

Statik Formüllerden Piyasa Dinamiklerine: Havacılıkta Zamanı Fiyatlandırmak

Giriş

Modern elektrik piyasalarında uygulanan "çok zamanlı tarife" modeli, kıt bir altyapının nasıl yönetilmesi gerektiğine dair kusursuz bir örnektir. Talebin zirve yaptığı gündüz saatlerinde tüketilen bir kilovat elektrik ile gecenin ilerleyen saatlerindeki tüketimin fiyatı aynı değildir. Tüketicilerin yüksek enerji gerektiren ev aletlerinin kullanımını veya elektrikli araç şarj işlemlerini bilinçli olarak gece saatlerine kaydırmasının ardında, piyasanın sunduğu bu rasyonel fiyatlama yatar. Çok zamanlı tarifenin varlık nedeni, şebekenin kapasitesi sınırlı olduğu gerçeğidir. Zira tüm talebin aynı anda altyapıya yüklendiği bir senaryoda sistem tıkanır ve anlık ihtiyacı karşılayabilmek adına çevreyi çok daha fazla kirleten, yüksek emisyonlu ve yüksek maliyetli yedek santrallerin devreye girmesi zorunlu hale gelir. Tedarik şirketleri bu darboğazı aşmak için yoğun saatleri daha yüksek, sakin saatleri ise daha düşük bir ücretle fiyatlandırarak, tüketimi homojen bir şekilde zamana yayarlar. Arzı kısıtlı bir altyapıyı çökmeden yönetmenin ve gereksiz karbon emisyonunu önlemenin en zarif yolu, "zamanı" fiyatlandırmaktır.

Gökyüzü aşağıdan bakıldığında uçsuz bucaksız görünse de aslında tıpkı metropol otoyolları gibi görünmez koridorlara, daralan boğazlara ve katı kapasite sınırlarına sahip fiziksel bir ağıdır. Ancak elektrik şebekelerinde ve küresel lojistik ağlarında kusursuz işleyen bu temel kapasite planlama çözümü, söz konusu sonsuz gibi algılanan gökyüzü olduğunda aniden kaybolmaktadır.

Elli altı yıl önce, 1970'in Eylül ayında Brüksel'de imzalanan bir anlaşmayla kurulan Avrupa hava seyrüsefer ücretlendirme sistemi, bugün hâlâ o günün basit, statik mekanizmasıyla çalışmaktadır. Sistemin kalbinde yer alan **Hizmet Birim Sayısı = W x D (Ağırlık x Mesafe)** formülü, dijitalleşmenin ve büyük veri algoritmalarının olmadığı bir çağda, büyük hacimli hesaplamalar için sunduğu "basitliği" nedeniyle sivil havacılığa büyük bir armağan olarak sunulmuştu. Ancak yapay zekanın uçuş ağlarını anlık olarak optimize edebildiği günümüz dünyasında, bir formülün değeri onun basitliğiyle değil, ağın dinamik krizlerine ne kadar duyarlı cevap verebildiğiyle ölçülmelidir. Yarım asırlık bu yapı uçağın ağırlığını ve uçtuğu mesafeyi dikkate alır, ancak "ne zaman" uçtuğu formülde yer almaz.

Örneğin, aynı tipte iki uçak, aynı rotada iki farklı uçuş planlasın. Biri hava sahasının en kaotik olduğu sabah sekizde, diğeri ise en sakin olduğu gece ikide kalsın. Bugün, her iki uçuş da hava seyrüsefer hizmeti için tam olarak aynı ücreti ödeyecektir. Oysa sistemin onlara sunduğu hizmet ve onların sisteme ve doğaya maliyeti tamamen farklıdır. Gece ikide kalkan uçak gökyüzünde tek başınadır, rotasını dümdüz ve

en optimum irtifada uçararak tamamlar. Sabah sekizde kalkan uçak ise yoğun bir sektöre girmemek için rotasını kilometrelerce uzatmak zorunda bırakılır. Yoğunluk nedeniyle kontrolör tarafından optimum seyir irtifasından daha alt seviyelerde bir uçuş seviyesi tahsis edilir ve sürtünmenin fazla olduğu bu irtifada çok daha fazla yakıt yakarak daha yüksek emisyonu neden olur. Belki de sektördeki ayırmayı sağlamak için bir hız tahdidiyle karşılaşır, bu da karbon salınımını artıran ek bir verimsizliğe neden olur.

