



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

İş Analitiği Bilim Dalı

**TÜRKİYE İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİR TURİST GEZİ TASARIM
PROBLEMİ: KARBON KISITLI VE ÇOK MODLU TAM SAYILI
PROGRAMLAMA UYGULAMASI**

Ayşe ZOBİ

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2025

TÜRKİYE İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİR TURİST GEZİ TASARIM PROBLEMİ: KARBON
KISITLI VE ÇOK MODLU TAM SAYILI PROGRAMLAMA UYGULAMASI

Ayşe ZOBİ

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

İş Analitiği Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2025

ÖZET

ZOBİ, Ayşe. *Türkiye İçin Sürdürülebilir Turist Gezi Tasarım Problemi: Karbon Kısıtlı Ve Çok Modlu Tam Sayılı Programlama Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2025.

Bu çalışma, Türkiye'nin yedi bölgesi için çok günlük ve çok modlu Turist Gezi Tasarım Problemi (TTDP)'ni zaman pencereleri, bütçe ve karbon emisyonu kısıtlarını birlikte dikkate alacak şekilde modellemektedir. Model, hem POI zaman pencerelerini hem de mod-bağımlı seyahat süre/maliyet ve emisyon katsayılarını kullanarak karbon kısıtlı, çok modlu, çok günlük bir TTDP formunda formüle edilmiş ve Gurobi ile (SolverStudio–Excel entegrasyonu üzerinde) çözülmüştür. Değerlendirmede EBC (Efficiency-Based Comparison) yaklaşımıyla puan/süre ve puan/karbon oranları kullanılmıştır; amaç fonksiyonuna dâhil edilmemiş, yalnızca değerlendirme ölçütü olarak kullanılmıştır. Politika duyarlılığını incelemek üzere yedi senaryo kurgulanmıştır: S_baz, S1 (Süre Düşük), S2 (Süre Yüksek), S3 (Karbon Düşük), S4 (Karbon Yüksek), S5 (Bütçe Düşük), S6 (Bütçe Yüksek). Bulgular tüm bölgelerde tutarlı desenler sergilemiştir: S3 senaryosu karbonu yaklaşık 34–36 kg bandına indirerek puan/karbon verimliliğini en üst düzeye taşımaktadır; S1 toplam süreyi önemli ölçüde kısaltırken puan/süre verimliliğini yükseltmektedir. S4 en yüksek ziyaret ve puanları üretmekte; ancak karbonu yaklaşık 85–90 kg bandına çıkardığından verimliliği düşürmektedir. S2 ziyaret ve puanı artırsa da zaman verimliliğini zayıflatmaktadır. S5 puanları baza yakın korurken maliyeti düşürerek maliyet-etkin bir denge sunar; S6'nın marjinal katkısı ise bütçenin belirlenen miktarda çoğu durumda belirleyici faktör olmadığını göstermektedir. Bölgesel karşılaştırmalarda Marmara, baz senaryoda üç günlük planda toplam 48 farklı POI ile en zengin ziyaret kombinasyonunu ve yüksek toplam puanı sunmuştur; çekicilik maksimizasyonu için S2/S4, sürdürülebilirlik için S3 öne çıkmaktadır. Sonuçlar, pratik planlamada hedefe göre (sürdürülebilirlik, zaman etkinliği, ziyaretçi tatmini, maliyet) senaryo seçiminin önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Sözcükler

Sürdürülebilir turizm, Karma tamsayılı programlama, Zaman pencereleri, Rota optimizasyonu, Bütçe kısıtları, Karbon ayak izi, Multimodal taşımacılık

ABSTRACT

ZOBİ, Ayşe. *Sustainable Tourist Trip Design Problem for Türkiye: A Carbon-Constrained, Multimodal Integer Programming Application*, Master's Thesis, Ankara, 2025.

This study formulates a multi-day, multi-modal Tourist Trip Design Problem (TTDP) for Turkey's seven regions, jointly accounting for time windows, budget, and carbon-emission constraints. The model incorporates POI time windows and mode-dependent travel time/cost and emission factors, resulting in a carbon-constrained, multi-modal, multi-day TTDP that is solved with Gurobi via a SolverStudio–Excel integration. Performance is assessed using the Efficiency-Based Comparison (EBC) with score-per-time and score-per-carbon ratios, used only for evaluation (not embedded in the objective). To analyze policy sensitivity, seven scenarios are defined: S_base, S1 (Low Time Limit), S2 (High Time Limit), S3 (Low Carbon Cap), S4 (High Carbon Cap), S5 (Low Budget Cap), and S6 (High Budget Cap). Results are consistent across regions: S3 reduces carbon to about 34–36 kg, delivering the highest score-per-carbon; S1 shortens total duration and improves score-per-time. S4 yields the highest visits and scores but raises carbon to ~85–90 kg, weakening efficiency; S2 increases visits and scores at the expense of time efficiency. S5 preserves scores while lowering total cost (cost-effective), whereas the marginal benefit of S6 indicates that the budget is generally non-binding. Regionally, Marmara exhibits the richest itinerary in the base case with 48 distinct POIs over three days and high total scores; S2/S4 are preferable for attractiveness maximization, while S3 stands out for sustainability. The findings highlight the importance of selecting scenarios aligned with planning priorities (sustainability, time efficiency, visitor satisfaction, and cost).

Keywords

Sustainable tourism, Mixed integer programming, Time windows, Route optimization, Budget constraints, Carbon footprint, Multimodal transport

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI.....	ii
ETİK BEYAN.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	x
GİRİŞ	1
1. BÖLÜM: LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2. BÖLÜM: PROBLEM TANIMI.....	7
3. BÖLÜM: YÖNTEM	10
3.1. MATEMATİKSEL MODELLEME.....	12
4. BÖLÜM: SENARYO ANALİZİ.....	18
4.1. BÖLGE ANALİZİ.....	18
4.1.1. Marmara Bölgesi.....	18
4.1.2. Akdeniz Bölgesi	24
4.1.3. Doğu Anadolu Bölgesi	29
4.1.4 Ege Bölgesi	33
4.1.5. Güneydoğu Anadolu Bölgesi	38
4.1.6. İç Anadolu Bölgesi.....	43
4.1.7. Karadeniz Bölgesi	47
4.2. SENARYO KARŞILAŞTIRMASI.....	52
4.2.1. S_baz (Baz Senaryo)	52
4.2.2. S1 (Süre Düşük Senaryo)	53
4.2.3. S2 (Süre Yüksek Senaryo)	53
4.2.4. S3 (Karbon Düşük Senaryo)	53
4.2.5. S4 (Karbon Yüksek Senaryo).....	54
4.2.6. S5 (Bütçe Düşük Senaryo)	54

4.2.7. S6 (Bütçe Yüksek Senaryo)	55
SONUÇ	58
KAYNAKÇA	61

KISALTMALAR DİZİNİ

TTDP	Turist Gezi Tasarım Problemi.
POI	İlgi Noktası (ziyaret noktası)
OP	Oryantiring Problemi
TOP	Takım Oryantiring Problemi
TSP	Gezgin Satıcı Problemi
VRP	Araç Rotalama Problemi
MILP	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama.
MTZ	Miller–Tucker–Zemlin
EBC	Efficiency-Based Comparison

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1 Marmara Bölgesi Senaryo Sonuçları	19
Tablo 1.2 Akdeniz Bölgesi Senaryo Sonuçları	24
Tablo 1.3 Doğu Anadolu Bölgesi Senaryo Sonuçları	29
Tablo 1.4 Ege Bölgesi Senaryo Sonuçları	34
Tablo 1.5 Güneydoğu Anadolu Bölgesi Senaryo Sonuçları	39
Tablo 1.6 İç Anadolu Bölgesi Senaryo Sonuçları	43
Tablo 1.7 Karadeniz Bölgesi Senaryo Sonuçları	48
Tablo 2.1 Bölgelerarası Baz Senaryo Karşılaştırması	52
Tablo 2.2 Bölgelerarası Süre Düşük Senaryo Karşılaştırması	53
Tablo 2.3 Bölgelerarası Süre Yüksek Senaryo Karşılaştırması	53
Tablo 2.4 Bölgelerarası Karbon Düşük Senaryo Karşılaştırması	54
Tablo 2.5 Bölgelerarası Karbon Yüksek Senaryo Karşılaştırması	54
Tablo 2.6 Bölgelerarası Bütçe Düşük Senaryo Karşılaştırması	55
Tablo 2.7 Bölgelerarası Bütçe Yüksek Senaryo Karşılaştırması	55

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğtaf 1.1 Marmara Bölgesi S_Baz G1(Tarih) Rota Görseli	24
Fotoğtaf 1.2 Akdeniz Bölgesi S_Baz G1(Tarih) Rota Görseli	28
Fotoğtaf 1.3 Doğu Anadolu Bölgesi S_Baz G1(Tarih) Rota Görseli	33
Fotoğtaf 1.4 Ege Bölgesi S_Baz G1(Tarih) Rota Görseli.....	38
Fotoğtaf 1.5 Güneydoğu Anadolu Bölgesi S_Baz G1(Tarih) Rota Görseli.....	43
Fotoğtaf 1.6 İç Anadolu Bölgesi S_Baz G1(Tarih) Rota Görseli	47
Fotoğtaf 1.7 Karadeniz Bölgesi S_Baz G1(Tarih) Rota Görseli.....	51

GİRİŞ

Turizm sektörü küresel ekonomide önemli bir paya sahiptir; örneğin 2019’da yaklaşık 1,46 milyar uluslararası turist seyahati gerçekleştirilmiştir. Turist bir şehri gezerken, ilgi duyacağı ziyaret noktalarını (POI) seçmeli ve kalan günler için günlük rotasını planlamalıdır. Bu planlama süreci, her bir POI için ziyaret süresi, açılış-kapanış zamanları (zaman pencereleri), giriş ücretleri ve POI’ler arası seyahat süreleri gibi bilgileri gerektirir. Aynı zamanda, turistlerin sınırlı bütçe ve zaman gibi kişisel kısıtları dikkate alınmalıdır. Literatürde bu problem “Turist Gezi Tasarım Problemi” (TTDP) olarak adlandırılmış, ve orijinal olarak bir başlayıç-bitiş noktasında turlar oluşturarak maksimum ilgi puanını sağlamaya yönelik bir optimizasyon problemi olarak formüle edilmiştir. TTDP, Takım Yönlendirme Problemi (TOP) literatürünün bir genelleştirilmesi olarak ele alınır.

Turizm faaliyetleri özellikle ulaşım ve konaklama sektörlerinde yüksek karbon emisyonuna yol açar. Uçuşlar başta olmak üzere seyahatler ve otellerin enerji kullanımı, önemli bir karbon ayak izi bırakmaktadır. Bu durum, turizm planlamasında çevresel sürdürülebilirlik ve karbon salınımının azaltılması gerekliliğini öne çıkarmaktadır. Ayrıca turistik gezi planlaması çok karmaşıktır; zaman pencereleri, maliyet ve bütçe kısıtları, farklı ulaşım modları ile seyahat süreleri gibi birden çok faktörü aynı anda göz önünde bulundurmaktır. Özetle, planlama sürecinde dikkate alınması gereken temel unsurlar şunlardır:

Zaman pencereleri: Her POI’nin belirlenmiş açılış ve kapanış saatleri vardır; bu zaman pencereleri içinde ziyaret etmek gereklidir.

Çok modlu ulaşım: Turistler arasında yürüyüş, şehirlerarası otobüs veya araç kiralama gibi farklı ulaşım seçenekleri bulunur. Her modun seyahat süresi ve maliyeti farklıdır, ayrıca seçilen moda bağlı olarak ortaya çıkan CO₂ emisyon miktarı değişir.

Karbon emisyonu: Benzinli araç ve otobüs yerine yürüyüş veya elektrikli araç kullanımının tercih edilmesi sürdürülebilirliği artırır. Yeni TTDP yaklaşımlarında toplam karbon salınımını minimize etmek ya da sınırlandırmak önemli bir hedef olarak alınmıştır.

Kısıtlı kaynaklar (Bütçe ve süre): Turistin sahip olduğu toplam bütçe (ziyaret ücreti ve ulaşım dahil) ve toplam izin verilen süre sınırlıdır. Modele bütçe kısıtı eklenerek bu harcamaların belirlenen limiti aşmaması sağlanır.

Bu bağlamda, sürdürülebilir bir turist rota planlaması için çok modlu ulaşımın dahil edildiği, zaman pencerelerinin korunduğu ve karbon ile bütçe kısıtlarının aktif olduğu optimizasyon modellerine gereksinim duyulmaktadır.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

Turist Gezi Tasarım Problemi (TTDP), skor maksimizasyonu odaklı Oryantiring Problemi (OP) ve çoklu araçlı genellemesi olan Takım Oryantiring Problemi (TOP) çizgisinde konumlanan; aynı zamanda gezgin satıcı (TSP) ve araç rotalama (VRP) literatürlerinin akış dengesi, alt tur engelleme kısıtları ve zaman aktarımı kısıtları gibi modellere kazandırdığı yapı taşlarından beslenen bir rota optimizasyonu ailesidir. OP/TOP ekseninde, sınırlı süre veya bütçe altında belirli ilgi noktalarının (POI) seçilmesi ve sıralanması ile toplam faydanın maksimize edilmesi esastır; bu hattın erken dönem ve derleyici çalışmaları problem uzayını sistemli biçimde tarif ederek TTDP'ye doğrudan metodolojik zemin sunmaktadır (Chao, Golden ve Wasil, 1996; Vansteenwegen, Souffriau ve Van Oudheusden, 2011; Tricoire, Romauch, Doerner ve Hartl, 2010). Diğer taraftan, TTDP'nin rotalama iskeleti tarihsel olarak TSP/VRP'den miras kalan doğrusal programlama ve kombinatoriyel optimizasyon yaklaşımlarıyla güçlenir; TSP'de dal-kes mimarisinin nüvelerini ortaya koyan ve büyük ölçekli örnekler üzerinde hesaplamalı doğrulamalar yapan erken dönem çalışmalar ile VRP'nin kurucu ve derleyici metinleri, günümüz TTDP modellerinde kullanılan akış dengesi, alt tur engelleme kısıtları ve zaman pencereleri benzeri kısıtların olgunlaşmasına katkı verir (Dantzig, Fulkerson ve Johnson, 1954; Dantzig ve Ramser, 1959; Laporte, 2009; Lahyani, Khemakhem ve Semet, 2015).

Son on yılda TTDP, zaman pencereleri, günlük çalışma süreleri, bütçe ve kullanıcı tercihleri gibi çoklu gerçekçilik unsurlarını aynı çatı altında birleştiren zengin özellikli (rich) bir çerçeveye evrilmiştir. Kapsamlı bir sistematik derleme, TTDP varyantlarını veri/amaç/kısıt sınıflandırmasıyla ele alırken çözüm yöntemlerini karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP) ve meta-sezgisel/karma yaklaşımlar şeklinde gruplandırmakta, ayrıca çok modlu ulaşım ve çok günlük planlamanın artan önemini vurgulamaktadır (Ruiz-Meza ve Montoya-Torres, 2022). Bu doğrultuda bekleme süreleri ve zaman-bağımlı tavsiye/çekicilik faktörlerini içeren TTDP formülasyonları, pratikte ek karmaşıklık getirirken fayda-maliyet dengesinin dikkatle gözetilmesi gerektiğini göstermiştir (Porras, Pérez-Cañedo, Pelta ve Verdegay, 2022). Gerçek dünya sahası üzerinde yeni kısıtlar ve veri kısıtlılıklarıyla geliştirilen uygulamalar, TTDP'nin saha geçerliliğini güçlendirmekte ve modelleme tarafında ek güçlendirici kısıtlar ile zaman

pencerelerine uyumun önemini ortaya koymaktadır (Yalçın, Malta ve Saylık, 2023). Çok günlük turların dengeli biçimde tasarımı, günler arası süreklilik ve başlama-bitirme kurallarının yönetilmesi gibi hususlar ise turistik bağlamda doğrudan uygulamalı öneriler sunan çalışmalarda ön plandadır (Erbil ve Wörndl, 2021).

Sürdürülebilirlik boyutu, TTDP literatürünün güncel yönelimlerinden biridir. “Yeşil TTDP” ekseninde toplam turistik puanı maksimize ederken maliyet ve CO₂ emisyonunu eşzamanlı olarak minimize etmeye çalışan çok amaçlı modeller, karar vericilerin çevresel ve ekonomik hedeflerini dengede tutacak planlar üretebilmektedir (Divsalar, Divsalar, Jabbarzadeh ve Sahebi, 2022; De Maio, Musmanno ve Skrame, 2023). Heterojen tercihlerin ve ulaşım modlarının dikkate alındığı çerçeveler, sürdürülebilirlik ile ziyaretçi memnuniyeti arasındaki potansiyel gerilimleri görünür kılmakta; bulanık çok amaçlı formülasyonlar ise tercih belirsizliği ile çevresel hedefleri aynı anda yönetme imkânı sunmaktadır (Ruiz-Meza ve Montoya-Torres, 2021; Ruiz-Meza, Brito, Montoya-Torres ve Castro-Vergara, 2022; Ruiz-Meza, Brito ve Montoya-Torres, 2021). Bu çizgiyi genişleten yakın dönem bir çalışma, sürdürülebilir tur tasarımında çevresel göstergeler ile turist faydasını eşanlı optimize eden bir yaklaşım önererek pratik politika içgörülerini sağlamaktadır (Pitakaso, Srichok, Khonjun, Gonwirat, Nanthasamroeng ve Boonmee, 2024).

TTDP’nin pratikte karşılaştığı zorluklar arasında çok modlu ulaşımın, elektrikli araç kullanımı gibi yeni teknoloji ve çevresel gerekliliklerin, ayrıca seyahat sürelerindeki belirsizliğin birlikte modellenmesi yer alır. Elektrikli araçlarda kısmi şarj davranışı ve stokastik yolculuk süreleri gibi unsurları içeren çok günlük TTDP varyantları, karbon kısıtları ve menzil kısıtlarını birlikte gözetken gerçekçi bir karar ortamı yaratmaktadır (Kedkaew, Nakkiew, Jewpanya ve Nakkiew, 2024). Çekim noktası örüntülerini, kategori dizilimlerini ve zaman-bağımlı skor yapısını içeren çalışmalar, TTDP’nin operasyonel gerçekçiliğini artırırken çözüm cephesinde güçlü yerel arama, uyarlanabilir büyük komşuluk ve melez stratejilerin önemini ortaya koymaktadır (Sylejmani, Abdurrahmani, Ahmeti ve Gashi, 2024; Vincent, Jewpanya, Lin ve Redi, 2019; Hapsari, Surjandari ve Komarudin, 2019; Jewpanya, Nuangpirom, Pitjamit ve Nakkiew, 2025). Ayrıca oryantiring ailesinde düzenli dil kısıtları, zorunlu/uyumsuz düğümler ve hizmet süreleri gibi ileri düzey kısıt kümeleri, TTDP’nin yakın akrabalarında test edilerek yöntemsel

birikimi zenginleştirmektedir (Vathis, Pantziou, Konstantopoulos ve Gavalas, 2024; Guastalla, Aringhieri ve Hosteins, 2025).

Kesin (exact) çözüm yaklaşımları açısından TTDP, karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP) paradigmasına sıklıkla başvurur. Zengin özellikli TTDP'ye branch-and-check yaklaşımını sistematik biçimde uyarlayan çalışmalar, ön eleme ve geçerli eşitsizliklerle birlikte ihlal denetimi adımları üzerinden çözüm kalitesini ve sürelerini iyileştirir; bu bağlamda TTDP için branch-and-check yaklaşımı dikkat çekicidir (Vu, Kergosien, Mendoza ve Desport, 2022). MILP'in kuramsal temelleri; tamsayılı programlamada kesme düzlemlerinin ilk formülasyonunu sunan Gomory'nin öncü katkıları, dal-sınır yönteminin genel çerçevesi, karma-değişkenli programlarda Benders ayrıştırması ve modern tamsayılı programlamanın el kitabı niteliğindeki kaynaklarla şekillenmiştir (Gomory, 2009; Land ve Doig, 1960; Benders, 2005; Conforti, Cornuéjols ve Zambelli, 2014). Bu yöntemsel altyapı, TTDP'nin akış-ziyaret eşlemesi, zaman aktarımı kısıtları, alt tur engelleme (ör. MTZ) ve Büyük-M kısıtlarıyla stabilizasyon gibi modelleme ayrıntılarıyla birleştiğinde, ticari çözücüler (ör. Gurobi) üzerinden ölçeklenebilir ve tekrarlanabilir hesaplamalı süreçlere olanak tanımaktadır.

VRP literatürünün yeşil ve zamana-bağımlı varyantları, TTDP'de sürdürülebilirlik ve zaman penceresi kısıtlarının birlikte ele alınmasına saha-deneyimli referans çerçeveler sunar. Çok depolu yapının emisyonlar üzerindeki etkisini analiz eden çalışmalar, güzergâh ve depo kararlarının karbon çıktılarıyla bağımlı olarak nicel olarak açığa çıkarmaktadır (Wang, Han, Yu, Huang, Sun ve Kaku, 2022). Zamana bağlı hız/süre ve çoklu tur yapılarıyla genişletilmiş VRPTW formülasyonları, TTDP'de benzer uzay-zaman ağlarının ve komşuluk aramalarının etkinliğini işaret eder (Pan, Zhang ve Lim, 2021). Kaynak senkronizasyonu, kapasite kısıtlı tesislerin kısıt setine eklenmesi ve çok seferli planlama gibi pratik bileşenler ise TTDP benzeri rota seçim problemlerinde karar değişkenlerinin zenginleştirilmesine ışık tutmaktadır (Xu, Li ve Wu, 2023).

