

Türkiye için Gece Işıkları ve İnsani Gelişme Endeksinin Mekansal İstatistiksel Analizi

(A Spatial Statistical Evaluation of Night Lights and Human Development Index for Turkey)

Vural YILDIRIM¹ , Kaan KALKAN² 

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Yer ve Uzak Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir

²TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Ankara

vurall_yildirim@hotmail.com, kaankalkan@gmail.com

Geliş Tarihi (Received): 10.08.2020

Kabul Tarihi (Accepted): 04.01.2021

ÖZ

Günümüz dünyasında kentlerin ekonomik kalkınmasına bağlı olarak ışıklandırma sistemlerinde de gelişmeler görülmektedir. Bu sistemlerin bir kısmı yeni yerleşim yerlerinin açılmasına bağlı olsa da bir kısmı sanatsal veya sokak peyzajına dayalı olarak da artmaktadır. Gece ışıkları verisi Amerika Birleşik Devletleri Savunma Meteorolojik Uydu Programı kapsamında düzenli olarak tutulmaktadır. Kentlerin gelişmişlik düzeylerinin bir göstergesi olan İnsani Gelişme Endeksi (İGE) Türkiye Ekonomi Politikaları Araştırma Vakfı (TEPAV) tarafından Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı'na (BMKP) bağlı kalarak hesaplanmaktadır. Bu çalışma kapsamında gece ışıklarının İnsani Gelişme Endeksiyle mekansal keşfedici analizleri yapılmış ve mekansal modeller yardımıyla açıklanmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki gece ışıkları ve İGE mekansal ilişkilere sahiptir ve mekansal model başarılı olarak kurulabilmektedir. Ayrıca gece ışıklarının yalnız mekansal olarak değil, yıl bazında değişimleri de dikkate alınarak konum zaman küpleri ile analiz edildiğinde bazı bölgelerde zamana bağlı trendlerin istatistiksel olarak anlamlı çıktığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Gece Işıkları, Alan İstatistikleri, Mekansal Ekonometrik Modeller, Coğrafi Ağırlıklandırılmış Regresyon, Konum Zaman Küpü.

ABSTRACT

The developments in cities can be observed in lighting systems depending on economic development. Although some of these systems depend on the opening of new settlements, some of them increase based on artistic or street landscape. Night lights data are collected regularly within the United States Defense Meteorological Satellite Program (Defense Meteorological Satellite Program, DMSP). Human Development Index (HDI) which is an indicator of the level of development of the city, is calculated according to the United Nations Development Program (UNDP). Within the scope of this study, spatial analysis of night lights with HDI was performed and spatial models were developed. The results showed that both the night lights and HDI have spatial relationships, and this model can be established successfully. In addition, when the night lights were analyzed with space-time cube, considering not only spatial changes but also yearly changes, time-

related trends were statistically significant in some regions.

Keywords: Night Lights, Zonal Statistics, Spatial Econometric Models, Geographically Weighted Regression, Space-Time Cube.

1. GİRİŞ

Türkiye'de ilk elektrik üretim santrali İstanbul Haliç'te 1888 yılında elektrik üretmeye başlamıştır. Özellikle cumhuriyet döneminde sanayileşmenin artmasıyla paralel elektrikli aydınlatma kentlere ve köylere yayılmalar göstermiştir. Son yıllardaki teknolojik gelişmelere bağlı olarak tasarruflu aydınlatmanın gelişmesi ve binalarda veya kentlerde estetik bir görsel olarak rağbet görmesinden dolayı ışıklandırmalara bağlı olarak kentlerin uzaydan görüntüsünde de gelişmeler olmaktadır.

Gece ışıkları ve kent araştırmaları ile ilgili dünyada çeşitli yayınlar olduğu gibi ülkemizde de bu alanda yayınlar mevcuttur. Başhoş (2016) gece ışıkları ile Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH) değerlerini karşılaştırmış ve yıllara göre değişimi yapay sinir ağı algoritması ile hem ülke geneli değeri için hem de il bazında değerler için başarılı şekilde tahmin etmiştir. Özer ve Elmalı (2018) gece ışıkları verisiyle hesaplanan GSYH'yı komşuluk ilişkilerini dikkate alınarak iller arasındaki gelir farklılıklarını tespit etmek için mekansal ekonometrik modeller kullanmıştır. Analiz sonuçlarına göre illerdeki GSYH illerin kendi içindeki kamu yatırımları ile doğru orantılı, komşu illerdeki nüfusla ters orantılı ve komşu illerdeki ithalatla doğru orantılı olduğu tahmin edilmiştir. Elvidge vd. (2007) gece ışıkları ile inşa edilmiş su geçirimsiz alanları (yollar, park alanları, binalar, kaldırımlar vb.) ülkeler bazında incelemişlerdir. Elde ettikleri bulgulara göre Çin diğer ülkelere göre daha fazla geçirimsiz alana sahipken kişi başına düşen alan incelendiğinde ABD'nin gerisinde kalmıştır. Krikigianni vd. (2019) gece ışıkları ile turizmi Coğrafi Ağırlıklandırılmış Regresyon (CAR) yardımıyla Avrupa Birliği (AB)

ülkeleri için mevsimsel olarak incelemişler ve mevsimsel olarak farklılıkları ortaya koymuşlardır. Mellander vd. (2015) İsveç için gece ışıkları ve ekonomik göstergeleri CAR yöntemi kullanarak modellemişlerdir. Tahmin sonuçlarına göre gece ışıkları ve ekonomik aktiviteler arasında anlamlı mekansal bağımlılıklar bulmuşlardır. Bruederle ve Hodler (2018) 29 Afrika ülkesi için demografik ve sağlık anketlerini baz alarak hane halkı zenginliği, eğitim ve sağlık göstergelerini gece ışıklarıyla incelemişlerdir. Elde ettikleri analiz sonuçlarına göre yerel insani gelişme ve gece ışıkları arasında pozitif ilişki olduğunu göstermişlerdir. Charris vd. (2019) Brezilya belediyelerinde İGE ve gece ışıklarını inceleyerek gece ışıklarının iyi bir sosyo-ekonomik gösterge olduğunu göstermişlerdir. Elvidge vd (2012) çalışmasında İGE'nin uydu görüntülerinden elde edilmesi üzerine Gece Işıkları Gelişim Endeksi (GIGE) yönetimini geliştirmişlerdir. Ülkeler bazında yaptıkları çalışmada elde ettikleri sonuçlara göre geliştirdikleri yöntem, İGE ile yüksek korelasyona sahip iken geleneksel gelir ölçme katsayısı olan Gini ile herhangi bir korelasyonu olmamıştır. Salvati vd (2017) çalışmasında GIGE yöntemini iyileştirilerek daha iyi sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir. Hesaplamalarda aynı GIGE değerlerinin çıkmasına karşın aslında farklı İGE değerlerinin var olduğunu göstermişler ve bir düzeltme önermişlerdir. Geliştirdikleri yöntemi İtalya'da uygulayarak daha gerçekçi sonuçlar elde etmişlerdir.

Waldo Tobler 1969 yılında Uluslararası Coğrafi Birliğin Nitel Yöntemler Komisyonu toplantısında coğrafyanın ilk kuralını "Her şey her şeyle ilişkilidir. Fakat yakın olanlar, uzak olanlara göre daha ilişkilidir" şeklinde tanımlamıştır (Tobler, 1970). Mekansal istatistiksel çalışmaların başlangıcı Tobler'in ifadesinden daha eski tarihlere kadar gitse de ilk istatistik Moran tarafından 1950'lerde geliştirilmiştir. Mekansal ekonometri kavramı ise Jean Paelinck tarafından 1974 yılında Hollanda İstatistik birliğinin toplantısında kullanılmıştır (Arbia, 2016). Bundan sonraki yıllarda da mekansal ekonometrik modeller gelişme göstermiştir. Ord (1975) bağımlı değişken ve hata teriminde mekansal bağımlılık olması durumunda mekansal ekonometrik modelleri kullanmayı önermiştir. Manski (1993) mekansal bağımlılığın bağımlı değişkende, bağımsız değişkende ve hata teriminde olduğu modeller üzerine çalışmalar yapmıştır. Klasik doğrusal regresyon modelinin En Küçük Kareler (EKK) tahminçileri hata teriminin sabit varyanslı ve ilişkisiz olması durumunda en küçük varyanslı ve yansız EDYT (en iyi doğrusal yansız tahminci) olma özelliğine sahiptir (Gujarati, 2001). Mekansal bağımlılığın olduğu veri setlerinde

ise bu varsayım ihlal edileceğinden dolayı EKK EDYT olma özelliğini yitirecektir, bu nedenle mekansal ekonometrik modellerin kullanılması önerilmiştir (Anselin, 1988).

