

# İstanbul'daki göçmenlerin uydu görüntüleri ve cep telefonu verisi kullanılarak ayrıntılı haritalandırılması

## Fine-grained mapping of migrants in Istanbul using satellite imaging and mobile phone data

Bilgeçağ Aydoğdu<sup>1</sup>, Çağla Balçık<sup>2</sup>, Subhi Güneş<sup>3</sup>, Rahman Momeni<sup>4</sup>, Albert Ali Salah<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> Utrecht Üniversitesi, Hollanda

<sup>2</sup> Münih Teknik Üniversitesi, Almanya

<sup>3</sup> Turkcell, Türkiye

<sup>4</sup> GMV, Birleşik Krallık

<sup>5</sup> Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye

**Özetçe** —Bu çalışma, arazi kullanımı haritası, gece ışığı haritası ve cep telefonu konumlandırma verisi (xDR) kullanılarak İstanbul'daki göçmen nüfusunun anlık detaylı bir haritasını çıkarmayı amaçlamaktadır. Araştırmada uzamsal ölçeklendirme işlemleri, yapay öğrenme yöntemleri, kalibrasyon ve ağırlıklandırma gibi detaylı haritalandırma yöntemleri kullanılmıştır. Büyük veri ile göçmenlerin şehri nasıl kullandığının ayrıntılı çalışılması politika yapımcılarına veriye dayalı politikalar geliştirmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada kişisel veriler korunarak yalnızca birleştirilmiş veri kullanılmıştır. Sonuçlar bu verilerin detaylı nüfus haritalandırmasında kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler**—Cep telefonu verisi, Uydu görüntüleri, Göç göstergeleri, Hesaplamalı sosyal bilimler

**Abstract**—This study aims to create a fine grained mapping of the migrant population in Istanbul using land use, nighttime satellite, and extended detail records (xDR) data. We use statistical bias correction methods such as calibration and weighting, spatial scaling methods, and machine learning methods to create the fine granular maps. The use of big data allows for a granular analysis of migrant behavior, contributing to evidence based policies, which can improve the living conditions of migrants. In this study, we use only aggregated data in order to protect personal data. The results demonstrate that satellite and mobile data sources can be used for fine-grained population mapping.

**Keywords**—Mobile data, Satellite imaging, Migration indicators, Computational social science

### I. GİRİŞ

Telekomünikasyon (Telekom) şirketlerinin abone cihazlarından topladığı veriler (çağrı, internet ve SMS kayıtları), insan davranışlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi konusunda araştırmacılara büyük fırsatlar sunmaktadır. Cep telefonu verilerinin potansiyelinin yüksek olduğu alanlardan biri önemli veri ve bilgi açığı olan göç çalışmalarıdır. Göç verileri genellikle ulusal istatistik kurumları veya uluslararası kuruluşlar (Birleşmiş Milletler, Dünya Bankası v.b.) tarafından

oluşturulmaktadır. Bu verilerin toplanması ve derlenmesi uzun zaman gerektiren maliyetli işlemlerdir. Ayrıca veriler genellikle yılda bir, veya daha az sıklıkla toplandığı için mevsimsel göç, göç rotaları, göçmenlerin demografik özellikleri üzerine bilgi açıklıkları bulunmaktadır.

Yakın zamanda göçmenlere dair toplanan veri ve bilgi açıklıklarının tamamlanması açısından büyük verinin önemi anlaşılmaya başlanmıştır. Büyük veri göç üzerine toplanan verilerin zamansal, mekansal ve demografik detayını arttırmak, göçün sebeplerinin anlaşılması için kullanılabilir. Özellikle cep telefonu verisi ile çeşitli göç göstergeleri üreterek bilgi açıklıklarını kapatmak mümkündür. Bu çalışmada amacımız cep telefonu konumlandırma verisi (xDR) [1], uydu görüntüsü bazlı gece ışığı (*night light*) ve arazi kullanımı verisi kullanarak detaylı göçmen stoku haritaları oluşturmaktır. Göçmen stokları üzerine toplanan verilerin detaylılık seviyesinin artırılması mekansal ayrışmanın (*segregation*) ve göç sebeplerinin daha iyi anlaşılması için önemlidir.

