

İkili Eşleme ve Hacimsel Nüfus Tahmini Teknikleri Kullanarak Nüfus Dağılımının Haritalanması¹

DOI NO: 023517340049648

Geliş Tarihi: 17.02.2017

Kabul Tarihi: 11.12.2017

Mustafa KÖSE²

Nicholas TATE³

Kevin TANSEY⁴

Özet

Nüfus verilerinin doğruluğu ve güvenilirliği, kamu ve özel sektör tesislerinin tasarımı desteklemek için ve nüfusa bağlı planlamalar yapabilmek açısından büyük önem arz etmektedir. Demografik veriler önceden tanımlanmış sayım bölgeleri ölçeğinde ulusal nüfus sayım kuruluşları tarafından sağlanır. Ancak, demografik veri kümeleri ile planlamacıların ve diğer kullanıcıların ihtiyaç duyduğu mekânsal birimlerin ölçeği farklılık gösterebilir. Bu sorunları çözmek ve istenilen ölçekte nüfus verileri üretmek amacıyla birçok nüfus tahmin teknikleri geliştirilmiştir. Bu çalışma ikili eşleme ve hacimsel tahmin metotlarını kullanarak nüfus sayım sonuçlarının rapor edildiği mekânsal ölçekten daha küçük ölçekte toplam nüfusu tahmin etmeyi ve bu tahmini değerlerin doğruluğunu test etmeyi hedeflemektedir. Hem şehir ölçeğinde hem de mahalle ölçeğinde 2011 nüfus sayım verilerinin varlığından dolayı Leicester şehri (Birleşik Krallık) örneklem olarak seçilmiştir. Elde edilen mahalleler ölçeğindeki tahmini nüfus değerleri, 2011 gerçek nüfus veri setleri ile karşılaştırılarak doğruluk analizleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılan her yöntem kendi varsayımları ve gerekli veri setlerinin doğruluğuna bağlı olarak farklı nüfus dağılım tahminleri üretmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nüfus Tahmini, İkili Eşleme Tekniği, Hacimsel Tahmin Tekniği, Leicester (Birleşik Krallık).

Mapping Population Distribution Using Binary and Volumetric Estimation Techniques

¹ Bu çalışma doktora tezinin bir bölümünden üretilmiştir (University of Leicester).

- Araştırmada kullanılan Hava fotoğrafları, sayısal mahalle ve nüfus verileri Ordnance Survey/EDINA kurumundan sağlanmıştır. © Crown Copyright/ database right 2013.

- Araştırmada kullanılan Sayısal Yükseklik Modelleri AirBus Defence and Space kurumundan elde edilmiştir.

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Afyonkarahisar, mustafakose@aku.edu.tr

³ Leicester Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Leicester City, Birleşik Krallık

⁴ Leicester Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Leicester City, Birleşik Krallık

Abstract

The accuracy and reliability of population data is of critical importance in supporting the design of public and private-sector facilities and for population based planning. Demographic data are usually supplied by national organisations at pre-defined census levels. However, demographic datasets may be required at planner and user-defined spatial units that can be different from the initial output levels. A number of population estimation techniques have been developed to address these problems and obtain population estimates in intended scales. This study is one of those attempts aimed at improving small-area population estimates by using spatial disaggregation models of: 1) binary mapping, and 2) volumetric estimation models. Leicester City (UK) has chosen as the study areas in which 2011 census results were released at the level of authority unit and neighborhoods. The predicted population values at output area level were compared with 2011 census datasets and assessed for accuracy. Each method generated different population estimates depending on their assumptions and required datasets.

Key Words: *Population Estimation, Binary Desimetric Mapping, Volumetric Estimation Technique, Leicester (United Kingdom).*

Giriş

Endüstri Devrimi (18. Yüzyıl) ile birlikte dünya genelinde nüfus artışı hız kazanmış ve küresel nüfus geçmiş yıllara nazaran daha hızlı artış eğilimi göstermiştir (Li ve Weng, 2005; Chen, 2002). Bununla birlikte Birleşmiş Milletlerin (BM) tahmini nüfus istatistiklerine göre şehirlerde ve kentsel alanlarda yaşayan nüfus kırsal alanlarda yaşayan nüfusa oranla devamlı bir şekilde artmaktadır. 2008 yılında dünya nüfusunun % 50 si kentlerde yaşarken bu oran 2014 yılında % 54 e yükselmiştir. Nüfus dağılımının çok hızlı değişmesinin ana nedenlerinden birisi nüfusun dinamik bir yapıya sahip olmasıdır. Bu dinamizm ve hareketlilikten dolayı doğal ve sosyal çevre ile nüfus yoğunluğu ve dağılımı arasında güçlü bir ilişki vardır. Nüfusun belirli kentsel alanlarda yoğunlaşması çevre yönünden duyarlı alanlara ve doğal kaynaklara zarar verebileceği gibi birçok sosyo-ekonomik ve yönetimsel problemler doğurabilir (Li ve Weng, 2005; Lu vd., 2006; Gerland vd., 2014). Nüfus artışıyla doğru orantılı olarak, şehirselleşme yerleri çevresine doğru genişlemekte ve ters orantılı olarak tarım alanları, ormanlık alanlar ve diğer boş araziler azalmakta ve bu değişim doğal çevrenin deformasyona uğramasına neden olmaktadır (Lu vd., 2006). Bu bağlamda insan kaynaklı çevresel problemleri en aza indirmek ve insan çevre ilişkisini tüm hatlarıyla irdelenmek için doğru ve güvenilir nüfus tahminlerine ve nüfus dağılım verilerine ihtiyaç vardır (Lu vd., 2006; Deng vd., 2010; Dong vd., 2010; Lu vd., 2010; Silván-Cárdenas vd., 2010). Doğal kaynakların sürdürülebilir şekilde kullanılması, sosyal tesislerin planlanması, uygulanabilir sağlık planlamasının yapılabilmesi ve endüstriyel planlamalar vb. için yerel ve merkezi yönetimler toplam nüfus sayısına ve nüfus dağılım

verilerine birinci derecede ihtiyaç duymaktadırlar (Smith vd., 2002; Deng vd., 2010). Ayrıca nüfus verileri planlamacılar, araştırmacılar ve politika yapanlar içinde önemli bir yere sahiptir.

Demografik veriler genel olarak ulusal nüfus sayımlarından elde edilmektedir (Li ve Weng, 2005; Dong vd., 2010; Lu vd., 2010). Nüfus sayımları doğru ve güvenilir bir şekilde insanların nerede yaşadığını belirlemeyi amaçlamaktadır (Smith ve Mandell, 1984; Wu vd., 2008). Kişisel bilgilerin saklanması ve gizliliğinin korunmasından dolayı nüfus sayım değerleri önceden belirlenmiş üniteler ölçeğinde rapor edilmektedir (Gregory, 2002; Su vd., 2010; Langford, 2013; Sridharan ve Qiu, 2013). Bu alansal sınırlar ve üniteler bir önceki nüfus sayımından sonraki sayımlara kadar yerleşim yerlerinin idari fonksiyonuna bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin çalışma alanının içerisinde bulunduğu Birleşik Krallık en son üç nüfus sayım verilerini farklı nüfus sayım üniteleri ölçeğinde açıklamıştır. Bundan dolayı belirli bir alanın uzun yıllar arasındaki nüfus dağılımını karşılaştırmak ve toplam nüfus değişimini tespit etmek zorlaşabilir (Gregory, 2002). Bu gibi problemler araştırmacıları istenilen ölçekte nüfus verileri elde etmek için yeni nüfus tahmin metotları arayışına sokmuştur. Ayrıca, nüfus sayımı yapılmayan yıllarda istenilen ölçekte (ülke, bölge, şehir veya mahalle) nüfus tahmini yapmak için geleneksel tahmin metotlarında demografik kayıtlar kullanılmıştır. Teknolojik gelişmelerle birlikte demografik verilere ek olarak çok çeşitli coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama (UA) verilerini kullanarak nüfus tahminleri üretilmiştir (Wu vd., 2005; Deng vd., 2010; Dong vd., 2010; Silván-Cárdenas vd., 2010). Wright (1936) Cape Cod şehrinin (Massachusetts, ABD) nüfus dağılım haritasını 1936 yılında hava fotoğraflarını kullanarak üretmiştir. Nüfus tahminlerinin yapılması ve nüfus dağılım haritalarının üretimi 1930'lu yıllarda başlasa da bilimsel çalışmalar ve yazılan akademik makaleler uzaktan algılama teknolojisinin nüfus çalışmalarında 1950'li yıllardan itibaren kullanıldığını göstermektedir (Li ve Weng, 2005; Silván-Cárdenas vd., 2010). Son zamanlarda nüfus çalışmalarında uydu görüntüleri ve coğrafi bilgi sistemi tabanlı veriler beraber kullanılmaya başlamıştır (Deng vd., 2010; Dong vd., 2010). Bu istatistiksel ve mekânsal bilgileri yardımcı veri olarak kullanan metotlar gerçek nüfus değerlerine yakın tahmini sonuçlar üretmiştir (Li ve Weng, 2005; Lu ve diğ. 2011).

