



2020

Turkish Journal of
Remote Sensing and GIS

Turkish Journal of Remote Sensing and GIS

Türk Uzaktan Algılama
ve CBS Dergisi



Baş Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. Halil AKINCI, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye.

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ZEYBEK, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.
Dr. Öğr. Üyesi Volkan YILMAZ, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye.

Yabancı Dil Editörü / Language Editor

Dr. Öğr. Üyesi Volkan YILMAZ, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye.

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Managing Editor

Doç. Dr. Ayşe YAVUZ ÖZALP, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye.

Yayın Kurulu / Publishing Board

Prof. Dr. Çetin CÖMERT, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye.
Prof. Dr. Mustafa TÜRKER, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
Doç. Dr. Sedat DOĞAN, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye.

Editör Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Ali Melih BAŞARANER, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. Arzu ÇÖLTEKİN, University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland.
Prof. Dr. Arzu ERENER, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.
Prof. Dr. Bülent BAYRAM, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. Çetin CÖMERT, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.
Prof. Dr. Çiğdem GÖKSEL, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. Fevzi KARSLI, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.
Prof. Dr. Füsun Balık ŞANLI, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye.
Prof. Dr. İsmail Rakıp KARAŞ, Karabük Üniversitesi, Türkiye.
Prof. Dr. Mehmet ALKAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. Mehmet Devrim AKÇA, Işık Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. Mustafa TÜRKER, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
Prof. Dr. Nesibe Necla ULUĞTEKİN, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
Prof. Dr. Süleyman Savaş DURDURAN, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, Türkiye.
Prof. Dr. Tarık TÜRK, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye.
Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, Kocaeli, Türkiye.
Doç. Dr. Ahmet Özgür DOĞRU, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Doç. Dr. Derya ÖZTÜRK, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye.
Doç. Dr. İsmail Ercüment AYAZLI, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye.
Doç. Dr. Krzysztof STERENCZAK, Instytut Badawczy Leśnictwa, Poland.
Doç. Dr. Mehmet Ali YÜCEL, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye.
Doç. Dr. Nusret DEMİR, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye.
Doç. Dr. Özlem AKAR, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, Türkiye.
Doç. Dr. Saygın ABDİKAN, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.



Editör Kurulu / Editorial Board

- Doç. Dr. Sultan KOCAMAN, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
Doç. Dr. Uğur ALGANCI, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Dr. Öğr. Üyesi Caner GÜNEY, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
Dr. Öğr. Üyesi Deniztan ULUTAŞ KARAKOL, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.
Dr. Öğr. Üyesi Esra TUNÇ GÖRMÜŞ, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.
Dr. Öğr. Üyesi Gülten KARA, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye.
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, Türkiye.
Dr. Öğr. Üyesi Resul ÇÖMERT, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, Türkiye.
Dr. Abdulla M. AL-RAWABDEH, Yarmouk University, Irbid, Jordan.
Dr. Aikaterini KARAGIANNI, Aristotle University of Thessaloniki, Greece.
Dr. Davod POREH, University of Napoli Federico II, Napoli, Italy.
Dr. Manohar YADAV, Motilal Nehru National Institute of Technology (MNNIT) Allahabad Prayagraj, India.
Dr. Mohammed DABBOOR, Environment and Climate Change Canada.
Dr. Mustafa ÜSTÜNER, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye.
Dr. Serkan URAL, ETH Zurich- Computational Physics, Switzerland.
Dr. Yasemin KUZU SINRAM, Hexagon Geospatial Ltd. USA.



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ RESEARCH ARTICLES

- Çok Amaçlı Metasezgisel Optimizasyon Algoritmaları ile Hibrit Pan-Keskinleştirme Yöntemlerinden Üretilen Görüntülerin Sınıflandırma Performanslarının Arttırılmasına Yönelik Bir Araştırma
On the Use of Multi-Objective Metaheuristic Optimization Algorithms to Increase the Classification Performance of Images Produced from Hybrid Pansharpening Methods
Volkan Yılmaz..... 1 - 10
- Uydu Verilerinin Simülasyonunu Kullanılarak Aerosollerin Uzaydan Yer Yüzey Sıcaklığının Tahmini Üzerindeki Etkisine İlişkin Bir Çalışma
A Study of the Impact of Aerosols on The Estimation of Land Surface Temperature from Space Using Simulation of Satellite Data
Abdelkader Labbi..... 11 - 20
- Harita Kullanıcılarının Davranışlarının Göz İzleme, Elektroensefalogram ve Dijital Taslak Haritalar Yardımıyla İncelenmesi
Investigation of Map Users' Behaviors Using Eye Tracking, Electroencephalogram and Digital Sketch Maps
Merve Keskin, Ahmet Özgür Doğru, Kristien Ooms, Philippe De Maeyer 21 - 31
- Pankromatik Bandın Piksel Tabanlı Sınıflandırmaya Etkisi
The Effect of Panchromatic Band on Pixel-Based Classification
Ekrem Saraloğlu..... 32 - 40
- Nokta Bulutu Yoğunluğunun Filtreleme Performansı Üzerine Etkisi
The Effect of Point Density on Point Cloud Filtering Performance
Çiğdem Şerifoğlu Yılmaz, Oğuz Güngör 41 - 46
- Meteorolojik Verilerin Bağlantılı Veriye Dönüştürülmesi: Karadeniz Bölgesi Örneği
Transforming Meteorological Data into Linked Data: Case of the Black Sea Region
Deniztan Ulutaş Karakol, Çetin Cömert 47 - 58