TSP ve VRP'nin tarihsel temelleri, TTDP'nin kullandığı akış, zaman ve çevrim kısıtlarının olgunlaşmasında belirleyici olmuştur. TSP'de büyük ölçekli örneklerin dal-kes ve sütun/kesme üretimi ile başarılmasını mümkün kılan öncü çalışma ve onu izleyen rota kısaltma sezgiselleri, bugün TTDP'nin alt tur engelleme ve zaman pencerelerine uyumu sağlamak için başvurduğu modelleme kalıplarının kökenini oluşturur (Dantzig,

Fulkerson ve Johnson, 1954). VRP'nin kuruluğu ve onu izleyen kapsamlı derleme metinleri ise dağıtım ve ziyaret mantığına dayalı yol ağlarında çoklu müşteri, kapasite ve süre kısıtlarını birlikte ele alan bir literatür geleneğini kurumsallaştırmıştır (Dantzig ve Ramser, 1959; Laporte, 2009; Lahyani ve ark., 2015). Bu temel taşlar, TTDP'nin çok modlu ve çok günlük yapısına, zaman ve bütçe kısıtlarına ve özellikle karbon kısıtına uyarlanabilir nitelikte olup, çok amaçlı ve senaryo odaklı karar destek yaklaşımlarının hesaplamalı uygulanabilirliğini güçlendirmektedir.

Bu literatür çerçevesinde tez kapsamında geliştirilen karbon kısıtlı, çok modlu ve çok günlük TTDP modeli; zaman pencereleri, bütçe ve mod-bağımlı süre/maliyet/karbon katsayılarını tek bir MILP şemasında birleştirirken, değerlendirmede çok amaçlı hedefleri amaç fonksiyonuna doğrudan dahil etmeksizin verimlilik oranları (puan/süre; puan/karbon) üzerinden senaryo karşılaştırması yapmaktadır. Böylece, literatürde çok amaçlı yeşil TTDP çizgisindeki çalışmalardan farklı olarak (Divsalar ve ark., 2022; Ruiz-Meza ve Montoya-Torres, 2021; Ruiz-Meza ve ark., 2022), amaç-kısıt ayırımı korunarak karar vericinin tercih setine duyarlı marjinal fayda-maliyet analizi mümkün kılınmıştır. Türkiye'nin yedi bölgesini ortak veri şeması ve senaryo kurgusuyla çözen uygulama, tek şehir/tek örnek odaklı çalışmaların ötesinde karşılaştırmalı ve genellenebilir bulgular üretmekte; çok modlu ve sürdürülebilir tur planlamasında politika-duyarlı bir karar destek yaklaşımı sunmaktadır.

2. BÖLÜM

PROBLEM TANIMI

Bu çalışma, turistik gezi planlamasını çok modlu, çok günlük ve sürdürülebilirlik odaklı bir bakışla ele alan Karma Tamsayı Doğrusal Programlama (MILP) modelini sunar. Amaç, belirli bir plan ufku içinde (üç gün) ziyaret edilecek ilgi noktaları (POI) ve bunların sırası ile aralarındaki ulaşım modlarını seçerek toplam turistik faydayı (puanı) maksimize etmektir. Bu hedef, zaman pencereleri, bütçe ve karbon emisyonu gibi pratik kısıtlar altında gerçekleştirilir; dolayısıyla problem, oryantiring ve rota seçimi literatüründeki “zengin özellikli” kısıt kümeleriyle uyumlu bir yapı taşır.

Zaman pencereleri modelin omurgasını oluşturur. Her POI için açılış–kapanış saatleri parametre olarak tanımlanır; bir POI’nin ziyaretinin ancak bu aralıkta mümkün olduğu kabul edilir. Ziyaretler arasında seyahat süresi ve POI’de geçirilen hizmet/kalış süresi dikkate alınır; böylece bir POI’den çıkış zamanı ile bir sonraki POI’ye varış zamanı arasındaki ilişki, zaman aktarımı kısıtları üzerinden tutarlı biçimde sağlanır. Bu mekanizma, günlük programların işletim saatleriyle uyumlu ve uygulanabilir kalmasını garanti eder.

Ulaşım tarafında model çok modludur. Yürüyüş, şehirlerarası otobüs, benzinli araç ve elektrikli araç gibi farklı modlar alternatif olarak tanımlanmıştır. Her mod için mesafe/süre katsayıları, kilometre başına maliyet ve kilometre başına CO₂ emisyonu parametreleştirilir. Uygulanabilirlik açısından, örneğin yürüyüş için bir mesafe eşiği öngörülerek uzun mesafelerin yürüyerek katedilmesi engellenir; araç kiralama veya otobüs kullanımına ilişkin kurallar, ilgili modun seçilmesi durumunda devreye girer. Böylece rota, hem zaman hem de erişilebilirlik bakımından gerçekçi kılınır.

Model, sürdürülebilirlik ekseninde toplam karbon emisyonuna üst sınır getirir. Bu amaçla seçilen her ark için mod-bağımlı emisyon katsayısı ile kat edilen mesafe çarpılarak toplam tur emisyonu hesaplanır; bu toplam, karbon bütçesini aşamaz. Benzer şekilde ekonomik uygulanabilirlik için toplam maliyet (POI giriş ücretleri + ulaşım maliyetleri; örn. kiralama bedelleri ve kilometre başına ücretler) bütçe sınırı ile kısıtlanır. Bu iki politika kısıtı—karbon ve bütçe—modelin ürettiği rotaların hem çevresel hem de finansal bakımdan sürdürülebilir kalmasını sağlar.

Plan ufku üç gündür ve günler arası süreklilik açıkça modellenir. Her günün sonunda rota, bittiği noktadan ertesi gün devam edecek şekilde devredilir; üçüncü günün sonunda başlangıç/depo düğümüne dönüş zorunludur. Bu düzenleme, çok günlük gezilerin uygulamadaki doğasına uygun olarak, günlük programlar arasında coğrafi ve zamansal tutarlılığı gözetir. Gün sonu bitiş zamanlarının izlenmesi (ör. gün-sonu end time) günlük çalışma süresi sınırlarının yönetilmesine ve gecikmelerin birikmesini engellemeye hizmet eder.

Ziyaret ve akış mantığı bakımından her POI en fazla bir kez ziyaret edilebilir; seçilen ziyaret kararları ile giren-çıkan akışların tutarlılığı akış-ziyaret eşleştirme kısıtları ile sağlanır. Güzergâhlarda alt tur oluşumunu engellemek için klasik alt tur engelleme (ör. MTZ) familyasından kısıtlar devreye alınabilir; böylece seçimler tek bir bağlı günlük rota yapısına indirgenir. Büyük-M mantığı, yalnızca seçilen geçişlerde etkinleşecek şekilde dikkatle kalibre edilir; bu sayede hem zaman aktarımı ilişkisi düzgün işler hem de sayısal kararlılık korunur.

Amaç fonksiyonu, modelin karar vericinin önceliklerine duyarlı şekilde çalışmasını sağlar. Çalışmada toplam turistik puanın maksimize edilmesi esas olmakla birlikte, çoklu hedefleri tek bir amaç altında toplayan ağırlıklandırılmış bir yapı da (örneğin, programın uç noktalara kaymasını engellemek amacıyla küçük büyüklükte düzenleyici terimler/cezalar) kullanılabilir. Böyle bir form, pratikte zaman pencerelerine uyum, mod seçimi ve günler arası sürekliliğin eşzamanlı yönetimini kolaylaştırırken, çözücü açısından hesaplamalı verimliliği artırır.

Modelin veri bileşenleri; POI'lerin coğrafi konumları, çalışma saatleri ve puanları; mod-bağımlı seyahat süre/mesafe matrisleri; giriş ücretleri, kiralama ve kilometre başına maliyetler; kilometre başına CO₂ katsayıları; günlük çalışma süresi sınırları; toplam bütçe ve karbon tavanlarından oluşur. Karar değişkenleri ise (i) POI'lerin ziyaret edilip edilmediğini gösteren ikili değişkenler, (ii) POI'ler arası seçilen modlu geçişleri temsil eden ikili akış değişkenleri ve (iii) ziyaret/varış-ayrılış zaman değişkenleri ile günlük bitiş zamanlarını kapsar. Bu yapı, hem seçim (hangi POI'ler?) hem sıralama (hangi sırayla?) hem de mod tayini (hangi modla?) kararlarını aynı çatı altında bütünleştirir.

Model, ticari bir çözücü (ör. Gurobi) ile çözülmüş; zaman pencereleri, mod kısıtları, bütçe ve karbon limitleri altında en yüksek toplam puanı veren çok günlük rotalar elde edilmiştir. Elde edilen çözümler, her gün için uygulanabilir zamanlama ile birlikte seçili POI kümesi, ziyaret sırası, kullanılan modlar ve toplam süre-maliyet-emisyon çıktılarıyla raporlanmıştır. Böylece model, farklı bölge veya senaryolara uygulanabildiği gibi, karar vericilere zaman–bütçe–emisyon üçgeninde dengeli politika seçenekleri sunar.

Geliştirilen model; (i) zaman pencereleri ve çok günlük bağlam ile operasyonel gerçekçiliği, (ii) çok modlu ulaşım ve mod-bağımlı maliyet/emisyon katsayıları ile sürdürülebilirlik boyutunu, (iii) bütçe kısıtı ile ekonomik uygulanabilirliği aynı anda ele alır. Birlikte ele alındığında bu bileşenler, turistik rota tasarımını tekil şehir örneklerinin ötesine taşıyarak, farklı bölgeler ve tercih profilleri için genellenebilir ve politika-duyarlı bir karar destek çerçevesi oluşturur.

3. BÖLÜM YÖNTEM

Bu çalışma, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesini kapsayan çok-günlü ve çok-modlu bir Turist Gezi Tasarım Problemi (TTDP) çerçevesinde, karbon emisyonu kısıtı ve bütçe–zaman sınırlamaları altında tam sayılı programlama yaklaşımıyla modellenmiştir. Model; zaman pencereleri, günlük çalışma süresi limitleri, bütçe tavanı ve toplam karbon emisyonu üst sınırını eşzamanlı biçimde devreye alan kısıt aileleri ile çözüm uzayını sistematik olarak daraltır. Çözüm süreci, Gurobi Optimizer'ın Python arayüzü (gurobipy) ile SolverStudio–Excel entegrasyonu üzerinden yürütülmüş; tüm bölgeler ve senaryolar için aynı durdurma ölçütleri, parametreleştirme ve veri şeması kullanılarak yöntemsel tutarlılık sağlanmıştır. Uygulamada, rota akış değişkenleri ziyaret kararlarıyla eşleştirilmiş; zaman aktarımı kısıtları başlangıç bacağını da içerecek şekilde modellenmiş; alt turlar MTZ (Miller–Tucker–Zemlin) sınıfı kısıtlarla engellenmiştir. Sayısal kararlılığı güçlendirmek amacıyla büyük-M katsayıları gün ufku ve mod-maksimum sürelerinden sıkı türetilmiş; zaman modeli “aktif süre–geçen süre–gün sonu” üçgeniyle çift yönlü olarak kısıtlanmıştır.

Veri ve parametreler Excel arabirimi üzerinden modele beslenmiştir. İlgi noktaları (POI) için kategori (Tarih-Kültür/Doğa- Rekreasyon/Sanat-Gastronomi), açılış–kapanış saatleri, ziyaret ve bekleme süreleri; gün bazında tur başlangıç–bitiş saatleri; mod-bağımlı mesafe ve seyahat süresi matrisleri; modlara ait km başına maliyet ve emisyon katsayıları ile (varsa) günlük kiralama maliyetleri standartlaştırılmış hücre şemasıyla okunmuş, saat biçimindeki tüm girdiler dakikaya çevrilerek zamansal tutarlılık sağlanmıştır. Mod uygunluğu ikili izin parametreleri üzerinden ön-eleme aşamasında uygulanarak fiziksel olarak mümkün olmayan mod-kenar kombinasyonları çözümden dışlanmış; ayrıca “zaman penceresine sığması yapısal olarak imkânsız” POI-gün eşleşmelerinde ziyaret değişkenleri ex ante kapatılmıştır. Bu iki adım, model boyutunu azaltırken çözüm kalitesini etkilemeden hesaplamayı hızlandıran bir tür güvenli budama görevi görmüştür.

Senaryo tasarımı karar vericinin politika kaldıraçlarına duyarlılığı görünür kılacak biçimde yapılandırılmıştır. Baz senaryo (S_baz) ile birlikte, günlük süre limitinin düşürüldüğü (S1) ve yükseltildiği (S2), karbon tavanının sıkılaştırıldığı (S3) ve

gevşetildiği (S4), bütçe tavanının düşürüldüğü (S5) ve yükseltildiği (S6) altı politika senaryosu tanımlanmış; her senaryoda yalnızca tek bir parametre revize edilerek diğer bileşenler sabit tutulmuştur. Çözüm çıktıları EBC (Efficiency-Based Comparison) çerçevesinde iki temel verimlilik oranı ile değerlendirilmiştir: puan/süre (zaman verimliliği) ve puan/karbon (emisyon verimliliği). Bu oranlar, amaç fonksiyonuna gömülmeden, senaryo-sonrası değerlendirme aşamasında kullanılmıştır.

Senaryo bazlı kıyaslamaları güçlendirmek için, her grup×senaryo kombinasyonu için bölgeler arası ortalama (μ), standart sapma (σ) ve varyasyon katsayısı ($CV=100 \times \sigma/\mu$) hesaplanmış; ayrıca baz senaryoya göre göreceli değişim ($\Delta\% = 100 \times (\mu_s - \mu_{(S_base)})/\mu_{(S_base)}$) raporlanmıştır. Böylelikle yalnızca “hangi senaryo daha yüksek verimlilik üretir?” sorusu değil, aynı zamanda “hangi senaryo bölgeler arasında daha kararlı/sağlam sonuçlar verir?” sorusu da yanıtlanmıştır. Tüm bu hesaplamalar yeniden üretilebilir bir iş akışıyla (standart durdurma ölçütleri, sabit veri şeması, aynı ön-eleme mantığı) gerçekleştirilerek deneylerin tekrarlanabilirliği güvence altına alınmıştır.

3.1. MATEMATİKSEL MODELLEME

Kümeler ve İndisler

- $N = 1, \dots, n$: POI düğümleri; 1depo/dummy.
- K : Ulaşım modları (yürüme, otobüs, vb.).
- $D = 1, \dots, T$: Günler (1 ilk, T son gün).
- $A_d \subseteq N \times N$: Gün d için izinli yönlü arklar; budamalar(zaman penceresi vb.) uygulanmış, $i \neq j$.
- İndisler: $i, j \in N$: Düğüm indisleri
- $k \in K$: Mod indisi
- $d \in D$:Gün indisi
- $n \in N$: carry-over başlangıç şehri indisi.

Parametreler

- $S_d, E_d \in \mathbb{R}_+$ gün başlangıç/bitiş (dk)
- $O_i, C_i \in \mathbb{R}_+$ açılış/kapanış (dk)
- $v_i, b_i \in \mathbb{R}_+$ ziyaret/mola (dk);
- $S_i \in \mathbb{R}_+$ servis süresi $s_i = v_i + b_i, s_1 = 0$
- $\tau_{ij}^k \in \mathbb{R}_+$ mod k ile $i \rightarrow j$ süre;
- $\tau_{ij} = \min_k \tau_{ij}^k, \bar{\tau}_{ij} = \max_k \tau_{ij}^k$
- $M_{ijd} = (E_d - S_d) + s_i + \bar{\tau}_{ij} + 1$
- $dist_{ij} \in \mathbb{R}_+$ (km), etkin mesafe(km)
- p_i skor, w_i (ops.) ağırlık
- $allow_{ij}^k, allowstart_{nj}^k \in 0,1$ izin göstergeleri
- $L_d, BL, CL \in \mathbb{R}_+$ (süre/bütçe/karbon sınırları)
- $entrance_fee_i \in R_+, \quad break_cost_i \in R_+$

- $R_{id} \in 0,1(1 \Rightarrow y_{id} = 0)$
- $\Pi \in \mathbb{R}_+$ yeniden başlatma cezası
- Koşullu anahtarlar: $\chi_{rent}, \chi_{busallow}, \chi_{walkonly} \in 0,1; k_{bus}, k_{walk}$

Karar Değişkenleri (düz metin)

- $x_{ijd}^k \in 0,1; \bar{x}_{ijd} = \sum k \in K x_{ijd}^k$
- $y_{id} \in 0,1; u_{id} \in [1, n]; t_{id} \in \mathbb{R}_+$
- $s_{nd} \in 0,1; W_{njd}^k \in 0,1; z_{kd} \in 0,1; T_d^{end} \in \mathbb{R}_+; r_d \in 0,1$

Amaç Fonksiyonu

$$\text{maximize} \quad \sum_{d \in D} \sum_{i \in N} p_i w_i y_{id} - 10^{-3} \sum_{d \in D} T_d^{end} - \Pi \sum_{d \in D \setminus \{1\}} r_d$$

Kısıtlar

Akış ve Derece (her $d \in D$)

$$\sum_{j: (1,j) \in A_d} \bar{x}_{1jd} = 1$$

$$d < T$$

$$\sum_{i: (i,1) \in A_d} \bar{x}_{i1d} = 0$$

$$d = T$$

$$\sum_{i: (i,1) \in A_d} \bar{x}_{i1d} = 1$$

$$\forall i \in N \setminus \{1\}: \quad \bar{x}_{1id} + \sum_{j \in N \setminus \{1,i\}, (j,i) \in A_d} \bar{x}_{jid} = y_{id}$$

$d < T$

$$\forall i \in N \setminus \{1\}: \sum_{j: (i,j) \in A_d, j \in N \setminus \{1,i\}} \bar{x}_{ij} \leq y_{id}$$

$d = T$

$$\forall i \in N \setminus \{1\}: \sum_{j: (i,j) \in A_d, j \in N \setminus \{1,i\}} \bar{x}_{ij} \leq y_{id}$$

$$\sum_{(i,j) \in A_d, i \neq 1, j \neq 1} \bar{x}_{ij} = \sum_{i \in N \setminus \{1\}} y_{id} - 1$$

Alt Tur Eliminasyonu(MTZ)

$$u_{1d} = 1 \quad \forall d \in D$$

$$u_{id} - u_{jd} + n \bar{x}_{ij} \leq n - 1 \quad \forall d \in D, \forall i \in N \setminus \{1\}, \forall j \in N \setminus \{1\}, i \neq j$$

Zaman pencereleri ve zaman yayılımı.

$$t_{1d} = S_d \quad \forall d \in D$$

her $i \neq 1$

$$t_{id} \geq O_i - M_{ij} (1 - y_{id}) \quad \forall d \in D, \forall i \in N \setminus \{1\}$$

her $i \neq 1$

$$t_{id} + s_i y_{id} \leq C_i + M_{ij} (1 - y_{id}) \quad \forall d \in D, \forall i \in N \setminus \{1\}$$

$$t_{jd} \geq S_d + \sum_{k \in K} \sum_{n \in N} \tau_{nj}^k W_{nj}^k - M_{1j} (1 - \bar{x}_{1j}) \quad \forall d \in D, \forall j \in N \setminus \{1\}$$

$$t_{jd} \geq t_{id} + s_i + \sum_{k \in K} \tau_{ij}^k x_{ij}^k - M_{ij} (1 - \bar{x}_{ij}) \quad \forall d \in D, \forall i \in N \setminus \{1\}, \forall j \in N \setminus \{1, i\}$$

Gün sonu

$$T_d^{\text{end}} \geq t_{id} + s_i - M_{ij} (1 - y_{id}) \quad \forall d \in D, \forall i \in N \setminus \{1\}$$

$$T_d^{\text{end}} \geq t_{id} + s_i + \sum_{k \in K} \tau_{i1}^k x_{i1}^k - M_{i1} (1 - \bar{x}_{i1}) \quad \forall i \in N \setminus \{1\}, \text{ where } d = T$$

$$T_d^{\text{end}} \leq E_d \quad \forall d \in D$$

Tek sefer ziyareti (günler arasında)

$$\sum_{d \in D} y_{id} \leq 1 \quad \forall i \in N \setminus \{1\}$$

Carry-over (başlangıç şehri)

$$s_{1,1} = 1, \quad s_{n,1} = 0 \quad \forall n \in N \setminus \{1\}$$

$$\sum_{n \in N} s_{nd} = 1 \quad \forall d \in D \setminus \{1\}, \quad s_{1d} \leq r_d \quad \forall d \in D \setminus \{1\}$$

$$s_{nd} \leq y_{n,d-1} + r_d \quad \forall n \in N \setminus \{1\}, \forall d \in D \setminus \{1\}$$

$$\forall n \in N \setminus \{1\}, \forall d \in D \setminus \{1\}: \quad s_{nd} \leq 1 - \sum_{j: (n,j) \in A_{d-1}, j \in N \setminus \{n,1\}} \bar{x}_{n,j,d-1} + r_d$$

Mantıksal AND

$$W_{njd}^k \leq x_{1jd}^k, \quad W_{njd}^k \leq s_{nd}, \quad W_{njd}^k \geq x_{1jd}^k + s_{nd} - 1 \quad \forall k \in K, \forall n \in N, \forall j \in N \setminus \{1\}, \forall d \in D$$

İzinler

$$x_{ijd}^k \leq allow_{ij}^k \quad \forall d \in D, \forall k \in K, \forall i \in N \setminus \{1\}, \forall j \in N \setminus \{1\}, (i,j) \in A_d$$

$$W_{njd}^k \leq allowStart_{nj}^k \quad \forall d \in D, \forall k \in K, \forall n \in N, \forall j \in N \setminus \{1\}$$

