



GELİŞMİŞLİK GÖSTERGESİ OLARAK GECE IŞIKLARI: ULUSAL ÖLÇEKTE VE İL BAZINDA GSYH TAHMİNİ

İnsanlığın gelişim tarihine baktığımızda, 18. yüzyılda pozitivizmin yükselişi, 2 milyon yıl önceki ateşin keşfine atıfta bulunacak şekilde aydınlanma olarak anılmaya başlanmıştır. Bilimsel gelişmeler, enerjinin formunu değiştirecek yöntemleri beraberinde getirdiği gibi, elde edilen enerjinin üretim süreçlerinde kullanılmasını sağlayacak gerekli bilgi birikimini de ortaya çıkarmıştır.

Elektriğin 1752'deki keşfinden sonra Volta'nın 1800'de ilk elektrik pillerini üretmesi; Faraday'ın 1831'de ilk elektrik dinamosunu icat etmesi, deneysel ve gözlemsel bilgi birikiminin yayılarak 1882'de Edison ve Swan'ın elektrik ampulünü icat etmesine kadar uzanmıştır. Elektrikle çalışan makinelerin ve aydınlatma/ısıtma sistemlerinin tamamen dünyaya yayılması 200 yıla yakın zaman almıştır.² Şimdilerde elektrik kullanımının en yaygın olduğu ülkelerin, endüstri devrimini 200 yıl önce yaşayan ülkeler olması tesadüf değildir.

Brown Üniversitesi'nden Vernon Henderson, Adam Storeygard ve David Weil, 2009'da yayınladıkları makalede, ekonomik aktivitelerin büyüklüğünü ölçmek için elektrik tüketimi dışında farklı bir veri kaynağına başvurmuşlardır.³ Çalışmada, geceleri ülkelerden elektrik tüketimi kaynaklı uzaya yayılan suni ışıkların yoğunluğu, gayri safi yurtiçi hasılatları (GSYH) hesaplanamayan ya da hatalı hesaplanan ülkelerin/bölgelerin/illerin gerçek GSYH'lerini tahmin edebilmek için kullanılmıştır.⁴ 188 ülkenin verilerinin katıldığı geniş bir veri setinden yararlanılarak yapılan bu çalışma, Türkiye için yaptığımız çalışmaya da referans olmuştur.

¹ <http://www.tepav.org.tr/tr/ekibimiz/s/1319/Seda+Basihos>

² Comin., D ve Hobijn., B., "An Exploration of Technology Diffusion", NBER, 2008

³ Elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki için bkz. Narayan., P. K., ve Prasad., A., "Electricity consumption- real GDP causality nexus: Evidence from a bootstrapped causality test for 30 OECD Countries", Deakin University, 2007

⁴ Henderson, J. V., Storeygard A. ve Weil D. N., "Measuring Economic Growth from Outer Space", NBER, 2009

⁵Çalışmamızın iki temel amacı vardır: 1) Türkiye'nin geceleri uzaya yaydığı ışığın yoğunluğu ile reel GSYH'nin tahmin edilmesi. 2) 2001 yılından beri yayınlanmayan il bazında milli gelirlerin gece ışıkları verisiyle hesaplanması.

Gece Işıkları Verisi Nedir?

Gece ışıkları verisi, Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nin Ulusal Jeofizik Veri Merkezi'ne bağlı Savunma Meteorolojik Uydu Programı, DMSP tarafından kaydedilmektedir ve NGDC Earth Gözlem Grubu (NOAA) tarafından arşivlenmektedir. Bir gün içerisinde dünya etrafında iki kez dönen kutup yörünge uyduları tarafından verilerin kaydedilmesi için "Linescan System (OLS)" adı verilen kızılötesi ışıınımı düşük seviyelerde tespitini sağlayan bir sistem kullanılmaktadır. Her bir uydu, Dünya üzerindeki her bölgenin fotoğrafını geçiş aralıklarına göre lokal saat 20:30 ile 22:00 arasında kaydetmektedir. OLS ile sağlanan "VIS" bant verileri ile atmosfere yansıyan şehir ve sanayi bölgeleri ışıkları rahatlıkla tespit edilebilmektedir. -65 +75 enlemleri arasını kapsayan uydu görüntüleri ekvatorda 0.86 km² denk gelen 30 arksaniyelik gridlere ölçeklendirilmekte ve yerkürenin 43.200 x 21.600 piksel çözünürlüğünde bir görüntüsü elde edilmektedir. Işık yoğunluğu verilerini elde etmek için ise her bir piksel yıllık ortalama parlaklığı veren 0-63 arasında 6 bitlik bir ölçekle ilişkilendirilmektedir.⁶

