



Ulaşım Modellemesinin Evriminden Türel Ayırım Aşaması İçin Bir Değerlendirme

Furkan AKDEMİR¹, Ebru Vesile ÖCALIR²

¹ Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, Büyükşehir Belediyesi, EGO Genel Müdürlüğü Ulaşım Planlama ve Raylı Sistem Dairesi Başkanlığı, Ankara, TURKEY, ORCID ID 0000-0003-0964-338X

² Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Ankara, TURKEY, ORCID ID 0000-0001-8381-1308

Corresponding Author: Furkan AKDEMİR, akdemirfurkan10@gmail.com

Özet

Ulaşım modellemesi, insanların mevcut durumda olan, gelecekte olması beklenen, yolculuk talebi, aktivitesi ve tutumlarına dair tahmin yapmak için kullanılan stratejik bir ulaşım planlaması aracıdır. Bu çalışmada ulaşım modellemesi tekniklerinin tarihi süreç içinde geçirdiği değişimler açıklanmakta, modellemenin insan tercihi ve tutumunu ölçme ve algılamaya yarayan tek aşaması olan türel ayırım aşaması derinlemesine incelenmektedir. Çalışma, ulaşım modellemesi (1713) ve türel ayırım (519) konularında Web of Science veritabanından elde ettiği toplam 2232 kaynağı bibliyometrik analizler ile değerlendirmektedir. Günümüzde hizmet, kirlilik, dirençlilik gibi kavramların ulaşım modeli konulu araştırmalarda, yolculuk davranışı, türel ayırım, aktivite tabanlı model, maliyet, karbon emisyonu, iklim değişimi, karar verme problemi gibi kavramların ise türel ayırım konulu araştırmalarda daha fazla yer aldığı görülmektedir. Diğer yandan ulaşım talebini hesaplamaya yarayan ancak klasik ulaşım modelleme aşamalarından farklı yöntemlere sahip çalışmalar da detaylı incelenmiş olup, söz konusu çalışmaların literatür taramasının sonucunda belirtilen güncel kavramlara odaklanarak yaklaşımlar önerdiği gözlemlenmiştir. Günümüz bireylerinin ulaşım tutumlarını şekillendiren konfor, kesintisiz iletişim - haberleşme hizmeti ve iklim gibi unsurların, klasik ulaşım modellerinin türel ayırım aşamasında dikkate alınmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Article Info

Research Article

Received: 27/05/2025

Accepted: 31/07/2025

Anahtar Kelimeler

Ulaşım Modelleme,
Türel Ayırım,
Bibliyometrik Analiz

Öne Çıkanlar

Ulaşım modelleme yaklaşımları zaman içinde evrilmiştir. Modellemede türel ayırım aşaması birey tercihlerini yansıtmaktadır. Hizmet kalitesi, iklim etkisi ve dirençlilik, güncel modelleme ve türel ayırım çalışmalarında öne çıkmaktadır. Konvansiyonel modeller modern koşulları kapsamada sınırlıdır. Günümüz koşullarına odaklanan yeni türel ayırım yöntemleri geliştirilmektedir.

An Evaluation for the Transport Mode Choice from the Evolution of Transport Modelling

Abstract

Transportation modeling is a strategic transportation planning tool used to forecast people's current and expected future travel demand, activity and attitudes. This paper describes the historical evolution of transportation modeling techniques, and examines in depth the only phase of modeling that can measure and perceive human preferences and attitudes: mode choice phase. The study evaluates a total of 2232 sources on transportation modeling (1713) and mode choice (519) from the Web of Science database through bibliometric analysis. Nowadays, concepts such as service, pollution, resilience are more common in research on transportation modeling, while concepts such as travel behavior, mode choice, activity-based model, cost, carbon emission, climate change, decision making problem are more common in research on modal split. On the other hand, studies that are used to calculate transportation demand but have different methods from the classical transportation modeling stages have also been examined in detail, and it has been observed that these studies propose approaches by focusing on the current concepts mentioned in the literature review. It has been concluded that factors such as comfort, communication services and climate, which shape the transportation attitudes of today's individuals, are not taken into consideration in the mode choice stage of classical transportation models.

Keywords

*Transport Modelling,
Mode Choice,
Bibliometric Analysis*

Highlights

Transportation modeling approaches have evolved over time. The mode choice stage reflects individual preferences. Service quality, climate impact, and resilience stand out in current modeling and mode choice studies. Conventional models are limited in including modern conditions. New mode choice methods focusing on present-day conditions are being developed.

1. Giriş

Ulaşım kavramı uzun zamandır çalışmalarda, kentsel mekânı kalkınma yönüyle şekillendiren bir unsur olarak belirtilmektedir [1-3]. Bu yönüyle günümüze kadar çeşitli zamanlarda birçok arazi kullanım – kent ekonomisi arası ilişkiyi irdeleyen teoride başrolde olduğu görülmektedir. Kentlerin tarihine kısaca bakılacak olursa ulaşım teknolojilerinde yaşanan devrim niteliğindeki gelişmelerin kentlerin büyüme ve yayılmasında en önemli etkenlerden biri olduğu görülebilmektedir [4-6]. Ulaşım, kentin en devingen bileşenlerinden birisi olup kentlerin üzerinde morfoloji değiştirme etkisine sahiptir. Ulaşım, kentleri geliştirmekte ancak, kontrolsüz şekilde geliştiğinde ise aşırı yapı yoğunluğuna, trafik oluşumuna insanların günlük yaşamına, yaşam kalitesine doğrudan, kentsel ulaşım ve çevre arasındaki ilişkiye dolaylı yansıyarak kentte yaşayan insanları etkilemektedir [7]. Bugün ulaşım altyapısı metropoliten şehirlerde gelişime katkı veren önemli bir işlev olarak da karşımıza çıkmaktadır [8].

Ulaşım konusunun kentler için yadsınamaz bir kalkındırıcı etkisi olmakla birlikte bu etkinin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Bu durum, yapılan güncel çalışmalarda ulaşımın kentleşmeye olan etkisinden kaynaklı olarak ortaya çıkan zincir etkisiyle anlatılmaktadır. Ulaşım, kentleşmeye etki ederek ekonomik gelişimin ivmelenmesine sebep vermesi ve buna istinaden hareketliliğin artması, artan hareketlilik talebini karşılamak için daha fazla taşıt ve altyapıya ihtiyaç duyulması, ihtiyaç duyulan taşıtların daha fazla enerji gereksinmesi, daha fazla enerji tüketiminin gerçekleştiği bir senaryoda yüksek emisyon ve kirlilik değerlerinin oluşması söz konusu zincir etkisinin kısa bir özetidir [9].

Kent için böylesine etkilere sahip önemli bir husus olan ulaşım, günümüzde daha çok servis yönüyle değerlendirilmekte olup yol, yolcu, taşıt olmak üzere üç ana bileşenin kesişiminde yer almaktadır. Kentler, çeşitli işlevler taşıyan mekanlara ev sahipliği yapmaktadır. Bu mekanlar kentte yaşayan insanların günlük, haftalık, aylık, yıllık olarak gereksinim duyduğu sosyo – ekonomik ihtiyaçlara cevap üretmektedir. Ulaşım faaliyetleri de ulaşımın sistematik bir yapı arz ettiği kurguda yolcuların arzusu doğrultusunda bu mekanlar arasında gerçekleşmektedir. Yolcu, kendi sosyo – ekonomik yapısına uygun taşıt teknolojisi alternatiflerinden yararlanarak mekanlar arasında yol almakta, bu şekilde gitmeyi arzuladığı kentsel mekanlar arasında hareket ederek ulaşım adı verilen mekânsal işlev bağı tamamlanmaktadır. İnsan ve yükün mekanlar arasında güvenli, verimli ve sürdürülebilir hareketi, ulaşımın temel prensiplerinden birisi olmakla birlikte ulaşım, bir karar verme probleminin çözülme sürecini ifade etmektedir [10]. Bahsi geçen karar verme problemi, çok boyutlu bir yapıya sahiptir. Mekanlar arasında ulaşım hizmetinin sağlanması açısından bir çözüm geliştirilirken yol altyapısı, yolcu nicelik ve niteliği ve ulaşımı sağlayacak taşıt durumu göz önünde tutulmaktadır. Ulaşımın kentsel alanda stratejik bir kurgu çerçevesinde yer alması gerekmektedir.

Ulaşımın kent üzerindeki çok boyutlu etkisi ve kolayca karmaşılaşabilir yapısı onu sistemli ve olası durumları hesaplamaya elverişli bir planlama anlayışının odak noktası haline getirmektedir.

Günümüzde ulaşım, tüm mekânsal unsurlarda olduğu gibi planlama disiplini çerçevesinde kurgulanırılıp mekân içinde organize edilmektedir. Her planlama faaliyetindeki şekliyle ulaşımın planlanması da geleneksel olarak mevcut durumdan yararlanarak geleceğin tahmin edilmesi sürecini içermektedir. Modern toplumların artan nüfus, hareketlilik, sürdürülebilirlik gibi önemli konularda problemleri olmakta, ulaşım planlaması ise bu problemlere çözüm sunabilen hayati bir araç olarak görülmektedir. Ancak, ulaşım teknolojilerinin günümüzde gelişmiş bir düzeye kavuşmuş olması karmaşık kentsel ulaşım problemlerini çözmekte avantaj oluştursa da bu gücün etkin organize edilememesi trafik sıkışıklığı ve zaman kaybı gibi problemler oluşturma potansiyeli taşımaktadır. Bahsi geçen potansiyelden kaynaklı olarak ulaşım planlama faaliyetlerinin zaman-mekân konusunda daha iyi ve kesin yorum yapabilecek yöntemlere ihtiyaç duyması söz konusudur [11].

Ulaşım planlaması, çalışmalarda yerel düzey başta olmak üzere yaşanan sorunlara çözüm politikası geliştirebilmek için bir çözüm aracı olarak görülmektedir. Bu araç ışığında fizik mekânda yol ve taşıt altyapıları önerilebilmektedir. Oluşturulan altyapıların varlığı ile kentte büyük ekonomik, sosyal ve çevresel fayda kümeleri tesis edilmeye çalışılmaktadır.

Ulaşım planlama, genellikle mekâna dair veri setlerinden yararlanarak yapılan çeşitli mekânsal analiz ve modellerden destek alarak gerçekleştirilen bir planlama dalıdır. Günümüzde ulaşım planlaması yapılarak geliştirilen çözüm arayışlarının eşitlik ve adillik kavramlarına hizmet etmeye çalıştığı ulaşım erişimi olmayan grupların erişim düzeyinin artırılması, insanların günlük yaşam kalitesinin yükseltilmeye çalışıldığı, özel taşıt bağımlılığının azaltılma durumuna katkı vermesi gerektiği sıklıkla vurgulanmaktadır. Bu yönüyle ulaşım planlaması, halkın girdi, katkı ve destek verdiği planlama alanlarından birisi olarak tanımlanmaktadır [12].

Ulaşım planlaması söz konusu destek, analiz çalışmaları, modellemeler doğrultusunda yatırımların ve müdahalelerin en fazla nerede gerekli olduğunu tespit edebilme uğraşı olarak da tanımlanabilir. Ulaşım planlaması, en temel düzeyde kavramsal olarak beş aşama ile açıklanabilir. Bunlar sırasıyla çalışma alanındaki problemin belirlenmesi, mevcut duruma dair veri toplama, modelleme ve analizler, çok ölçütlü değerlendirme, çözüm önerilerinin sunulması şeklindedir [13].

Model, ulaşım planlama sürecinde gerçeğin yansıtıldığı tek aşama olup ayrıca ulaşım ve arazi kullanımı kapsamında geleceği tahmin etmeye yarayan temel araç olma özelliği taşımaktadır. Yapılan bir çalışma trafik akışı, mekân kullanımı, transit ve aktif hareketlilik, konusunda ulaşım modellemesinin daha kesin cevaplar almaya yaradığını vurgulamaktadır. Aynı çalışmada kentsel ulaşım teknolojilerinin son 20 yıl içinde önemli gelişmelere sahip olduğunun altının çizilmesiyle birlikte yeni ulaşım teknoloji ve türlerinin yaygınlaşması ile kentlerin kesin düzeye yakın bir tahmin modelinin yapılabileceğinin artık daha zor olduğu belirtilmektedir [14].

Ulaşım planlama uygulamalarının genelinde ulaşım ve arazi kullanım karakteristikleri ve bu karakteristiklerin arasındaki ilişkiden yararlanarak bir benzetim yaklaşımı geliştirilmeye çalışılmaktadır. Son 40 yılı aşkın bir zamandır söz konusu ilişki matematiksel, istatistiksel ve akılcı metotlar ile ifade edilerek geleceği tahmin etmeyi sağlayan ve politika üretmeye yarayan modeller oluşturulabilmektedir. Ulaşım modellemesi tarihinde modeller özellikleri bakımından 3 sınıfta incelenmektedir. İlk iki sınıftan sırasıyla mekânsal etkileşimin toplu modeli ve ekonometrik model olarak bahsedilmektedir. Bu iki sınıfta ulaşım ağı ve mekânda bireylerin tutumları toplulaştırılmakta ve ilişkiler çözümlenerek yansıtılmaktadır. 1950 ve 1960'larda ortaya çıkan geleneksel modelleme ve türevleri bu sınıfların elemanı olarak görülmektedir. Üçüncü model sınıfı ise mikrobenezim olarak karşımıza çıkmakta bu da arazi kullanım ve kullanıcı davranışı arasındaki ilişkinin bireyselliğine yönelerek çalışma alan nüfusunun farklılık arz ettiği hususlara odaklanan ayrık ulaşım yapısına odaklanmaktadır. Aktivite bazlı, ajan bazlı, hücre bazlı modeller bu sınıfın elemanlarındandır [15]. Tablo 1'de kronolojik gelişim görülmektedir.

Tablo 1. Arazi kullanım - ulaşım modellerinin kronolojik gelişimi

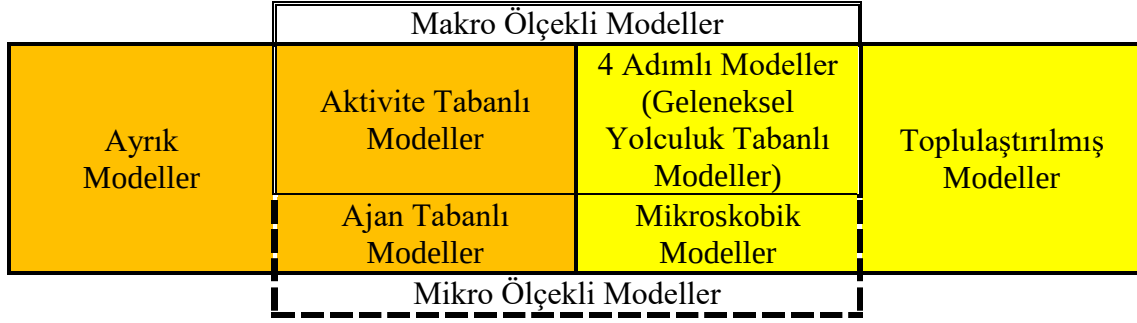
Arazi Kullanım ve Ulaşım Modelleri				
Mekânsal Etkileşim/ Yer Çekimi Bazlı Modeller (1960)	Ekonometrik Modeller (1980)	Mikrosimülasyon Modelleri (1990)	Aktivite - Ajan Tabanlı Modeller (2000)	Hücre Tabanlı Modeller (Günümüz)

Kronolojik gelişim ve tasniflerden görüldüğü üzere ulaşım modeli tarihi süreç içinde farklılaşmıştır. Model türlerinin birbirinden ayrışmasını sağlayan temel ayrım çizgilerinin neler olduğunun tanımlanması, hangi unsurların evrimleşmeye neden olduğu, sınıflar arası farklılığın oluşum sebeplerinin açıklanması bu araştırmanın en temel merak konularındandır. Araştırmada ayrıca kronolojik sırada yer alan modellerin uygulama adımları da açıklanarak kılavuz niteliğinde bir kaynak oluşturulmaktadır. Diğer yandan bu inceleme ile birlikte günümüzde modelleme konusunda evrimin sıradaki adımın hangi yönlerde devam edebileceği de ayrıca irdelenmektedir. Mevcut metotların sınırlılıkları incelenmiş, yeni yöntemlerin oluşması için olası fikirler işaret edilmektedir. Bu noktada araştırmadan yararlanılarak ulaşım modellerinin tarihi gelişimi daha kolay izlenebilir, bu gelişimin temel sebepleri, örnekler üzerinden detaylıca görülebilir. Modelleme tekniklerinin gelecekte kazanacağı yeni şekli hakkında fikir edinilebilir.