Bu çalışma kapsamında ise İGE gece ışıkları ile açıklanmış ve modellenmiştir. Gece ışıkları veri seti 1992 ve 2013 yıllarını kapsadığından keşfedici istatistiksel teknik olarak konum zaman küpleri kullanılarak, "Getis Ord" (Getis ve Ord, 1992), sıcak nokta ve "Moran I" (Anselin, 1995), aykırı değer analizleri yıl bazındaki değişimlerle açıklanmıştır. Böylece daha önceki çalışmalardan farklı olarak gece ışıkları tüm yıllardaki değerleriyle aynı anda analiz edilebilmiştir. Ayrıca İGE ve gece ışıklarının 2013 yılı verilerinin analizi için de doğal kırılım haritaları oluşturulmuş, en uygun sıcak nokta ve aykırı değer analizleri yapılmıştır. Tahminleme yöntemi olarak klasik doğrusal en küçük kareler yöntemi ile mekansal ilişkileri hesaba katan mekansal ekonometrik modeller ve coğrafi ağırlıklandırılmış regresyon modeli kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Gece ışıkları ile İGE'ni açıklayan dünyada benzer çalışmalar olsa da bu çalışmada Türkiye için daha farklı ve daha fazla yöntemlerle mekansal modeller kullanılarak il bazında analizler yapılmıştır. Makalede ilk olarak veri seti tanıtilmiş, daha sonra kullanılan istatistiksel yöntemler açıklanmış ve daha sonra analizler yapılarak yorumlanmıştır.

2. VERİ SETİ

İGE verileri Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı'na (BMKP) uygun olarak Türkiye Ekonomi Politikaları Araştırma Vakfı (TEPAV) tarafından 2013 yılı için hesaplanmıştır. Endeks kalkınmayı ölçen sağlık, eğitim, gelir olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır (Özpınar ve Koyuncu, 2016).

Gece ışıkları verisi Amerika Birleşik Devletleri'ne ait bir program olan Savunma Meteorolojik Uydu Programı'ndan (SMUP) alınmıştır. Uydu görüntüleri yerel saat 20:30 ile 22:00 arasında kaydedilerek, Linescan sistemi ile kızılötesi ışınlar düşük seviyelerde tespit edilmektedir. Böylelikle görünür bant verileri ile kentlerin atmosfere yansıyan ışıkları kolaylıkla tespit edilebilmektedir (Başıhoş, 2016, Uysal, 2015, 2018). Ayrıca piksellerin yıllık ortalama parlaklığı 0-63 arasında 6 bit ile ölçeklendirilmiştir. Bu veriler her bir takvim yılı içinde çekilen tüm bulutsuz görüntülerin harmanlama işlemi ile birleştirilmesi sonucu üretilmektedir (Doll, 2008). Veriler 1992-2013 yıllarını kapsamaktadır ve en son 2013 yılı için açıklanmıştır. Türkiye için iki

farklı yıla ait gece ışıkları haritası Şekil 1'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde ışıkların daha geniş alanlara yayıldığı görülmektedir.

3. İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER

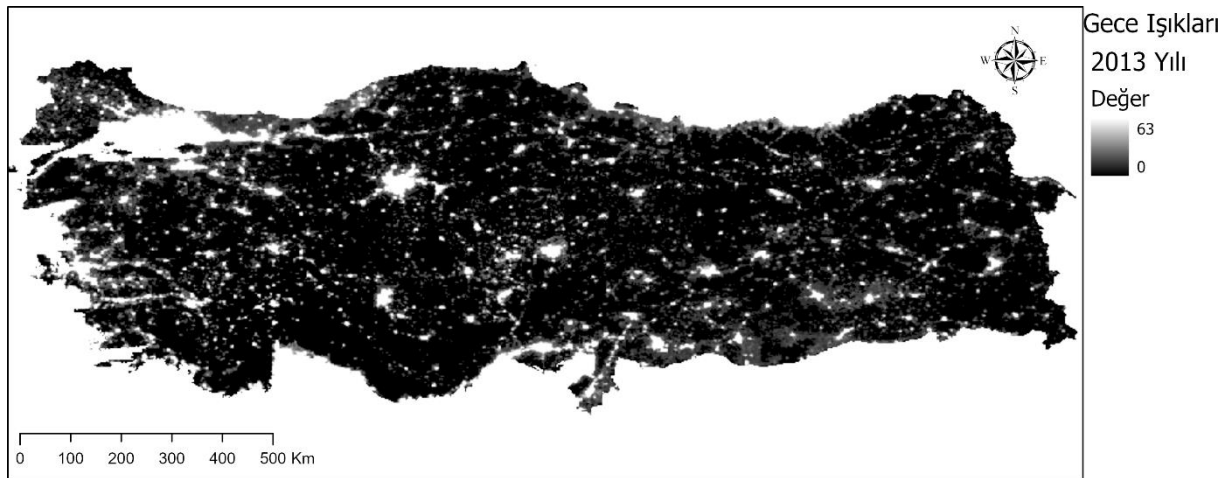
İstatistiğin temel varsayımlarından biri olan gözlem değerlerinin birbirinden bağımsızlığının ihlal edildiği durumlarda mekansal ilişkilerin gözlem değerlerini etkileyip etkilemediği araştırılmalıdır. Eğer bu ihlalin sebebi mekansal ilişki ise coğrafi ve mekansal modellerin kullanılması gerekir (Zeren, 2011). Bu nedenle ilk olarak keşfedici istatistiksel yöntemlerden olan "Getis Ord" sıcak nokta ve "Moran I" aykırı değer analizleri ile 2013 yılı verilerinde mekansal bağıllığın olup olmadığı araştırılmıştır. Ayrıca gece ışıkları verisi 1992-2013 yıllarını kapsadığından, yıllara göre değişimin trendini baz alan konum zaman küpü yöntemi ile analizler yapılmıştır. Daha

sonra veri seti ilk olarak klasik bir yöntem olan En Küçük Kareler (EKK) ile modellenmiş daha sonra mekansal ilişkilerin hesaba katıldığı MGYM Mekânsal Genel Yuva Modeli, MABBM Mekânsal Ardışık Bağımlı Birleşik Model, MDM Mekânsal Durbin Modeli, MDHM Mekânsal Durbin Hata Modeli, MABM Mekânsal Ardışık Bağımlı Model, MXGM Mekânsal X Gecikmeli Model, MHM Mekânsal Hata Modeli ve CAR Coğrafi Ağırlıklandırılmış Regresyon ile de modellenmiş sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

"Getis Ord" istatistiği bir bölgenin diğer bölgelere göre ortalamadan anlamlı çok yüksek (sıcak nokta) veya anlamlı çok düşük (soğuk nokta) olmasını "z testi" ile belirler. Formülü denklem 1'de verilmiştir (Getis ve Ord, 1992),



(a)



(b)

Şekil 1. Gece ışıkları haritası (a) 1992 yılı (b) 2013 yılı.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}} \quad (1)$$

Burada w ağırlık matrisi, x bağımsız değişken, n coğrafi birim sayısı, $\bar{X} = \sum_j X_j / n$ ve $S = \sqrt{\sum_j X_j^2 / n - \bar{X}^2}$ şeklindedir.

“Moran I” istatistiği bir bölgenin komşularına göre anlamlı şekilde çok yüksek veya çok düşük değerler almasını gösterdiği gibi komşularından farklı yönde (aykırı değer) değerler almasını da göstermektedir. Formülü denklem 2’de verilmiştir (Anselin, 1995),

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} (X_j - \bar{X}) \quad (2)$$

burada w ağırlık matrisi, x bağımsız değişken ve n coğrafi birim sayısı olmak üzere $\bar{X} = \sum_j X_j / n$ ve $S_i^2 = \sum_{j=1, j \neq i}^n (X_j - \bar{X})^2 / (n - 1)$ şeklindedir.