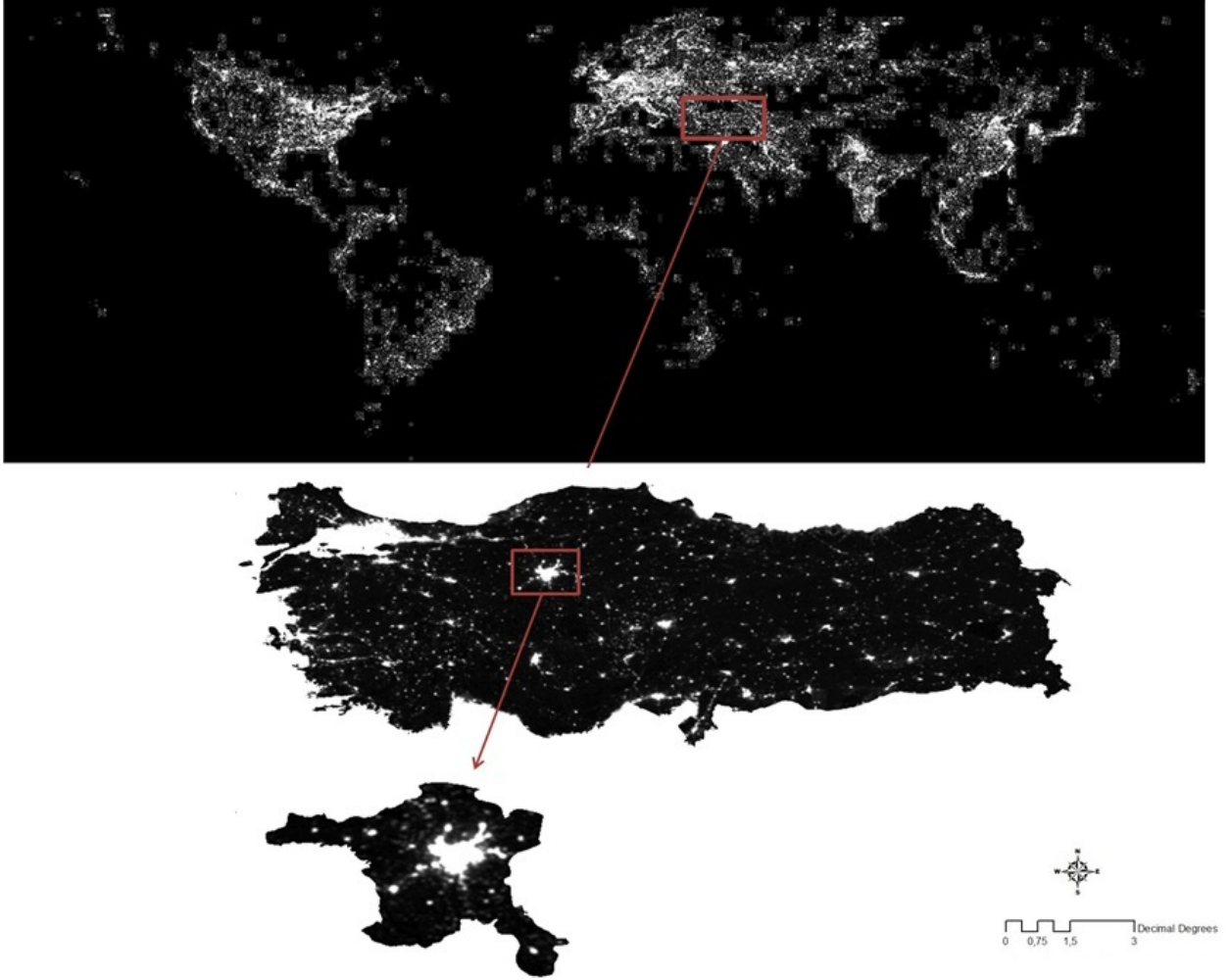
Şekil 1'de, DMSP tarafından kaydedilen global ışık haritası görülmektedir. Bu harita, aslında global koordinat sistemine göre ölçeklendirilmiş yüksek çözünürlüklü bir fotoğraftır. Fotoğraftaki, her 0.86 km²'lik alandaki ışık yoğunluğu, aydınlık ve karanlık derecesine göre siyah beyaz aralığındaki dağılımı temsilen 6 bitlik dijital sayılar olarak kaydedilmektedir. Bu yüzden, tüm bölge ve alt bölgelerin resmi sınırlarına kadar veri elde edebilmek mümkündür. Şekil 1'de global ışık haritasından Türkiye; Türkiye'nin ışık haritasından da Ankara, sınırların vektörel koordinatlarına göre kesip çıkarılmıştır.⁷