Otobüs-yürüme tamamlayıcılığı

$$x_{ijd}^{kbus} \leq \chi_{busallow} allow_{ij}^{kbus} + \chi_{walkonly} (1 - allow_{ij}^{kwalk}) \quad \forall d \in D, \forall (i,j) \in A_d, \\ \in N \setminus \{1\}, \in N \setminus \{1\}$$

$$W_{njd}^{kbus} \leq \chi_{busallow} allowStart_{nj}^{kbus} + \chi_{walkonly} (1 - allowStart_{nj}^{kwalk}) \quad \forall d \in D, \forall n \in N, \forall j \in N \setminus \{1\}$$

Mod Kiralama

$$x_{ijd}^k \leq z_{kd} + (1 - \chi_{rent}) \quad \forall d \in D, \forall k \in K, \forall i, j \in N, \quad W_{njd}^k \leq z_{kd} + (1 - \chi_{rent}) \quad \forall d \in D, \forall k \in K, \forall n, j \in N$$

Aktif Zaman ve Süre Limitleri

$$A_d := \sum_{k \in K} \sum_{n \in N} \sum_{j \in N \setminus \{1\}} \tau_{nj}^k W_{njd}^k + \sum_{k \in K} \sum_{i \in N \setminus \{1\}} \sum_{j: (i,j) \in A_d} \tau_{ij}^k x_{ijd}^k + \sum_{i \in N \setminus \{1\}} s_i y_{id}$$

$$A_d \leq L_d \quad \forall d \in D, \quad T_d^{\text{end}} - S_d \geq A_d \quad \forall d \in D, \quad T_d^{\text{end}} - S_d \leq L_d \quad \forall d \in D$$

Toplam maliyet ve bütçe.

$$\begin{aligned}
 Cost := & \sum_{d \in D} \sum_{k \in K} \backslash Big \left(\sum_{(i,j) \in A_d, i \neq 1} dist_{ij} ckmk x_{ijd}^k + \sum_{n \in N} \sum_{j \in N \setminus \{1\}} dist_{nj} ckmk W_{njd}^k \right. \\
 & \left. + \chi_{rent} r_k z_{kd} \backslash Big \right) \\
 & + \sum_{d \in D} \sum_{i \in N} \backslash big(entrance_fee_i + break_cost_i \backslash big) y_{id}
 \end{aligned}$$

$$Cost \leq BL$$

Toplam emisyon ve sınır.

$$CO2 := \sum_{d \in D} \sum_{k \in K} \left[\sum_{(i,j) \in A_d, i \neq 1} dist_{ij} ekmk x_{ijd}^k + \sum_{n \in N} \sum_{j \in N \setminus \{1\}} dist_{nj} ekmk W_{njd}^k \right]$$

$$CO2 \leq CL$$

Ziyaret edilemeyen POI-gün.

$$R_{id} = 1 \Rightarrow y_{id} = 0$$

Bu model, çok günlü ve çok modlu bir gezi planını karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP) çatısı altında formüle eder. Evren; depo/dummy dâhil ilgi noktaları (POI) kümesi, ulaşım modları (yürüme, otobüs vb.), günler ve her gün için budamalar uygulanmış izinli yönlü arklar ile tanımlanır. Zaman pencereleri (gün başlangıç–bitiş saatleri, POI açılış–kapanış saatleri) ve servis/ziyaret süreleri gibi operasyonel öğeler; mod-bazlı seyahat süreleri/mesafeleri, maliyet ve emisyon katsayıları gibi politika değişkenleriyle birlikte parametrik olarak yerleştirilmiştir. Böylece model, pratik planlamanın üç asli boyutunu—zaman, bütçe ve sürdürülebilirlik—tek bir optimizasyon şemasında birlikte ele alır.

Karar değişkenleri, gün içinde modlu ark seçimlerini, POI’nin o gün ziyaret edilip edilmediğini, varış zamanlarını ve gün başı modlu çıkış ilişkilerini açıkça temsil eder; alt-turların önlenmesi için MTZ tipi sıra değişkenleri ve çok günlü bağlamda başlangıç şehrini taşıyan (carry-over) değişkenler eklenir. Ek olarak, modun gün bazında “kiralayıp etkinleştirilmesini” izleyen ikili tetik değişkenler ve gün bitiş zamanını yakalayan sürekli

değişkenler yer alır. Bu zengin değişken ailesi, hem gün içi akışın hem de günler arası sürekliliğin zaman pencereleriyle tutarlı biçimde modellenmesini sağlar.

Amaç fonksiyonu, ziyaret edilen POI'lerin skorlarının (gerekirse grup ağırlıklarıyla) toplamını büyütürken, gereksiz zaman uzamalarını küçük bir ceza ile törpüler ve çok günlük senaryolarda “depo’dan yeniden başlatma” davranışını caydırır. Böylece çözüm yalnızca yüksek skoru değil, aynı zamanda zaman verimliliğini ve rota sürekliliğini gözetir; planın uygulanabilirliği artar.

Kısıtlar katmanlıdır. (i) Akış ve derece kısıtları, her gün tura çıkış ve dönüşü, POI başına en fazla bir ziyaret kuralını ve seçilen ark–ziyaret tutarlılığını güvenceye alır; MTZ tabanlı alt-tur eliminasyonu ile günlük rotalar tekrarsız ve bağlı tutulur. (ii) Zaman yayılımı ve pencereler katmanı, gün başı, iç geçiş ve gün sonu ilişkilerini Büyük-M mantığıyla yalnızca seçili arklar üzerinde etkinleştirerek, varış ve hizmet sürelerini gerçekçi kılar; gün bitişleri üst sınırla kapatılır. (iii) Günler arası süreklilik (carry-over), bir günün başlangıç şehrinin bir önceki günün son durumu ile uyumunu ve gerekiyorsa esnek bir yeniden başlatmayı yönetir. (iv) Politika kısıtları mod izinleri ve tamamlayıcılığıyla (ör. yürüyüş–otobüs nüansları) belirli bağlantılarda belirli modların yasak/serbest olmasını kodla bire bir uyumlu şekilde uygular; “kiralama tetikleme” mantığı ise bir modun o gün ancak kiralandıysa kullanılabilmesini garanti eder. (v) Kaynak kısıtları günlük aktif süre limitleri ve toplam bütçe ile emisyon tavanlarını içerir. Son olarak, ziyaret edilemeyen POI–gün kombinasyonları ön-analiz göstergesiyle model dışına itilir. Bu bütünleşik yapı, gerçek dünyadaki zaman, izin ve kaynak kısıtlı gezi planlamasını eksiksiz bir MILP formülasyonu hâline getirir.

4. BÖLÜM SENARYO ANALİZİ

Geliştirilen TTDP modelinin farklı politika ve kaynak koşulları altında nasıl davrandığını görmek amacıyla senaryo analizi yapılmıştır. Analiz; zaman, karbon ve bütçe kısıtlarının sıkı/gevşek olduğu durumlarda modelin rota kompozisyonunu, ulaşım modu tercihini ve elde edilen toplam turistik faydayı (POI puanı) nasıl değiştirdiğini karşılaştırmalı olarak ortaya koyar. Çok modlu yapı (yürüyüş, otobüs, benzinli araç, elektrikli araç) ve zaman pencereleri dikkate alınmış; her bölgede çok-günlü, fizibil ve ardışık ziyaret programları türetilmiştir.

4.1. BÖLGE ANALİZİ

Senaryo kümesi, bir baz durum ve altı duyarlılık senaryosundan oluşmaktadır. Baz senaryo (S_baz), günlük 480 dakikalık etkin ziyaret süresiyle orta düzey karbon tavanı ve orta bütçeyi varsayarak referans çerçeveyi tanımlar. Süre odaklı senaryolarda S1’de günlük süre 360 dakikaya düşürülür, S2’de 720 dakikaya yükseltilir; karbon odaklı senaryolarda S3 karbon tavanının sıkılaştırıldığı, S4 ise gevşetildiği durumu temsil eder; bütçe odaklı senaryolarda S5 bütçe sınırının azaltıldığı, S6 ise artırıldığı yapılandırmalardır. Bu bütüncül kurgulama, karar değişkenlerinin süre, karbon ve bütçe gibi politika kaldıraçlarına karşı duyarlılığını tek tek sınamayı sağlarken bölgeler arası benzerlik ve ayrışmaları da görünür kılmaktadır.

Okuma kılavuzu olarak, her bölge alt başlığında önce aday küme (seçilen POI’lerin temsil gücü ve mekânsal dağılımı), ardından senaryolara göre rota değişimleri (hangi POI’lerin devreye girdiği/çıktığı, gün-gün sıralama, mod geçişleri) sunulur. Sonrasında, hangi kısıtın baskınlaştığı (zaman, karbon ya da bütçe) açıkça belirtilir ve verimlilik metrikleri üzerinden politika açısından çıkarımlar yapılır.

4.1.1. Marmara Bölgesi

Marmara Bölgesi deneysel çalışmasında, İstanbul’un tarihî çekirdeği (Sultanahmet Camii, Topkapı Sarayı, Galata Kulesi, Kapalıçarşı), Bursa’nın simgesel yapıları (Koza Han, Yeşil Cami, Bursa Kalesi), Edirne’de Selimiye Camii ve Lozan Anıtı, Tekirdağ’da Namık Kemal Evi, Etnografya Müzesi, Kırklareli’nde Dupnisa Mağarası, Aya Nikola

S_ ba z	G	14 1 0	15 7, 00 7	56 ,4 2	14 33	16	18 93	3, 58	X2, X3	0	0	0	958	958	957
S_ ba z	G	11 2 8	15 8, 04 1	59 ,8 6	14 19	16	18 59	0, 14	X1, X2, X3	0	0	0	959	949	951
S_ ba z	G	10 3 9	15 9, 01 8	56 ,8 1	14 34	16	18 87	3, 19	X1, X2, X3	0	0	0	959	958	957
S1	G	12 1 0	14 9, 61 0	54 ,1 3	10 42	13	22 90	5, 87	X1, X2, X3	0	0	0,00 2	821	827	834
S1	G	10 2 3	14 3, 75 0	46 ,3 8	10 43	12	21 41	13 ,6 2	X1, X2, X3	0	0	0	836	827	820
S1	G	91 3 ,5	14 65 1	58 ,1 7	10 33	11	22 49	1, 83	X1, X2, X3	12	0	0	836	826	811
S2	G	16 1 0	15 4, 09 6	58 ,6 8	17 64	17	18 04	1, 32	X2, X3	0	0	0,00 3	107 5	114 1	988
S2	G	12 2 45	13 6, 94 2, 5	59 ,9 3	17 45	16	29 57 ,5	0, 07	X2, X3	0	0	0	111 5	107 9	991
S2	G	12 3 0	15 0, 31 2	59 ,7 7	19 90	17	15 88	0, 23	X1, X2, X3, X4	3	0	0	115 8	118 6	108 6
S3	G	12 1 6	11 7, 81 0	35 ,9 0	10 73	13	77 90	0, 1	X2, X3	0	0	0	777	924	812

S6	G	10	14	56	13	15	71	3,	X1,	32	0	0	938	905	919
	3	5,	88	,3	22		19	69	X2,						
		8	1	1					X3						

Veriler Marmara’da tarih/kültür ağırlıklı profilin (G1) puan üretiminde belirgin üstünlük sağladığını göstermektedir. S_baz–G1 yaklaşık 147 puan ile orta düzey parametrelerde dahi yüksek performans verirken, süre genişleyen S2–G1 konfigürasyonunda 17 ziyarete çıkan çözümle ≈ 164 puana ulaşılmaktadır. Bu artışın mekanizması açıktır: uzun günler, İstanbul merkezli çekirdek setin (Sultanahmet–Topkapı–Galata–Kapalıçarşı) yanına ek durakların katılmasına izin vererek hem ziyaret adedini hem de toplam puanı yukarı taşımaktadır. Buna karşılık, doğa/rekreasyon profili G2 süre uzadığında anlamlı şekilde güçlenmekte; Farklı noktaların dâhil olabildiği S2 varyantlarında ziyaret adedi ve toplam puan artmakla birlikte G1’in altında kalmaktadır. G3 (sanat/gastronomi odaklı) ise çoğu senaryoda en düşük puan düzeyini üretir; İstanbul çekirdeği dışındaki yaygın ve görece dağınık çekim noktaları, aynı toplam süre altında puan verimliliğini aşağı çeker.

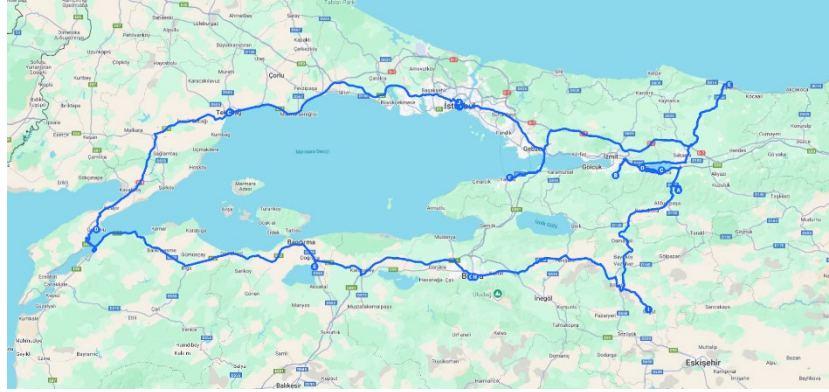
Kısıtların etkisi bütçe ve emisyon boşlukları üzerinden net biçimde izlenebilmektedir. S5 (bütçe=14.000) satırlarında bütçe boşluğunun çok küçük değerlere indiği ve nihai çözümlerin maliyet çizgisine yaslandığı görülür; buna rağmen puanlar ≈ 137 –144 bandında korunmaktadır. Bu dayanıklılık, ulaşımdaki X2–X3 (elektrikli araç ve otobüs) kombinasyonunun maliyet kontrolündeki rolüne işaret eder; rota İstanbul merkezli yoğun kümeye yakın kalarak masrafı sınırlamaktadır. S6 (bütçe=22.000) ise tersine, bütçe boşluklarının oldukça yüksek olduğu bir zeminde çalışır; burada maliyet sınırı belirleyici olmaktan çıkarken kararlar esas olarak süre ve emisyon yönünden şekillenir.

Emisyon parametresi değiştiğinde farklı bir tablo ortaya çıkar. S3 (karbon=36) altında karbon boşluğu çok küçülmekte, çözümler temiz modlara yönelmektedir; tabloda sıkça görülen “X2, X3” kombinasyonu, benzinli araç yerine elektrikli araç ve otobüsün ağırlık kazandığını doğrular. Bu sıkı emisyon rejiminde puanlar sınırlı kalırken bütçe boşluklarının büyümesi, maliyetin belirleyici olmadığını gösterir. S4 (karbon=90) ile emisyon sınırı gevşetildiğinde toplam puan S_baz seviyelerine geri yaklaşır; yine de rota yapısı bütçe ve sürenin ortak etkisi altında, İstanbul çekirdeği ile Bursa ve Trakya uzantıları arasında dengelenir.

Süre parametresi tek başına ele alındığında, S1 (günlük 360 dk) ile S2 (720 dk) arasındaki fark, ziyaret sayısı üzerinden açıkça görünmektedir: kısa günler $\approx 11-13$ noktada yoğunlaşmış sıkı bir çekirdek oluştururken, uzun günler $\approx 16-17$ noktaya genişleyen çok ilmekli bir gezi yapısına izin verir. Bu genişleme, örneğin S2’de alternatif uzantıların dâhil olabilmesiyle tutarlıdır ve toplam puanı yukarı taşır; buna karşılık karbon boşlukları S2’de görece küçülür, yani emisyon sınırına yaklaşılır.

Son olarak mod deseni, Marmara’nın tipik optimizasyonlarında X1–X3’ün birlikte veya dönüşümlü kullanıldığını göstermektedir. Emisyon sıkılaştığında X2–X3 ağırlığı artmakta; bütçe sıkılaştığında (S5) yine maliyet-etkin modlara (X2–X3) kayış gözlenmektedir. Bu bulgular, kısa şehir-içi kültür paketleri ile uzun, doğa ve kıyı uzantılı çok günlük turların aynı veri yapısı içinde parametre ayarıyla rasyonel biçimde üretilebildiğini göstermektedir. Kısacası, Marmara’da tarih/kültür odaklı çekirdek değişmez bir iskelet sunarken; süre artışı periferik noktaların dâhil olmasını, emisyon kısıtı temiz moda geçişi, bütçe kısıtı ise merkezi yoğunluğa yakınlaşmayı teşvik etmektedir. Bu ilişkiler, ileride politika ve ürün tasarımında (ör. “şehir çekirdeği + doğa uzantısı” hibrit paketler; düşük emisyonlu ulaşım tercihleri) somut karar kurallarına dönüştürülebilir.

Marmara–G1 rotası, tarih çekirdeklerini bloklayıp kısa doğa koridorlarıyla çeşitlendiren, başı ve sonu İstanbul’da birleşen halkasal bir akışta kurgulanmıştır. Çıkış Galata Kulesi’nden yapıp Tekirdağ’a tek hamlede geçilir (Namık Kemal Evi, Etnografya). Buradan Güney Marmara’ya inilip Manyas Kuş Cenneti üzerinden Bursa tarihi çekirdeği sıralanır (Kozahan–Bursa Kalesi–Yeşil Camii). Rota, Söğüt/Bilecik’te Ertuğrul Gazi Türbesi ile kültürel omurgayı doğuya taşır; ardından Sakarya–Kocaeli doğa hattı ardışık işlenir (Doğançay Şelalesi → Yuvacık Barajı → Sapanca Gölü → Maşukiye). Kıyı teması için Karasu Plajı kısa bir çıkıntı olarak eklenir; dönüşte Yalova Yürüyen Köşk ile güneyden İstanbul’a girilir. Finalde Kapalıçarşı–Sultanahmet–Topkapı üçlüsü ziyaret edilerek Galata’da halka kapanır.



Fotoğraf 4.1 Marmara Bölgesi S_baz G1(Tarih) Rota Görseli

4.1.2. Akdeniz Bölgesi

Akdeniz veri kümesi; Antalya–Burdur–İsparta hattında Kaleiçi, Düden Şelalesi, Kaş, Salda Gölü, Sagalassos, Taş Oda Konağı, Karacaören Barajı; Mersin–Adana–Osmaniye hattında Cennet–Cehennem Mağaraları, Yerköprü Şelalesi, Denizhan Tantuni, Taşköprü, Pozantı, Seyhan Baraj Gölü, Eyvan Kebap, Tarihi Kazancılar Çarşısı, Karacay Şelalesi, Düziçi Yaylası, ; Hatay–Kahramanmaraş ekseninde Asi Nehri, Sultan Sofrası, Kral Künefesi, Küçük Ev, Dondurma Müzesi, Mado gibi doğa–kültür–gastronomi bileşenlerinden oluşmaktadır. Noktalar için puanlar ve ziyaret süreleri ile ulaşım–maliyet katsayıları verilerek çok-günlü rota optimizasyonu üç tercih profili için ayrı yürütülmüştür: G1 (tarih/kültür); G2 (doğa/rekreasyon); G3 (sanat/gastronomi). Ulaşım çok modludur (X1 benzinli, X2 elektrikli, X3 otobüs, X4 yürüyüş).

Senaryolar tüm bölgelerdeki ortak parametrelerle çözülmüştür: S_baz, S1, S2, S3, S4, S5 ve S6. Tablo; her senaryo–grup için toplam puan, toplam maliyet, toplam emisyon, toplam süre, ziyaret sayısı, ayrıca bütçe boşluğu ve karbon boşluğunu (pozitif değer ilgili sınırın rahat olduğunu gösterir) ve kullanılan mod bileşimini raporlamaktadır.