Konum zaman küpü analizinde ise veri seti belirli zaman aralıklarına bölünerek her bir zaman dilimi için “Getis Ord” veya “Moran I” istatistikleri hesaplanır daha sonra tüm zaman dilimindeki eğilimini ölçmek için Mann Kendall trend analizi kullanılır. Bu çalışmada zaman dilimleri 1 yıl olarak alınmıştır. Formülü denklem 3’de verilmiştir (Spataru, 2018),

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (3)$$

burada sign işaret fonksiyonu, x bağımsız değişken, n coğrafi birim sayısıdır.

Sıcak nokta: istatistiksel olarak anlamlı olan yüksek değerlerin mekânsal kümelenmesini gösterir.

Soğuk nokta: istatistiksel olarak anlamlı olan düşük değerlerin mekânsal kümelenmesini gösterir.

Aykırı değer: bir değer komşularına göre daha düşük veya daha yüksek istatistiksel olarak anlamlı değerlere sahip olmasıdır. Mekansal olarak iki aykırı değer bulunmaktadır, Yüksek Düşük: düşük değerlerle çevrelenmiş yüksek değeri ifade ederken, Düşük Yüksek: yüksek değerlerle çevrelenmiş düşük değeri ifade eder.

Konum zaman küpü analizlerinde sıcak noktaların zaman dilimlerinde göstermiş oldukları değişime göre “ArcGIS yazılımı” aşağıdaki şekilde

sınıflamalar yapmaktadır (“ArcGIS how emerging hot spot analysis works”, 2020):

- Yeni Sıcak Nokta: Daha önceleri anlamsızken son zaman diliminde anlamlı sıcak noktayı ifade eder.
- Ardışık Sıcak Nokta: Daha önceleri anlamsızken tüm zaman dilimlerinin %90’ından daha az olmak kaydıyla son zaman dilimlerinde kesintisiz anlamlı sıcak noktayı ifade eder.
- Yoğun Sıcak Nokta: Son zaman dilimi de dahil olmak üzere tüm zaman dilimlerinin %90’ı için artan trende sahip anlamlı sıcak noktayı ifade eder.
- Seyrek Sıcak Nokta: Dönem dönem aralıklarla sıcak nokta olup diğer dönemlerde anlamsız olan ve tüm zaman dilimlerinin %90’ından daha az olmak kaydıyla anlamlı sıcak noktayı ifade eder.

En Küçük Kareler (EKK) yönteminin formülü doğrusal model için denklem 4’de verilmiştir (Yıldırım ve Kantar, 2019),

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (4)$$

burada, y bağımlı değişken, X bağımsız değişken, β bilinmeyen model parametresi, ε hata terimidir.

Mekânsal Genel Yuva modeli (MGYM) mekânsal bağımlılığın tüm değişkenlerde ve hata teriminde olduğu modeldir, formülü denklem 5’de verilmiştir (Elhorst, 2014, Yıldırım ve Kantar, 2019),

$$y = \rho W y + X\beta + WX\theta + u$$

$$u = \lambda W u + \varepsilon \quad (5)$$

burada, W ağırlık matrisi, ρ bağımlı değişken için mekansal ardışık bağımlılık katsayısı, θ mekansal ilişki katsayısı, λ hata terimi için mekansal ardışık bağımlılık katsayısı, β bilinmeyen model parametresi, y bağımlı değişken, X bağımsız değişkendir. Hata terimleri $u \sim N(0, \Sigma)$ ve $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ dağılıma sahiptirler ve Σ formülü denklem 6’da verilmiştir.

$$\Sigma = (I - \lambda W)^{-1} (I - \lambda W')^{-1} \sigma^2 \quad (6)$$

burada W' ağırlık matrisinin transpozunu ifade etmektedir. Eğer MGYM modelinde $\rho=0$, $\lambda=0$ ve $\theta=0$ alınırsa klasik EKK modeli oluşmaktadır.

Mekânsal ardışık bağımlı model (MABM) mekânsal bağımlılığın bağımlı değişkende olduğu modeldir. MGYM modelinde $\lambda=0$ ve $\theta=0$ alınır MABM modeli oluşur ve formülü denklem 7’de verilmiştir,

$$y = \rho W y + X \beta + \varepsilon \quad (7)$$

burada, W ağırlık matrisi, ρ bağımlı değişken için mekansal ardışık bağımlılık katsayısı, β bilinmeyen model parametresi, y bağımlı değişken, X bağımsız değişken, ε hata terimidir.

Mekânsal Hata modeli (MHM) mekânsal bağımlılığın hata teriminde olduğu modeldir. MGYM modelinde $\rho=0$ ve $\theta=0$ alınır MAM model oluşur formülü denklem 8’de verilmiştir,

$$\begin{aligned} y &= X \beta + u \\ u &= \lambda W u + \varepsilon \end{aligned} \quad (8)$$

burada, W ağırlık matrisi, λ hata terimi için mekansal ardışık bağımlılık katsayısı, β bilinmeyen model parametresi, y bağımlı değişken, X bağımsız değişken, $u \sim N(0, \Sigma)$ ve $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ dağılıma sahip hata terimidir. Σ formülü denklem 6’da verilmiştir.

Mekânsal X Gecikmeli model (MXGM) mekânsal bağımlılığın bağımsız değişkenlerde olduğu modeldir. MGYM modelinde $\lambda=0$ alınır MXGM modeli oluşur ve formülü denklem 9’da verilmiştir,

$$y = X \beta + W X \theta + \varepsilon \quad (9)$$

burada, W ağırlık matrisi, θ mekansal ilişki katsayısı, β bilinmeyen model parametresi, y bağımlı değişken, X bağımsız değişken, ε hata terimidir.

Mekânsal Ardışık Bağımlı Birleşik model (MABBM) mekânsal bağımlılığın hem bağımlı değişkende hem de hata teriminde olduğu modeldir. MGYM modelinde $\theta=0$ alınır MABBM modeli oluşur ve formülü denklem 10’da verilmiştir,

$$\begin{aligned} y &= \rho W y + X \beta + u \\ u &= \lambda W u + \varepsilon \end{aligned} \quad (10)$$

burada, W ağırlık matrisi, ρ bağımlı değişken için mekansal ardışık bağımlılık katsayısı, λ hata terimi için mekansal ardışık bağımlılık katsayısı, β bilinmeyen model parametresi, y bağımlı değişken, X bağımsız değişken, $u \sim N(0, \Sigma)$ ve $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ dağılıma sahip hata terimidir. Σ formülü denklem 6’da verilmiştir.

Mekânsal Durbin Hata modeli (MDHM) mekânsal bağımlılığın hem bağımsız değişkende hem de hata teriminde olduğu modeldir. MGYM modelinde $\rho=0$ alınır MHM modeli oluşur ve formülü denklem 11’de verilmiştir,

$$\begin{aligned} y &= X \beta + W X \theta + u \\ u &= \lambda W u + \varepsilon \end{aligned} \quad (11)$$

burada, W ağırlık matrisi, θ mekansal ilişki katsayısı, λ hata terimi için mekansal ardışık bağımlılık katsayısı, β bilinmeyen model parametresi, y bağımlı değişken, X bağımsız değişken, $u \sim N(0, \Sigma)$ ve $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ dağılıma sahip hata terimidir. Σ formülü denklem 6’da verilmiştir.

Mekânsal Durbin modeli (MDM) mekânsal bağımlılığın hem bağımlı değişkende hem de bağımsız değişkende olduğu modeldir MGYM modelinde $\lambda=0$ alınır MDM modeli oluşur ve formülü denklem 12’de verilmiştir,

$$y = \rho W y + X \beta + W X \theta + \varepsilon \quad (12)$$

burada, W ağırlık matrisi, ρ bağımlı değişken için mekansal ardışık bağımlılık katsayısı, θ mekansal ilişki katsayısı, β bilinmeyen model parametresi, y bağımlı değişken, X bağımsız değişken, ε hata terimidir.