Ulaşım modelleri, ulaşım konusunda başta makro düzeyde olmak üzere kent nüfusunun tercihlerine yönelik tahmin ve analizler yapmaya yaramakla birlikte ekonomik davranış, mekânsal analiz, optimizasyon, parametre tahmin tekniği, gibi birçok alt bileşeni kapsamaktadır. Bu bileşenler aracılığıyla model, ağ üzerinde toplam talebi, talep toplamının dağıldığı bölgeleri, bölgelere dağılma biçimini son olarak dağılma yollarını açığa çıkarmaktadır. Ulaşım perspektifinde karar verme probleminin detayı, üretilen ve dağıtılan yolculuk sayısından sonra türel ayrım aşamasında görülmektedir. Yolculukların türler arasında bir seçim yapma zorunluluğu karar verme problemini oluşturduğundan modelleme sürecinin en kritik noktası karar verme probleminin hem ortaya çıktığı hem de yorumlanarak alternatifler ile çözüme kavuştuğu türel ayrım aşaması olarak değerlendirilebilir [16].

Araştırmada yine türel ayrım konusu özel bir merak konusudur. Modellemenin hassas bir yönü olarak karşımıza çıkan türel ayrım konusunun ulaşım modelleme tarihi, gelişimindeki yeri ve önemi, ulaşım modeli sınıfları kapsamında türel ayrım aşaması denince bilinmesi gereken fonksiyon, değişken ve tanımlar çalışmada yine kılavuz niteliğinde bir kaynak sağlayacak şekilde çerçeveye oturtulmaktadır. Bunun yanı sıra türel ayrımı sınırlı derecede yansıtabilen mevcut metotlara alternatif olarak, türel ayrım oranının tespitini sağlayacak yeni materyal ve metotlar incelenmekte örnekler üzerinden irdelenerek mevcut metodolojiye nasıl entegre edilebileceği tartışılmaktadır. Türel ayrımın gelecekte hangi günümüz zaman problemlerinden etkilenecek nasıl evrim geçirebileceği yönünde de ayrıca araştırmanın diğer merak konularındandır. Türel ayrım aşaması için gelecekte kullanılabilecek yeni teknik ve değişken önerileri açıklanmaktadır. Ulaşım modellemesi kentteki mevcut ulaşım ve arazi kullanım arasındaki ilişki kurgusundan doğan talebi anlamayı sağlayan bir araçtır. Mevcut durumdan yararlanarak geleceğe yönelik tahminler geliştirilmektedir. Modeller ölçeklerine ve değerlendirdiği

bölgedeki mercek altına aldığı konunun detayına inmesi açısından iki aks üzerinde bir pozisyona yerleştirilebilir. Bu noktada bahsi geçen ve modelleri konumlandıran akslar şekil 1’de olduğu gibidir. Örneğin birkaç ilçeyi kapsayarak nüfusa ait ulaşım alışkanlıklarını topluca ele alan klasik dört aşamalı ulaşım modelleri makro ölçekli toplu model sınıfına girmektedir. Bunun haricinde spesifik bir grubun belirli bir karayolu koridorunda kavşak, sinyalizasyon vb. konularda gösterdiği yaklaşımı anlamaya çalışan modeller mikro ölçekli ayırık modeller olarak örnek verilebilir.



Şekil 1. Model türlerini sınıflama aksları

Makro Modeller: Makro modeller, büyük ölçekli desenleri ve eğilimleri incelemeye odaklanır ve genellikle genel trafik akışını ve arazi kullanım etkileşimlerini analiz etmek için toplulaştırılmış veriler kullanır. Bu modeller, geniş senaryoları değerlendirmek ve uzun vadeli planlama stratejileri geliştirmek için faydalıdır. Örneğin, makro modeller, yeni altyapı projelerinin trafik akışı ve şehir genelindeki tıkanıklık üzerindeki etkilerini hızlı bir şekilde değerlendirebilir. Vinnytsia ulaşım modelinde olduğu gibi, farklı gelişim senaryolarının hızlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanır [17].

Ayrıca, makro modeller, toplulaştırılmış kaza istatistiklerini makroskobik faktörlerle ilişkilendirerek bölgesel kaza tahmininde kullanılır ve uzun vadeli ulaşım güvenliği planlaması için içgörüler sağlar [18].

Mikro Modeller: Mikro modeller, daha küçük alanlardaki—örneğin kavşaklar veya belirli yol segmentleri gibi—bireysel araç hareketlerini ve etkileşimlerini ayrıntılı bir şekilde analiz eder. Bu modeller, trafik dinamiklerini daha ayrıntılı bir düzeyde anlamak için kritik öneme sahiptir ve trafik sinyallerini optimize etmek ve yol güvenliğini artırmak için yardımcı olabilir. Örneğin, Vinnytsia'daki mikro modelleme, kavşaklarda araç hareketlerinin ayrıntılı bir şekilde analiz edilmesine olanak tanır ve belediyelere fonların verimsiz kullanımını ve ulaşım hatalarını önlemeye yardımcı olur [17]. Mikro modeller ayrıca, kaza oluşumuna katkıda bulunan faktörlere dair daha iyi içgörüler sunarak daha doğrudan karşı önlemler alınmasını sağlar [18].

Makro ve mikro modellerin entegrasyonu, ulaşım planlamasının doğruluğunu ve uygulanabilirliğini artırabilir. Mikro modeller ayrıntılı içgörüler sağlasa da, geniş veri ve hesaplama kaynakları gerektirir, bu da pratik uygulamalarda bir sınırlama oluşturabilir. Öte yandan, makro modeller daha az veri yoğun olmasına rağmen, gerçek trafik akışlarının karmaşıklığını mikro modeller kadar etkili bir şekilde yakalayamayabilir. Bu nedenle, her planlama görevi için uygun çözünürlük seviyesinin seçilmesi çok önemlidir

ve çevresel sorunlar ile altyapı gelişimi gibi farklı zorlukları ele almak için çok düzeyli bir modelleme yaklaşımı gerekebilir.

Toplulaştırılmış Modeller: Toplulaştırılmış modeller, karmaşık ulaşım sistemlerini basitleştirmek amacıyla verileri daha büyük kategoriler halinde gruplandırarak kullanılır. Bu modeller, hesaplama maliyetlerini azaltma ve ulaşım ağlarının genel bir görünümünü koruma açısından faydalıdır [19]. Örneğin, toplulaştırılmış ulaşım modelleri, yük taşımacılığındaki tıkanıklık analizini daha genel bir şekilde ele alarak basitleştirebilir. Bu yaklaşım bazı yanlışlıklara yol açabilse de, tüm sistemin daha yönetilebilir bir şekilde analiz edilmesine olanak tanır. Ayrıca, ağ modellerinde kullanılan toplulaştırma teknikleri, hesaplama verimliliğini ve esnekliğini artırarak plancıların karmaşık ulaşım politikalarını daha etkili bir şekilde ele almalarına yardımcı olmaktadır [20]. Ancak, toplulaştırma süreci parametre tahminlerinde yanlışlıklara neden olabilir. Örneğin, araç seçimi çalışmalarında farklı toplulaştırma yöntemleri önemli ölçüde farklı sonuçlar doğurabilmektedir [21].

Ayrık Seçim Modelleri: Ayrık seçim modelleri, bireysel karar alma süreçlerine odaklanarak seyahat davranışının ayrıntılı bir analizini sunar. Bu modeller, bireylerin ulaşım modu seçimlerini anlamak açısından kritik öneme sahiptir ve ulaşım planlamasında insanların ulaşım sistemindeki değişikliklere nasıl tepki vereceğini öngörmek için yaygın olarak kullanılmaktadır [22-23]. Ayrık seçim modelleri, değişkenlerdeki hataları dikkate alarak geliştirilebilir; bu da zaman değerinin daha doğru tahmin edilmesini ve maliyet-fayda analizlerinin daha hassas bir şekilde yürütülmesini sağlar [24]. Ayrıca, ayrık olay simülasyon modelleri, toplulaştırılmış modellere kıyasla tıkanıklık mekanizmalarını daha ayrıntılı bir şekilde açıklayarak, ulaşım düğümlerinde oluşan gecikmelere dair daha derinlemesine içgörüler sunmaktadır [19].

Toplulaştırılmış ve ayrık modellerin entegrasyonu, ulaşım planlamasına kapsamlı bir yaklaşım sunabilir. Örneğin, toplulaştırılmış dağıtım dinamik ulaşım planlamasıyla birleştiren hibrit bir model, kapasite aksaklıkları ve tedarik zincirlerindeki domino etkisi gibi sorunları ele alabilir [25]. Ayrıca, yarı-toplulaştırılmış veriler kullanarak ayrık seçim modellerinin hesaplanmasına yönelik yöntemler, tahmin sürecini önemli ölçüde hızlandırarak büyük veri kümelerinin verimli bir şekilde işlenmesini mümkün kılmaktadır [26].

Sonuç olarak, toplulaştırılmış modeller geniş bir perspektif ve hesaplama verimliliği sağlarken, ayrık modeller bireysel davranışlar hakkında ayrıntılı içgörüler sunar. Bu modeller arasındaki seçim, ulaşım planlaması görevlerinin gereksinimlerine detay ihtiyacı ile hesaplama verimliliği arasındaki dengeye bağlıdır. Her iki yaklaşımın entegrasyonu, ulaşım modellerinin sağlamlığını ve uygulanabilirliğini artırabilir.

4 Adımlı Modeller (Geleneksel Yolculuk Tabanlı Modeller): Geleneksel veya klasik diyebileceğimiz model 1960'lı yıllarda ortaya çıkmış olup bir diğer adı dört aşamalı talep tahmin modelidir. Bu model özünde yolculuk tabanlı olup farklı ulaşım modları ile yapılan yolculuk sayılarını, yolculuk sayılarının hangi bölgeler arasında hangi yollar ile gerçekleştiğini tahmin etmeye yaramaktadır. Model kapsamında üretildiği varsayılan ilk bileşen bölgeler tarafından üretilen ve çekilen yolculuk miktarlarıdır. İkinci bileşen olarak üretilen yolculukların dağıldığı bölgeler bulunmaktadır. Üçüncü bileşen olarak otomobil,

otobüs, raylı sistem gibi modlar başta olmak üzere türel ayırım hesaplanmaktadır. Son bileşen olarak hesaplar kurulan bir trafik kompozisyonu olarak atanmaktadır. Bu sayede hangi yolların kullanılacağı hangi yollarda trafik ve sıklık oluşacağı anlaşılabilmektedir. Geleneksel modelde sosyo – ekonomik bilgileri içeren hanehalkı anketleri en önemli veri kaynaklarından birisidir. Bunun yanı sıra modelin sonuçlarının doğru olması için ulaşım ağının iyi yansıtılmış olması gerekmektedir [27].

Bu modeller, ağırlıklı olarak yolculuklara odaklanmış ve genellikle zirve saatlerindeki seyahat talebini tahmin etmek için kullanılmıştır. Ancak, bireylerin gün boyunca gerçekleştirdiği etkinliklerin sırasını dikkate alma konusunda sınırlı kalmışlardır. Oysa bu sıralama, seyahat davranışını kapsamlı bir şekilde anlamak için kritik bir unsurdur [28].

Dört aşamalı modelin çeşitli nedenlerden dolayı geliştirildiği görülmektedir. Bu geliştirme nedenlerinden en temel olanlarından bir tanesi dört aşamalı talep tahmin modelinin kendisinden gelen sınırlandırıcı yapısından kaynaklanmaktadır. Yapılan araştırmalar dört aşamalı modellerin iki bölge arası yolculukları toplu yapıda değerlendirmesini ve davranışsal değişkenleri açıklamada tutarsızlık, uyumsuzluk sergilemesini olumsuz değerlendirmektedir. Bunun haricinde modelin basamakları arasında bir bağımsızlık bulunması hareketlilik fiyatlandırması gibi birtakım politikaları da değerlendirmede yetersiz kalmaktadır. Dört aşamalı modelin 1990'lı yıllarda bu eksikliklerini giderecek şekilde aktivite tabanlı modelleme kavramının geliştirildiği görülmektedir. Söz konusu modelleme tekniği yolcuların katıldığı aktivite gerekliliğinden türetilerek her bir birey için aktivite programı, zaman – mekan koordinasyonu, kaynak kısıtı yorumu getirmektedir. Bu yorumla birlikte model yolculuk için mekânsal ve zamansal ayırık bir tanım üretse de bu yorumu model kapsamında üretilen toplu başlangıç ve bitiş matrisleri arasında açıklamaktadır. Klasik model anlayışından farklı olarak aktivite tabanlı modelleme de sentetik nüfus adı verilen bir girdi daha kullanılmaktadır. Sentetik nüfus ulaşım talep modelinde sosyo – demografik yapıyı temsil etmekte her bir sentetik nüfus elemanının tamamen tanımlı günlük aktivitelere hitap eden bir planı bulunmaktadır [29].

Aktivite Tabanlı Modeller: Aktivite tabanlı modeller, yolculuk tabanlı modellerin sınırlılıklarına bir yanıt olarak geliştirilmiştir. Bu modeller, seyahat talebini bireylerin farklı zamanlarda ve farklı yerlerde gerçekleştirdiği etkinliklerin bir sonucu olarak ele alır. Böylece, günlük etkinliklerin tüm sırasını ve bunlarla ilişkili seyahatleri modelleyerek seyahat davranışını daha gerçekçi bir şekilde temsil etmeye olanak tanır [30].

Büyük Veri ile Entegrasyon: Büyük verinin ortaya çıkışı, aktivite tabanlı modellerin (ABM'ler) yeteneklerini önemli ölçüde artırmıştır. Örneğin, Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) ağları ve mobil telefon sinyal verilerini kullanan modeller, etkinlik tahminlerinin doğruluğunu ve istikrarını iyileştirmek için geliştirilmiştir [31]. Bu modeller, etkinlikleri daha etkili bir şekilde tahmin edebilmekte ve Bayesian Ağları ile Karar Ağaçları gibi geleneksel modellere kıyasla daha iyi performans göstermektedir. ABM'ler, kentsel ulaşım sistemlerini daha iyi simüle edebilmek için çok modlu ulaşım atama modelleriyle entegre edilmiştir. Bu entegrasyon, farklı ulaşım modları arasındaki etkileşimleri ve kalabalıklık ve tıkanıklık gibi faktörleri göz önünde bulundurur. Örneğin, modelin Katar

ve Roma'daki, bu entegrasyonun pratikte nasıl işlediğini ve şehir içi ulaşım sistemlerinin daha gerçekçi simülasyonlarını nasıl sağladığını açıklamaktadır [32].

