalan nüfus, ilgili hizmet zincirindeki açığı gösterir.

Elektrikte büyüme göstergesi farklıdır. IEA, 2025 talep artışını yüzde 3 olarak değerlendirirken 2026 için yüzde 3,6 artış tahmin etmektedir. Yıllık tahmin, iki aylık gerçekleşmiş değişim olarak kullanılamaz.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
İçme suyu kapsamı	%74 | 2024	Güvenli yönetilen hizmet
Su hizmet açığı	2,1 milyar kişi | 2024	JMP kapsam tahmini
Sanitasyon kapsamı	%58 | 2024	Güvenli yönetilen hizmet
Sanitasyon açığı	3,4 milyar kişi | 2024	Su hizmet açığıyla toplanmaz
Elektrik talebi	%3 | 2025	IEA gerçekleşme değerlendirmesi
Elektrik tahmini	%3,6 | 2026	Yıllık öngörü

Erişim oranı, tesis kapasitesi veya boru uzunluğu yerine geçmez. Aynı şekilde talep artışı bir şebekenin her bölgesinde aynı kapasite açığının bulunduğunu kanıtlamaz. Su ve sanitasyon hizmetlerinin dışında kalan nüfuslar kesişebilir; toplam hizmet açığı adıyla toplanmaları hatalıdır. Bu raporda farklı göstergeler tek bir yeni bileşik puana dönüştürülmemiştir. Her gösterge kendi tanımı, birimi ve dönemiyle değerlendirilir.

Göstergeye ilişkin kesinlik ile hizmet sonucuna ilişkin kesinlik farklıdır. Kaynak kurumun yayımladığı bir tahmin, hesap yönteminin çıktısıdır; bütün kullanıcıların tek tek ölçüldüğü sayım değildir. Aynı şekilde ulusal oran bir kentteki basınç, arıtma kalitesi veya kesinti durumunu açıklamaz. Küresel tablo, incelemenin genel zeminini oluşturur. Tesis ve şebeke teşhisi farklı veriler gerektirir. Bölümlerde ulusal göstergeden tekil yapı sonucu türetilmemesinin nedeni bu kapsam farkıdır. Erişim, teknik kayıp ve kapasite kullanımı ayrı sorulara cevap verir.

Kaynak ve kapsam: WHO ve UNICEF Progress on household drinking water sanitation and hygiene 2000–2024 (2025); IEA Electricity Mid Year Update 2026 (2026)

1.3 Yayın Dönemi ile Ölçüm Döneminin Ayrılması

Aynı gösterge için yeni veri yayımlanmadığında dönem değişimi hesaplanmaz. Kaynak kurumun önceki seriyi revize etmesi, hizmetin son iki ayda değiştiği anlamına gelmez. Karşılaştırma aynı kapsamı, yöntemi ve birimi korur. Ekim raporundaki yeni teknik derinlik, otomatik olarak yeni ulusal veya küresel ölçüm anlamı taşımaz. Proje aşamaları da bu ayrımla okunur. Açıklanan yatırım, finansmanı sağlanan yatırım ve işletmeye alınan tesis farklı kayıtlardır. Kapasite katkısı, fiilen devreye alınan bölümle ilişkilidir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Açıklanan proje	Yatırım niyeti	Mevcut hizmet artışı değildir
Finansman	Kaynak sağlanması	İşletme kapasitesini kanıtlamaz
Yapım	Fizikî gerçekleşme	Devreye alınan kısım ayrıdır
Tamamlanma	Yapımın bitmesi	Kabul ve testler incelenir
İşletmeye alma	Hizmete açık kapasite	Fiili yük ayrıca ölçülür

Ekim sayısında yeni il sıralaması veya mega proje listesi oluşturulmamıştır. İki ay içinde değiştiği doğrulanmayan puanlar için yeni değer verilmemiştir. Kaynakların yayın tarihleri ile göstergelerin ölçüm tarihleri ayrı kaydedilmiştir. Bu uygulama, yeni yayımlanan bir belgenin geçmiş yıllara ait bulgusunun güncel saha sonucu gibi görünmesini engeller. Ekim sayısının katkısı tesis ve bağlantı düzeyindeki teknik ilişkileri görünür kılmasıdır.

Dönem karşılaştırmasında fiziksel kapsamın büyümesi de dikkate alınır. Yeni kullanıcıların sisteme eklenmesi toplam arıza, tüketim veya işletme giderini artırabilir. Bu artış, birim hizmet performansının kötüleştiğini tek başına göstermez. Aynı nedenle kullanıcı başına değer de kritik tesis yükünü tam açıklamayabilir. Değişim mutlak ve normalize edilmiş göstergelerle birlikte yorumlanır. Rapor, yeni bir kaynaktaki farklı değeri eski seriye ekleyerek kesintisiz eğilim üretmez. Revizyon, ölçüm ve kapsam değişimi ayrı kaydedilir.

1.4 Bakım ve Varlık Yönetiminin Mevcut Görünümü

OECD'nin 2025 yayınındaki 2023 araştırma verisinde, 33 ülkeden 24'ü altyapı performansını sürekli izlemektedir. Önceden belirlenmiş hizmet hedeflerini kullanarak izleme yapan ülke sayısı 17'dir. Bu iki kayıt farklı olgunluk düzeylerini gösterir; küresel bakım yeterliliği oranı olarak genellenmez.

Bir varlığın yaşı, arıza veya yapısal bozulmanın tek açıklaması değildir. Yük, çevresel maruziyet ve bakım geçmişi fiziksel durumu belirler. Durum incelemesi ile yeni kapasite değerlendirmesi ayrı yürütülür.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Sürekli izleme	24 / 33 ülke	OECD araştırma kapsamı
Hizmet hedefiyle izleme	17 / 33 ülke	Aynı araştırmanın ayrı ölçütü
Tam yaşam döngüsü maliyeti	12 / 33 ülke	Bütün projelerde sistematik kullanım
Varlık yaşı	Yıl	Tek başına durum puanı değildir
Muayene bulgusu	Yapı veya ekipman kaydı	Müdahalenin teknik dayanağı

Varlık yönetiminde izleme yapılıyor olması, hizmet hedefinin karşılandığını kanıtlamaz. Göstergeye bağlı değerlendirme bu nedenle önem taşır. Bakım kaynaklı kapasite düşüşünde ekipman rehabilitasyonu; yapısal bozulmada onarım ve güçlendirme; sürekli talep açığında kapasite artırımı incelenir. Bu çözüm sınıfları birbirinin yerine kullanılamaz. Raporun teknik tabloları aynı arıza için tek ve değişmez müdahale tarif etmek yerine, sorunun niteliğini çözümle eşleştirir.

Bakımın gecikmesiyle yeni kapasite ihtiyacı arasındaki ayrım, hizmet açığının süresini de etkiler. Kısa süreli ekipman arızası ile sürekli talep artışı farklı yatırım takvimleri taşır. Geçici yedekleme arızanın hizmet etkisini sınırlayabilir; sürekli kapasite açığını kalıcı olarak çözmez. Fiziksel durum kayıtları, aynı anda çok sayıda ekipmanın yenilenmesi gerektiğinde kullanılabilirlik riskini ortaya koyar. Varlık yönetiminin hizmet karşılığı, hangi müdahalenin hangi yükü ne kadar süre koruduğuyla açıklanır.

Kaynak ve kapsam: OECD Government at a Glance 2025 Asset performance management (2025)

1.5 Sistem Bağımlılıkları ve Ortak Arıza Noktaları

Elektrik, su ve ulaşım hizmetleri arasında teknik bağımlılıklar bulunmaktadır. Su terfi sistemi enerji beslemesine, atık su tesisi toplama şebekesine, liman yük akışı kara bağlantısına bağlıdır. Ana tesisin kendi kapasitesi bu ilişkilerden bağımsız okunamaz.

Birden fazla ünitenin bulunması bütün sistemin yedeklendiğini göstermez. Ortak enerji hattı, tek emiş kolektörü veya ortak kontrol sistemi aynı anda birden fazla ünitenin devre dışı kalmasına neden olabilir. Yedek kapasitenin işlevi kritik yük ve devreye girme süresiyle tanımlanır.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Su temini	Enerji ve pompa	Basınç ve iletim sürekliliği
Atık su	Kolektör ve terfi	Arıtma tesisine ulaşan yük
Yol	Drenaj ve menfez	Geçilebilirlik ve yapısal korunma
Demiryolu	Sinyal ve enerji	Sefer kapasitesi
Liman	Kapı ve kara bağlantısı	Saha doluluğu ve yük çevrimi
Yeni yerleşim	Mevcut şehir şebekesi	İlave yükün karşılanması

Bağımlılıklar hizmet kesintisinin kapsamını genişletebilir. Kesintinin etkisi yalnızca süresiyle tanımlanmaz; kullanıcı sayısı, kritik tesisler ve alternatif hizmet olanağı birlikte değerlendirilir. Pompa yedeklemesi, enerji kaynağı aynı kalan bir sistemde ortak enerji arızasına çözüm değildir. Yol kapasitesi artırımı da çıkış kavşağındaki darboğazı tek başına ortadan kaldırmaz. Bu bağlantılar sektör bölümlerinde hidrolik, yapısal ve işletme koşullarıyla ayrıntılandırılmaktadır.

Ortak nedenli arızalar, bileşenlerin tek tek güvenilirliğinden farklı bir sistem sonucu oluşturur. Birden fazla pompanın aynı pano veya besleme hattına bağlı olması buna örnektir. Benzer biçimde iki alternatif yol aynı taşkın geçişini kullanıyorsa coğrafi çeşitlilik gerçek bağımsızlık sağlamaz. Bu ilişkiler teknik incelemede bağlantı haritasıyla belirlenir. Alternatif hizmetin kapasitesi ve kullanıma geçme süresi önem taşır. Bileşen sayısı, ancak bağımlılık ve yük koşuluyla birlikte hizmet yedeğine dönüşür.

1.6 Çözüm Sonuçlarının Kanıt Düzeyi

Mühendislik çözümünün sonucu, uygulama miktarı ile hizmet kazanımı ayrılarak gösterilir. Yenilenen boru uzunluğu uygulama kaydıdır; azalan kayıp hacmi performans sonucudur. Ek arıtma kapasitesi fiziksel büyüklüktür; uygun kalitede arıtılan yük gerçekleşen hizmettir.
Modelleme sonuçları açık kabullerle değerlendirilir. Aynı yük, debi ve işletme koşullarında yapılan karşılaştırma teknik etkiyi ayırır. Varsayımsal sayısal örnekler saha sonucu olarak sunulmaz. Her sonuç belirli koşullar altında geçerlidir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Ölçülmüş sonuç	Saha veya işletme kaydı	Uygulamanın gerçekleşen etkisi
Kurum bildirimi	Yayımlanan proje sonucu	Kaynak kapsamıyla sınırlıdır
Proje hedefi	Gelecekteki hizmet	Gerçekleşme değildir
Teknik hesap	Tanımlı girişler	Hesaplanan potansiyeldir
Eksik veri	Ölçüm bulunmaması	Sıfır arıza veya sıfır kayıp değildir

Bölümün sonucu açıktır: Kapasite, fiziksel durum ve hizmet aynı değerlendirmede ayrı ölçülmektedir. Yeni veri bulunmadığında dönem değişimi üretilmemektedir. Bakım ve genişletme farklı ihtiyaçları karşılamaktadır. Çözümler, sorunun bulunduğu bileşen ve hizmete etkisiyle açıklanmaktadır. Sonraki bölümlerde bu mantık korunur; bir sektörün göstergesi başka sektörün performans puanı yerine kullanılmaz.
Çözüm karşılaştırmasının maliyet sınırı da hizmet sınırı kadar önemlidir. Yalnızca satın alma bedeli, işletme enerjisini, bakım ve kesinti giderini içermez. İki seçenek aynı analiz dönemi, fiyat temeli ve hizmet hedefine göre karşılaştırılır. Gelecekteki giderlerin bugünkü karşılığı kullanılan iskonto oranından etkilenir. Rapordaki basitleştirilmiş örnekler yatırım teklifi değildir. Gerçekleşmiş sonuçtan ayrı tutulmaları, çözüm etkisini görünür kılarken kesinlik sınırını korur. Teknik kapasite, ekonomik uygulanabilirlik ve ölçülmüş hizmet üç ayrı sonuçtur.

2 İçme Suyu Temini Arıtma ve Dağıtım Şebekeleri

2.1 Kaynak ve Su Alma Yapılarının Durumu

İçme suyu sisteminin ilk kapasite sınırı kaynağın kullanılabilir miktarı ve niteliğidir. Baraj hacmi ile güvenilir yıllık su verimi farklı büyüklüklerdir. Yer altı suyunda kuyu debisi, beslenme ve uzun dönem seviye değişimiyle birlikte değerlendirilir. Su alma yapısındaki tıkanma veya kot sorunu arıtma tesisi yeterli olsa da üretimi sınırlar. Kaynak çeşitlendirmesi işletme esnekliği sağlar; farklı kaynakların aynı kuraklık veya kirlenme etkisine maruz kalması bu yararı sınırlar. Bu nedenle bağımsızlık fiziksel mesafeden çok kaynak davranışıyla belirlenir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Yüzey suyu	Mevsimsel akım ve kalite	Arıtma yükü değişir
Yer altı suyu	Seviye ve sürdürülebilir çekim	Kuyu kapasitesi zamana bağlıdır
Su alma yapısı	Kot ve giriş kaybı	Ham su iletimini sınırlar
Kaynak çeşitliliği	Birlikte çalışma olanağı	Ortak riske karşı ayrıca incelenir
Ham su kalitesi	Bulanıklık ve kirleticiler	Proses ve kimyasal yükünü belirler

Kaynağın yeterliliği yalnızca yıllık toplamla açıklanamaz. En düşük debi dönemi ile en yüksek talep dönemi aynı zamana denk geldiğinde depolama ve alternatif besleme önem kazanır. Arıtma tesisinin genişletilmesi bu kaynak açığını gidermez. Kaynak kapasitesi ile tesis kapasitesi aynı bilanço içinde incelenir. Rapor, küresel içme suyu erişimini kaynak debisine dönüştürmez; erişim göstergesi kullanıcı hizmetinin sonucudur.

Kaynak niteliğinin değişmesi mevcut prosesin çalışma koşulunu değiştirir. Bulanıklık artışı, filtre geri yıkama sıklığını ve net ürün suyunu etkileyebilir. Kaynak suyu sıcaklığı da proses ve kimyasal kullanımında farklılık oluşturur. Bu nedenle aynı ham su debisi her dönemde aynı net üretim değildir. Su alma yapısının bakım erişimi ve kaynaklar arasındaki geçiş süresi kullanılabilirliğe dâhildir. Bir kaynağın kesilmesi hâlinde alternatifin yalnızca yıllık hacmi değil kısa dönem debisi de belirleyicidir.

Teknik Kapsam: Kaynak verimi, ham su niteliği ve su alma yapısının kullanılabilirliği. JMP erişim verisi tesis düzeyinde hidrolik değerlendirme sağlamaz.

2.2 Arıtma Tesislerinde Kullanılabilir Kapasite

Bir içme suyu tesisinin tasarım debisi bütün ünitelerin uygun koşullarda çalışmasını varsayar. Bakımdaki filtre, arızalı pompa veya ham su niteliğindeki değişim kullanılabilir kapasiteyi azaltır. Ortalama günlük debi, kısa dönem pik yükü ve proses sınırları aynı kapasite hesabında ayrı izlenir.
Arıtma kalitesi belirli çıkış kriterleriyle değerlendirilir. Fazla debi kabul etmek, uygun çıkış kalitesi korunmadığında hizmet artışı değildir. Ünite kapasitesinin karşılaştırılması darboğazı belirler; tesis toplamı tek bir isim kapasitesine indirgenmez.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Koagülasyon	Ham su ve kimyasal doz	Değişen su kalitesine yanıt
Çöktürme	Yüzey ve hidrolik yük	Katı madde ayırma sınırı
Filtrasyon	Filtre alanı ve geri yıkama	Net üretim miktarı
Dezenfeksiyon	Temas koşulları	Uygun su kalitesinin sürekliliği
Ünite bakımı	Çalışabilir hat sayısı	Kullanılabilir kapasite kaybı

Açıklayıcı kapasite hesabında her biri 20.000 m³/gün kullanılabilir net kapasiteye sahip üç bağımsız hat, ortak tesis bileşenlerinin yeterli olduğu kabulüyle 60.000 m³/gün sağlar. Bir hat bakımdayken üst kapasite 40.000 m³/gündür. Aynı dönem talebi 45.000 m³/gün ise açık 5.000 m³/gündür. Hesap gerçek tesis kaydı değildir. Depolama süreli açığı karşılar; sürekli açık ünite kullanılabilirliği veya kapasite müdahalesiyle çözülür. Net kapasite hesabı, tesisin kendi tükettiği suyu ve duruşları içerir. Geri yıkama, bakım ve kalite uygunsuzluğu nedeniyle üretim dışı kalan dönemlerin tasarım debisinden ayrılması gerekir. Yüksek yıllık ortalama kullanım, bütün saatlerde yedek bulunduğu anlamına gelmez. Paralel ünitelerde bir hattın devreden çıkması, kalan hatları proses sınırına yaklaştırır. Bu durum bakım planı ile pik talep zamanlamasının aynı hizmet sonucuna etkisini gösterir. Kapasite artırımı kararında toplam havuz hacmi yerine sınırlayıcı ünite belirlenir.