Coğrafi Ağırlıklandırılmış Regresyon (CAR) her bir bölgeye göre regresyon denklemi kurarak modelleme yapar, formülü denklem 13’de verilmiştir (Zeren ve Yurtkur, 2012),

$$y_i = \sum_{j=0}^m \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i \quad (13)$$

burada, $i=1,2,\dots,n$ coğrafi birim sayısı, m parametre sayısı, W ağırlık matrisi, y bağımlı değişken, X bağımsız değişken, β bilinmeyen model parametresi, ε hata terimidir. i . birime ait lokal parametre ise denklem 14 ile tahmin edilir,

$$\hat{\beta}_i = (x' W_i x)^{-1} x' W_i y \quad (14)$$

Modellerin performansları LogOlabilirlik (LO), Akaike Bilgi Ölçütü (ABÖ), düzeltilmiş Akaike Bilgi Ölçütü (ABÖd), Olabilirlik Oran (OO), Wald ve R^2 ölçütlerine göre değerlendirilecektir. Mekansal ekonometrik modellerde “vezir” komşuluk yani bir ilin tüm sınır komşularını hesaplamaya dahil eden komşuluk türü kullanılırken, CAR’da ise “Altın Arama” yöntemi ile 6 komşuluk kullanılmıştır.

Model hesaplamalarında gece ışıklarının logaritması alınarak log-doğrusal model kullanılmıştır. Gece ışıkları verisi ArcGIS Pro yazılımında (“ArcGIS Pro tool reference”, 2020)

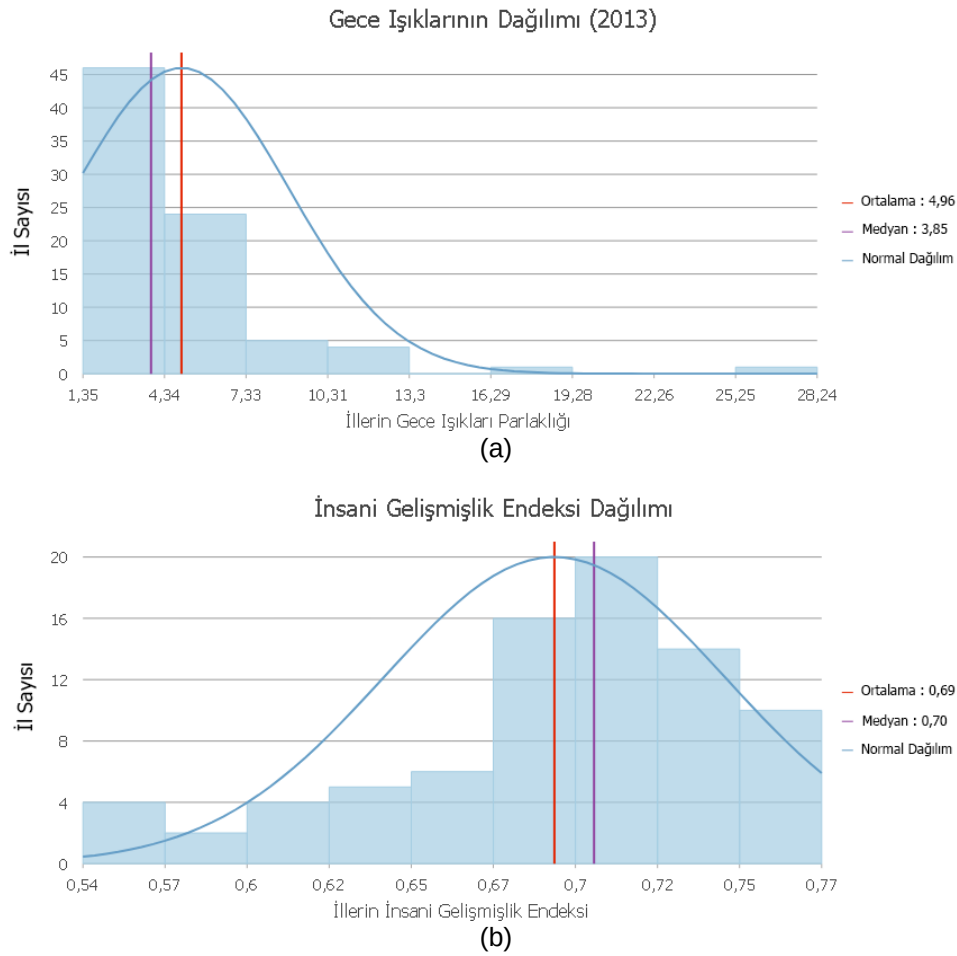
Alan İstatistikleri analizleri “Alan İstatistikleri” aracı ile, konum zaman küpleri analizleri “Konum Zaman Küpü” aracı ile, “Getis-Ord” sıcak nokta ve “Moran I” aykırı değer analizleri “en uygun sıcak nokta” ve “en uygun aykırı değer” aracı ile, CAR analizleri ise “Mekansal İstatistikler” araç kutusu ile analiz edilerek il bazında değerleri hesaplanmıştır. EKK ve mekânsal ekonometrik modeller de “R” yazılımında “spdep” kütüphanesi (“The Comprehensive R Archive Network”, 2020) kullanılarak hesaplanmıştır.

4. ANALİZLER VE DEĞERLENDİRME

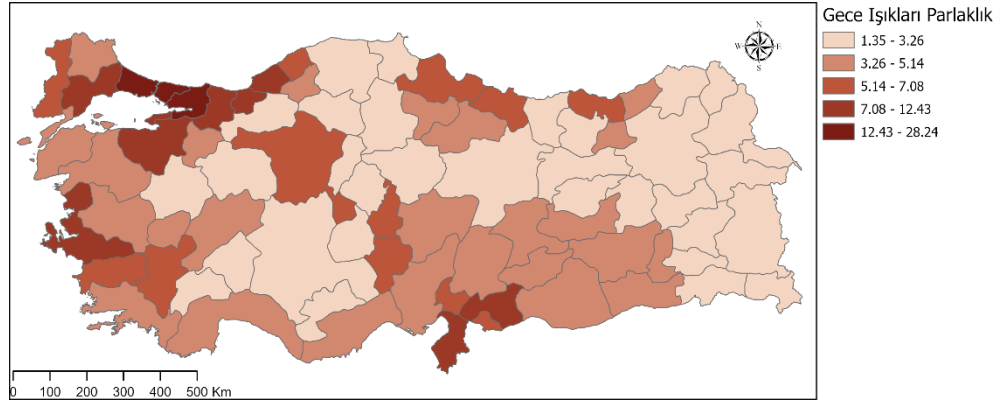
Analizlerde gece ışıkları verisinin logaritması kullanılmıştır. İlk olarak konum zaman küpü analizleri yapılarak yıllara göre değişim incelenmiş, daha sonra 2013 yılı için “Getis Ord” ve “Moran I” istatistikleri hesaplanarak keşfedici mekansal analizler yapılmıştır. Modelleme kısmında ise mekânsal ekonometrik modeller ve coğrafi ağırlıklandırılmış modeller kullanılmıştır.

İl bazında gece ışıklarının histogramı ve dağılımı Şekil 2 (a)’da ve İGE’nin dağılımı da Şekil 2 (b)’de verilmiştir. Grafiklerde yatay ekseninde gece ışıklarının ve İGE’nin illere göre değerleri yer almaktadır. Grafikler incelendiğinde gece ışıkları için 0-7 değerleri arasında yığılma olduğu ve sağa çarpık bir dağılıma sahip olduğu görülürken İGE ise hafif sola çarpık bir dağılıma sahiptir. Her iki veri setinde de ortalama ve medyan değerleri birbirine yakın çıkmıştır.

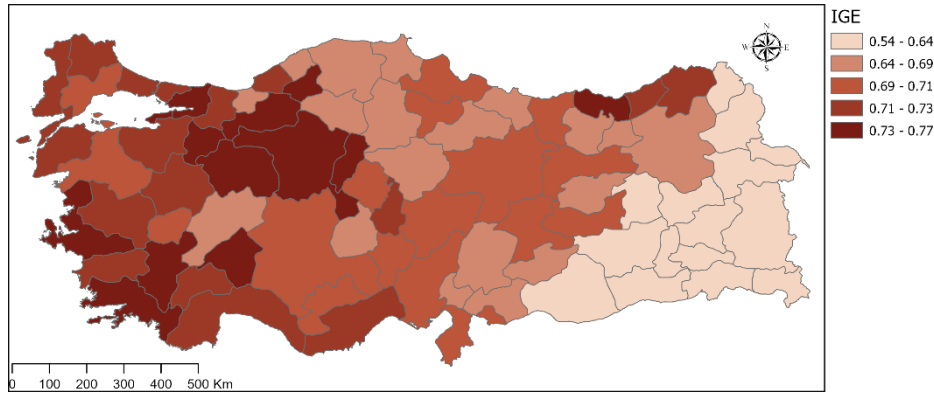
Doğal kırılım haritaları 2013 yılı için Şekil 3’te verilmiştir. Gece ışıkları baz alındığında Ege ve Marmara’da yoğunluklar görülürken orta Anadolu da Ankara, Nevşehir ve Niğde de, Karadeniz’de Trabzon, Ordu, Samsun ve Zonguldak’ta, Akdeniz’de ise Hatay ve Gaziantep’de yoğunluklar görülmektedir. İGE ise doğudan batıya doğru artmaktadır. Endeksin en yüksek değerleri aldığı iller ise Kocaeli, Bilecik, Eskişehir, Bolu, Ankara, Kırıkkale, Isparta, Denizli, Muğla ve İzmir’dir.