Bu çalışmanın amacı raster ve vektör tabanlı coğrafi veri setlerinin desimetrik (İkili eşleme ve Hacimsel tahmin metodu) nüfus yoğunluğu haritalama tekniklerinde yardımcı veri olarak kullanılabilirliğini ölçmektir. Nüfus tahmininde kullanılan her iki metot birbirinden farklı uzaktan algılama verileri ve mekânsal bilgilere ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışmada kullanılan yardımcı veriler, LiDAR tabanlı sayısal yükseklik modelleri, yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları ve vektör tabanlı (poligon, nokta)

tabanlı bina verileridir. Seçilen tahmin metotları Leicester şehri için ayrı ayrı uygulanmış ve elde edilen tahmini nüfus değerleri 2011 Birleşik Krallık nüfus sayım sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

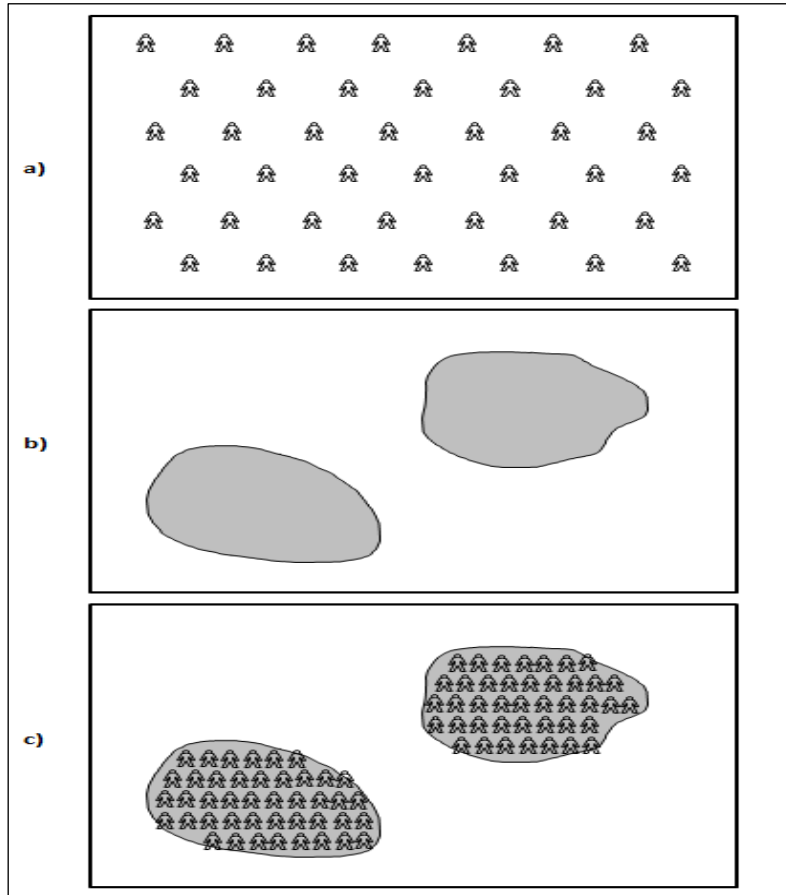
1.1. İkili Eşleme (Binary Dasymeric Mapping) Metodu

Bu teknik temelde bir haritalama tekniği olarak kullanılsa da (Langford ve Unwin, 1994) zamanla coğrafi verilerin varlığına bağlı olarak nüfusun dağılımını haritalamak amacıyla kullanılmıştır (Langford, 2007; Eicher ve Brewer, 2001; Cockings vd., 1997; Fisher ve Langford, 1995). Standart nüfus dağılım harita teknikleri toplam nüfusun homojen bir biçimde tüm alana dağıldığını varsayarken (insanların mekana düzgün bir şekilde yerleştikleri) ikili eşleme metodu toplam nüfusun heterojen bir biçimde dağıldığını varsaymaktadır (Flowerdew ve Green, 1992; Langford, 2007; Mennis, 2009). Yardımcı verilerin varlığına bağlı olarak çalışma alanı meskun ve meskun olmayan alanlar olarak iki sınıfa ayrılır ve toplam nüfus sadece yerleşimin bulunduğu iskana açık alanlara dağıtılır (Şekil 1). Gerçek hayatta nüfusun homojen bir dağılım göstermesi yerleşime uygun olmayan alanların varlığından dolayı mümkün değildir. Bu sebepten, ikili eşleme tekniği kullanılan yardımcı verilerin doğruluğuna bağlı olarak daha doğru tahmini sonuçlar verecektir (Bielecka, 2005; Mennis, 2009,). Son zamanlarda, uzaktan algılama verileri, hava fotoğrafları, arazi örtüsü/kullanım haritaları ikili eşleme tekniğinde yardımcı veri olarak sıklıkla kullanılmaya başlamıştır. Bu veriler çalışma sahasını meskun ve meskun olmayan alanların sınıflanmasında yardımcı olmaktadır. Boş araziler, ormanlık alanlar, su yüzeyleri ve tarım arazileri meskun olmayan alanlara örnek verilebilir. İkili eşleme metodunun en büyük avantajı teorik olarak çok basit ve uygulanması kolaydır (Eicher ve Brewer, 2001; Langford ve Harvey, 2001; Bielecka, 2005; Mennis, 2009). Meskûn olmayan alanlar sıfır (0) ve meskûn alanlar bir (1) olarak değerlendirilerek belirli alandaki toplam nüfus sadece sayısal olarak değeri olan alanlara dağıtılır (Mennis, 2009; Mennis ve Hultgren, 2006). Böylece nüfusun ikamet etmediği yerleşime uygun olmayan alanlar hesaba katılmayarak dağılım haritaları üretilir. Bu metodun dezavantajı ise nüfus dağılımı meskun alanlarının yerleşim ve yapılaşma özelliğine göre farklılık gösterbilir. Bazı yerleşim alanlarında yükseltisi düşük olan müstakil evler dominant olabilirken bazı bölgelerde yüksekliği fazla olan apartmanlar ve çok katlı binalar dominant olabilir. Bundan dolayı meskun alanlar içerisinde farklı nüfus yoğunlukları meydana gelir. İkili eşleme tekniği yerleşim içerisindeki bu farklılığı ölçemez (Maantay vd., 2007; Langford, 2006). İkili eşleme metodu Fisher ve Langford (1995) tarafından formüle edilmiştir.

(1.1)

$$\hat{P}_t = \sum_{s=1}^S \frac{A_{tsp} P_s}{A_{sp}} = \sum_{s=1}^S A_{tsp} d_{sp}$$

Formülde: \hat{P}_t hedeflenen alanın tahmini nüfusu,
 A_{tsp} nüfus dağılım haritaları üretmek için belirlenen meskun alanlar,
 P_s nüfus dağılımı hesaplanan alanın toplam nüfusu
 A_{sp} arazi kullanım haritasında meskun alan olarak belirlenen alanın toplam nüfusu,
 S toplam mahalle sayısı, ve
 $d_{sp} = \frac{P_s}{A_{sp}}$ meskun alanların nüfus yoğunluğuna karşılık gelmektedir.



Şekil 1. İkili Eşleme metodunun grafiksel gösterimi. a) nüfus eşit olarak dağılmış b) çalışma sahasındaki meskun alanlar (gri) ve yerleşime uygun

olmayan alanlar (beyaz) belirlenmiş, c) toplam nüfus sadece meskun alanlara dağılmış.

1.2. Hacimsel Nüfus Tahmin (Volumetric Estimation) Metodu

Hacimsel tahmin metodu üç boyutlu verileri kullanarak nüfus dağılım haritaları üreten bir tekniktir (Lwin ve Murayama, 2010; Langford, 2013; Sridharan ve Qiu, 2013). Üç boyutlu sayısal yükseklik modellerinin varlığına bağlı olarak desimetrik nüfus yoğunluğu haritaları üretiminde bu yöntem kullanılmaya başlamıştır (Qiu vd., 2010). İki boyutlu yardımcı verilerin kullanıldığı desimetrik teknikler sadece yatay olarak nüfusun dağılımını hesaplamaktadır. Gerçek hayatta yerleşim alanlarındaki konutların yapısına bağlı olarak nüfus sadece yatay olarak değil aynı zamanda dikey bir dağılımı göstermektedir. Yüksek katlı bina ve apartman sayısının fazla olduğu alanlarda daha fazla insan yaşarken yüksekliği az olan müstakil evlerin dominant olduğu alanlarda daha az insan yaşamaktadır. Belirli bir alanda nüfus yoğunluğu hesaplanırken alan içerisindeki konut farklılıklarını hesaba katmak için hacimsel tahmin metodlarına ihtiyaç duyulmuştur. Bu teknik belirli bir alandaki meskûn konutların hacimsel boyutuna ve binalardaki kat sayısına bağlı olarak o alandaki nüfus yoğunluğunu ve nüfusun dağılımını yatay ve dikey boyutta hesaplar (Şekil 2). Hacimsel nüfus tahmin metodu Lwin ve Murayama (2010) tarafından formüle edilmiştir.

$$BP_i = \left(\frac{CP}{\sum_{k=1}^n BV} \right) BV_i \quad (1.2)$$

Formülde: BP_i mesken olarak kullanılan binaların toplam nüfusu,

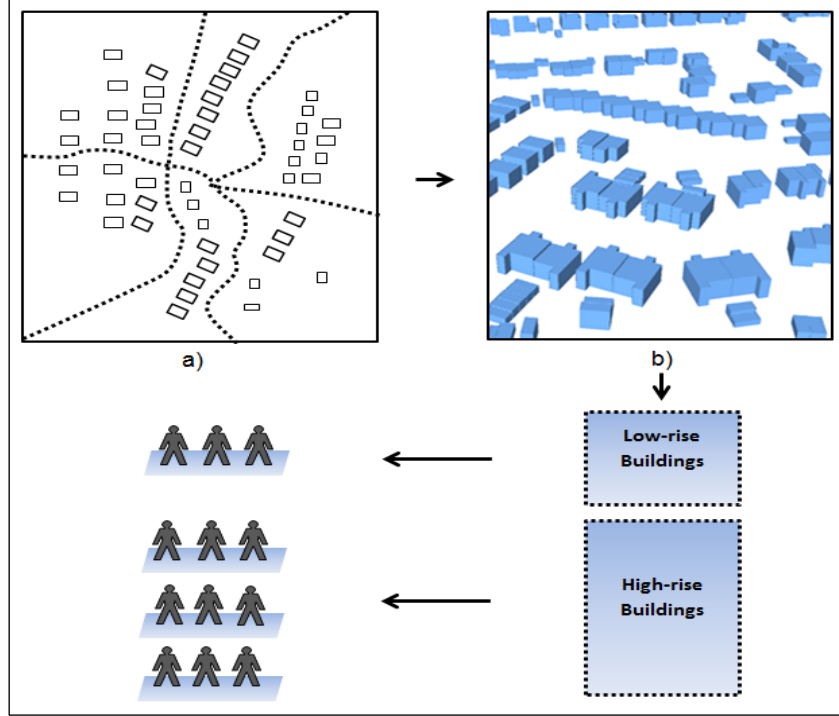
CP mahallelerin toplam nüfusu,

BV_i meskun binaların toplam hacmi

n her bir mahallenin toplam mesken sayıları,

k toplam indekslerine karşılık gelmektedir.