Tablo 4.2 Akdeniz Bölgesi Senaryo Sonuçları

Se	G	To	To	To	To	Zi	B	K	Kul	Top	Top	Top	Biti	Biti	Biti
na	r	pl	pl	pl	pl	ya	üt	ar	lanı	lam	lam	lam	ş	ş	ş
ry	u	a	a	a	a	ret	çe	bo	lan	bekl	bekl	bekl	za	za	za
o	p	m	m	m	m	no	bo	n	mo	eme	eme	eme	ma	ma	ma
		ilg	m	ka		kta	şl	bo	d	_d1	_d2	_d3			
		i	ali				şl								

			no kt ası pu an	ye t	rb on	sü re	lar ı	uğ u	uğ u					ni_ d1	ni_ d2	ni_ d3
S_ ba z	G 1	77, 1	11 86 8	59, 86	11 12	7		50 32	0,1 4	X2, X3	0	0	0	878	952	717
S_ ba z	G 2	96, 6	11 72 1	59, 89	11 35	7		51 79	0,1 1	X2, X3	5	0	0	960	778	837
S_ ba z	G 3	73, 2	11 77 8	59, 99	10 79	7		51 12	0,0 1	X2, X3	0	0	0	957	712	850
S1	G 1	72, 6	11 71 2	59, 3	94 8	5		51 88	0,7	X2, X3	0	0	0	774	777	837
S1	G 2	91, 8	11 71 2	59, 35	94 8	6		51 88	0,6 5	X2, X3	0	0	0	774	777	837
S1	G 3	66	11 69 5	58, 8	10 26	6		52 05	1,2	X2, X3	0	16	0	810	819	837
S2	G 1	77, 1	11 77 8	59, 21	10 92	7		51 22	0,7 9	X2, X3	0	0	4	962	957	613
S2	G 2	96, 6	11 79 1	55, 53	11 02	7		51 09	4,4 7	X2, X3	5	0	0	846	985	711
S2	G 3	73, 2	11 83 4	59, 75	10 86	6		50 66	0,2 5	X2, X3	0	0	0	852	963	711
S3	G 1	72, 6	11 49 8	35, 96	92 6	6		54 02	0,0 6	X2, X3	0	0	0	720	762	884

S3	G	91,	11	35,	92	6	54	0,0	X2,	0	0	0	720	762	884
	2	8	49	96	6		02	4	X3						
			8												
S3	G	73,	11	35,	12	7	54	0,3	X3	0	0	0	858	901	882
	3	2	49	69	01		02	1							
			8												
S4	G	83,	12	89,	13	7	40	0,2	X2,	0	0	0	878	953	960
	1	55	80	76	51		96	4	X3						
			4												
S4	G	96,	11	62,	10	7	50	27,	X2,	0	0	0	957	711	846
	2	6	80	40	74		98	6	X3						
			2												
S4	G	73,	11	62,	10	7	77	27,	X2,	0	0	0	957	711	846
	3	2	80	40	74		98	6	X3						
			2												
S5	G	77,	11	59,	11	6	21	0,1	X2,	0	0	0	941	738	876
	1	1	82	85	15		78	5	X3						
			2												
S5	G	96,	10	59,	10	7	35	0,0	X2,	0	0	0	957	712	850
	2	6	47	99	79		22	1	X3						
			8												
S5	G	73,	91	59,	10	7	48	0,0	X2,	0	0	0	957	712	850
	3	2	78	99	79		22	1	X3						
S6	G	77,	11	59,	11	7	10	0,1	X2,	0	0	0	878	957	717
	1	1	86	86	12		13	4	X3						
			8				2								
S6	G	96,	11	59,	11	7	10	0,1	X2,	5	0	0	960	778	837
	2	6	72	89	35		27	1	X3						
			1				9								
S6	G	73,	11	59,	11	7	10	0,1	X2,	5	0	0	960	778	837
	3	2	72	89	35		27	1	X3						
			1				9								

Veriler, güncel POI setiyle de G2 (doğa/rekreasyon) profilinin bütün senaryolarda en yüksek puanı ürettiğini göstermektedir (ör. S_base–G2 ≈96,6, S1–G2 ≈91,8, S2–G2

$\approx 96,6$, $S5-G2 \approx 96,6$, $S6-G2 \approx 96,6$). Bu süreklilik, kısa ardışık geçişlerle zincirlenebilen doğa halkalarının iki-üç günlük turlarda kolayca bir araya gelebilmesiyle uyumludur. G1 (tarih/kültür) profili, Antalya Kaleiçi ile Adana'nın tarihî aksını (Taşköprü-Kazancılar) ve Hatay kent merkezindeki durakları birleştiren çözümlerde orta-yüksek performans gösterir; $S_baz-G1 \approx 77,1$, $S1-G1 \approx 72,6$, $S2-G1 \approx 77,1$, $S4-G1 \approx 83,6$. G3 profili; gastronomi durakları ve kent içi kısa ziyaretli noktalarla çeşitlenmesine rağmen ≈ 73 puan bandında kalarak diğer profillerin gerisinde seyretmektedir.

Süre ayarı iki uçta beklenen deseni üretir. S1 (360 dk/gün) altında ziyaret sayısı 5-6'ya iner ve puanlar düşer ($G1 \approx 72,6$; $G2 \approx 91,8$; $G3 \approx 66$). Kısa günlerde çözümler genellikle tek küme içinde yoğunlaşır: Antalya-Burdur-Isparta ayağında Düden-Kaleiçi-Salda-Sagalassos; Çukurova'da Cennet-Yerköprü-Taşköprü-Seyhan ardışıkları tercih edilir. S2 (720 dk/gün) ile 7 ziyaret korunarak puanlar baz seviyeye geri döner ($G1 \approx 77,1$; $G2 \approx 96,6$; $G3 \approx 73,2$); uzun gün, iki alt kümeyi aynı turda bağlama esnekliği sağlar.

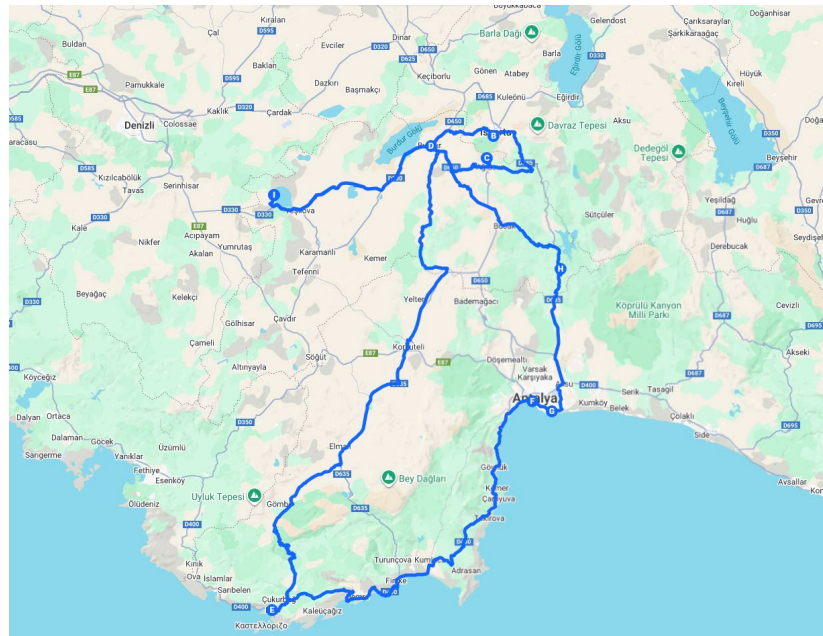
Emisyon parametresi sıkılaştırıldığında S3 (karbon=36) altında karbon boşlukları çok küçülür ($G1 \approx 0,06$; $G2 \approx 0,04$; $G3 \approx 0,31$) ve kararlar emisyon hattına yaklaşır. Bu düzende, kent içi kısa duraklar ve yakın doğa halkaları daha sık seçilir; Kaş ya da Düziçi gibi uçtaki noktalar daha az görünür. Buna karşın $G2$ puanı $\approx 91,8$ düzeyinde korunur; X2-X3 (elektrikli araç + otobüs) omurgası sayesinde düşük emisyon rejimi altında verim kaybı sınırlıdır. S4 (karbon=90)'ta ise $G1$ puanı $\approx 83,6$ 'ya çıkar; emisyon hakkının genişlemesi Antalya-Burdur/Isparta ile Mersin-Adana-Osmaniye hatlarının aynı turda uzun geçişlerle bağlanmasını mümkün kılar. $G2$ ve $G3$ 'te karbon boşluklarının $\approx 27,6$ gibi yüksek değerler alması, bu profillerde emisyon kısıtının gevşek olduğunu gösterir.

Bütçe varyasyonları nispeten sınırlı etki üretir. S5 (14.000)'te bütçe boşluğu özellikle $G2$ 'de ≈ 3.522 ve $G1$ 'de ≈ 2.178 düzeyine düşerek maliyet çizgisine yaklaşıldığını gösterse de puanlar baz seviyeye çok yakındır ($G1 \approx 77,1$; $G2 \approx 96,6$; $G3 \approx 73,2$) ve ziyaret sayısı 6-7'de korunur. S6 (22.000)'da bütçe boşlukları $\approx 10.1-10.3$ bin aralığına yükselir; ancak puanlarda anlamlı bir ek artış görülmez. Bu bulgu, Akdeniz'de sonuçları bütçeden ziyade süre ve emisyon ayarlarının şekillendirdiğini teyit eder.

Mod bileşimi neredeyse tüm satırlarda X2-X3 olarak raporlanmıştır. S3'te bu bileşim düşük emisyon gereği baskın hâle gelirken; S5'te maliyet etkinliği, S2'de ise uzun günün

sağladığı dengeli dağılım aynı tercih setini destekler. Güncel POI yapısına göre politika ve ürün tasarımı açısından çıkarım nettir: “Antalya–Burdur/Isparta doğa-kültür halkası” ile “Mersin–Adana–Osmaniye doğa-gastronomi halkası” temel taşıyıcılarıdır; Hatay–Kahramanmaraş gastronomi ve kent içi durakları turu zenginleştirir. Parametre ayarıyla (S2 veya S4) bu iki halka tek turda birleştirilebilir; sıkı emisyon ya da kısa gün hedeflerinde ise tek halkanın derinleştirildiği, kent içi kısa duraklarla desteklenen kompakt paketler daha rasyoneldir.

Rota Salda Gölü çıkış–varışlı kapalı bir halka. İlk bölümde Burdur çekirdeği sıkı bir paket olarak ele alınıyor: Gökçay Mesireliği → Sagalassos → Taşoda Konağı ardışıklığıyla şehir içi/çevresi kültür–doğa öğeleri kısa sıçramalarla tamamlanıyor. Ardından tek hamlede Kaş’a inen kıyı çıkıntısı ekleniyor; bu, rotanın en batıdaki genişlemesi ve kıyı teması. Dönüşte Antalya kenti “menteşe” görevi görüyor: Kaleiçi ile tarihsel dokuya, Düden Şelalesi ile rekreasyona geçiliyor; iki durak aynı gün içinde şehir içi akışla bağlanıyor. Kapanış kolu, Karacaören Barajı üzerinden tekrar iç kesime tırmanarak Salda’ya dönen yeşil koridor işlevi görüyor.



Fotoğraf 4.2 Akdeniz Bölgesi S_baz G1(Tarih) rota görseli

4.1.3. Doğu Anadolu Bölgesi

Doğu Anadolu veri kümesi; Kars'ta Ani Katedrali ve Sarıkamış Şehitliği, Erzurum'da Palandöken Dağı, Çifte Minareli Medrese, Tortum Gölü ve Erzurum Evleri, Ağrı'da İshak Paşa Sarayı ile Diyadin Kaplıcaları, Van'da Van Gölü, Van Kalesi ve Akdamar Kilisesi, Tunceli'de Munzur Vadisi Millî Parkı ve Çemişgezek, Elazığ'da Kurşunlu Cami ve Harput Kalesi, Muş'ta Kutsal Havariler Manastırı ve Malazgirt Kalesi, Ardahan'da Cıldır Gölü, Malatya'da Aslantepe Höyüğü ve Günpınar Şelalesi, Iğdır'da Şehit Türkler Anıtı ve Gökkuşluğu Tepeleri, Hakkâri'de Şemdinli Taş Köprü, Bingöl'de Yüzen Ada, Bitlis'te Bitlis Kalesi gibi noktaları kapsamaktadır. Tüm bu noktalar için puanlar, ziyaret süreleri ve yol-maliyet katsayıları tanımlanmış; çok-günlü tur yapısı G1 (tarih/kültür), G2 (doğa/rekreasyon), G3 (sanat/gastronomi) olmak üzere üç tercih profili için ayrı ayrı optimize edilmiştir. Senaryolar diğer bölgelerle aynı parametre setiyle çalıştırılmıştır. Tablo, her senaryo-grup kombinasyonu için toplam puan, toplam maliyet, toplam emisyon, toplam süre, ziyaret edilen nokta sayısı, ayrıca bütçe boşluğu ile karbon boşluğunu ve kullanılan mod bileşimini raporlamaktadır.

Tablo 4.3 Doğu Anadolu Bölgesi Senaryo Sonuçları

Se na ry o	G r u p	To pl a m ilg i no kt ası pu an	To pl a m m ka rb on	To pl a m sü re	To pl a m k ar bon	Zi ya ret no k ta sı	B üt çe bo ş lu ğu	K ar bon bo ş lu ğu	Kul lanı lan m od	Top lam bek lem e_d 1	Top lam bek lem e_d 2	Top lam bek lem e_d 3	Biti ş za ma nı_ d1	Biti ş za ma nı_ d2	Biti ş za ma nı_ d3
S_ ba z	G 1	11 2,5 1	10 54 1	59, 7	10 80	11	63 59	0,3	X2, X3	0	0	0	950	937	631
S_ ba z	G 2	10 1,2 5	13 87 5	59, 9	12 37	11	30 25	0,1	X2, X3	48,8	0	0	897	822	958

S_ ba z	G 3	86, 2	13 14 6	59, 6	11 61	11	37 54	0,4	X1, X2, X3, X4	0	0	0	950	915	735
S1	G 1	10 4,8 5	12 94 1	57, 2	73 8	10	29 59	2,8	X2, X3	0	0	0	726	814	637
S1	G 2	97, 8	10 34 1	57, 2	73 8,6	10	65 59	2,8	X2, X3	0	0	0	726	814	637
S1	G 3	81, 9	12 94 8	57, 8	73 8,6	10	39 52	2,2	X1, X2, X3	0	0	0	726	814	637
S2	G 1	11 1,5 5	11 03 1	59, 8	17 04	11	58 68 9	0,2	X1, X2, X3, X4	48,8	0	0	980	101 4	114 9
S2	G 2	10 5,9	11 78 0	59, 9	11 72, 6	11	51 20	0,1	X1, X2, X3	0	0	0	652	873	108 6
S2	G 3	86, 7	13 07 3,5	59, 3	11 72	11	38 26, 5	0,7	X2, X3	0	0	0	104 6	865	701
S3	G 1	75, 85	10 74 7	35, 1	10 17	6	61 53	0,9	X2, X3	48,8	0	0	900	654	902
S3	G 2	66, 15	95 52	33, 9	48 8,6	6	73 34 8	2,1	X2, X3	0	0	0	524	702	701
S3	G 3	57, 2	10 25 2	33, 9	48 8,6	6	66 48	2,1	X2, X3	0	0	0	747	586	594
S4	G 1	13 9,5	11 45 9	89, 9	11 47	15	54 41	0,1	X2, X3	0	0	0	950	935	701

S4	G	11	14	89,	10	14	26	0,1	X1,	0	0	0	950	788	767
	2	8,6	21	9	66		85		X2,						
		5	5						X3						
S4	G	10	15	88	11	14	16	2	X1,	48,8	0	0	891	850	876
	3	4,5	25		78		42		X2,						
			8						X3						
S5	G	11	12	59,	12	11	14	0,1	X2,	48,8	0	0	897	822	958
	1	0	57	9	37		25		X3						
			5												
S5	G	10	12	59,	12	11	14	0,1	X2,	48,8	24	0	795	948	958
	2	1,2	57	9	61		25		X3						
			5												
S5	G	86,	11	59,	11	11	21	0,4	X1,	0	0	0	874	792	934
	3	2	84	6	61		54		X2,						
			6						X3,						
									X4						
S6	G	11	14	59,	10	11	75	0,3	X1,	0	0	0	950	937	631
	1	2,5	44	7	80		59		X2						
			1												
S6	G	10	15	59,	13	11	64	0,1	X2,	48,8	54	0	949	956	870
	2	1,5	55	9	36		45		X3,						
		5	5						X4						
S6	G	85,	13	59,	12	11	81	0,1	X2,	48,8	24		795	948	958
	3	5	87	9	61		25		X3						
			5												

POI setiyle sonuçlar, bölgenin tarihî–arkeolojik yoğunluğunu yansıtır biçimde G1 (tarih/kültür) profilinin üstünlüğünü açıkça göstermektedir. S_baz–G1 konfigürasyonu yaklaşık 112,5 puan ve 11 ziyaret üretirken, emisyon hakkının genişlediği S4–G1 düzeninde $\approx 139,5$ puan ve 15 ziyarete çıkılmaktadır. Bu yükseliş, uzak ve yüksek puanlı noktaların aynı tur içinde birleştirilebilmesini mümkün kılan bir emisyon–süre dengesiyle açıklanır. S1–G1’de kısa gün nedeniyle $\approx 104,8$ puan/10 ziyaret, S2–G1’de ise $\approx 111,5$ puan/11 ziyaret gözlenir; uzun günün sağladığı ilave zaman, ek bağlar kurmaya olanak verir.

G2 (doğa/rekreasyon) profili çoğu senaryoda ikinci sıradadır ($S_{\text{baz}}-G2 \approx 101,2$ puan; $S4-G2 \approx 118,6$ puan). $S2-G2$ 'de 11 ziyaret ve $\approx 105,9$ puan ile doğa eksenli rotanın süre uzadığında istikrarlı kaldığı; $S3-G2$ 'de ise 6 ziyaret/ $\approx 66,2$ puan ile düşük emisyon hedefi altında uzak geçişlerin rasyonel olmaktan çıktığı görülür. G3 profili, sanat–denge odağın yaygın seçimi nedeniyle daha düşük puan üretir ($S_{\text{base}}-G3 \approx 86,2$); ancak $S4-G3 \approx 104,5$ puan/14 ziyaret ile emisyon hakkı büyüdüğünde farklı halkaların aynı turda bağlanabildiği gözlenir.

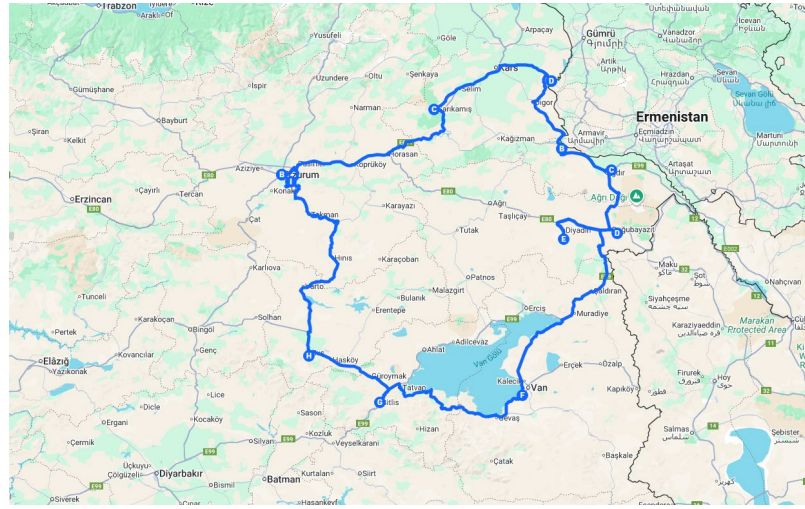
Emisyon parametresi sonuçları belirgin biçimde şekillendirir. S3 (karbon=36)'ta G1 $\approx 75,9$, G2 $\approx 66,2$, G3 $\approx 57,2$ puana geriler; ziyaret sayısı 6'ya iner. Karbon boşlukları $\approx 0,9-2,1$ aralığındadır; çözümler X2–X3 ağırlıklı temiz modlara yakınsar ve rota yakın kümeler çekilir. S4 (karbon=90)'ta G1 ve G2'nin karbon boşluğu $\approx 0,1$ düzeyinde seyretse de puan ve ziyaret sayısı rekor düzeye çıkar; bu artışın itici gücü, uzun bağlantıların devreye alınmasıdır.

Bütçe parametresi ikincil bir etkiye sahiptir. S5 (14.000) altında bütçe boşluğu düşük değerlerde olsa da ($\approx 1,4-2,1$ bin), puanlar S_{base} 'e yakın kalır (G1 ≈ 110 , G2 $\approx 101,2$, G3 $\approx 86,2$; ziyaret sayısı genelde 11). S6 (22.000)'da bütçe boşlukları $\approx 6,4-7,6$ bin aralığına yükselir; ancak G1 $\approx 112,5$, G2 $\approx 101,5$, G3 $\approx 85,5$ ile performansta anlamlı bir artış görülmez. Bu gözlemler, Doğu Anadolu'da sonuçları bütçeden çok süre ve özellikle emisyon parametresinin belirlediğini teyit eder.

Mod kullanımı çoğu senaryoda X2–X3 (elektrikli araç + otobüs) etrafında yoğunlaşır; $S_{\text{base}}-G3$ ve $S2-G1$ gibi bazı satırlarda X1 ve yer yer X4 bileşeninin eklenmesi, uzak geçişler ve kısa yerleşim içi erişimlerin birlikte bulunduğu durumları yansıtır. Genel resimde, güncel POI setiyle tarih/kültür omurgalı rotalar uzun gün ve/veya yüksek emisyon koşullarında en yüksek puanı üretmekte; doğa odaklı rotalar ise süreye daha duyarlı, emisyon ise daha hassas bir davranış göstermektedir. Bu yapı, yalnızca senaryo ayarları değiştirilerek katmanlı paketlerin rasyonel biçimde tasarlanabileceğini göstermektedir.

Rota, Kars çıkış–varışlı kapalı bir halka olarak kurgulanmış. İlk segmentte Ani Katedralinden başlayıp Iğdır çevresindeki doğa–anıtsal odaklar Gökkuşaağı Tepeleri → Şehit Türkler Anıtı ardışığıyla toplanıyor; ardından Doğubayazıt/İshak Paşa Sarayı ve

Diyadin Kaplıcaları ile Ağrı eteklerinde kültür–termal ikilisi tamamlanıyor. Orta segment, Van Havzası boyunca saat yönünde ilerleyen bir yay: Van Gölü kıyısı → Bitlis Kalesi → (Muş) Kutsal Havariler Manastırı sırasıyla göl çevresindeki tarihî çekirdekler tek hat üzerinde bağlanıyor. Kuzeye dönüşte rota Erzurum koridoruna girerek Palandöken eşiğini aşır şehir içi mirası Çifte Minareli Medrese → Erzurum Evleri bloklamasıyla tek gün içinde topluyor. Son segmentte Sarıkamış Şehitliği üzerinden Kars platosuna çıkılıyor ve halka Anide kapanıyor.