Şekil 2. Dağılım ve histogram grafikleri (a) Gece ışıklarının illere göre dağılımı (b) İGE’nin illere göre dağılımı.



(a)



(b)

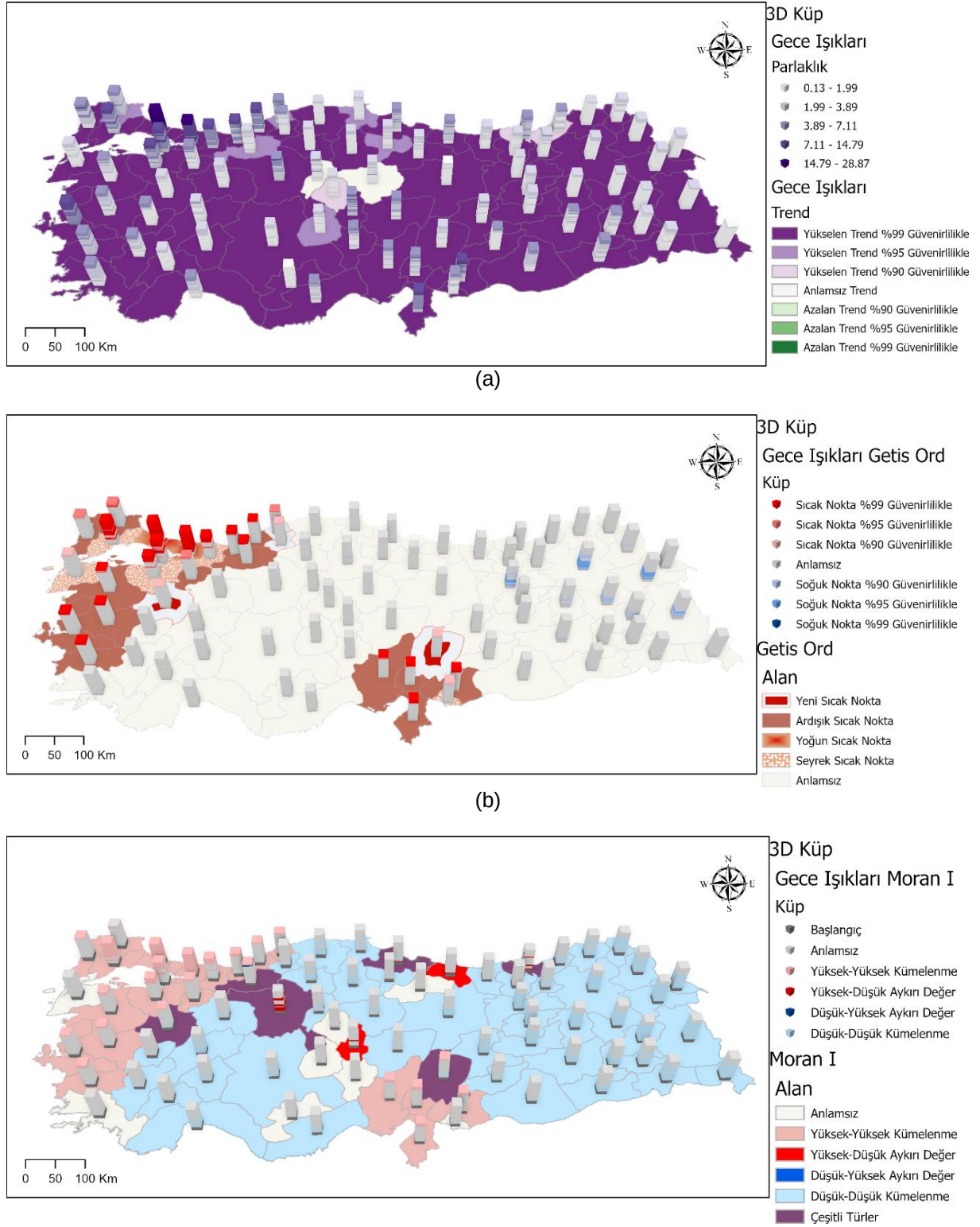
Şekil 3. Doğal kırılım haritaları (2013 yılı) (a) Gece ışıkları (b) İGE.

Gece ışıkları için 1992-2013 yıllarını kapsayan 14 yıllık konum zaman küpü analizleri Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4(a) değer-trend analizi incelendiğinde İstanbul'un her zaman en yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Anadolu'da trendlerin anlamlı olduğu görülürken sadece Yozgat ve Kırıkkale'de değişimler anlamlı değildir. Trendlerin pozitif eğilime sahip olmasının başlıca nedenleri arasında kentlerde yerleşim alanların genişlemesi ve konut sayısının artması verilebilir. Ayrıca Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 1994 yılında ülke genelinde kayıtlı 2.861.640 otomobil varken 2013 yılında 9.283.923 otomobile çıkması düşünüldüğünde artan araçların gece ışıkları üzerinde pozitif bir etkisi vardır. Türkiye'de otomobil sahipliği doyma seviyesine ulaşmadığı için otomobilleşme yaygınlaşmış ve yerleşmelerin büyüme dinamiklerini de etkilemişlerdir (Şenbil ve Yetişkul, 2020).

"Getis-Ord" sıcak nokta analizi Şekil 4(b) dikkate alındığında Marmara ve Ege bölgeleri ile Akdeniz'in doğusunda anlamlı farklılıklar görülmektedir. İstanbul ve Kocaeli'nde yoğun sıcak noktalar görülmüştür. Bunun başlıca sebepleri arasında bu bölgelerdeki yoğun

sanayileşme ve ekonomik faaliyetlerden kaynaklı alansal genişlemeler gelebilir. Kütahya, Kahramanmaraş, Bartın ve Karabük'te ise yeni sıcak nokta yani son yıllarda sıcak noktalar görülmüştür. Edirne, Kırklareli, Zonguldak, Düzce, Bolu, Bilecik, Balıkesir, Manisa, İzmir, Aydın, Adana, Osmaniye, Gaziantep ve Hatay'da ardışık sıcak noktalar görülmektedir. Çanakkale, Tekirdağ, Sakarya, Bursa ve Kilis'de seyrek sıcak noktalar görülmüştür. Küpler incelendiğinde genel olarak son yıllarda anlamlılık vardır ve bu nedenle trend de pozitiftir.

Moran aykırı değer analizi Şekil 4(c) incelendiğinde Nevşehir ve Ordu'da aykırı değer gözlemlenmektedir. Bu iki il için komşu illerdeki gece ışığı ortalamaları düşük iken kendilerinde çok yüksektir, yani Yüksek-Düşük kümelenme söz konusudur. Bu iki ilde yıllar içerisindeki gelişim komşularından daha fazla olmuştur. Ankara, Bolu, Kütahya, Kahramanmaraş, Trabzon ve Samsun'da bazı yıllarda Yüksek-Düşük kümelenme da Düşük-Yüksek kümelenme görülmüştür. Muğla, Karaman, Niğde, Aksaray, Kırşehir ve Tokat'ta herhangi anlamlı bir kümelenme veya aykırı değer görülmemektedir.