Üç boyutlu verilerin varlığına bağlı olarak bu tekniğin kullanımı sıklık göstermiştir. LiDAR tabanlı veriler sayısal yükseklik modellerli konutların hacimsel boyutunu ölçmede kullanılan güçlü bir veri setidir (Lwin ve Murayama, 2010; Sridharan ve Qiu, 2013). Ayrıca bu tahmin yöntemleri mekânsal verinin varlığına bağlı olarak şehirsal ya da daha büyük bölgesel bazda nüfus dağılım tahminleri üretilebilir. Hacimsel nüfus tahmin metodunun dezavantajı ise ekonomik durumu iyi olan bireyler hacimsel olarak büyük evlerde yaşayabilirken ekonomik yönden daha fakir bireyler küçük hacimli meskenlerde yaşayabilirler.

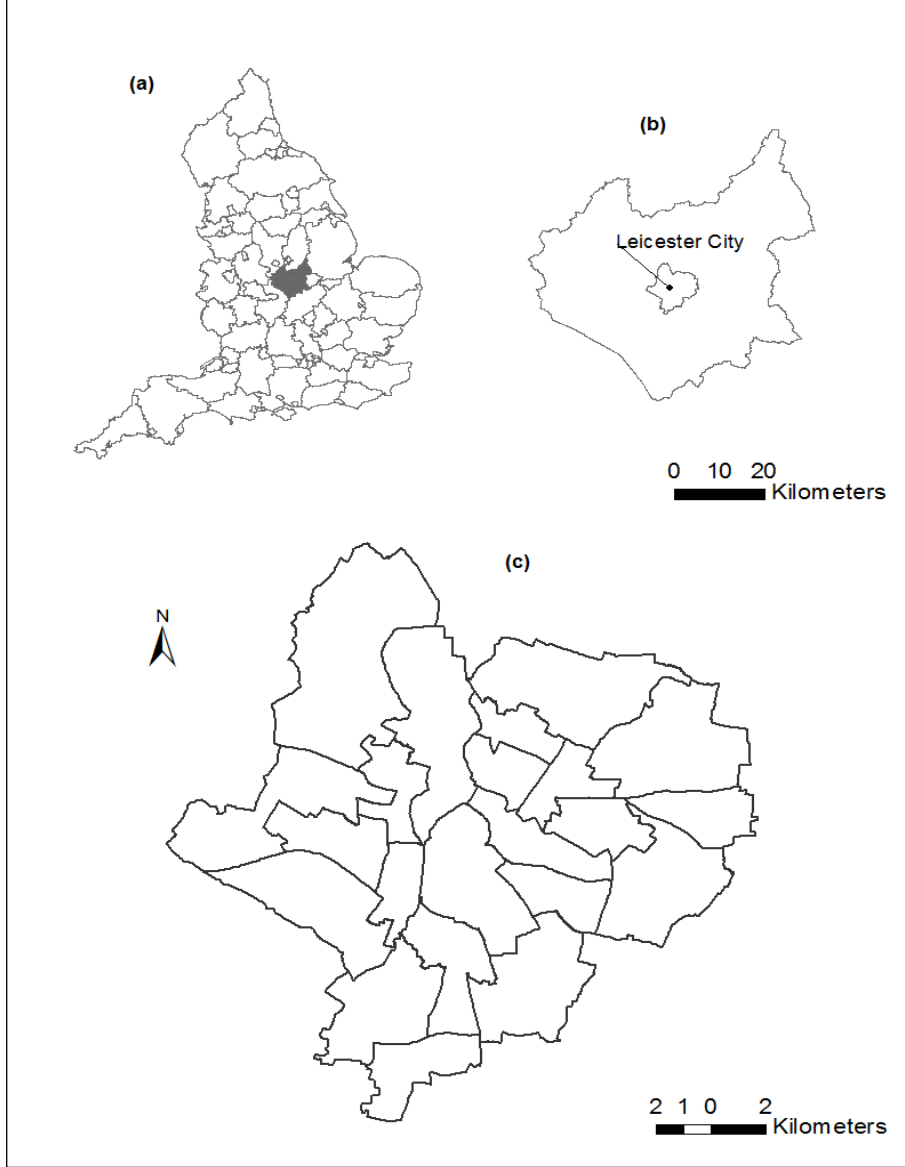


Şekil 2. Hacimsel tahmin metodunun grafiksel gösterimi; a) tüm binaların gösterimi ve b) sayısal yükseklik modelleri yardımıyla binaların yükseltisinin ölçülmesi ve yükseltisi fazla ve az olan binaların gösterimi.

Çalışma Alanı

Çalışma alanı doğu İngiltere'nin orta kısmında yer alan Leicestershire eyaletinin merkezi olan Leicester şehrini kapsamaktadır. Leicester şehri Merkez belediyesinin sınırlarını kapsayacak şekilde çalışma alanı belirlenmiş ve nüfus tahminleri üretilmiştir. İngiltere Nüfus Organizasyonu (Office for National Statistics) her 10 yılda bir yapılan nüfus sayımı sonuçlarını hiyerarşik olarak ülke ölçeğinden mahalle ölçeğine kadar rapor etmektedir. Leicester şehrinin yüzölçümü 72.32 km² olup şehir 22 nüfus bölgesi (Census Ward) ve 969 küçük nüfus sayım mahallelerinden (Census Output Area) oluşmaktadır (Şekil 3). Nüfus sayım yıllarında bu bölgeler ölçeğinde nüfus sayımı sonuçlarına ulaşılabilir. 2011 nüfus sayımı sonuçlarına göre toplam nüfus 329.839 kişi olup ve çalışma alanında kilometrekareye 4.560 kişi düşmektedir. Bu çalışma alanı Birleşik Krallık'ta nüfus yoğunluğunun en fazla olduğu yerlerin başında gelmektedir (ONS-2011 UK nüfus Sayımı Sonuçları). Hiyerarşik olarak hem şehir ölçeğinde hem de mahalle ölçeğinde 2011 nüfus sayım verilerinin varlığından dolayı Leicester şehrinin tahmini nüfus değerleri küçük sayım mahalleleri (Output

Areas) ölçeğinde üretilmiştir. Seçilen her iki tahmin modellerinin kullanılabilirliğini test etmek ve doğruluk analizi yapmak için Leicester şehrinin 2011 nüfus sayımı verileri kolaylık sağlamıştır.



Şekil 3. Çalışma sahası: a) Leicestershire eyaletinin lokasyon haritası, b) Leicester şehri idari bölge sınırları ve c) Leicester şehrindeki nüfus bölgeleri. Tüm hakları Ordnance Survey/EDINA kurumuna aittir. © Crown Copyright/database right 2013.

Materyal ve Metot

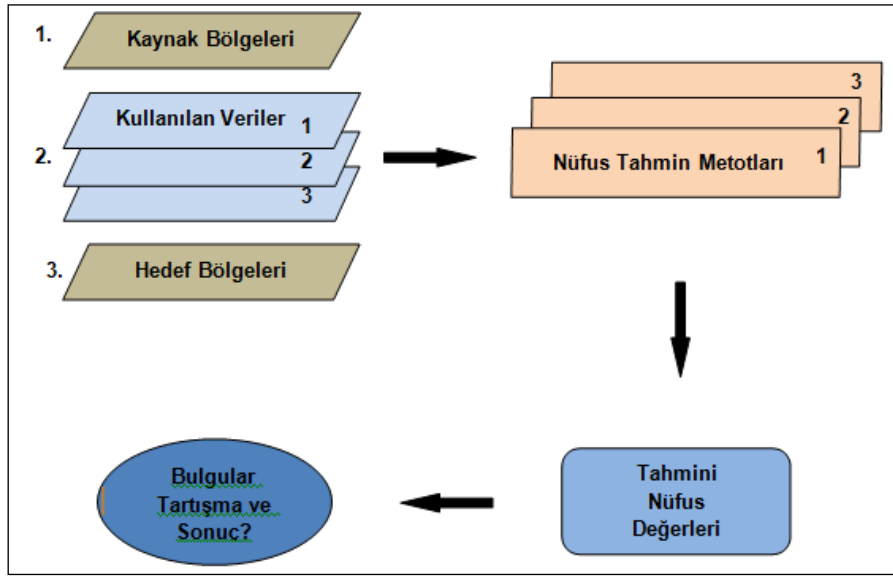
Bu çalışmada Temmuz 2010 yılına ait 25 cm mekânsal çözünürlüğe sahip hava fotoğrafları (Ordnance Survey, 2012) ve 2002 yılına ait 1 metre mekânsal çözünürlüğü olan sayısal yüksekli modeli (Astrium Ltd. 2014) kullanılmıştır. Ayrıca Ordnance Survey (Birleşik Krallık Ulusal Haritalama Kurumu) tarafından oluşturulmuş vektör tabanlı bina poligonları ve mahalle verilerinden yararlanılmıştır (Tablo 1). Toplanan veriler dijital formatta ve aynı ölçekte olması Coğrafi Bilgi Sistemlerinde analiz edilmesini kolaylaştırmıştır. Hava fotoğrafları ENVI4.7 resim işleme programı kullanılarak sınıflandırılmış ve sınıflandırılmış görüntüler ile sayısal yükseklik modelleri mahalle ölçeğinde nüfus tahmini yapmak için ArcGIS programında veri seti olarak kullanılmıştır. Seçilen tahmin metotlarında elde edilen verilerin kullanımına göre bu yardımcı verilerden yararlanılarak nüfus yoğunluğu haritaları üretilmiştir (Şekil 4).