Kalibrasyon ve Doğrulama: ABM'lerin karmaşıklığı, gelişmiş kalibrasyon teknikleri gerektirmektedir. Davranışsal parametrelerin otomatik kalibrasyonu için Bayesyen Optimizasyon yöntemi önerilmiş olup, bu yaklaşım modellerdeki yüksek boyutluluk sorununa çözüm sunmaktadır [33]. Ayrıca, tarihsel gerçek dünya verilerini kullanarak ABM'lerin güvenilirliğini ve doğruluğunu sağlamak amacıyla VALFRAM gibi doğrulama çerçeveleri geliştirilmiştir [34].

Çok Modlu ve Etmen Tabanlı Entegrasyon: ABM'ler, farklı ulaşım modları arasındaki etkileşimi ve buna bağlı oluşan seyahat talebini daha iyi simüle edebilmek için çok modlu ulaşım modelleri ile entegre edilmiştir. Bu entegrasyon, çeşitli ulaşım modlarının bir arada bulunduğu ve etkileşim içinde olduğu kentsel alanlar için kritik öneme sahiptir [28]. Ayrıca, bireysel etmenlerin davranışlarını simüle eden etmen tabanlı modeller, ABM'lerle birleştirilerek simülasyonların gerçekçiliği artırılmaktadır [35].

Veri Odaklı Yaklaşımlar: Hareketlilikle ilgili verilerin artan erişilebilirliği, geleneksel uzman tasarımı bileşenlerin yerine makine öğrenimi modellerini kullanan veri odaklı etkinlik planlayıcılarının geliştirilmesini sağlamıştır. Bu değişim, ABM'lerin mimarisini basitleştirerek uygulamaya alınmasını ve bakımını daha kolay hale getirmektedir [30].

Yolculuk tabanlı modellerden aktivite tabanlı modellere geçiş, ulaşım planlamasında önemli bir ilerlemeyi temsil etmekte ve seyahat davranışının daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasına olanak tanımaktadır. Büyük veri entegrasyonu, gelişmiş kalibrasyon teknikleri ve çok modlu ulaşım sistemlerinin dikkate alınması, aktivite tabanlı modellerin yeteneklerini daha da geliştirmiş ve modern ulaşım planlaması ile politika oluşturma süreçlerinde vazgeçilmez araçlar haline getirmiştir. Bu modeller, yalnızca seyahat talebi tahminlerinin doğruluğunu artırmakla kalmaz, aynı zamanda kentsel ortamlardaki etkinlikler ve seyahatler arasındaki karmaşık etkileşimlere dair değerli içgörüler sunar.

Ajan (etmen) tabanlı modeller (ABM'ler); Aktivite tabanlı yaklaşımı ulaşım modelinin gelişimini ajan tabanlı ulaşım modelleri takip etmektedir. Ajan tabanlı ulaşım modeli aslında aktivite tabanlı ulaşım modelinden çok farklı değildir. Stratejik ulaşım planlamaları için kullanılan bu teknik, aktivite tabanlı modellemenin yolculuk talebinden türetilerek dinamik zamanlı mikro düzeydeki modeller için kullanılmaktadır. Her bir ajanın ulaşım sisteminin yapısından kaynaklı olarak ortaya çıkan bireysel kısıtlanmasına dayalı yolculuk talebi değerlendirilmektedir [36]. Ajan (etmen) tabanlı modeller, bir ulaşım ağı içindeki yolcular veya araçlar gibi bireysel etmenlerin karmaşık etkileşimlerini simüle etmek için güçlü araçlardır. Bu modeller, ulaşım sistemlerinin dinamik doğasını ve etmenlerin bireysel karar alma süreçlerini yakalamada özellikle faydalıdır. Örneğin, ABM'ler, bireysel seyahat davranışlarını ve ağ içindeki etkileşimleri simüle ederek toplu taşıma kullanımını tahmin etmek için uygulanmış ve sürdürülebilir ulaşım planlamasını yönlendirebilecek politika duyarlı bir tahmin aracı olarak kullanılmıştır [37]. Ayrıca, ABM'ler, otonom araç sistemlerini tasarlamak ve değerlendirmek için de kullanılmaktadır. Bu modeller, çeşitli hareketlilik odaklı davranışsal modelleri entegre ederek, otonom araçların seyahat davranışları üzerindeki etkilerini simüle etmeye olanak tanımaktadır [38]. Melbourne Belediyesi için kullanılmış olan ATOM modeli, etmen

tabanlı ve etkinlik tabanlı yaklaşımları birleştirerek çok modlu ulaşım sistemlerini simüle etmiştir [35]. Bu model, yürüyüş ve bisiklet gibi aktif ulaşım modlarını da içerecek şekilde tasarlanmıştır. AToM modeli, kentsel ulaşım dinamiklerini daha kapsamlı bir şekilde anlamak ve bu sistemlerin çeşitli etmenler arasındaki etkileşimleri analiz etmek için etkili bir araç olarak kabul edilmektedir. Bu tür bir modelleme, özellikle aktif ulaşım modlarının teşvik edilmesi ve entegre edilmesi açısından sürdürülebilir ulaşım çözümleri geliştirmeye yardımcı olabilir.

Mikroskobik Modeller: Mikroskobik modeller, ulaşım sistemindeki bireysel unsurların—örneğin araçlar veya yayalar—ve bunların etkileşimlerinin ayrıntılı simülasyonuna odaklanır. Bu modeller, trafik akışının ve yaya hareketlerinin ince ayrıntılarını anlamak için kritik öneme sahiptir. Örneğin, CityFlow modeli, yaya akışını mikroskobik düzeyde simüle ederek yaya trafiği sorunlarını analiz etmeye ve verimli yaya sistemleri tasarlamaya olanak tanımaktadır. Benzer şekilde, mikroskobik arazi kullanım modellerinin etmen tabanlı ulaşım simülasyonlarıyla entegrasyonu, bireysel seyahat taleplerinin ve kısıtlarının gerçekçi bir şekilde temsil edilmesini sağlamaktadır. Bu sayede, farklı ulaşım ve arazi kullanım politikalarının simülasyonu mümkün hale gelmektedir [39]. Örnek olarak RAMBLAS modeli, günlük etkinlik desenlerini ve trafik akışlarını tahmin etmek için mikrosimülasyon kullanmaktadır. Bu model, Eindhoven bölgesinde yapılan uygulamalarla gösterilmiştir. RAMBLAS, bireylerin günlük aktivitelerini ve ulaşım tercihlerini simüle ederek, trafik yoğunluğunu ve seyahat desenlerini daha doğru bir şekilde öngörmeyi sağlar [40].

Ajan tabanlı ve mikroskobik modeller, ulaşım planlamasında bireysel davranışlar ve ulaşım sistemi içindeki etkileşimler hakkında ayrıntılı içgörüler sunarak önemli avantajlar sağlar. Bu modeller, otonom araçların tanıtılması veya yeni ulaşım politikalarının uygulanması gibi karmaşık senaryoların simülasyonuna olanak tanır ve sürdürülebilir ve verimli ulaşım sistemlerinin geliştirilmesini destekler. Hesaplama gücünün artmaya devam etmesiyle birlikte, bu modellerin uygulanmasının genişlemesi ve ulaşım ağlarının daha hassas ve kapsamlı analizlerini sunması beklenmektedir.

Modellerin gelişiminde görüldüğü üzere modellerin birbirinden farklılığını sağlayan ve daha iyi bir model olması için gerçeği yakınsamasında geliştirilmesine odaklanılan asıl husus sosyo – ekonomik etkilerin sebep olduğu yolculuk desenlerinin daha detaylı şekilde modele işlenmeye çalışılmasıdır. Bu husus modellerle ilgili olumlu bir adım olsa da modellerde bireylerin ulaşım konusunda tutumlarının yeterince iyi temsil edilmediği anlaşılmaktadır. Kişi, yolcu olarak sosyo – ekonomik durumuna göre, yol altyapısı olarak ulaşım ağının sistem özelliklerine göre taşıt olarak ise tercih edeceği taşıt alternatifinin sağladığı faydaya göre ulaşım ağında pozisyon almaktadır. Örneğin günlük ev – iş yolculuğu yapan bir kişinin taşıtın hareketi esnasında internete ihtiyaç duyması sebebiyle bir anda metro yolculuğu yerine otobüs tercih etmesi, sıcaklardan dolayı sürekli otobüs tercih eden bir kişinin klima konforundan dolayı metroyu tercih etmesi modellerde sayısal olarak ifade edilen ve etki eden faktörler bazında yeterince göz önünde değildir. Faktörlerin yolculuk davranışı, ulaşım tutumu gibi konularda birçok etkisi olduğu yapılan çalışmalarda sıkça vurgulanmaktadır. Yapılan çalışmalarda ön plana çıkan faktörler tablo 2’de olduğu gibidir [41]. Tablo 2 incelendiğinde fiziksel sağlık, güvenlik algısı, yol morfolojisi, hava durumu gibi unsurların klasik anlamda maliyet, zaman gibi faktörlerinden farklı olarak vurgulanması dikkat çekmektedir. Türler arasında sadece süre,

maliyet, mesafe açısından parametreler noktasında verilen faydalar bazında değerlendirmeler gerçekleştirilmektedir. Modeller günümüzde teknoloji, iklim değişikliği ve tabloda yer alan diğer parametreler kapsamında kişilerin ulaşım alışkanlıklarına etkileyebilecek unsurları da fayda fonksiyonları kapsamına almalıdır. Faydalar, türel ayırım aşamasında fonksiyonlara alınarak modelin gerçeği temsil ettirme durumu optimize edilebilir.

Tablo 2. Türel ayırım ve ulaşım tutumu belirleyen faktörler [41]

Seviye 1	Seviye 2	Faktörler
Demografi	Temel Demografi	Mültecilik Durumu
		Sosyo – Ekonomik Durum
		Eğitim
		İstihdam
		Fiziksel Sağlık
		Ebeveyn Durumu
		Hanehalkı Durumu
Yolculuk İlişkili	Davranış ve Tutumlar	Araba Bisiklet Kullanımı
		Araba Bisiklet Algısı
		Toplu Taşıma Tutumu
		Sosyal Etkiler
		Zamanın Değeri/Enerji
		Genel Tutum
		Güvenlik Algısı
Ulaşım	Ulaşım	Yolculuk Detayları
		Ulaşım Periyodu
		Hedef İlişkisi
		Otopark
		Araç Maliyeti
		Araç Karakteristiği
	Toplu Taşıma Karakteristiği	Toplu Taşıma İçin Alternatifler
		Toplu Taşıma Kalitesi
		Toplu Taşıma Erişimi
		Toplu Taşıma Ücreti
		Toplu Taşıma İstasyonları
		Toplu Taşıma Karakteristikleri
Çevre	Temel Çevre Karakteristiği	Temel Çevre Karakteristiği
		Çevre Büyüklüğü
		Alan Büyüklüğü
	Trafik Sıkışıklığı	Trafik Sıkışıklığı
	Yol	Yol Morfolojisi
	Sosyal Yapı	İstihdam Durumu
		Hükümet Yasaları
		Okul Çevresi
	Hava Durumu	Hava Durumu

Geleneksel Ulaşım Modellemesi ve Türel Ayrım: Talep tahmini için klasik model talebi yaratan yolculukların toplamını, dağılımını, yolculuklar yapılırken tercih edilen ulaşım modunu ve son olarakta yolculukların ağ içinde izlediği yolları ortaya çıkarmaktadır. Söz konusu yöntemin ifade edilen dört aşaması da birbirinden farklı veri kompozisyonlarına ihtiyaç duyduğundan bütün bu sürecin baştan sona kontrol altında tutularak matematiksel sentezinin sağlanması oldukça karmaşık bir iştir. Her aşama birbirinden farklı nitelik ve nicelikteki büyük veri havuzlarına ihtiyaç duymaktadır. Günümüzde klasik modelin bahsedilen açılardan oluşturduğu zorluk yeni modellerin bu zorlukları kolaylaştırmasına yönelik geliştiği ifade edilebilir. Her ne kadar klasik modelin zorlukları olsa da özellikle Türkiye’de yapılan birçok çalışmada yaygın olarak kullandığı görülmektedir [42].

Klasik ulaşım modelinin birinci aşaması olan yolculuk üretim – çekim hesaplanmasında trafik açısından homojen birimlere ayrılmış olan bölgelerde kişilerin sosyo – ekonomik yapısını oluşturan etmenler ile yolculuk talep miktarları arasındaki ilişki matematiksel bir formül ile ifade edilmektedir. Bahsi geçen formülde yolculuk belirli bir zaman dilimini kapsayacak yolculuk sayısını yansıtmaktadır. Bu aşamada bölge farketmeksizin her bir bölgeden çıkan ve her bir bölgeye gelen toplam mevcut yolculuk tespit edilmektedir. Yolculukla ilgili değerleri hesaplamayı sağlayan sosyo – ekonomik parametrelerin projeksiyonu ile plan hedef yılı için gelecekteki yolculuk değerleri hesaplanmaktadır. Bu hesabın yapılmasında kullanılan en yaygın tekniklerden birisi çoklu lineer regresyon modelidir. Bu model ile yapılan hesaplamalardan sonra yolculukların çıktığı her bölgeden dağıldığı her bir bölgeyi tespit eden yolculuk dağıtım aşamasına geçilmektedir. Yolculuk dağıtımında üretilen yolculuklar ile çekilen yolculuklar arasında bir örüntü tespiti yapılmaktadır. Yolculukların dağıldığı bölgeler sahip olduğu ulaşım altyapısı, sosyo – ekonomik altyapı ve arazi kullanım deseni açısından farklı olduğundan bölgelere dağılan yolculukların oranında farklılık bulunmaktadır. Söz konusu bu farklılık yolculuk dağıtım aşamasında bir matematiksel ifadeye dönüştürülmekte ve dağılım oranları tahmin edilmektedir [43]. Bir dağıtım modeli mevcut bilgilerden referans alarak bir önceki aşamada oluşan matrisin her bir elemanına dair yolculuk sayısını tahmin etmeye çalışır. Dağıtım modeli bu noktada bir önceki aşamada tespit edilen yolculuk matrisini değerlendirdiği teknik ile büyütür her bir elemana dağıtım yapmaktadır. Söz konusu büyütme işleminden sonra gelecek yıla dair bölgeler arası nihai matris elde edilmektedir [44]. Yolculukların dağılımı elde edildikten sonra sıradaki aşama bu yolculukların hangi modlar ile gerçekleştirildiğinin tespitinin modellemesi olan türel ayrım aşamasıdır.