⁵ Katkılarından dolayı Prof. Dr. Güven Sak'a, Prof. Dr. Erol Taymaz'a, TEPAV Şehir Çalışmaları Proje Direktörü Emre Koyuncu'ya, Jeomorfolog İlker Alan'a (Meteoroloji Genel Müdürlüğü), TEPAV Politika Analistleri Can İtez ve Yasemin Satır Çilingir'e ve Araştırmacı Ayşegül Taşöz Düşündere'ye teşekkür ederim.

⁶Kızılötesi piksel değerleri, 190-310 Kelvin arası sıcaklığın 256 eşit aralığa denk gelecek şekilde ölçeklendirilmesiyle kaydedilmiştir.

⁷ Bu işlem sayesinde, istenilen bölgenin karanlığı ve aydınlığı temsil eden piksel sayıları hesaplanabilmektedir.

Şekil 1: Gece Işıkları, 2013

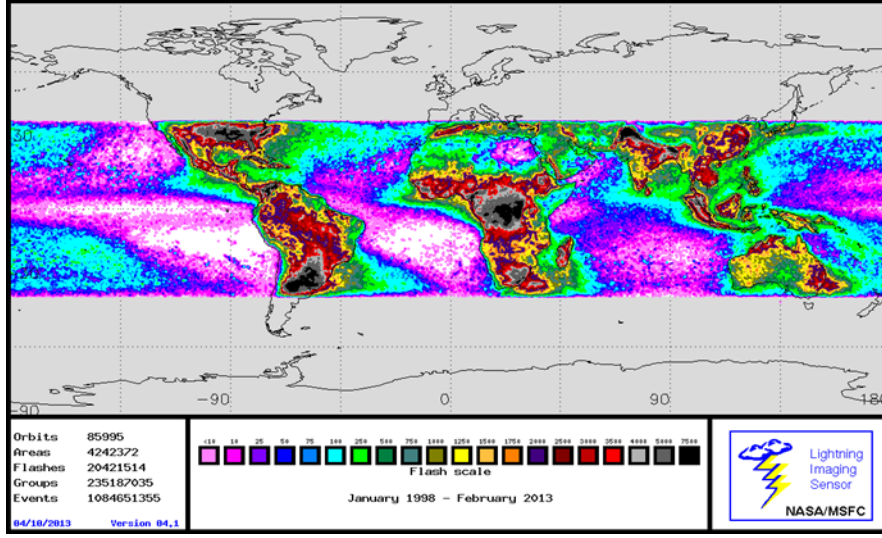


Kaynak: The Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) Operational Linescan System (OLS)

Hesaplama: TEPAV

Işık verisi, NOAA'nın kullandığı yöntem dışında farklı şekillerde de kaydedilmektedir. NASA'nın radyand enerji ölçüm sensörleri gece uzaya yayılan ışığı 20 farklı renk skalası altında gruplandırmaktadır (Şekil 2). Fakat yöntem ne olursa olsun ölçümün mekaniği benzer işleyişe sahiptir.