Çok Amaçlı Metasezgisel Optimizasyon Algoritmaları ile Hibrit Pan-Keskinleştirme Yöntemlerinden Üretilen Görüntülerin Sınıflandırma Performanslarının Arttırılmasına Yönelik Bir Araştırma

On the Use of Multi-Objective Metaheuristic Optimization Algorithms to Increase the Classification Performance of Images Produced from Hybrid Pansharpening Methods

Volkan Yılmaz^{1*} 

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08100, Artvin/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Volkan Yılmaz
volkanyilmaz.jdz@gmail.com

doi: 10.48123/rsgis.838767

Yayın süreci

Geliş tarihi: 10.12.2020
Kabul tarihi: 11.01.2021
Basım tarihi: 13.03.2021

Özet

Görüntü sınıflandırma uygulamaları yüksek renk kalitesine sahip olan görüntülere ihtiyaç duymaktadır. Ancak, gerek algılayıcılardaki teknik kısıtlamalar, gerekse de maliyet problemlerinden dolayı bu tarz görüntüleri elde etmek her zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, literatürde ilk defa, çok amaçlı bir metasezgisel optimizasyon algoritması olan Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) algoritması, hibrit bir pan-keskinleştirme yöntemi olan Intensity-Hue-Saturation Discrete Wavelet Transform (IHS-DWT) yönteminin performansının iyileştirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Önerilen yöntem ile renk kalitesi en iyiden en kötüye değişen beş farklı pan-keskinleştirilmiş görüntü üretilmiştir. Pan-keskinleştirmede kullanılan girdi Çok Bantlı (ÇB) görüntü ile üretilen bütün pan-keskinleştirilmiş görüntüler Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemine göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonuçları, önerilen yöntem ile üretilen bütün pan-keskinleştirilmiş görüntülerin toplam sınıflandırma doğruluğunu belli oranda arttırdığını göstermektedir. Ayrıca, önerilen yöntem ile üretilen en iyi renk kalitesine sahip olan iki görüntünün toplam sınıflandırma doğruluğunu yaklaşık % 24 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Önerilen yöntem ile yüksek sınıflandırma doğruluğuna ihtiyaç duyulan uygulamalar için altlık üretilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Pan-Keskinleştirme, Metasezgisel optimizasyon, Görüntü sınıflandırma

Abstract

Image classification applications require images of high colour quality. However, it is not always possible to obtain such images due to the technical constraints in the sensors and cost problems. Hence, this study, for the first time in the literature, used the multi-objective metaheuristic optimization algorithm Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) to improve the performance of the Intensity-Hue-Saturation Discrete Wavelet Transform (IHS-DWT) pansharpening method. Five different pansharpened images with colour quality ranging from best to worst were produced with the proposed method. The input Multispectral (MS) image and all pansharpened images were classified with the Artificial Neural Network (ANN) classifier. The classification results revealed that all pansharpened images produced by the proposed method increased the overall classification accuracy to a certain extent. It was also concluded that the two images with the best colour qualities increased the overall classification accuracy by approximately 24 %. It can also be concluded that the proposed method is able to provide images for applications that require a high classification accuracy.