Fotoğraf 4.3 Doğu Anadolu Bölgesi S_baz G1(Tarih) rota görseli

4.1.4 Ege Bölgesi

Ege veri kümesi kıyı ve iç hat boyunca üç belirgin çekim kümesi oluşturur. İzmir–Selçuk–Kuşadası ekseninde Efes Antik Kenti, Şirince, Saat Kulesi, Çeşme, Milet Müzesi, Kurşunlu Manastırı; Muğla kıyı koridorunda Bodrum Kalesi, Halikarnas Mozolesi, Ölüdeniz, Kelebekler Vadisi, Kabak Koyu; Denizli–Aydın–Manisa–Uşak–Kütahya–Afyon iç hattında Pamukkale Travertenleri, Keloğlan Mağarası, Bergama Antik Kenti, Spil Dağı Millî Parkı, Ağlayan Kaya, Ulubey Kanyonu, Cilandras Köprüsü, Hamamboğazı Kaplıcaları, Domaniç Ormanları, Çini Müzesi, Dumlupınar ve Büyük Taarruz Şehitlikleri, Afyon Kalesi yer alır. Bu noktalar için puan, ziyaret süresi ve yol-maliyet katsayıları tanımlanmış; çok-günlü rota optimizasyonu G1 (tarih/kültür), G2 (doğa/rekreasyon), G3 (sanat) profilleri için ayrı ayrı yürütülmüştür. Ulaşım çok

modludur: X1 (benzinli), X2 (elektrikli), X3 (otobüs), X4 (yürüyüş). Senaryolar diğer bölgelerle aynı parametrelerle çözülmüştür.

Tablo 4.4 Ege Bölgesi Senaryo Sonuçları

Se na ry o	G r u p	To p a m ilg i no kt ası pu an	To p a m m ali ye t	To p a m ka rb on	To p a m sü re	Zi ya ret no kta lar ı	B üt çe bo şl uğ u	K ar bo n bo şl uğ u	Kul lanı mo d	Top lam bek lem e_d 1	Top lam bek lem e_d 2	Top lam bek lem e_d 3	Biti ş za ma nı_ d1	Biti ş za ma nı_ d2	Biti ş za ma nı_ d3
S_ ba z	G 1	12 2,7	12 59 4	59, 93	94 7	12	43 06	0,0 7	X2, X3, X4	0	0	0	867	761	758
S_ ba z	G 2	11 1,8 5	10 76 8	58, 82	93 2	11	61 32	1,1 8	X1, X2, X3	59	0	0	913	792	666
S_ ba z	G 3	94, 4	12 59 4	59, 93	94 7	12	43 06	0,0 7	X2, X3, X4	0	0	0	572	943	871
S1	G 1	11 8,9 7	11 26 7	59, 37	78 4	11	56 33	0,6 3	X2, X3	0	0	0	806	748	670
S1	G 2	10 6,4 5	10 68 7	57, 53	84 5	10	62 13	2,4 7	X1, X2, X3	59	0	44	645	834	806
S1	G 3	89, 8	13 34 7	59, 65	79 3	10	35 53	0,3 5	X2, X3	0	0	0	793	624	815
S2	G 1	12 7,4 5	10 91 4	59, 73	13 34	12	59 86	0,2 7	X2, X3, X4	0	0	0	112 6	761	886

S2	G 2	11 6,9 5	12 21 4	59, 73	13 34	12	46 86	0,2 7	X2, X3, X4	0	0	0	112 6	702	946
S2	G 3	94, 4	86 94	59, 93	94 7	12	82 06	0,0 7	X2, X3, X4	0	0	0	572	105 6	758
S3	G 1	92, 3	11 37 3	31, 45	64 2	7	55 27	4,5 5	X2, X3	0	0	0	731	635	715
S3	G 2	77, 45	11 42 4	35, 71	13 80	8	54 76	0,2 9	X2, X3, X4	0	0	0	922	942	954
S3	G 3	72, 8	89 05	35, 96	10 59	8	79 95	0,0 4	X2, X3, X4	0	0	0	933	851	715
S4	G 1	16 4,4 5	13 02 7	89, 58	12 90	16	38 73	0,4 2	X1, X2, X3	59	0	0	926	951	853
S4	G 2	12 7,8	12 19 8	89, 83	11 41	14	47 02	0,1 7	X2, X3	0	0	0	719	916	945
S4	G 3	11 9,8	14 31 9	89, 59	12 77	15	25 81	0,4 1	X2, X3	59	44	0	958	955	803
S5	G 1	12 2,7	99 94	59, 93	94 7	12	40 06	0,0 7	X2, X3, X4	0	0	0	867	761	758
S5	G 2	11 2,9 5	13 23 3	59, 85	12 52	11	76 7	0,1 5	X1, X2, X3, X4	0	0	0	844	901	946
S5	G 3	94, 4	11 29 4	59, 93	94 7	12	27 06	0,0 7	X2, X3, X4	0	0	0	683	945	758

S6	G	11	13	59,	10	11	86	0,4	X2,	59	0	0	645	958	848
	1	9,6	37	53	11		25	7	X3						
		5	5												
S6	G	11	13	58,	93	11	86	1,2	X2,	59	0	0	913	611	848
	2	1,8	36	73	2		33	7	X3						
		5	7												
S6	G	93	13	58,	93	11	86	0,1	X1,	59	0	0	913	670	789
	3		36	82	2		32	8	X2,						
			8						X3						

POI setiyle G1 (tarih/kültür) profili Ege’de en yüksek performansı üretir. S_baz–G1 $\approx 122,7$ puan / 12 ziyaret; süre uzatıldığında S2–G1 $\approx 127,4$ / 12 ziyaret olup artış sınırlıdır. Asıl sıçrama S4 (karbon=90)’ta gerçekleşir: $\approx 164,4$ puan / 16 ziyaret. Bu seviyede rota, tarihî dizileri iç hatlarla birleştirebilmektedir. S3 (karbon=36)’ta ise $\approx 92,3$ puan / 7 ziyaret görülür; düşük emisyon hedefi uzun kıyı-iç hat geçişlerini baskılayarak çözümü çekirdeklerde yoğunlaştırır. S_baz’da karbon boşluğunun $\approx 0,07$ gibi küçük oluşu, Ege’de emisyon sınırına zaten yakın çalışıldığını; S4’te boşluğun artmadığını fakat puanın yükseldiğini, yani kazanımın uzak dizileri bağlayabilmekten geldiğini gösterir.

G2 (doğa/rekreasyon) güçlü ikinci profildir. S_baz–G2 $\approx 111,8$ puan / 11 ziyaret, S2–G2 $\approx 116,9$ / 12 ziyaret üretir. Bu sonuç, POI noktalarının kısa ardışık geçişlerle zincirlenebilmesine dayanır. S5 (bütçe=14.000)’ta bütçe boşluğu ≈ 767 ile sınır çizgisine en çok yaklaşan satırdır; buna rağmen $\approx 112,9$ puan / 11 ziyaret korunur. S6 (22.000)’da bütçe boşluğu $\approx 8,6$ bin’e yükselir; puan S_baz’a çok yakındır ($\approx 111,8$). Dolayısıyla doğa profilinde bütçe tek başına belirleyici değildir.

G3 (dengeli/sanat-gastronomi) çoğu senaryoda daha düşük puan verir (S_base–G3 $\approx 94,4$; S1–G3 $\approx 89,8$). Gastronomi ve kent içi kısa durakların ziyaret başına puanı sınırlı olduğundan, aynı toplam süre altında verim düşer. Ancak S4–G3 $\approx 119,8$ / 15 ziyaret ile emisyon hakkı büyüdüğünde farklı noktaların entegre edilebildiği görülür.

Süre etkisi beklenen yöndedir. S1 (360 dk/gün) altında ziyaret sayısı 10–11’e iner ve puanlar düşer (ör. G1 $\approx 118,9$; G2 $\approx 106,4$; G3 $\approx 89,8$); çözümler genellikle tek eksenle kalır. S2 (720 dk/gün) ile 12–13 ziyarete çıkan rotalar, kıyı ile iç hattı Pamukkale/Ulubey

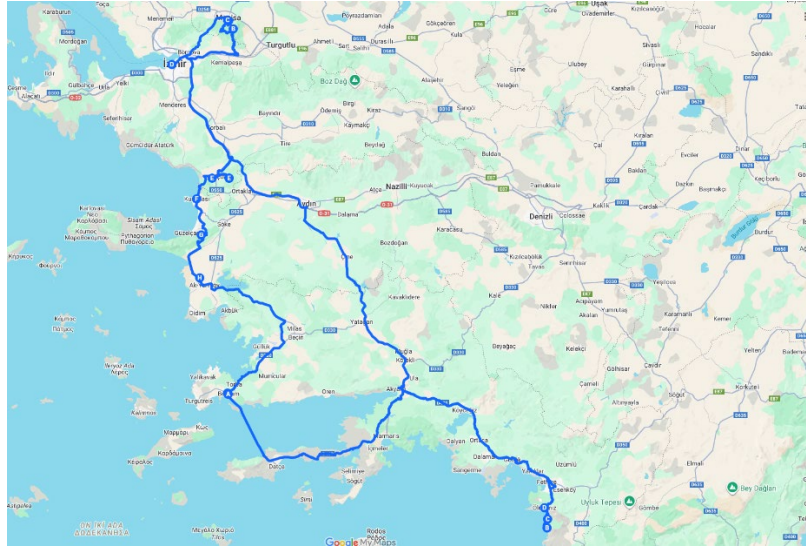
bağlantısı üzerinden aynı turda bir araya getirebilir; puanlar G1’de ≈ 127 , G2’de ≈ 117 düzeyine çıkar.

Emisyon sıkılaştırması (S3) tüm profillerde puanı düşürür (G1 ≈ 92 ; G2 $\approx 77,5$; G3 $\approx 72,8$). Bu satırlarda X2–X3 omurgasına yakınsama belirginleşir; rota kısa sıçramalı çekilir. S4’te uzun geçişler mümkün olduğundan X1 daha sık devreye girer; buna rağmen çok sayıda çözüm hâlâ X2–X3 ağırlıklıdır.

Bütçe varyasyonu sınırlı etkiye sahiptir. S5’te (düşük bütçe) G1 $\approx 122,7$, G2 $\approx 112,9$, G3 $\approx 94,4$ ile S_base’e çok yakın sonuçlar alınır; S6’da (yüksek bütçe) G1 $\approx 119,6$, G2 $\approx 111,8$, G3 ≈ 93 olup ek artış sınırlıdır. Bu, Ege’de performansı bütçeden çok süre ve özellikle emisyon parametresinin belirlediğini teyit eder.

Özetle, güncel POI listesinde tarih/kültür omurgası emisyon hakkı genişlediğinde en yüksek puanı üretir; doğa profili kıyı zincirini destekleyerek bütçe sıkılaşırsa da yüksek performansı korur. Parametre ayarıyla “kıyı zinciri + iç hat halkası” veya “İzmir–Selçuk çekirdeği + Muğla/Denizli uzantısı” şeklinde katmanlı paketler, aynı veri seti üzerinden rasyonel biçimde üretilebilir.

Rota Şirince çıkış–varışlı kapalı bir halka. İlk kısımda Manisa çekirdeği kısa bir blok hâlinde toplanıyor (Spil Dağı → Ağlayan Kaya), ardından İzmir kent eşiğine inilip Saat Kulesi ile kentsel odak “işaretleniyor”. İç çekirdeğe dönüştü Efes’e geçilerek Şirince–Selçuk ekseninin tarihî ağı tamamlanıyor. Orta bölüm, Aydın kıyı koridorunun kuzey–güney doğrultusunda doğrusal süpürülmesi mantığıyla ilerliyor: Kuşadası → Kurşunlu Manastırı → Milet Müzesi sıralaması, kıyı–antik miras kombinasyonunu tek hat üzerinde bağlayıp geri izi önlüyor. Bunu takiben rota Bodrum yarımadasına tek çıkış–tek dönüş prensibiyle girerek Halikarnas Mozolesi ve Bodrum Kalesi’ni aynı şehir bloğunda paketliyor. Son segment Fethiye–Likya koyları üzerinde sahil şeridi boyunca ilerleyen bir mini-koridor: Kabak Koyu → Kelebekler Vadisi → Ölüdeniz ardışı, doğa–rekreasyon temasını yoğunlaştırıyor. Dönüş, iç hatta tırmanılarak Şirince’de halkanın kapanmasıyla tamamlanıyor.



Fotoğraf 4.4 Ege Bölgesi S_baz G1(Tarih) rota görseli

4.1.5. Güneydoğu Anadolu Bölgesi

Güncellenen veri kümesi, bölgenin iki güçlü omurgasını açık biçimde temsil eder: (i) Gaziantep–Şanlıurfa–Adıyaman hattındaki kültür-arkeoloji yoğunluğu ve (ii) Mardin–Diyarbakır–Batman–Şırnak–Kilis hattındaki tarihî doku. Aday noktalar bu iki omurga üzerinde kümelenmiştir: Gaziantep’te Zeugma Mozaik Müzesi, Gaziantep Kalesi, Şahinbey Savaş Müzesi, Tahmis Kahvesi, Turistik Çarşı/Tütün Hanı; Şanlıurfa’da Göbeklitepe, Balıklıgöl, Harran Ören Yeri; Adıyaman’da Nemrut Dağı, Kahta Kalesi, Atatürk Barajı; Mardin’de Mor Gabriel Manastırı, Midyat, Dara Mezopotamya Harabeleri; Diyarbakır’da Surlar, Hasan Paşa Hanı, Meryem Ana Kilisesi, Asur Kalesi, Malabadi Köprüsü; Batman’da Hasankeyf Ören Yeri; Şırnak’ta Cizre Kalesi, Kırmızı Medrese; Kilis’te Ravanda Kalesi; Siirt’te Sağlıca Kaplıcası. Her nokta için puan, ziyaret süresi ve yol-maliyet katsayıları tanımlanmış; çok günlü rota optimizasyonu üç tercih profili için ayrı ayrı yürütülmüştür: G1 (tarih/kültür), G2 (doğa/rekreasyon), G3 (sanat/gastronomi). Ulaşım çok modludur (X1 benzinli, X2 elektrikli, X3 otobüs, X4 yürüyüş). Senaryo seti diğer bölgelerle aynıdır. Tablo; her senaryo-grup için toplam puan, toplam maliyet, toplam emisyon, toplam süre, ziyaret sayısı, ayrıca bütçe boşluğu

(maliyet sınırına mesafe) ve karbon boşluğunu (emisyona sınırına mesafe) ve kullanılan mod bileşimini raporlamaktadır.

Tablo 4.5 Güneydoğu Anadolu Bölgesi Senaryo Sonuçları

Se na ry o	G r u p	To pl a m ilg i no kt ası pu an	To pl a m ka rb on	To pl a m sü re	To pl a m re	Zi ya ret no kta lar ı	B üt çe bo şl uğ u	K ar bo n bo şl uğ u	Kul lanı lanı mo d	Top lam bekl eme _d1	Top lam bekl eme _d2	Top lam bekl eme _d3	Biti ş za ma nı_ d1	Biti ş za ma nı_ d2	Biti ş za ma nı_ d3
S_ ba z	G 1	14 1,3 5	13 32 7	58, 59	13 20	11	62 73	1,4 1	X2, X3	0	0	0	913	906	941
S_ ba z	G 2	10 0	13 31 4	58, 35	13 13	11	35 86	1,6 5	X2, X3	0	0	0	903	945	905
S_ ba z	G 3	99, 5	10 63 5	59, 3	11 82	10	62 65	0,7	X1, X2, X3	0	0	0	865	917	840
S1	G 1	11 5,8 5	11 94 6	56, 07	98 4,4	9	49 54	3,9 3	X2, X3	0	0	0	799	790	835
S1	G 2	81, 3	13 27 7	59, 2	98 2	8	36 23	0,8	X1, X2, X3	0	0	0	815	810	797
S1	G 3	86	13 18 5	52, 8	97 1	8	37 15	7,2	X2, X3	0	0	0	756	828	797
S2	G 1	16 2	12 27 7	59, 5	17 11	13	46 23	0,5	X1, X2, X3	0	0	0	117 2	100 5	973

S2	G 2	11 2,7 5	12 42 5	59, 1	17 10	13	44 75	0,9	X1, X2, X3	0	2	0	117 5	113 5	840
S2	G 3	13 8,2	13 72 6	59, 7	20 69	16	31 74	0,3	X1, X2, X3	0	0	0	115 8	119 6	115 4
S3	G 1	12 4,3	12 89 2	31, 9	11 64	9	40 08	4,1	X1, X2, X3	0	0	0	928	956	720
S3	G 2	93, 2	12 97 8	35, 9	13 32	10	39 22	0,1	X2, X3, X4	0	0	0	952	925	894
S3	G 3	93, 2	12 99 7	35, 8	12 09	9	39 03	0,2	X2, X3	0	0	0	843	950	856
S4	G 1	14 8,2	13 64 5	77, 7	13 44	11	32 55	12, 3	X1, X2, X3	0	0	0	938	891	955
S4	G 2	10 0	13 63 3	87, 25	12 96	11	32 67	2,7 5	X1, X2, X3	0	0	0	951	922	8
S4	G 3	11 2,1	12 50 3	83, 9	13 71	12	43 97	6,1	X1, X2, X3	0	0	0	948	939	924
S5	G 1	14 1,3 5	10 71 1	58, 26	13 12	11	32 89	1,7 4	X1, X2, X3	0	0	0	948	891	913
S5	G 2	10 0	10 93 0	59	13 21	11	30 70	1	X2, X3	0	0	0	907	895	958
S5	G 3	10 6,7	12 15 4	59, 6	13 17	11	18 46	0,4	X2, X3	0	0	0	0	0	0

S6	G	14	13	53,	13	11	84	6,3	X2,	0	0	0	912	956	956
	1	6,9	50	65	85		96	5	X3						
			4												
S6	G	10	13	59,	13	11	86	0,1	X2,	0	0	0	905	922	923
	2	0	33	9	10		69		X3						
			1												
S6	G	10	13	59,	13	11	85	0,7	X2,	0	0	0	956	911	895
	3	6,7	45	3	22		42		X3						
			8												

Sonuçlar, güncel POI yapısında G1 (tarih/kültür) profilinin belirgin biçimde öne çıktığını doğrulamaktadır. S_baz–G1 $\approx 141,3$ puan/11 ziyaret düzeyindeki çözüm, yüksek puanlı durakların birleştirildiği kompakt bir omurgaya karşılık gelir. S2 (720 dk) ile G1 puanı ≈ 162 'ye, ziyaret sayısı 13'e çıkar; bu artış, farklı noktaların uzantısıyla aynı tur içinde bağlanabilmesi sayesinde gerçekleşir. S4 (karbon=90)'ta G1 $\approx 148,2/11$ ziyaret ve karbon boşluğu $\approx 12,3$ 'e yükselir; emisyon hakkının genişlemesi uzun geçişlere izin verirken, çözüm yine tarihî omurgayı korur.

G2 (doğa/rekreasyon) profili, bölgenin doğal sınırlı sayıda ve aralıklı oluşu nedeniyle ≈ 100 –113 puan bandında ikinci sırada kalmaktadır (S2–G2 $\approx 112,7/13$ ziyaret). G3 (sanat-gastronomi) ise S2'de $\approx 138,2/16$ ziyaret ile dikkat çekici bir tepe değere ulaşır; bunun mekanizması, Gaziantep gastronomi kümelenmesi (Tahmis, çarşılar, müzeler) ile Mardin–Midyat–Diyarbakır kent içi duraklarının yüksek sıklıkta ardışıklaşabilmesidir. Ancak bu çözümde karbon boşluğu $\approx 0,3$ 'e indiğinden emisyon sınırına çok yaklaşılr.

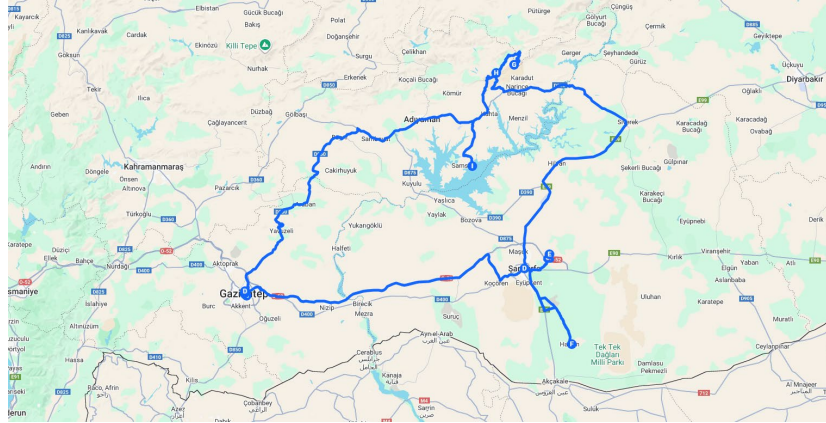
Süre parametresi beklenen etkiyi üretir: S1 (360 dk) altında puanlar ve ziyaret sayıları düşer (G1 $\approx 115,8/9$; G2 $\approx 81,3/8$; G3 $\approx 86/8$), rota tek kümeye yoğunlaşır. S2 ile çoklu küme bağları mümkün olur; G3'te 16, G1 ve G2'de 13 ziyaretli çözümler elde edilir.

Emisyon sıkılaştırması belirleyicidir. S3 (karbon=36) altında G1 $\approx 124,3/9$; G2 $\approx 93,2/12$; G3 $\approx 93,2/9$ düzeyine geriler; kararlar X2–X3 (elektrikli + otobüs) omurgasına yakınsar, uzak geçişler seyrekleşir. S4 (karbon=90)'ta ise G1 ve G3'te puanlar yükselir (sırasıyla $\approx 148,2$ ve $\approx 112,1$); G2 yaklaşık 100 seviyesinde kalır. Bu farklılık, tarih/kültür ve dengeli profillerde uzun taşıt geçişlerinin verime katkısının yüksek olduğuna işaret eder.