Bunların hepsi kabin içindeki yolcunun hissetmediği, ancak uçağın yakıt deposunda ve atmosferde ağır izler bırakan sessiz bedellerdir. Aynı günlük trafiği, saatlere dengeli yayılmış akıcı bir sistem olarak da, kısa pencerelere sıkıştırılmış yoğun dalgalar halinde de yönetebilirsiniz. Kâğıt üzerinde ikisi de aynı toplam uçuş sayısını verir; ancak kapasitenin üzerine taşan her dalga, az önceki sabah sekiz uçuşunun başına gelen verimsizlikleri çok daha sık ve yoğun şekilde tekrarlar. Tıkanıklık sadece operasyonel bir krize neden olmaz; sessizce ve üstel olarak büyüyen bir karbon faturası da yazar.

İşte ödenen o "aynı faturanın" ardında gizlenen bu devasa fark, havacılık sektörünün bugün eşzamanlı olarak çözmeye çalıştığı iki krizin tam kesişim noktasında durmaktadır: Pandemi sonrası güçlü bir şekilde geri dönen talep dalgasıyla yeniden tıkanan Avrupa hava sahasındaki kapasite krizi ve Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın "2050 Net Sıfır" taahhüdünün neden olduğu iklim krizi. İktisadi açıdan, bu iki sorunun kökü esasen aynı yerdedir: Kıt bir kaynak olan hava sahası, zaman boyutu hiç hesaba katılmadan fiyatlandırılmaktadır.

İktisatta bu sorunun bir adı vardır: Tepe Yük Fiyatlaması (Peak-Load Pricing). Bolic ve diğerleri (2017), bunun Avrupa hava sahasında gelir-nötr biçimde işleyebileceğini ve talep-kapasite dengesini kurabileceğini göstermiştir.

Bu mekanizmanın rasyonelliğini görmek için uzağa gitmeye gerek yoktur; bizzat havayollarının kendi biletleme stratejilerine bakmak yeterlidir. Bayram dönemleri veya yaz tatili gibi talebin zirve yaptığı bir dönemde alınan uçak biletinin fiyatı ile, sakin bir kış gününde alınan biletin fiyatı asla aynı değildir. Havayolu şirketleri, yoğun dönemleri pahalılaştırıp esnek yolcuları sakin dönemlere yönlendirerek kendi uçak kapasitelerini optimize ederler. Sektörün yıllardır bilet fiyatlarında kusursuzca uyguladığı ve piyasanın doğal bir gerçeği olarak kabul edilen bu dinamik fiyatlandırma mantığının, iş o uçağın kullandığı "hava sahası altyapısına" geldiğinde tamamen terk edilmesi büyük bir çelişkidir. Bu çalışma kapsamında önerilen "Dinamik Zaman Fiyatlaması", işte bu tanıdık piyasa dinamiğini yolcu biletinden alıp, altyapı ücretlendirmesine taşımayı hedefler.

Ama havacılıkta mesele sadece formüle bir zaman çarpanı eklemek kadar pürüzsüz değildir. Pels ve Verhoef (2004), havayollarının pazar gücüne sahip olduğu oligopolistik yapılarda, özellikle *hub-and-spoke* diye bilinen topla-dağıt mantığıyla çalışan ağlarda, taşıyıcıların gecikme maliyetini halihazırda içselleştirdiklerini (örneğin bağlantılı uçuşu bekletmek suretiyle kendi içlerinde ödediklerini) kanıtlamaktadır. Kısa pencerelere sıkıştırılmış bu yoğun iniş-kalkış "dalgaları" üzerine kurulu bir ağda,

zirve saate körü körüne düz bir ücret bindirmek, havayoluna aynı gecikme için ikinci kez ceza kesmek ve talebi refah kaybına yol açacak kadar kırma riski taşır.

Ampirik tablo ise farklı bir şey söylemektedir. Morrison ve Winston (2007), ABD verileriyle gecikmelerin üçte ikisinin hâlâ dışsal kaldığını ve zamanı hedef alan küçük bir ekonomik teşvikin bile milyarlarca dolarlık net refah kazancına dönüşebileceğini gösterirken; Vo ve diğerleri (2026) ise arz tarafını esnetmenin (örneğin kontrolör mesai düzenlemeleri) tek başına yetmediğini, kapasite yönetimi ile fiyatlandırmayı birlikte ele alan bütünleşik bir modelin literatürde hâlâ eksik olduğunu tespit etmektedir.