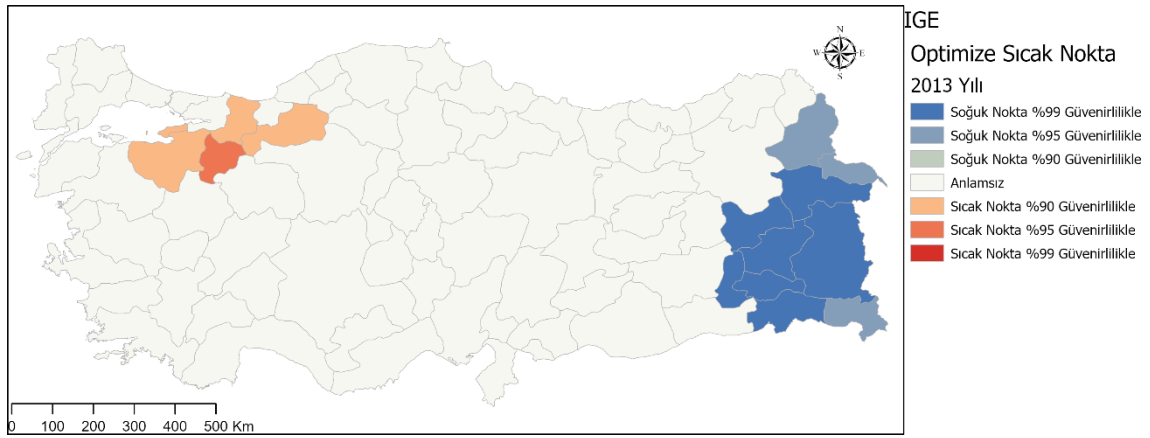
Şekil 4. Konum zaman küpleri (a) Değer-Trend analizi (b) Sıcak nokta analizi (c) Aykırı değer analizi.

2013 yılı için gece ışıkları ve İGE'nin "Getis-Ord" sıcak nokta haritaları Şekil 5'de verilmiştir. Gece ışıkları haritası Şekil 5(a) incelendiğinde Marmara bölgesinde sıcak noktalar görülmektedir ki bu bölgede sanayi tesisleri oldukça gelişmiş

olup buna bağlı olarak da ticaret ve nüfus oldukça fazladır. Ayrıca Marmara Türkiye'nin en çok göç alan bölgesidir. Marmara'da sadece Çanakkale anlamsız çıkmıştır.



(a)



(b)

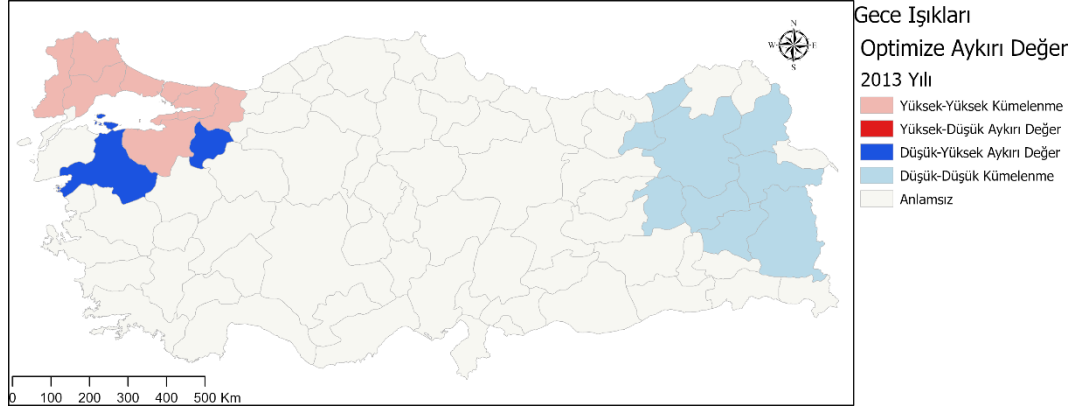
Şekil 5. Sıcak nokta haritaları (a) Gece ışıkları (b) İGE.

İGE'de ise Doğu Marmara'da Bursa, Yalova, Bilecik, Bolu ve Sakarya'da sıcak noktalar görülürken Doğu Anadolu'da ise soğuk noktalar görülmektedir. İGE eğitim, sağlık ve gelir endeksleri baz alınarak hesaplandığından Şekil 5(b) Doğu Anadolu'da bu değerlerin Türkiye geneline göre daha düşük olduğunu ifade etmektedir.

2013 yılı için gece ışıkları ve İGE'nin Moran aykırı değer haritaları Şekil 6'da verilmiştir. Gece ışıkları haritası Şekil 6(a) incelendiğinde Bilecik ve Balıkesir'de düşük-yüksek kümelenme görülmektedir. Bunun anlamı bu iki il çevresi yüksek ortalama ışık değerine sahipken kendileri düşük değere sahiptir. Bursa, Yalova, Sakarya,

Kocaeli, Edirne, Kırklareli, Tekirdağ ve İstanbul'da yüksek-yüksek kümelenme görülmektedir. Yani bu iller çevre illere göre daha yüksek gece ışıkları parlaklığına sahiptirler. Anadolu'nun doğusundaki illerde ise düşük-düşük kümelenmeler görülmektedir. Bu illerdeki gece ışığı parlaklık değerleri çevre illere göre daha küçüktür.

İGE'de ise aykırı değer bulunmamaktadır. Bilecik ve Sakarya'da yüksek-yüksek kümelenme görülmektedir. Bu illerde İGE değerleri komşu illere göre daha yüksektir. Van, Bitlis, Siirt ve Batman'da düşük-düşük kümelenme görülmektedir. Bu illerdeki İGE çevre illere göre daha düşüktür.



(a)

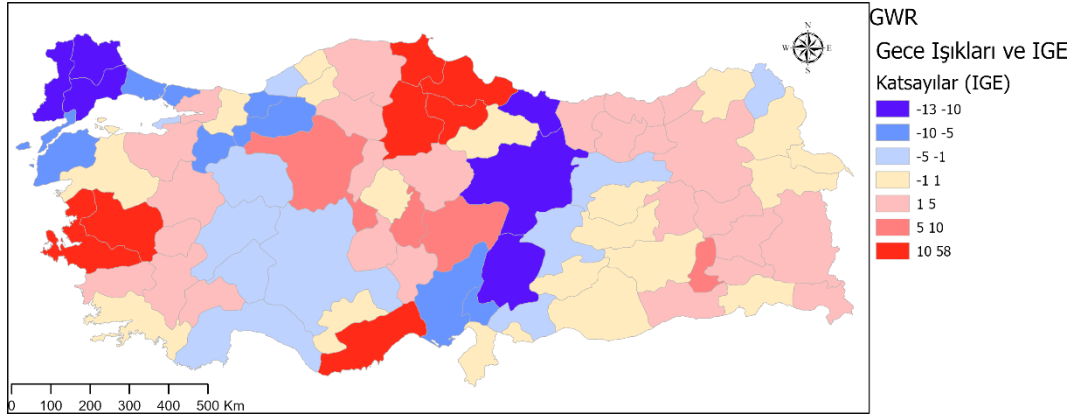


(b)

Şekil 6. Aykırı değer haritaları (a) Gece ışıkları (b) İGE.

Coğrafi Ağırlıklandırılmış Regresyon sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. CAR sonuçlarına göre gece ışıkları ile İGE İstanbul'da negatif katsayıya sahipken Ankara'da pozitif katsayıya sahiptir. Trakya'da ise negatif olmuştur. Katsayının en yüksek çıktığı iller Mersin başta olmak üzere sırasıyla Sinop, Samsun, Çorum, Amasya, İzmir ve Manisa olmuştur. Bu illerde gece ışıkları parlaklığının bir birim artışı İGE'ni en az %10 oranında artırmaktadır. En düşük çıktığı iller ise sırasıyla Edirne, Kahramanmaraş, Kırklareli, Sivas, Tekirdağ ve Ordu olmuştur. Ayrıca Konya, Afyonkarahisar ve Antalya çevresinde de negatif katsayıların kümelendiği görülmektedir. Muğla, Balıkesir, Sakarya, Bartın, Karabük, Kırşehir, Karaman, Tokat, Hatay, Kilis, Artvin, Iğdır ve çevre illeri ile Şanlıurfa ve çevre illerinde katsayılar sıfıra yakın çıkmıştır. Bu illerde gece ışıkları parlaklığının artışı veya azalışı İGE'ni maksimum %1 oranında değiştirecek bir etkiye bulunmaktadır. İzmir ve Mersin'de hem sanayi gelişmiştir hem de birer turizm kentleri olduğu için

hareketlilik oldukça fazladır ve turizm tesislerinden dolayı yapılaşma da yayılmıştır. Özellikle bu illerdeki turizm faaliyetleri dikkate alındığında artan gece ışığı bölgede daha fazla turiste dikkat çekebileceğinden İGE de pozitif yönde etkilenebilecektir. Diğer illere göre dar bir alana sıkışmış olan İstanbul'da nüfusun ve iş merkezlerinin fazlalığı gece ışıklarının yoğunluğunu etkilemiş olmasına rağmen Türkiye'deki ekonomik değerlerin bu ilde yoğunlaşmasından dolayı parlaklık burada İGE'nin açıklanmasında yetersiz kalabilmektedir. Sivas İGE bakımından orta sıralarda yer alırken gece ışıkları parlaklığı bakımından alt sıralarda yer almış ve bu nedenle de gece ışıkları ile bağımlı değişken arasında ters ilişki ortaya çıkmıştır. Antalya'nın turizme doymuş bir kent olması yani turizmdeki artışın ekonomik ve sosyal göstergelere eskisi kadar çok daha fazla anlamlı etkisi olmaması (Aktaş vd., 2017) bu ilin katsayısının negatif çıkmasını etkilemiş olabilir.