Şekil 2: Geceleri Ölçülen Radyant Enerji

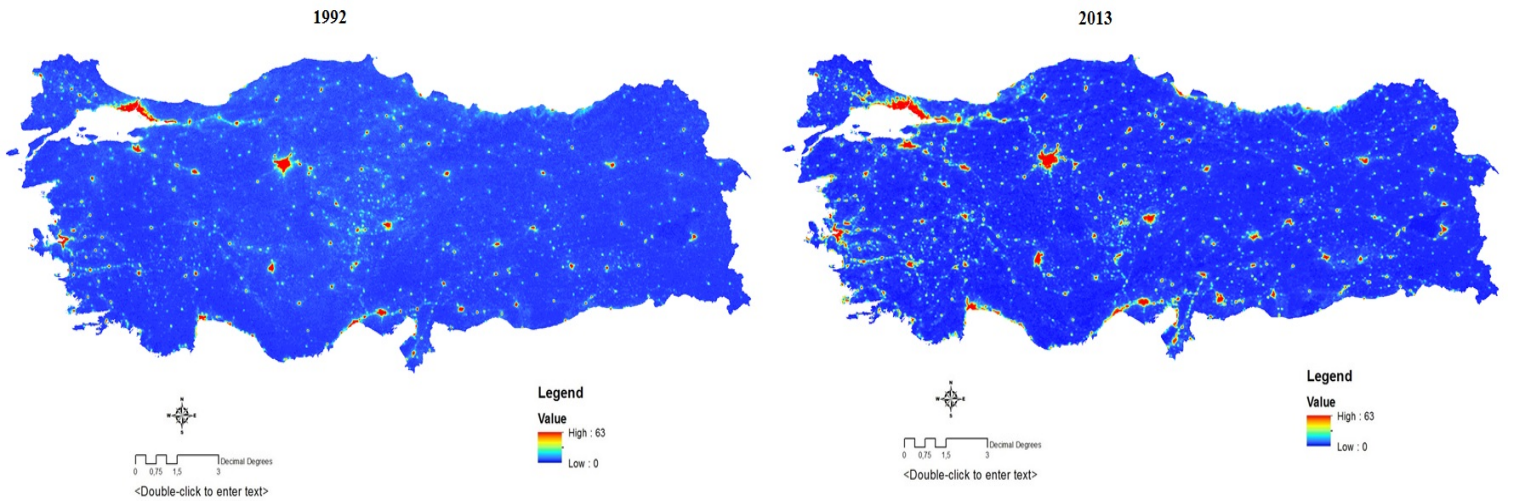


Kaynak: NASA/MSFC

Gece Işık Verisi Nasıl Hesaplanır?

Yıllık, uydudan çekilmiş gece ışık fotoğrafları, 1992 ile 2013 yılları arasında farklı zamanlarda ya da aylarda yukarıda da bahsedildiği gibi 30 ark saniyelik pikseller olarak kaydedilmiştir. Örnek olması açısından, gösterilen 2013 yılına ait ham veri (Şekil 1) diğer yıllarda çekilen fotoğraflarda olduğu gibi maskelenerek, atmosferdeki nemliliğin, ay ışığının ve diğer meteorolojik koşulların görüşü engelleyen etkilerinden arındırılmıştır. Daha sonra Türkiye, maskelenen fotoğraftan çıkarılıp veri işlemeye tabi tutulmuştur. 6 bitlik dijital sayıların analize uygun hale getirilmesi için RGB (kırmızı-yeşil-mavi) formatında 0-63 arasında tekrar ölçeklendirilmiştir (Şekil 3). Bu işlemden sonra elde edilen sayısal ham veri, ölçek değerleri ve her ölçekteki piksel sayısı ile çarpılmıştır.

Şekil 3: Türkiye'nin Uzaya Yayıdığı Işık, 1992 ve 2013



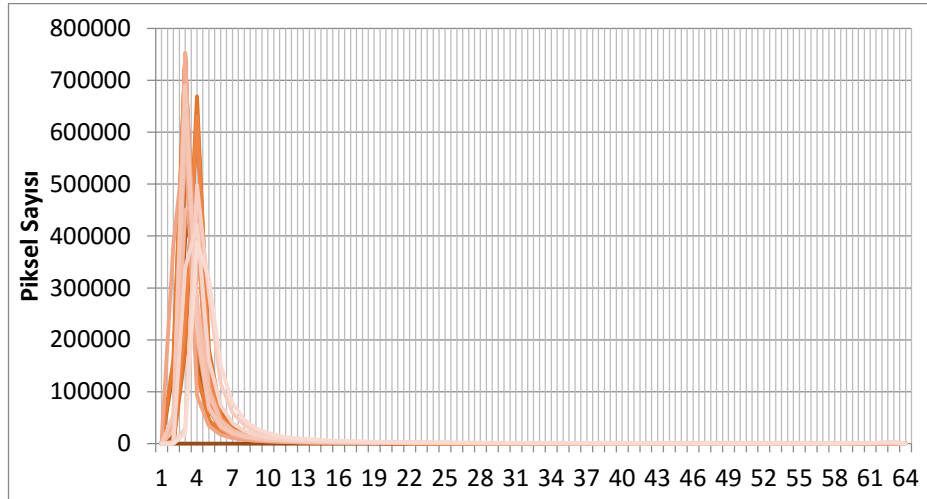
Kaynak: The Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) Operational Linescan System (OLS)