Bu çalışma, tam olarak literatürdeki bu boşluğu hedeflemektedir: Tepe yük fiyatlamasını sadece bir kapasite aracı değil, aktif bir karbon azaltım mekanizması olarak yeniden tasarlayan "Dinamik Zaman Fiyatlaması" modeli önerilmektedir. Bunu yaparken Pels ve Verhoef'in (2004) çalışmasının neticesiyle uyumlu bir şekilde bağlantı mantığını cezalandırmak değil, zirve saatin gerçek maliyetini görünür kılmak amaçlanmaktadır. Doğru tasarlanmış bir tarife yönlendirmesi, esnek trafiği sakın saatlere kaydırarak Hub taşıyıcılarına daha akıcı bir gökyüzü sunar; uçmayı yasaklamaz, yalnızca bedelini ortaya koyar ve seçimi taşıyıcıya bırakır.

Ama mesele burada bitmiyor. Bir havayolu sizin hava sahanızda sakın bir saat seçip az ödediğinde, varış noktasında tam o saat başka bir ülkede zirve olabilir. Yani uygulanan ekonomik teşvik, bir başkasının sahasında tersine işleyebilir (Su Yatağı Etkisi). Bu da "Dinamik Zaman Fiyatlaması"nı tek bir devletin uygulayarak çözebileceği bir algoritma meselesinden çıkarıp, EUROCONTROL'ün halihazırda elinde tuttuğu ağ geneli koordinasyon yetkisini gerektiren bir Avrupa sorusuna dönüştürmektedir. EUROCONTROL Ağ Yöneticisi (Network Manager) ile entegre, dinamik bir Bonus-Malus fiyatlandırması, tıkanıklığı çözüp yatay/dikey uçuş verimsizliklerini sıfırlarken, bunun doğal sonucu olarak karbonu da düşürebilir. Bu, klasik "ya kapasite ya çevre" ikilemini aşan bütünleşik bir çifte kazanç senaryosudur. Ancak bu senaryonun gerçekleşmesi, tek bir hava sahasının değil, bütün ağın aynı dili konuşmasına bağlıdır.

1970'in Mirası

Bugün kullanılan ağırlık-mesafe formülünün kökleri, EUROCONTROL'ün kendi tarihçesine göre, 1970 yılına dayanıyor. 1970 yılının Haziran ayında Teşkilatın Daimi Komisyonu (CN/28, 25 Haziran 1970), bir bölgesel yol ücretleri sisteminin kurulmasına dair ilkeyi onayladı. Formülün asıl omurgasını oluşturan ağırlık bazlı hizmet birim sayısı hesaplamasına ilişkin formül ise — kurumun kendi tarihçesinin aktardığı bir anekdota göre — Wolfgang Philipp tarafından, o yılın Noel'inde geliştirildi. Sayın Philipp, sivil havacılık dünyasına güzel bir Noel hediyesi vermiş oldu. Sonuç, 8 Eylül 1970'te Brüksel'de, örgütün o zamanki yedi üye devletinin tam yetkili temsilcileri tarafından imzalanan çok taraflı bir anlaşma oldu; bunu uygulamak üzere 1971'de Merkezi Yol Ücretleri Ofisi (CRCO) kuruldu. EUROCONTROL'ün bu

çalışması daha sonra ICAO'nun kendi prensiplerine de rehberlik etti.

Sistem 1981'de imzalanan ve 1986'dan beri yürürlükte olan yeni bir çok taraflı anlaşmayla güncellendi — ama formülün temel mantığı neredeyse hiç değişmedi.

O dönemde bu hesaplamanın basit olması hedeflenmişti; elle ya da ilkel bilgisayarlarla yapılan bir hesaplamanın karmaşık olmaması gerekiyordu. Ama yarım asırdan fazla bir süre sonra, hava sahasını gerçek zamanlı optimize eden algoritmaların olduğu bir dünyada, bir fiyatlandırma formülünün değeri artık hesaplama basitliğiyle değil, ağır gerçek ihtiyaçlarına; kapasiteye ve çevreye ne kadar duyarlı olduğuyla ölçülmelidir.