### II. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR

Arama Ayrıntı Kayıtları (*call detail records* - CDR) ve xDR gibi cep telefonu veri kaynaklarının detaylı nüfus yoğunluğunu tahmin etmek ve haritalandırmak için kullanılması üzerine daha önce çalışmalar yapılmıştır [2], [3], [4], [5], [6], [7]. Cep telefonu ve uydu veri kaynaklarının beraber kullanılması nüfus yoğunluğu ve hareketliliği üzerine diğer veri kaynaklarından üretilmesi zor, yüksek zamansal ve mekansal çözünürlüğü olan demografik göstergeler üretmeye olanak verir. Cep telefonu veri kaynakları genel nüfusun haritalandırılması için kullanılmış olsa da, bunun göçmen stoklarının anlaşılması için kullanıldığı çalışmalar nadirdir. Bunun sebeplerinden biri cep telefonu veri setlerinin kişisel verinin hassas olması sebebiyle çoğunlukla demografik özelliklerle eşleşmeden, gruplanarak hazırlanmasıdır.

Cep telefonu verilerinden demografik bilgilere ulaşmanın birkaç yöntemi vardır [8]. İlk olarak, demografik işaretler oluşturarak abonelerin demografik özellikleri telekom operatörleri tarafından toplanabilir. Örneğin Türk Telekom, Boğaziçi Üniversitesi ve TÜBİTAK ortaklığıyla 2016-2019

Bu çalışma Avrupa Birliği Horizon 2020 Araştırma ve Yenilik Programı, 870661 numaralı proje ile desteklenmiştir. Düzeltilmemiş yazar kopyasıdır, telifi IEEE'dedir. Atf: Aydogdu, B., C. Balçık, S. Güneş, R. Momeni, A.A. Salah, "Fine-grained mapping of migrants in Istanbul using satellite imaging and mobile phone data," IEEE 31st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), İstanbul, 2023.

#### IV. METODOLOJİ

yılları arasında düzenlenmiş olan “Mülteciler İçin Büyük Veri” (Data for Refugees - D4R) yarışması Türkiye’deki Suriyeli mülteciler ve yerel halk arasında karşılaştırmalı insan davranış analizi yapılabilmesi için mülteci işaretleri kullanmıştır [9]. Bunun için kullanıcıların kayıt oldukları pasaport, mültecilere verilen kimlik numaraları ve indirimli mülteci tarifesine erişim kullanılmıştır. Bu tip işaretler her zaman elde edilemeyebilir ve belli bir miktar gürültü barındırmaktadır.

İkinci yöntem, mekansal olarak ayrıntılı resmi verileri cep telefonu verisi ile birleştirmektir<sup>1</sup>. Üçüncü yaklaşım, cep telefonu verisindeki abonelerin küçük bir alt kümesinin demografik özelliklerini anketler ile öğrenmek ve sonuçları tüm abone tabanına yapay öğrenme algoritmaları kullanarak yaymaktır [10]. Son olarak, uluslararası aramalarda veya telefon üzerinde yapılan iki taraflı işlemlerde tarafların ülke kodları kişilerin göçmenlik durumuna veya göç ettikleri ülkeye dair bilgi verebilir. Örnek olarak bir çalışmada Milano’daki göçmen sayısını detaylı olarak tahmin etmek için Milano’dan diğer ülkelerle yapılan uluslararası aramalar kullanılmıştır [7].

Cep telefonu verisine dayanan göçmen stoku göstergeleri belirli bir bölgede yaşayan göçmen nüfusun miktarı, demografik özellikleri ve nüfus miktarının zaman bağlı değişimi ile ilgilenmektedir. Resmi verilerin detayına ve kalitesine göre cep telefonu verisine olan ihtiyaç değişmektedir. Bu çalışmada D4R Yarışması’nda belirtilen yöntemle benzer şekilde, farklı göçmen grupları için demografik işaretler yaratılmıştır.