Keywords: Pansharpening, Metaheuristic optimization, Image classification

1. Giriş

Günümüzde, uydu ve insanlı/insansız hava aracı teknolojilerindeki gelişmeler birçok uzaktan algılama uygulamasının ihtiyaç duyduğu yüksek uzamsal çözünürlüklü veya yüksek spektral çözünürlüklü görüntülerin elde edilebilmesine olanak sağlamaktadır. IKONOS, QuickBird, GeoEye-1, WorldView-2-3-4 vs. gibi uzaktan algılama uyduları, üzerlerinde barındırdıkları algılayıcılar sayesinde yüksek spektral çözünürlükte ve düşük uzamsal çözünürlükte çok bantlı (ÇB) görüntüler sağlarken, aynı zamanda da düşük spektral kaliteye sahip yüksek uzamsal çözünürlüklü pankromatik (PAN) görüntüler de üretebilmektedirler. Ayrıca, Earth Observation - 1 (EO-1) uydusuna entegre edilen Hyperion ve Chris uydusu üzerinde yer alan Proba gibi algılayıcılar sayesinde de daha yüksek spektral kaliteye sahip düşük uzamsal çözünürlüklü hiper bantlı uydu görüntüleri de elde etmek mümkündür. Görüldüğü üzere, uzaktan algılama uyduları tarafından görüntüler üretilirken ya spektral kaliteden ya da uzamsal kaliteden kayıplar yaşanmaktadır. Bunun nedeni uydu görüntülerini toplayan algılayıcılardaki birtakım teknik kısıtlamalardır (Yılmaz ve Gungor, 2016; Serifoglu Yılmaz vd., 2019). Sözü edilen teknik kısıtlamalar uzaktan algılama uygulamaları için ihtiyaç duyulan renk ve konum kalitesinde görüntüler elde edilebilmesini zorlaştırmaktadır. İhtiyaç duyulan kalitede görüntülerin elde edilebilmesini zorlaştıran bir diğer etmen ise yüksek kaliteli görüntülerin maliyetleridir. Uydu görüntülerinin spektral ve uzamsal kaliteleri arttıkça üretim ve pazarlama maliyetleri de artmaktadır. Bu gibi durumlar, araştırmacıları kendi uygulamaları için ihtiyaç duydukları spektral ve uzamsal kalitede görüntüler üretmek için motive etmektedir. Pan-keskinleştirme bu probleme etkin bir çözüm sunmaktadır (Yılmaz, 2020a).

Pan-keskinleştirme, yüksek uzamsal kalitedeki bir PAN görüntüdeki uzamsal detayları, aynı bölgeye ait daha düşük uzamsal kaliteye sahip yüksek spektral özellikli başka bir ÇB görüntüye aktararak, hem yüksek spektral kaliteye hem de yüksek uzamsal kaliteye sahip görüntüler üretilmesi işlemidir. Görüldüğü üzere, pan-keskinleştirme işleminin iki temel hedefi vardır; uzamsal kaliteyi girdi PAN görüntü kalitesine çıkarmak ve girdi ÇB görüntünün renk içeriğini başarıyla korumak. Ancak, bu iki hedefi aynı anda gerçekleştirmek çoğu durumda mümkün olmamaktadır. Bunun nedeni, pan-keskinleştirme yöntemlerinin hem renk yapısını hem de uzamsal detay kalitesini belli oranda bozmasıdır (Serifoglu Yılmaz vd., 2020).

1980'lerden günümüze kadar birçok pan-keskinleştirme yöntemi geliştirilmiştir. Dalgacık dönüşümü tabanlı pan-keskinleştirme yöntemleri literatürde en yaygın olarak kullanılan pan-keskinleştirme yöntemlerindedir. Çeşitli dalgacık dönüşümleri yardımıyla girdi PAN görüntüden çıkarttıkları uzamsal detayları girdi ÇB görüntüye aktaran bu yöntemler yüksek renk kalitesi vaat etmektedirler (Gogineni ve Chaturvedi, 2018; Yılmaz, 2020a). Bileşen değişimi tabanlı yaklaşımlar bir diğer yaygın olarak kullanılan pan-keskinleştirme yaklaşımlarındandır. Bu yaklaşımlar, girdi ÇB görüntünün renk ve uzamsal detay bilgilerini doğrusal bir dönüşüm aracılığıyla elde edilen farklı bir uzayda farklı bileşenlerde depolar. Bu yeni uzayda, uzamsal detay bilgilerini içeren bileşen girdi PAN görüntü ile yer değiştirir ve ters dönüşüm ile pan-keskinleştirilmiş görüntü üretilir (Ghassemian, 2016; Yılmaz, 2020a; Yılmaz vd., 2020). Bileşen değişimi tabanlı yöntemler, dalgacık dönüşümü tabanlı yöntemlerin aksine, uzamsal detay kalitesini arttırmakta oldukça başarılı olmalarına rağmen renk bozulmalarına yol açmaktadırlar (Serifoglu Yılmaz vd. 2019; Yılmaz, 2020a).