Tablo 1. Kullanılan veriler kaynağı, yılı ve çözünürlüğü. Tüm hakları Ordnance Survey/EDINA kurumuna aittir. © Crown Copyright/database right 2013.

Yardımcı Veriler	Veri kaynağı	Yıl	Çözünürlük
SYM (DEMs)	Airbus Defence and Space	2012	Raster 1 m ²
Hava Fotoğrafı	Ordnance Survey – MasterMap [®]	2010	Raster 0.25 m ²
Bina Poligonları	Ordnance Survey – Edina	2012	Vektör - poligon
Nüfus Bölgesi	Ordnance Survey – InFuse	2012	Vektör - poligon
Mahalle Verisi	Ordnance Survey – Edina	2013	Vektör - poligon

İkili eşleme tekniğinde, ilk olarak hava fotoğrafları kontrollü sınıflama tekniğini (Maximum Likelihood) kullanarak arazi kullanım haritası oluşturulmuştur. İkinci aşamada şehir alanı sınıfı ayrı tutularak diğer iskân alanı olamayan sınıflar birleştirilerek meskûn alanlar ve meskûn olamayan alanlar olarak ikili sınıflandırma yapılmıştır. Daha sonra yerleşim alanlarına '1' ve yerleşime uygun olmayan alanlara '0' değeri vererek toplam nüfus sadece meskûn alanlara dağıtılarak tahmini nüfus dağılım haritaları üretilmiştir. Hacimsel tahmin metodunun da ise ilk olarak yerleşim sahasındaki binaların hacminin hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla şehir içerisindeki binaların alanı, yüksekliği ve hacim değerleri ArcGIS programı kullanılarak hesaplanmıştır. Birinci aşama olarak vektör tabanlı poligonlar ve raster tabanlı sayısal yükseklik modelleri birleştirilmiş ve çalışma

alanındaki her bir konutun yüksekliği ayrı ayrı hesaplanmıştır. İkinci aşamada binaların toplam alanı ile yüksekliği çarpılarak her binanın hacimsel değeri elde edilmiştir. En son aşamada toplam ONS tabanlı nüfus değerleri meskûn alanlarda yer alan her binanın hacim değerine göre dağıtılmış her bir mahalle için tahmini nüfus yoğunluğu ölçülerek nüfus dağılım haritaları üretilmiştir. Nüfus tahminlerinin doğruluğunu analiz etmek için Karesel ortalama hata (Root mean square error), regresyon katsayısı (R squared), oransal hata (relative error) ve yüzdelik hata (percentage error) ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler tahmin edilen nüfus değerlerinin gerçek nüfusa yakınlığını ölçmektedir.



Şekil 4: Seçilen metotların nüfus tahminlerini üretiminde uygulama aşamalarının grafiksel gösterimi

Bulgular ve Tartışma

Giriş bölümünde vurgulandığı gibi birçok mekânsal ve istatistiksel veri kümeleri nüfus dağılım haritaları üretiminde ve önceden belirlenen coğrafi sahanın toplam nüfusunu tahmin etmede yardımcı veri olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada hava fotoğrafları ve sayısal yükseklik modelleri desimetrik haritalama tekniğinde yardımcı veri olarak kullanılmış ve ikili eşleme ve hacimsel tahmin metotları uygulanarak nüfusun mekânsal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Temel olarak iki boyutlu uydu görüntüleri ve üç boyutlu sayısal yükseklik modellerinin meskûn alanların ve içerisindeki binaların hacimsel değerlerini ölçmede kullanılmıştır. Böylece yüksek çözünürlüklü (0.25 m) hava fotoğrafları ile sayısal yükseklik modellerinin nüfus dağılım tahminlerinde kullanılabilirliği sorgulanmıştır. Seçilen

desimetrik haritalama tekniği Leicester şehrine uygulanarak her iki metodunda yükseltisi az olan müstakil evlerin dominant olduğu yerleşim alanları ile yükseltisi fazla olan apartman ve çok katlı binaların dominant olduğu alanlardaki performansı karşılaştırılmıştır. Yardımcı veriler vasıtasıyla, desimetrik haritalama tekniği kullanılarak çalışma sahasının meskûn alanları ile meskûn alan olmayan arazi kümeleri birbirinden ayrılarak meskûn ve meskûn olmayan arazi zonları üretilmiştir (Şekil 5, 6 ve 7). İkinci adım olarak bu meskûn alanların büyüklüğüne göre toplam nüfus tüm alana dağıtılarak her bir mahallenin nüfus yoğunluğu belirlenmiştir (Şekil 8). Dolayısıyla toplam nüfus sadece ikili eşleme tekniğiyle yerleşim yerindeki meskûn alanlarının büyüklüğüne ve hacimsel tahmin metoduyla yerleşim yerlerindeki her bir meskenin hacimsel değerine göre dağıtılmıştır.

Elde edilen tahmini nüfus değerleri 2011 nüfus sayımı gerçek toplam nüfus sonuçlarıyla karşılaştırılarak doğruluk analizleri yapılmıştır. Doğruluk analizlerinde Tablo 2 de sıralanan birbirinden farklı hata ölçüm teknikleri uygulanmıştır. Uygulanan desimetrik haritalama teknikleri kullanılan yardımcı veri setlerine bağlı olarak gerçek nüfus değerlerine yakın tahmini nüfus dağılım haritaları üretilmiştir. Çalışma alanının hava fotoğrafı ve arazi örtüsü/kullanım haritası ile üretilen nüfus yoğunluğu dağılım haritaları karşılaştırıldığında nüfusun meskûn alanlarda yoğunlaştığı ve yerleşime uygun olmayan alanlarda insanların yaşamadığı açık şekilde görülmektedir (Şekil 5, 6, 7 ve 8).

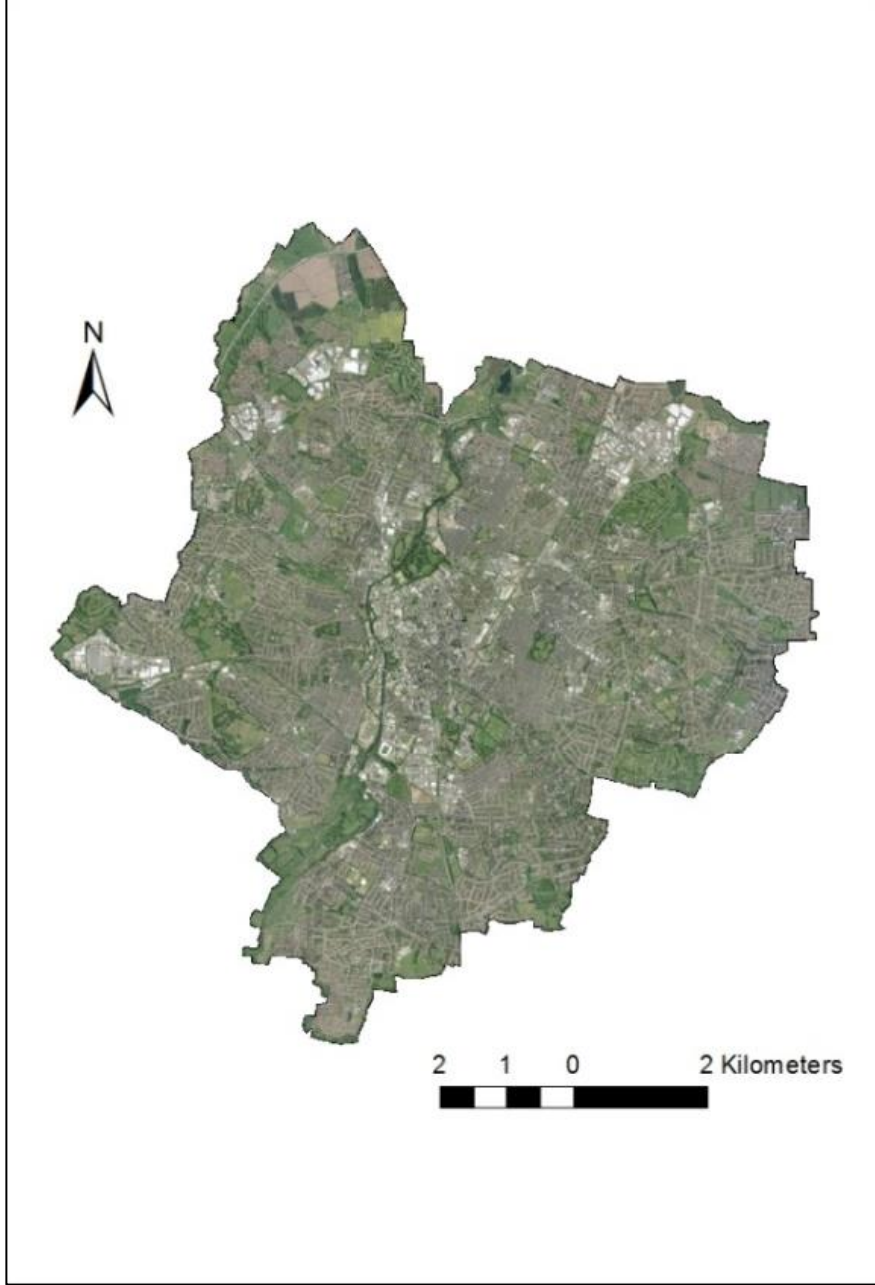
Tablo 2. Uygulanan Metotların Tahmini Nüfus Değerlerinin Doğruluk Analizi

Hata Ölçümleri	İkili Eşleme Metodu	Hacimsel Tahmin Metodu
Regresyon Katsayısı	0.780	0.735
Karesel Ortalama Hata	0.642	0.769
Oransal Hata	0.0825	0.0841
Yüzdellik Hata	8.25%	8.41%