2.3 İsale Hatları ve Depolama

İsale hattı kapasitesi boru çapı kadar eğim, pürüzlülük, basınç ve pompa çalışma noktasına bağlıdır. Depo hacmi günlük dengeleme, arıza yedeği ve yangın gereksinimleriyle ilişkilidir. Depo bulunması kaynak yetersizliğini sürekli biçimde telafi etmez; depolama kapasitesi zaman kazandırır.
Boru hattındaki hidrolik geçişler ani basınç değişimleri oluşturur. Pompa durması ve hızlı vana kapanması bu geçişlerin nedenlerindendir. Kalıcı debi hesabı ile geçici rejim analizi aynı incelemenin farklı parçalarıdır.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Boru çapı	Debi ve hız ilişkisi	İletim kapasitesi
Hat pürüzlülüğü	Sürtünme kaybı	Enerji ve basınç ihtiyacı
Depo işletmesi	Giriş çıkış dengesi	Talep dalgalanmasını karşılar
Vana düzeni	Akış ve izolasyon	Arıza alanını sınırlar
Geçici rejim	Ani basınç değişimi	Hattın korunması

Varsayımsal bir depoda toplam su hacmi 12.000 m³, kritik net talep 1.000 m³/saat ve giriş debisi sıfır olduğunda rezervler ayrılmadan hesaplanan üst destek süresi 12 saattir. Gerçek destek süresi için minimum işletme seviyesinin altında kalan hacim ve ayrılmış rezerv toplam hacimden düşülür. Hacim hesabı, suyun bütün basınç bölgelerine ulaşabildiğini kanıtlamaz. Dağıtım kotları ve bağlantılar ayrı değerlendirilir. Bu fark depo kapasitesi ile hizmet sürekliliği arasındaki teknik ilişkiyi gösterir.
Depo işletmesinde su yaşı ve kalite de miktar kadar önemlidir. Büyük hacim, düşük çevrimle birlikte farklı kalite koşulları oluşturabilir. Depoda minimum ve maksimum seviye arasında gerçekten kullanılabilen hacim ayrı ölçülür. Yangın veya kritik rezerv için ayrılmış hacim günlük dengeleme kapasitesi olarak iki kez sayılmaz. Basınç bölgelerinin bağlantısı, depodaki suyun hangi kullanıcıya ulaşacağını belirler. Bu nedenle nominal rezerv süresi bütün şehir için aynı kesinti dayanımı olarak yorumlanamaz.

2.4 Şebeke Kayıpları ve Basınç Durumu

Gelir getirmeyen su, fiziksel kayıp, görünür kayıp ve faturalandırılmayan izinli tüketim bileşenlerini içerir. Şebekeye giriş hacmi ile faturalandırılmış izinli tüketim arasındaki farkın tamamı boru kaçağı değildir. Ham su çekimi ayrıca gösterilir; arıtma prosesinde kullanılan su şebeke kaybıyla karıştırılmaz. Ölçüm doğruluğu, veri dönemi ve izinli tüketim su dengesinin parçalarıdır.

Fiziksel kayıp ile basınç arasında ilişki bulunmaktadır. Ancak bütün şebekelerde aynı azaltım oranı geçerli değildir. Boru durumu, kaçak tipi ve kullanıcı basıncı sonucu değiştirir. Basınç düşürme, asgari hizmet basıncını ihlal ettiğinde performans kazanımı olarak kabul edilmez.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Fiziksel kayıp	Boru ve bağlantı kaçağı	Kaçak kontrolü ve rehabilitasyon
Görünür kayıp	Sayaç ve kayıt hatası	Ölçüm ve veri iyileştirmesi
İzinli tüketim	Faturalandırılmayan kullanım	Kayıtla ayrıştırılır
Basınç bölgesi	Kot ve talep koşulu	Uygun işletme sınırı
Gece minimum debisi	Tüketimle birlikte yorum	Kaçak teşhisine destek

Dünya Bankası'nın teknik çalışmaları su kaybı ile enerji verimliliğini birlikte ele almaktadır. Daha az kayıp için daha az su pompalanması mümkün olmakla birlikte enerji sonucu pompa çalışma koşullarından etkilenir. Açıklayıcı bir bilançoda sisteme giriş 100, faturalandırılmış tüketim 70 birim ise gelir getirmeyen su 30 birimdir. Fiziksel kaçağın kaç birim olduğu alt bileşenler bilinmeden belirlenmez. Bu ayrım müdahalenin doğru seçilmesini sağlar.

Şebeke kaybı oranının paydası sisteme giriş hacmidir. Aynı mutlak kayıp, giriş hacmi arttığında daha düşük yüzde oluşturur. Bu değişim kaçağın azaldığını göstermez. Arıza sıklığı hat uzunluğu, bağlantı sayısı ve gözlem süresiyle birlikte değerlendirilir. Kaçağın tespiti ve giderilmesi ayrı kayıtlardır. Basınç yönetiminin sonucu mutlak kayıp hacmi ve kullanıcı basıncı birlikte ölçüldüğünde belirlenir.

Kaynak ve kapsam: Dünya Bankası Reducing Nonrevenue Water and Improving Energy Efficiency Guidance Note (2020)

2.5 Pompa Performansı ve Enerji Tüketimi

Pompajın enerji ihtiyacı debi, toplam basma yüksekliği ve toplam verimle belirlenir. Toplam tüketim, taşınan su miktarı değiştiğinde tek başına verimlilik göstergesi değildir. Birim hacim başına tüketim, benzer basma yüksekliği ve hizmet koşullarında karşılaştırılır.

Kısma vanasıyla yapılan kontrol ve hız kontrolü aynı enerji sonucunu vermez. Değişken hızın etkisi statik yükün büyüklüğüne ve pompa eğrisine bağlıdır. Motor yenilemesiyle hidrolik uyumsuzluk farklı sorunlardır. Pompa, motor ve işletme düzeni birlikte ele alınır.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Debi	m^3/s	Hidrolik gücün girdisi
Basma yüksekliği	m	Statik ve dinamik kayıplar
Toplam verim	Pompa motor sürücü	Elektrik ihtiyacını belirler
Özgül tüketim	kWh/m^3	Benzer yükte karşılaştırılır
Çalışma noktası	Pompa ve sistem eğrisi	Ekipman uygunluğu

Açıklayıcı mühendislik hesabı: Debi 0,10 m^3/s, toplam basma yüksekliği 50 m ve toplam verim 0,70 olduğunda güç yaklaşık 70,1 kW'tır. Birim enerji yaklaşık 0,195 kWh/m^3 olur. Aynı debi ve yükte verim 0,80'e çıktığında değer yaklaşık 0,170 kWh/m^3'e iner. Hesap ▮gQH/▮ bağıntısına dayanır ve yardımcı yükleri içermez. Bu yüzde 12,5 fark saha tasarrufu değildir; sabit koşullardaki teknik karşılaştırmadır.

Motor verimi ile toplam pompaj verimi farklıdır. Motor yenilendiği hâlde pompa tasarım noktasından uzak çalışıyorsa hidrolik verimsizlik devam edebilir. Boru sürtünmesi, gereksiz basınç ve vana kayıpları toplam yükün parçalarıdır. Değişken hızlı çalışmada yardımcı yükler ve düşük hızdaki verim ayrıca dikkate alınır. Gerçek enerji sonucu saatlik debi ve enerji serisiyle anlaşılır. Aylık fatura, fiyat değişimi nedeniyle fiziksel tüketim eğiliminin doğrudan karşılığı değildir.

Kaynak ve kapsam: Dünya Bankası Energy Efficiency Investments in Urban Water and Wastewater Utilities (2019)

2.6 Rehabilitasyon Çözümleri ve Hizmet Sonucu

Su sisteminde çözüm, eksikliğin kaynak, proses, iletim veya dağıtım bileşeninde bulunmasına göre değişir. Hattın yenilenmesi, basınç yönetimi ve sayaç iyileştirmesi farklı hedefler taşır. Yeni kaynak veya arıtma kapasitesi, dağıtım şebekesindeki fiziksel kaybı doğrudan azaltmaz.

Dünya Bankası'nın WICER örneklerinde Phnom Penh kayıp azaltımı ve işletme iyileştirmesiyle; Endonezya'daki Tugu Tirta ve Adhya Tirta Batam ise kayıp ve enerji performansını birlikte ele alan uygulamalarla yer almaktadır. Bu kayıtlar yöntem ilişkisini gösterir; tekil yüzdeler bütün şebekelere genellenmez.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Kaynak açığı	Kaynak ve talep bilançosu	Yeni veya alternatif temin
Ünite devre dışılığı	Bakım ve arıza kaydı	Ekipman rehabilitasyonu
Hat kapasitesi	Hidrolik analiz	Paralel hat veya büyütme
Fiziksel kayıp	Bölgesel su dengesi	Kaçak kontrolü ve hat yenileme
Yüksek enerji	Benzer yükte tüketim	Pompa ve işletme iyileştirmesi

Bölümün sonucu, kapasite artışı ile hizmet iyileşmesinin ayrı doğrulanmasıdır. Başarılı bir müdahale, hedeflenen hizmeti uygun kalitede sürdürür ve performans kaydında görünür. Arıza sayısındaki düşüş, kesinti süresindeki azalma ve birim enerji değişimi aynı dönemle karşılaştırılır. Yeni tesis yatırımı ile mevcut varlık rehabilitasyonu, eşdeğer hizmet hedefi ve yaşam döngüsü maliyeti üzerinden karşılaştırıldığında anlam taşır. Su sistemi rehabilitasyonunda kazısız ve açık kazı yöntemleri farklı hizmet ve saha koşulları taşır. Boru çapının daralması, malzeme ömrü, bağlantı yenilemesi ve uygulama sırasında geçici besleme çözüm seçimini etkiler. Aynı hat uzunluğunda yapılan iki iş eşdeğer teknik sonuç üretmeyebilir. Müdahalenin çıkış ölçütü, uygun basınçta güvenilir su teslimidir. Yenilenen varlığın kabul kaydı ve işletme sonucu birlikte bulunduğunda fiziksel tamamlanma ile hizmet kazanımı ayrılabilir.

Kaynak ve kapsam: Dünya Bankası WICER Case Studies (Çeşitli tarihler)

3 Kanalizasyon Atık Su Arıtma ve Geri Kazanım

3.1 Toplama Şebekesi ve Tesis Arasındaki Kapasite

Atık su altyapısı toplama şebekesi, kolektör, terfi ve arıtma tesisi bileşenlerinden oluşur. Tesisin yeterli kapasitesi, atık suyun tamamının tesise ulaştığını göstermez. Eksik bağlantı, tıkanma, ters eğim veya pompa arızası toplama hizmetini sınırlar.

Kanalizasyon kapasitesi debinin zamansal dağılımıyla değerlendirilir. Şebekeye giren yağmur suyu ve yer altı suyu, biyolojik kirlilik artışı olmadan hidrolik yükü yükseltebilir. Bu durumda kolektör ve tesis farklı yüklerle karşılaşır. Kanalizasyon bağlantısı, güvenli arıtma ve bertaraf sonucundan ayrı bir göstergedir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Parsel bağlantısı	Toplama kapsamı	Hizmetin başlangıç noktası
Kolektör	Hidrolik taşıma	Tesis girişini sınırlar
Terfi	Çalışabilir pompa	Düşük kotları bağlar
Yabancı su	Yağış ve sızma	Hidrolik yükü artırır
Arıtma	Debi ve kirletici yük	Çıkış niteliğini belirler

Çözümün yeri toplama zincirindeki kayıtlarla belirlenir. Bir arıtma tesisi düşük yükte çalışırken belirli mahallelerde taşma olması, bütün sistemin fazla kapasiteye sahip olduğunu göstermez. Ana bağlantının eksikliği veya yerel dar kesit, tesis kapasitesinin kullanılmasını engeller. Bu nedenle tesis ve şebeke yatırımının hizmete etkisi birlikte değerlendirilir. Güvenli yönetilen sanitasyon oranı yalnızca kanalizasyon hattı varlığını ölçmez.

Şebekede ayrık ve birleşik sistemlerin davranışı farklıdır. Birleşik hat yağış sırasında daha yüksek hidrolik yük taşır. Ayrık sistemde de hat hasarı veya yanlış bağlantı yoluyla yabancı su girebilir. Yağıştan bağımsız taban debi ve yağış olayı sırasında gelen ek yük ayrı incelenir. Şebeke rehabilitasyonunun arıtma tesisine etkisi bu bağlantıyla anlaşılır. Atık su tesisi genişletilirken toplama hattındaki kaçak veya taşma devam ediyorsa hizmet kapsamı aynı oranda artmaz.

Kaynak ve kapsam: WHO ve UNICEF JMP 2025, güvenli yönetilen sanitasyonun hizmet tanımı. https://data.unicef.org/resources/jmp-report-2025/

3.2 Hidrolik ve Kirletici Yükün Ayrılması

Atık su tesisinde kapasite, günlük debiyle sınırlı değildir. Organik madde, azot ve fosfor yükü proses gereksinimlerini belirler. Aynı debiye sahip iki giriş suyu farklı oksijen, çamur ve arıtma ihtiyacı oluşturur. Endüstriyel bağlantılar bu farkı büyütebilir.

Ortalama konsantrasyon, debiyle çarpıldığında günlük kütlesel yükü verir. Pik debi ile pik kirletici yük aynı anda oluşmayabilir. Kapasite incelemesi hidrolik üniteler ile biyolojik prosesin sınırlarını ayrı gösterir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Debi	m^3/gün	Hidrolik kapasite
BOİ yükü	kg/gün	Biyolojik proses yükü
Azot yükü	kg/gün	Nitrifikasyon ve giderim
Katı madde	kg/gün	Çamur üretimi
Pik giriş	Zaman serisi	Dengeleme ihtiyacı

Açıklayıcı hesapta 10.000 m^3/gün debi ve 300 mg/L BOİ konsantrasyonu, 3.000 kg/gün BOİ yüküne karşılık gelir. Aynı debide 500 mg/L değerinde yük 5.000 kg/gün olur. Debi değişmeden proses yükü yüzde 66,7 artar. Bu örnek gerçek tesis ölçümü değildir. Yalnızca m^3/gün kapasitesinin biyolojik yeterliliği açıklamadığını gösterir. Çıkış performansı değerlendirmesinde kütlesel yük, proses şartları ve numune temsil gücü birlikte kullanılır.

Kütlesel yük hesabında anlık numune ve günlük bileşik numune farklı temsil gücü taşır. Debinin değiştiği bir günde tek konsantrasyon değerini bütün hacme uygulamak belirsizlik oluşturur. Deşarj kalitesi ile giderim yüzdesi de farklıdır. Giriş konsantrasyonu çok yüksek olduğunda yüksek giderim yüzdesine rağmen çıkış sınırı karşılanmayabilir. Tesisin hizmeti, giriş ve çıkış yükü ile geçerli kalite koşulları birlikte değerlendirildiğinde tanımlanır. Yalnızca debi artışı uygun arıtılmış hizmet artışı değildir.

3.3 Proses Darboğazları ve İşletme Koşulları

Arıtma tesisinde düşük çıkış performansı, havuz hacminin yetersizliği dışında nedenler taşıyabilir. Havalandırma dağılımı, çamur yaşı, geri devir düzeni ve son çöktürme koşulları proses sonucunu etkiler. Ekipman devre dışılığı mevcut hacmin etkin kullanılmasını sınırlar.

Proses iyileştirmesi, tasarım kapasitesini değiştirmeden işletme performansını geliştirebilir. Ancak artan kirlilik yükü mevcut ünitelerin teknik sınırını sürekli aşıyorsa kapasite artırımı ayrı incelenir. Enerji tüketimiyle çıkış niteliği birlikte değerlendirilir; düşük enerji tek başına yeterli arıtma anlamına gelmez.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Havalandırma	Oksijen ihtiyacı	Enerji ve biyolojik performans
Çamur yaşı	Proses sıcaklığı ve yük	Nitrifikasyon koşulları
Son çöktürme	Hidrolik ve katı yük	Çıkışta askıda katı
Geri devir	Debi ve çamur dengesi	Proses kararlılığı
Dengeleme	Yük dalgalanması	Piklerin yönetimi

Çözümler ünite bazında karşılaştırılır. Blower yenilemesi, difüzör bakımı ve oksijen kontrolü aynı iş değildir; her birinin etkisi farklıdır. Kapasite genişletmesiyle işletme optimizasyonu aynı çıkış hedefini karşılayıp karşılamadığına göre değerlendirilir. Uygulama sonrası ölçüm debi, yük, sıcaklık ve çıkış kalitesini içerir. Bu bilgiler olmadan toplam elektrik tüketimindeki azalma proses verimliliği olarak sunulamaz.

Arıtma prosesinde sıcaklık ve yük değişimi aynı biyolojik hacmin kapasitesini farklılaştırır. Bakımda kalan ünite toplam kullanılabilirliği düşürür. Son çöktürme sınırı, biyolojik havuz yeterli olsa da çıkış performansını sınırlayabilir. Bu nedenle proses modernizasyonu bütün ünitelerin etkileşimiyle değerlendirilir. Kontrol sistemi daha doğru işletme sağlar; fiziksel kapasite açığını sınırsız biçimde karşılayamaz. Kimyasal ve enerji giderindeki değişim uygun çıkış kalitesi korunarak ölçülür.

Kaynak ve kapsam: Dünya Bankası Energy Efficiency Investments in Urban Water and Wastewater Utilities (2019)

3.4 Yeniden Kullanımın Bağlantı Altyapısı

Arıtılmış suyun yeniden kullanımı, tesis çıkışında su bulunmasından daha kapsamlıdır. Kullanıcıya uygun kalite, depolama, iletim ve sürekli talep bağlantısı gerekir. Kullanım noktasına uzaklık pompaj ve boru maliyetini belirler. Sanayi, sulama ve kentsel kullanım aynı kalite gereksinimine sahip değildir.

Dünya Bankası'nın yeniden kullanım değerlendirmesi, atık suyun kullanım noktasına yakın olduğu kentsel ve endüstriyel alanlarda ekonomik ilişkinin daha güçlü olduğunu belirtmektedir. Bu ilişki tesis çıkışı ile alıcı talebinin birlikte planlanmasına dayanır.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Kalite	Kullanım amacına uygunluk	İleri arıtma ihtiyacı
Talep	Miktar ve süreklilik	Satılabilir veya kullanılabilir hacim
İletim	Uzaklık ve kot	Pompaj ve yatırım maliyeti
Depolama	Üretim talep farkı	Saatlik veya mevsimsel denge
Ayrı şebeke	Bağlantı ve işletme	İçme suyu sistemiyle karışmayı önler

Bir geri kazanım tesisi 7.000 m³/gün kapasiteye sahip olduğunda günlük kullanım aynı değere otomatik ulaşmaz. Örnek olarak alıcı talebi 4.000 m³/günse ve ek kullanıcı yoksa kullanılabilen hacim talep sınırıyla karşılaşır. Depolama kısa süreli farkı yönetir, kalıcı talep eksikliğini gidermez. Hesap açıklayıcıdır ve Türkiye'deki bir tesise ait fiilî kullanım verisi değildir. Geri kazanımın sonucu üretilen, iletilen ve kullanılan su ayrı ölçüldüğünde doğrulanır.