Bayram Tarifesinden Gökyüzü Tarifesine

Peki bu mekanizma somut olarak nasıl işliyor? Anlamak için uzağa gitmeye gerek yok; kendi bilet alma deneyiminize bakmak yeter. Kurban Bayramı tatiline üç hafta kala Ankara-Paris bileti aramışsanız, fiyatın bayramdan üç ay önceki sakın bir Salı gününe kıyasla nasıl fırladığını bilirsiniz. Havayolları bunu kasıtlı yapar: Yoğun talep dönemlerini pahalandırıp sakın dönemleri ucuzlatarak yolcuyu — isteseler de istemeseler de — kendi kapasitelerine göre zamana yayarlar. Buna "gelir yönetimi" denir ve sektör bunu yıllardır, sorgusuz sualsiz uygular; kimse bir havayolunu bayram tarifi yüksek diye haksızlıkla suçlamaz.

Önerdiğimiz şey, bu tanıdık mantığın bilet fiyatından çıkıp hava seyrüsefer ücretine taşınması. Şu an bir havayolu, bayram tatilinin en kalabalık saatinde uçtuğunda ödediği seyrüsefer ücreti, gecenin bir yarısında uçuşuyla tamamen aynı — ağırlığa ve mesafeye bakar, saate hiç bakmaz. "Dinamik Zaman Fiyatlaması", mevcut formüle küçük bir zaman çarpanı ekliyor: Zirve saatte biraz daha yüksek, sakın saatte biraz daha düşük. Somutlaştıralım: Ortalama bir seyrüsefer ücretinin 1.000 avro olduğunu düşünelim. Zirve saatte buna makul bir "yoğunluk farkı" eklenirken, gece yarısı sakın saatte benzer oranda bir indirim uygulanabilir — sistem toplamda aynı geliri toplar, sadece talebi nereye yönlendirdiği değişir. Havayolu, bilet fiyatlandırmasında yıllardır yaptığı hesabı, artık altyapı maliyetinde de yapmak zorunda kalıyor.

Bunun çevreye bedeli, yaklaşma yapan uçaklar için bitmek bilmeyen holdingler, yerdeki trafikler için tükenmeyen kalkış sırası, yol kontroldeki trafikler için ise ayırma nedeniyle hava trafik kontrolörünün uzattığı yollardır; yolcu fark etmez ama uçak gereğinden fazla mesafe uçar. Ya da kontrolör hız tahdidi verir; uçak motorunun en verimli çalıştığı optimum hızdan sapar, yakıt sarfıyatı artar. Ya da en verimli uçuş seviyesi doluyorsa, uçak kendisi için artık "fazla ağır gelen" bir irtifada uçmaya devam eder. Bunların hiçbirisi kabin içinden fark edilmez; yolcu sadece sapaşğlam, zamanında bir uçuş yaşadığını düşünür. Ama yakıt göstergesinde, bilançoda ortaya çıkan sessiz izler bırakırlar.

Bunun ne denli yaygın olduğunu EUROCONTROL'ün kendi verileri gösteriyor: 2024 yazında en-route gecikmeler Temmuz ayında uçuş başına 5,7 dakikaya çıktı, bu bir önceki yılın aynı ayına kıyasla neredeyse iki katı. Üstelik bu gecikmenin yaklaşık %46'sı zaten "zincirleme" gecikme, yani bir noktadaki

tıkanıklık, bağılı olduğu sonraki uçuşlara da devrediyor.

Ekonomik Teşvik mi, İdari Kural mı?

Peki bu zaman çarpanı, EUROCONTROL'ün elinde zaten bulunan araçların yerini mi alıyor, yoksa onlara bir şey mi ekliyor? Zira EUROCONTROL Network Manager zaten, bir sektöre aşırı yüklenildiğinde uçuşlara doğrudan CTOT denilen bekleme süresi verebiliyor. Pilotun, yolcuları uçağa kabul ettikten sonra "hava sahasındaki yoğunluktan dolayı" beklemek zorunda olduklarını anons ettiği anlarda olduğu gibi; bu durum hava sahasında ATFM sistemi üzerinden işleyen, tamamen idari ve fiyatsız bir müdahaledir.