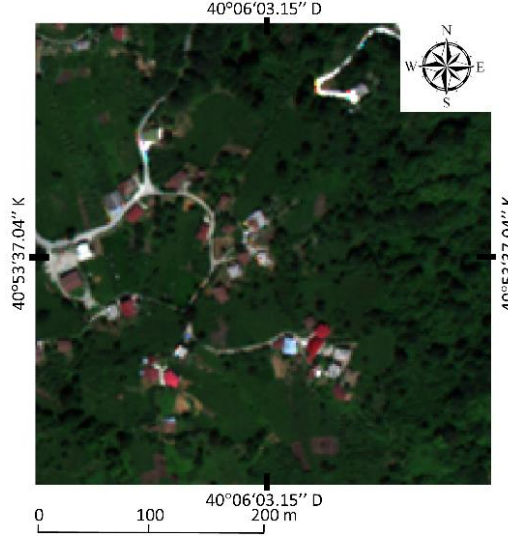
Optimum pan-keskinleştirme performansı elde etmek için metasezgisel optimizasyon algoritmalarından faydalanan yaklaşımlar son yıllarda dikkat çekmektedir. Garzelli ve Nencini (2006a) ve Garzelli ve Nencini (2006b) genetik algoritma kullanarak sırasıyla bileşen değişimi tabanlı Intensity-Hue-Saturation (IHS) yöntemini ve à-trous dalgacık dönüşümü tabanlı pan-keskinleştirme yöntemini optimize etmiştir. Yılmaz vd. (2019), bileşen değişimi tabanlı bir pan-keskinleştirme yöntemi olan Synthetic Variable Ratio (SVR) yönteminin performansını genetik algoritmadan yararlanarak iyileştirmiştir. Bir başka bileşen değişimi tabanlı pan-keskinleştirme yöntemi olan Gram-Schmidt (GS) (Laben ve Brower, 2000) yönteminin performansı Yılmaz vd. (2020) tarafından genetik algoritma yardımıyla iyileştirilmiştir. Serifoglu Yılmaz vd. (2019) metasezgisel Symbiotic Organisms Search (SOS) algoritmasından faydalanarak SVR yöntemini optimize ederken, Serifoglu Yılmaz vd. (2020) SOS algoritmasından yararlanarak hibrit bir pan-keskinleştirme yöntemi olan IHS - Discrete Wavelet Transform (IHS-DWT) (Abd El-Samie vd., 2012) yöntemini optimize etmiştir. Yılmaz (2020a) guguk kuşu arama algoritmasından faydalanan bir pan-keskinleştirme yöntemi geliştirmiştir. Yılmaz (2020b) çok amaçlı Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II (NSGA-II) metasezgisel algoritmasını kullanarak SVR ve GS pan-keskinleştirme yöntemlerini iyileştirmiştir.

Bu çalışmanın amacı, bileşen değişimi tabanlı IHS yöntemi ile dalgacık dönüşümü tabanlı DWT yöntemini birleştiren IHS-DWT yönteminin performansını NSGA-II metasezgisel algoritmasıyla iyileştirmek ve önerilen yöntemle elde edilen farklı pan-keskinleştirilmiş görüntülerin renk kalitesini görüntü sınıflandırma yöntemiyle irdelemektir. Önerilen yöntemin görüntü sınıflandırma performansına etkileri görsel ve sayısal olarak irdelenecektir.

Makalenin geri kalanının ana hatları şu şekildedir; 2. bölüm çalışmanın uygulandığı test bölgesini ve çalışma kapsamında kullanılan uydu görüntülerini tanıtmaktadır. 3. bölüm önerilen NSGA-II tabanlı IHS-DWT pan-keskinleştirme yöntemini açıklamaktadır. 4. Bölüm çalışma kapsamında kullanılan görüntü sınıflandırma prosedürü hakkında bilgi vermektedir. 5. bölüm önerilen yöntemin görüntü sınıflandırma performansına etkilerini görsel ve sayısal olarak irdelemektedir. 6. bölüm ise çalışmadan elde edilen genel sonuçları özetlemektedir.

2. Materyal ve Çalışma Alanı

Çalışma kapsamında önerilen pan-keskinleştirme yöntemi Trabzon ilinin Sürmene ilçesinde kırsal bir bölgeye uygulanmıştır. 15 hektarlık bir alan kaplayan ve merkezinin coğrafi koordinatları $40^{\circ}53'37.04''K$ - $40^{\circ}06'03.15''D$ olan çalışma alanı, 2012 yılında WorldView-2 uydusu tarafından görüntülenmiştir. WorldView-2 uydusu uzamsal çözünürlüğü 2 m olan sekiz adet spektral bant (kıyı-coastal, mavi, yeşil, sarı, kırmızı, kırmızı kenarı-red edge, kızılötesi 1 ve kızılötesi 2) ve uzamsal çözünürlüğü 50 cm olan bir adet PAN görüntü üretmektedir. ÇB görüntü ve PAN görüntünün radyometrik çözünürlüğü 11 bit' tir. Şekil 1 çalışma alanını göstermektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı

3. Önerilen Pan-keskinleştirme Yöntemi

Standart IHS-DWT pan-keskinleştirme yönteminde ilk aşama, girdi ÇB görüntünün boyutunu girdi PAN görüntünün boyutuna çıkartmaktır (Abd El-Samie vd., 2012). Elde edilen görüntü IHS dönüşümü yardımıyla RGB uzayından eksenleri yoğunluk, renk ve beyaza doygunluk olan başka bir uzaya dönüştürülür. RGB uzayından IHS uzayına dönüşüm aşağıda tanımlanmıştır (Gonzalez ve Woods, 2007):

$$\begin{pmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ -\frac{\sqrt{2}}{6} & -\frac{\sqrt{2}}{6} & \frac{\sqrt{2}}{6} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} K \\ Y \\ M \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$H = \tan^{-1} \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \quad (2)$$

$$S = \sqrt{V_1^2 + V_2^2} \quad (3)$$

Burada, I yoğunluk bileşenini, H renk bileşenini, S beyaza doygunluk bileşenini ifade etmektedir. K , Y ve M ise sırasıyla bir piksel konumundaki kırmızı, yeşil ve mavi bantlardaki gri değerleri temsil etmektedir.