Türel ayrım aşaması diğer aşamalardan farklı olarak doğrudan yolcuların tutumlarına ilişkin bir yorum içermektedir. Karar verme problemi çözen tek aşama olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yüzden bu aşama için kullanılacak faktörlerin her biri deneysel olarak ayrı bir çalışma konusu olabilir. Yolcu, yolculuk, ulaşım modu ve kısmen zon karakteristikleri bu aşamanın başlıca bileşenlerini oluşturmaktadır. Bu aşamanın özünde aslında yolculuk yapacak kişinin bir modu diğerine tercih etmesinin olasılıksal hesabı üzerinde durulmaktadır. Çalışmalarda bu olasılık için lojit yaklaşımların ağırlıklı olarak kullanıldığını bilmekteyiz. Türel aşama için göz önünde bulundurulacak parametrelere ilişkin söz konusu eğrileri oluşturan matematiksel ifadelerin oluşturulması ile bu aşama tamamlanmaktadır [45]. Modelin türel aşamayı ifade eden matematiksel formülünde formüle konu olan fayda özelliğinden yararlanılarak bir modu seçme olasılığı hesaplanmaktadır. Bu aşamada tespit edilen türler son aşamada ulaşım ağına atanmaktadır. Modelin atama aşamasında yolculukların ulaşım ağına hangi yolu

izleyeceği hesaplanmaktadır. Elde edilen trafiğin ulaşım ağına atanması ile modelde ifade edilen ulaşım ağını oluşturan yol elemanlarının hacim – kapasite ilişkileri elde edilmektedir. Atama aşamasında yolculuğun yapılacağı yolun özellikleri etkili olmaktadır. En kısa mesafenin tercih edilmesi, en az zamanda yolculuğun tamamlanmasını sağlayacak güzergah, en az maliyetle yolculuğun tamamlanması durumları trafik ataması için referans noktalar olarak değerlendirilmektedir. Atama yaklaşımlarının özünde hacim – kapasite ilişkisinin ulaşım ağını sınırlandırıcı etkisi yatmaktadır [46].

Atama aşamasının tamamlanması ile dört aşamalı talep tahmin modeli tamamlanmaktadır. Yapılan işlemlerin yani modelin doğruluğunu test edebilmek için elde edilen sonuçlar çeşitli saha araştırmalarının sonucuyla karşılaştırılmaktadır. Çünkü modelin gerçekteki durumu mümkün olan en iyi şekilde yansıtması gerekmektedir. Elde edilen bulgular ve saha araştırması sonuçları karşılaştırılarak modelin düzeltilmesi işine kalibrasyon denilmektedir [47]. Kalibrasyonun tamamlanması ile model kullanıma hazır hale gelmektedir. Klasik dört aşamalı ulaşım modelinin bölümün başında ifade edildiği şekilde karmaşık bir yapısının olması durumu onun dezavantajlı yönünü oluşturmaktadır. Örneğin yolculuk üretim çekim aşamasında bir bölgede farklı tutumlara sahip olan alt grupların birbirine göre olan farklı özellikleri tam olarak ifade edilememektedir. Yolculuk dağıtım aşamasında dağıtım modelini oluşturan parametrelerin aynı kalacağı durumu modelin gerçeği temsiline belirli bir sınırlandırma getirmektedir. Türel dağılımda ise yolcu, yolculuk, ulaşım altyapısı özellikleri aynı payda içinde çözümlenemediğinden bir problem oluşmaktadır. Sayısal karşılığı olmayan ve yolculuk dağılımında etkisi olan türel ayırım parametreleri modelde ifade edilememektedir [48].

Başta ulaşım planlama olmak üzere klasik olarak ifade edilen ulaşım talep tahmin modelinde yaşanan zorluklardan dolayı ulaşım planlama ve arazi kullanımı kurgusunu odak edinen çalışmalarda zorlukların yaşandığı noktalara odaklanarak modellerin tarihi süreç içinde geliştirildiği gerçek durumu daha iyi yansıtacağı versiyonlara evrildiği görülmektedir.

Modern Ulaşım Modelleme Yaklaşımları ve Türel Ayırım: Ulaşım talep tahmin modeli ağırlıkla hesaplama karmaşıklığının yaşandığı bir işlem süreci olarak görülmektedir. Söz konusu işlem sürecinin karmaşık yapıya sahip olması modelin gerçeği yansıtma durumuna negatif etki etmektedir. Günümüzde teknolojik imkanların yaygınlık kazanması ile birlikte ulaşım planlama hususunda yeni veri biçimlerinin varlığından bahsedilebilir. Bu veriler mikro düzeyde insanların hareketliliği ve hareketliliğin nitelik ve niceliğine dayalı değerlendirmeler yapmayı sağlayabilmektedir. Özellikle bu veriler aracılığıyla incelenerek değerlendirilen ilk husus belirli bir zonda toplu olarak değerlendirilmesi yapılan nüfusun aslında birbirinden gün içinde farklı seçimler yaptığı ve bu seçim tutumlarının etkilerinin küme yapısı içinde tam ifade edilememiş olmasıdır. Dolayısıyla uygulayıcılar mevcut model yaklaşımlarında davranış hususunun tam anlamıyla modelde temsil edilemediğini tespit etmiş ve modelin politika test etmek için yeterli olmadığını anlamışlardır. İlerleyen zamanlarda toplu modelin yerini alan ayırık model tabanlı ulaşım modelleme çalışmalarında bireyin, hanehalklarının tercih tutumlarına odaklandığı görülmektedir. Bu modelde de hala insanların neden yolculuk yaptığı açıklanamamakla birlikte yolculukların katılan aktivitelerden türetildiği yorumu

getirilmektedir ki bu bugün ulaşım planlamanın geçirdiği modern evrimlerden birisi olarak aktivite tabanlı ulaşım planlaması adını almaktadır [49].

Aktivite tabanlı modelleme hareketlilik ve eylem unsurlarının odakta olduğu bir ulaşım planlama yaklaşımı olup bu planlama yaklaşımında bireylerin katılım sağladığı faaliyetler en önemli veri kaynağıdır. Klasik olarak yine bireyin sahip olduğu uzun vadeli eğilimler anlaşılma çalışılırken yenilik olarak günlük tercihler modelde yansıtılmaya çalışılmaktadır. Klasik modelden farklı olarak aktivite tabanlı modellemede günlük ev – iş yolculuğunun tespitinin haricinde işe gidip gelirken yaşanan karar süreci irdelenmektedir [50]. Klasik ulaşım modellemesinden aktivite tabanlı ulaşım modeline geçilen süreçte dört aşamalı talep tahmin modelinin aktivite tabanlı modelde uygulandığı farklı olarak ise tur bazlı davranışsal etkileşimlerin modelde girdi olarak kullanıldığı görülmektedir. Gün – desen yaklaşımı olarak ifade edilen aktivite tabanlı ulaşım turlar boyunca yaşanan etkileşimler elde edilmektedir. Bu durum modele biraz daha karmaşıklık getirmektedir. Genel olarak modelde günlük aktivite deseni yolculuk tur sayısı ve amacı ile yolculuklarda durulan yerler bileşenleri ile ortaya konulmakta, turlara ait ana güzergâh, mod ve zamanlamalar hesaplanmakta, her bir tura ait yolculuk parçalarının mod bölümlenmesi ve zamanlaması sistematik yapısı bulunmaktadır [51]. Aktivite bazlı modelin genel yapısı bu şekilde ifade edilmekle birlikte dört aşamalı modelde olduğu gibi standart bir model yaklaşımı bulunmamaktadır. Ancak, aktivite konusunda yaklaşımlar iki ana kümede incelenebilir. Birinci küme faydacılığa dayalı ekonometrik yaklaşım, ikinci küme ise hibrit yaklaşım şeklindedir. Ekonometrik yaklaşım temelini klasik modellemeden alıp birbiriyle ilişkili olan kararları ekonometrik bir formül ile açıklamaya çalışmakta bu konuda insanların karar mekanizmalarının açıklanmasında kullanılan lojit fonksiyon teorilerinden yararlanmaktadır. Hibrit yaklaşımlarda ise modelde etkili olan ana karar kümelerini tespit etmeye çalışmaktadır [52]. Modelde toplanan veriler ve tespit edilen tutumlar ışığında modele söz konusu veri ve tutuma sahip sentetik nüfus adı altında girdi sağlanmaktadır. İlk aşamada uzun vadeli tekrar sayısı her günü kapsayan tercihler ikinci aşamada ise üretilen sentetik nüfus göz önünde bulundurularak tutumlara yönelik seçim modeli üretilmektedir. Bu şekilde yapılan hesaplar klasik modelde olduğu ağı atarak sonuç elde edilmektedir. Aktivite tabanlı ulaşım modeli konusundaki genel yapıda, klasik modellemede olduğu gibi modelin istatistiksel yönünü etkileyecek hususlara açık olması şeklindedir. Hanehalkının ulaşım konusunda tutumunu anlamak için modelde çözümlenmesi için modele entegre edilmesi gereken her parametre modeli daha karmaşık hale getirmektedir. Modern yaklaşımlarda odaklanılan ana husus modelin gerçeği temsil etme gücünü arttırmak olduğundan temsil gücünü artırma olasılığını sağlayan unsurların aktivite tabanlı modelden farklı olarak bir model yapısında değerlendirildiği başka model yorumları da bulunmaktadır. Bu model yorumlarından birisi ajan (temsil) tabanlı modeller şeklindedir. Ajan tabanlı modeller özünde ulaşım talebini aktivite tabanlı modellerde olduğu gibi üretmektedir. Ancak üretilen talep mikro ve zaman-dinamik trafik benzetim çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu modelde sınırlılıklar ajanın, temsilcinin çalışılan sistem içindeki sınırlandırıcıları, ulaşım ağı ve ağ özellikleri şeklindedir. 1990'lı yılların ortasında başlayan ajan tabanlı model konusunda yapılan çalışmalar toplu ulaşım atama metodlarının yerini almaya çalışmakta günümüzde ise tür seçimi, zaman ve varış noktası gibi süreçler ajan tabanlı modelin içinde yer almaktadır. Modelin en önemli yönü olarak davranışsal tutarlık konusunda zaman ve ücret konusunu talep ile iyi analiz etmeye imkân verdiği ifade edilmektedir. Bu modelde her ajan için günlük aktivite planı mümkün

olabilen en iyi detayda yer bilgisi de olacak şekilde atanmaktadır. Yapılan atamada yolculuklara ait başlangıç bitiş iki aktivite arasını bağlayan yolculuklar, yolculukları yapmayı sağlayan ulaşım türleri ve güzergahlar modele işlenmektedir [27].

Ajan tabanlı modeller sadece hareketin dinamik yapısını açıklamakla kalmaz ayrıca ajanın yani temsilcinin kendi kendine aldığı karar mekanizma yapısını da anlamaya yarar. Bundan dolayı bu modelde ajanın gerçek hayatta olduğu gibi karşı karşıya kaldığı durumlar bazında izlediği karar zinciri, zincirin ortaya çıkardığı davranış formları ve etkileşimler ele alınmaktadır. Ajan tabanlı model dört aşamadan oluşmaktadır. Ön analiz aşaması bunlardan birincisidir. Bu aşamada amaçlar, ölçekler tanımlanmaktadır. Daha sonra ajanların tanımının yapıldığı ikinci aşama gelmektedir. Bu aşamada ajan tipleri ve karakteristikler oluşturulmaktadır. Bu aşamayı kural modellemesi aşaması izlemektedir. Kural modellemesi aşamasında davranış tipleri ve etkileşimler belirtilmektedir. Son aşama model ayarlama aşamasıdır. Bu aşamada doğrulama, kalibrasyon ve geçerlilik sağlanmaktadır [36].

Türel Ayrım Aşamalı Özel Metotlar: Türel ayrım aşaması insanların tercihine yönelik çıkarım yapmayı sağlamakta, çıkarım konusunda etkili olan motivasyonları, motivasyonların etki düzeylerini tespit etmeyi sağlamaktadır. Her ne kadar gelenekselden yeniliğe ulaşım modellemesinde model gerçeği en iyi şekilde temsil ettirecek şekilde geliştirilmeye çalışılsa da model yaklaşımlarında gerçeğe yakınlaştırılma konusunun sosyo – ekonomik değişkenler bazında yolculuk talebinin sayısal olarak ifade edildiği aşamalarda geliştiği görülmektedir.

Dört aşamalı talep tahmin modelini kullanarak Dhaka kentindeki ulaşımı ele alan bir çalışmada, ulaşım türü dağılımı tipik türel ayrım aşaması kullanılarak tespit edilmektedir. Mekanlar arasında yolculuk üretiminde etkili olan ve daha sonraki zamanlar için de projeksiyonu yapılabilen nüfus, gelir, istihdam gibi parametreler kullanılarak, regresyon ile mekanların yolculuk üretim ve çekim değerleri hesaplanmaktadır. Bu değerler, mekanlar arasında yolculukların başlangıç ve bitişini ifade eden dağıtım tablolarına dönüştürülmektedir. Yolculuk dağıtım aşamasından sonra geleneksel ulaşım modelinin üçüncü aşaması olan türel ayrım anlatılmaktadır. Bu aşamada mevcut ulaşım türlerinin hangisinin kullanılacağına olasılığı hesaplanmaktadır. Bu olasılık hesabı, bireylerin kullandığı ulaşım türü üzerinden kendisine sağladığı fayda ve zararı ele alan bir yaklaşım ile gerçekleştirilmektedir. Tipik türel ayrım aşamasında logit model kullanılmakta olup bu model, alternatifler arası avantaj ve dezavantaj karşılaştırmasını anlamaya yaramaktadır [61]. Türel ayrım için kullanılan lojit model fonksiyonu analistin gözlemlediği deterministik kısım ve analistin gözlemleyemediği rastgele kısmın toplamından oluşan fayda fonksiyonundan meydana gelir [62]. Modelin eleştirisi olarak, aynı faydalara sahip otobüs ve raylı sistemin dezavantaj değerlerinin aynı olacağı, teknolojik çekicilik farklarını dikkate alan faktörlerin denklemlere yansımayaacağı belirtilmektedir. Gerçek davranışı anlama için tür yanlılığı faktörüne ihtiyaç duyulmasının belirtilmesi de yine bu durumun bir diğer sonucudur. Bir çalışmada araba, otobüs ve çekçek türlerinden oluşan bir kümede fayda fonksiyonun elde edilmesinden sonra incelenen türün fonksiyon sonucunun tüm türlerin toplam fonksiyon sonucuna bölünmesi ile türün tercih edilme olasılığını hesaplanmaktadır. Bu türden fazla elemana sahip bir kümede olasılık hesaplamak için belirtilen şekildeki işlemi yapmaya yarayan, ikili seçim modelinin genelleştirilmiş hali olan multinominal lojit model kullanılmaktadır.

[63]. Bu noktada türel ayrımı bulmayı hedefleyen modelde, maliyet, süre vb. fayda ve dezavantajlar kullanılarak, logit model ile türün tercih etme olasılığı tespit edilmektedir. Çalışmada maliyet, zaman ve erişim açısından sırayla otobüs, çekçek, araba en yararlı tür olarak tespit edilmiş doğal olarak bölgeler arası olasılıklarda da en fazla tercih edilme olasılığı otobüs türünde hesaplanmıştır. Tipik türel ayrım yaklaşımı konusunda hem bu çalışmada ve diğer çalışmalarda da vurgulandığı gibi sadece lojit model bazı dezavantaj ve fayda faktörlerinde sınırlı açıklama yapabilmektedir [61]. Özetle, klasik türel ayrım yaklaşımı alternatif modlar arası farkları yansıtamamakta, kalitatif özellikleri göz ardı etmekte, yanlılık faktörüne ihtiyaç duymakta ve karmaşık insan tercihlerini aktarmada zayıf kalmaktadır. Diğer yandan gerçeği yansıtabilen bir model için modern zamanlardaki problemlerin etkisiyle oluşmuş türel seçime etki eden unsurların da açıklanması gerekmektedir. Bunun için literatürden klasik türel ayrım modeli dışında modern zamanların problemlerini de ele alarak yaklaşım gösterebilen bazı örnekler ve örneklerden mevcut türel ayrım aşaması için çıkarılan önemli sonuçlar izleyen kısımda yer almaktadır.