Yeniden kullanımda kaynağın sürekliliği ile kullanıcının talep profili farklı olabilir. Sanayinin vardiya düzeni ve sulamanın mevsimi arıtma üretimiyle tam örtüşmeyebilir. Depolama saatlik farkı yönetebilir; uzun dönem talep açığı daha büyük hacim ve farklı işletme gerektirir. Net ekonomik sonuç iletim mesafesi, enerji ve ilave kalite giderini içerir. İleri arıtılan her metreküpün aynı bedelle kullanıldığı varsayılmaz. Kullanılabilir su, üretimden talebe uzanan zincirin bütününde ölçülür.

Kaynak ve kapsam: Dünya Bankası Scaling Water Reuse A Tipping Point for Municipal and Industrial Use (Erişim 1 Ekim 2026)

3.5 Çamur Yönetimi ve Enerji Geri Kazanımı

Arıtmanın katı yan ürünü olan çamur, su giderimi, stabilizasyon, depolama ve nihai kullanım veya bertaraf zinciri gerektirir. Yaş çamur tonajı kuru madde miktarından farklıdır. Nakliye miktarındaki düşüş, kuru madde azalması değil suyun uzaklaştırılması sonucu olabilir.

Anaerobik çürütme biyogaz üretimini sağlar; enerji sonucu çamur niteliği, organik yük, proses ve gaz kullanım sistemine bağlıdır. Tesisin enerji ihtiyacı ile geri kazanılan enerji aynı birimde karşılaştırılır. Brüt üretim ve net kullanılabilir enerji ayrı gösterilir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Kuru madde	Ton KM/gün	Gerçek katı yük
Su giderimi	Katı oranı	Nakliye miktarını değiştirir
Stabilizasyon	Organik yük ve koşul	Çamur niteliği
Biyogaz	Hacim ve metan oranı	Enerji potansiyeli
Net enerji	Üretim eksi yardımcı yük	Gerçek işletme katkısı

Açıklayıcı bilançoda 10 ton/gün kuru madde yüzde 20 katı içerikle 50 ton/gün yaş çamura karşılık gelir. Katı içerik yüzde 25 olduğunda aynı kuru yük 40 ton/gün yaş çamurdur. Nakliye miktarı yüzde 20 düşer; kuru madde yükü değişmez. Bu sonuç, çamur üretiminin azaldığı biçiminde yorumlanamaz. Dünya Bankası'nın atık sudan kaynak geri kazanımı yaklaşımı su, enerji ve malzeme sonuçlarını ayrı ele alır.

Çamurdan enerji üretiminde gaz hacmi tek başına enerji miktarı değildir. Metan oranı, nem, arıtma ve ekipman verimi kullanılabilir enerjiyi değiştirir. Kojenerasyonda elektrik ve ısı ayrı çıktılardır; ısının kullanıcıya ulaşmaması hâlinde toplam enerji üretimi tam faydaya dönüşmez. Süreç kendi enerji tüketimini de taşır. Net kazanım bu tüketim düşüldükten sonra belirlenir. Aynı enerji birden fazla tasarruf kaleminde sayılmadığında gerçek işletme katkısı görünür olur.

Kaynak ve kapsam: Dünya Bankası Water in Circular Economy and Resilience (2021)

3.6 Uygulama Örnekleri ve Teknik Sonuç

Dünya Bankası'nın WICER portföyünde Nagpur örneği arıtılmış suyun termik tesis soğutmasında kullanımıyla; Lingyuan örneği endüstriyel kullanımla yer almaktadır. Bu uygulamalar arıtma tesisinin kullanıcı bağlantısıyla birlikte değerlendirildiğini göstermektedir. Yerel koşullar ve kullanım amacı farklıdır.

Atık su sisteminin hizmet sonucu toplama kapsamı, uygun arıtma ve güvenli nihai yönetimle belirlenir. Yeniden kullanım bulunan sistemlerde gerçek kullanım ayrıca değerlendirilir. Bunların hiçbiri diğerinin yerine kullanılamaz. Çıkış suyu niteliği kabul edilmeden geri kazanılan hacim hizmet başarısı olarak değerlendirilmez.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Toplama sorunu	Şebeke veya bağlantı	Kolektör ve terfi iyileştirmesi
Hidrolik pik	Yabancı su ve yağış	Ayrıştırma ve dengeleme
Proses yükü	Kirlilik ve sıcaklık	Proses veya kapasite çözümü
Kullanıcı uzaklığı	İletim ve enerji	Alıcıya uygun hat
Çamur maliyeti	Kuru yük ve yaş tonaj	Su giderimi ve kaynak geri kazanımı

Bölümün sonucu, debi ve kirletici yükün ayrı değerlendirilmesidir. Tesis genişletmesi her performans sorununun karşılığı değildir. Yeniden kullanım yalnızca ileri arıtmadan oluşmaz; alıcı talebi ve bağlantı altyapısı belirleyicidir. Çamur ve enerji kazanımları net bilanço üzerinden doğrulanır. Sonraki Türkiye bölümünde proje kapsamı ile ölçülmüş tesis sonucu ayrılmaktadır.

Arıtma çözümünün ekonomik değeri kullanıcı bağlantısı ve deşarj koşuluyla ilişkilidir. Yeniden kullanılan hacim arttığında deşarj azalabilir; çevresel sonuç alıcı ortamın akım ve kalite koşuluna bağlıdır. Aynı hacim başka yerde farklı etki oluşturur. Arıtma kapsamı, enerji üretimi ve kaynak suyu ikamesi birbirinden ayrı raporlanır. Ölçülmüş sonuçların eksik olduğu durumda yatırım kapsamı açıklanır; hedeflenen fayda gerçekleşmiş sonuç olarak sunulmaz.

Kaynak ve kapsam: Dünya Bankası WICER Case Studies (Çeşitli tarihler)

4 Yağmur Suyu Drenaj ve Taşkın Kontrolü

4.1 Kentleşme ve Yüzey Akışının Değişimi

Yağmur suyu altyapısının yükü yağış şiddeti, havza alanı ve yüzey özellikleriyle belirlenir. Yapılaşma, aynı yağış altında akışın miktarını ve oluşma süresini değiştirir. Mevcut bir borunun geçmiş tasarım koşullarında yeterli olması, değişen havza için aynı yeterliliği garanti etmez.

Taşkın noktası ile yetersiz bileşenin yeri aynı olmayabilir. Yüzeyde görülen su birikimi mazgal tıkanması, ana hat kapasitesi veya çıkıştaki geri su etkisinden doğabilir. Yerel boru büyütmesi bu farklı nedenleri tek başına çözmez.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Yağış şiddeti	mm/saat	Pik akış girdisi
Geçirimsiz alan	Havza yüzeyi	Akış katsayısını etkiler
Toplanma süresi	Havza geometrisi	Pik zamanını değiştirir
Mazgal	Giriş kapasitesi	Yüzey suyunu şebekeye aktarır
Çıkış seviyesi	Dere veya alıcı ortam	Geri su etkisini belirler

Açıklayıcı rasyonel hesapta 10 hektar havza, 50 mm/saat yağış ve 0,50 akış katsayısıyla pik debi yaklaşık 0,694 m^3/s olur. Katsayı 0,80'e çıktığında değer 1,111 m^3/s'tir. Artış yüzde 60'tır. Bu hesap küçük havza için basitleştirilmiş örnektir; yağış süresi ve toplanma süresi uyumu gerektirir. Gerçek kent sisteminde depolama, şebeke etkileşimi ve geri su dinamik modelle incelenir.

Yağışın zamansal dağılımı aynı toplam hacimde farklı pik oluşturabilir. Kısa ve yoğun bir olay, uzun ve daha düşük şiddetli olaydan farklı şebeke yükü taşır. Bu nedenle günlük yağış toplamı tek başına altgeçit veya boru tasarımını açıklamaz. Havzanın toplama süresi ve suyun yüzeye çıkış noktaları modelin parçalarıdır. Değişen yapılaşma, yalnızca akış miktarını değil güzergâhını da değiştirebilir. Kayıtlı baskın noktası, yukarıdaki havza ve aşağıdaki çıkışla birlikte incelenir.

Kaynak ve kapsam: OECD Infrastructure for a Climate Resilient Future (2024)

4.2 Şebeke Kapasitesi ve Giriş Yapıları

Yağmur suyu hattında taşıma kapasitesi boru çapı, eğim, pürüzlülük ve doluluk koşuluyla belirlenir. Giriş kapasitesi ise mazgal yerleşimi ve yüzey akışına bağlıdır. Ana boru yeterli olduğu hâlde mazgala ulaşamayan su yüzeyde birikebilir.

Bakım durumu ile tasarım kapasitesi ayrı değerlendirilir. Sediment ve atık birikimi kesiti azaltır. Bu nedenle temiz durumdaki kapasite ve mevcut durum kapasitesi aynı değildir. Tekrarlayan su baskını için önce tıkanma, dar kesit ve çıkış koşulu ayrıştırılır.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Boru kesiti	İç çap ve doluluk	Taşıma kapasitesi
Eğim	Boyuna kot farkı	Akış hızı
Pürüzlülük	Malzeme ve birikim	Enerji kaybı
Mazgal aralığı	Yüzey akışı	Şebekeye giriş
Sediment	Kesit daralması	Bakım kaynaklı kapasite düşüşü

Temizlik bir işletme müdahalesidir; yeni hat yapımı kapasite yatırımıdır. İki işin sonucu aynı göstergeyle kaydedilmez. Temizlik sonrası kesitin geri kazanılması, tasarımın güncel havza için yeterli olduğunu ayrıca kanıtlamaz. Hat büyütme de alıcı ortamda su seviyesi yükseliyorsa serbest akış sağlamayabilir. Çözümün etkisi yüzey ve şebeke birlikte değerlendirildiğinde belirlenir. Saha ölçümü bulunmayan yerde tıkanmanın taşkına katkısı için yüzde üretilmez.

Şebeke kapasitesinin mevcut durum hesabında birikim ve pürüzlülük aynı şey değildir. Birikim kesiti daraltırken yüzey durumu enerji kaybını değiştirir. Mazgal üstünde park veya fiziksel engel bulunması giriş hizmetini sınırlar. Ana hattın büyütülmesi bu engeli gidermez. Temizlik sonrası ölçüm, bakımın gerçek kapasite katkısını ortaya koyar. Tıkanmanın tekrar sıklığı işletme yükü ve sediment kaynağıyla ilişkilidir. Bakım erişimi çözümün sürdürülebilirliğinin teknik koşuludur.

4.3 Dere Menfez ve Köprü Geçişleri

Akarsu geçişlerinde açıklık, taban kotu, yaklaşım akışı ve sürüklenen malzeme taşkın performansını belirler. Yapının yalnızca geometrik alanı yeterli değildir. Giriş kaybı, geri su ve birikim koşulları kapasiteyi etkiler. Köprü ayağı çevresindeki oyulma hidrolik kapasiteden ayrı bir yapısal risktir. Debi geçişinin sağlanması, temel güvenliğinin yeterli olduğunu kanıtlamaz. Dere ıslahında hız artışı aşağı kesimde erozyon veya yük aktarımı oluşturabilir; müdahale bütün akış güzergâhıyla değerlendirilir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Menfez açıklığı	Akım ve giriş kontrolü	Geçiş kapasitesi
Köprü ayağı	Akış daralması	Yerel oyulma
Sürüklene malzeme	Dal ve sediment	Tıkanma riski
Aşağı kesim	Alıcı su seviyesi	Geri su
Dere kaplaması	Hız ve pürüzlülük	Erozyon ve enerji ilişkisi

Geçiş rehabilitasyonu, yalnızca daha büyük kesit açılmasından oluşmaz. Akış güzergâhı, temel durumu, giriş ve çıkış koruması aynı teknik çözümün parçalarıdır. Sürüklenen malzeme için yapılan düzenleme, düzenli temizlik ve erişim olmadan farklı bir daralma noktası oluşturabilir. Köprü ve menfez performansına ilişkin kesin hüküm, hidrolik analiz ile yapısal incelemenin birlikte bulunduğu durumda kurulur. Genel afet verisi tek bir yapının yeterliliğinin kanıtı değildir.

Taşkın geçişinde yukarı kesimdeki su seviyesinin düşmesi aşağı kesimdeki riskin de azaldığını otomatik göstermez. Akış daha hızlı taşınabilir ve farklı bir noktada birleşebilir. Menfez genişletmesinin bütün güzergâhtaki etkisi akım profiliyle değerlendirilir. Sürüklenen ağaç veya sediment için fiziki açıklık, taşınan malzemeye göre farklı davranır. Yapısal temel koşulu ayrı korunur. Hidrolik yeterlilik ve oyulma güvenliği aynı başlık altında kaybolmadığında çözümün kapsamı doğru belirlenir.

Kaynak ve kapsam: OECD Infrastructure for a Climate Resilient Future (2024)

4.4 Depolama ve Yüzeyde Güvenli Akış

Yağmur suyu depolaması pik debiyi zamana yayar. Toplam hacim ve kontrollü çıkış birlikte belirleyicidir. Depo hacmi, yağış hacminin tamamı değil giriş ve çıkış farkının zaman integralidir. Başlangıç doluluğu etkin kapasiteyi değiştirir.

Geçirgen yüzey ve infiltrasyon çözümleri zemin ve yer altı suyu koşullarına bağlıdır. Kirlenmiş alanlarda infiltrasyon farklı çevresel sonuçlar oluşturabilir. Yüzey akış yolları, şebeke kapasitesinin aşıldığı durumda suyun kritik tesislere ulaşmasını sınırlayan ayrı bir bileşendir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Geciktirme havuzu	Giriş çıkış farkı	Pik debinin düşürülmesi
Başlangıç doluluğu	Boş hacim	Etkin depolama
Çıkış kontrolü	Debi eğrisi	Aşağı sistem yükü
İnfiltrasyon	Zemin ve su seviyesi	Yerel uygunluk
Yüzey güzergâhı	Kot ve açıklık	Aşım akışının yönü

Varsayımsal bir olayda 30 dakika boyunca giriş 2,0 m^3/s, çıkış 0,8 m^3/s ve başlangıçta boş depolama kabul edildiğinde gerekli hacim 2.160 m^3 olur. Değişken debiler için hidrograf kullanılır. Bu sabit debi örneği tasarım projesi değildir. Depo inşa edilmesi her yağışta taşkının ortadan kalkacağı anlamına gelmez; tasarım olayı, çıkış sınırı ve aşım güzergâhı birlikte değerlendirilir.

Depolama yapılarında boşalma süresi ardışık yağışların karşılanmasını etkiler. İlk olaydan sonra havuz dolu kalırsa ikinci olay için nominal hacim bulunmaz. Başlangıç koşulu bu nedenle tasarımın bir girdisidir. İnfiltrasyon kapasitesi zemin doygunluğu ve bakım durumuyla değişir. Yeşil altyapı ile borulu sistemin ortak sonucu, farklı koşullarda ölçülen giriş ve çıkış hidrografıyla belirlenir. Tek bir nominal hacim bütün olaylar için aynı azaltım oranı üretmez.

4.5 Kritik Tesislerde Drenaj ve Hizmet Sürekliliği

Alt geçit, hastane erişimi, pompa merkezi ve enerji tesisi drenajında hizmet kaybının etkisi yüksektir. Yer çekimiyle boşaltma olanağı bulunmayan düşük kotlarda pompa kullanılabilirliği ve enerji beslemesi belirleyici olur.

Pompa sayısı tek başına güvenilirliği göstermez. Ortak enerji kaynağı, tıkalı giriş veya yetersiz hacim bütün pompaları aynı anda etkileyebilir. Yağış sırasında çalışabilir kapasite, test kaydı ve alarm süresiyle birlikte incelenir. Geri tepme ve çevreden gelen yüzey suyu ayrıca değerlendirilir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Düşük kot	Yer çekimi çıkışı yok	Pompaj bağımlılığı
Yedek enerji	Kritik yük	Ortak elektrik arızasını sınırlar
Islak kuyu	Kullanılabilir hacim	Devreye girme süresi
Alarm	Seviye ve arıza	Müdahale gecikmesi
Yüzey bağlantısı	Çevre kotları	Ek su girişini belirler

Drenaj çözümünün hizmet sonucu yalnızca pompa debisiyle ölçülmez. Sistemin taşkın sırasında erişilebilir kalması, enerji devamlılığı ve devreye girme süresi aynı sonuçta rol oynar. Giriş debisinin pompa kapasitesini aşması hâlinde depolama farkı süreli biçimde karşılar. Kritik tesisteki güvenlik sonucu, olay koşullarıyla birlikte raporlanır. Varsayımsal kapasiteyi gerçekleşmiş taşkın başarısı olarak sunmak teknik olarak geçersizdir.

Kritik tesiste pompa yedeği çalışırken girişin atıkla kapanması ortak arıza oluşturabilir. Benzer biçimde enerji yedeğinin devreye girme süresi, kullanılabilir kuyu hacminin toleransından uzun olabilir. Bu ilişkiler ekipman gücü ve adetinden farklıdır. Taşkın sırasında müdahale erişimi de sistemi etkiler. Teknik çözüm, giriş koruması, pompa, enerji ve kontrolü birlikte değerlendirir. Bütün yedeklerin test edilmiş olması gerçek kullanılabilirliğin kanıtıdır; yalnızca satın alma ve montaj kaydı değildir.