Renk yapısındaki bozulmaları en aza indirmek için girdi PAN görüntünün histogramı elde edilen yoğunluk bileşeninin histogramına eşlenir. Daha sonra, girdi PAN görüntüye ve histogramı eşlenmiş yoğunluk bileşenine ayrık dalgacık dönüşümü (Discrete Wavelet Transform-DWT) uygulanır (Abd El-Samie vd., 2012). Herhangi bir görüntüye bir kademe ayrık dalgacık dönüşümü uygulandığında çözünürlüğü iki kat kötüleştirmiş dört adet alt bileşen oluşturulur.

Bu alt bileşenlerden bir tanesi olan ‘yaklaşım bileşeni’ görüntüdeki renk içeriğini barındırırken diğer üç alt bileşen görüntünün yatay, düşey ve çapraz yöndeki uzamsal detaylarını barındırır (Serifoglu Yılmaz vd., 2020). Girdi görüntüler arasındaki uzamsal çözünürlük oranı kaç kademe ayırık dalgacık dönüşümü uygulanacağını gösterir. Örneğin, girdi görüntüler arasındaki uzamsal çözünürlük oranı 4 ise iki kademe, 8 ise üç kademe ayırık dalgacık dönüşümü uygulanır. İlk kademe ayırık dalgacık dönüşümünden sonra uygulanacak olan her bir ayırık dalgacık dönüşümü elde edilen yaklaşım bileşenlerine uygulanır.

Daha sonra, histogramı eşlenmiş yoğunluk bileşeninden elde edilen yaklaşım bileşeni ile PAN görüntüden elde edilen yaklaşım bileşeninin ortalaması hesaplanır. Hesaplanan bu yeni görüntü, histogramı eşlenmiş yoğunluk bileşeninden elde edilen yaklaşım bileşeni ile yer değiştirir. Sonraki aşamada ters ayırık dalgacık dönüşümü uygulanarak yeni bir yoğunluk bileşeni elde edilir. Elde edilen bu yeni yoğunluk bileşeni ters IHS dönüşümünde kullanılarak pan-keskinleştirilmiş görüntü orijinal RGB uzayında elde edilir (Abd El-Samie vd., 2012). Ters IHS dönüşümü aşağıdaki gibi uygulanır (Gonzalez ve Woods, 2007):

$$\begin{pmatrix} K \\ Y \\ M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 \\ \sqrt{2} & \sqrt{2} & \sqrt{2} \\ 1 & -1 & -1 \\ \sqrt{2} & \sqrt{2} & \sqrt{2} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Eşitlik (1)’ de görüldüğü üzere, IHS dönüşümü yoğunluk bileşenini girdi ÇB görüntünün bantlarının ortalaması şeklinde hesaplamaktadır. Girdi ÇB görüntünün her bir bandının yoğunluk bileşenine eşit oranda katkı vermesi gerektiği varsayımı renk kalitesinde bozulmalara neden olmaktadır. Bu durumu engellemek için, girdi ÇB görüntünün her bir bandı için en uygun bant ağırlığı belirlenmelidir. Bu çalışmada, optimum yoğunluk bileşenini elde etmede kullanılan bant ağırlıkları çok amaçlı metasezgisel bir optimizasyon algoritması olan NSGA-II’ den faydalanılarak belirlenmiştir. Daha önce de belirtildiği üzere pan-keskinleştirme işleminin iki hedefi vardır; girdi PAN görüntünün uzamsal detaylarının başarıyla aktarılması ve pan-keskinleştirme yaparken girdi ÇB görüntünün renk yapısının başarıyla korunması. Bu nedenle, pan-keskinleştirme iki amaçlı bir problem gibi düşünülebilir. Bu iki amacı da gerçekleştiren optimum bant ağırlıklarını belirlemek için NSGA-II algoritmasından yararlanılmıştır.