Yapılan bir çalışmada geliştirilen türel ayrım modelinde kullanılan GPS izleri, hava ve kirlilik koşulları, yapısal çevrenin mekânsal verisinin modelin türel ayrım aşaması açısından doğruluğunu arttırmada etkili olduğu belirtilmektedir. Çalışma temel anket verilerine kıyasla bu verilerin kullanıldığı durumlarda doğruluk düzeyinin %18,2 arttığını belirtmektedir. Ulaşım dışında hava, kirlilik, yapı ve doğal çevre verilerinden zaman serisi verisi olarak yararlanan çalışma bu verileri, geliştirdiği makine öğrenmesine entegre etmektedir. Makine öğrenmesi metodunda multinominal logit modele kıyasla modelin %27 oranında doğruluğunu arttırdığı belirtilmektedir. Bu çalışmadan hareketle mevcut türel ayrım aşaması açısından hava, kirlilik, yapı ve doğal çevre verilerinin alternatif fayda faktörü olarak olarak modellerde kullanılabileceği, yine multinominal logit model yerine makine öğrenmesinin alternatif bir yöntem olarak ele alınabileceği görülebilmektedir [64].

Bir başka çalışmada ise hava sıcaklığının 25 dereceden fazla olduğu zamanlarda yürümenin türel ayırmadaki payının %27 arttığı belirtilmekte, bisikletin %21 azaldığı açıklanmaktadır. Bu çalışmada multinominal logit model yerine probit model de kullanılarak bir türel ayrım analizi yapılmaktadır. Çalışma benzer metodolojiyi kullanan çalışmaların literatürünü incelerken, sıcaklık, yağış, rüzgar, kar, sis, zaman, mevsim, nemlilik gibi unsurların türel ayrıma etkisinin incelendiğini belirtmektedir. Metodolojik olarak çalışmada hava durumu veritabanı, GPS ve ulaşım veritabanı istatistiksel analizler ile bir araya getirilerek modele girdi olarak kullanılmaktadır. Çalışmadan türel ayrıma etki ettiği incelenmiş unsurların modelin hata terimini azaltmak üzere faydalanılabileceği anlaşılmaktadır. Nitekim sıcaklık, rüzgar, hava kalitesi gibi değişkenler çalışmada girdi olarak kullanılarak hesaplamalar yapılmış modellerin yüksek düzeyde güvenilirliğe sahip olduğu açıklanmaktadır. Çalışmada hava kirliliğinin sağlıksız oranından tehlikeli oranına geçtiğinde otobüs ve otomobil kullanım oranının azaldığı, sıcaklık artınca yürüyüşün artıp otobüs tercihinin azaldığı vurgulanmaktadır. Bu çalışmadan türel ayrım için yine sıcaklık, yağış, rüzgar, kar, sis, zaman, mevsim, nemlilik konularının bir faktör olabileceği ve probit modelin alternatif olabileceği görülmektedir [65].

Farklı olarak ise bir başka çalışmada sıcaklık konusunun türel ayrıma etkisi daha güncel bir modelleme anlayışı olan aktivite tabanlı model üzerinden değerlendirilmektedir.

Çalışmada farklı hava koşullarının etkili olduğu türel ayrımlar senaryolaştırılmış olup senaryolar arası değişiklikler incelenmiştir. Hava koşullarının türel ayrıma olan etkisi dolaylı olarak nüfusun aktivitesini ifade eden aktivite tabanlı model aşamasında yer almaktadır. Bu çalışmadan türel ayırım ile ilgili yeni arayışların sadece klasik modelde değil hava durumuna göre değişen seyahat programlarının senaryo olarak değerlendirilmesi ile aktivite tabanlı modelde de yer alabileceği şeklindedir [66].

Modellerde türel ayırım için yol, yolcu, yolculuk özelliklerinin bir paydada sentezlendiği bir değerlendirme kullanılmadığı görülmektedir. Halbuki her üç özellikte yaşanacak olası değişimler kişinin ulaşım davranışlarını değiştirebilmektedir. Yapılan bazı araştırmalarda türel ayırım konusunda lojit yaklaşımdan daha farklı yaklaşımların yer aldığı görülmektedir. Bu durumda bu yöntemler incelenerek ulaşım modelini gerçeğe yaklaştırmayı sağlamaya katkı verecek şekilde uygun olması durumunda yeni ulaşım modeli geliştirmede bir yöntem önerisi olarak düşünülebilir.

Yapılan bir çalışmada ulaşım planlama için türel ayırım modunun karmaşık yapısındaki karar verme aşaması bulanık mantık metodu kullanılarak çözümlenmektedir. Çalışmada yol, yolcu, yolculuğun özelliklerine dair etmen saptamaları yapılmakta ve memnuniyet düzeyi üzerinden yapılan hesaplamalarda yürüme, bisiklet, otobüs, metro, taksi gibi türlerin ölçütler açısından ne kadar memnun eden, uygun olduğuna yönelik sayısal bir ifade belirtilmektedir. Bulanık mantığın memnuniyet değerlendirme modeli olarak ele alındığı bu çalışmada durağa olan mesafenin verdiği memnuniyet, zaman memnuniyeti, seyahat mesafesi memnuniyeti, yolculuk konforu memnuniyeti, ulaşım maliyeti memnuniyeti, yürüme mesafesi, sıcaklık gibi unsurlar için matris yapılandırmaları gerçekleştirilmekte sonuç olarak ise her sosyo – ekonomik sınıfa göre hangi türün daha uygun alternatif olduğu ve yolculuk için tercih edilebileceği tespit edilmektedir. Bu çalışma kapsamında öncelikle hassas bir türel ayırımın tespiti için mesafenin verdiği memnuniyet, zaman memnuniyeti, seyahat mesafesi memnuniyeti, yolculuk konforu memnuniyeti, ulaşım maliyeti memnuniyeti, yürüme mesafesi, sıcaklık gibi unsurların bir değişken olarak kullanılabileceği görülebilmektedir. Diğer yandan türel ayırım aşamasında fayda fonksiyonu için hem tür yanlılığı faktörü ihtiyacı hem de gözlemlenemeyen etkiler kapsamında bulanık mantık modeli sonucunda ortaya çıkan değerlerden modelde katsayı olarak yararlanılıp yararlanılamayacağı test edilebilir. Bulanık mantık modeli tipik türel ayırım modelinden farklı olarak kapsamlı şekilde klasik modelin ele almada sınırlı olduğu değişkenler açısından sonuç yansıtabildiğinden çalışmadaki şekliyle alternatif bir türel ayırım aracı olarak kullanılabilir Aynı zamanda bulanık mantık modeli yine kümelerden oluştuğundan imkanlar doğrultusunda tüm farklı özelliklere sahip bireyleri ulaşım türü kümelerinde gruplayarak detaylı ve birey odaklı sonuçlar elde edilebilir [53].

Bir başka çalışmada ulaşım modunun tespiti ve talep tahmin modelinin yapılabilmesi için çok farklı olarak jeostatistik bir model önerisi geliştirilmektedir. Özel taşıt ve diğer modlar arasında dağılımı bulmak için Kriging metodunu kullanan bu deneysel çalışmada özellikle indikatör kriging metodunun yüksek oranlarda tahmin yapabildiği ifade edilmektedir. Çalışmada tür seçiminin güçlü bir şekilde arazi kullanımı ile ilişkili olduğu vurgulanmaktadır. Çalışma alanında bulunanların sosyo – ekonomik özelliklerinden yararlanılarak bir kümelenme analizi yapılmakta daha sonra hanehalklarının coğrafi işaretlemelerinin tanımlandığı ifade edilmektedir. Bu aşamalardan sonra yol, yolcu,

yolculuğa ait özellikler bir algoritma çerçevesinde derlenerek olasılık haritaları tahmin edilmektedir. Karar ağacı modeli ile ulaşım türünün olasılıklarının bulunması kriging metodu ile veri olmayan noktalarda tahmin yapılması, mekânsal olarak türel ayırma tahmin yapılması bu çalışmanın türel ayırım açısından farklı yönleridir. Türel ayırımın sadece sayısal olarak hesaplanan bir değer olmaktan çok coğrafi ortamda da karşılığı olan bir unsur şeklinde belirtildiği bu çalışmada klasik türel ayırım için çok farklı bir yöntem önerisi yapılmaktadır. Çalışmada değerlendirilen metodun tahminlerde düşük hata oranı sağladığı belirtilmektedir [54]. Türel ayırım aşamasında direkt olasılık hesabının yapılması kapsamında bu metottan yararlanılıp yararlanılamayacağı test edilebilir.

Türel ayırım konusunda yol, yolcu, yolculuk konusunda farklı bir yaklaşım ise multinominal lojit ve faktör analizi kullanan bir çalışma tarafından getirilmektedir. Yapılan çalışmada motivasyonun insan davranışı üzerindeki etkisi teorisine odaklanılmakta klasik motivasyon ve ulaşım türü seçimi arasında ilişki araştırılmaktadır. Çalışma kapsamında bir çok çalışmada ifade edildiği gibi türel ayırımı etkileyen sosyo – ekonomik değişkenler, araç sahipliği, gelir düzeyi, yolculuk mesafesi gibi konulara ilişkin düzensiz bir çok seviyeye sahip olan veriler ulaşım türü seçimi kapsamında multinominal lojit regresyon ile değerlendirilmektedir. Çalışma sonucunda hangi modun motivasyondan daha çok etkilendiği hangi verilerin ulaşım modu türünü ne kadar etkilediği faktör analizi ve lojit analiz ile elde edilmektedir. Çalışmada yeşil ulaşım türlerinin seçiminin çevresel motivasyon ile değil kişinin kendi ilgisel motivasyonu ile olduğu tespit edilmektedir. Bu noktada çalışmanın en önemli bulgusu motivasyon, mevcut durum ve ulaşım türü arasında olan bir faydayı sayısal olarak izah edebiliyor olması şeklindedir. Bunun haricinde cinsiyetin, yaşı, araç sahipliğinin, gelirin, yolculuk mesafesinin, yüksek düzeyde tür seçimine türe göre değişiklik göstererek etki eden unsurlar olduğu ifade edilmektedir [55].

Görüldüğü üzere model yaklaşımlarına alternatif olarak birçok çalışmada türel ayırım konusu ulaşımın hatta türel ayırımın en önemli üç bileşenini türel ayırım isimli bir tabanda yorumlayabilmektedir. Bu noktada günümüzde ulaşım modellerinin geldiği aşamalar düşünüldüğünde gerçeğin daha iyi yansıtılması açısından birer alternatif olarak görülebilir. Bunun en önemli sebeplerinden birisi çalışmalarda da ifade edildiği üzere edilen sonuçların yüksek anlamlılık değerlerine sahip olması gösterilebilir. Alternatif olarak bu metotları ulaşım modeli çalışmalarının türel ayırım aşamasında değerlendirme sebeplerinden birisi de ulaşım modeli çalışmalarının ampirik çalışma biçimine açık olması şeklinde ifade edilebilir. Değerlendirilebilecek bir başka husus ise gerçeği yansıtmaya açısından bu bölümde ifade edilen metotların klasik ve yeni ulaşım metotlarına kıyasla daha kapsamlı ulaşım tutumu irdeleme imkanına sahip olduğu şeklindedir.

Örneğin sıcaklık faktörünün tür seçimine etkisi sürdürülebilirlik ve iklim krizi tartışmasının olduğu günümüzde türel ayırım modellemesi çalışmalarında önemli bir yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Ulaşım modelinin dinamik yapısının el verdiği ölçüde gelişen teknoloji ile birlikte değişen iklim, çevre, haberleşme – iletişim gibi çeşitli güncel hususların ulaşım türü seçimi üzerindeki etkisi incelenen çalışma örnekleri üzerinde gözlemlendiği şekliyle modelde de göz önünde olmalıdır. Gelecekte teknoloji, sürdürülebilirlik vb. konular üzerinde tartışma ve çözüm yaklaşımlarının giderecek artacağı düşünülecek olursa ulaşım modeli yaklaşımlarının da ortaya çıkacak yeni konular üzerinde kendini yenilemesi hususu kaçınılmaz olacaktır. İncelenen farklı metotlu

yaklaşımların bir başka avantajlı durumu ise modele fazladan bir hesaplama karmaşası yükü getirmemek şeklinde değerlendirilebilir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada ulaşım planlaması ve türel ayırım konularına ve bu konulardaki yeni trendlere yoğunlaşılmaktadır. Çalışma kapsamı sınırlandırılarak bu iki kavram üzerine odaklanılmaktadır. Ulaşım modelleme tekniklerinde yeni kavramsal eğilimlerin neler olduğu, türel ayırım aşamasında kullanılan hangi farklı faktörlerin olduğunun tespiti için literatür taraması yapılmaktadır. Literatür taramasında incelenen kavramların hiyerarşisine uygun olarak önce ulaşım planlaması daha sonra ise türel ayırım kavramı ele alınmıştır. Bu şekilde öncelikle ulaşım planlaması noktasındaki trendler tespit edilmiş daha sonra ulaşım planlamanın bir adımı olan türel ayırım kavramı ele alındığında ise türel ayırımdaki eğilimler ile ulaşım planlamasında tespit edilen eğilimler arasında kavramsal bir karşılaştırma yapılmıştır.

Yöntem olarak akademik dergi, bildiri ve çeşitli belgelerden referans sağlayan Web of Science veritabanından yararlanılmakta bu veritabanından elde edilen bilgiler bibliyometrik programlar aracılığıyla değerlendirilmektedir.

Web of Science veritabanı literatürde güvenilir, ilgili referanslara ilişkin bibliyometrik analiz yapmak için uygun veriler sağlayan bir veritabanı olarak tanımlandığından çalışmada da bu veritabanından yararlanılmaktadır [57]. Çalışmaya dahil edilen kaynak araştırma sayısı bu veritabanı sisteminin arama konusu kavrama dair erişim sağlayabildiği en eski kaynaktan en güncel kaynağa kadar olan tarih aralığındaki yayınlar ile sınırlıdır. Web of Science haricindeki veritabanlarında yer alan veriler ile kullanılan bibliyometrik analiz programlarında kapsamlı ağ analizi yapılması mümkün olmadığından farklı bir veritabanı değerlendirilmesi yapılamamıştır.

Web of Science veritabanı kapsamında indirilen veriler VOSViewer ve Bibliometrix programları ile analiz edilmektedir. Bu programlar söz konusu veritabanı verileri ile analiz yapmaya uyumlu olup, kapsamlı ağ analizleri için VOSViewer, eğilimler, kapsamlı trend tespitleri için ise Bibliometrix yazılımından yararlanılmaktadır. Söz konusu programlar çalışma konusunda eğilim tespiti, ağ – yoğunluk analizi, kavram tespitleri için için uygun bibliyometrik analiz programları arasında gösterilmektedir [58]. Veritabanından literatür taramasına yönelik veri alabilmek için çalışma konusuna dair anahtar kelime bilgisi sağlayıp, arama yapmak ve çıkan verileri kaydederek derlemek gerekmektedir. Bu açıdan ulaşım planlama ve ulaşım türü seçimi terimlerinin ingilizcesine odaklanılmış olup uygun operatörler ile arama gerçekleştirilmektedir. Tırnak işareti ve yıldız karakterlerinin kullanılmasındaki amaç belirtilen kavramlar çerçevesindeki sonuçlar ve kavramları oluşturan kelimelerin aldığı eklerden de oluşmuş diğer başlıkları araştırmaya dahil etme yoluyla çok kapsamlı bir literatür elde etmek üzeredir. Dolayısıyla kullanılan terimlerin varyasyonuna da hitap edebilen bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir.