#### III. VERİ

Bu çalışmada HummingBird Avrupa Birliği H2020 Projesi çerçevesinde oluşturulmuş bir xDR veri seti [1], Dünya Gözlem Grubu (EOG) kaynaklarından oluşturulan gece ışığı uydu verileri ve açık olarak ulaşılabilen CORINE arazi verisi [11] kullanılmıştır. xDR verisi baz istasyonlarından alınan toplam sinyallerin menşei ülke bazında kümelenmesi ile oluşturulmuştur<sup>2</sup> [12]. xDR veri setleri hazırlanırken D4R veri yarışmasında önerilen etik ve teknik çerçeve izlenmiştir [9]. Gece ışığı verileri, Yerleşik Kutup Yörüngeli Uydu Sistemi (JPSS) üzerindeki Görünür ve Kızılötesi Görüntüleme Dizisi (VIIRS) Gece Gündüz Bantlı (DNB) uydu verilerinden elde edilmiştir ve Ocak 2021’den Aralık 2021’e kadar yıllık ortalama veri sağlamaktadır [13]. Türkiye’de telefon hattı alabilmek için 18 yaşından büyük olmak gerekmektedir. Bu sebeple bulgularımız sadece yetişkinler için geçerlidir. Resmi verilere göre İstanbul’da geçici koruma statüsündeki toplam Suriye uyruklu sayısı 2021 yılında 535,000 olup, bunların yaklaşık yüzde 85’inden fazlasının 18 yaşın üzerinde olduğunu tahmin etmek mümkündür<sup>2</sup>. İkamet iznli göçmenlerin ne kadarının yetişkin olduğuna dair bir resmi veri bulunmamaktadır. Bu çalışmada kullanılan xDR verisi tek bir operatörün İstanbul’daki baz istasyonlarından iki yıl içinde (1 Ocak 2020 - 31 Aralık 2021) toplanan ve birleştirilerek, anonim olarak analizi yapılan verilere dayanarak hesaplanmıştır, bu şekilde kişisel bilgilerin gizliliği korunmaktadır.

<sup>1</sup>Bu yöntem ancak yüksek kalitede ve çözünürlükte istatistiksel veri toplayan ve bunları paylaşan ülkeler için mümkündür.

<sup>2</sup>Kullanıcıların menşei ülkesi pasaport bilgileri kullanılarak oluşturulmuştur. Bu gruplama Suriyeliler hariç ülke seviyesinde değil, bölgesel düzeyde yapılmıştır.

<sup>3</sup>Türkiye’ye göç istatistiklerine aşağıdaki web sitesinden ulaşılabilir: <https://www.goc.gov.tr>

Çalışmamızda dört coğrafi veri katmanı kullanılmıştır; arazi kullanımı haritası, gece ışığı haritası, baz istasyonu haritası ve İstanbul mahalle sınırları. Bu katmanlar ayrı ayrı 103x103m ızgaralarla kesiltilerilerek işlenmiş ve her veri katmanı için ızgara tabanlı bir temsil oluşturulmuştur. Arazi kullanım verileri için, her bir ızgara hücresindeki farklı arazi kullanım kategorilerinin yüzdesi hesaplanmıştır. Gece ışığı verisi olarak, her bir ızgara hücresi için 2021 ortalama gece ışığı değeri alınmıştır. xDR verisi işlenirken öncelikle 2021 yılının tamamı için her ızgara hücresindeki saat başına ortalama sinyal sayısı hesaplanmıştır. Telefon antenlerinin tam konumu kullanılarak Voronoi hücreleri bulunmuş<sup>3</sup> ve antenin yakalama alanı yaklaşık olarak belirlenmiştir. Voronoi hücrelerinin ızgaralarla kesiltilmesi Formül 1 ile tanımlanmıştır [2].

$$\sigma_{c_i} = \frac{1}{A_{c_i}} \sum_{v_j} \sigma_{v_j} A_{(c_i \cap v_j)} \quad (1)$$

Burada  $\sigma_{c_i}$  ızgara hücresi  $i$ ’nin sinyal yoğunluğuna,  $\sigma_{v_j}$  baz istasyonu  $j$ ’nin Voronoi hücresi içindeki sinyal yoğunluğuna,  $A_{c_i}$  ızgara hücresi  $i$ ’nin alanına ve  $A_{(c_i \cap v_j)}$  Voronoi hücresi  $j$  ve ızgara hücresi  $i$ ’nin kesişim alanına denk gelmektedir.

İstanbul’un mahalle seviyesindeki 2021 nüfusunu gösteren veri Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) alınmıştır. Formül 1’de anlatılan yöntem kullanılarak İstanbul mahallelerinin ızgara hücreleri ile kesişimi ve her hücredeki nüfus miktarı hesaplanmıştır. Daha sonra farklı saatlerdeki sinyal verilerinin nüfus yoğunluğu ile korelasyonu incelenmiş ve tam geceyarısında alınan sinyallerin resmi verilerle en yüksek korelasyona sahip olduğunu gözlemlenmiştir. Sadece geceyarısındaki sinyal verileri kullanılarak telefon antenleri başına tüm yılın ortalama, toplam, minimum ve maksimum telefon sayısı özetlenmiştir.