Not: yeşil-mavi-kırmızı formatında ölçeklendirilmiş ışık haritası kullanılmıştır. Hesaplama: TEPAV

Ekvatora yakınlığı sayesinde, Türkiye kutuplara yakın olan bölgelerine nazaran daha kaliteli ışık verisi sunmaktadır. Fakat Türkiye'nin kuzeydoğu yönünde uzanması Doğu Anadolu'dan yayılan ışık verisinin kalitesini çok ufak bir hatayla düşürmektedir. Diğer yandan en yüksek enlemlerdeki ülkelerin ışık kalitesi bile yaklaşık olarak 10.000 insanın daha az elektrik tüketmesi kadar etkilediği göz önüne alınırsa, Türkiye'nin bölgeleri arasındaki enlem farkının çalışmanın sonucu etkilemeyeceği düşünülmektedir (Henderson vd., 2009).

Kullanılan ölçeklendirme sisteminde, 0 puan karanlılığı; 63 puan en aydınlığı göstermektedir.⁸ Uydu görüntülerinde hangi aydınlık değerinde kaç piksel olduğu, ışığın coğrafyaya dağılımını ve yoğunluğunu göstermektedir. Bu görüntü ise gelişmişliğin belli bir alanda nasıl farklılaştığını anlamamıza yardımcı olmaktadır. Buna göre 2013 yılında Türkiye'de, en yaygın olarak 4 puanlık bir ışık yoğunluğu bulunmaktadır. Başka bir ifadeyle Türkiye haritası üzerinde aydınlık değeri en çok 4 puan civarında olan pikseller bulunmaktadır

Şekil 4: Türkiye'nin 1992-2013 yılları arasında uzaya yaydığı ışık miktarındaki dağılım



Kaynak: The Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) Operational Linescan System (OLS)

Hesaplama: TEPAV

Gece Işıkları ile reel GSYH Ölçümü

Atmosferik koşullar, farklı teknolojide uydu kullanımı ve yıl içerisinde periyodik olmayan kayıtlamalardan ötürü gece ışıkları verisi bozulmaya (distorsiyona) maruz kalabilir.⁹ Bu durum, ışıklarla ekonomik aktivitelerin ölçülmesini zorlaştıracaktır. Ayrıca çalışmamızdaki örneklem sayısının az ve ekonomik aktiviteyi açıklayan değişkenin (ışıklar) tek olması hata teriminin büyük olmasına neden olabilir. Diğer yandan, bu sorunları giderici yöntemler mevcuttur.

⁸ Elvidge, C. D.; Baugh, K. E., Dietz, J.B, Bland, T., Sutton, P.C., ve Kroehl, H.W.; "Radiance Calibration of DMSP-OLS Low-Light Imaging Data of Human Settlements", Remote Sensing of Environment, V.68, S. 77-88, Nisan 1999

⁹ Fierz-Schmidhauser, R. , Zieger P. , Wehrle G. , Jefferson A. , Ogren J. A. , Baltensperger U. , ve Weingartner, E. "Measurement of relative humidity dependent light scattering of aerosols", Atmospheric Measurements Techniques, 2010

İlk olarak gece ışıkları verisindeki dış etkilere kaynaklı distorsiyonları gidermek için *sinyal süreçleme* (FIR filter) adı verilen yöntemle filtrelenmiştir. Bu yöntemde, zaman serisi halindeki ışık verilerinin frekansı, [0,1] aralığında senkronize edilmektedir. Böylece gece ışıkları verisi, tıpkı dönemsel etkilere arındırılmış GSYH gibi normal dağılıma sahip olmaktadır.