4.6 Çözüm Seçenekleri ve Bölüm Sonucu

Drenaj çözümleri; bakım, şebeke artırımı, akarsu geçişi rehabilitasyonu, depolama ve yüzey düzenlemesi olarak ayrılır. Her seçeneğin kapasite ve hizmet karşılığı farklıdır. OECD'nin iklim dayanıklılığı incelemesi, mevcut ve yeni altyapının yaşam döngüsü boyunca değişen tehlikelere uyarlanmasını ele almaktadır.
Kesin performans sonucu, belirli yağış ve başlangıç koşulu altında ölçülür veya modellenir. Bir olayda baskın yaşanmaması bütün olası olaylar için yeterlilik kanıtı değildir. Aşım koşullarındaki hizmet kaybı da değerlendirmeye dâhildir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Tıkanma	Temizlik ve erişim	Mevcut kesiti geri kazandırır
Dar hat	Hat artırımı	Taşıma kapasitesi yükselir
Pik debi	Geciktirme	Akış zamana yayılır
Geri su	Çıkış düzenlemesi	Alıcı koşuluna bağlıdır
Yüzey baskını	Kot ve akış güzergâhı	Kritik alana erişim azalır

Bölümün sonucu, yağmur suyu sorununun tek bir boru hesabına indirgenememesidir. Havza, giriş, şebeke, alıcı ortam ve yüzey güzergâhı birlikte çalışır. Yeni yatırım ile bakım kaynaklı kapasite geri kazanımı ayrı gösterilir. Teknik çözümün sonucu, kullanılan tasarım olayı ve sınır koşullarıyla birlikte geçerlidir.
Drenaj maliyetinin karşılığı, hangi tasarım olayında hangi hizmeti koruduğuna göre belirlenir. Küçük olayları yönetmek ile büyük olaylarda kritik işlevleri sürdürmek farklı hedeflerdir. Çözüm sonuçlarının aynı hizmet eşiğiyle karşılaştırılması gerekir. Boru büyütme, depolama ve yüzey yolu seçenekleri farklı alan ve bakım yükü taşır. Bu rapor seçeneklerin fiziksel ilişkisini gösterir. Olay olasılığı ve zarar verisi bulunmadığında net ekonomik fayda veya zarar azaltımı yüzdesi hesaplanmamıştır.
Kaynak ve kapsam: OECD Infrastructure for a Climate Resilient Future (2024)

5 Barajlar Göletler Sulama ve Su İletim Yapıları

5.1 Depolama Hacmi ve Kullanılabilir Su

Barajın toplam hacmi, işletmede kullanılabilir su miktarıyla aynı değildir. Ölü hacim, sediment, su alma kotu ve çevresel koşullar kullanılabilir bölümü belirler. Rezervuar doluluğu tek bir tarih için durumu gösterir; uzun dönem hizmet güvenilirliği değildir.

Sulama, içme suyu, enerji ve taşkın amaçları aynı rezervuarda farklı işletme hedefleri oluşturur. Tahsis ve zamanlama bu hedeflerin karşılanmasını belirler. Havza akımı ile talep birlikte incelenmeden yalnızca yeni depolama hacmi hizmet yeterliliğine dönüştürülemez.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Toplam hacim	Geometrik kapasite	Kullanılabilir hacimden farklıdır
Aktif hacim	İşletme kotları	Hizmete sunulan depolama
Sediment	Zamanla birikim	Hacim ve giriş koşulu değişir
Akım	Mevsimsel ve yıllık	Yenilenme girdisi
Tahsis	Kullanım amaçları	Hizmet dağılımı

Açıklayıcı rezervuar hesabında sediment birikimi öncesi toplam hacim 100 milyon m^3, ölü hacim 15 milyon m^3 ve yalnızca aktif hacimdeki sediment kaybı 5 milyon m^3 kabul edilmiştir. Kalan aktif kapasite 80 milyon m^3 olur. Ölü hacimde biriken sediment ayrıca düşülmez. Fiilen çekilebilir miktar doluluk ve işletme kotuyla sınırlanır. Bu örnek baraj ölçümü değildir; kapasite, mevcut su stoku ve dönem akımı ayrı büyüklüklerdir.

Rezervuarın doluluk oranı geçmişteki aynı tarih değerleriyle karşılaştırıldığında mevsimsel durumu gösterir. Farklı aylardaki iki oran doğrudan kuraklık eğilimi değildir. Yıl içi boşalma ve dolma işletme programının parçası olabilir. Hacim kaybı sediment ölçümüne dayanır; yalnızca baraj yaşından hesaplanmaz. Birden fazla kullanım amacı aynı aktif hacmi paylaşır. Ayrılmış hacimler toplamda iki kez sayılmadığında depolamanın gerçek hizmet kapasitesi belirlenir.

Kaynak ve kapsam: FAO AQUASTAT Su kaynakları sulama ve drenaj veritabanı (Göstergeye göre değişir)

5.2 Gövde ve Yardımcı Yapıların Teknik Durumu

Baraj ve göletlerde gövde, temel, dolusavak, dipsavak ve su alma yapıları farklı teknik işlevler taşır. Kullanılabilir hacmin bulunması, bu bileşenlerin tümünün yeterli olduğu anlamına gelmez. Yapısal ve geoteknik izleme rezervuar işletmesiyle birlikte değerlendirilir.

Sızıntı debisi, gövde hareketi ve boşluk suyu basıncı tek başına bir güvenlik hükmü değildir. Ölçümlerin eğilimi, rezervuar seviyesi ve tasarım koşulu belirleyicidir. Ani değişim ile mevsimsel davranış ayrı incelenir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Gövde hareketi	Zaman ve kot ilişkisi	Deformasyon değerlendirmesi
Sızıntı	Debi ve bulanıklık	İç erozyon incelemesi
Piezometre	Basınç ve seviye	Temel ve gövde davranışı
Dolusavak	Debi ve enerji kırma	Taşkın boşaltma
Kapak ekipmanı	Açılma ve test	İşletme kullanılabilirliği

Yardımcı yapı rehabilitasyonu, gövde güvenliği veya kapasite artırımıyla aynı müdahale değildir. Kapak yenilemesi boşaltma sisteminin çalışabilirliğini geliştirir; tasarım taşkınının mevcut açıklıkla karşılanması ayrı hidrolik konudur. Dipsavak, enerji beslemesi ve kumanda sisteminin birlikte denenmesi boşaltma zincirindeki arızayı belirler. Gövde ve temel değerlendirmesi ise ayrı geoteknik ve yapısal incelemeye dayanır.

İzleme sisteminde ölçüm cihazının çalışabilirliği de kanıtın parçasıdır. Eksik veri, hareket bulunmadığını göstermez. Rezervuar seviyesi ile gözlem arasındaki ilişki ve uzun dönem eğilim fiziksel davranışı açıklar. Kapak ve mekanik ekipman testleri farklı işletme konusudur. Bir yapının muayene günü uygun bulunması, gelecekteki bütün olaylar için değişmez sonuç değildir. Rehabilitasyon, izleme bulgusu ve ilgili tasarım yüküne göre değerlendirilir. Yayımlanmayan güvenlik sınıfı raporda varsayılmaz.

Teknik Kapsam: Gövde, temel, kapak ve boşaltma sistemlerinin ayrı değerlendirilmesi. Bu alt bölüm belirli bir barajın saha muayenesini veya güvenlik sınıfını bildirmemektedir.

5.3 Sulama Şebekelerinde Hizmet ve İletim Verimi

Sulama altyapısı, suyun kaynaktan parsel girişine kadar taşınmasını sağlar. Açık kanal ve basınçlı boru sistemleri farklı hidrolik ve işletme koşullarına sahiptir. İletilen su, fiilen sulanan alan ve bitkinin tükettiği su ayrı büyüklüklerdir.

FAO modernizasyon yaklaşımı teknik yenilemeyi su teslim hizmeti ve yönetimle birlikte ele almaktadır. Boruya dönüşüm tek başına bütün işletme sorunlarını gidermez. Talep zamanlaması, ölçüm, vana düzeni ve tarla içi sistem uyumu kullanılabilirliği belirler.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Ana kanal	Kaynak ve taşıma	Şebeke giriş hacmi
Dağıtım hattı	Parsel bağlantısı	Teslim miktarı
İletim verimi	Çıkış / giriş	Şebeke kaybı göstergesi
Sulanan alan	Hektar ve dönem	Fiili hizmet kapsamı
Bitki tüketimi	Evapotranspirasyon	Havza tüketiminden ayrı izlenir

Açıklayıcı bir şebekede giriş 10 milyon m^3, parsel teslimi 7 milyon m^3 ise iletim verimi yüzde 70'tir. Aynı teslimi yüzde 85 verimle sağlamak için giriş yaklaşık 8,24 milyon m^3 olur. Çekim farkı 1,76 milyon m^3'tür. Bu fark havza tüketimi tasarrufuyla aynı değildir; önceki sızıntının yer altı suyuna veya aşağı kullanıma dönmesi mümkündür. Havza bilançosu bilinmeden tamamı net tasarruf sayılmaz.

Tarımsal su verimliliğinde ekonomik üretim başına su, iletim verimi ve bitki tüketimi aynı ölçü değildir. Ürün deseni değişince aynı suyla farklı ekonomik sonuç oluşabilir. Sulanan alan artışı toplam çekimi yükseltebilir. Bu yüzden modernizasyonla düşen birim ihtiyaç, toplam havza tüketimini otomatik azaltmaz. Teslimin ölçülmesi ve parsel uygulaması beraber izlenir. Proje gerçekleşmesi boru kilometresiyle, hizmet sonucu teslim ve zamanlamayla, havza etkisi ise su bilançosuyla gösterilir.

Kaynak ve kapsam: FAO Modernizing irrigation water management (Teknik referans)

5.4 Pompaj Regülatör ve İletim Tünelleri

Sulama pompajında enerji kullanımı debi ve yükseklikle belirlenir. Su talebi dönem içinde değiştiğinde sabit işletme düzeni verimsiz çalışma noktaları oluşturabilir. Regülatör ve su alma yapıları ise gelen suyun kontrolünü ve iletim sistemine girişini belirler.

İletim tünellerinde jeoloji, kaplama, sızma ve hidrolik koşullar birlikte incelenir. Tünelin fiziksel uzunluğu güvenilir iletim kapasitesinin ölçüsü değildir. Bakım erişimi ve devre dışı kalmanın hizmete etkisi varlık durumunun parçasıdır.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Pompa	Debi yük verim	Birim enerji tüketimi
Regülatör	Akım kontrolü	Su dağıtım koşulu
Izgara	Sediment ve atık	Giriş kaybı
Tünel kaplaması	Durum ve geçirgenlik	İletim güvenilirliği
Vana	İzolasyon ve kontrol	Bakım alanının ayrılması

Modernizasyonun enerji sonucu aynı teslim hizmeti üzerinden karşılaştırılır. Daha fazla alana su verilen bir sistemin toplam enerjisi artsa da birim hizmet enerjisi düşebilir. Buna karşılık tüketim düşüşü yalnızca daha az su tesliminden kaynaklanıyorsa verimlilik kazanımı değildir. Tünel rehabilitasyonu ve pompaj yenilemesi aynı projede bulunabilir; sonuçlar ayrı ölçülür. Yapım bedeliyle birlikte işletme gideri ve bakım kesintisinin süresi değerlendirmeye dâhildir.

Sulama pompalarının sezon dışı duruşu kullanılabilirlik kaybı değildir; hizmet gereksiniminin bulunmadığı dönem olabilir. Arıza süresi, ihtiyaç duyulan çalışma dönemine göre değerlendirilir. Yeni pompa veya güneş üretimi toplam enerji alımını değiştirir; su teslimi de değişmişse nedenler ayrılır. Regülatörlerde kontrol hassasiyeti, dağıtım eşitliği ve sediment işletmesi farklı göstergelerdir. İletim tüneli bakımının süresi, alternatif akış bulunmasına göre hizmete farklı etki oluşturur.

5.5 Tarımsal Drenaj ve Toprak Koşulları

Sulama modernizasyonu drenajdan bağımsız değildir. Yüksek taban suyu ve tuzluluk, teslim edilen suyun üretim sonucunu etkiler. Drenaj şebekesi fazla suyun kontrollü uzaklaştırılmasını sağlar; çıkış seviyesinin yüksek olması hattın çalışmasını sınırlar.

Toprağın geçirgenliği ve sulama uygulaması drenaj yükünü belirler. Açık drenler ve kapalı dren boruları farklı bakım ihtiyaçları taşır. Tıkanma, sediment ve bitki gelişimi kapasiteyi azaltır. Tuzlu drenaj suyunun alıcı ortama etkisi ayrı çevresel değerlendirme konusudur.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Taban suyu	Seviye ve dönem	Kök bölgesi koşulları
Tuzluluk	Toprak ve su	Üretim sınırlaması
Dren aralığı	Zemin geçirgenliği	Toplama etkinliği
Çıkış kotu	Alıcı seviye	Yer çekimiyle boşaltma
Bakım	Sediment ve tıkanma	Kullanılabilir kesit

Basınçlı sulamaya geçiş, önceki fazla uygulamayı azaltabilir; ancak mevcut tuzluluk ve taban suyu sorununu otomatik olarak çözmez. Drenaj performansı seviye, tahliye hacmi ve kalite göstergeleriyle incelenir. Proje alanı ile sorunlu alanın oranı saha verisi gerektirir. Böyle bir kayıt bulunmadığında ülke genelinde drenaj yetersizliği yüzdesi verilmez. Sulama ve drenajın birlikte değerlendirilmesi, yatırımı yalnızca boru uzunluğuyla tanımlamaktan çıkarır.

Drenaj suyunun çıkış kalitesi ve miktarı, sulama kaynaklarından bağımsız değildir. Fazla uygulama drenaj yükünü büyütebilir. Su uygulaması azalınca tahliye hacmi düşebilir; toprak tuzluluğu aynı dönemde ayrıca izlenir. Yer altı suyu seviyesi mevsim ve yağışla değişir. Bu nedenle tek gözlemden kalıcı iyileşme sonucu çıkarılmaz. Drenaj rehabilitasyonunun hizmet katkısı birden fazla dönem ve uygun referansla karşılaştırıldığında anlaşılır. Fiziksel yapım ile toprak koşulunun iyileşmesi ayrı sonuçtur.

Kaynak ve kapsam: FAO AQUASTAT Su kaynakları sulama ve drenaj veritabanı (Göstergeye göre değişir)

5.6 Modernizasyon Uygulaması ve Sonuç

Sulama modernizasyonunda yapım sonucu, işletmeye alınan hat ve kullanıcıya teslim edilen suyla ilişkilidir. Boru yenilemesi sızıntı yolunu değiştirebilir; basınç kontrolü, dağıtım düzeni ve parsel bağlantısı teslim koşullarını belirler. Türkiye uygulamasının gerçekleşme miktarları ve ölçüm tarihleri 11.3'te birlikte verilmektedir. Bu bölümün inceleme düzeyi, modernizasyonun fiziksel uygulamadan hizmete geçişidir.
Modernizasyon sonucu; teslimin miktarı ve zamanlaması, şebeke kaybı, pompaj enerjisi ve üretim koşullarıyla değerlendirilir. Yeni sulamaya açılan alan ile mevcut alanın hizmet iyileştirmesi farklı sonuçlardır.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Yenilenen şebeke	Modernize edilen hat uzunluğu	Proje uygulama göstergesi
Su teslimi	Hacim ve zaman	Hizmet sonucu
İletim kaybı	Bilanço	Şebeke teknik performansı
Enerji	kWh/m³ ve yük	Pompaj sonucu
Drenaj	Seviye ve tahliye	Toprak koşullarının karşılığı

Bölümün sonucu, su depolama ve sulama altyapısının birbirinden farklı kapasite sınırları taşımasıdır. Büyük rezervuar her noktada yeterli teslim anlamına gelmez. Kanal veya boru yenilemesi, yönetim ve tarla içi uyumla birlikte hizmete dönüşür. Çekim azalması, havza tüketimi azalmasıyla otomatik eşitlenmez. Türkiye örneğinin uygulama ayrıntıları 11. bölümde, gösterge tarihleri ve proje hedefleri ayrılarak incelenmektedir.
Şebeke modernizasyonu tamamlanan alanlarda hizmetin fiilen başlaması sulama sezonuyla ilişkili olabilir. Geçici kabul tarihi ile ilk tam sezon performansı farklı kayıtlardır. Alan hedefinin karşılanması, belirtilen su tasarrufunun gerçekleştiğini tek başına kanıtlamaz. Finansman kullanımı da fiziksel ilerlemeden farklıdır. Aynı raporda yer alan bütçe oranı ve boru uzunluğu oranı birbirinin yerine kullanılamaz. Sonuçların sütun, ölçüm tarihi ve hedef dönemiyle sunulması yanlış kesinliği önler.
Kaynak ve Kapsam: Dünya Bankası Türkiye Irrigation Modernization P158418 Implementation Status and Results Report (18 Eylül 2026)

6 Karayolları Köprüler Viyadükler ve Tüneller

6.1 Yol Kapasitesi ve Bağlantı Darboğazları

Karayolu kapasitesi şerit sayısının yanında geometrik yapı, ağır taşıt oranı, kavşak ve işletme koşuluyla belirlenir. Aynı fiziksel kesit farklı trafik bileşiminde farklı hizmet düzeyi sunar. Pik saat ve günlük ortalama trafik aynı gösterge değildir.

Bağlantı noktasındaki daralma ana yolun boş kapasitesini kullanılamaz hâle getirebilir. Bir kesimin genişletilmesi darboğazı sonraki kavşağa taşıyabilir. Sistem performansı güzergâh ve bağlantılar birlikte incelendiğinde anlaşılır.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Şerit	Geometri ve genişlik	Fiziksel kapasite
Trafik bileşimi	Ağır taşıt payı	İşletme yükü
Kavşak	Giriş ve çıkış akımı	Bağlantı sınırı
Pik saat	Zamansal yoğunluk	Kuyruk ve gecikme
Alternatif yol	Erişim ve kapasite	Kesinti sırasında süreklilik

Açıklayıcı bir güzergâhta ana kesit saatte 3.000 araç, çıkış kavşağı 2.000 araç karşılıyorsa ana kesitin boş kapasitesi çıkış darboğazını ortadan kaldırmaz. Talep 2.400 araç/saat olduğunda kavşak önünde birikim oluşur; hız ve gecikme ayrı modellenir. Bu basitleştirilmiş örnek bir kent ölçümü değildir. Kapasite müdahalesinin doğru yeri ağın sınırlayıcı bileşeniyle belirlenir.

Trafik talebi farklı yön ve saatlere dağılır. Günlük toplamın iki yöne eşit bölünmesi pik yön kapasitesini yanlış gösterebilir. Kavşak dönüş oranları ve ağır taşıtların hareketi darboğazın niteliğini değiştirir. Çalışma alanları da geçici kapasite oluşturur. Güzergâhın hizmeti seyahat süresi dağılımıyla değerlendirilir; ortalama süre güvenilirliğin tamamı değildir. Fiziksel genişletme sonrası bağlantı sınırı sürüyorsa ölçülen kullanıcı kazancı teorik kesit artışından düşük olabilir.

6.2 Üstyapı Drenaj ve Şevlerin Fiziksel Durumu

Yol üstyapısında çatlak, tekerlek izi ve yüzey bozulması farklı hasar türleridir. Yüzey yenilemesi taşıma tabakalarındaki yapısal sorunu her durumda çözmez. Ağır taşıt yükü, sıcaklık, su ve bakım geçmişi fiziksel durumla ilişkilidir.