Sinyal verileri ve nüfus arasındaki oran ancak belli bir nüfus miktarından sonra doğrusal bir hal almaktadır. Buna benzer bir durum başka çalışmalarda da gözlemlenmiştir [7]. Arazi kullanımı ve gece ışığı verisi kaynaklarından gelen özelliklerin nüfus ile olan ilişkisinin karmaşıklığı düşünüldüğünde rastgele orman (random decision forest) algoritması bu görev için uygun model olarak görülmektedir [7]. Rastgele orman, birden fazla karar ağacını birleştirerek çalışan popüler bir yapay öğrenme algoritmasıdır [14]. Bu yöntem, verileri analiz etmek ve sonuçlar çıkarmak için bu ağaçların çoğunluk oyuyla karar verir. Rastgele orman, yüksek doğruluk ve genelleştirme yeteneği sayesinde yüksek çözünürlükte nüfus yoğunluğu tahmini geliştirmek için uygun bir yaklaşımdır.

#### V. DENEYSSEL SONUÇLAR

ızgara modeli ile İstanbul şehri yaklaşık 300,000 hücreye bölünmüştür. Yapay öğrenme yaklaşımı için % 80 eğitim, % 20 test olacak şekilde veri bölünmüştür. Rastgele orman algoritması için hiperparametre uzayı ağaç sayısı, maksimum derinlik ve maksimum öznitelik sayısı (feature) ile tanımlanmıştır.

<sup>3</sup>Her Voronoi hücresi merkezinde bir anten bulundurulur ve kapsadığı noktalar için bu anten haritasındaki en yakın antendir. Bu şekilde antenlerin etkileşim alanını hücrelere ayıran matematiksel bir yöntemdir.

Hiperparametre optimizasyonu için (10, 50, 100) karar ağacı, en fazla (10, 20, 30, sınırsız) ağaç derinliği ve özelliklerin üç farklı dönüşümü (normal, log, karekök) olarak bir parametre uzayı tanımlanmıştır. Bu uzayda model seçimi eğitim kümesi üzerindeki beş katmanlı çapraz geçirme başarısına göre yapılmış, test kümesine bakılmamıştır. Modeller, standart performans ölçümleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Kullanılan veri	R-Kare ↑	Ortalama Kare Hata ↓
AKV, GIV, CTV	0.81	2346
AKV, CTV	0.78	2957
CTV	0.79	1820

TABLO I: Nüfus tahmini modellerinin değerlendirilmesi. Tüm modeller rastgele orman algoritması ile eğitilmiştir. AKV: Arazi kullanımı verisi, GIV: Gece ışığı verisi, CTV: Cep telefonu verisi.

Tablo I, model sonuçlarını göstermektedir. İlk model tüm veri kaynakları kullanılarak, ikinci model sadece cep telefonu ve arazi kullanımı verisi ile, ve son model sadece cep telefonu verisi ile eğitilmiştir. Sonuçlar sadece telefon verisini kullanarak bile başarılı sonuçlar alınması mümkün olduğunu göstermiştir. Özniteliklerin önem analizi yapıldığında cep telefonu verisinin yanısıra gece ışığının da önemli bir özellik olduğu görülmektedir.

Bu modeller 2021 yılı mahalle seviyesinde genel nüfus TÜİK nüfus verilerinin tahminini yapmak üzere, 2021 yılındaki sinyal verisi kullanılarak eğitilmiştir. Göçmen nüfuslarını tahmin etmek üzere ızgara hücre başına tahmin edilen genel nüfus göçmenlerden gelen sinyallerin toplam sinyallere olan oranı ile çarpılmıştır. Bu yöntem telekom verisinde göçmen gruplarla ilgili karşılaşılabilecek olası yanlışlıkları bulgularımıza yansıtmıştır. Eğer belli göçmen gruplarının telekom içerisindeki temsilinde gerçek göçmen nüfusa göre farklılıklar varsa, bunlar bizim tahminlerimizi etkileyecektir. Göç idaresi tarafınca paylaşılan resmi kayıtlar İstanbul'da 2021 yılında oturum izni olan 719,410 göçmen olduğunu göstermektedir<sup>4</sup>. Bunun dışında resmi kayıtlar en çok göçmenin geldiği ilk on ülkeyi göstermektedir, fakat İstanbul içinde hangi gruptan kaç kişinin yaşadığına dair bir istatistik bulunmamaktadır. Türkiye'ye en çok göçmen gönderen ilk on ülkeden gelen göçmen sayıları İstanbul'daki nüfusa göre uyarlanarak Tablo II'deki resmi sayılar üretilmiştir.