18.04.2025 tarihinde Web of Science veritabanında “Transport* Model*” anahtar kavramı ve ile yapılan tarama kapsamında 1980 – 2025 yılları oluşturulmuş toplam 973

ayrı kaynakta yer alan 1713 dokümanın kayıt sonuçlarına ulaşılmıştır. Doküman kayıtları Bibliometrix ve VOSViewer adlı bibliyografik analiz programlarında incelenmektedir.

18.04.2025 tarihinde Web of Science veritabanında “Transport* Mode* Choic*” anahtar kavramı ve ile yapılan tarama kapsamında 1981 – 2025 yılları oluşturulmuş toplam 266 ayrı kaynakta yer alan 529 dokümanın kayıt sonuçlarına ulaşılmıştır. Doküman kayıtları Bibliometrix ve VOSViewer adlı bibliyografik analiz programlarında incelenmektedir. Bu konuda yapılan araştırmanın çalışma tasarımı Tablo 3’te olduğu şekildedir.

Tablo 3. Araştırmanın Çalışma Tasarımı

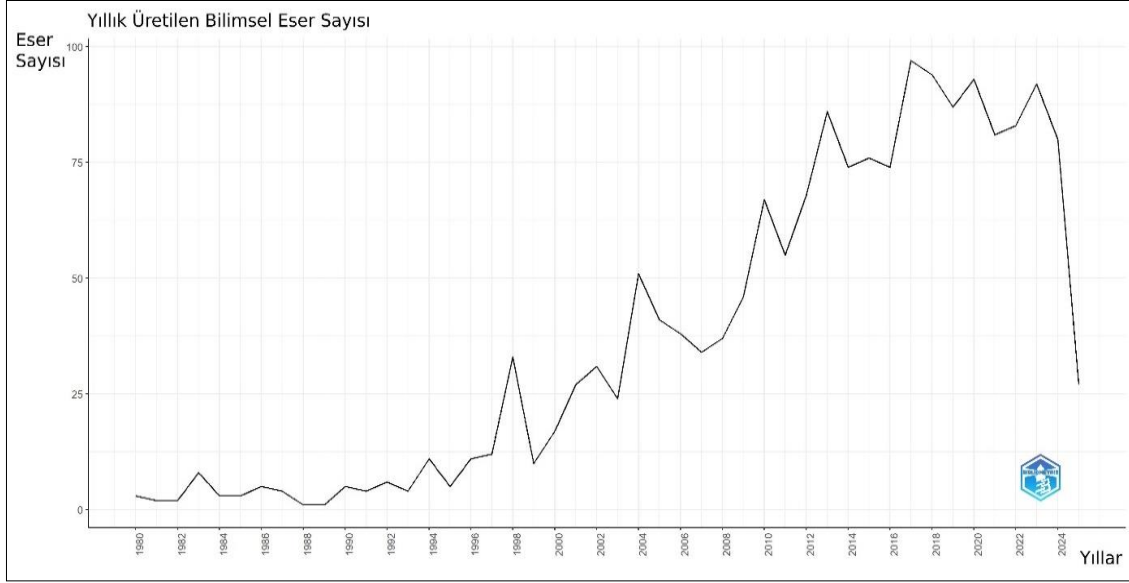
1	Çalışma Tasarımı
1.1.Kullanılan Veritabanı ve Yazılım	Web of Science VOSViewer ve Bibliometrix
1.2.Kullanılan Anahtar Kavramlar	“Transport* Model*”/“Transport* Mode* Choic*”
1.3.Araştırma Kapsamı Yıllar	1980-2025/1981-2025
2	Veri Toplama
2.1. Eser Sayıları	1713/529
3	Veri Analizleri
3.1.	Yoğunluk Analizi (Yıllık Eser)
3.2.	Anahtar Kavramlar
3.3.	Trend Konuların Belirlenmesi
4	Faktöriyel Yapı Analizi

3. Bulgular ve Tartışma

Ulaşım modellemesi ve modelleme özelinde türel ayırım aşamasının yapısı, bu unsurlardaki eğilim değişiklikleri literatür üzerinden tespit edilmektedir. Bu konuda her iki unsura yönelik yapılan dizin taramalarından şu sonuçlar bulunmuştur.

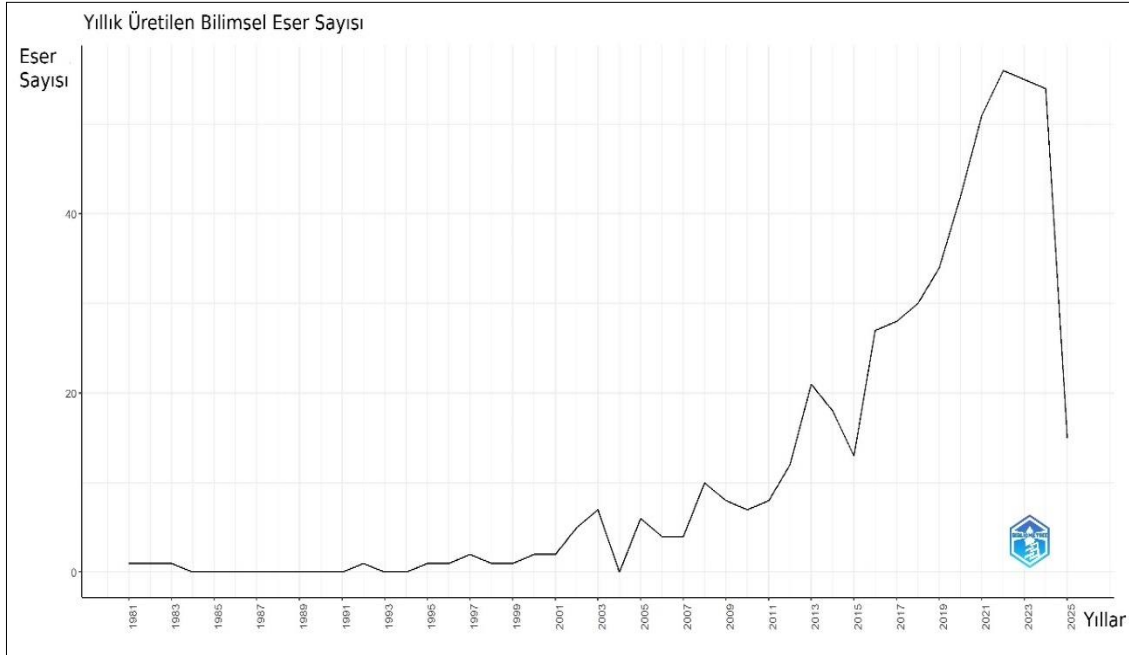
18.04.2025 tarihinde Web of Science veritabanında “Transport* Model*” anahtar kavramı ve ile yapılan tarama kapsamında 1980 – 2025 yılları oluşturulmuş toplam 973 ayrı kaynakta yer alan 1713 dokümanın kayıt sonuçlarına ulaşılmıştır. 18.04.2025 tarihinde Web of Science veritabanında “Transport* Mode* Choic*” anahtar kavramı ve ile yapılan tarama kapsamında 1981 – 2025 yılları oluşturulmuş toplam 266 ayrı kaynakta yer alan 529 dokümanın kayıt sonuçlarına ulaşılmıştır.

Şekil 2’de görüldüğü üzere ulaşım modelleme konusunda hazırlanan çalışmaların sayısı geçmişten günümüze sayıca artmaktadır. Son 10 yılda yıllık, 75 üzerinde eser verildiği görülmektedir.



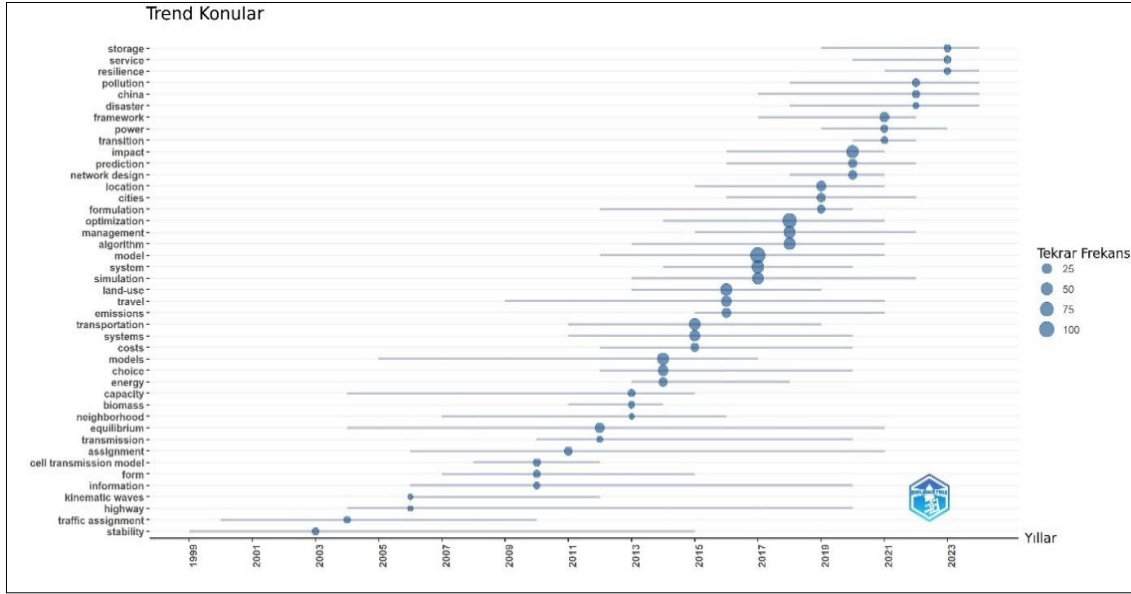
Şekil 2. Yıllık üretilen bilimsel eser sayısı (ulaşım modelleme)

Şekil 3'te görüldüğü üzere türel ayırım konusunda hazırlanan çalışmalar ulaşım modeli anahtar kavramındaki incelemede olduğu gibi geçmişten bugüne sayıca artmaktadır. Son 10 yılda yıllık, 20 üzerinde eser verildiği görülmektedir.



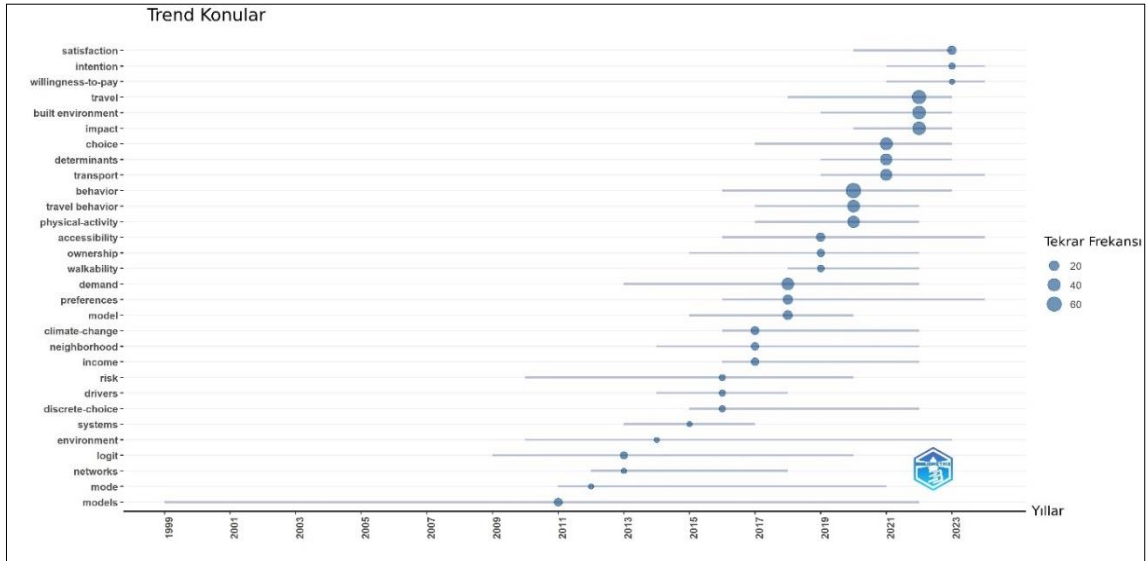
Şekil 3. Yıllık üretilen bilimsel eser sayısı (türel ayırım)

Şekil 4'te trend konular yer almaktadır, görüldüğü üzere son zamanlarda dirençlilik, hizmet, kirlilik gibi unsurlar ulaşım modeli konusundaki trend kavramlardır. Bu kavramların sıklık frekansı 25 ile 100 arasında değişmektedir.



Şekil 4. Trend konular (ulaşım modelleme)

Şekil 5'te trend konular yer almaktadır, görüldüğü üzere son zamanlarda memnuniyet, ödeme eğilimi, etki, seçim belirleyicileri, yolculuk davranışı, iklim değişimi, erişebilirlik, yürünebilirlik, tercihler, yapılı çevre, risk, fiziksel aktivite, davranış kavramları türel ayırım konusundaki trend kavramlardır. Bu kavramların sıklık frekansı 20 ile 60 arasında değişmektedir.



Şekil 5. Trend konular (türel ayırım)

Şekil 6'da çalışmalarda kullanılan anahtar kavramlar görülmektedir. Dairelerin büyüklüğü anahtar kavramların kullanılma sayısındaki fazlalığı temsil etmektedir. Soğuk renkler daha eski tarihli çalışmalarda kullanılan anahtar kelimeleri sıcak renkler yeni tarihli çalışmalarda kullanılan anahtar kelimeleri ifade etmektedir. Yolculuk davranışı, türel ayırım, aktivite tabanlı model, maliyet, karbon emisyon, iklim değişimi karar verme

Literatür taramasından ve bibliyometrik analizden elde edilen başlıca sonuçlar şu şekildedir. Öncelikle son yıllarda her iki konuda da yapılan çalışma sayısı gittikçe artan bir eğilimdedir. Topplulaştırılmış modellerden bireyselliğe doğru ilerleyen söz konusu eğilimde, bireysel tercihler konusu modellemenin yapılmasını ve tahmin yapmayı zorlaştırmaktadır. Klasik modellerin insan davranışını açıklamada yetersiz olması bireysel tercihlerin ulaşım üzerindeki etkisini açıklamaya yönelik araştırmaların artmasında etkili olmaktadır. Bu durum son yıllarda yapılan araştırmaların konusunda ve faktör analizi sonuçlarında detaylıca görülmektedir. Modelleme konusundaki faktör analizinde davranış, seçim gibi konuların çalışmaların spesifik konuları arasında çıkması, türel ayırım konusunda da yine davranış, tutum, planlı davranış, algı ve tür seçimi gibi konuların spesifik konular arasında yer alması bu anlamda dikkat çekmekte ve ilginin nereye doğru kaydığına işaret etmektedir. Diğer yandan ulaşım modelinde günümüzün önemli bir problemi olan iklim krizinin etkileri görülmektedir. Bu durum aynı zamanda tür seçiminde bu problemin etkisini araştıran çalışmalara odak olma şeklinde de ortaya çıkmaktadır. Özellikle grafiklerde incelendiğinde ulaşım modeli çalışmalarında son yıllarda iklim krizi ile ilgili olan dirençlilik, kirlilik, afet, emisyon gibi konuların çalışıldığı dikkat çekilmektedir. Diğer yandan bu duruma tür seçimi çalışmalarındaki emisyon, iklim değişikliği, mobilite gibi paralellik gösterdiği dikkat çekmektedir. Ulaşım modelinde ön plana çıkan ve benzer temalarda yer alan konuların türel ayırım konulu araştırmalarda da özel bir yere sahip olduğu faktör analizinden görülmektedir. Ayrıca ulaşım davranışı kavramının ulaşım modelinde araştırmaların omurgasını oluşturan bir eksende yer aldığı görülmektedir. İklim konusunda yaşanan olumsuzlukların son zamanlarda iyice artmasından dolayı araştırmalarda ulaşımın sistem, atama, trafik vb. bileşenlerinden çok bahsi geçen çevresel unsurlara odaklandığı düşünülmektedir. Ulaşım modeli konusunda anahtar kavramın yıllara göre tekrar eden haritasında son zamanlarda gelişen yapay zeka, büyük veri, mobilite gibi konularında ayrıca ulaşım modellemesinin yeni eğilimleri olduğu görülmektedir. Ancak burada da yine iklim krizinin etkileri görülmektedir. Bisiklet, enerji, elektrikli araç, kentsel mobilite gibi sürdürülebilir odaklı ulaşım öğelerinin son zamanların popüler çalışma konusu olduğu anlaşılmaktadır. Diğer yandan türel ayırım araştırmalarında da mobilite, aktif seyahat, bisiklet, yürüme fiziksel aktivite ve onunla ilgili kavramlarında COVID-19 sürecinden itibaren iklim krizinin yoğun olduğu ulaşım modeli araştırmalarında benzer konuların araştırıldığı paralel zamanlarda hareketlendiği anahtar kavramların yıllara göre tekrar haritasından görülmekte olup bu konuların ulaşım modelleme ve türel ayırım çalışmalarının yeni gündemi olduğu anlaşılmaktadır.