Cevap, idari kısıtlamaların "kör", tarife yönlendirmelerinin ise "akıllı" olmasında yatmaktadır. Ağ Yöneticisi'nin uyguladığı slot müdahalesi, uçuş günü ortaya çıkan kapasite aşımalarına ve operasyonel daralmalara karşı başvuru alan reaktif bir kriz yönetimidir. İdari hüküm, uçağın içindeki ekonomik dinamiğe bakmaz; kıtalararası uçuşlara bağlantı verecek olan ve zamanla yarışan dev bir hub taşıyıcısı ile, yalnızca fiyat odaklı seyahat eden tatilcileri taşıyan düşük maliyetli bir uçağı aynı sıraya sokar ve acımasızca bekletir. Oysa "Dinamik Zaman Fiyatlaması", halihazırda var olan bu idari mekanizmayı ortadan kaldırmayı değil; ona duyulan ihtiyacı minimize etmeyi hedefler.

Fiyat mekanizması, havayolu şirketlerine aylar öncesinden, henüz tarife ve sezon planlama aşamasındayken proaktif bir yönlendirme sunar. Bu ekonomik göstergeyi alan esnek taşıyıcılar, henüz ortada hiçbir operasyonel kriz yokken uçuşlarını gönüllü olarak daha sakın saatlere kaydırır. Böylece Avrupa hava sahası, uçuş gününe zaten çok daha dengeli ve rahat bir başlangıçla girer; Ağ Yöneticisi'nin "kırmızı düğmeye" basıp uçakları yerde bekletme ihtimali de dramatik ölçüde düşer.

Üstelik unutulmamalıdır ki, idari müdahalenin (uçağı yerde veya havada bekletmenin) neden olduğu zaman kaybı ve atmosfere salınan fazladan karbon, sistemde kaybet-kaybet şeklindeki salt bir refah kaybıdır; bu kayıp kimsenin bilançosuna olumlu yansımaz. Oysa fiyat mekanizması aynı tıkanıklık maliyetini, hava sahasının gelecekteki teknolojik altyapısını güçlendirecek fonlara dönüştürme potansiyeline sahiptir. İktisat literatüründe fiyat temelli teşvikler ile miktar kısıtlamalarının birbirinin yerine geçmekten ziyade, nasıl birbirini tamamlayan araçlar olduğu Weitzman'ın (1974) klasik çalışmalarından bu yana bilinmektedir. Havacılıkta da bu ikili, birbirini dışlayan araçlar değil; emniyeti ve çevresel verimliliği birlikte sağlayan bütünleşik bir ağın iki farklı katmanıdır.

Sınırı Aşan Teşvikler: Su Yatağı Etkisi ve Sistemin Entegrasyonu

Giriş bölümünde kısaca değinildiği üzere, modelin Avrupa gibi çok parçalı bir coğrafyada gözden kaçabilecek bir operasyonel tuzağı vardır: Bir taşıyıcı, hava seyrüsefer faturasını düşürebilmek için kalkış yaptığı meydan olan söz gelimi İstanbul'dan sabahın en erken ve ucuz saatinde kalkmış olabilir. Ancak

saatlerce süren bu uçuşun sonunda Frankfurt hava sahasına vardığında, tam olarak Alman hava sahasının o günkü en kaotik ve pahalı saatine denk gelebilir. Kaynağında başarıyla yönetilen bir trafik ve oldukça ekonomik olan hava seyrüsefer faturası, varış noktasına en pahalı saatte, en yüksek emisyonuna sahip olacağı saatte varabilir. Yani buradaki uygun faturalandırma stratejisi, bir başka hava sahasında tersine işlemiş; kazanılan küçük maliyet tasarrufu, uçuş verimsizlikleri nedeniyle hem bütçede hem de atmosfere salınan karbon miktarında sessizce eriyip gitmiştir.

İktisat literatüründe "Su Yatağı Etkisi" olarak bilinen bu fenomenin çözümü, zirve ve sakin saat tanımlarının her ülkenin kendi lokal koşullarına göre izole bir şekilde belirlenmesiyle aşılamayacağı açıktır. Fiyatlandırmaya esas teşkil edecek zaman bantları; büyük trafik koridorları, kıtasal geçiş süreleri ve sektör kapasiteleri hesaba katılarak ağ genelinde senkronize edilmelidir.