Drenajın çalışmaması yolun alt tabakalarını ve şevlerini etkileyebilir. Aynı güzergâhta kaplama, hendek, menfez ve istinat yapısı birlikte hizmet verir. Drenaj iyileştirmesi ile kaplama kalınlaştırması farklı sorunlara yöneliktir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Çatlak	Tür ve yayılım	Yapısal veya yüzeysel teşhis
Tekerlek izi	Derinlik ve konum	Deformasyon
Su girişi	Drenaj ve sızma	Taşıma gücü etkisi
Şev	Jeoloji ve hareket	Güzergâh güvenilirliği
İstinat	Deformasyon ve drenaj	Yapı durumu

Rehabilitasyonun sonucu yalnızca yeni kaplama alanı değildir. Düzgünsüzlük, hasar gelişimi ve bakım aralığı hizmet göstergeleridir. Su sorunu devam eden bir kesitte yüzey işi geçici iyileşme sağlayabilir; temel neden için drenaj veya zemin müdahalesi ayrı gerekir. Bu ilişkiler teknik teşhistir; belirli bir yoldaki hasarın nedenini saha kayıtları olmadan kesinleştirmez. Varlık performansı yaşam döngüsü içinde değerlendirilir.

Üstyapı ömrü için trafik sayısından çok yükün niteliği önem taşır. Ağır aks yükleri, kaplama malzemesi ve temel koşullarıyla birlikte değerlendirilir. Yüzey çatlağının gözlenmesi tek başına bütün tabakaların bozulduğunu kanıtlamaz. Tahribatsız değerlendirme ve numune farklı bilgiler üretir. Bakım geçmişi hasarın tekrar nedenini açıklar. Kaplama rehabilitasyonunun sonucu yalnızca ilk gün düzgünlüğü değildir; izleyen dönemlerdeki bozulma ve hizmet sürekliliği de performansın parçasıdır.

Kaynak ve kapsam: OECD Management of assets throughout their life cycle (2026)

6.3 Köprü ve Viyadüklerin Taşıyıcı Durumu

Köprü değerlendirmesinde tabliye, mesnet, ayak, temel ve derzler ayrı bileşenlerdir. Derz suyu ve drenaj bozukluğu taşıyıcı elemanların dayanıklılığını etkileyebilir. Görsel muayene, ayrıntılı malzeme ve yük değerlendirmesinin yerine geçmez.

Taşıyıcı kapasite mevcut malzeme durumu ve gerçek kullanım yüküyle incelenir. Bakım işi ile güçlendirme farklı sonuç taşır. Deprem davranışı, düşey trafik yükü yeterliliğinden ayrı analiz edilir. Yapının yaşı tek başına güvenlik sınıfı değildir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Tabliye	Çatlak ve malzeme	Taşıyıcı ve dayanıklılık
Mesnet	Hareket ve durum	Yük aktarımı
Derz	Açıklık ve sızma	İşletme ve su etkisi
Temel	Zemin ve oyulma	Yapısal güvenilirlik
Yük	Ağır taşıt ve deprem	Talep kapasite ilişkisi

Müdahale seçenekleri hasar giderimi, eleman yenilemesi, güçlendirme ve yeniden yapım olarak ayrılır. Aynı görünür hasar her yapıda aynı çözümü gerektirmez. Onarımın kapsamı, yük aktarımı ve malzeme durumu dikkate alınarak belirlenir. Bir köprünün trafiğe açılması, tüm teknik sonuçların kamuya yayımlandığı anlamına gelmez. Yayımlanmayan taşıyıcı kapasite puanı veya kalan ömür raporda üretilmemiştir.

Köprülerde aynı görünür çatlak farklı elemanda farklı anlam taşır. Taşıyıcı sistem ve yük aktarımı bilinmeden yüzey bulgusundan kapasite yüzdesi çıkarılamaz. Malzeme korozyonu zamanla dayanıklılığı ve kesiti etkileyebilir. Derz ve drenaj onarımı bu süreçleri sınırlar fakat mevcut kesit kaybını otomatik geri getirmez. Güçlendirme hesabı ile işletme kısıtı ayrı kaydedilir. Yapının kalan ömrü, ayrıntılı değerlendirme olmadan yaştan türetilmez.

6.4 Tünellerde Teknik Sistem ve Hizmet Sürekliliği

Karayolu tünelinin işletme performansı taşıyıcı kaplama, drenaj, havalandırma, aydınlatma, enerji ve kontrol sistemleriyle belirlenir. Fiziksel geçiş açıklığı, acil durumdaki tahliye ve müdahale koşullarını açıklamaz. Sistemler birlikte çalışır.

Sızma ve drenaj sorunu ekipman koşullarını etkiler. Bir sistemin arızası, işletme kısıtına veya geçici kapanmaya neden olabilir. Yenileme sırasında tek tüp işletmesi farklı trafik ve güvenlik koşulu oluşturur; mevcut kapasite yeni işletme düzeniyle değerlendirilir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Kaplama	Deformasyon ve çatlak	Yapısal durum
Drenaj	Sızma ve tahliye	Ekipman ve yol korunması
Havalandırma	Normal ve olay koşulu	Hava ve duman kontrolü
Enerji	Yedek ve dağıtım	Kritik sistem sürekliliği
Kontrol	Algılama ve haberleşme	İşletme tepkisi

Tünelde enerji veya kontrol yenilemesinin sonucu yalnızca kurulan cihaz sayısı değildir. Sistem testleri, devreye girme süresi ve hizmet kullanılabilirliği önem taşır. Normal işletme testi ile olay senaryosu testi farklı amaçlara sahiptir. Genel tünel uzunluğu verisi, bu sistemlerin fiziksel durumunu göstermez. Teknik yenileme sonucu, kabul koşulları ve yapılan testle birlikte geçerlidir. Sahaya ait test kayıtları bulunmadığında güvenlik iyileşmesi için sayısal oran verilmez.

Tünel teknik sisteminde testin kapsamı sonuçla birlikte belirtilir. Tek cihazın çalışması bütün senaryonun başarısı değildir. Algılama, komut, enerji ve mekanik yanıt zincirindeki süreler birleşir. Normal trafik koşulu ile olay koşulunda hava yönü ve işletme farklı olabilir. Sızma nedeniyle oluşan bakım yükü yapısal ve ekipman incelemesini beraber gerektirir. Yenileme sonrası kabul, uygulanmış teknik kapsamı doğrular; kamuya açık olmayan testlerden sayısal güvenlik kazancı çıkarılmaz.

6.5 Çalışan Ağda Bakım ve Trafik Düzeni

Yol yenilemesi, trafiğin sürdüğü ağlarda uygulama ve işletmeyi aynı anda etkiler. Şerit kapatma, karşı yönden iki yönlü geçiş veya servis yolu farklı hizmet düzenleridir. İşin tamamlanma takvimi kadar çalışma dönemindeki ulaşılabilirlik de sonuçtur.

Çalışan bir yolda yenileme sırasında kullanılan şerit ve platform düzeni geçici işletme kapasitesini belirler. Karşı platformdan trafik verilmesi erişimi sürdürebilir; birleşme noktası ve dar kesim yeni bir darboğaz oluşturabilir. Bu geçici düzen, yenilenen yapının kalıcı kapasitesiyle aynı gösterge değildir. Türkiye'deki somut köprü ve altgeçit uygulamaları 11.4'te kayıt tarihleriyle incelenmektedir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Şerit kapatma	Kullanılabilir kesit	Geçici kapasite düşüşü
Servis yolu	Alternatif güzergâh	Erişim sürekliliği
İki yönlü işletme	Karşı platform	Yeni trafik koşulu
Çalışma süresi	Gün ve saat	Maruziyet dönemi
Kabul	İşin tamamlanması	Kalıcı işletmeye dönüş

Yenilemenin hizmet maliyeti çalışma sırasında oluşan gecikme ve erişim etkisini içerir. Uygulama etapları bu etkiyi değiştirir; yalnızca yapım bedeli iki seçeneğin tüm maliyetini karşılaştırmaz. Geçici düzenin hizmet etkisi, çalışma süresi ile bu sürede taşınan trafik yüküne bağlıdır. Dar kesimin kaldırılması ve kalıcı yapının devreye alınması farklı aşamalardır.

Çalışma döneminde alternatif güzergâhın uzunluğu tek başına hizmet kaybını açıklamaz. Kavşak, yol niteliği, yük ve erişim etkileri süreyi değiştirir. Geçici trafik düzeni her kullanıcı grubunu aynı biçimde etkilemez. Hastane, üretim tesisi veya yük güzergâhı bağlantısı ayrı değerlendirilir. Etaplama, çalışma süresini uzatırken günlük kesintiyi azaltabilir. İki seçeneğin karşılaştırması uygulama takvimi ve hizmet kaybını birlikte içerir. Bildirilen yol kapanması zarar veya tasarruf tutarının ölçümü değildir.

Kaynak ve kapsam: KGM Çalışma yapılan yollar Bölge 4 (30 Eylül 2026 güncellemesi)

6.6 Rehabilitasyon ve Kapasite Çözümlerinin Ayrılması

Ulaşım yapılarında onarım fiziksel durumu, kapasite yatırımı yük karşılamayı, işletme düzenlemesi mevcut kapasitenin kullanımını hedefler. Bir projede bu müdahaleler birlikte bulunabilir; sonuçları ayrı gösterilir. Drenaj ve şev iyileştirmesi yolun kullanılabilirliğine katkı verir.
İklim etkilerine karşı uyum da aynı teknik düzeyde incelenir. OECD çalışması mevcut ve yeni ulaşım altyapısının değişen olay koşulları karşısında planlama, tasarım ve bakım aşamalarında değerlendirilmesini ele alır.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Yüzey bozulması	Kaplama işi	Konfor ve dayanıklılık
Yapısal yetersizlik	Güçlendirme	Doğrulanmış taşıyıcı performans
Drenaj açığı	Tahliye sistemi	Su etkisinin azaltılması
Bağlantı darboğazı	Kavşak düzeni	Gecikme ve akım sonucu
Ağ kapasitesi	Yeni veya genişletilmiş hat	Güzergâh hizmeti

Bölümün sonucu, yol kilometresi ile teknik yeterliliğin aynı ölçü olmamasıdır. Köprü, tünel, drenaj ve bağlantılar hizmeti birlikte belirler. Onarım miktarı, kapasite artışı ve kullanıcı kazancı aynı kayıt değildir. Ölçülmüş sonuç olmadan seyahat süresi, kaza veya bakım gideri azalması yüzdesi verilmemiştir. Çözüm, doğrulanmış durum ve eşdeğer hizmet hedefiyle ilişkilendirildiğinde karşılaştırılabilir hâle gelir.
Ulaşım çözümlerinde bakım giderinin azalması daha az trafik veya daha kısa gözlem döneminden kaynaklanabilir. Rehabilitasyon etkisi bu değişimler ayrıldıktan sonra değerlendirilir. Yeni yapı ile eski yapının aynı trafik ve çevre koşuluna göre karşılaştırılması teknik anlam taşır. Ağın bir bölümünde hız artışı başka bir bölümde beklemeye dönüşebilir. Yerel kapasite ve güzergâh kazanımı ayrı sunulur. Böylece büyük yatırım tutarı ile kullanıcıya ulaşan hizmet arasında doğrulanabilir bağ kurulur.
Kaynak ve kapsam: OECD Infrastructure for a Climate Resilient Future (2024)

7 Demiryolu Metro ve Tramvay Sistemleri

7.1 Hat Kapasitesi ve İşletme Yapısı

Demiryolunun kapasitesi hat uzunluğuyla doğrudan belirlenmez. Tek veya çift hat, blok yapısı, tren hızları, istasyon beklemeleri ve bakım aralıkları birlikte etkili olur. Yük ve yolcu trenlerinin aynı hattaki hız farkı kullanılabilir sefer aralığını değiştirir.

Eurostat'ın 14 Mayıs 2026 yayınında, 2024 için AB'de 8,7 milyar demiryolu yolculuğu ve 444,5 milyar yolcu-kilometre bildirilmektedir. Yolcu-kilometre verisi Belçika'yı kapsamamaktadır. Almanya 109,1, Fransa 107,3 ve İtalya 55,9 milyar yolcu-kilometreyle öne çıkmaktadır. Bu büyüklükler taşınan talebi gösterir; hatların teknik durumunu veya boş kapasitesini ölçmez. İnceleme büyük demiryolu işletmeleri kapsamındadır; metro ve tramvay için yerel işletme verileri ayrı değerlendirilir. [RAIL2024]

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Hat düzeni	Tek veya çift hat	Karşılaşma ve geçiş koşulu
Blok sistemi	Kontrol bölümleri	Trenler arası aralık
Hız farkı	Yük ve yolcu	Çizelge kullanımını etkiler
İstasyon	Bekleme ve peron	Güzergâh darboğazı
Bakım aralığı	Hizmete kapalı süre	Fiilî kullanılabilirlik

Kapasite hesabında tren/saat değeri hat veya kesim için belirli işletme kabullerine dayanır. Ortalama bir değer, pik dönemi ve gecikme yayılımını açıklamaz. Yolcu sayısı tren sayısından farklıdır; araç kapasitesi ve doluluk birlikte rol oynar. Yeni hat açıklaması ile işletmeye alınan hat ayrı gösterilir. Kamuya açık olmayan yerel çizelge ve blok verileri yerine varsayımsal ulusal kapasite değeri üretilmemiştir.

İşletme kapasitesinde teorik maksimum ile güvenilir çizelge kapasitesi farklıdır. En kısa aralık her zaman bütün trenlerin aynı hızda ve gecikmesiz çalıştığını varsayar. Karışık işletme, duruş ve bakım bu varsayımı değiştirir. Hat kesiminin doluluk süresi sınırlayıcı unsur olabilir. Yolcu hizmetinde araç kapasitesi ve sefer sayısı birlikte belirleyicidir. Yıllık yolcu toplamı hat üzerindeki pik yoğunluğu göstermez. Kapasite artırımı, işletme düzeni korunarak hesaplandığında karşılaştırılabilir olur.

Kaynak ve kapsam: Eurostat, EU rail passengers made 8.7 billion trips in 2024, 14 Mayıs 2026. [RAIL2024]

7.2 Ray Travers Balast ve Zemin Durumu

Demiryolu fiziksel durumu ray, travers, bağlantı elemanı, balast, altyapı zemini ve drenajla belirlenir. Geometri bozukluğu yalnızca ray yüzeyinden kaynaklanmaz. Zemin hareketi veya drenaj sorunu tekrar eden bakım ihtiyacı oluşturabilir.

Ray aşınması ve yorulma, taşınan yük ve hızla ilişkilidir. UIC'nin ray yönetimi çalışması, kullanım ömrünün saha yükü ve hızla birlikte diğer hat bileşenleri açısından değerlendirilmesini ele almaktadır. Bakım sonucu geometri, kısıtlı hız ve arıza kayıtlarıyla izlenir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Ray	Aşınma ve kusur	Temas ve yorulma
Travers	Durum ve bağlantı	Yük dağılımı
Balast	Kirlenme ve geometri	Drenaj ve destek
Alt zemin	Oturma ve taşıma	Tekrarlayan deformasyon
Drenaj	Sızma ve tahliye	Zemin performansı

Sadece ray yenilemesi, drenaj veya altyapı zemini sorunu devam ediyorsa kalıcı geometri çözümü sağlamaz. Yenileme kapsamında bileşenler ayrı kaydedilir. Yenilenen kilometre uygulama göstergesidir; hız kısıtının kalkması veya bakım aralığının uzaması performans sonucudur. Bu sonuçlar işletme yükünün değişimiyle birlikte değerlendirilir. Her hattın yük ve zemin koşulu farklı olduğu için tek bir bakım sıklığı bütün ağlara genellenmez.

Ray kusurunun tespiti ile rayın değiştirilmesi farklı bakım kayıtlarıdır. Geometri düzeltmesi kısa dönem sonucu gösterirken altyapı zemininin davranışı uzun dönem tekrarını etkiler. Balast kirlenmesi drenaj ve destek koşullarını değiştirebilir. Aynı hat üzerinde farklı kesimler ayrı yenileme ihtiyacı taşır. Tek bir yaş veya kilometre değeri bu dağılımı açıklamaz. Kullanılan muayene yöntemi ve yük geçmişi durum değerlendirmesinin kapsamını belirler. Ulusal hat uzunluğundan tekil kesim durumu çıkarılmamıştır.

Kaynak ve kapsam: UIC Recommendations for management of rails (2024)

7.3 Sinyalizasyon ve Elektrifikasyon

Sinyalizasyon tren hareketlerinin güvenli ayrımını ve işletme aralığını belirleyen sistemdir. Elektrifikasyon ise cer gücünün ve ilgili enerji bağlantılarının altyapısıdır. İki sistemin fiziksel kurulumu ile hizmete uygun devreye alınması farklı aşamalardır.

Yeni sinyal sistemi, istasyon veya hat geometri sınırını tek başına ortadan kaldırmaz. Enerji beslemesindeki sınır da teorik sefer aralığını fiilen azaltabilir. Kabul, entegrasyon ve işletme koşulları kapasite değerlendirmesinin parçalarıdır.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Kontrol sistemi	Tren ayrımı	Güvenli hareket
Haberleşme	Veri ve süreklilik	Kontrol bağlantısı
Katener	Fiziksel ve elektrik durum	Cer enerji iletimi
Besleme merkezi	Güç ve yedek	Pik cer yükü
Entegrasyon	Araç ve hat uyumu	İşletmeye alma

Sinyalizasyon modernizasyonunun kazancı yalnızca yeni cihaz sayısıyla belirlenmez. İşletme aralığı, gecikme etkisi ve güvenilirlik ayrı ölçülür. Enerji yatırımı da bağlı tren yükü ve gerilim koşullarına göre değerlendirilir. Sistem geçişlerinde eski ve yeni kontrolün birlikte işletilmesi ek sınırlar oluşturabilir. UIC'nin demiryolu sistemi yaklaşımı, altyapı ve araç arayüzlerinin ortak değerlendirmesine dayanır. Yerel entegrasyon testi bulunmadan kapasite yüzdesi verilmemiştir.