Literatürde yapılan taramalarda da görüldüğü üzere insanın seyahat davranışı karmaşıklıklaştıkça anlaşılması zor olmasına rağmen bulanık mantık, jeostatistik, kriging, faktör analizi gibi çeşitli metotlar yeni modelleme teknikleri olarak görülmekte ve türel seçim ile ilgili fikirler verebilmektedir. Bu metotların yeni ulaşım modeli geliştirme de bir alternatif yöntem önerisi olarak kullanılması düşünülebilir. Özellikle iklim krizi ve davranışsal modellerin ulaşım modelleme konusunda paradigma dönüşümünü tetiklemesi alternatif modelleme teknikleri konunun çalışılmasına uygun bir zemin olarak değerlendirilebilir. İklim krizinin en önemli etkilerinden birisi olan hava olayı ve etkilerinin, mikromobilitenin modelleme açısından en hassas şekilde yansıtılacak şekilde gündeme gelmesi kaçınılmaz olacaktır. Özellikle yapılan bir çalışmada yer alan, ulaşım planlama açısından klasik “tahmin et ve sağla” yerine “tahmin ve önle” yaklaşımının ön

plana geldiği ve bu durumun mobilite ve erişebilirlik kapsamında gelişmesi bu tespiti destekler niteliktedir. Ayrıca aynı çalışmada ulaşım planlamada klasik tanımlı lineer çözüm arayışlarının yerini çok ölçütlü aşırı karmaşık karar verme problemlerine bıraktığı vurgulanmaktadır [59].

Diğer yandan bir diğer araştırmada da bu çalışmanın sonucuna benzer şekilde mekânsal davranış bilgisi ile seyahat talebini tahmin etme amacıyla seyahat tercihinin modelleme uygulaması arasında boşluk bulunduğu durumunun altı çizilmektedir [60].

Ulaşım planlama modellerinin gelişimi yıllar içinde önemli ölçüde evrim geçirmiş ve geleneksel yolculuk tabanlı modellerden daha sofistike aktivite tabanlı modellere (ABM'ler) geçiş yapmıştır. Başlangıçta ulaşım modelleri, bireysel yolculuklara dayalı seyahat talebini tahmin etmeye odaklanmış ve genellikle günlük aktivitelerin daha geniş bağlamını ve bunların birbirleriyle olan ilişkisini göz ardı etmiştir. Ancak, seyahat davranışına dair anlayış derinleştikçe, insan aktivitelerinin karmaşıklığını ve bunların seyahat kalıpları üzerindeki etkisini yakalayabilen modellere duyulan ihtiyaç daha belirgin hale gelmiştir.

Ulaşım modellerinin ana amacı mevcuttaki ulaşımaya yönelik olan tutum ve davranışları çeşitli yöntemler aracılığı ile matematiksel olarak ifade etmek ve genellikle plancılara gelecekte yaşanabilecek olası senaryolar hakkında ışık tutmaktır. Modeller arasında farklılık oluşturan en temel faktörlerden birisi de dört aşamalı modele kıyasla aktivite tabanlı ve daha gelişmiş model yaklaşımlarının politika testlerine daha duyarlı olması şeklindedir. Bu noktada daha kaba model yapılarından en gelişmiş model düzeyine doğru model tipleri karşılaştırıldığında görülen bazı temel farklar şu şekildedir.

Bu zamana kadar geliştirilen ulaşım modeli yaklaşımlarında her ne kadar uygulanan gelişmelerin model sonucunu gerçekliğe yakınsama amacıyla tasarlandığı ifade edilse de bunun model üzerinde etkisinin olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin klasik dört aşamalı modelden farklı olarak aktivite tabanlı ve ajan tabanlı modelleme yaklaşımlarında temsilci, yolculuk detayında tur gibi faktörlerin eklenmesi hususu daha olumlu sonuçlara yol açsa da hesaplamalarda karmaşıklığa ve sonuçlarda istatistiksel belirsizlik tartışmalarına yol açmaktadır. Bu noktada modelleme açısından karşılaştırmalı bir değerlendirme yapıldığında temel farklar modelleme yaklaşımının amaçları doğrultusunda tablo 4'te olduğu gibi ayrıştırılabilir.

Tablo 4. Modeller arası performans karşılaştırması [56]

Model Tipi	Mekansal Detay	Sosyo – Ekonomik Detay	Politika Duyarlılık	İşlerlik Süresi	Model Kurma Maliyeti
Eskiz Tasarım	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Stratejik Planlama	Düşük – Orta	Düşük – Yüksek	Orta – Yüksek	Düşük	Düşük

Yolculuk Tabanlı	Düşük – Orta	Orta	Orta	Orta	Orta
Aktivite Tabanlı	Orta – Yüksek	Yüksek	Orta – Yüksek	Orta	Orta

Görüldüğü üzere model konusunda yaşanan gelişmeler onun yapısını daha da karmaşık hale getirecek düzeydedir. Bu noktada modelleme açısından karşılaştırmalı bir değerlendirme yapıldığında temel farklar modelleme yaklaşımının amaçları doğrultusunda tablo 5’te olduğu gibi ayrıştırılabilir.

Tablodan anlaşılabileceği üzere klasik ve yeni modelde, türel ayrım aşamasının haricindeki aşamalarda yaklaşımlar birbirinden oldukça farklılık arz etmektedir. Türel ayrım aşamasında ise model yaklaşımlarında fark olmaksızın seçilen türlerin ne olduğu tespit edilmeye çalışılmaktadır. Geliştirilecek yeni modellerde modelin gerçeğe yakınsamasını daha da arttırmak konusunda yeni bir yaklaşım keşfedilmek istenirse her iki model içinde benzerlik arz eden türel ayrım yapısı farklılaştırılarak deneysel çalışmalar yapılabilir.

Tablo 5. Modeller arası amaç karşılaştırması [52]

Dört Aşamalı Talep Tahmin Model	Aktivite Tabanlı Model	Amaç
Yolculuk Üretim – Çekimi	Aktivite Programlama	Yolculuklar nerede üretilir, kimler yolculuk yapar ?
Yolculuk Dağıtımı	Tur ve Yolculuk Hedefi Seçimi	Nereye seyahat edilir ?
	Günün Yolculuk Programı	Ne zaman seyahat edilir ve aktiviteler ne kadar vakit alır ?
Türel Ayrım	Tur ve Yolculuk Türel Ayrımı	Seçilen türler nedir ?
Ağ Trafik Ataması	Ağ Ataması	Hangi güzergahlar kullanılır ?

Modellerin birbirinden farklılık arz ettiği bir diğer konusu ise ölçek açısından karşımıza çıkmaktadır. Makro ve mikro ulaşım modelleme konusunda ölçekten kaynaklı olarak ortaya çıkan farklılıklar tablo 6’da olduğu gibidir.

Tablo 6. Modeller arası ölçek karşılaştırması [36]

Makro Ulaşım Modelleri	Mezo Ulaşım Modelleri	Mikro Ulaşım Modelleri
Arazi kullanım verisi odaklı	Günlük ulaşım deseni odaklı	Mikroskopik hareketlere odaklı
Ekonomik aktivitelere duyarlı	Hareketlilik aktivitelere duyarlı	Detaylı bilgi tedarik edebilen
Uzun süreli kararlara dayalı		Kısa süreli kararlara duyarlı

Yıllık vadesi olan	Saatlik veya daha uzun vadesi olan	Saniye bazında vadesi olan
--------------------	------------------------------------	----------------------------

Tablodan yorumlanabileceği üzere dört aşamalı talep tahmin modelinin yapısı makro ulaşım modeli olarak görülebilmektedir. Diğer yandan içeriğinde günlük hareket, hareketlilik aktivitelerine duyarlı olması sebebiyle aktivite tabanlı model orta ölçekli bir ulaşım modeli yapısı taşımakta, son olarak ise mikrosimülasyon çalışmaları ise mikro ulaşım modeli ölçeğindeki yaklaşımlardır.

Görüldüğü üzere her ulaşım modeli yapısı birbirinden farklılık arz etmekte her birisi farklı değişkenin yapısına odaklanarak probleme çözüm geliştirmektedir. Türel ayırım aşaması modellerin sonuç anlamında bir durum ortaya koymak için en fazla zorlanılan aşama olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu noktada gerek insan davranış ve tutumunun ifade edilmesinin zorluğu gerekse türel aşama konusuna etki eden birçok faktörün tek bir matematiksel ifade ile sentezlenmesinin güçlüğü her ulaşım modeli için tartışılması gereken bir nokta olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ulaşım modeli konusunda yapılan çalışmanın istatistiki olarak doğru olduğunun ispatı durumu her zaman model sonucunda elde edilen bulguların gerçek hayatta ölçülen karşılıkları ile karşılaştırılması sonucunda ifade edilmektedir. Modelin yapısı karmaşık hale geldikçe modelin kalibrasyonu konusu da aynı şekilde zorlaşmaktadır.

Teknolojik imkanların elverdiği ölçüde toplanan yeni nesil ulaşım verileri aracılığı ile türel ayırım konusu dolayısıyla modelleme konusunda yeni yaklaşımların oluşması kaçınılmaz olacaktır.

4. Sonuç

Çalışma kapsamında ulaşım kavramının insanlar için neden çok önemli bir husus olduğu teorik olarak açıklanmıştır. İnsanlar için önemli olan bu kavramın planlanması geçmişten günümüze uzanan süreçte bir takım değişiklikler yaşamıştır. Ulaşım planlaması başta arazi kullanım – kent ekonomisi ilişkilerini açıklamaya çalışan teorilerin ışığında anlaşılmaya çalışılmış olup bugün günümüzde söz konusu teorilerden bağımsızlığını tamamen kaybetmeksizin yeni problemlere odaklanarak yeni yaklaşımlara konu olmaktadır. Geçmişten günümüze incelendiğinde görülmüştür ki ulaşım planlaması ilk önce yolculuk talebine yönelik toplu bir yorumlama arayışı iken günümüzde bireysel tutumlara yönelik bir değerlendirme arayışıdır. Söz konusu arayışlara yönelik olarak ulaşım planlamasında kullanılan yegâne araç ulaşım modellemesidir. Ulaşım modelleri de ulaşım planlama teorilerinin yaşadığı teorik evrimden benzer şekilde etkilenmesine rağmen günümüzde halen temel ekonometrik yorumların geçerliliğini koruduğu görülmektedir. Ulaşım modellerinin zaman içinde ölçek açısından makro düzeyden mikro düzeye yorum yapabilir seviyeye evrildiği görülmüştür.

Yolculuk talepleri açısından ise yolculukların topluca ifade edildiği toplu yorumlardan bireysel tutumların ayrı ayrı ifade edildiği ayrık yapılara kavuştuğu görülmüştür. Bu noktada en önemli husus modelin amacına göre kullanılması gerekliliğidir. Modelin kapsamında bulunduğu ulaşım planı yaklaşımına göre ölçek ve yolculuk talep topluluğu

durumuna göre uygun model yapısı kullanılmalıdır. Model için en önemli husus gerçeği yansıtabildiği kadar yansıtmak olmalıdır. Bundan dolayı zaten tarihi süreç içinde aynı şekilde modelin evriminin altında yatan hususun ağırlıkla yansıtmadaki gücün arttırılmaya çalışıldığı ifade edilebilir. Bu noktada ağırlıklı olarak arayışlar ulaşım modelinin yolculuk üretim – çekim ,yolculuk – dağıtım kısmına odaklanmışken özellikle insan tutum ve davranışlarına yönelik olan en önemli kısmın türel ayırım aşaması açısından modellemede modifikasyonların daha önce yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu aşamada bu çalışmada türel ayırım konusuna modelde girdi olabilecek değişkenlere yer verilmiştir. Yeni geliştirecek modelleme yaklaşımlarında türel ayırım konusu ayrıca ve özel olarak değerlendirilmelidir.

Modellemenin yol, yolcu, yolculuk noktasında topluca bir sentez yapılabilecek ve yapılması gereken tek aşaması olan türel ayırım modelin gerçeğe yakınsamasında önemli rol oynama potansiyeline sahiptir. Modelleme açısından dirençlilik, hizmet, kirlilik gibi unsurlar, türel ayırım açısından ise memnuniyet, ödeme eğilimi, etki, seçim belirleyicileri, yolculuk davranışı, iklim değişimi, erişebilirlik, yürünebilirlik, tercihler, yapılı çevre, risk, fiziksel aktivite, davranış kavramları, aktivite tabanlı model, maliyet, karbon emisyonu, karar verme gibi konuların yeni yöntem arayışlarında çalışmaların odak noktası olması gerektiği tespit edilmiştir. Modellemede bu unsurları değerlendiren aşama önerilerine yer verilmeli, türel ayırım aşamasında ise bu unsurları değerlendirebilen metotlar incelenmelidir. Tipik türel ayırma söz konusu unsurlar değişken, deterministik olmayan faktörlerin açıklanması, tür yanlılığı faktörü ihtiyacının giderilmesinde yararlanılıp yararlanılmayacağı değerlendirilebilir. Zaten yaygın olarak kullanılan dört aşamalı modelin türel ayırım aşamasındaki multinominal lojit modelin günümüz türel ayırım faktörlerini sınırlı yansıtmaması yeni yöntemlere ihtiyaç duyurmaktadır. Ulaşım modellerinin karmaşık yapısına alternatif olarak bu çalışmada önerilen metotların doğrudan türel ayırım oranı yansıtabileceği düşüncesinden modellemede bir kolaylık sağlayacağı tahmin edilmektedir. Örneğin multinominal logit model ile toplulaştırılmış veriden bir türel ayırım dağılımı bulmak yerine kişilerin bireysel özelliklerini dikkate alarak sınıflandırma yapan bulanık mantık modelinin türel ayırım aşaması için kullanılabileceği düşünülmektedir. Tipik türel ayırım aşamasında olasılık tespit edilirken bulanık modelde doğrudan kişinin tercihi tespit edilebilmektedir. Bu tercih kümesinde türlerin toplam miktarından türel ayırım oranı elde edilebilir. Klasik yaklaşımdaki yolculuk sayısı ile olasılığı çarpmak yerine bulanık mantık yöntemi kullanılarak elde edilen türel ayırım oran ile yolculuk miktarı çarpılarak atama aşamasına geçilebilir. Bunun haricinde çalışmada açıklandığı gibi türel ayırma dair veri toplanamayan bölgelere ait türel ayırım oranı tahminde bulunmak anket yapılamayan bölgeler için yine kriging metodu kullanılabilir.