İkinci olarak, örneklem sayımız az ve bağımsız değişkenimiz tek olduğu için klasik regresyon yöntemi kullanılmamıştır. Türkiye'nin reel ve cari GSYH'ni tahmin ederken, insan beyninin nöron hücreleri arasındaki ilişkiyi referans alarak hazırlanmış bir yazılım modeli olan *Neural Network* algoritmasına başvurulmuştur.¹⁰ Buna göre, klasik regresyondan farklı olarak kullanılan lineer olmayan otoregresif modelde (*nARX*), bağımlı ve bağımsız değişkenler daha önceki değerlerinden ve dışsal değişkenlerden etkilenmektedir.¹¹ Makroekonomide dinamik modellerin temelini oluşturduğu bu sistemde etkisini gördüğümüz fakat tanımlayamadığımız değişkenler de modele sokulmaktadır. Modelimiz oluşturulurken, gözlemlenemeyen değişkenlerin (*latent variable*), iki farklı aşamada (*layer*) ışıklar ile GSYH tahminine etki ettiği varsayılmıştır.¹²

Bu aşamada simülasyonumuz, örneklem içerisinde rastgele seçtiği gözlemlerle oluşturduğu baz model ile tanımladığımız model arasındaki farkı minimize edecek şekilde kurgulanmıştır. Bu, bir nevi optimizasyondur.¹³

¹⁰ Bu algoritma aynı zamanda *kendi kendine öğrenen* olarak anılmaktadır. Temel mantığı, örneklemde rastgele seçtiği gözlem setindeki patikayı bulup bunu modelin genel patikasıyla eşleştirmektir. Kısacası, Öklidiyen uzayda her bir iterasyonda öyle bir değerler (parametre) seti seçilmelidir ki, model ile baz model arasındaki hata terimi minimize edilmiş olsun. Örneklem sayısının çok olması bu mekanizmanın işleyişini kolaylaştıracaktır. Diğer yandan bu çalışmada kullanılan veri seti geniş değildir. Bu yüzden, patikada kalmayı sağlayan parametrelerin daha rahat bulunması için ışıklar verisi sinyal süreçlemeyle filtrelenmiştir.

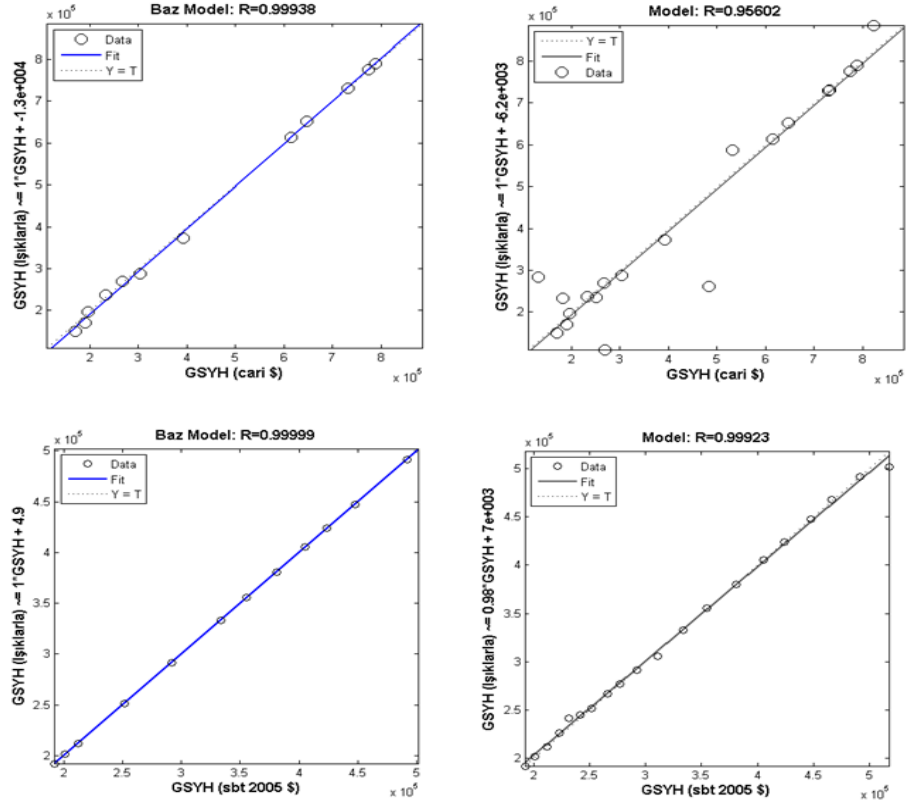
¹¹ Dinamik ve özyinelemeli modellerde iki değişken arasındaki kovaryansın modelin içselliğinden kaynaklı parametrelerden etkilenmesi, tek taraflı klasik regresyon tahmininde kullanılan en küçük kareler yöntemini geçersiz kılmaktadır (Greene, 2003).