- NSGA-II algoritması ilk aşama olarak boyutu kullanıcı tarafından belirlenen rastgele bir popülasyon oluşturur (Deb vd., 2002).
- Üretilen popülasyon verilen iki amaca göre hızlı baskılanamayan sıralama (non-dominated sorting) yaklaşımına göre sıralanır ve her bir çözüme bir sıralama değeri (rank) verilir.
- Aynı sıralama değerine denk gelen çözümler arasında yığılma uzaklığı (crowding distance) sıralaması yapılır. Buna göre, aynı sıralama değerine sahip olan her bir çözümün, her iki amaç için diğer çözümlere olan uzaklıklarının toplamı yığılma uzaklığını verir. Yani, yığılma uzaklığı sıralaması her bir çözümü etrafındaki çözümlerin kalabalıklık derecesine göre sıralar. Yığılma değerinin küçük olması çözümün etrafının kalabalık olması anlamına gelmektedir. Bu durum tercih edilmediğinden dolayı yığılma uzaklığı değeri büyük olan çözümler seçilir (Deb vd., 2002).
- Aday çözümler hızlı baskılanamayan sıralama ve yığılma uzaklığı sıralamasına göre sıralandıktan sonra kalabalıklık karşılaştırma operatörü (crowded comparison operator) ve ikili turnuva seçimi (binary tournament selection) yöntemleri ile ebeveyn çözümler seçilir. Benzetlenmiş ikili çaprazlama (simulated binary crossover) ve polinom mutasyonu (polynomial mutation) yöntemleri seçilen ebeveynlerden yeni kromozomlar üretilmesinde kullanılır. Simüle edilmiş ikili çaprazlama yöntemi en iyi çözümler etrafında komşuluk araması yaparken, polinom mutasyonu yöntemi arama uzayının farklı bölgelerindeki çözümleri aramaya yarar.
- Elde edilen yeni kromozomlar orijinal popülasyona eklenerek yeni bir ara popülasyon oluşturulur.
- Ara popülasyon tekrar hızlı baskılanamayan sıralama ve yığılma uzaklığı sıralamasına göre sıralanarak orijinal popülasyon boyutunda yeni bir popülasyon elde edilir. Bu popülasyon sonraki iterasyonun girdi popülasyonu olarak kullanılır (Deb vd., 2002).
- İterasyonlar önceden belirlenen bir yakınsama değeri veya maksimum iterasyon sayısına ulaşılan kadar devam eder.

NSGA-II algoritması sonuç ürünü olarak Pareto optimal seti oluşturur. Bu set üzerindeki çözümler hiçbir çözüm tarafından baskılanamayan çözümleri içerir (Deb vd., 2002). Pareto optimal set üzerindeki çözümlerin hepsi eşit derecede önemlidir, dolayısıyla bu çözümlerden herhangi birinin bir diğerinden daha önemli olduğu düşünülemez. Kullanıcı, uygulamasının amacına en uygun olan çözümleri seçer (Yılmaz, 2020b). Bu çalışmada önerilen NSGA-II tabanlı IHS-DWT yönteminin iki amacından biri renk yapısını korumaktır. Bunu sağlamak için pan-keskinleştirilmiş görüntülerin renk yapılarının ne derece korunduğunu ölçmede kullanılan Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse (ERGA) (Wald, 2000) metriğinden faydalanılmıştır. ERGA metriği aşağıdaki gibi hesaplanır (Wald, 2000):

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \left(\frac{RMSE(k)}{\mu(\mathcal{C}B_k)} \right)^2} \quad (5)$$

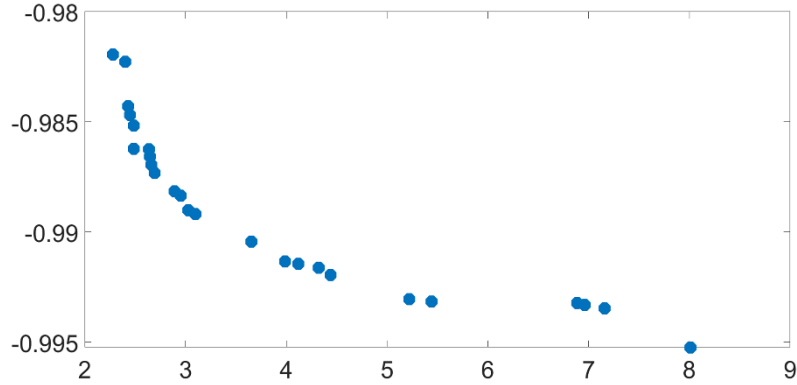
Burada, h ve l sırasıyla girdi PAN ve ÇB görüntülerin uzamsal çözünürlüklerini göstermektedir. K toplam bant sayısını, $RMSE(k)$ girdi ÇB görüntünün k . bandı ile pan-keskinleştirilmiş görüntünün k . bandı arasındaki karesel ortalama hatayı (RMSE) ve $\mu(\mathcal{C}B_k)$ ise girdi ÇB görüntünün k . bandının ortalamasını göstermektedir.