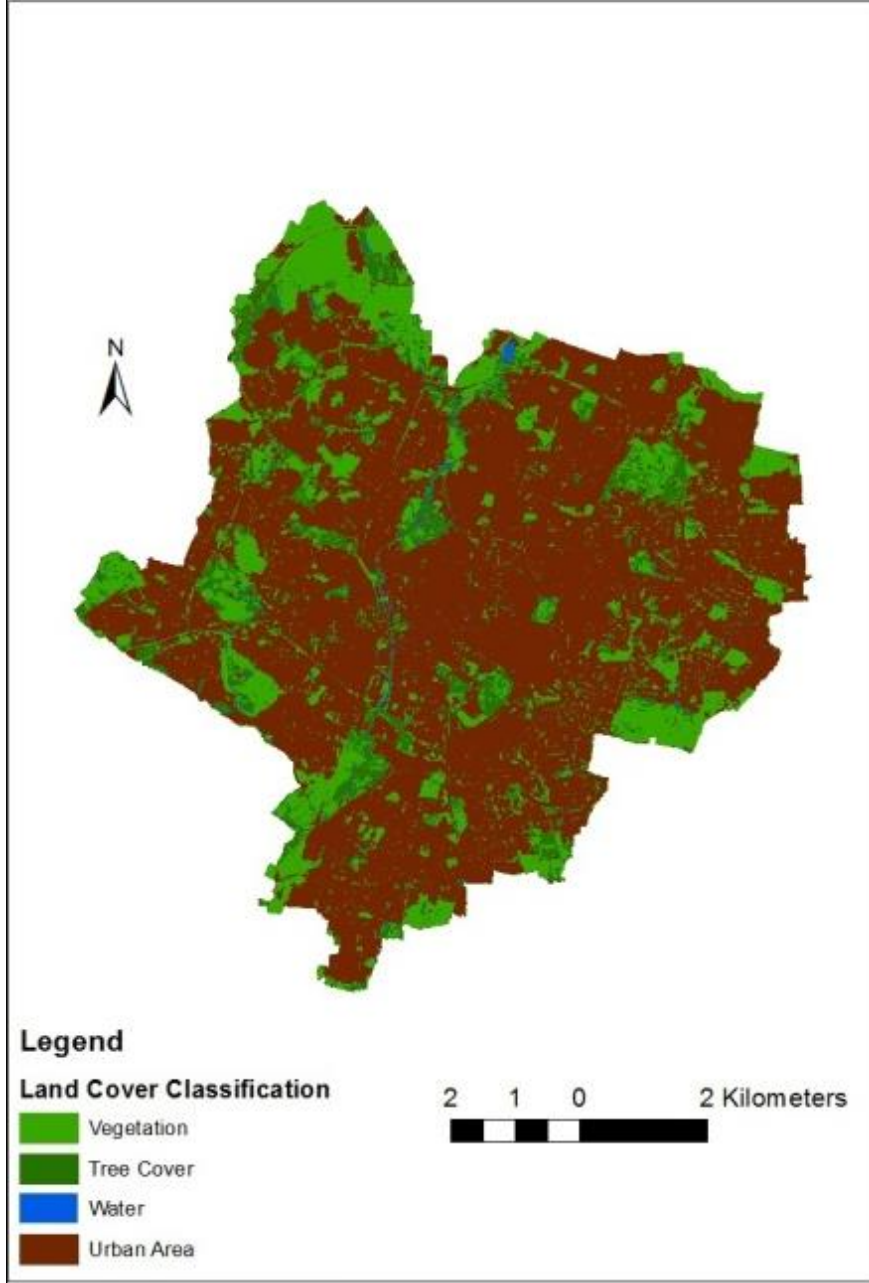
Ayrıca bu çalışma önceden belirlenmiş coğrafi nüfus üniteleri ölçeğinde rapor edilen toplam nüfus sayım verilerinden istenilen ölçekte nüfus dağılım haritaları üretilebileceğini göstermiştir. Tahmini nüfus değerlerinden de anlaşılacağı gibi her iki teknikte kullanılan yardımcı veriye bağlı olarak farklı tahmini sonuçlar üretmiş ve farklı performans göstermiştir (Şekil 9 ve 10). Bunun en belirgin nedeni ikili eşleme tekniği iki boyutlu uzaktan algılama görüntülerinden elde edilmiş arazi kullanım verilerine bağlı olarak dağılım haritaları üretirken hacimsel tahmin metodu sayısal yükseklik modellerinden üretilmiş meskûn alandaki her bir evin hacim değerine göre dağılım haritaları oluşturmaktadır. Her iki metodun da şehrin hangi

bölgelerinde daha doğru nüfus tahminleri ürettiği ve hangi alanlarda hata oranının daha yüksek olduğunu ölçmek amacıyla her bir mahalle için tahmini nüfus değerleri gerçek nüfus değerlerinden çıkartılmış ve elde edilen artı (+) ve eksi (-) nüfus değerleri haritalanmıştır (Şekil 11 ve 12). Her iki haritada da görüldüğü gibi hava fotoğraflarının kullanıldığı ikili eşleme metodu (Şekil 11) daha çok şehrin batı kısımlarında meskûn alanlarda binaların daha seyrek olduğu yerlerde hatalı sonuçlar üretirken, hacimsel tahmin yöntemi (Şekil 12) alışma sahasının merkezi ve doğu kısımlarında binaların sık yapılı olduğu alanlarda daha hatalı sonuçlar üretmektedir.

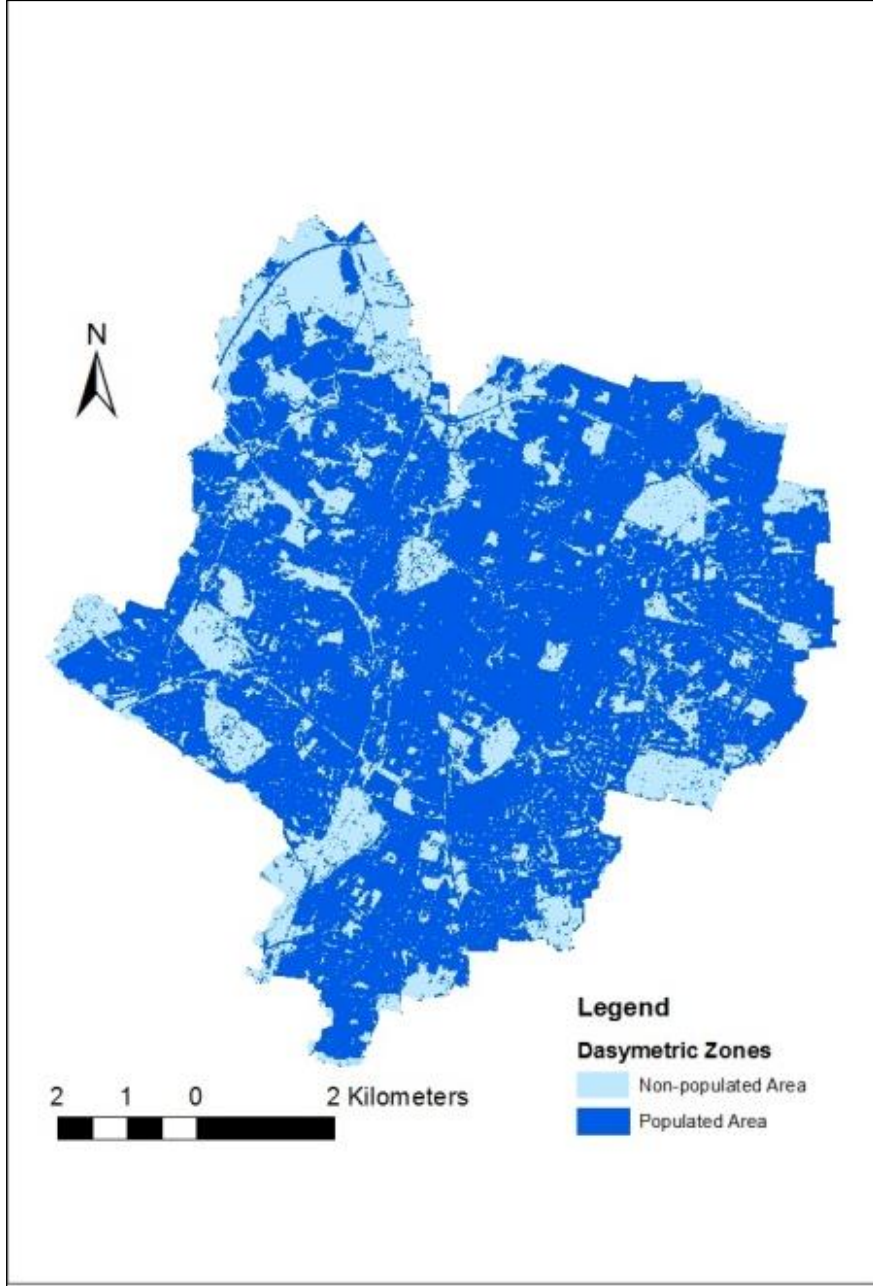
Diğer bir sonuç ise yapılaşmaya açık olan alanları nüfusun yaşamadığı alanlardan ayırmada kullanılan yardımcı uzaktan algılama verilerin mekânsal çözünürlüğü önemli bir rol oynamaktadır. Kullanılan her iki veri setinin de mekânsal çözünürlüğü yüksektir. Hava fotoğrafların çözünürlüğünün yüksek olmasının sağladığı avantajla çalışma alanındaki meskûn alanların belirlenmesi kolaylaşmıştır. Sayısal yükseklik modellerinin yüksek mekânsal znrlğye sahip olmasıyla da meskûn alanlardaki evlerin hacimsel değerleri doğruya yakın olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar seçilen metot kadar kullanılan veri setlerinin de nüfus tahminlerinde ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.