Bütçe varyasyonları ikincil önemdedir. S5 (14.000)'te bütçe boşlukları $\approx 1-3,3$ bin aralığına inerse de puanlar S_baza yakındır ($G1 \approx 141,3$; $G2 \approx 100$; $G3 \approx 106,7$; ziyaret sayıları çoğunlukla 11). S6 (22.000)'da bütçe boşlukları $\approx 8,5-8,7$ bin seviyesine yükselir; ancak puanlarda anlamlı bir ek artış oluşmaz ($G1 \approx 146,9$; $G2 \approx 100$; $G3 \approx 106,7$). Dolayısıyla performansı bütçeden ziyade süre ve özellikle emisyon ayarları belirlemektedir.

Mod bileşimi S_baz ve bütçe/düşük emisyon senaryolarında baskın biçimde X2–X3'tür; S2 ve S4'te X1 daha sık devreye girerek uzun bağlantıları mümkün kılar. Genel çerçeveye göre yalnızca senaryo parametreleri ayarlanarak (S2/S4 veya S1/S3) tutarlı şekilde üretilebilmektedir. Bu yapı, bölgenin yeni POI listesiyle de tarih/kültür omurgalı tur tasarımlarının en yüksek puanı verdiğini; sanat/gastronomi odaklı turlarda ise uzun gün–yüksek emisyon kombinasyonunun ziyaret sayısını hızla artırdığını göstermektedir.

Rota Gaziantep çıkış–varışlı kapalı bir halka. İlk blokta kent içi miras Zeugma Müzesi → Tahmis Kahvesi → Turistik Çarşı ardışıyla toplanıyor; böylece hareket etmeden yoğun bir kültür–zanaat deneyimi elde ediliyor. Doğuya geçişte Şanlıurfa çekirdeği tek gün içinde paketleniyor: Balıklıgöl → Göbeklitepe → Harran Ören Yeri sıralaması, inanç–arkeoloji–yerleşme tarihi katmanlarını tek hat üzerinde birleştiriyor. Ardından rota Fırat hattına tırmanıp Nemrut Dağına “tek çıkış–tek dönüş” prensibiyle uzanıyor; inişte Kahta Kalesi ve Atatürk Barajı eklemlenerek Adıyaman kolu doğrusal koridor şeklinde tamamlanıyor. Dönüşte Gaziantep'te ikinci kent bloğu devreye alınıyor: Tütünhanı → Şahinbey Savaş Müzesi → Antep Kalesi, ardından Zeugma Müzesinde halka kapanıyor.



Fotoğraf 4.5 Güneydoğu Anadolu Bölgesi S_baz G1(Tarih) rota görseli

4.1.6. İç Anadolu Bölgesi

İç Anadolu veri kümesi üç belirgin yakınlık kümesi oluşturuyor. Ankara–Eskişehir hattı: Anıtkabir, Hamamönü, Beypazarı, Porsuk Çayı, Sazova Parkı, Frig Vadisi; Kapadokya–Aksaray–Niğde çekirdeği: Peri Bacaları (Nevşehir), İhlara Vadisi, Somuncu Baba Türbesi (Aksaray), Gümüşler Manastırı ve Alaattin Camii (Niğde); Konya–Karaman uzantısı: Mevlâna Müzesi, Sille Köyü, Kyoto Japon Parkı, Tartan Konağı. Doğu ekseninde Sivas–Kayseri–Yozgat alt halkası yer alır: Divriği Ulu Camii, Gök Medrese, Eğri Köprü (Sivas), Talas ve Kültepe Höyüğü (Kayseri), Kaşıkla Restotan(Kayseri), Kazankaya Kanyonu (Yozgat); ayrıca Kırşehir–Kırıkkale çevresinde Mucur Yeraltı Şehri, Seyfe Gölü, Sulu Mağara bulunur. Bu noktalar için ilgi puanı, ziyaret süresi ve yol–maliyet katsayıları tanımlanarak çok-günlü rota optimizasyonu G1 (tarih/kültür), G2 (doğa/rekreasyon) ve G3 (sanat/gastronomi) profilleri için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Ulaşım çok modludur (X1 benzinli, X2 elektrikli, X3 otobüs, X4 yürüyüş).

Senaryolar ortak parametrelerle çözümlenmiştir. Tabloda her senaryo–grup için toplam puan, toplam maliyet, toplam emisyon, toplam süre, ziyaret sayısı, ayrıca bütçe boşluğu ve karbon boşluğu (düşük değer sınır baskısını, yüksek değer rahatlığı gösterir) ile mod bileşimi raporlanır.

Tablo 4.6 İç Anadolu Bölgesi Senaryo Sonuçları

Se	G	To	To	To	To	Zi	B	K	Kul	Top	Top	Top	Biti	Biti	Biti
na	r	pl	pl	pl	pl	ya	üt	ar	lanı	lam	lam	lam	ş	ş	ş
		a	a	a	a	ret	çe	bo	lan	bekl	bekl	bekl	za	za	za
		m	m	m	m	no	bo	n					ma	ma	ma

ry o	u p	ilg i no kt ası pu an	m ali ye t	ka rb on	sü re	kta lar ı	şl uğ u	bo şl uğ u	mo d	eme _d1	eme _d2	eme _d3	nı_ d1	nı_ d2	nı_ d3
S_ ba z	G 1	10 1, 45	12 11 2	59 ,5	12 27	7	47 88	0, 5	X2, X3	0	0	0	916	903	848
S_ ba z	G 2	73 ,3 5	11 98 6	56 ,2 5	13 66	7	49 14	3, 75	X2, X3	0	0	0	916	940	950
S_ ba z	G 3	84 ,9	11 89 0	54 ,1 5	13 44	8	50 10	5, 85	X2, X3	0	0	0	893	944	947
S1 1	G 1	81 ,9 5	11 86 6	57 ,6	87 8	5	50 34	2, 4	X2, X3	0	0	0	815	748	755
S1 2	G 2	58 ,9	11 48 0	53 ,9	79 6	5	54 20	6, 1	X1, X2, X3	0	0	0	824	733	679
S1 3	G 3	64 ,1	11 85 4	59 ,4	10 27	5	50 46	0, 6	X2, X3	7	0	20	824	816	827
S2 1	G 1	12 2, 95	12 25 1	59 ,7	17 06	9	46 49	0, 3	X2, X3, X4	0	0	0	923	104 3	118 0
S2 2	G 2	95 ,9	12 21 1	59 ,9	17 43	9	46 89	0, 1	X2, X3, X4	0	30	14	990	111 9	107 4
S2 3	G 3	91 ,2	12 15 1	58 ,8	15 57	9	47 49	1, 2	X2, X3	0	0	0	923	110 5	969

S3	G	77 1 5	11 30 1	35 9 5	83 5	5	55 99	0, 1	X2, X3	0	0	0	851	581	843
S3	G	58 2 9	11 30 1	35 9 5	83 5	5	55 99	0, 1	X2, X3	0	0	0	851	581	843
S3	G	60 3 5	11 30 1	35 9 5	83 5	5	55 99	0, 1	X2, X3	0	0	0	851	581	843
S4	G	11 1 3	12 53 1	88 9 43	13 43	8	43 69	1, 1	X2, X3	0	0	0	913	950	920
S4	G	88 2 6 5	12 62 9	89 9 97	13 97	8	42 71	0, 1	X2, X3 tota 1	0	5	0	929	960	948
S4	G	84 3 9	12 16 7	82 3 1	12 74	8	47 33	7, 69	X2, X3	0	0	0	935	951	828
S5	G	10 1 45	12 11 2	59 5 27	12 27	7	18 88	0, 5	X2, X3	0	0	0	916	903	848
S5	G	72 2 1 5	11 90 2	56 2 8	12 13	7	20 98	3, 72	X2, X3	0	0	0	893	932	828
S5	G	84 3 9	11 89 0	54 1 5	13 44	8	21 10	5, 75	X2, X3	0	0	0	893	944	947
S6	G	10 1 45	12 11 2	59 5 27	12 27	7	98 88	0, 5	X2, X3	0	0	0	916	903	848

S6	G	73	11	56	13	7	10	3,	X2,	0	0	0	916	940	950
	2	,3	98	,2	66		01	75	X3						
		5	6	5			4								
S6	G	84	11	56	13	8	10	3,	X2,	0	0	0	893	949	939
	3	,9	91	,7	41		08	23	X3						
			8	7			2								

POI listesine bakıldığında G1 (tarih/kültür) profili bölgenin doğal omurgasına uyumlu biçimde en yüksek sonucu üretir: S_baz–G1 $\approx 101,4$ puan ve 7 ziyaret. Bu çözüm, genellikle Ankara–Eskişehir kültür çekirdeği (Anıtkabir–Hamamönü–Beyazıt–Porsuk/Sazova) arasında dengeli bir bağ kurar. G3 (sanat/gastronomi) S_baz’da $\approx 84,9$ puan (8 ziyaret), G2 (doğa) ise $\approx 73,3$ puan (7 ziyaret) üretir; doğa odaklı durakların aralıklı coğrafi dağılımı, aynı süre altında puan/süre verimini sınırlamaktadır.

S1 (360 dk) ile tüm profillerde ziyaret sayısı 5’e iner ve puan anlamlı biçimde düşer (G1 $\approx 81,9$; G2 $\approx 58,9$; G3 $\approx 64,1$). Kısa günde rota, yoğunlukla tek kümeye kapanır: ya Ankara–Eskişehir (Anıtkabir–Hamamönü–Porsuk–Sazova) ya da Kapadokya (Peri Bacaları–İhlara–Gümüşler–Somuncu Baba). S2 (720 dk) ile 9 ziyarete çıkılır ve puanlar belirgin artar (G1 $\approx 122,9$; G2 $\approx 95,9$; G3 $\approx 91,2$); uzun gün, Konya uzantısının (Mevlâna–Sille–Kyoto Parkı) Kapadokya veya Ankara çekirdeklerine eklenmesine imkân verir.

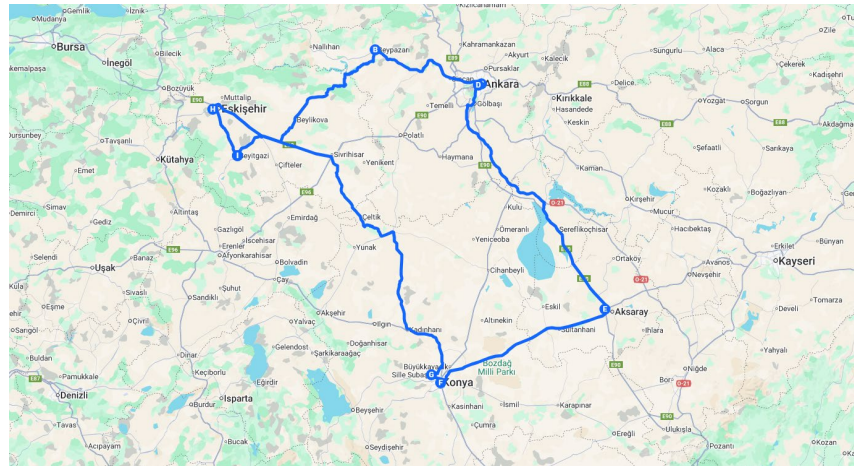
S3 (karbon=36) satırlarında tüm profiller aynı toplam süre (≈ 835 dk) ve 5 ziyaret ile karbon çizgisine çok yakın çalışır (karbon $\approx 35,9$; boşluk $\approx 0,1$). Puanlar G1 $\approx 77,8$; G2 $\approx 58,9$; G3 $\approx 60,5$ seviyesine geriler; çözümler X2–X3 omurgasına yakınsar ve kısa sıçramalı kombinasyonlara yönelir. Emisyonun gevşetildiği S4 (karbon=90)’ta G1 $\approx 113,1$ puan/8 ziyaret, G2 $\approx 88,7/8$, G3 $\approx 84,9/8$ oluşur; G2’nin karbon boşluğu $\approx 0,1$ ile sınırdadır, G3’te $\approx 7,7$ ’ye çıkar. Bu, dengeli profilde emisyon kısıtının gevşek, doğa ve tarih profillerinde ise hâlâ etkin olduğunu gösterir.

S5 (14.000)’te bütçe boşlukları $\approx 1,9$ – $2,1$ bin seviyesine inerse de puanlar S_base’e çok yakındır (G1 $\approx 101,4$; G2 $\approx 72,2$; G3 $\approx 84,9$) ve ziyaret sayıları 7–8 bandında kalır. S6 (22.000)’da bütçe boşlukları $\approx 9,9$ – $10,1$ bin’e yükselir; ancak performans anlamlı biçimde artmaz (G1 $\approx 101,4$; G2 $\approx 73,35$; G3 $\approx 84,9$). Dolayısıyla bölge için belirleyici olan bütçe değil, gün uzunluğu ve emisyon parametreleridir.

Satırların çoğunda X2–X3 (elektrikli araç + otobüs) baskındır; S1–G2’de X1’in de devreye girdiği görülür, kısa günde aralıklı noktaları yakalamak için. S2 çözümlerinde yer yer X4 (yürüyüş) bileşeni eklenir; bu, Hamamönü–Anıtkabir ya da Peri Bacaları–Göreme içi erişimlerde yaya bağlantılarının rasyonelleştiğini gösterir.

Sıkı emisyon veya kısa gün hedeflerinde çekirdeğin derinleştirildiği kompakt paketler; uzun gün veya yüksek emisyon hedeflerinde ise iki çekirdeğin aynı turda bağlandığı geniş paketler, bu veri setiyle tutarlı biçimde üretilebilmektedir.

Rota Frig Vadisi (Eskişehir) çıkış–varışlı kapalı bir halkadır. İlk kısımda Ankara çekirdeği tek bir şehir bloğu olarak toplanır: Beypazarı → Hamamönü → Anıtkabir dizisi, Osmanlı sivil mimarisiyle Cumhuriyet anıtını aynı gün içinde ardışık bağlar. Ardından hat güneydoğu koridoruna kırılarak Aksaray’da Somuncu Baba Türbesi ile dinsel miras durağına uğrar; Konya bloğunda Mevlana Dergâhı → Silke Köyü ikilisi, tasavvuf–yerleşim tarihi eksenini tamamlar. Dönüş kolu Eskişehir’e yönelir; Sazova Parkı modern kültür durağı olarak eklenir ve halka Frig Vadisinde kapanır.



Fotoğraf 4.6 İç Anadolu Bölgesi S_baz G1(Tarih) rota görseli

4.1.7. Karadeniz Bölgesi

Karadeniz veri kümesi üç mekânsal kümeye ayrılıyor. Doğu’da Trabzon–Rize–Artvin–Gümüşhane eksenini: Sümela Manastırı, Uzungöl, Ayder Yaylası, Zil Kalesi, Çiftköprü (Artvin), Şavşat Karagöl ve Karaca Mağarası. Batı’da Bolu–Karabük–Bartın–Zonguldak halkası: Yedigöller, Safranbolu ve Kristal Teras, Amasra Boztepe, Gökgöl Mağarası,

Filyos Kalesi. Orta hat ise Sinop–Samsun–Amasya–Çorum–Tokat–Çankırı–Giresun doğrultusunda: Tarihi Sinop Cezaevi ve Balatlar Kilisesi, Amisos Tepesi, Borabay Gölü, Hattuşaş ve Alacahöyük, İskilip Kalesi, Niksar Kalesi, Taşhan (Tokat), Sakaeli Kaya Mezarları, Gogora Kilisesi (Giresun). Her nokta için ilgi puanı, ziyaret süresi ve yol/maliyet katsayıları tanımlanarak çok-günlü rota optimizasyonu G1 (tarih/kültür), G2 (doğa/rekreasyon) ve G3 (dengeli/sanat) profilleri için yürütülmüştür. Ulaşım çok modludur (X1 benzinli, X2 elektrikli, X3 otobüs, X4 yürüyüş). Senaryolar, temel gün süresi/karbon/bütçe sınırları ile bunların düşük-yüksek varyantlarından oluşur; tabloda her senaryo-grup için toplam puan, maliyet, emisyon, süre, ziyaret sayısı, bütçe boşluğu ve karbon boşluğu ile mod bileşimi raporlanmaktadır.

Tablo 4.7 Karadeniz Bölgesi Senaryo Sonuçları

Se na ry o	G r u p	To pl m ilg i no kt ası pu an	To pl m ali ye t	To pl m ka rb on	To pl m sü re	Zi ya ret no kta lar ı	B üt çe bo ş l u ğ u	K ar bo ş l u ğ u	Kul lanı lan mo d	Top lam bekl eme _d1	Top lam bekl eme _d2	Top lam bekl eme _d3	Biti ş za ma nı_ d1	Biti ş za ma nı_ d2	Biti ş za ma nı_ d3
S_ ba z	G 1	94, 35	13 38 5	58, 72	87 9	7	35 15	1,2 8	X2, X3	0	0	0	794	760	765
S_ ba z	G 2	91, 55	13 41 7	56, 99	91 0	7	34 83	3,0 1	X2, X3	0	0	0	928	792	630
S_ ba z	G 3	70, 5	13 38 1	58, 9	86 2	7	62 19	1,1	X2, X3	0	0	0	658	868	776
S1	G 1	94, 35	13 30 9	59, 6	81 0	7	35 91	0,4	X2, X3	0	0	0	835	752	663

S1	G 2	91, 55	13 38 0	58, 91	86 2	7	35 20	1,0 9	X2, X3	0	0	0	804	839	659
S1	G 3	71, 2	13 54 7	59	10 21	7	33 53	1	X2, X3	0	0	0	831	807	823
S2	G 1	94, 35	13 22 7	51, 39	83 0	7	36 73	8,6 1	X2, X3	0	0	0	102 5	615	630
S2	G 2	91, 55	13 38 1	58, 9	86 2	7	35 19	1,1	X2, X3	0	0	0	843	800	659
S2	G 3	70, 4	13 31 4	59, 89	92 2	7	35 86	0,1 1	X2, X3	0	0	0	862	638	862
S3	G 1	86, 55	12 84 2	35, 9	66 1	6	4,0 58	0,1	X2, X3	0	0	0	672	752	677
S3	G 2	82, 1	12 84 2	35, 9	66 1	6	4	0,1	X2, X3	0	0	0	551	873	677
S3	G 3	64, 9	12 84 2	35, 9	66 1	6	40 58	0,1	X2, X3	0	0	0	551	747	803
S4	G 1	11 2,5 5	14 13 4	88, 89	12 08	9	27 66	0,1 1	X2, X3	0	0	0	932	922	794
S4	G 2	96, 65	13 91 8	89, 7	99 5	8	29 82	0,3	X2, X3	0	0	0	828	847	760
S4	G 3	75, 9	13 91 9	89, 5	99 6	8	29 81	0,5	X2, X3	0	0	0	842	931	663
S5	G 1	94, 35	94 10	59, 8	81 0	6	45 90	0,2	X2, X3	0	0	0	698	909	643

S5	G	91,	13	59,	86	7	61	0,9	X2,	0	0	0	658	773	872
	2	55	38	06	3		6	4	X3						
			4												
S5	G	70,	10	59,	86	7	32	0,9	X2,	0	0	0	813	615	875
	3	5	78	05	3		16	5	X3						
			4												
S6	G	94,	13	59,	92	7	86	0,7	X2,	0	0	0	794	908	659
	1	35	30	24	1		96	6	X3						
			4												
S6	G	91,	13	58,	97	7	86	1,0	X2,	0	0	0	951	615	848
	2	55	38	91	4		17	9	X3						
			3												
S6	G	70,	13	58,	86	7	86	1,1	X1,	0	0	0	658	868	776
	3	5	38	9	2		19		X2						
			1												

POI listesiyle G1 (tarih/kültür) ve G2 (doğa/rekreasyon) profilleri taban senaryoda birbirine çok yakın ve istikrarlı sonuç üretmektedir: S_base-G1 $\approx 94,35$ puan/7 ziyaret ve S_baz-G2 $\approx 91,55$ puan/7 ziyaret. Bu çözümler, ya Doğu Karadeniz omurgasında ya da Batı yoğunlaşan, gerektiğinde Orta hat noktalarından bir-iki durakla (ör. Tarihi Sinop Cezaevi, Amisos, Borabay) desteklenen yakın mesafeli zincir rotalara karşılık geliyor. G3 profili $\approx 70-71$ puan bandında kalarak diğerlerinin gerisinde; dengeli/sanat ağırlıklı seçimlerin dağınıklığı puan/süre verimini azaltıyor. Bütçe boşluklarının $\approx 3,5$ bin TL düzeyinde pozitif, karbon boşluklarının $\approx 1,1-3,0$ aralığında olması, taban senaryoda emisyon çizgisine görece yakın çalışıldığını gösteriyor.

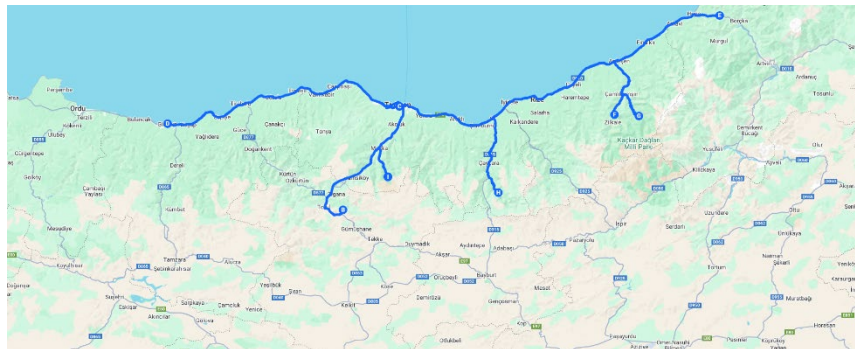
Gün uzunluğu etkisi sınırlı: S1 (360 dk/gün) altında puanlar baz seviyeye çok yakın kalır ve ziyaret sayısı yine 7'dir (G1 $\approx 94,35$; G2 $\approx 91,55$). S2 (720 dk/gün)'de de puanlar neredeyse değişmezken G1'in emisyonu ≈ 51 'e geriler ve karbon boşluğu $\approx 8,6$ 'ya çıkar; yani uzun gün daha çok temiz mod bileşimini (X2-X3) kullanmayı ve dağılımı dengeli kılmayı sağlar, fakat çekirdek kümeye bağlı kaldığı için toplam puan artmaz.