NSGA-II tabanlı yöntemin bir diğer amacı ise girdi PAN görüntüdeki uzamsal detayları başarıyla aktarmaktır. Bu amacın sağlanması için pan-keskinleştirilmiş görüntülerin uzamsal kalitelerinin ölçülmesinde sıklıkla kullanılan uzamsal korelasyon katsayısı (UKK) (Zhou vd., 1998) metriğinden faydalanılmıştır. UKK metriği aşağıdaki gibi hesaplanır (Zhou vd., 1998):

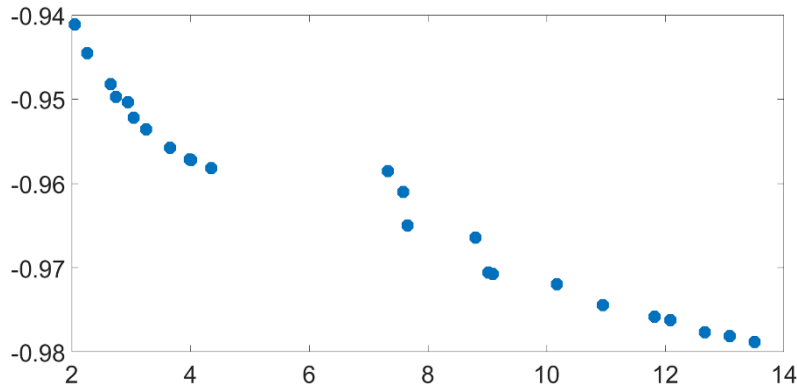
$$UKK = \frac{\sum_{m,n} (LPAN_{mn} - \mu(LPAN))(LP_{mn} - \mu(LP))}{\sqrt{\left(\sum_{m,n} (LPAN_{mn} - \mu(LPAN))^2 \right) \left(\sum_{m,n} (LP_{mn} - \mu(LP))^2 \right)}} \quad (6)$$

Burada, $LPAN$ bir Laplacian filtre ile filtrelenmiş girdi PAN görüntüsünü, LP is bir Laplacian filtre ile filtrelenmiş pan-keskinleştirilmiş görüntüyü temsil etmektedir.

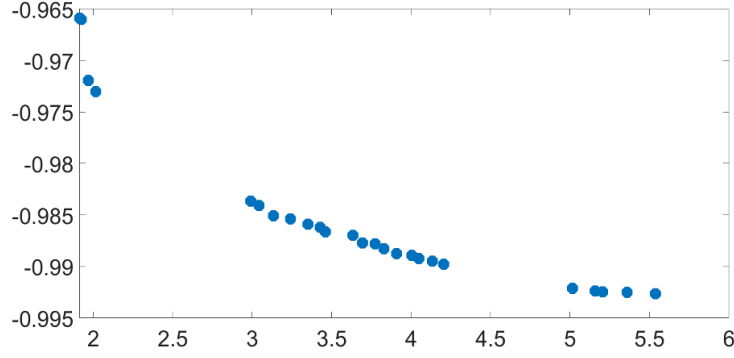
Çalışma kapsamında kullanılan IHS dönüşümü üç bantlı ÇB görüntüler ile çalışmaktadır. Ancak, çalışmada kullanılan girdi ÇB görüntü sekiz banda sahip olduğu için önerilen yöntem girdi ÇB görüntünün üçlü bant kombinasyonlarına uygulanmıştır. Dolayısıyla, önerilen yöntem kapsamında üretilen Pareto optimal çözüm değerlerini içeren Pareto cephesi (Pareto front) 1-2-3, 4-5-6 ve 6-7-8 bant kombinasyonları için üretilmiştir. 1-2-3 bant kombinasyonu için üretilen Pareto cephesi Şekil 2' de, 4-5-6 bant kombinasyonu için üretilen Pareto cephesi Şekil 3' de, 6-7-8 bant kombinasyonu için üretilen Pareto cephesi ise Şekil 4' de gösterilmiştir.