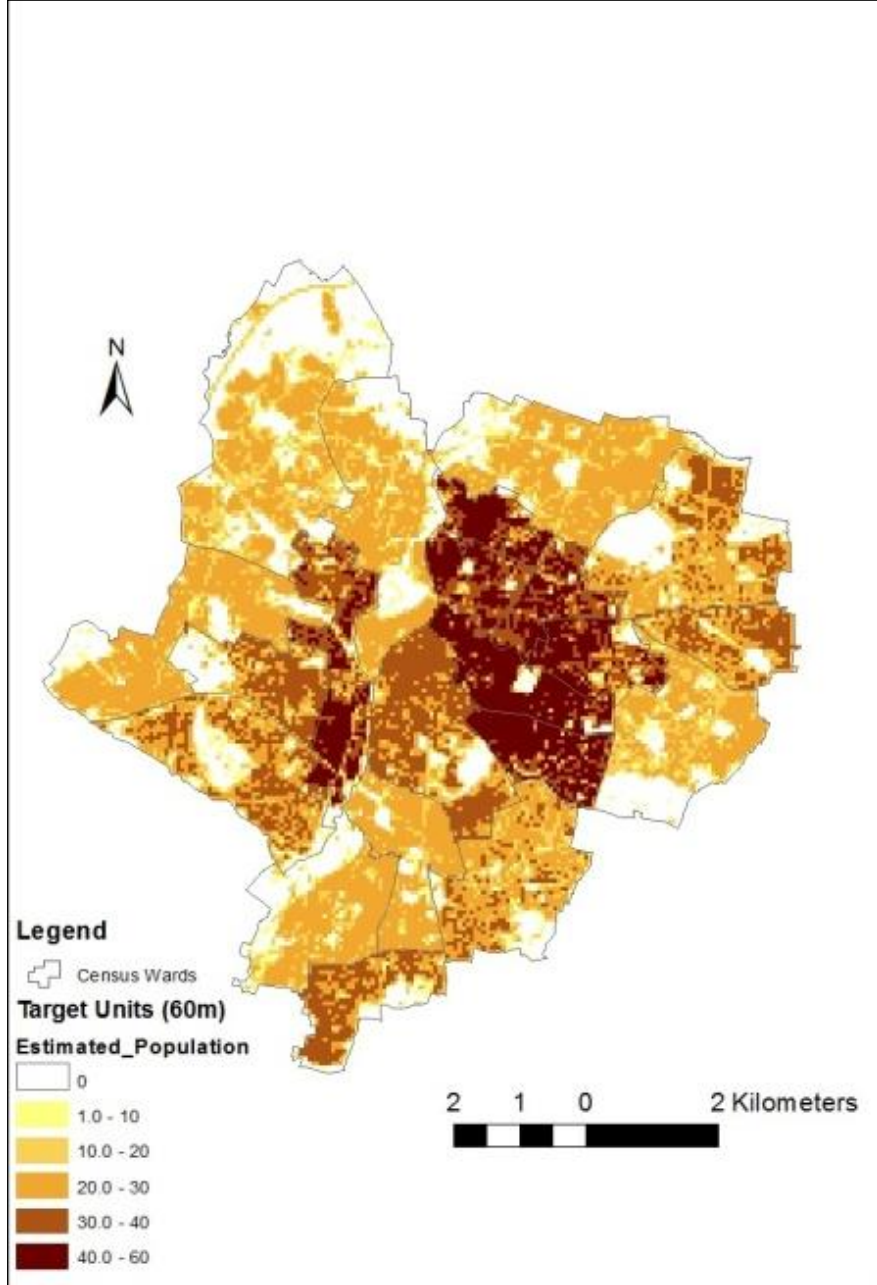
Şekil 5. Çalışma sahasının hava fotoğrafı.



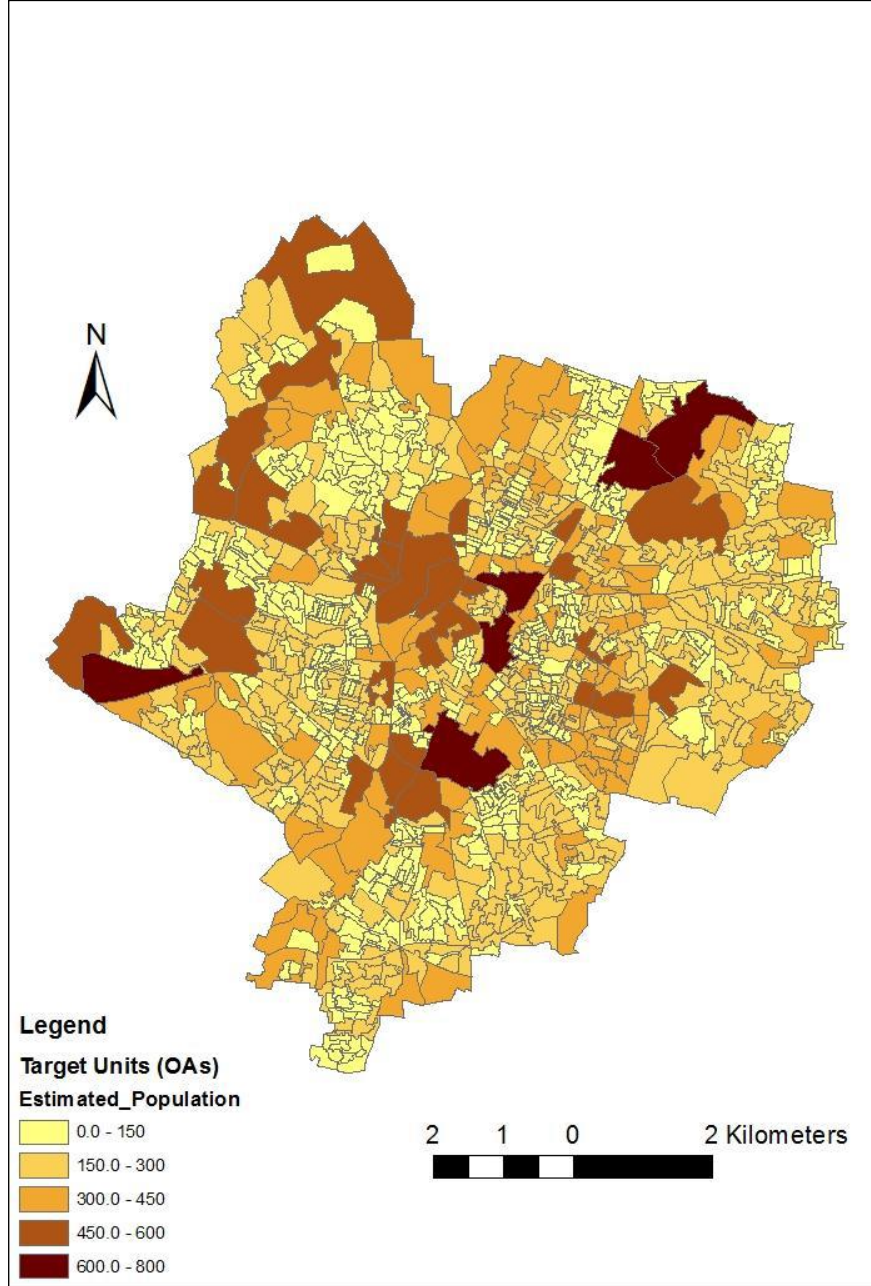
Şekil 6. Çalışma sahasının arazi örtüsü/ kullanım haritası.



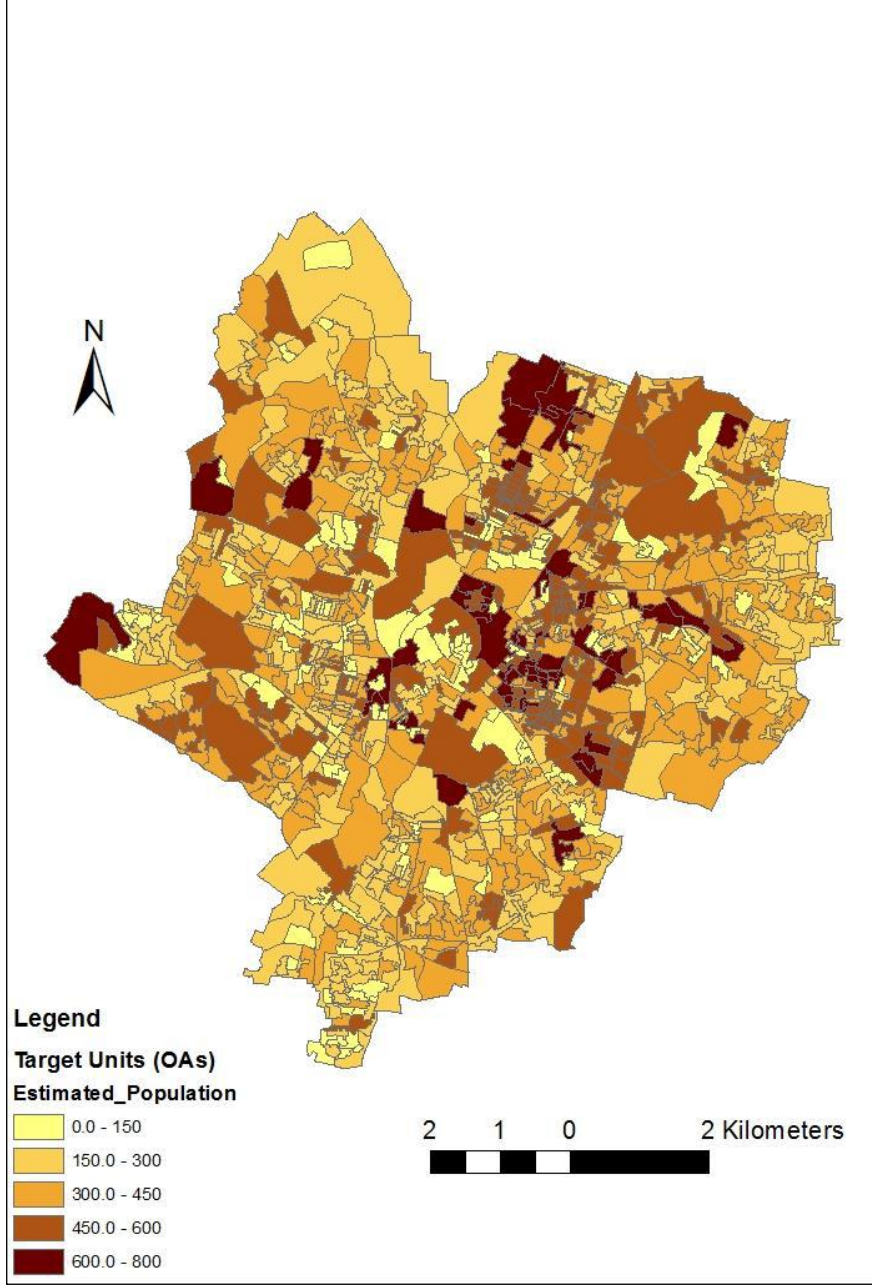
Şekil 7. İkili sınıflama (Çalışma sahasında meskûn alan ve meskûn olmayan alanlar).