Bu noktada dört aşamalı talep tahmin modeli ve aktivite tabanlı model değerlendirmelere konu olabilir. Literatürden ve bibliyometrik analizlerden günümüzde daha çok bu unsurların değişiminin türel ayırma olan etkisinin irdelendiği, günümüze kadar olan model yapılarında ve türel ayırım metotlarında bu unsurları değerlendiren yaklaşımların yaygınlık kazanmadığı ve unsurları yeterince değerlendiremediği görülmektedir. Ulaşım modeli çalışmalarında yolcu davranışı, mobilite, ağ tasarımı, unsurları türel ayırım çalışmalarında ise yolculuk zamanı, yolculuk türü ve politikalar çalışmaların olmazsa olmaz unsurları olmalıdır.

Bu çalışmanın bir sınırlılığı olarak bu konuda ortaya çıkacak etkiler hazır bir model olmadığından test edilememiştir. Ancak literatürde türel ayırım konusu üzerine özelleşmiş birçok çalışma bulunmaktadır. Çalışmanın en önemli bulgularından biri, türel ayırım konusuna odaklanan özelleşmiş metodolojilerin; modellemede yeni yaklaşımların ve model türlerinin gelişim sürecinde, modelin tarihsel bağlamda eksik ya da yetersiz kaldığı aşamalarda yeni bir yöntem aracı olarak kullanılma potansiyeline sahip olmasıdır.

Finansal Destek

Yoktur.

Çıkar Çatışması

Yoktur.

5. Kaynaklar

- [1] Duranton, G., ve Turner, M. A., Urban growth and transportation. Review of Economic Studies, 79, 4, 1407-1440, (2012).
- [2] Pojani, D., ve Stead, D., Sustainable urban transport in the developing world: beyond megacities, Sustainability, 7(6), 7784-7805, (2015).
- [3] Lakshmanan, T. R., The broader economic consequences of transport infrastructure investments, Journal of Transport Geography, 19, 1, 1-12, (2011).
- [4] Knowles, R. D., Ferbrache, F., ve Nikitas, a., Transport's historical, contemporary and future role in shaping urban development: re-evaluating transit oriented development, Cities, 99, 102607, (2020).
- [5] Mahtta, R., Mahendra, A., ve Seto, K. C., Building up or spreading out? Typologies of urban growth across 478 cities of 1 million+, Environmental Research Letters, 14, 12, 124077, (2019).
- [6] Barthel, S., ve Isendahl, C., Urban gardens, agriculture, and water management: Sources of resilience for long-term food security in cities, Ecological economics, 86, 224-234, (2013).
- [7] Şengül, B., ve Mostofi, H., Impacts of e-micromobility on the sustainability of urban transportation a systematic review, Applied Sciences, 11, 13, 5851, (2021).
- [8] Alipour, D., ve Dia, H., A systematic review of the role of land use, transport, and energy-environment integration in shaping sustainable cities, Sustainability, 15, 8, 6447, (2023).

- [9] Sun, L., Zhang, T., Liu, S., Wang, K., Rogers, T., Yao, L., ve Zhao, P., Reducing energy consumption and pollution in the urban transportation sector: a review of policies and regulations in beijing, *Journal of Cleaner Production*, 285, 125339, (2021).
- [10] Farazi, N. P., Zou, B., Ahamed, T., ve Barua, L., Deep reinforcement learning in transportation research: a review, *transportation research interdisciplinary perspectives*, 11, 100425, (2021).
- [11] Karami, Z., ve Kashef, R., Smart transportation planning: data, models, and algorithms, *Transportation Engineering*, 2, 100013, (2020).
- [12] Nostikasari, D., ve Casey, C., Institutional barriers in the coproduction of knowledge for transportation planning, *Planning Theory & Practice*, 21,5, 671-691, (2020).
- [13] Lovelace, R., Open source tools for geographic analysis in transport planning, *journal of geographical systems*, 23, 547–578, (2021).
- [14] Maheshwari, T., ve Axhausen, K. W., How will the technological shift in transportation impact cities? a review of quantitative studies on the impacts of new transportation technologies, *Sustainability*, 13, 6, 3013, (2021).
- [15] Iacono, M., Levinson, D., ve El-Geneidy, A., Models of transportation and land use change: a guide to the territory, *Journal of Planning Literature*, 22, 4, 323-340, (2008).
- [16] Boyce, D., *Network equilibrium models for urban transport*, Springer, Berlin, Heidelberg. (2021).
- [17] Perlov, V., ve Kyrlytsya, I. Application of transport modeling in urban planning using the example of Vinnytsia, *Visnyk of Khmelnytskyi National University, Economic Sciences*, 319, 1, 247–251, (2023).
- [18] Huang, H., Song, B., Xu, P., Zeng, Q., Lee, J., ve Abdel-Aty, M., Macro and micro models for zonal crash prediction with application in hot zones identification. *Journal Of Transport Geography*, 54, 248-256, (2016).
- [19] Crespo-Pereira, D., Rios-Prado, R., ve Gregorio-Vicente, D., Comparison between a macro and a des approach to the transport mode choice problem, In *18th International Conference On Harbor, Maritime And Multimodal Logistics Modelling And Simulation*, Hms 2016, 50-56, (2016).
- [20] Cullen, D., Kuhn, H., ve Frank, M., *Aggregation in Network Models For Transportation Planning* (No. Dot-Tsc-Rspd-78-7), Dept. Of Transportation. Research And Special Programs Directorate, United States, (1978).
- [21] Wong, T., Brownstone, D., ve Bunch, D. S., Aggregation biases in discrete choice models. *Journal of Choice Modelling*, 31, 210-221, (2019).

- [22] Ben-Akiva, M. E., ve Lerman, S. R., Discrete choice analysis: theory and application to travel demand, 9, MIT Press, (1985).
- [23] Nam, D., ve Cho, J., Deep neural network design for modeling individual-level travel mode choice behavior, Sustainability, 12, 18, 7481, (2020).
- [24] Batarce, M., Estimation of discrete choice models with error in variables: an application to revealed preference data with aggregate service level variables, Transportation Research Part B: Methodological, 185, 102985, (2024).
- [25] Ivanov, D., Hartl, R., Dolgui, A., Pavlov, A., ve Sokolov, B. Integration of aggregate distribution and dynamic transportation planning in a supply chain with capacity disruptions and the ripple effect consideration, International Journal Of Production Research, 53, 23, 6963-6979, (2015).
- [26] Newman, J. P., Lurkin, V., ve Garrow, L. A., Computational methods for estimating multinomial, nested, and cross-nested logit models that account for semi-aggregate data, Journal Of Choice Modelling, 26, 28-40, (2018).
- [27] Anda, C., Erath, A., Fourie, P. J., Transport modelling in the age of big data, International Journal Of Urban Sciences, 21, 19-42, (2017).
- [28] Cipriani, E., Crisalli, U., Gemma, A., ve Mannini, L. Integration between activity-based demand models and multimodal assignment: some empirical evidences, Case Studies On Transport Policy, 8, 3, 1019-1029, (2020).
- [29] Willumsen, L. (2021) *Use Of Big Data In Transport Modelling*, International Transport Forum Discussion Papers, No. 2021/05, Oecd Publishing, Paris
- [30] Drchal, J., Čertický, M., ve Jakob, M., Data-driven activity scheduler for agent-based mobility models, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 98, 370-390, (2019).
- [31] Guo, Y., Yang, F., Xie, S., ve Yao, Z., Activity-based model based on long short-term memory network and mobile phone signalling data. Transportmetrica A: Transport Science, 20, 3, 2217283, (2024).
- [32] Gemma, A., Mannini, L., Busillo, V., Cipriani, E., ve Crisalli, U., Case studies of integration between activity-based demand models and multimodal assignment, Research in Transportation Economics, 92, 101119, (2022).
- [33] Agriesti, S., Kuzmanovski, V., Hollmén, J., Roncoli, C., ve Nahmias-Biran, B. H., A bayesian optimization approach for calibrating large-scale activity-based transport models, IEEE Open Journal Of Intelligent Transportation Systems, 4, 740-754, (2023).
- [34] Drchal, J., Čertický, M., ve Jakob, M., Valfram: validation framework for activity-based models, Journal Of Artificial Societies And Social Simulation, 19, 3, (2016).

- [35] Jafari, A., Singh, D., Both, A., Abdollahyar, M., Gunn, L., Pemberton, S., ve Giles-Corti, B., Activity-based and agent-based transport model of melbourne: an open multi-modal transport simulation model for greater melbourne, *Journal Of Intelligent Transportation Systems*, 1-18, (2024).
- [36] Huang, J., Cui, Y., Zhang, L., Tong, W., Shi, Y., ve Liu, Z., An overview of agent-based models for transport simulation and analysis, *Journal Of Advanced Transportation*, (2022)
- [37] Chayan, M. M. H., ve Cirillo, C., Predicting transit ridership using an agent-based modeling approach., *Socio-Economic Planning Sciences*, 95, 102031, (2024).
- [38] Azevedo, C. L., Marczuk, K., Raveau, S., Soh, H., Adnan, M., Basak, K., ... ve Ben-Akiva, M. Microsimulation of demand and supply of autonomous mobility on demand, *Transportation Research Record*, 2564, 1, 21-30, (2016).
- [39] Liu, S., Lo, S., Ma, J., ve Wang, W. An agent-based microscopic pedestrian flow simulation model for pedestrian traffic problems. *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, 15, 3, 992-1001, (2014).
- [40] Veldhuisen, J., Timmermans, H., ve Kapoen, L. Ramblas: A regional planning model based on the microsimulation of daily activity travel patterns. *Environment And Planning A*, 32, 3, 427- 443, (2000).
- [41] Suaa, A. J. Q., Chuua, H. N., Khoob, H. L., Lowa, Y. C., Leea, A. S. H., Ismailc, M. A., User mode choice behavior in public transportation: a systematic literature review. *Jurnal Kejuruteraan*, 34, 1 11-28, (2022).
- [42] Özalp, M., ve Öcalır, E. V., Türkiye'deki kentiçi ulaşım planlaması çalışmalarının değerlendirilmesi, *Metu Journal Of The Faculty Of Architecture*, 25, 2, (2008).
- [43] McNally, M. G., The four-step model in handbook of transport modelling, Emerald Group Publishing Limited, (2007).
- [44] Waghmare, A., Yadav, G., ve Tiwari, K., Four step travel demand modeling for urban transportativon planning, *Sci. Eng. Technol.*, 5, 1254, (2022).
- [45] Vuchic, V. R., Kent içi toplu ulaşım ve yaşanabilir şehirler cilt 2, İstanbul Ulaşım A.Ş., İstanbul, (2015).
- [46] Saw, K., Katti, B. K., ve Joshi, G., Literature review of traffic assignment: static and dynamic, *International Journal Of Transportation Engineering*, 2, 4, 339-347, (2015).
- [47] Duraku, R., Atanasova, V., ve Krstanoski, N., Building and calibration transport demand model in anamorava region, *Tehnički Vjesnik*, 26, 6, 1784-1793, (2019).

- [48] Sekhar, C. R., Mode choice analysis: the data, the models and future ahead, *International Journal For Traffic & Transport Engineering*, 4, 3, (2014).
- [49] Wang, D., ve Cheng, T., A spatio-temporal data model for activity-based transport demand modelling, *International Journal Of Geographical Information Science*, 15, 6, 561-585, (2001).
- [50] Brown, H., Activity-based modeling framework for travel demand and behaviour, *European Journal Of Social Sciences Studies*, 2, 10, 103, (2018).
- [51] Shiftan, Y., ve Ben-Akiva, M., A practical policy-sensitive, activity-based, travel-demand model, *The Annals Of Regional Science*, 47, 517-541, (2011).
- [52] Hasnine, M. S., ve Nurul Habib, K., Tour based mode choice modelling as the core of an activity-based travel demand modelling framework: a review of state of the art, *Transport Reviews*, 41, 1, 5-26, (2021).
- [53] Yan, X., Zhang, L., Gan, J., ve Huang, X., Study on decision making of travel mode based on fuzzy., 2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic And Automation Control Conference, (2018).
- [54] Gomes, V. A., Pitombo, C. S., Rocha, S. S., ve Salgueiro, A. R., Kriging geostatistical methods for travel mode choice: a spatial data analysis to travel demand forecasting, *Open Journal Of Statistics*, 6, 3, 514-527, (2016).
- [55] Geng, J., Long, R., Chen, H., Yue, T., Li, W., ve Li, Q., Exploring multiple motivations on urban residents' travel mode choices: an empirical study from jiangsu province in china. *Sustainability*, 9, 1, 136, (2017).
- [56] Castiglione, J., Bradley, M., ve Gliebe, J., Activity-based travel demand models: a primer (no. shrp 2 report s2-c46-rr-1), *Transportation Research Board*, Washington, D.C., (2015).
- [57] Janik, A., Ryszko, A., ve Szafraniec, M. Scientific landscape of smart and sustainable cities literature: A bibliometric analysis, *Sustainability*, 12, 3, 779, (2020).
- [58] Öztürk, O., & Gürler, G. (Eds.). (2022). Bir literatür incelemesi aracı olarak bibliyometrik analiz (3. bs.). Nobel Akademik Yayıncılık.
- [59] Brömmelstroet, M., Nicolaisen, M. S., Büttner, B., ve Ferreira, A. Experiences with transportation models: An international survey of planning practices. *Transport Policy*, 58, 10- 18, (2017).
- [60] Golledge, R. G., ve Garling, T., Spatial behavior in transportation modeling and planning (No. qt94f957b8). *University of California Transportation Center*, (2001).
- [61] Ahmed, B. (2012). The traditional four steps transportation modeling using a simplified transport network: A case study of Dhaka City, Bangladesh. *International*

Journal of Advanced Scientific Engineering and Technological Research, 1, 1, 19-40, (2012).

[62] Paul, T., Chakraborty, R., Ratri, S. A., & Debnath, M. Impact of COVID-19 on mode choice behavior: A case study for Dhaka, Bangladesh. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 15, 100665, (2022).

[63] Lwin, W. Y., Yoon, B. J., ve Lee, S. M., Exercising the traditional four-step transportation model using simplified transport network of Mandalay city in Myanmar. *Journal of the Society of Disaster Information*, 20, 2, 257-269, (2024).

[64] Grzenda, M., Luckner, M., Zawieska, J., & Wrona, P., Combining data from multiple sources for urban travel mode choice modelling. *arXiv preprint arXiv:2407.12137*. (2024).

[65] Otim, T., Dörfer, L., Ahmed, D. B., ve Munoz Diaz, E. Modeling the impact of weather and context data on transport mode choices: A case study of gps trajectories from beijing. *Sustainability*, 14(10), 6042, (2022).

[66] Adnan, M., Ratnasari, A. F., Gazder, U., Yasar, A. U. H., ve Bellemans, T., Investigating impacts of extreme weather episodes on travel behavior using microsimulation model-based activity-travel schedules. *Transportation Research Procedia*, 84, 456-463, (2025).