Şekil 1 bu yöntem kullanılarak oluşturulan göçmen nüfus dağılımını İstanbul haritasında göstermektedir. Buradaki sayılara mülteciler dahildir. İstanbul'un dört ilçesi göçmen nüfusun en yoğun yaşadığı ilçeler olarak belirlenmiştir; Esenler, Bağcılar, Zeytinburnu ve Fatih. Bunun ardından Esenyurt, Sultangazi, Beyoğlu ve Şişli ilçeleri gelmektedir. Suriyeliler göçmenlerin çok büyük bir kısmını oluşturduğu için Suriyelilerin dağılımı buradaki Şekil 1'e çok yakındır. Harita üzerinde 1 numaralı bölge Esenler, 4 numara Bağcılar, 7 numara Sultangazi, 8 numara Esenyurt, ve 3 numaralı bölge Fatih'e denk gelmektedir. Afganların bulunduğu Güney Asya grubunun ise haritada 2 numara ile gösterilen Zeytinburnu'nda yoğunlaşmış bir biçimde yaşadığı gözlenmiştir.

<sup>4</sup>İstatistiklere Göç İdaresi'nin sitesinden ulaşmak mümkündür: <https://en.gov.gov.tr/residence-permits>

Sahra Altı Afrika ülkelerinden gelen göçmenler ise 5 numara ile gösterilen Beyoğlu ve 6 numaralı Şişli ilçelerinde yoğunlaşmıştır. Diğer grupların dağılımlarında ufak farklılıklar olsa da mekansal olarak en kümelenmiş yaşayan grubun Afganların bulunduğu Güney Asya grubu olduğu tespit edilmiştir.

## VI. TARTIŞMA VE VARGILAR

Bu çalışma cep telefonu ve uydu verilerini kullanarak detaylı göçmen stoku göstergeleri üretmeyi amaçlamıştır. Sonuçlar, büyük veri kullanılarak göçmenlerin şehir içindeki dağılımının başarılı bir şekilde görselleştirilebileceğini göstermiştir. İkincil kaynaklardan gelen bilgiler Afganların, ve Suriyelilerin bulunan ilçelerde yaşadığını doğrulamaktadır. Toplam göçmen sayıları ile ilgili telekom verisindeki yanlışlıklardan dolayı bu yöntem ile kesin bir çıkarım yapmak zordur. Telekom verisinde yabancıların temsil oranı resmi veriye yakın olmasına rağmen, göçmenlerin yıl içinde İstanbul'da daha az süre geçiriyor olması mümkündür. Bunun dışında telekom verisinde farklı göçmen gruplarından olan müşterilerin sayısal dağılımı, resmi verideki dağılıma yakındır [1].