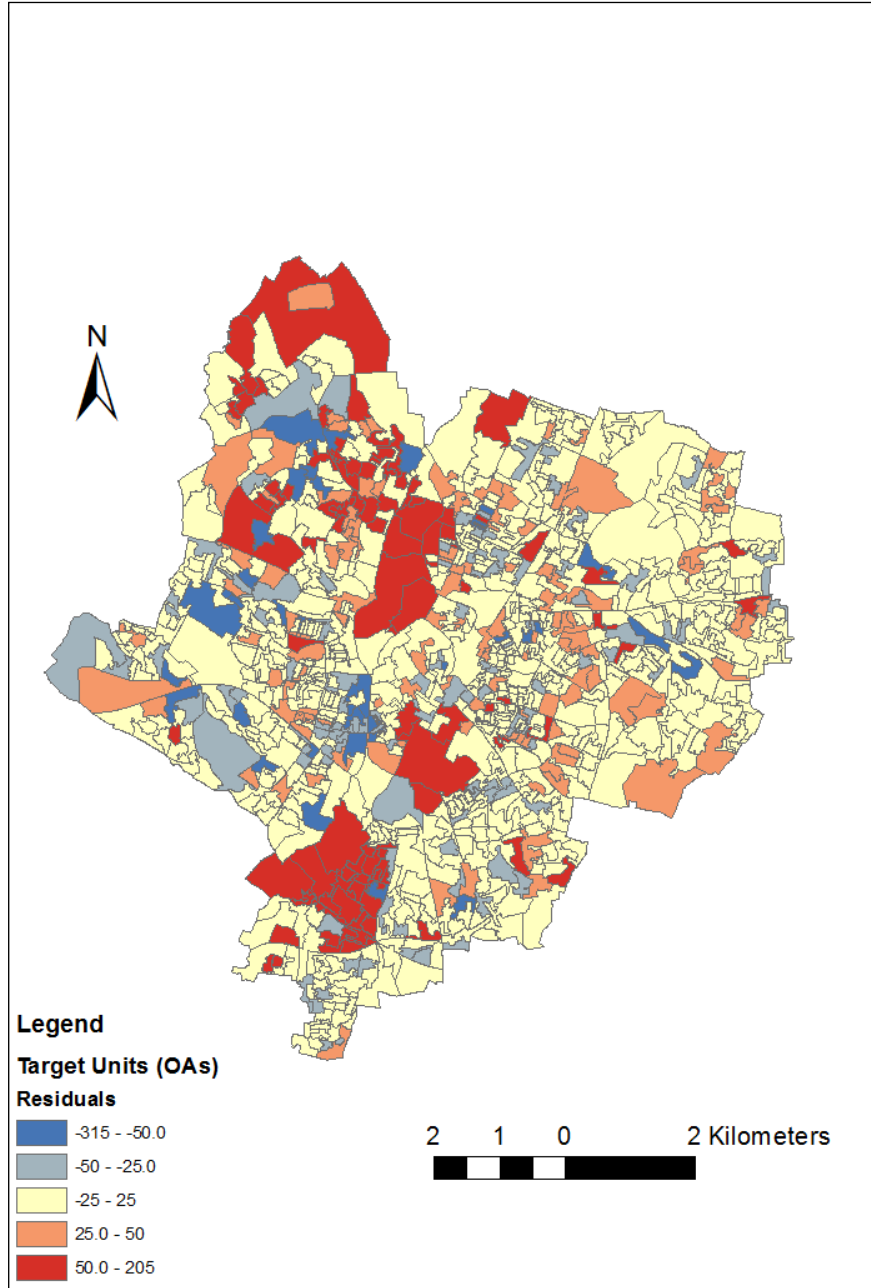
Şekil 8. Çalışma sahasının desimetrik nüfus dağılışı haritası.



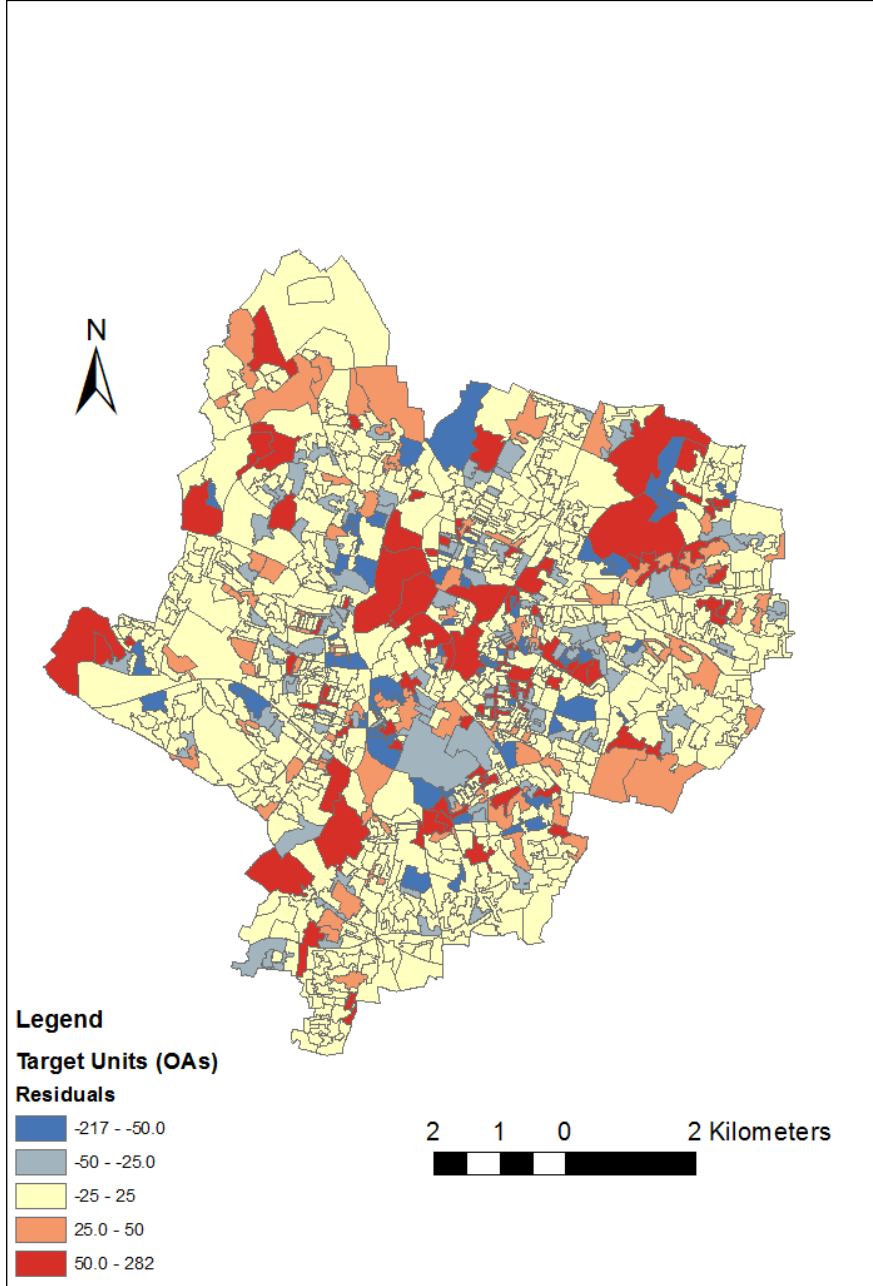
Şekil 9. İkili Eşleme metodu kullanılarak tahmin edilen toplam nüfus.



Şekil 10. Hacimsel tahmin yöntemi kullanılarak tahmin edilen toplam nüfus.



Şekil 11. İkili eşleme metodu nüfus tahminleriyle gerçek nüfusun karşılaştırılması.



Şekil 12. Hacimsel tahmin yöntemi nüfus değerleriyle gerçek nüfusun karşılaştırılması

Sonuç

Bu çalışma yüksek çözünürlüklü veri setleri kullanarak daha iyi tahmin sonuçları elde etmeyi amaçlamıştır. Seçilen tahmin metodları Leicester şehri nüfus dağılışı haritaları üretmek için uygulanmıştır. Uygulanan her iki desimetrik harita tekniğinde Ordnance Survey tabanlı yardımcı veriler kullanılmıştır. Tahmini değerlerin doğruluğunu test etmek için elde edilen veriler 2011 yılı nüfus sayım sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Önceki çalışmalarda olduğu gibi bu araştırma da sayısal yükseklik modelleri ve uzaktan algılama görüntüleri istenilen ölçekte nüfus dağılışı haritaları üretmede önemli bir araç olduğunu göstermektedir. Tahmin sonuçlarıyla üretilmiş nüfus dağılışı verilerinin doğruluğu direkt olarak kullanılan tahmin metodlarına, yardımcı verilere ve onların hassasiyetine bağlıdır. Sonuç olarak bu çalışma uzaktan algılama verilerinin (yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları ve sayısal yükseklik modelleri yardımıyla oluşturulmuş hacim parametrelerinin) nüfus çalışmalarında kullanılabilmesini ve istenilen ölçekte nüfus dağılışı haritaları üretilmesini göstermektedir. Diğer bir sonuç ise kullanılan verilerin doğruluğu nüfus tahmin sonuçlarını ve üretilen nüfus yoğunluğu haritalarının doğruluğunu etkilemektedir.