¹² Ekonometrik analizlerde önerilen gizli nöron sayısı 10'dur. Bu çalışmada da gözlemlenemeyen değişkenler için 10 tane gizli nöron kullanılmıştır.

Nakamura., Emi, "Inflation Forecasting using neural network", Harvard University, 2004

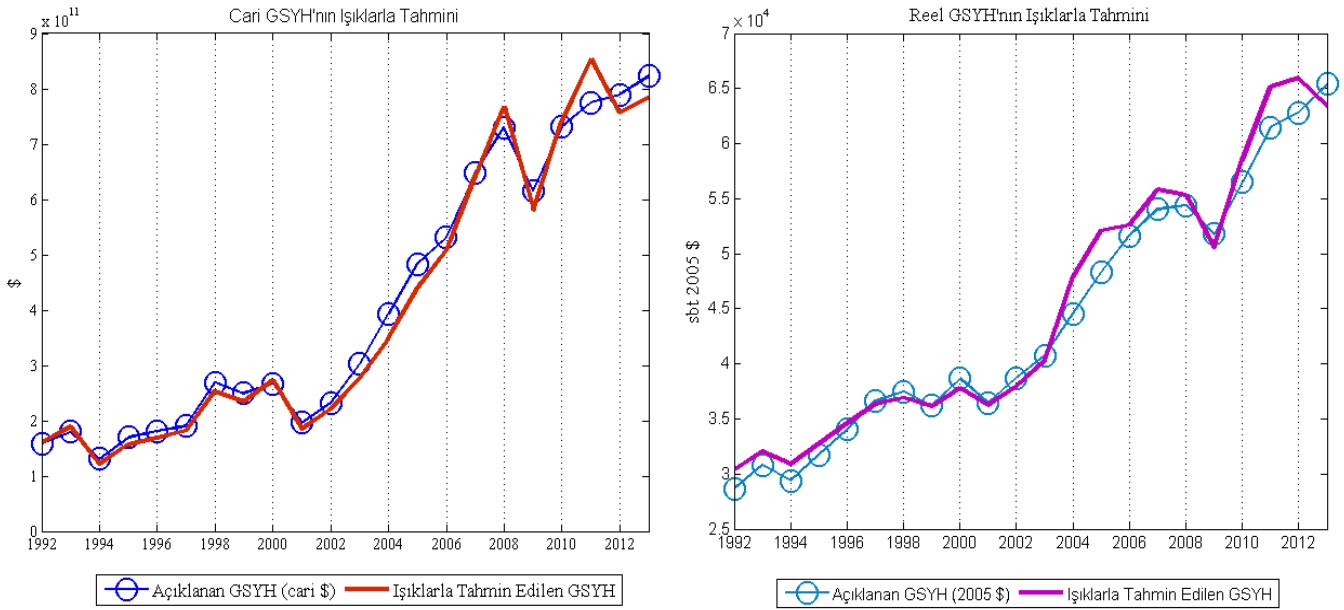
¹³ Herbrich., R., Keilbach., M., Graepel., T., Bollmann–Sdorra, P., ve Obermayer, K., "Neural Networks in Economics: Background, Applications, and New Developments", 1999, Microsoft

Şekil 5: Baz Modelde ve Modelde Tahmin ile Bağımlı Değişken Arasındaki Korelasyon



Not: Lineer olmayan parametre tahmininde, baz model için örneklemin %70'i kullanılmıştır.

Diğer yandan, Türkiye'nin gece ışıklarının hareketiyle reel GSYH'nin hareketi birbirine benzemektedir. İki değişkenin de polinom trendlerinin oldukça benzer olması, patika tahmininde oldukça iyi sonuç alınmasını sağlamıştır. Şekil 6a ve 6b'de açıklanan cari ve reel GSYH ile ışıklarla tahmin edilen GSYH'nin simülasyonu gösterilmektedir. Kısacası, gece ışıklarının milli gelir hesaplamalarının yakın temsili olduğu rahatlıkla söylenebilir (Şekil 5).