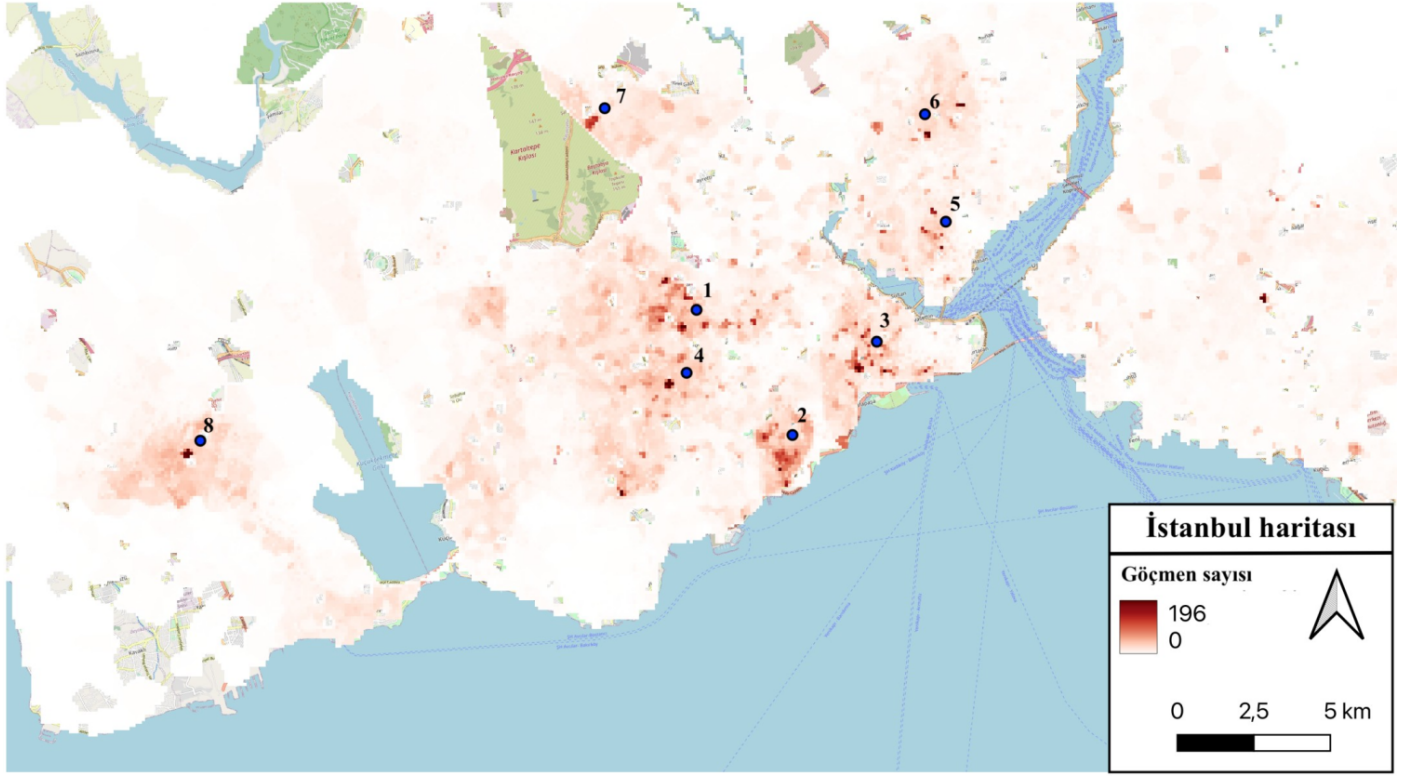
Göçmen grup	Yaklaşık resmi sayı	Tahmin edilen
Suriye	535,000	462,921
Ortadoğu (Suriye hariç)	140,000	50,497
Güney Asya	30,000	33,489
Orta Asya	134,000	34,479
Kafkas	70,000	18,339

TABLO II: İstanbul'daki farklı göçmen stoklarının cep telefonu verisi kullanılarak elde edilen tahmini ve resmi sayılar ile karşılaştırılması.

Bulduğumuz göçmen stoku miktarı Suriyeliler için resmi kayıtlara yakın bir sonuca ulaşırken, Suriyeli haricinde kalan göçmenlerin toplam sayısı 170,532 şeklinde bulunmuştur. Tablo II'de alıntılanan Suriye grubu haricindeki göçmen sayılarına, bulduğumuz toplam sayıyı resmi kayıtlara eşleyecek şekilde normalizasyon işlemi uygulandıktan sonra ulaşılmıştır. Tablo II'de görüldüğü üzere Afganların olduğu Güney Asya grubu bulunduğu grup yaklaşık resmi sayıdan fazla çıkmıştır. Toplam sayılar yanlışlıktan etkilenmiş olmasına rağmen göçmen stoklarının farklı gruplara göre dağılımına bakıldığında sonuçlar bize Güney Asya grubunun resmi verilerde iddia edilenden daha fazla olduğunu söylemektedir.

Toplam göçmen stokunun gerçek değerinin altında bulunmasının sebeplerinden bir tanesi telekom verisinin yanlışlığının bu rakamlara yansımış olması olabilir. Bu ihtimali ölçmek üzere İstanbul'da yaşayan yabancı müşterilere ait numaraların Türkiye'ye müşterilere olan oranlarına bakılmıştır. Mülteciler ve diğer yabancılar için telekom verisindeki oran, resmi kayıtlardaki orana yakın çıkmıştır. Burada yıllık sinyal ortalamalarına bakıldığı göz önüne alınırsa, oturma izni kullanıcılarının bir çoğunun yılın tümünü Türkiye'de geçirmiyor olması ve bu sebeple toplam sinyal miktar oranının az çıkıyor olması mümkündür. Bir başka ihtimal ise aktif olarak kullanılmayan numaraların oransal olarak göçmen kullanıcılar için daha yüksek olması olabilir.