Şekil 7. Coğrafi ağırlıklandırılmış regresyon katsayıları.

Mekânsal bağıllığı Türkiye genelinde görmek için “Global Moran I” testleri yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’e göre bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında maksimum teorik değerin 1 olduğu dikkate alındığında orta derecede mekânsal bir ilişki söz konusudur. Ayrıca “Breusch-Pagan (BP)” testine göre EKK artıklarında değişen varyans vardır (BP test değeri = 4.872, p-değeri = 0.0273) ve “Jarque-Bera (JB)” testine göre EKK artıkları normal dağılıma sahip değildir (JB test değeri = 5.527, p-değeri = 0.0631). Mekânsal etkileşimden dolayı BP ve JB test sonuçları böyle çıkmış olabilir. Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında mekânsal ekonometrik modeller bu veri seti için uygulanabilir (Anselin, 1988).

Tablo 1. Moran I istatistikleri

Değişkenler	Moran I İstatistiği
Gece Işıkları	0,513***
İGE	0,691***

Anlamlılık düzeyleri *****, 0,01 *** 0,05 ** 0,1

Tablo 2’de mekânsal ekonometrik modellerin tahmin sonuçları gösterilmektedir. Burda lag.İGE bir ilin komşuluğundaki ağırlıklandırılmış İGE değerlerini ifade etmektedir. İGE EKK, MHM, MABM, MABBM ve MDHM’de anlamlı çıkarken MXGM, MDM ve MGYM’de anlamsız çıkmıştır. Ayrıca lag.İGE tahminleri anlamsız çıktığından bir

Tablo 2. Katsayı tahminleri

Parametreler	EKK	MHM	MABM	MXGM	MABBM	MDM	MDHM	MGYM
ρ	-	-	0.728**	-	0.527	0.733***	-	0.431
(sabit)	-0,039	0,426	-0,229	-0,280	-0,179	-0,186	-0,467	-0,321
İGE	1,819***	1,177**	0,820**	1,036	1,103*	0,956	1,158**	1,010
lag.İGE	-	-	-	1,132	-	-0,208	1,352	0,468
λ	-	0,745***	-	-	0,367	-	0,737***	0,465

Anlamlılık düzeyleri *****, 0,01 *** 0,05 ** 0,1

bölgedeki İGE komşuluklarındaki İGE değerlerinden etkilenmemektedir. Tüm bu sonuçlar dikkate alındığında mekânsal ekonometrik modellerden sadece MHM ve MABM anlamlı çıkmışlardır. MHM’de hatalardaki mekansallık katsayısı 0.745 olurken MABM’de bağımlı değişkendeki mekansallık katsayısı 0.728 olmaktadır. Yani bir bölgedeki gece ışıkları komşu bölgelerdeki gece ışıklarından yüksek derecede etkilenmektedir. Her iki modelin de mekansallık katsayısı yüksek ilişkili çıkmıştır. MGYM’de ise hiçbir katsayı anlamlı çıkmamıştır. MABM ve MHM sonuçlarına göre illerdeki İGE değeri arttığında gece ışıklarının parlaklık değeri de artacaktır.

Çalışmada kullanılan EKK, CAR ve mekansal ekonometrik modellerden hangisinin daha iyi olduğuna karar vermek için performans istatistiklerini gösteren değerler Tablo 3’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde CAR ve mekansal ekonometrik modeller kullanmak EKK yöntemine göre R2 değerlerini yükseltmiştir. En düşük ABÖ değeri MABM’de çıkarken en yüksek LO değeri ise MGYM’de çıkmıştır. Fakat OO testine göre katsayılar tüm modellere göre anlamlı olmakla beraber Wald istatistiklerine bakıldığında MHM ve MABM için katsayılar anlamlıdır. Bu nedenle bu veri seti için sadece MHM veya MABM kullanılabilir. ABÖ MABM’de en düşük olduğundan MABM mekansal modeller içerisinde en iyisidir. R2 ve ABÖd baz alındığında bu veri setini en iyi açıklayan yöntem CAR olmuştur.

Tablo 3. Model karşılaştırma istatistikleri

Modeller	R ²	LO	ABÖ	ABÖd	OO	Wald
EKK	0,152	5,038	-6,076	-6,026		
MHM	0,542	23,41	-38,819	-38,769	-36,743***	89,143***
MABM	0,544	23,978	-39,956	-39,905	-37,879***	84,483***
MXGM	0,165	5,682	-5,364	-5,313	-1,287***	
MABBM	0,528	24,677	-39,354	-39,304	-39,278***	0,599
MDM	0,546	24,016	-38,032	-37,981	-37,956***	0
MDHM	0,548	24,091	-38,182	-38,131	-38,105***	0
MGYM	0,527	24,771	-37,542	-37,491	-39,465***	0,994
CAR	0,944			-50,361		

Anlamlılık düzeyleri '***' 0,01 '**' 0,05 '*' 0,1

5. SONUÇ

Elde edilen tüm sonuçlar ve daha önceki çalışmalar (Özer ve Elmalı, 2018, Özpinar ve Koyuncu, 2016, Bruederle ve Hodler, 2018, Elvidge vd., 2012) göstermiştir ki hem gece ışıkları verisinde hem de İnsani Gelişme Endeksi'nde mekânsal etkileşim söz konusudur. Her iki veri setini de mekansal olmayan EKK gibi klasik istatistiksel teknikleri uygulamak yanıltıcı sonuçların elde edilmesine neden olacağından mekânsal yöntemlerin kullanılması daha doğru olacaktır. Ayrıca bu iki değişken arasında da mekânsal bir bağıllığın olduğu analiz sonuçlarından görülmüş olup kurulan modellerden anlamlı olanları belirlenmiştir. Performans kriterlerine göre CAR en iyi sonuçları vermiştir.

CAR sonuçlarına göre Büyükşehirlerden İzmir, Manisa, Mersin ve Samsun'da gece ışıkları ile İGE arasında en yüksek pozitif bir ilişki görülürken, Tekirdağ, Kahramanmaraş ve Ordu'da en düşük negatif bir ilişki görülmektedir. Yani pozitif ilişkilerde İGE değerlerinin artışı gece ışıklarının parlaklığını da artırırken, negatif ilişkili yerlerde ise azaltmaktadır. Negatif etkinin görüldüğü illerde İGE gece ışıklarını açıklamada yetersizdir. Ankara'da CAR katsayısı pozitif çıkarken İstanbul'da negatif çıkmıştır. Bunun nedeni olarak İGE'nin hesaplanmasında kullanılan gelir endeksinin İstanbul'da Türkiye geneline göre orta sıralarda yer alması verilebilir. Gece ışıkları bakımından ise İstanbul üst grupta yer almıştır.

Ayrıca gece ışıkları için yıl bazında değişimler incelendiğinde Anadolu'nun kuzey batısı ve Hatay ili çevresinde sıcak noktalar görülmektedir. Yani buradaki illerde çevre illere göre daha yüksek artışlar gerçekleşmiştir. 2013 yılı baz alındığında en yüksek İGE Eskişehir'de görülürken, en yüksek gece ışıkları parlaklığı İstanbul'da görülmüştür. En

düşük değerlere ise İGE için Ağrı, gece ışıkları parlaklığı için Karaman sahiptir.