Elektrifikasyonda bağlantı gücü ile hat boyunca gerilim farklı değerlendirme alanlarıdır. Aynı anda hızlanan tren sayısı pik yükü değiştirir. Besleme merkezi yenilemesi, katener veya araç uyumsuzluğunu tek başına çözmez. Kontrol sisteminin devreye alınması da bütün sürücü, araç ve işletme koşullarının hazır olmasını gerektirir. Entegrasyonun tamamlanması işletme kaydıyla doğrulanır. Sinyal sisteminin adı, sahadaki sefer aralığı veya güvenilirlik değerinin doğrudan ölçüsü değildir.

Kaynak ve kapsam: UIC Infrastructure Subsystem (Erişim 1 Ekim 2026).

7.4 İstasyon ve Aktarma Kapasitesi

Kent içi raylı sistemlerde istasyonun hizmet kapasitesi peron, giriş, merdiven, yürüyen merdiven ve çıkış güzergâhıyla belirlenir. Trenin taşıdığı yolcu sayısı istasyonun bu yükü aynı sürede boşaltabildiğini kanıtlamaz. Aktarma düğümlerinde birden fazla hattın pik yükü birleşebilir.

Peron bekleme, araç içi yük ve giriş kuyruğu ayrı göstergelerdir. Erişilebilirlik ve acil durum çıkışları normal işletme kapasitesinden farklı tasarım koşulları taşır. İstasyon genişletmesi ile sefer artırımı aynı hizmet sorununa her durumda karşılık gelmez.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Peron	Alan ve yolcu dağılımı	Bekleme koşulu
Giriş	Turnike ve yaklaşım	Birikim noktası
Düşey ulaşım	Merdiven ve asansör	Akış ve erişilebilirlik
Aktarma	Hatların eşzamanlı yükü	Düğüm kapasitesi
Çıkış	Güzergâh ve süre	Tahliye ve hizmet

Açıklayıcı örnekte tren kapasitesi 1.000 yolcu ve sefer aralığı 5 dakika ise teorik yön kapasitesi saatte 12.000 yolcudur. Aralık 4 dakikaya indiğinde 15.000 olur. Bu yüzde 25 artış, her istasyonun aynı yükü işleyebildiği veya gecikme olmadan işletilebildiği anlamına gelmez. Hesap teorik kapasitedir; araç doluluğu, peron ve enerji sınırları ayrı incelenir. Gerçek sistem ölçümü olarak kullanılmamıştır.

İstasyon yükü tek bir trenin gelişiyle ani artış gösterebilir. Ortalama saatlik akım bu kısa süreli birikimi gizler. Aktarma istasyonunda iki hat aynı anda yolcu boşalttığında giriş ve çıkış güzergâhları ortak yük taşır. Peron alanı ile düşey dolaşım kapasitesi ayrı incelenir. Erişilebilirlik normal işletme dışında bakım durumunda da hizmet koşuludur. Sefer artırımı yolcu beklemesini düşürebilir; çıkış akımı yeterli değilse istasyon içinde yeni sınır oluşur.

7.5 Bakım Sahaları ve Hat Yenilemesi

Depo ve bakım tesisleri araç kullanılabilirliği ve hat hizmetini etkiler. Hat kapasitesi büyürken bakım alanı ve işletme ekipmanı aynı düzeyde kalırsa sefer hizmeti farklı bir sınırla karşılaşabilir. Makaslar ve depo bağlantıları ayrıca darboğaz oluşturur.

Çalışan hat üzerinde yenileme, bakım penceresi ve trafik planıyla birlikte uygulanır. Uzun süreli kapatma, geçici tek hat işletmesi ve gece çalışması farklı süre ve maliyet sonuçları taşır. Yapım ilerlemesi ile işletme performansı ayrı kaydedilir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Depo kapasitesi	Araç sayısı ve park	İşletme hazırlığı
Bakım hattı	İş türü ve süre	Araç kullanılabilirliği
Makas	Geçiş ve bakım	Düğüm güvenilirliği
Bakım penceresi	Saat ve gün	Yapım ve hizmet dengesi
Geçici işletme	Kısıtlı kapasite	Yolcu veya yük etkisi

Bakım yatırımı tamamlandığında araç arızası ve hizmet dışı süre gibi sonuçlar aynı izleme döneminde değerlendirilir. Araç filosu yenilenmişse bütün kazanım bakım tesisine atfedilmez. Hat yenilemesinde de yeni araç, çizelge ve sinyal değişimi eşzamanlı olabilir. Müdahalelerin ortak sonucu ile tekil katkı ayrı açıklanır. Bu ayrım, büyük bir modernizasyon projesinin her bileşenine aynı tasarruf yüzdesi yazılmasını engeller.

Bakım tesisi kapasitesinde araç sayısı kadar iş türü ve çevrim süresi önemlidir. Hafif bakım ile ağır bakım aynı alan ve süreye sahip değildir. Yedek parça tedariki tesis kapasitesinin kullanılmasını etkileyebilir. Yeni bakım hattı, personel ve ekipman hazır değilse hizmet artışını aynı hızda sağlamaz. Araç kullanılabilirliği bütün bakım zincirinin sonucudur. Çalışan hat yenilemesinde geçici işletme planının süre ve kapasite etkisi tamamlanan işten ayrı kaydedilir.

7.6 Modernizasyonun Teknik Sonucu

Demiryolu, metro ve tramvay modernizasyonunda fiziksel hat, kontrol, enerji ve istasyon birlikte incelenir. Kullanıcı sonucu kapasite, güvenilirlik ve seyahat süresi olarak farklı göstergeler taşır. Hat kilometresindeki artış bu sonuçların tümünü temsil etmez.

Darboğaz belirli kesimde bulunuyorsa o kesimdeki müdahale ağın kullanımını geliştirebilir. Buna karşılık sonraki sınırlayıcı düğüm kapasite kazancını sınırlar. Çözüm hesabı ağ ve çizelge ilişkisini korur.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Geometri sorunu	Hat rehabilitasyonu	Hız ve bakım sonucu
Kontrol sınırı	Sinyal modernizasyonu	Sefer aralığı
Cer yükü	Besleme iyileştirmesi	Enerji kullanılabilirliği
İstasyon yükü	Akış düzeni	Giriş ve aktarma sonucu
Bakım sınırı	Depo ve bakım yatırımı	Filo kullanılabilirliği

Bölümün sonucu, raylı sistem kapasitesinin tek bileşenle açıklanamamasıdır. Fiziksel altyapının durumu, araç ve kontrol arayüzüyle birlikte hizmete dönüşür. Çözümün ölçülen kazancı, belirli işletme koşuluna aittir. Aynı sistemin teorik ve fiilî kapasitesi ayrı kaydedilir. Ulusal hat toplamından hareketle yerel güvenilirlik puanı üretilmemiştir. Teknik inceleme, kullanılabilirlik ve işletme kayıtlarının birlikte bulunmasına dayanır.

Raylı sistemin kullanıcı sonucu kapasite, düzenlilik ve erişim arasında dağılır. Ek sefer, talep olmayan saatte farklı etki oluşturur. Yeni istasyon yolculuk erişimini artırabilir fakat toplam seyahat süresini uzatabilir. Bu iki sonuç aynı başarı ölçüsüne indirgenmez. Çözüm değerlendirmesi hangi hizmet hedefinin değiştiğini açık gösterir. Teknik sistem yenilemesinin kazancı, işletme ve talep verisiyle doğrulanır. Sadece yatırılan tutar veya kurulan cihaz sayısı nihai performans değildir.

8 Limanlar Terminaller ve Lojistik Bağlantılar

8.1 Liman Kapasitesinin Bileşenleri

Bir limanın kapasitesi rıhtım uzunluğuna indirgenemez. Gemi yaklaşımı, su derinliği, yanaşma yeri, ekipman, saha ve kapı bağlantıları farklı sınırlar taşır. Yük türü ve gemi boyutu kapasite değerlendirmesini değiştirir. Dünya Bankası'nın 2025 Port Reform Toolkit yayını liman planlamasını işletme, yatırım ve kent bağlantılarıyla birlikte ele almaktadır. Bu bölüm fiziksel kapasite ile yük çevrimini ayırır. Konteyner, dökme yük ve yolcu terminali için aynı tek ölçü kullanılmaz.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Yaklaşım	Derinlik ve seyir koşulu	Gemi erişimi
Rıhtım	Boyut ve işgal	Yanaşma kapasitesi
Elleçleme	Ekipman ve vardiya	Yük hareketi
Saha	Alan ve bekleme	Depolama kapasitesi
Kapı	Giriş çıkış işlemi	Kara akışı

Yük artışı, aynı fiziksel kapasitenin daha yoğun kullanılmasından veya ek yatırımdan kaynaklanabilir. Bu iki durum ayrı kaydedilir. Rıhtım yeterli olduğu hâlde saha doluluğu elleçlemeyi sınırlayabilir. Yeni vinç yatırımı bu saha sorununu tek başına gidermez. Kapasite incelemesinde sınırlayıcı bileşen tanımlanır. Limanların genel sıralamasından tekil bir terminalin altyapı yetersizliği sonucu çıkarılmaz.

Liman kapasitesinde yıllık teorik değer ve günlük pik yük farklıdır. Sezonluk ürün hareketi, aynı yıllık hacimde daha yüksek kısa dönem kapasite ihtiyacı doğurabilir. Gemi programındaki düzensizlik de rıhtım ve sahayı etkiler. Depolama alanının fiziksel büyüklüğü, operasyon için ayrılan güvenli ve erişilebilir alandan farklıdır. Yeni ekipman sahadaki dolaşımı değiştirebilir. Bu yüzden kapasite artışı bütün terminalin kullanılabilirliğiyle birlikte değerlendirilir. Tek bir fiziksel bileşenin genişletilmesi tam hizmet artışı sayılmaz.

Kaynak ve kapsam: Dünya Bankası Port Reform Toolkit (2025)

8.2 Gemi Hizmeti ve Performans Göstergeleri

Gemi bekleme süresi, yanaşık kalış ve yük elleçleme farklı aşamalardır. Geminin büyüklüğü ve hareket sayısı karşılaştırmanın kapsamını değiştirir. Bir terminalin yüksek hareket hızı, dış demir sahası beklemesini tek başına açıklamaz.

Dünya Bankası'nın CPPI 2025 değerlendirmesi, geminin bekleme ve rıhtımda kalış sürelerini birlikte izlemektedir. Küresel sonuçlarda Kızıldeniz güzergâhındaki değişimler ve Panama Kanalı kısıtları gibi dış etkenler liman yükünü ve beklemeyi değiştirmektedir. Bu nedenle performans değişimi rıhtım yatırımına tek başına bağlanmamaktadır. 2024'ten itibaren uygulanan güncellenmiş yöntem, farklı yılların aynı yöntemle karşılaştırılmasını önemli hâle getirmektedir. [CPPI]

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Bekleme	Varıştan yanaşmaya	Rıhtım ve program etkisi
Yanaşık süre	Rıhtımda kalış	Operasyon çevrimi
Hareket sayısı	Konteyner işlemi	Gemi yükü
Ekipman hızı	Hareket/saat	Üretkenlik bileşeni
Kara beklemesi	Kapı ve bağlantı	Ayrı hizmet göstergesi

Aynı limanda hava koşulu, gemi varış programı ve yük bileşimi dönem karşılaştırmasını etkiler. Ekipman yenilemesinin katkısı bu koşullarla birlikte ölçülür. Performans endeksi bir hizmet aşamasını ölçüyorsa o değer bütün altyapının puanı olarak kullanılmaz. Gemi ve yük çevrimi, fiziksel varlık durumuyla birlikte yorumlanmakta; tek bir sayıya indirgenmemektedir.

Rıhtım çevriminin çözümünde gemi programı ile ekipman vardiyası birlikte etkilidir. Yoğun varışların aynı zamana yığılması, yıllık kapasite yeterli olsa da kuyruk oluşturur. Planlı bakımın aynı saatlere rastlaması kullanılabilir ekipmanı azaltır. Ekipman arızası, vardiya açığı ve rıhtım işgali farklı müdahalelerle giderilir. Karşılaştırma hareket sayısı ve gemi büyüklüğünü koruduğunda işletme değişiminin etkisi görünür olur.

Kaynak ve kapsam: Dünya Bankası Container Port Performance Index (Erişim 1 Ekim 2026)

8.3 Saha Doluluğu ve Yükün Kalış Süresi

Terminal sahasının gereksinimi giriş miktarı ve yükün bekleme süresiyle belirlenir. Aynı yıllık yük, farklı kalış süresinde farklı alan ihtiyacı oluşturur. İstif düzeni ve yükün niteliği kullanılabilir alanı değiştirir.
Açıklayıcı kararlı akış ilişkisinde ortalama stok, günlük giriş ile ortalama kalış süresinin çarpımıdır. Sezonsallık ve pik varışlar ek kapasite gerektirir. Bu ilişki fiziksel saha büyütmesiyle işlem süresini azaltma arasındaki teknik farkı gösterir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Günlük giriş	Birim/gün	Stok girdisi
Kalış süresi	Gün	Sahadaki birikim
İstif yoğunluğu	Birim/alan	Kullanılabilir kapasite
Pik dönem	Varış dağılımı	Yedek alan gereksinimi
Çıkış işlemi	Kapı ve evrak	Çevrim süresi

Açıklayıcı örnekte günlük 1.000 konteyner eşdeğeri giriş ve 5 gün kalış, ortalama 5.000 birim stok oluşturur. Kalış 3 güne indiğinde aynı akışta stok 3.000 birimdir. Azalma yüzde 40'tır; elleçleme kapasitesinin yüzde 40 arttığı anlamına gelmez. Örnek saha gözlemi değildir. Fiziksel istif sınırı, hareketler ve boş konteyner akışı ayrıca incelenir. Bu ayrım saha büyütme ihtiyacının kaynağını gösterir.
Saha stokunun azalması her zaman daha fazla fiziksel kapasite anlamına gelmez. Yük bileşimi ve boş konteyner hareketi değişebilir. İstif yüksekliğini artırmak ekipman, zemin ve operasyon güvenliği koşulu taşır. Saha doluluğu ile erişilebilir stok farklıdır; üst sıradaki birimin alınması ek hareket gerektirebilir. Kalış süresinin düşürülmesi işlemlerin ve bağlantıların ortak sonucudur. Tek bir dijital sistem değişikliğine bütün kazanç atfedilmez. Pik ve ortalama stok birlikte incelenir.

8.4 Karayolu Demiryolu ve İç Terminal Bağlantısı

Liman hizmeti kapıda bitmez. Yükün hinterlanda erişimi karayolu ve demiryolu bağlantılarıyla belirlenir. Liman içindeki kapasite artışı, dış ağın dar noktasına yük aktarabilir. Şehir içi trafikle ortak güzergâh kullanan limanlarda bu etkileşim büyür.

Demiryolu bağlantısı hat varlığının yanında tren uzunluğu, terminal alanı ve sefer düzeni gerektirir. İç terminal, depolama ve işlem yükünü farklı bir noktaya aktarabilir; bağlantı performansı bu etkinin koşuludur.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Kapı yaklaşımı	Yol ve kavşak	Kuyruk ve erişim
Demiryolu bağlantısı	Hat ve terminal	Yük aktarımı
İç terminal	Depolama ve işlem	Liman sahası yükünü azaltabilir
Tren düzeni	Uzunluk ve sefer	Kullanılabilir kapasite
Kent ağı	Ortak trafik	Liman şehir etkileşimi

Bağlantı çözümünün sonucu yalnızca yeni yol uzunluğu değildir. Kapı çevrim süresi, kamyon kuyruğu ve demiryolu payı ayrı göstergelerdir. Liman ile kent planlamasının birlikte incelenmesi, kapasite artışının dış ağ etkisini görünür kılar. Dünya Bankası'nın liman kent arayüzü yaklaşımı da arazi, tıkanıklık ve çevresel etkileri aynı ilişki içinde ele almaktadır. Sonuç, bağlantı kapasitesinin hangi akışı karşıladığıyla birlikte geçerlidir.

Demiryolu bağlantısında trenin terminale fiziksel girişi ile düzenli hizmet alması farklıdır. Hat kapasitesi, terminal yolu uzunluğu ve tren oluşturma koşulu birlikte belirleyicidir. İç terminal çözümü limandaki bazı işlevleri aktarır; toplam taşıma mesafesi ve aktarma maliyeti değişebilir. Kara bağlantısı büyürken kent ağına ek yük getirilebilir. Liman yatırımının hizmet bilançosu bu dış etkileri de içerir. Kapı kapasitesi ve şehir erişimi aynı tablo içinde ayrı kalır.

Kaynak ve kapsam: Dünya Bankası Port Reform Toolkit (2025)

8.5 Rıhtım Terminal ve Yardımcı Tesislerin Yenilenmesi

Liman rehabilitasyonu taşıyıcı yapı, kaplama, ekipman temeli, drenaj ve yardımcı tesisleri kapsar. Tuzlu ortam ve tekrarlayan yük dayanıklılığı etkiler. Tarama gereksinimi, rıhtımın yapısal kapasitesinden ayrı değerlendirilir. Rıhtım derinliğinin artırılması daha büyük gemi erişimi sağlayabilir; mevcut yapının yeni koşuldaki yeterliliği ayrıca incelenir. Sahadaki ekipman değişimi temel yüklerini değiştirebilir. Yatırımın kapsamı işletme devamlılığıyla birlikte planlanan yapım etaplarını içerir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Rıhtım yapısı	Taşıyıcı ve temel	Yük güvenilirliği
Korozyon	Malzeme durumu	Dayanıklılık
Tarama	Derinlik ve sediment	Seyir erişimi
Ekipman temeli	Yeni yük	Yapısal uygunluk
Drenaj	Yüzey ve kirlenme	Saha sürekliliği

Yenilemenin performansı yeni gemi sınıfı, elleçleme yükü ve kullanılabilir süreyle ölçülür. Fiziksel inşaat tamamlanması ile terminalin tam operasyonu aynı tarih olmayabilir. İşletme sırasında etaplama geçici kapasite kaybı oluşturabilir; bu etki teknik ve ekonomik karşılaştırmaya dâhildir. Kamuya açık yapı muayenesi bulunmayan bir terminal için kalan ömür veya güvenlik puanı verilmemiştir. Genel çözüm seçenekleri yerel tasarımın yerine geçmez.