Yaklaşımımız resmi verileri baz aldığı için toplam düzenli ve düzensiz göçmen sayılarının kestiriminde daha düşük



Şekil 1: İstanbul haritası üzerinde göçmen nüfusun detaylı dağılımı.

sayılar üretecektir. Fakat bu sayılarda belli bir oranın konduğu düşünülürse, göçmenlerin şehir içindeki dağılımı konusunda detaylı bir resim elde etmek mümkün olmuştur. Bu resimde olası yanlışlık düzensiz göçmenlerin şehrin bir bölümünü farklı bir oranda kullanıyor olması ile ortaya çıkabilir. Dolayısıyla, düzensiz göç ile ilgili öngörüler bu resmin yorumlanmasında önem taşıyacaktır. Ayrıca yaptığımız analizde çocuk sayıları (resmi olarak cep telefonu hattı sahibi olmadıkları için) bulunmamaktadır. Toplam göçmen sayısı buna göre yukarı ölçeklenmelidir.

#### KAYNAKÇA

- [1] B. Aydogdu, A. A. Salah, O. Ones, and B. Gurbuz, "Description of the mobile CDR database," *HumMingBird Project Deliverable*, vol. 6, no. 1, 2021. [Online]. Available: <https://hummingbird-h2020.eu/publications>
- [2] P. Deville, C. Linard, S. Martin, M. Gilbert, F. R. Stevens, A. E. Gaughan, V. D. Blondel, and A. J. Tatem, "Dynamic population mapping using mobile phone data," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, no. 45, pp. 15 888–15 893, 2014.
- [3] H. Sterly, B. Hennig, and K. Dongo, "'calling abidjan'—improving population estimations with mobile communication data (ipemcoda)," *Mobile Phone Data for Development-Analysis of Mobile Phone Datasets for the Development of Ivory Coast*, pp. 108–114, 2013.
- [4] Z. Liu, T. Ma, Y. Du, T. Pei, J. Yi, and H. Peng, "Mapping hourly dynamics of urban population using trajectories reconstructed from mobile phone records," *Trans. in GIS*, vol. 22, no. 2, pp. 494–513, 2018.
- [5] J. Chen, T. Pei, S.-L. Shaw, F. Lu, M. Li, S. Cheng, X. Liu, and H. Zhang, "Fine-grained prediction of urban population using mobile phone location data," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 32, no. 9, pp. 1770–1786, 2018.
- [6] P. Kubíček, M. Konečný, Z. Stachoň, J. Shen, L. Herman, T. Řezník, K. Staněk, R. Štampach, and Š. Leitgeb, "Population distribution modelling at fine spatio-temporal scale based on mobile phone data," *International Journal of Digital Earth*, 2018.
- [7] R. W. Douglass, D. A. Meyer, M. Ram, D. Rideout, and D. Song, "High resolution population estimates from telecommunications data," *EPJ Data Science*, vol. 4, pp. 1–13, 2015.
- [8] B. Aydoğdu, R. Momeni, G. Subhi, C. Balcik, T. Bircan, and A. A. Salah, "Hummingbird interim report on migration and mobility indicators developed with mobile phone data," *HumMingBird Project Deliverable*, 2022. [Online]. Available: <https://hummingbird-h2020.eu/publications>
- [9] A. Salah, A. Pentland, B. Lepri, and E. Letouzé, *Guide to Mobile Data Analytics in Refugee Scenarios*. Springer, 2019.
- [10] J. E. Blumenstock, "Inferring patterns of internal migration from mobile phone call records: Evidence from Rwanda," *Information Technology for Development*, vol. 18, no. 2, pp. 107–125, 2012.
- [11] European Environment Agency, "European union, copernicus land monitoring service," 2018. [Online]. Available: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>
- [12] N. Basic, V. Lipovac, and A. Lipovac, "Practical analysis of xDR based signaling network performance and end-to-end QoS," in *Int. Conf. on Networked Digital Technologies*, 2012, pp. 34–45.
- [13] C. D. Elvidge, K. Baugh, M. Zhizhin, F. C. Hsu, and T. Ghosh, "Viirs night-time lights," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 38, no. 21, pp. 5860–5879, 2017.
- [14] L. Breiman, "Random forests," *Machine learning*, vol. 45, pp. 5–32, 2001.