Emisyon parametresi belirleyicidir. S3 (karbon=36)'ta tüm profiller 6 ziyarete düşer ve puanlar geriler (G1 $\approx 86,6$; G2 $\approx 82,1$; G3 $\approx 64,9$). Karbon boşluğunun $\approx 0,1$ seviyesine inmesi kararların emisyon sınırı etrafında şekillendiğini gösterir; çözümler en yakın

halkaya çekilir, Safranbolu–Amasra ya da Çorum–Tokat iç hattı çoğunlukla dışarıda kalır. Emisyon hakkı büyüdüğünde S4 (karbon=90), G1 $\approx$ 112,5 puan/9 ziyaret, G2 $\approx$ 96,7 puan/8 ziyaret, G3 $\approx$ 75,9 puan/8 ziyaret üretir. Burada kazanım; Batı halkası ile Doğu omurgasının aynı turda bağlanabilmesinden ve Orta hat eklerinden gelmektedir. Buna rağmen karbon boşluğu yine düşüktür (ör. G1 $\approx$ 0,11), yani yüksek performans emisyon hakkının neredeyse tamamını kullanarak elde edilmektedir.

Bütçe varyasyonu ikincil önemdedir. S5 (14.000)’te G2’nin bütçe boşluğu $\approx$ 616 TL ile sınıra en yakın olup puan $\approx$ 91,6/7 ziyaret olarak korunur; G1 $\approx$ 94,35/6 ziyaret, G3 $\approx$ 70,5/7 ziyaret üretir. S6 (22.000)’da bütçe boşlukları $\approx$ 8,6–8,7 bin TL’ye çıkar; fakat puanlarda ek artış görülmez (G1 $\approx$ 94,35; G2 $\approx$ 91,55; G3 $\approx$ 70,5). Dolayısıyla Karadeniz’de sistemi asıl şekillendiren emisyon hedefi, ikincil olarak da gün uzunluğudur; bütçe tek başına belirleyici değildir.

Mod bileşimi tüm satırlarda neredeyse daima X2–X3 (elektrikli araç + otobüs)’tür. Düşük emisyon rejiminde bu yakınsama güçlenir; yüksek emisyon altında ise zaman zaman X1 eklenerek uzak küme bağları kurulabilir (ör. Safranbolu/Amasra $\leftrightarrow$ Sümela/Ayder). Mekânsal olarak bakıldığında, güncel liste iki kademeli paket önerisini destekler: kısa/orta gün ve/veya düşük emisyon altında “tek küme derinleştirme” (Doğu yayla–manastır omurgası ya da Batı tarihî–doğa halkası); uzun gün ve/veya yüksek emisyon altında ise “iki kümenin bağlandığı geniş rota”. Bu çerçeve, tabloda görülen puan/ziyaret desenlerini ve karbon–bütçe göstergelerini tutarlı biçimde açıklamaktadır.



Fotoğraf 4.7 İç Karadeniz Bölgesi S_baz G1(Tarih) rota görseli

4.2. SENARYO KARŞILAŞTIRMASI

Senaryo temelli karşılaştırmalı analizle seyahat verimliliğinin kısıt parametrelerine (günlük süre, karbon salımı ve bütçe) verdiği tepkiyi incelenmiştir. Karşılaştırmada temel çıktı olarak EBC'yi (emisyon başına fayda) kullanılmıştır. EBC, birim kg CO₂ başına elde edilen turistik faydayı (model skorunu) gösterdiğinden, farklı bölgeler ve kısıt setleri doğrudan kıyaslanabiliyor. Her senaryoda ve her ziyaretçi profili için (G1: tarih-kültür; G2: doğa-rekreasyon; G3: sanat-gastronomi) yedi bölge değerinin aritmetik ortalamasını (μ), standart sapmasını (σ), ve değişim katsayısını $CV=\sigma/\mu$ hesaplanmıştır. Bunlara ek olarak aralık (min–maks) ve temel senaryoya göre yüzde değişimi raporlanmıştır. öylece (i) verimlilik düzeyi, (ii) bölgeler arası çeşitlilik/heterojenlik ve (iii) kısıt değişikliğinin yönü ve büyüklüğü aynı çerçevede görülebiliyor.

4.2.1. S_baz (Baz Senaryo)

Tablo 2.2 Bölgelerarası Baz Senaryo Karşılaştırması

Senaryo	Bölgeler	Skor (G1/G2/G3)	Ziyaret POI (G1/G2/G3)	Karbon kg (G1/G2/G3)	EBC Skor/kgCO ₂ (G1/G2/G3)	Bekleme d1 (G1/G2/G3)
S Baz	Marmara Bölgesi	147.0/118.8/109.8	16/16/16	56.4/59.8/56.8	2.61/1.99/1.93	0/0/0
S Baz	Akdeniz Bölgesi	77.1/96.6/73.2	7/7/7	59.8/59.8/59.9	1.29/1.62/1.22	0/5/0
S Baz	Doğu Anadolu Bölgesi	112.50/101.20/86.20	11/11/11	59.7/59.9/59.6	1.88/1.69/1.45	0.0/48.8/0.0
S Baz	Ege Bölgesi	122.7/111.8/94.4	12/11/12	59.9/58.8/59.9	2.05/1.90/1.58	0/59/0
S Baz	Güneydoğu Anadolu Bölgesi	141.35/100.00/99.50	11/11/10	58.5/58.3/59.3	2.42/1.72/1.68	0/0/0
S Baz	İç Anadolu Bölgesi	101.45/73.35/84.90	7/7/8	59.50/56.25/54.15	1.71/1.30/1.57	0/0/0
S Baz	Karadeniz Bölgesi	94.35/91.55/70.50	7/7/7	58.72/56.99/58.90	1.61/1.61/1.20	0/0/0

Temel durumda EBC dağılımı G1'de $\mu=1,94$; $\sigma=0,46$; $CV=\%23,8$; min–maks=1,29–2,61, G2'de $\mu=1,69$; $\sigma=0,22$; $CV=\%13,2$; 1,30–1,99, G3'te $\mu=1,52$; $\sigma=0,26$; $CV=\%16,9$; 1,20–1,93 düzeyindedir. Ortalama değerler Marmara'nın üç profilde de üst verim ürettiğini (G1=2,61; G2=1,99; G3=1,93) gösterirken, Akdeniz ve Karadeniz bazı profillerde alt uçları temsil etmektedir. G2'de CV'nin %13 gibi düşük seyretmesi, doğa-rekreasyon rotalarının bölgeler arasında benzer verimlilikte kurulduğunu; buna karşılık G1'de geniş aralığın (1,29–2,61) tarihî/kültürel kümelerin coğrafi yakınlığına ve mod bileşimine yüksek duyarlılığı işaret ettiğini göstermektedir.

4.2.2. S1 (Süre Düşük Senaryo)

Tablo 2.2 Bölgelerarası Süre Düşük Senaryo Karşılaştırması

Senaryo	Bölgeler	Skor (G1/G2/G3)	Ziyaret POI (G1/G2/G3)	Karbon kg (G1/G2/G3)	EBC Skor/kgCO ₂ (G1/G2/G3)	Bekleme d1 (G1/G2/G3)
S1 (Süre düşük)	Marmara Bölgesi	129.0/103.0/91.5	13/12/11	54.1/46.3/58.1	2.38/2.22/1.57	0/0/12
S1 (Süre düşük)	Akdeniz Bölgesi	72.6/91.8/66.0	5/6/6	59.3/59.3/58.8	1.22/1.55/1.12	0/0/16
S1 (Süre düşük)	Doğu Anadolu Bölgesi	104.85/97.80/81.90	10/10/10	57.2/57.2/57.8	1.83/1.71/1.42	0.0/0.0/0.0
S1 (Süre düşük)	Ege Bölgesi	118.9/106.4/89.8	11/10/10	59.3/57.5/59.6	2.01/1.85/1.51	0/59/0
S1 (Süre düşük)	Güneydoğu Anadolu Bölgesi	115.85/81.30/86.00	9/8/8	56.0/59.2/52.8	2.07/1.37/1.63	0/0/0
S1 (Süre düşük)	İç Anadolu Bölgesi	81.95/58.90/64.10	5/5/5	57.60/53.90/59.40	1.42/1.09/1.08	0/0/7
S1 (Süre düşük)	Karadeniz Bölgesi	94.35/91.55/71.20	7/7/7	59.60/58.91/59.00	1.58/1.55/1.21	0/0/0

Süre kısaldığında EBC düzeyi G1’de $\mu=1,79$; $\sigma=0,40$; $CV=\%22,5$; 1,22–2,38, G2’de $\mu=1,62$; $\sigma=0,36$; $CV=\%22,2$; 1,09–2,22, G3’te $\mu=1,36$; $\sigma=0,22$; $CV=\%16,4$; 1,08–1,63’e gerilemektedir. Temele göre ortalama G1’de $-\%7,8$, G2’de $-\%4,1$, G3’te $-\%10,3$ düşmüştür. Gün başına süre azaldığında model, kısa sıralı ve yakın halkalara kapanır; bu durum özellikle dengeli profilde skor artışlarını sınırladığı için EBC kaybı daha yüksektir. Bölgesel düzeyde Marmara G1-G2’de liderliğini sürdürürken (2,38/2,22), Güneydoğu Anadolu G3’te 1,63 ile öne çıkmaktadır; kompakt kültürel çekirdekler (Gaziantep–Urfa–Mardin) kısa günde dahi emisyon başına yüksek çıktı üretmektedir.

4.2.3. S2 (Süre Yüksek Senaryo)

Tablo 2.3 Bölgelerarası Süre Yüksek Senaryo Karşılaştırması

Senaryo	Bölgeler	Skor (G1/G2/G3)	Ziyaret POI (G1/G2/G3)	Karbon kg (G1/G2/G3)	EBC Skor/kgCO ₂ (G1/G2/G3)	Bekleme d1 (G1/G2/G3)
S2 (Süre yüksek)	Marmara Bölgesi	164.0/126.4/120.0	17/16/17	58.6/59.9/59.7	2.80/2.11/2.01	0/0/3
S2 (Süre yüksek)	Akdeniz Bölgesi	77.1/96.6/73.2	7/7/6	59.2/55.5/59.7	1.30/1.74/1.23	0/5/0
S2 (Süre yüksek)	Doğu Anadolu Bölgesi	111.55/105.90/86.70	11/11/11	59.8/59.9/59.3	1.87/1.77/1.46	48.8/0.0/0.0
S2 (Süre yüksek)	Ege Bölgesi	127.4/116.9/94.4	12/12/12	59.7/59.7/59.9	2.13/1.96/1.58	0/0/0
S2 (Süre yüksek)	Güneydoğu Anadolu Bölgesi	162.00/112.70/138.20	13/13/16	59.5/59.1/59.7	2.72/1.91/2.31	0/0/0
S2 (Süre yüksek)	İç Anadolu Bölgesi	122.95/95.90/91.20	9/9/9	59.70/59.90/58.80	2.06/1.60/1.55	0/30/0
S2 (Süre yüksek)	Karadeniz Bölgesi	94.35/91.55/70.40	7/7/7	51.39/58.90/59.89	1.84/1.55/1.18	0/0/0

Süre uzadığında ortalamalar temele kıyasla yükselir: G1 $\mu=2,10$; $\sigma=0,52$; $CV=\%24,8$; 1,30–2,80, G2 $\mu=1,81$; $\sigma=0,20$; $CV=\%11,1$; 1,55–2,11, G3 $\mu=1,62$; $\sigma=0,41$; $CV=\%25,3$; 1,18–2,31. Ortalama artış G1’de $\%+8,5$, G2’de $\%+6,8$, G3’te $\%+6,5$ ’tir. Uzun gün, iki veya daha fazla kümenin aynı turda bağlanmasına izin verdiği için G1 ve G3’te heterojenlik artar ($CV \approx \%25$). Marmara G1-G2’de tepe değerlere (2,80/2,11), Güneydoğu Anadolu G3’te 2,31 ile en yüksek verime ulaşır. Bu bulgu, uzun günün tek başına emisyonu yükseltmeden verimli paketleme getirebildiğini göstermektedir.

4.2.4. S3 (Karbon Düşük Senaryo)

Tablo 2.4 Bölgelerarası Karbon Düşük Senaryo Karşılaştırması

Senaryo	Bölgeler	Skor (G1/G2/G3)	Ziyaret POI (G1/G2/G3)	Karbon kg (G1/G2/G3)	EBC Skor/kgCO ₂ (G1/G2/G3)	Bekleme d1 (G1/G2/G3)
S3 (Karbon düşük)	Marmara Bölgesi	127.6/104.6/99.5	13/13/14	35.9/35.9/35.9	3.55/2.91/2.77	0/0/0
S3 (Karbon düşük)	Akdeniz Bölgesi	72.6/91.8/73.2	6/6/7	35.9/35.9/35.6	2.02/2.56/2.06	0/0/0
S3 (Karbon düşük)	Doğu Anadolu Bölgesi	75.85/66.15/57.20	6/6/6	35.1/33.9/33.9	2.16/1.95/1.69	48.8/0.0/0.0
S3 (Karbon düşük)	Ege Bölgesi	92.3/77.5/72.8	7/8/8	31.4/35.7/35.9	2.94/2.17/2.03	0/0/0
S3 (Karbon düşük)	Güneydoğu Anadolu Bölgesi	124.30/93.20/93.20	9/10/9	31.9/35.9/35.8	3.90/2.60/2.60	0/0/0
S3 (Karbon düşük)	İç Anadolu Bölgesi	77.85/58.90/60.50	5/5/5	35.90/35.90/35.90	2.17/1.64/1.69	0/0/0
S3 (Karbon düşük)	Karadeniz Bölgesi	86.55/82.10/64.90	6/6/6	35.90/35.90/35.90	2.41/2.29/1.81	0/0/0

Düşük karbon rejimi EBC'yi belirgin biçimde yukarı taşır ve bölgeler arası farkları keskinleştirir: G1 $\mu=2,74$; $\sigma=0,74$; $CV=\%27,2$; 2,02–3,90, G2 $\mu=2,30$; $\sigma=0,43$; $CV=\%18,6$; 1,64–2,91, G3 $\mu=2,09$; $\sigma=0,43$; $CV=\%20,7$; 1,69–2,77. Temele göre ortalama artışlar G1 $\%+41,1$; G2 $\%+36,3$; G3 $\%+37,8$ gibi yüksek düzeydedir. Sıkı karbon sınırı, kararları yakın-yoğun POI kümeleri ile temiz modlara (X2/X3) yöneltmekte; bu sayede birim CO₂ başına fayda maksimuma çıkmaktadır. Güneydoğu Anadolu G1'de 3,90 ile tüm senaryoların en yüksek EBC'sini üretirken, Marmara G2-G3'te (2,91–2,77) tepe değerleri vermektedir. G1'de CV'nin $\%27$ 'ye çıkması, düşük karbon altında bölgeler arası uyum kapasitesinin farklılaştığını (kimisinin çok iyi, kimisinin sınırlı optimize olabildiğini) gösterir.

4.2.5. S4 (Karbon Yüksek Senaryo)

Tablo 2.5 Bölgelerarası Karbon Yüksek Senaryo Karşılaştırması

Senaryo	Bölgeler	Skor (G1/G2/G3)	Ziyaret POI (G1/G2/G3)	Karbon kg (G1/G2/G3)	EBC Skor/kgCO ₂ (G1/G2/G3)	Bekleme d1 (G1/G2/G3)
S4 (Karbon yüksek)	Marmara Bölgesi	147.9/116.5/105.8	14/15/15	85.6/84.4/88.5	1.73/1.38/1.20	0/19/21
S4 (Karbon yüksek)	Akdeniz Bölgesi	83.5/96.6/73.2	7/7/7	89.7/62.4/62.4	0.93/1.55/1.17	0/0/0
S4 (Karbon yüksek)	Doğu Anadolu Bölgesi	139.50/118.65/104.50	15/14/14	89.9/89.9/88.0	1.55/1.32/1.19	0.0/0.0/48.8
S4 (Karbon yüksek)	Ege Bölgesi	164.4/127.8/119.8	16/14/15	89.5/89.8/89.5	1.84/1.42/1.34	59/0/59
S4 (Karbon yüksek)	Güneydoğu Anadolu Bölgesi	148.20/100.00/112.10	11/11/12	77.7/87.2/83.9	1.91/1.15/1.34	0/0/0
S4 (Karbon yüksek)	İç Anadolu Bölgesi	113.10/88.65/84.90	8/8/8	88.90/89.90/82.31	1.27/0.99/1.03	0/5/0
S4 (Karbon yüksek)	Karadeniz Bölgesi	112.50/96.65/75.90	9/8/8	88.80/89.70/89.50	1.27/1.08/0.85	0/0/0

Karbon hakkının genişletilmesi EBC'yi azaltır ve dağılımı sıkıştırır: G1 $\mu=1,50$; $\sigma=0,36$; $CV=\%23,9$; 0,93–1,91, G2 $\mu=1,27$; $\sigma=0,20$; $CV=\%15,9$; 0,99–1,55, G3 $\mu=1,16$; $\sigma=0,17$; $CV=\%14,9$; 0,85–1,34. Temele göre ortalama değişimler G1 $\% -22,6$; G2 $\% -24,9$; G3 $\% -23,6$ 'dır. Esnek karbon, daha uzun motorlu geçişleri mümkün kıldığı halde emisyon başına verimi düşürür; bu nedenle EBC'ler geriler. Uç değerler Akdeniz-G1 (0,93) ve Karadeniz-G3 (0,85)'te gözlenirken; Güneydoğu-G1 (1,91) ve Ege-G3 (1,34) görece üstün performans sergiler. Daha düşük CV'ler, yüksek karbon koşulunun bölgeler arası farkları görece dengelediğini düşündürür.

4.2.6. S5 (Bütçe Düşük Senaryo)

Tablo 2.6 Bölgelerarası Bütçe Düşük Senaryo Karşılaştırması

Senaryo	Bölgeler	Skor (G1/G2/G3)	Ziyaret POI (G1/G2/G3)	Karbon kg (G1/G2/G3)	EBC Skor/kgCO ₂ (G1/G2/G3)	Bekleme d1 (G1/G2/G3)
S5 (Bütçe düşük)	Marmara Bölgesi	137.5/144.0/105.8	13/15/15	58.1/57.7/57.2	2.37/2.50/1.85	19/22/0
S5 (Bütçe düşük)	Akdeniz Bölgesi	77.1/96.6/73.2	6/7/7	59.8/59.9/59.9	1.29/1.61/1.22	0/0/0
S5 (Bütçe düşük)	Doğu Anadolu Bölgesi	110.00/101.20/86.20	11/11/11	59.9/59.9/59.6	1.84/1.69/1.45	48.8/48.8/0.0
S5 (Bütçe düşük)	Ege Bölgesi	122.7/113.0/94.4	12/11/12	59.9/59.8/59.9	2.05/1.89/1.58	0/0/0
S5 (Bütçe düşük)	Güneydoğu Anadolu Bölgesi	141.35/100.00/106.70	11/11/11	58.2/59.0/59.6	2.43/1.69/1.79	0/0/0
S5 (Bütçe düşük)	İç Anadolu Bölgesi	101.45/72.15/84.90	7/7/8	59.50/56.28/54.15	1.71/1.28/1.57	0/0/0
S5 (Bütçe düşük)	Karadeniz Bölgesi	94.35/91.55/70.50	6/7/7	59.80/59.06/59.05	1.58/1.55/1.19	0/0/0

Bütçenin daraltılması EBC ortalamalarını temele çok yakın seviyelerde tutar: G1 $\mu=1,90$; $\sigma=0,42$; CV=%21,9; 1,29–2,43, G2 $\mu=1,74$; $\sigma=0,38$; CV=%21,8; 1,28–2,50, G3 $\mu=1,52$; $\sigma=0,26$; CV=%16,8; 1,19–1,85. Oranlar G1 -%2,2, G2 +%3,2, G3 +%0,2’dir. Kısıt, rotaları yakın ve erişilebilir kümelerle yönlendirdiği için özellikle doğa profilinde verimlilik artışı gözlenmektedir. En yüksek EBC’ler Marmara-G2 (2,50) ve Güneydoğu-G1 (2,43)’te görülür; iki bölgede de yoğun POI coğrafyası, maliyet kısıtı altında etkin sıralama olanağı sağlar.