Liman yapılarında kullanılan yük, ekipman değişimiyle zaman içinde artabilir. Eski temel yeni vincin yükünü otomatik karşılamaz. Tarama derinliği artınca rıhtımın destek koşulu değişebilir. Bu tür müdahaleler ayrı yapısal değerlendirme gerektirir. Drenaj ve kirlenme kontrolü saha hizmetinin çevresel koşulunu belirler. İşletme sürerken yapılan rehabilitasyonun geçici kapasite kaybı, nihai kazanımdan farklıdır. Proje kabulü ve tam işletme tarihi ayrı kaydedildiğinde uygulama sonucu doğru görünür.

8.6 Liman Çözümünün Hizmet Zincirindeki Sonucu

Liman darboğazı rıhtım, ekipman, saha veya bağlantıda bulunabilir. Aynı yatırım tutarı bu noktalarda farklı sonuç üretir. Kapasite çözümü, darboğazın bulunduğu bileşene bağlanır. İşletme iyileştirmesiyle fiziksel genişletme farklı alternatiflerdir.

Dijital işlem ve randevu düzeni kapı akışını geliştirebilir; taşıyıcı yapı veya su derinliği sorununa doğrudan karşılık vermez. Liman performansı teknik ve işletme müdahalelerinin ortak sonucudur.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Rıhtım sınırı	Yanaşma kapasitesi	Yapı veya program çözümü
Ekipman sınırı	Üretkenlik	Ekipman ve vardiya
Saha sınırı	Kalış ve doluluk	Çevrim veya alan çözümü
Kapı sınırı	İşlem ve bağlantı	Akış düzenlemesi
Dış ağ sınırı	Yol veya demiryolu	Bağlantı yatırımı

Bölümün sonucu, liman kapasitesinin tek fiziksel büyüklükle açıklanamayacağıdır. Gemi hizmeti ve kara hizmeti ayrı göstergelerdir. Kalış süresindeki düşüş fiziksel kapasiteyi değiştirmeden saha kullanılabilirliğini geliştirebilir. Yapısal rehabilitasyon ise başka bir hedef taşır. Uygulanan çözümün gerçek katkısı, müdahale öncesi ve sonrası aynı hizmet koşulunda değerlendirilir. Yeni liman listesi yerine kapasite zinciri ve teknik çözüm ilişkisi incelenmiştir.

Liman çözümünde kullanıcı maliyeti bekleme, taşıma ve işlem ücretlerinden oluşur. Süre azalması her kalemde aynı oranda tasarruf üretmez. Aynı yük farklı güzergâhla taşındığında toplam lojistik maliyeti değişebilir. Yatırımın sınırı terminalde bitiyorsa dış ağ etkisi ayrıca belirtilir. Teknik başarı, hangi darboğazın ortadan kalktığını ve sonraki sınırın nerede bulunduğunu gösterir. Fiziksel kapasite artışı, işletme verimliliği ve kent etkisi birbirinden ayrı sonuçlar olarak sunulur.

9 Enerji Tesisleri ve Teknik Sistemlerde Yenileme

9.1 Şebeke Kapasitesinin Güncel Görünümü

Enerji kapasitesi üretim, iletim, dağıtım ve bağlantıyla birlikte hizmete dönüşür. Yeni üretim tesisi şebekeye bağlanmadığında kullanılabilir güç artışı sınırlanır. Talep artışı ve yeni yüklerin yoğunlaşması yerel bağlantıları etkiler.

IEA'nın 2026 şebeke modernizasyonu analizinde, 2025 yılında ileri aşamadaki en az 1.700 GW yenilenebilir proje ile 600 GW büyük ölçekli bataryanın bağlantı beklediği bildirilmektedir. Bu değerler bütün proje havuzunun kurulu kapasitesi değildir; belirli bağlantı kuyruğunun kapsamıdır.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Üretim tesisi	Kurulu ve kullanılabilir güç	Kaynak ve ekipman koşulu
İletim	Termal ve sistem sınırı	Bölgesel aktarım
Dağıtım	Yerel yük ve gerilim	Son kullanıcı bağlantısı
Bağlantı kuyruğu	Proje aşaması	İşletmedeki güç değildir
Esneklik	Talep ve depolama	Pik yük yönetimi

IEA aynı çalışmada 2035 talep büyümesini karşılamak için şebeke kapasitesinde en az yüzde 30 artış ihtiyacı hesaplamaktadır. Bu gelecek değerlendirmesi mevcut gerçekleşme değildir. Şebeke uzunluğu ile güç kapasitesi farklı büyüklüklerdir. Bağlantı bekleyen proje gücü, mevcut hizmet kesintisi oranı olarak yorumlanmaz. Teknik inceleme yerel ağ sınırını ve yeni yükün niteliğini ayrı ele alır.

Şebeke bağlantısı için kurulu güç, beklenen üretim ve aynı anda sisteme verilecek güç farklı büyüklüklerdir. Güneş ve rüzgârın üretim profili talep profiliyle tam örtüşmeyebilir. Batarya gücü ve enerji hacmi de farklıdır; MW bağlantı, MWh ise süreli enerji depolamayı ifade eder. Bu ayrımlar yeni yük ve üretim bağlantılarının değerlendirmesini değiştirir. Bağlantı kuyruğundaki proje bütününün tamamlanacağı varsayılmaz. Kurumun yayımladığı kapsam, gerçekleşmiş sisteme eklenen güçten ayrı tutulur.

Kaynak ve kapsam: IEA Modernising Grids in the Age of Electricity (2026)

9.2 Mevcut Ağın Daha Etkin Kullanımı

Şebeke işletmesinde termal sınır, gerilim, kararlılık ve arıza koşulu birlikte etkili olur. Hava koşulları hatların termal kapasitesini değiştirebilir. Dinamik kapasite belirleme bu değişimi ölçümle ilişkilendirir. Topoloji düzenlemesi ve güç akışı kontrolü farklı ağ yollarını kullanabilir.

IEA, dinamik kapasite belirleme, topoloji optimizasyonu ve gelişmiş güç akışı kontrolü için mevcut ağlara 330 GW'a kadar ek üretim, depolama ve talep bağlantısı potansiyeli hesaplamaktadır. Bu model potansiyeli gerçekleşmiş bağlantı değildir. [GRID]

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Dinamik kapasite	Gerçek hava ve ölçüm	Termal sınırın güncellenmesi
Topoloji	Ağ bağlantı düzeni	Akışın yeniden dağıtılması
Güç akışı kontrolü	Kontrollü yönlendirme	Kısıtlı hat yükü
Gerilim	Yerel kalite	Bağlantı uygunluğu
Arıza koşulu	Sistem güvenliği	Kullanılabilir kapasite sınırı

Dinamik kapasite ölçümü ile hava ve iletken sıcaklığına bağlı termal sınır güncellenir. Topoloji optimizasyonu sıkışık hat çevresindeki alternatif yolları kullanır. Güç akışı kontrolü yükü az kullanılan bağlantılara yönlendirir. Her çözümün sonucu gerilim, kararlılık ve arıza koşuluyla sınırlandırılır. Normal durumda kazanılan aktarım kapasitesi, arıza durumundaki yedekliliği ayrıca kanıtlamaz.

Bağlantı darboğazı trafo, hat veya gerilim koşulunda bulunabilir. Hat termal sınırını geliştiren müdahale trafo sınırını değiştirmez. Başka bir hatta aktarılan yük yeni bir kısıt oluşturduğunda toplam bağlantı kazancı düşer. Bu nedenle ağın daha etkin kullanımı, yeni hat ve trafo yatırımıyla aynı kapsamda karşılaştırılır. Teknik potansiyel ile bütün saatlerde sağlanabilen kapasite ayrı gösterilir.

Kaynak ve kapsam: IEA Modernising Grids in the Age of Electricity (2026)

9.3 Enerji Tesislerinin Saha ve Su Yapıları

Hidroelektrik tesiste su alma, iletim, cebri boru ve santral farklı kapasite sınırları taşır. Türbin gücü, bütün yıl aynı enerji üretimini garanti etmez. Debi ve düşü üretim koşullarını belirler. Sediment ve ekipman durumu kullanılabilirliği etkiler.

Güneş ve rüzgâr tesislerinde temel, ulaşım, drenaj ve bağlantı altyapısı enerji ekipmanıyla birlikte çalışır. Saha verimliliği yalnızca panel veya türbin gücünden oluşmaz. Şebeke kısıtı, arıza ve kaynak koşulları enerji çıktısını ayrı etkiler.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
HES su yapısı	Debi ve düşü	Hidrolik güç
Cebri boru	Basınç ve durum	İletim güvenilirliği
GES sahası	Temel ve drenaj	Ekipman erişimi
RES erişimi	Yol ve temel	Kurulum ve bakım
Bağlantı	Şebeke koşulu	Üretilen enerjinin aktarımı

Açıklayıcı HES hesabında debi 5 m^3/s, net düşü 40 m ve verim 0,85 ise güç yaklaşık 1,67 MW olur. Debi yarıya indiğinde aynı düşü ve verimde güç yaklaşık 0,83 MW'tır. Hesap saha üretimi değildir; kaynak ve güç ilişkisinin örneğidir. Yıllık enerji için akım süresi ve işletme serisi gerekir. Bu nedenle kurulu MW değerinden doğrudan yıllık MWh sonucu üretilmez.

Enerji tesisinde kaynak kaybı ile ekipman kullanılabilirlik kaybı ayrı nedenlerdir. HES'te kuraklık, GES'te ışınım ve RES'te rüzgâr üretimi değiştirir. Arıza veya şebeke kısıtı aynı enerji düşüşüne başka yoldan neden olabilir. Bakım kazanımı bu nedenler ayrıldığında ölçülür. Yeni ekipman verimi artarken kaynak zayıflarsa toplam yıllık üretim düşebilir. Bu düşüş yenilemenin başarısız olduğunu tek başına kanıtlamaz. Normalize edilmiş performans ve gerçek enerji birlikte değerlendirilir.

9.4 Kamu Tesislerinde Elektrik ve Mekanik Yenileme

Kamu tesisinin enerji ihtiyacı bina kabuğu, kullanım süresi, iklim ve teknik sistemlerle belirlenir. Isıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su ve aydınlatma farklı yüklerdir. Bir sistemin yenilenmesi diğer yüklerin değişimini ayrı etkileyebilir.

IEA'nın Energy Efficiency 2025 incelemesinde binalar küresel enerji talebinin yaklaşık yüzde 30'unu oluşturmaktadır. Bu kapsam bütün bina sektörüdür; kamu binalarının payı değildir. Teknik yenileme sonuçları kullanım ve hizmet koşullarıyla normalize edilir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Bina kabuğu	Isı geçişi	Isıtma soğutma yükü
Isıtma	Ekipman ve dağıtım	Yakıt ve elektrik
Soğutma	Verim ve yük	Pik elektrik
Havalandırma	Debi ve kontrol	İç ortam hizmeti
Aydınlatma	Güç ve kullanım	Elektrik tüketimi

Enerji tüketiminin azalması hizmet kalitesinin düşmesiyle oluşuyorsa verimlilik kazanımı değildir. İç ortam sıcaklığı, havalandırma ve kullanım süresi karşılaştırmanın parçasıdır. Güneş üretimi enerji alımını azaltabilir; tüketimin kendisi aynı kalabilir. Satın alınan enerji, yerinde üretim ve toplam kullanım ayrı kaydedilir. Bu ayrım, yenilenebilir enerji ile verimlilik kazanımının aynı yüzde içinde iki kez sayılmasını engeller.

Bina enerji performansında iklim düzeltmesi ve kullanım düzeni karşılaştırmanın temelidir. Aynı bina daha uzun saat kullanıldığında toplam tüketim artabilir; birim hizmet tüketimi düşebilir. Hastane, okul ve ofis aynı normalize ölçüyle karşılaştırılamaz. Teknik sistemler arasındaki etkileşim de önemlidir: aydınlatma değişimi iç ısı kazancını etkiler. Bu nedenle tekil ekipman kazanımlarının toplamı doğrudan bütün bina tasarrufu değildir. Ölçüm, toplam bilanço ve uygun hizmet koşuluyla doğrulanır.

Kaynak ve kapsam: IEA Energy Efficiency 2025 Buildings (2025)

9.5 Yenileme Etkisinin Ölçümü ve Enerji Bilançosu

Enerji yenilemesinin sonucu aynı tesisin karşılaştırılabilir işletme dönemlerinde belirlenir. Dış sıcaklık, kullanım saati ve hizmet düzeyi tüketim değişimini etkiler. Satın alınan enerjinin azalması, yerinde güneş üretimiyle de oluşabilir; toplam tüketim verimliliğinden ayrı gösterilir. Türkiye'de sonuç bildiren proje grubu ve bina örnekleri 11.5'te yer almaktadır.

Yenileme paketi kabuk ve teknik sistemleri birlikte içerebilir. Toplam kazanç her müdahalenin tekil katkısını göstermez. Hava, kullanım ve bina işlevi değişimi ölçüm sonucuyla birlikte değerlendirilir. Rapor kaynakta bulunmayan tekil dağılımı üretmez.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Referans dönem	Yenileme öncesi ve sonrası	Aynı kapsamda karşılaştırma
İklim	Dış sıcaklık ve derece gün	Isıtma soğutma farkı
Kullanım	Saat ve hizmet düzeyi	İşletme değişiminin ayrılması
Enerji bilançosu	Satın alma ve yerinde üretim	Tüketimden ayrı gösterim
Sonuç bildirimi	Tesis veya proje grubu	Atıf kapsamı

Açıklayıcı enerji bilançosunda yenileme öncesi tüketim 1.000 MWh/yıl, eşdeğer hizmet ve iklim koşullarındaki yenileme sonrası tüketim 800 MWh/yıl kabul edilmiştir. Tüketim azalması yüzde 20'dir. Yerinde güneş sistemi ayrıca 200 MWh üretir ve tamamı tesiste kullanılırsa şebekeden alınan enerji 600 MWh olur. Şebeke alımı yüzde 40 azalırken tüketim verimliliği yüzde 20'dir. Hesap gerçek bina sonucu değildir; iki etkinin ayrımını gösterir.

Ölçümde üretim, tüketim ve dışarı verilen enerji ayrı sayaçlarla izlenir. İklim ve kullanım düzeltmesi, yenileme öncesi dönemin karşılaştırılabilir karşılığını oluşturur. Teknik sistemlerin tekil tasarrufları arasındaki etkileşim toplam bilanço içinde çözülür. Türkiye'de bildirilen uygulama sonuçları 11.5'te kaynak kapsamıyla verilmektedir. Bir proje grubunun ortalaması tek binanın sonucu yerine kullanılmaz.

Teknik kapsam: Karşılaştırılabilir tüketim ve yerinde üretim bilançosu. Sayısal örnek açıklayıcı hesaptır; Türkiye uygulamasının kaynağı 11.5'te verilmiştir.

9.6 Enerji Çözümünün Net Hizmet Sonucu

Enerji altyapısında rehabilitasyon, yeni kapasite, bağlantı güçlendirmesi ve verimlilik farklı müdahalelerdir. Net sonuç üretim, tüketim, kayıp ve kullanılabilirlik bilançosuyla belirlenir. Aynı ekipman farklı yükte farklı verim sunabilir.

Ölçümde fatura azalması tek başına enerji tasarrufu değildir. Fiyat değişimi ve enerji kaynakları arasında geçiş maliyeti değiştirir. Fiziksel enerji ve parasal gider ayrı karşılaştırılır. Kaynakta bildirilmeyen fiyat veya emisyon çarpanı kullanılmaz.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Yeni güç	MW	Fiziksel üretim kapasitesi
Enerji	MWh	Dönem üretimi veya kullanımı
Şebeke kaybı	Aynı bilanço sınırı	Teknik ve ölçüm ayrımı
Verimlilik	Eşdeğer hizmet	Tüketim azalması
Maliyet	Fiyat ve miktar	Enerjiyle ayrı gösterilir

Bölümün sonucu, enerji yatırımının kapasite ve işletme performansını birlikte taşımasıdır. Bağlantı olmadan yeni üretim sınırlanabilir. Teknik sistem yenilemesi mevcut varlığın hizmetini geliştirebilir; sonuç koşullara bağlıdır. IEA model potansiyeli ile Dünya Bankası uygulama sonucu aynı kanıt sınıfında değildir. Raporda bu ayrım korunmuştur.

Ekonomik karşılaştırmada aynı enerji birimi ve fiyat dönemi kullanılır. Yakıttan elektriğe geçişte fiziksel girdiler farklı olduğundan yalnızca fatura karşılaştırması yanıltabilir. Emisyon sonucu yerel elektrik ve yakıt katsayısına bağlıdır. Birim tüketim azalması, toplam talep artışıyla birlikte gerçekleşebilir. Enerji ve maliyet göstergeleri ayrı tutulduğunda teknik çözümün gerçek hizmet katkısı anlaşılır. Rapordaki örnekler kullanıcıya aynı hizmetin sağlandığı koşulları varsayar; ölçülmüş ulusal tasarruf olarak sunulmaz.

10 Kentsel Yer Altı Altyapısı Zemin ve Yerleşim Bağlantıları

10.1 Yer Altı Şebekelerinin Envanteri

Yer altı altyapısı su, kanalizasyon, yağmur suyu, enerji ve haberleşme hatlarından oluşur. Hatların yüzeyde görünmemesi teknik koordinasyonu güçleştirir. Konum, derinlik, malzeme, çap ve işletme durumu farklı envanter bilgileridir. Eski proje çizimi mevcut durumun tamamını temsil etmeyebilir.

Hat çakışması yatay ve düşey konum birlikte incelendiğinde belirlenir. Bir sistemin yeni güzergâhı başka bir sistemin bakım erişimini etkileyebilir. Envanter doğruluğu, tasarım ve uygulama belirsizliğinin teknik girdisidir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Konum	Koordinat ve güzergâh	Yatay çakışma
Derinlik	Kot ve referans	Düşey ayrım
Malzeme	Boru veya kablo türü	Müdahale koşulu
İşletme durumu	Aktif veya terk	Hizmet bağımlılığı
Bakım erişimi	Vana ve bağlantı	Uygulama sürekliliği

Dijital haritanın bulunması bütün hatların doğrulandığını göstermez. Tasarım kaydı, sahada tespit ve uygulama sonrası ölçüm farklı güven düzeyleridir. Bilinmeyen güzergâh için kesin koordinat uydurulmaz. Envanter iyileştirmesi bir fiziksel kapasite yatırımı değildir; daha doğru uygulama ve müdahale bilgisi üretir. KOLTEK'in yayımlanan portföyündeki İstanbul tranşe ve altyapı denetim işleri bu alanın müşavirlik kapsamını göstermektedir; kamuya açık kaza veya kazı azaltımı yüzdesi verilmemiştir.