Sistemin uygulanmasını mümkün kılacak önemli bir faktör, bu mekanizmayı kurmak ve senkronizasyonu sağlamak için sıfırdan uluslararası bir kurum inşa etmeye gerek olmamasıdır. EUROCONTROL'un Merkezi Yol Ücretleri Ofisi (CRCO), halihazırda tüm Avrupa'da sınır ötesi hava seyrüsefer hizmetlerine ilişkin ücret tahsilatını merkezi olarak icra etmektedir. Eksik olan tek şey, mevcut hesaplama algoritmalarının içerisinde zaman bantlarının "ortak bir dil" olarak entegre edilmesidir. Bu da meseleyi, çözümsüz bir uluslararası politika krizi olmaktan çıkarıp, tam olarak EUROCONTROL'un varlık nedenine ve kurumsal kapasitesine uygun teknik bir koordinasyon sorunu haline dönüştürmektedir.

Gözden Kaçan Kazançlar: İnsan Kapasitesi, Emniyet ve Sistem Direnci

Model etrafındaki tartışmaların ana eksenini genellikle altyapı yetersizliği ve karbon emisyonları etrafında şekillense de, fiyat mekanizmasının getireceği en hayati kazançlardan biri sıklıkla gözden kaçmaktadır: Operasyonel emniyet ve insan kaynağının optimizasyonu. IATA'nın Avrupa hava sahasındaki ATC kaynaklı gecikmelere ilişkin raporları, dar boğazların yıkıcı ekonomik etkilerini yıllardır vurgularken; EUROCONTROL'un 8 Haziran 2026 tarihinde yayımlanan en güncel ACE (ATM Cost-Effectiveness) raporu bu sorunun vehametini matematiksel bir kesinlikle ortaya koymaktadır.

Sistem geneli verilere göre, Avrupa'daki toplam ATFM (Hava Trafik Akış Yönetimi) gecikmelerinin %75,9'u doğrudan en-route kaynaklıdır. Daha da çarpıcı olanı, bu devasa en-route gecikmelerinin neredeyse yarısının (%49,9) bizzat "ATC kapasitesi ve personel yetersizliğinden" (staffing issues) kaynaklanmasıdır. Sisteme yeni hava trafik kontrolörleri entegre etmek; yıllar süren eğitimler gerektiren ve sistemin sabit maliyetlerini, dolayısıyla havayollarına yansıtılacak olan birim ücretleri dramatik ölçüde artıran katı bir arz çözümüdür. Oysa "Dinamik Zaman Fiyatlaması", yeni personel maliyeti oluşturmaksızın halihazırdaki mevcut insan kaynağını optimize etmeyi hedeflemektedir. Radar ekranını dolduran uçak sayısı zirve saatlerde kapasite sınırlarını zorladığında, kontrolörün her bir uçağa ayırabileceği

dikkat süresi azalır ve bilişsel iş yükü kaçınılmaz olarak artar. Trafiki zaman ve fiyat parametreleriyle yaymak, %49,9'luk bu dar boğazı açmakla kalmaz; kontrolörün iş yükünü insani sınırlar içinde dengeleyerek havacılığın en temel yapı taşı olan "emniyet marjını" kalıcı olarak korur.

Bu tablonun bir de havayolu şirketlerinin bilançolarına yansıyan sessiz bir kazanç boyutu vardır. Zirve saatlerde hava sahasına yığılmanın bedeli olarak uçaklara yaptırılan rotayı uzatma işlemleri, ayırma amacıyla verdirilen radar vektörleri, zigzaglar ve hız tahditleri nedeniyle yakılan binlerce ton fazladan yakıt, hava seyrüsefer hizmet sağlayıcısının değil, doğrudan havayolunun kendi maliyetidir. Fiyatlandırma modeli sayesinde yoğunluk azaldığında ve uçuşlar pürüzsüzleştiğinde, yakıt kalemindeki bu devasa israf da ortadan kalkar. Havayolu şirketlerinin esnek trafiki kaydırarak veya zirve saat bedelini ödeyerek satın aldıkları bu "optimum uçuş profili", günün sonunda kendi bilançolarına devasa bir net tasarruf olarak döner.