4.2.7. S6 (Bütçe Yüksek Senaryo)

Tablo 2.7 Bölgelerarası Bütçe Yüksek Senaryo Karşılaştırması

Senaryo	Bölgeler	Skor (G1/G2/G3)	Ziyaret POI (G1/G2/G3)	Karbon kg (G1/G2/G3)	EBC Skor/kgCO ₂ (G1/G2/G3)	Bekleme d1 (G1/G2/G3)
S6 (Bütçe yüksek)	Marmara Bölgesi	140.0/117.4/105.8	14/15/15	58.6/59.8/56.3	2.39/1.96/1.88	0/0/32
S6 (Bütçe yüksek)	Akdeniz Bölgesi	77.1/96.6/73.2	7/7/7	59.8/59.8/59.8	1.29/1.62/1.22	0/5/5
S6 (Bütçe yüksek)	Doğu Anadolu Bölgesi	112.50/101.50/85.50	11/11/11	59.7/59.9/59.9	1.88/1.69/1.43	0.0/48.8/48.8
S6 (Bütçe yüksek)	Ege Bölgesi	119.65/111.85/93.00	11/11/11	59.5/58.7/58.8	2.01/1.91/1.58	59/59/59
S6 (Bütçe yüksek)	Güneydoğu Anadolu Bölgesi	146.90/100.00/106.70	11/11/11	53.6/59.9/59.3	2.74/1.67/1.80	0/0/0
S6 (Bütçe yüksek)	İç Anadolu Bölgesi	101.45/73.35/84.90	7/7/8	59.50/56.25/56.70	1.71/1.30/1.50	0/0/0
S6 (Bütçe yüksek)	Karadeniz Bölgesi	94.35/91.55/70.50	7/7/7	59.24/58.91/58.91	1.59/1.55/1.20	0/0/0

Bütçenin artırılması ortalamaları baza neredeyse eşit bırakır: G1 $\mu=1,94$; $\sigma=0,49$; CV=%25,3; 1,29–2,74, G2 $\mu=1,67$; $\sigma=0,22$; CV=%13,3; 1,30–1,96, G3 $\mu=1,52$; $\sigma=0,26$; CV=%17,3; 1,20–1,88. Değişimler G1 +%0,3, G2 -%1,1, G3 -%0,2 ile istatistiksel olarak küçük düzeydedir. Ancak G1’de CV’nin %25’e çıkması, fazladan bütçeyi skora dönüştürme kapasitesinin bölgeler arasında heterojen olduğunu gösterir: Güneydoğu-G1 (2,74) tepe değere ulaşırken Akdeniz-G1 (1,29) alt uçta kalır. G2-G3’te Marmara (1,96/1,88) liderliğini korur; bütçe fazlası, kümelenmiş ve erişilebilir coğrafyada marjinal verimi fazla değiştirmemektedir.

Bütçenin artırılması ortalamaları baza neredeyse eşit bırakır: G1 $\mu=1,94$; $\sigma=0,49$; CV=%25,3; 1,29–2,74, G2 $\mu=1,67$; $\sigma=0,22$; CV=%13,3; 1,30–1,96, G3 $\mu=1,52$; $\sigma=0,26$; CV=%17,3; 1,20–1,88. Değişimler G1 +%0,3, G2 -%1,1, G3 -%0,2 ile istatistiksel olarak küçük düzeydedir. Ancak G1’de CV’nin %25’e çıkması, fazladan bütçeyi skora dönüştürme kapasitesinin bölgeler arasında heterojen olduğunu gösterir: Güneydoğu-G1

(2,74) tepe değere ulaşırken Akdeniz-G1 (1,29) alt uçta kalır. G2-G3'te Marmara (1,96/1,88) liderliğini korur; bütçe fazlası, kümelenmiş ve erişilebilir coğrafyada marjinal verimi fazla değiştirmemektedir.

Senaryolar arası ortalama EBC karşılaştırıldığında en verimli yapı düşük karbon (S3) olup, EBC ortalamaları temel senaryoya göre %36–41 arasında artmaktadır. Uzun gün (S2) ikinci sırada gelir ve verimlilikte %6–9 civarı artış sağlar. Yüksek karbon (S4) ise tüm profillerde %23–25 düzeyinde sistematik bir düşüş üretir; bütçe parametresi (S5–S6) verimlilik üzerinde ikincil bir etkiye sahiptir. Bölgesel örüntü bakımından Marmara, G2-G3 profillerinde hemen her senaryoda üst verim üretirken; Güneydoğu Anadolu, G1'de (özellikle S3, S5, S6) tepe değerlere ulaşmaktadır. Akdeniz ve Karadeniz birçok senaryoda alt uçları temsil eder; bunun ardında, dağınık POI dağılımı ve uzun bağlantıların emisyonu artırması yatmaktadır. Son olarak, CV değerlerinin S3 ve bazı G1 senaryolarında yükselmesi, kısıt değişimlerine bölgesel uyum kapasitesinin farklılaştığını ortaya koymaktadır: düşük karbon altında yakın ve yoğun çekirdekleri olan bölgeler belirgin bir verim üstünlüğü elde etmektedir.

Bu bulgular, tur tasarımında karbon ve süre ayarlarının bütçeden daha kritik olduğunu; kümelenmiş POI coğrafyasının ise her koşulda verimlilik için temel belirleyen olduğunu göstermektedir.

Bulgular, politika kaldıraçlarının göreceli etkilerini sistematik biçimde ortaya koymaktadır. Öncelikle karbon kısıtı, rota biçimlenişini en güçlü belirleyen unsur olarak öne çıkmıştır: S3'te sınırın sıkılaştırılması, yüksek emisyon üreten uzun bağlantılardan kaçınan; mekânsal olarak yakın halkalara ve temiz modlara (elektrikli araç/otobüs) yakınsayan çözümleri teşvik etmiş, ham puan artışı sınırlı kalsa da puan/karbon göstergesinde belirgin bir verimlilik iyileşmesi üretmiştir. Buna karşılık S4'te tavanın gevşetilmesi, daha uzun bağlantıların ve dağınık ziyaret örüntülerinin devreye girmesiyle ziyaret sayısı ve toplam puanı artırabilmekle birlikte emisyon verimliliğini geriletmiş; puan/süre metriğinde ise çoğu bölgede anlamlı bir kazanım sağlamamıştır.

Süre politikaları bakımından S2 (uzun gün) iki veya daha fazla mekânsal kümenin tek turda bağlanmasına izin vererek ziyaret adedini ve toplam puanı yükseltme eğilimindedir; ancak bu kazanım EBC tarafında genellikle sınırlı kalmakta ve bölgeler arasında

heterojenlik sergilemektedir. Nitekim bazı grup–senaryo kesitlerinde varyasyon katsayısının (CV) yükselmesi, bu heterojenliği istatistiksel olarak da doğrulamaktadır. S1 (kısa gün) ise ziyaret alanını daraltıp tek çekirdeğe kapanma eğilimi oluşturduğundan, hem puan hem de verimlilik değerleri çoğu kez baz senaryonun altında gerçekleşmiştir.

Bütçe senaryoları (S5–S6) tek başına belirleyici bir kaldıraç olmadığını göstermektedir. Tavanın gevşetilmesi, rota seçimlerinin zamansal ve emisyonel sınırlarla hâlen güçlü biçimde çevrelendiğini; bu nedenle marjinal faydanın çoğu bölgede düşük kaldığını işaret etmektedir. İlgili özet istatistikler (μ – σ –CV), bütçe varyasyonlarının baza yakın ortalamalar ürettiğini; buna karşın belirli grup–bölge kombinasyonlarında değişkenliğin arttığını göstermektedir.

Bölgesel düzlemde, kümelenmiş ve erişilebilir POI coğrafyası özellikle büyük şehir çekirdekleri, hemen her politika setinde daha yüksek EBC düzeyleri üretmektedir. Buna karşılık, lineer kıyı şeritleri ya da topoğrafya nedeniyle erişim süreleri uzun olan dağınık coğrafyalar, özellikle puan/karbon metriğinde dezavantajlıdır. Grup bazında Tarih/Doğa/Sanat kategorilerinin göreceli performansı, ilgili bölgedeki POI yoğunluğu ve zaman penceresi uyumuyla yakından ilişkilidir; açılış–kapanış saatleri bakımından uyumlu çekirdekler bekleme sürelerini azaltarak puan/süre verimliliğini yükseltmektedir. Birlikte değerlendirildiğinde bu bulgular, pratik planlamada hedefe duyarlı senaryo seçiminin (sürdürülebilirlik, zaman-etkinlik, ziyaretçi tatmini, maliyet) kritik olduğunu; karbon ve süre ayarlarının ise rota mimarisini bütçeye kıyasla daha doğrudan şekillendirdiğini göstermektedir.

SONUÇ

Bu tez, çok-günlü ve çok-modlu bir karbon kısıtlı TTDP modelini Türkiye'nin yedi bölgesinde tekil bir veri-senaryo şemasıyla çözerek, performansı EBC oranları (puan/süre; puan/karbon) üzerinden değerlendirmiş ve senaryo bazlı ortalama-standart sapma-CV özetleriyle bulguların kararlılık boyutunu görünür kılmıştır. Sonuçlar, karbon kısıtının emisyon verimliliğini yükseltmede belirleyici; süre ayarının ham performansı artırmada etkili fakat verimlilikte heterojen; bütçe değişimlerinin ise çoğunlukla ikincil bir kaldıraç olduğunu göstermektedir. Mekânsal ölçekte, kümelenmiş ve erişilebilir POI coğrafyası hemen her politika setinde daha yüksek EBC üretmekte; dağınık ve uzun bağlantı gerektiren mimariler ise özellikle puan/karbon açısından dezavantajlı kalmaktadır.

Politika düzeyinde, sürdürülebilir tur tasarımı için sıkı karbon rejimleri ve temiz mod erişimini güçlendiren yatırımlar, bütçe artışına kıyasla daha yüksek verimlilik getirisi sunmaktadır. Zaman pencerelerinin eşgüdümü ve çekirdek-uzantı (şehir çekirdeği + yakın doğa/kültür halkası) biçimindeki ürün tasarımları, bekleme sürelerini azaltıp yakın halkalara yoğunlaşmayı teşvik ederek puan/süre performansını da iyileştirmektedir. Yöntemsel katkı olarak, EBC'nin senaryo-sonrası bir kıyas katmanı olarak kullanılması ve bunun istatistiksel özetlerle (μ - σ -CV) tamamlanması, bulguların robustluk ve genellenebilirlik boyutlarını güçlendirmektedir.

Önerilen modelin paydaşlara sunduğu katkılar çok yönlüdür. Sürdürülebilirlik açısından, karbon-verimli güzergâh seçenekleri destinasyonların iklim hedeflerine destek sağlayabilir; modeldeki karbon kısıtı sayesinde turistlere düşük emisyonlu alternatifler sunularak sektörün karbon ayak izinin azaltılmasına katkı verilebilir. Turistler için kişiselleştirme düzeyi; bireysel tercih öğrenimi, şeffaf taviz yönetimi ve refah/güvenlik kısıtlarının modele dâhil edilmesiyle artırılabilir. Trafik, kalabalıklık ve hava durumu gibi gerçek zamanlı akışların beslediği dinamik yeniden-optimizasyon, süre-konfor-karbon dengesini gözetken adaptif ve çok-günlü rotaların kurulmasına imkân verir. Toparlanma kısıtları, geceleme yeri-rota eşleşmesi ve zaman-zemin (gün doğumu/akşamüstü) tercihleri birlikte ele alındığında, davranışsal realizm ve kullanıcı refahının temsil gücü artar.

Mod seti, mikromobilité (elektrikli bisiklet/scooter) ile isteğe bağılı/paylaşımlı ulaşımı kapsayacak biçimde genişletilebilir; mod geçiş maliyetleri, erişilebilirlik ve güvenlik kısıtları ayrıntılandırılabilir. Abonman/paket kararlarının (müze kartı, sınırsız ulaşım) rotayla eş-tasarımı, fiyat–performans duyarlılığı yüksek segmentlerde faydayı yükseltir. Grup gezilerinde adalet ölçütleri ve farklı yaş/erişilebilirlik profillerinin birlikte optimizasyonu, çok kullanıcılı TTDP uzantılarının uygulanabilirliğini artırabilir.

Operatörler için kapasite–kontenjan ve zaman pencereli giriş kısıtları tedarik zinciri mantığıyla modellenenebilir; gelir yönetimi ve dinamik fiyatlandırma ile entegre edilen MILP–öğrenme hibritleri tasarlanabilir. Senaryoya dayalı ürün farklılaştırması (zaman-kısıtlı “express”, karbon-kısıtlı “yeşil”, bütçe odaklı “ekonomik”) için ALNS tabanlı hızlı planlama ve anlık teklif motorları kullanılabilir. Saha geri bildirimlerine dayalı A/B deneyleri, puan/süre ve puan/karbon metriklerinde sürekli iyileştirme sağlar.

Mevsimsellik ve dönemsel dalgalanmalar dikkate alınarak POI çalışma saatleri, bilet fiyatları ve erişim kısıtları için zaman-bağımlı parametreler tanımlanabilir. Belirsizlikler için stokastik/sağlam optimizasyon ve bozucu olaylara (grev, hava, altyapı kesintisi) karşı dayanıklılık analizi birlikte yürütülebilir. Tedarikçi ağlarıyla entegrasyon ve sözleşme kısıtları, lojistik/operasyon planlamasını rota tasarımıyla uyumlaştırılır.

Kamu otoriteleri açısından model, düşük emisyon bölgeleri, toplu taşıma entegrasyonu ve yoğunluk yönetimi gibi politika araçlarının senaryo tabanlı etki analizine uygundur. Emisyon envanteri ve raporlama çerçeveleriyle uyumlu biçimde emisyon üst sınırları, karbon ticareti ve fiyatlama politikalarının marjinal etkileri sınanabilir. Yoğun dönemlerde slot rezervasyonu, dinamik biletleme ve crowd balancing uygulamalarının etkinliği veriyle doğrulanabilir.

Açık veri (POI saat/kapasite, anlık kalabalıklık) ve kent içi hareketlilik verileri (toplu taşıma, bisiklet ağları) düzenli entegrasyon sağladığında planlama doğruluğu artar. Çok bölgesel stratejilerde, bölge bazlı puan/verimlilik profilleri altyapı yatırımı önceliklendirmesine ve taşıma modlarının marjinal etkilerinin karşılaştırılmasına imkân tanır. Kriz durumlarında (afet, salgın) esnek yeniden planlama protokolleri sistem dayanıklılığını güçlendirir.

Giriřimciler için TTDP'nin servis olarak sunumu (API) ve "karbon etiketi" taşıyan rota önericileri pazarda farklılaşma sağlar. Erişilebilir turizm, çocuklu aile turları ve sürdürülebilir mikro-rotalar gibi niş alanlarda veri odaklı ürünler geliştirilebilir; abonelik/paket modelleriyle tekrarlı gelir akışları oluşturulabilir. Ulaşım operatörleri, müzeler ve belediyelerle kurulacak veri paylaşımı ve SLA temelli iş birlikleri, kapasite ve gecikme bilgilerinin bütünleşik yönetimini kolaylaştırır.

Yazılımcılar için ölçeklenebilir bir MLOps hattının (veri temizleme–modelleme–çözüm–değerlendirme–izlenebilirlik) kurulması, bölgeler ve senaryolar arasında yeniden kullanılabilirliği artırır. Bilgi grafikleri aracılığıyla POI özellikleri, erişilebilirlik ve sezonluk parametrelerin otomatik bütünleştirilmesi; veri yönetişimi ve gizlilik ilkeleri korunarak kişisel tercih öğreniminin uygulanması önerilir.

Çözüm teknolojisi bakımından sütun üretimi/dal-fiyat (branch-and-price) ve dal-kes–sezgisel hibritleri, sağlam/stokastik programlama uzantıları, paralel komşuluk aramaları ve GPU hızlandırmalı operatörler değerlendirilebilir. Değerlendirme katmanında EBC'nin yanı sıra erişilebilirlik ve eşitlik ölçütlerinin eklenmesi, çok ölçütlü performans panolarının geliştirilmesine hizmet eder. Gerçek zamanlı senaryolarda mimari; önbellekleme, artımlı yeniden optimizasyon ve olay güdümlü tetikleyicilerle (event-driven) güçlendirilebilir.

KAYNAKÇA

- Divsalar, G., Divsalar, A., Jabbarzadeh, A., & Sahebi, H. (2022). An optimization approach for green tourist trip design. *Soft Computing*, 26(9), 4303-4332.
- De Maio, A., Musmanno, R., & Skrame, A. (2023). The Green Tourist Trip Design Problem with Time Windows: A Model Application on a Urban Scale. In ICORES (pp. 62-70).
- Ruiz-Meza, J., & Montoya-Torres, J. R. (2022). A systematic literature review for the tourist trip design problem: Extensions, solution techniques and future research lines. *Operations Research Perspectives*, 9, 100228.
- Ruiz-Meza, J., & Montoya-Torres, J. R. (2021). Tourist trip design with heterogeneous preferences, transport mode selection and environmental considerations. *Annals of Operations Research*, 305(1), 227-249.
- Ruiz-Meza, J., Brito, J., & Montoya-Torres, J. R. (2021). Multi-objective fuzzy tourist trip design problem with heterogeneous preferences and sustainable itineraries. *Sustainability*, 13(17), 9771.
- Ruiz-Meza, J., Brito, J., Montoya-Torres, J. R., & Castro-Vergara, A. (2022). Green fuzzy tourist trip design problem. *Advances in Operations Research*, 2022(1), 6828385.
- Erbil, E., & Wörndl, W. (2021, March). Generating Multi-Day Round Trip Itineraries for Tourists. In *WebTour@ WSDM* (pp. 1-7).
- Yalcin, G. D., Malta, H., & Saylik, S. (2023). A new mathematical model and a heuristic algorithm for the tourist trip design problem under new constraints: a real-world application. *OPSEARCH*, 60(4), 1703-1730.
- Vathis, N., Pantziou, G., Konstantopoulos, C., & Gavalas, D. (2024). The regular language-constrained orienteering problem with time windows. *Applied Soft Computing*, 151, 111110.
- Vansteenwegen, P., Souffriau, W., & Van Oudheusden, D. (2011). The orienteering problem: A survey. *European Journal of Operational Research*, 209(1), 1-10.
- Tricoire, F., Romauch, M., Doerner, K. F., & Hartl, R. F. (2010). Heuristics for the multi-period orienteering problem with multiple time windows. *Computers & Operations Research*, 37(2), 351-367.
- Porras, C., Pérez-Cañedo, B., Pelta, D. A., & Verdegay, J. L. (2022). A critical analysis of a tourist trip design problem with time-dependent recommendation factors and waiting times. *Electronics*, 11(3), 357.
- Vu, D. M., Kergosien, Y., Mendoza, J. E., & Desport, P. (2022). Branch-and-check approaches for the tourist trip design problem with rich constraints. *Computers & Operations Research*, 138, 105566.

- Kedkaew, S., Nakkiew, W., Jewpanya, P., & Nakkiew, W. (2024). A Novel Tourist Trip Design Problem with Stochastic Travel Times and Partial Charging for Battery Electric Vehicles. *Mathematics* (2227-7390), 12(18).
- Pitakaso, R., Srichok, T., Khonjun, S., Gonwirat, S., Nanthasamroeng, N., & Boonmee, C. (2024). Multi-objective sustainability tourist trip design: An innovative approach for balancing tourists' preferences with key sustainability considerations. *Journal of Cleaner Production*, 449, 141486.
- Sylejmani, K., Abdurrahmani, V., Ahmeti, A., & Gashi, E. (2024). Solving the tourist trip planning problem with attraction patterns using meta-heuristic techniques. *Information Technology & Tourism*, 26(4), 633-678.
- Benjelloun, R., Tarik, M., & Jebari, K. (2025). Open Competency Optimization with Combinatorial Operators for the Dynamic Green Traveling Salesman Problem. *Information*, 16(8), 675.
- Wang, S., Han, C., Yu, Y., Huang, M., Sun, W., & Kaku, I. (2022). Reducing carbon emissions for the vehicle routing problem by utilizing multiple depots. *Sustainability*, 14(3), 1264.
- Pan, B., Zhang, Z., & Lim, A. (2021). Multi-trip time-dependent vehicle routing problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, 291(1), 218-231.
- Xu, R., Li, S., & Wu, J. (2023). Multi-trip vehicle routing problem with time windows and resource synchronization on heterogeneous facilities. *Systems*, 11(8), 412.
- Vincent, F. Y., Jewpanya, P., Lin, S. W., & Redi, A. P. (2019). Team orienteering problem with time windows and time-dependent scores. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 213-224.
- Jewpanya, P., Nuangpirom, P., Pitjamit, S., & Nakkiew, W. (2025). Optimized Travel Itineraries: Combining Mandatory Visits and Personalized Activities. *Algorithms*, 18(2), 110.
- Hapsari, I., Surjandari, I., & Komarudin, K. (2019). Solving multi-objective team orienteering problem with time windows using adjustment iterated local search. *Journal of Industrial Engineering International*, 15(4), 679-693.
- Guastalla, A., Aringhieri, R., & Hosteins, P. (2025). The team orienteering problem with service times and mandatory & incompatible nodes. *Computers & Operations Research*, 107170.
- Dantzig, G., Fulkerson, R., & Johnson, S. (1954). Solution of a large-scale traveling-salesman problem. *Journal of the operations research society of America*, 2(4), 393-410.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91.
- Laporte, G. (2009). Fifty years of vehicle routing. *Transportation science*, 43(4), 408-416.
- Lahyani, R., Khemakhem, M., & Semet, F. (2015). Rich vehicle routing problems: From a taxonomy to a definition. *European Journal of Operational Research*, 241(1), 1-14.
- Chao, I. M., Golden, B. L., & Wasil, E. A. (1996). The team orienteering problem. *European journal of operational research*, 88(3), 464-474.

- Vansteenwegen, P., Souffriau, W., & Van Oudheusden, D. (2011). The orienteering problem: A survey. *European Journal of Operational Research*, 209(1), 1-10.
- Gomory, R. E. (2009). Outline of an algorithm for integer solutions to linear programs and an algorithm for the mixed integer problem. In *50 Years of Integer Programming 1958-2008: From the Early Years to the State-of-the-Art* (pp. 77-103). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Conforti, M., Cornuéjols, G., & Zambelli, G. (2014). Integer programming models. In *Integer Programming* (pp. 45-84). Cham: Springer International Publishing.
- Benders, J. (2005). Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems. *Computational Management Science*, 2(1).