Mekansal ekonometrik modellerden MABM dikkate alındığında illerdeki gece ışıkları komşu illerden yüksek derecede etkilenmektedir.

Daha önceki farklı ülkelerdeki benzer ve ülkemizdeki farklı konular için yapılmış çalışmalarda sadece CAR veya mekansal ekonometrik modellerden sadece birkaçı kullanılmış iken bu çalışmada hem CAR hem de tüm mekansal ekonometrik modeller kullanılarak analizler yapılmıştır. Sonuçlar da Türkiye il bazında elde edilmiştir. Gelecek çalışmalarda farklı bağımsız değişkenler ile de gece ışıkları incelenebilir ve iller hakkında farklı açılardan bir bilgi çıkarımı sağlanabilir.

Bu çalışmada gece ışıklarının yıllar içerisindeki değişimleri coğrafi istatistikler yardımıyla incelenmiş olup 2013 yılı için İGE ile modellemesi yapılmıştır. Günümüzde illerin birbirleriyle olan bağlantıları ve etkileşimleri dikkate alındığında coğrafi istatistiksel tekniklerin kullanılmasının performansı artırdığından dolayı gelecek sosyal ve ekonomik çalışmalarda da bu yöntemler kullanılabilir.

ORCID

Vural YILDIRIM  <https://orcid.org/0000-0002-6517-7849>

Kaan KALKAN  <https://orcid.org/0000-0002-2732-5425>

KAYNAKLAR

- Aktaş, S. G., Yüncü, D., ve Kantar, Y. M. (2017). *Spatial distribution of occupancy rate in the hospitality sector in Turkey according to international and domestic tourist arrivals*. A. Saufi, I. Andilolo, N. Othman, ve A. Lew (Eds.), *Balancing Development and Sustainability in Tourism Destinations* (s. 367-376) içinde. Singapur: Springer. doi: 10.1007/978-981-10-1718-6_33.
- Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Anselin, L. (1995). Local indicator of spatial association – LISA. *Geographical Analysis*, 27, 93–115. Doi: 10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x.
- Arbia, G. (2016). Spatial econometrics: a rapidly evolving discipline. *Econometrics*, 4(1), 1-4. doi: 10.3390/econometrics4010018.
- ArcGIS how emerging hot spot analysis works. (2020, 1 Aralık). Erişim adresi: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/space-time-pattern-mining/learnmoreemerging.htm>
- ArcGIS Pro tool reference, (2020, 1 Aralık). Erişim adresi: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.6/tool-reference/main/arcgis-pro-tool-reference.htm>
- Başıhoş, S. (2016). *Gelişmişlik göstergesi olarak gece ışıkları: ulusal ölçekte ve il bazında GSYH tahmini*. Ankara: Türkiye Ekonomi Politikaları Araştırma Vakfı. Erişim adresi: <https://www.tepav.org.tr/tr/yayin/s/964>.
- Bruederle, A. ve Hodler, R. (2018). Night time lights as a proxy for human development at the local level. *PLoS ONE*, 13(9): e0202231. doi: 10.1371/journal.pone.0202231.
- Charris, C., Velilla, R. ve Chaves, L. (2019). Mapping the human development index using nighttime lights inside Brazil. *Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos* 2019, 16-18 Ekim 2019, Rio de Janeiro, Brezilya.
- Doll, C.N. H. (2008). *CIESIN thematic guide to night-time light remote sensing and its applications*. Palisades, NY:Center for International Earth Science Information Network of Columbia. Erişim adresi: https://sedac.ciesin.columbia.edu/binaries/web/sedac/thematic-guides/ciesin_nl_tg.pdf.
- Elhorst, J. P. (2014). *Spatial econometrics: from cross-sectional data to spatial panels*. Heidelberg: Springer.
- Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Anderson, S. J., Sutton, P. C. ve Ghosh, T. (2012). The night light development index (NLDI): a spatially explicit measure of human development from satellite data. *Social Geography*, 7(1), 23-35. doi:10.5194/sg-7-23-2012.
- Elvidge, C.D., Tuttle B.T., Sutton, P.C., Baugh, K.E., Howard, A.T, Milesi, C., ... Nemani, R. (2007). Global distribution and density of constructed impervious surfaces. *Sensors (Basel)*. 7(9), 1962-1979. doi:10.3390/s7091962.
- Getis, A. ve Ord, J. K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis*, 24(3), 189-206. doi: 10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x.
- Gujarati, D. N. (1999). *Temel Ekonometri* (Çev. Ümit Şenesen ve Gülay Günlük Şenesen). İstanbul: Literatür Yayınları.
- Krikigianni, E., Tsiakos, C. ve Chalkias, C. (2019). Estimating the relationship between touristic activities and night light emissions. *European Journal of Remote Sensing*, 52(1), 233-246. doi:10.1080/22797254.2019.1582305.
- Manski, C. F. (1993). Identification of endogenous social effects: the reflection problem. *The Review of Economic Studies*, 60, 531-542. doi: 10.2307/2298123.
- Mellander, C., Lobo, J., Stolarick, K. ve Matheson, Z. (2015). Night-time light data: a good proxy measure for economic activity?. *PLoS ONE*, 10(10), 1-18. doi: 10.1371/journal.pone.0139779.
- Ord, J. K. (1975). Estimation methods for models of spatial interaction. *Journal of the American Statistical Association*, 70(349), 120-126. doi: 10.1080/01621459.1975.10480272.

- Özer, H. ve Elmalı, K. (2018). Türkiye'de gece ışıkları ile hesaplanan iktisadi büyümenin mekânsal analizi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 18, 511-524. doi:10.18092/ulikidince.349749
- Özpınar, E. ve Koyuncu E. (2016). *Türkiye'de insani gelişmişlik iller arasında nasıl farklılaşıyor? 81 il için insani gelişmişlik endeksi*. Ankara: Türkiye Ekonomi Politikaları Araştırma Vakfı. Erişim adresi: https://www.tepav.org.tr/upload/files/1467929122-9.81_Il_icin_Insani_Gelismislik_Endeksi.pdf.
- Salvati, L., Guandalini, A., Carlucci, M., ve Chelli, F.M. (2017). An empirical assessment of human development through remote sensing: evidences from Italy. *Ecological Indicators*, 78, 167-172. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.03.014.
- Spataru, R. (2018). *Spatial-temporal GIS analysis in public health – a case study of polio disease* (Yüksek lisans tezi, Lund Üniversitesi, Lund, İsveç). Erişim adresi: <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8963858>
- Şenbil, M. ve Yetişkul Şenbil, E. (2020). Türkiye'de son dönem otomobilleşme: 2007-2018 arası iller bazında analizler. *İdealkent*, 11 (29), 373-405. doi: 10.31198/idealkent.712272
- Tobler, W. (1970). A computer movie simulating urban growth in the detroit region. *Economic Geography*, 46(Supplement): 234–240. doi: 10.2307/143141.
- Uysal, C. (2015), *Detection of urban expansion in turkey by using spectrally unmixed landsat images and nighttime DMSP-OLS images*, (Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul).
- Uysal, C., Maktav, D. ve Small, C. (2018). Mapping urban growth and its relation to seismic hazards in İstanbul. *J Indian Soc Remote Sens*, 46, 1307–1322. doi:10.1007/s12524-018-0799-6
- The Comprehensive R Archive Network, (2020, 1 Aralık). Erişim adresi: <https://cran.r-project.org/web/packages/spdep/index.html>
- Yıldırım, V. ve Kantar, Y.M. (2019). Spatial statistical analysis of participants in the individual pension system of Turkey. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B- Teorik Bilimler*, 7(2), 184-194. doi:10.20290/estubtdb.518706
- Zeren, F. (2011). Mekânsal etkileşim analizi. *Istanbul University Econometrics and Statistics e-Journal*, 0(12), 18-39. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iuekois/issue/8979/112025>
- Zeren, F. ve Koç- Yurtkur, A. (2012). Türkiye'de telekomünikasyon altyapısının ekonomik gelişmişliğe etkisi: coğrafi ağırlıklı regresyon yöntemi. *Sosyoekonomi*, 17(17), 63-84. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sosyoekonomi/issue/21077/226921>