Günün her saati, kapasitesinin mutlak sınırında çalıştıran bir ağ, operasyonel şoklara karşı tamamen savunmasızdır. EUROCONTROL ACE raporu, en-route gecikmelerinin %35,8'inin, havalimanı gecikmelerinin ise %50,8'inin kötü hava şartlarından kaynaklandığını göstermektedir. Avrupa hava sahası gibi devasa bir ekosistemde kötü hava şartları, teknik bir arıza veya beklenmedik bir acil durum yaşandığında, tıka basa dolu olan sistemin bu şoku emecek hiçbir boşluğu kalmaz; kriz saniyeler içinde tüm kıtaya yayılan bir domino etkisine dönüşür. Trafiki gün içine homojen bir şekilde yaymak, sisteme tam da şiddetli hava olayları karşısında ihtiyaç duyduğu o operasyonel tamponu ve direnç kabiliyetini geri verir. Küçük aksaklıkların büyük krizlere dönüşmesini engelleyen bu esneklik, sürdürülebilir bir havacılık ağının görünmez kalkanıdır.

Sonuç: Gökyüzünü Geleceğe Hazırlamak

1970'lerde temelleri atılan ve yarım asırdır Avrupa havacılığına istikrarla hizmet eden mevcut seyrüsefer fiyatlandırma sistemi, dönemin kısıtlı hesaplama imkanları içinde "basitliği ve öngörülebilirliği" sağlamak üzere tasarlanmış çok değerli bir tarihi mirastır. Kendi döneminin operasyonel ihtiyaçlarına kusursuzca cevap veren bu yapı sayesinde Avrupa gökyüzü bugünkü entegre ve devasa ağına kavuşmuştur. Ancak, havacılık sektörünün milyarlarca dolarlık yeni nesil uçakları yapay zeka destekli algoritmalarla uçurduğu günümüzde; sektörün karşı karşıya kaldığı kapasite ve iklim krizleri, bu değerli mirası çağımızın piyasa dinamikleriyle buluşturmayı zorunlu kılmaktadır. Gökyüzü artık kapasitesi sonsuz bir boşluk değil; anlık yığılma noktaları ve katı kapasite sınırları olan canlı, dinamik bir organizmadır.

Bu çalışmada önerilen "Dinamik Zaman Fiyatlaması", havacılık sektörünü geçmişin kurallarından koparmadan, sistemi modern ağ yönetiminin ihtiyaçlarına uyarlamayı hedefler. Bu mekanizma, sistem genelinde trafiki aylar öncesinden rasyonel fiyat yönlendirmeleriyle dağıtarak o yetkiye duyulan anlık operasyonel ihtiyacı minimize etmeyi amaçlamaktadır.

Avrupa hava sahasının yeni Performans Referans Dönemi (RP4) planlamaları halihazırda sektörün

masasında tartılırken, bu bütünleşik fiyatlandırma modelini kıtanın en kaotik birkaç koridorunda pilot uygulamalarla test etmek hiç de uzak bir ihtimal değildir. İhtiyaç duyulan tek şey, CRCO'nun merkezi tahsilat tecrübesine ve oturmuş altyapısına, zaman bantlarını ortak bir dil olarak entegre etmektir. Klasik iktisat ve çevre politikaları genellikle politika yapıcılara acımasız bir dikotomi sunar: Ya kapasiteyi (büyümeyi) seçeceksiniz ya da çevreyi. Oysa "Dinamik Zaman Fiyatlaması", havacılığın kendi operasyonel gerçeklerinden beslenerek bir "Kazan-Kazan" senaryosu vadetmektedir.

Yazının başındaki o sabah sekiz uçağına geri dönecek olursak; zamanın doğru fiyatlandırıldığı bir Avrupa hava sahasında o uçak kalkışta slot beklemeyecek, havalandığında yoğunluktan kaçmak için kilometrelerce rota uzatmayacak, radar ekranındaki yükü hafıflemiş bir kontrolörün emniyetli yönetimi altında ve sürtünmenin en az olduğu optimum irtifada süzölerek hedefine ulaşacaktır. Unutulmamalıdır ki gökyüzü kıt bir kaynaktır; ve kıt kaynaklar ancak doğru fiyatlandırıldığında adil, emniyetli ve temiz bir şekilde paylaşılabilir.