Şekil 6: Gece Işıklarıyla Tahmin Edilen cari (nominal) ve reel GSYH, 1992-2013

Kaynak: World Bank ve The Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) Operational Linescan System (OLS); Hesaplama: TEPAV

İl Bazında reel GSYH Değerlerinin Hesaplanması

Gece ışıkları verisinin, reel GSYH'yi tahmininde oldukça kuvvetli bir değişken olduğunu kanıtladıktan sonra ışık verileri, il bazında GSYH hesapları için kullanılmıştır. Bunun için, il bazında elde edilen gece ışıkları verileri sinyal süreçleme ile filtrelenmiştir. 2001 yılı ışık verisi 100 olacak şekilde 2001-2013 arasında bütün illerin ışıklarındaki oransal büyüme hesaplanmıştır. Daha sonra TÜİK tarafından en son 2001 yılında açıklanan 1987 fiyatlarıyla il bazında GSYH ile normalize edilen ışık değerleri çarpılmıştır. Böylelikle 2001-2013 arasında il bazında 1987 fiyatlarıyla temsili GSYH hesaplanmıştır.

TÜİK'in yayınladığı 2001 yılı il bazında GSYH değerlerinin toplamı ulusal GSYH değerinden %34,64 daha azdır. Bu hata payının merkezden yapılan kamu harcamalarının, veri hesaplamalarında illere tasnif edilememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bütün iller için oluşturulan *neural network* döngüsünde, illerin hasıllarının toplamından elde edilen temsili GSYH (girdi veri) ile Dünya Bankasının yayınladığı Türkiye'nin reel GSYH'si (hedef veri) tahmin edilmiştir. Buna göre girdi veri ve hedef veri arasındaki katsayı farkı tüm iller için endeks olarak kullanılmıştır. Böylece, TÜİK'in yayınladığı verilerdeki ulusal GSYH ile bütün illerin toplamından elde edilen GSYH arasındaki %34,64'lük hata payı giderilmiştir¹⁴. Ek'deki tabloda (EK Tablo 1) illerin 2005 sabit dolar fiyatlarına göre düzenlenmiş, *neural network*

¹⁴ 2009 yılında yayınlanan ve 2013 yılında yürürlükten kaldırılan Aydınlatma Yönetmeliğinin 4. Maddesine göre, otoyollar hariç kamunun genel kullanımına yönelik meydan, bulvar ve sokak aydınlatmalarının elektrik dağıtım şirketleri tarafından sağlanacağı ve ödemelerin Hazine'den yapılacağı karara bağlanmıştı. 2009 ile 2013 yılları arasında kamu alarındaki elektrik tüketimine yönelik politika değişikliğinin il bazında ve ulusal ölçekte GSYH tahminine etkisinin istatistiksel olarak anlamsız olduğu bulunmuştur. Bkz. Aydınlatma Yönetmeliği, Resmi Gazete Sayı: 27284 Tarih: 10 Temmuz 2009

döngüsüyle tahmin edilen il bazında GSYH ve 2001-2013 arasındaki değişimleri görülmektedir¹⁵.

Sonuç

Gece Işıkları verisi ekonomik büyüklüğün ölçümünde güvenilir ve güçlü bir veri kaynağıdır. GSYH değerleri hesaplanmayan ya da eksik hesaplanan alt bölgeler için temsil gücü yüksek bir ölçüm sunmaktadır. Bu çalışmada, gece ışıkları ile reel GSYH arasındaki ilişkinin lineer olmadığı öngörülmüş ve bu ilişki etkisi gözlenen fakat tanımlanamayan dış değişkenlerden etkilendiği varsayımı altında incelenmiştir. Uygulanan yöntem doğrultusunda, gece ışıkları verisiyle ulusal ölçekte reel GSYH tahmin edilmiştir. Benzer yöntem, il bazında reel GSYH hesaplanmasında da kullanılmıştır.

¹⁵ 1987 baz fiyatlı GSYH önce 1998 baz fiyatlarına çekilmiş daha sonra 2005 dolar kuruna göre düzenlenmiştir.