Nüfusun hızlı hareket edebilme kabiliyetine bağlı olarak tüm dünyada olduğu gibi Türkiye coğrafyasında da nüfus dağılışı homojenlik göstermemektedir. Coğrafi bölgelerin tamamında hem kırsal alanlarda hem de şehir yerleşmelerinde nüfus değerleri heterojen bir dağılışı göstermektedir. Gerçek anlamda nüfusun mekânsal olarak nerede yaşadığını ortaya koymak kamu kuruluşları ve özel sektör planlamalarında önem arz etmektedir. Bu sebepten dolayı istatistiksel ve mekânsal veri setlerinin zenginliğine bağlı olarak Türkiye’de de nüfusun yoğunluğu ve dağılışı ile ilgili yapılacak mekânsal analizlerde desimetrik teknikler kullanılabilir. Nüfusun nerelerde yoğunluk oluşturduğu nerelerde seyrek olarak dağıldığı oransal ve sayısal olarak ortaya konulabilir.

Kaynakça

Bielecka, E. A dasymetric population density map of Poland. In International Cartographic Conference, 2005.

Cockings, S., Harfoot, A. ve Hornby, D. 2011. Towards 2011 output geographies: Exploring the need for, and challenges involved in, maintenance of the 2001 output geographies. *Population Trends*, 138, 38 - 49.

Deng, C., Wu, C. ve Wang, L. 2010. Improving the housing-unit method for small-area population estimation using remote-sensing and GIS information. *International Journal of Remote Sensing*, 31, 5673-5688.

Dong, P., Ramesh, S. ve Nepali, A. 2010. Evaluation of small-area population estimation using LiDAR, Landsat TM and parcel data. *International Journal of Remote Sensing*, 31, 5571-5586.

Eicher, C. L. ve Brewer, C. A. 2001. Dasymetric Mapping and Areal Interpolation: Implementation and Evaluation. *Cartography and Geographic Information Science*, 28 125-138.

ENVI User's Guide,
http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso_SR/biblio_sr/ENVI_userguid.pdf (Erişim Tarihi: 10.05.2012)

Fisher, P. F. ve Langford, M. 1995. Modelling the errors in areal interpolation between zonal systems by Monte Carlo simulation *Environment and Planning A* 27, 211 – 224

Flowerdew, R. ve Green, M. 1992. Developments in areal interpolation methods and GIS. *The Annals of Regional Science*, 26, 67-78.

Gerland, P., Raftery, A. E., Ševčíková, H., Li, N., Gu, D., Spoorenberg, T., Alkema, L., Fosdick, B. K., Chunn, J., Lalic, N., Bay, G., Buettner, T., Heilig, G. K. ve Wilmoth, J. 2014. World population stabilization unlikely this century. *Sciencexpress*.

Gregory, I. N. 2002. The accuracy of areal interpolation techniques: standardising 19th and 20th century census data to allow long-term comparisons. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26 293-314.

Harvey, J. T. 2002. Estimating census district populations from satellite imagery: Some approaches and limitations. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 2071-2095.

Hawley, K. ve Moellering, H. 2005. A Comparative Analysis of Areal Interpolation Methods. *Cartography and Geographic Information Science*, 32, 411-423.

Langford, M. 2007. Rapid facilitation of dasymetric-based population interpolation by means of raster pixel maps. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31, 19-32.

Langford, M. 2013. An Evaluation of Small Area Population Estimation Techniques Using Open Access Ancillary Data. *Geographical Analysis*, 45, 324-344.

Langford, M. ve Harvey, J. T. 2001. The use of Remotely Sensed Data for Spatial Disaggregation of Published Census Population Counts. *IEEEASPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*, 260-264.

Langford, M. ve Unwin, D. J. 1994. Generating and mapping population density surfaces within a geographical information system. *The Cartographic Journal*, 31, 21-26.

Li, G. ve Weng, Q. 2005. Using landsat ETM+ imagery to measure population density in Indianapolis, Indiana, USA. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71, 947-958.

Liu, X., Clarke, K. ve Herold, M. 2006. Population Density and Image Texture: A Comparison Study. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 72, 187-196.

Liu, X. ve Liu, Y. 2008. The accuracy assessment in areal interpolation: An empirical investigation. *Science in China Series E: Technological Sciences*, 51, 62-71.

Lu, D., Weng, Q. ve Li, G. 2006. Residential population estimation using a remote sensing derived impervious surface approach. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 3553-3570.

Lu, Z., IM, J. ve Quackenbush, L. 2011. A volumetric approach to population estimation using lidar remote sensing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 77, 1145-1156.

Lu, Z., IM, J., Quackenbush, L. ve Halligan, K. 2010. Population estimation based on multi-sensor data fusion. *International Journal of Remote Sensing*, 31, 5587-5604.

Lwin, K. ve Murayama, Y. 2010. Development of GIS tool for dasymetric mapping. *International Journal of Geoinformatics*, 6, 11-18.

Maantay, J. A., Maroko, A. R. ve Herrmann, C. 2007. Mapping population distribution in the urban environment: The cadastral-based expert dasymetric system (CEDS). *Cartography and Geographic Information Science*, 34, 77-102.

Martin, D., Tate, N. J. ve Langford, M. 2000. Refining Population Surface Models: Experiments with Northern Ireland Census Data. *Transactions in GIS*, 4, 343-360.

Mennis, J. 2009. Dasymetric mapping for estimating population in small areas. *Geography Compass*, 3, 727-745.

Qiu, F., Sridharan, H. ve Chun, Y. 2010. Spatial Autoregressive Model for Population Estimation at the Census Block Level Using LIDAR-derived Building Volume Information. *Cartography and Geographic Information Science*, 37, 239-257.

Office for National Statistics (ONS), <http://infuse2011.mimas.ac.uk/>. (Erişim Tarihi: 05.01.2013)

ONS, <http://www.neighbourhood.statistics.gov.uk/>. (Erişim Tarihi: 05.02.2013)

Ordnance Survey (OS), <http://borders.edina.ac.uk/ukborders/>. (Erişim Tarihi: 05.02.2013)

OS, <http://census.ukdataservice.ac.uk/get-data/boundary-data.aspx>. (Erişim Tarihi: 05.01.2013)

OS MasterMap®<http://digimap.edina.ac.uk/digimap/home>. (Erişim Tarihi: 05.02.2013)

Silván-Cárdenas, J. L., Wang, L., Rogerson, P., Wu, C., Feng, T. ve Kamphaus, B. D. 2010. Assessing fine-spatial-resolution remote sensing for small-area population estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 31, 5605-5634.

Smith, S. K. ve Mandell, M. 1984. A comparisons of population estimation methods: Housing unit versus Component II, Ration correlation and Administrative records. *Journal of the American Statistical Association*, 79, 282-289.

Smith, S. K., Nogle, J. ve Cody, S. 2002. A regression approach to estimating the average number of persons per household. *Demography*, 39, 697-712.

Sridharan, H. ve Qiu, F. 2013. A Spatially Disaggregated Areal Interpolation Model Using Light Detection and Ranging-Derived Building Volumes. *Geographical Analysis*, 45, 238-258.

Su, M. D., Lin, M. C., Hsieh, H. I., Tsai, B. W. ve Lin, C. H. 2010. Multi-layer multi-class dasymmetric mapping to estimate population distribution. *Science of the Total Environment*, 408, 4807-16.

Wu, S.-S., Qiu, X. ve Wang, L. 2005. Population Estimation Methods in GIS and Remote Sensing: A Review. *GIScience and Remote Sensing*, 42, 80-96.

Wu, S.-S., Wang, L. ve Qiu, X. 2008. Incorporating GIS Building Data and Census Housing Statistics for Sub-Block-Level Population Estimation. *The Professional Geographer*, 60, 121-135.

Şekiller

Şekil 1. İkili Eşleme metodunun grafiksel gösterimi. a) nüfus eşit olarak dağılmış b) çalışma sahasındaki meskun alanlar (gri) ve yerleşime uygun olmayan alanlar (beyaz) belirlenmiş, c) toplam nüfus sadece meskun alanlara dağılmış.

Şekil 2. Hacimsel tahmin metodunun grafiksel gösterimi; a) tüm binaların gösterimi ve b) sayısal yükseklik modelleri yardımıyla binaların yükseltisinin ölçülmesi ve yükseltisi fazla ve az olan binaların gösterimi.

Şekil 3. Çalışma sahası: a) Leicestershire eyaletinin lokasyon haritası, b) Leicester şehri idari bölge sınırları ve c) Leicester şehrindeki

nüfus bölgeleri. Tüm hakları Ordnance Survey/EDINA kurumuna aittir. © Crown Copyright/ database right 2013.

Şekil 4: Seçilen metotların nüfus tahminlerini üretiminde uygulama aşamalarının grafiksel gösterimi

Şekil 5. Çalışma sahasının hava fotoğrafı.

Şekil 6. Çalışma sahasının arazi örtüsü/ kullanım haritası.

Şekil 7. İkili sınıflama (Çalışma sahasında meskûn alan ve meskûn olmayan alanlar).

Şekil 8. Çalışma sahasının desimetrik nüfus dağılım haritası.

Şekil 9. İkili Eşleme metodu kullanılarak tahmin edilen toplam nüfus.

Şekil 10. Hacimsel tahmin yöntemi kullanılarak tahmin edilen toplam nüfus.

Şekil 11. İkili eşleme metodu nüfus tahminleriyle gerçek nüfusun karşılaştırılması.

Şekil 12. Hacimsel tahmin yöntemi nüfus değerleriyle gerçek nüfusun karşılaştırılması.

Tablolar

Tablo 1. Kullanılan veriler kaynağı, yılı ve çözünürlüğü. Tüm hakları Ordnance Survey/EDINA kurumuna aittir. © Crown Copyright/ database right 2013.

Tablo 2. Uygulanan metotların tahmini nüfus değerlerinin doğruluk analizi