Envanterde hat doğruluğu bilgi kaynağına bağlıdır. Tasarım çizimindeki güzergâh ile yapım sonrası gerçekleşen güzergâh farklı olabilir. Geofizik tespit ve doğrulama kazısı da aynı kesinliği taşımaz. Koordinat sistemi veya kot referansı değiştiğinde görünürdeki çakışma yanıltıcı olabilir. Bu nedenle envanter yalnızca bir harita değil güven düzeyi olan teknik kayıttır. Aktif ve terk edilmiş hatlar ayrı gösterildiğinde uygulama ve bakım kararı daha doğru kurulur. Bilinmeyen hatlar için kesin konum kabul edilmez.

Kaynak ve kapsam: KOLTEK Proje portföyü İngilizce (Erişim 1 Ekim 2026)

10.2 Zemin Yer Altı Suyu ve Kazı Koşulları

Yer altı yapısının davranışı zemin, yer altı suyu ve çevre yapılarla birlikte belirlenir. Kazı derinliği tek başına destek sisteminin yeterliliğini açıklamaz. Zemin tabakaları ve yükler deformasyon ve stabilite koşulunu değiştirir.

Yer altı suyu kontrolü kazı güvenliği kadar çevredeki oturmayı da etkileyebilir. Su seviyesinin düşmesi, belirli zeminlerde hacim değişimi oluşturabilir. Bu nedenle boru döşeme işi ile geçici destek, su kontrolü ve çevre yapı izleme aynı uygulamanın ayrı bileşenleridir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Tabakalaşma	Jeolojik ve geoteknik kayıt	Destek ve temel koşulu
Yer altı suyu	Seviye ve akım	Sızma ve kazı yükü
Çevre yükü	Bina ve trafik	Deformasyon talebi
Kazı destek	Sistem ve etap	Stabilite
İzleme	Oturma ve yatay hareket	Gerçek saha davranışı

Kazı kaynaklı hareketlerin etkisi yapıya olan uzaklık ve zemin davranışıyla değerlendirilir. Bir bölgedeki gözlem başka bir sahaya aynı sınır olarak aktarılmaz. Geoteknik çözüm, zemin verisi ve uygulama etabına dayanır. Ayrıntılı saha araştırması olmadan güvenli kazı derinliği veya destek tipi için kesin teknik hüküm verilmemiştir. Bu rapor, koordinasyon sorununu mühendislik bileşenlerine ayırmaktadır; uygulama projesi yerine geçmemektedir.

Kazı boyunca zemin davranışı uygulama etabıyla değişir. Aynı derinlikte kısa ve uzun açık kesim farklı deformasyon koşulu oluşturabilir. Geçici trafik ve malzeme yığılması çevre yükünü artırır. Su kontrolü, destek ve boru yatağı aynı uygulamada farklı amaçlar taşır. Ölçülen hareket proje kabul sınırlarıyla birlikte yorumlanır. Bir sahadaki uygun sonuç diğer zemine aynen aktarılmaz. Bu teknik ayrım, kazı yönteminin yalnızca maliyet veya hızla karşılaştırılmasını engeller.

10.3 Tekrarlayan Kazı ve Hizmet Kesintileri

Aynı yol üzerinde farklı kurumların kazıları, kaplama ve erişimi birden fazla kez etkileyebilir. Kazı sayısı, açılan alan ve hizmet kesintisi farklı göstergelerdir. Bir çalışma ruhsatı birden fazla müdahale içerebilir. Tekrar ölçümü aynı yol kesimi ve zaman aralığıyla tanımlanır.

Ortak programlama çakışmayı azaltabilir; bütün altyapının aynı anda yenilenmesini zorunlu kılmaz. Arıza müdahalesi ve planlı yatırım farklı zaman koşulları taşır. Hizmet kesintisinin kaynağı uygulama kayıtlarıyla belirlenir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Kazı olayı	Kesim ve tarih	Tekrarın tanımı
Açılan alan	m^2	Kaplama etkisi
Kapatılan süre	Saat veya gün	Ulaşım etkisi
Hizmet kesintisi	Kullanıcı ve süre	Şebeke sonucu
Yeniden kaplama	Katman ve kabul	Yol dayanıklılığı

Varsayımsal bir kesimde dört ayrı planlı kazı bulunması, ortak programla üç kazıya indirildiğinde olay sayısı yüzde 25 azalır. Kazılan alan veya maliyetin aynı oranda düştüğü sonucu çıkarılamaz. Olayların kapsamı farklı olabilir. Bu hesap Türkiye kentlerine ait istatistik değildir. Kazı koordinasyonunun gerçek katkısı olay, alan, süre ve kesinti kayıtları birlikte karşılaştırıldığında ölçülür.

Kazı tekrarının ekonomik etkisi iş kapsamı ve yüzey türüyle değişir. Aynı uzunlukta kaldırım, asfalt ve yoğun kavşak müdahalesi farklı gider oluşturur. Arızanın gece giderilmesi planlı gündüz kazısından farklı erişim etkisi taşır. Ortak program kazı sayısını azaltırken bir defadaki açık alanı büyütebilir. Çözümün hizmet sonucu olay sayısı, alan ve süreyle birlikte değerlendirilir. Tek bir ruhsat veya kazı adedi bütün kent için bakım verimliliği göstergesi değildir.

10.4 Yeni Yerleşimlerin Mevcut Şebekeye Yükü

Yeni konut veya kampüs, mevcut şehrin su, atık su, enerji ve ulaşım ağına ek yük getirir. Parsel içi altyapının tamamlanması dış bağlantı kapasitesini kanıtlamaz. Bağlantı noktasındaki kapasite, pik yük ve yedek koşullarıyla incelenir.

Yerleşimin teslim takvimi ile ana altyapının devreye alınması farklı olabilir. Geçici çözüm süreli hizmet sağlar; kalıcı sistem yeterliliğinin yerine geçmez. Mevcut kullanıcıların hizmet düzeyinin yeni yük altında korunması ayrı sonuçtur.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
İçme suyu	Pik talep ve basınç	Besleme yeterliliği
Atık su	Debi ve yük	Kolektör ve arıtma
Elektrik	Bağlantı ve pik güç	Yerel ağ sınırı
Ulaşım	Giriş çıkış akımı	Kavşak yükü
Yağmur suyu	Yüzey ve havza	Ek akış

Açıklayıcı örnekte mevcut kullanılabilir su kapasitesi 20.000 m³/gün ve mevcut pik talep 18.000 m³/gün ise rezerv 2.000 m³/gündür. Yeni yerleşim 3.000 m³/gün pik talep eklediğinde toplam 21.000 olur. Yerleşim içi boruların tamamlanması bu 1.000 m³/gün açığı çözmez. Örnek bir kent ölçümü değildir. Fiziksel kapasite ile bağlantı talebinin aynı zaman koşulunda karşılaştırılmasının nedenini gösterir.

Yeni yerleşimde talep zaman içinde dolulukla artabilir. İlk teslim dönemindeki düşük kullanım, nihai kapasitenin yeterli olduğunu kanıtlamaz. Buna karşılık bütün tasarım yükünün ilk günden oluştuğu kabulü geçici işletmeyi yanlış gösterebilir. Mevcut şebeke ile yeni yük aynı hedef döneme göre karşılaştırılır. Su ve atık su için pikler farklıdır. Elektrik bağlantısında da kurulu cihaz gücü ile eşzamanlı talep ayrılır. Dış ağın kapasite kaydı iç altyapı tamamlanma kaydından ayrı tutulur.

10.5 Kamu Kampüsleri ve Kritik Teknik Bağlantılar

Hastane, üniversite ve geniş kamu kampüsleri farklı zamanlarda farklı su ve enerji yükleri taşır. İç şebeke, teknik merkez ve şehir bağlantısı birlikte çalışır. Kritik hizmetin devamlılığı yedek enerji, su depolama ve bakım erişimiyle ilişkilidir.

Kampüs kapasitesi kullanıcı sayısı veya bina alanıyla tek başına belirlenmez. Hastanenin teknik sistemi ile eğitim binasının yük profili aynı değildir. Yeni bina eklenmesi mevcut teknik merkezin kullanılabilir kapasitesini değiştirir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Ana bağlantı	Şehir ağı	Dış hizmet koşulu
Teknik merkez	Isıtma soğutma enerji	Kampüs yükü
Su rezervi	Kullanılabilir hacim	Süreli yedek hizmet
Kritik enerji	Öncelikli yük	Kesinti koşulu
Bakım erişimi	İzolasyon ve alternatif	Hizmet sırasında müdahale

Yedek sistem kapasitesi bütün kampüsün normal yükünü veya yalnızca kritik yükü karşılayabilir. Bu iki hedef açıkça ayrılır. Jeneratörün nominal gücü, yakıt, transfer ve dağıtım koşulundan bağımsız süreklilik kanıtı değildir. KOLTEK portföyünde hastane ve üniversite danışmanlık işleri bulunması bu teknik alanın faaliyet kapsamını doğrular. Tekil tesislerin yayımlanmayan kesinti süresi veya teknik yeterlilik puanı raporda verilmemiştir.

Kamu kampüsünde kritik yük, normal toplam yükün belirli bir bölümüdür. Bu bölümün ne olduğu hizmet işlevine göre belirlenir. Hastanede tıbbi ve teknik yükler ayrı öncelik taşıyabilir; eğitim kampüsünde farklı işletme hedefi vardır. Yedek enerjinin gücü ve yakıt süresi, su rezervinin hacmi ve basınç koşulu birlikte çalışır. Yalnızca cihaz etiketi süreklilik kanıtı değildir. Devreye girme ve dağıtım testleri hizmete ulaşan yedeği doğrular.

Kaynak ve kapsam: KOLTEK Proje portföyü İngilizce (Erişim 1 Ekim 2026)

10.6 Ortak Koridor ve Koordinasyon Çözümünün Sınırı

Ortak altyapı koridoru bakım erişimi ve uygulama koordinasyonunu değiştirebilir. Ancak bütün hatların aynı hacme alınması her koşulda uygun değildir. Güvenlik, işletme ve mesafe koşulları sistem türüne göre değişir. Ortak koridor, ortak arıza ve erişim bağımlılığı da oluşturabilir.

Kazısız rehabilitasyon yüzey müdahalesini azaltabilir; yöntem seçimi boru geometrisi, bağlantılar, malzeme ve zemin koşuluna bağlıdır. Yöntemin hizmet sonucu, uygulama kapsamı ve işletmeye alma testiyle belirlenir.

BİLEŞEN VEYA GÖSTERGE	MEVCUT TEKNİK KARŞILIK	HİZMET VE ÇÖZÜM İLİŞKİSİ
Ortak koridor	Erişim ve düzen	Planlı müdahale kolaylığı
Sistem ayrımı	Güvenlik ve işletme	Birlikte yerleşim koşulu
Kazısız yöntem	Mevcut hat durumu	Yüzey etkisinin azaltılması
Geçici bypass	Alternatif hizmet	Uygulama sürekliliği
Uygulama kaydı	As built ölçüm	Yeni envanter doğruluğu

Bölümün sonucu, yer altı altyapısının kapasite kadar konum ve durum bilgisine dayanmasıdır. Yeni yerleşimlerin iç ve dış bağlantıları ayrı incelenir. Kazı sayısındaki azalma, alan ve maliyet sonucunun yerine kullanılmaz. Ortak koridor ve kazısız yöntemler koşula bağlı teknik seçeneklerdir. Çözüm, bağlantı ve hizmet etkisiyle birlikte gösterilmiştir.

Ortak koridorun yaşam döngüsü etkisi başlangıç maliyetiyle birlikte bakım erişiminden oluşur. Yerleşim yoğunluğu ve mevcut hatlar uygunluğu değiştirir. Her sistemin aynı koridorda bulunması güvenlik ve işletme gereksinimleriyle sınırlandırılır. Kazısız yöntemde de mevcut bağlantılar ve boru kesit kaybı kapasiteyi etkileyebilir. Çözüm karşılaştırması eşdeğer hizmet ve uygulama koşuluyla yapılır. Yeni envanterin tamamlanması fiziksel kapasite artışı olarak değil, gelecekteki müdahalenin teknik bilgi sonucu olarak kaydedilir.

METODOLOJİ VE KAYNAKÇA

Veri kesim tarihi 1 Ekim 2026'dır. KOLTEK Global Infrastructure Index yayın serisinin adıdır; bu sayıda yeni bileşik endeks, ülke puanı veya il sıralaması hesaplanmamıştır. Yayımlanmış kapasite ve proje kapsamı, uygulama gerçekleşmesi, bildirilen hizmet sonucu ve açıklayıcı hesap ayrı kanıt türleridir. Kaynak yayın tarihi ile ölçüm dönemi ayrı gösterilmiştir.

Bölüm 2–10 teknik sistem analizlerini; bölüm 11 Türkiye'de doğrulanmış proje ve uygulama örneklerini içerir. Belirli bir yerde ölçülmüş kazanım başka bir tesisin garanti edilmiş sonucu değildir. Tasarım kapasitesi işletme debisi yerine, proje hedefi gerçekleşmiş hizmet yerine kullanılmamıştır. Maliyet karşılaştırmaları teklif veya keşif niteliği taşımaz. Teknik ifadeler ayrıntılı proje hesabı, yerel standart ve idare kabulünün yerine geçmez.

- [JMP] WHO ve UNICEF. Progress on household drinking water sanitation and hygiene 2000–2024. 2025.
- https://data.unicef.org/resources/jmp-report-2025/
- [IEA26] IEA. Electricity Mid Year Update 2026. 2026.
- https://www.iea.org/reports/electricity-mid-year-update-2026/executive-summary
- [OECD25] OECD. Government at a Glance 2025 Asset performance management. 2025.
- https://www.oecd.org/en/publications/government-at-a-glance-2025_0efd0bcd-en/full-report/management-of-asset-performance-throughout-the-life-cycle_77aa88af.html
- [OECD26] OECD. Management of assets throughout their life cycle. 2026.
- https://www.oecd.org/en/publications/management-of-assets-throughout-their-life-cycle_86ce92d8-en.html
- [WICER] Dünya Bankası. Water in Circular Economy and Resilience. 2021.
- https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/wicer
- [WCASE] Dünya Bankası. WICER Case Studies. Çeşitli tarihler.
- https://www.worldbank.org/en/programs/wicer/case-studies
- [WENERGY] Dünya Bankası. Energy Efficiency Investments in Urban Water and Wastewater Utilities. 2019.
- https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/energy-efficiency-investments-in-urban-water-and-wastewater-utilities

- [WREUSE] Dünya Bankası. Scaling Water Reuse A Tipping Point for Municipal and Industrial Use. Erişim 1 Ekim 2026.
- https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/scaling-water-reuse
- [NRW] Dünya Bankası. Reducing Nonrevenue Water and Improving Energy Efficiency Guidance Note. 2020.
- https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/539681593009432732
- [FAO] FAO. AQUASTAT Su kaynakları sulama ve drenaj veritabanı. Göstergeye göre değişir.
- https://www.fao.org/aquastat/en/databases/maindatabase/
- [FAOM] FAO. Modernizing irrigation water management. Teknik referans.
- https://www.fao.org/4/y4525e/y4525e09.htm
- [CLIMATE] OECD. Infrastructure for a Climate Resilient Future. 2024.
- https://www.oecd.org/en/publications/infrastructure-for-a-climate-resilient-future_a74a45b0-en/full-report.html
- [UIC] UIC. Infrastructure Subsystem. Erişim 1 Ekim 2026.
- https://uic.org/rail-system/infrastructure-subsystem/
- [UICRAIL] UIC. Recommendations for management of rails. 2024.
- https://shop.uic.org/en/other-reports/14732-recommendations-for-management-of-rails.html
- [PORT] Dünya Bankası. Port Reform Toolkit. 2025.
- https://www.worldbank.org/en/topic/transport/publication/port-reform-toolkit
- [CPPI] Dünya Bankası. Container Port Performance Index. Erişim 1 Ekim 2026.
- https://www.worldbank.org/en/topic/transport/publication/cppi
- [GRID] IEA. Modernising Grids in the Age of Electricity. 2026.
- https://www.iea.org/reports/modernising-grids-in-the-age-of-electricity/executive-summary
- [BUILD] IEA. Energy Efficiency 2025 Buildings. 2025.
- https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2025/buildings
- [KABEV] Dünya Bankası. Türkiye Energy Efficient Buildings Bring Savings Security Better Lives. 24 Eylül 2025.
- https://www.worldbank.org/en/news/feature/2025/09/24/turkiye-energy-efficient-buildings-bring-savings-security-better-lives
- [IRR] Dünya Bankası. Türkiye Irrigation Modernization P158418 Implementation Status and Results Report. 18 Eylül 2026.
- https://documents1.worldbank.org/curated/en/099091826004042228/pdf/P158418-138cba32-6c93-4eea-98c2-d9862d39ec82.pdf

- [KGM] KGM. Çalışma yapılan yollar Bölge 4. 30 Eylül 2026 güncellemesi.
- https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/YolDanisma/CalismaYapilanYollarYeni.aspx?Bolge=4
- [KOLTEK] KOLTEK. Yayımlanan proje portföyü. Erişim 1 Ekim 2026.
- https://www.koltek.com.tr/pages/projeler.html
- [KOLTEKEN] KOLTEK. Proje portföyü İngilizce. Erişim 1 Ekim 2026.
- https://en.koltek.com.tr/projectsall/
- [DSI] DSİ. Sulama modernizasyonu proje belgeleri. Belgeye göre değişir.
- https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/727
- [TUIK] TÜİK. Su ve Atıksu İstatistikleri 2024 Metaveri. 2024 referans yılı.
- https://veriportali.tuik.gov.tr/en/press/54109/metadata
- [RAIL2024] Eurostat. EU rail passengers made 8.7 billion trips in 2024. 14 Mayıs 2026.
- https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20260514-1

koltek

KOLTEK GLOBAL INFRASTRUCTURE INDEX-2

Ekim 2026

Altyapının Teknik Durumu
Darboğazlar ve Mühendislik Çözümleri
Küresel Teknik Değerlendirme ve
Türkiye Uygulamaları



KOLTEK MÜŞAVİRLİK
TARAFINDAN HAZIRLANMIŞTIR