Şekil 2. 1-2-3 bant kombinasyonu için üretilen Pareto cephesi



Şekil 3. 4-5-6 bant kombinasyonu için üretilen Pareto cephesi



Şekil 4. 6-7-8 bant kombinasyonu için üretilen Pareto cephesi

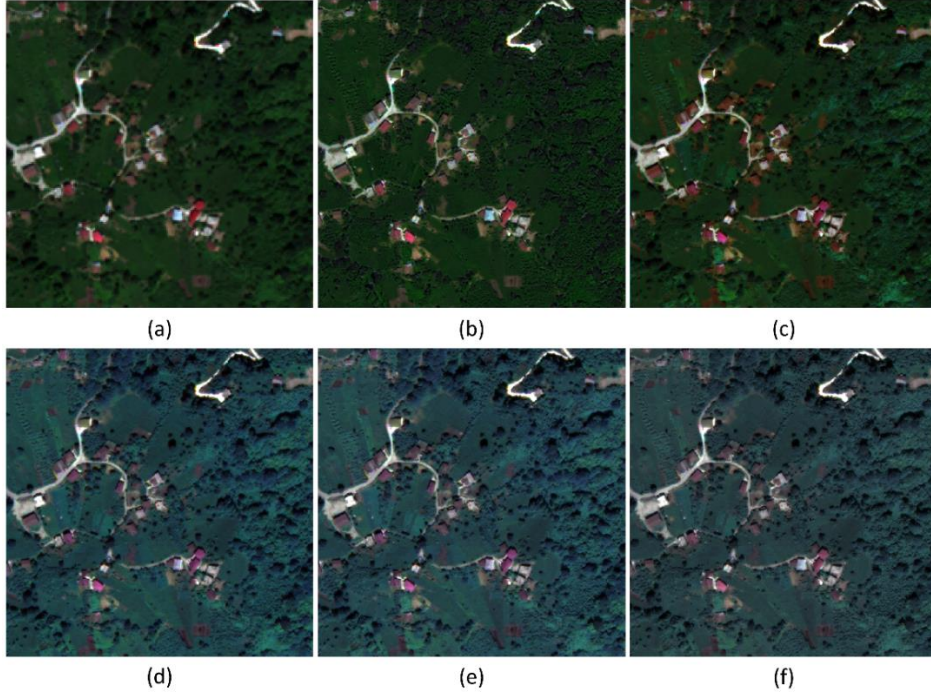
Bu çalışma kapsamında, önerilen pan-keskinleştirme yöntemi ile beş farklı pan-keskinleştirilmiş görüntü üretilmiştir. Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4' de gösterilen bütün Pareto optimal çözümler kullanılarak en iyi renk kalitesini sağlayan bant ağırlıkları, iyi bir renk kalitesi sağlayan bant ağırlıkları, optimum renk ve uzamsal kaliteyi sağlayan bant ağırlıkları, iyi bir uzamsal kalite sağlayan bant ağırlıkları ve en iyi uzamsal kaliteyi sağlayan bant ağırlıkları belirlenerek beş farklı pan-keskinleştirilmiş görüntü üretilmiştir.

4. Görüntü Sınıflandırma

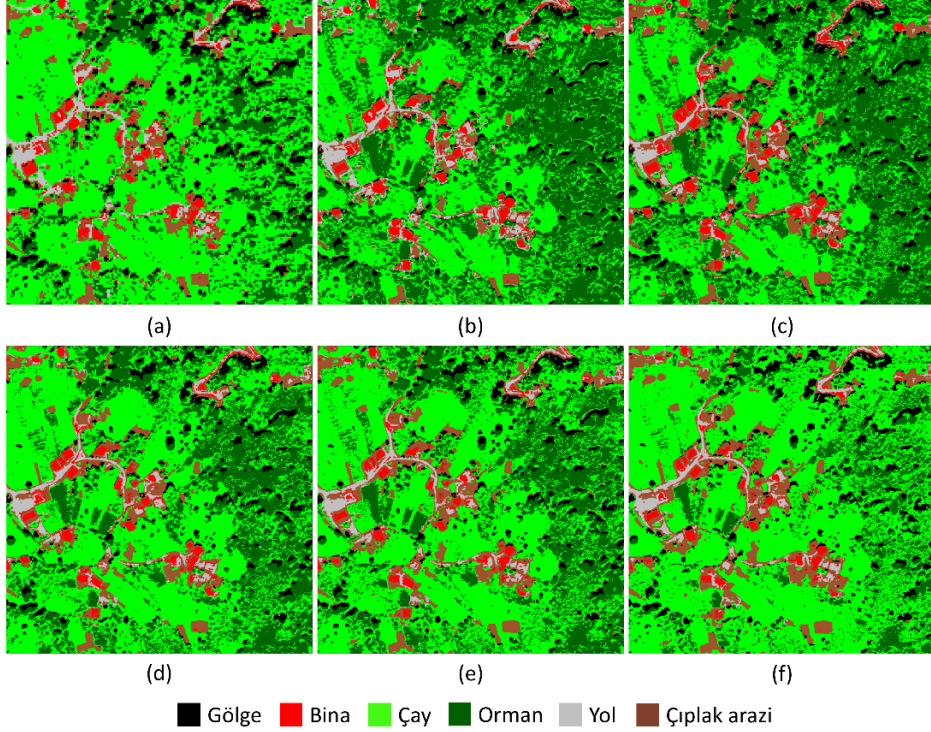
Önerilen yöntemin görüntü sınıflandırma performansına etkilerini irdelemek için girdi ÇB görüntü ve üretilen bütün pan-keskinleştirilmiş görüntüler Yapay Sinir Ağları (YSA) ile sınıflandırılmıştır. YSA sınıflandırma yöntemi insan gözü ve beyin arasındaki kombinasyonu taklit eder. YSA sınıflandırma yönteminin temel amacı, eğitim verilerindeki düzenlilikleri öğrenmek ve bu düzenliliklere göre sınıflandırma kurallarını oluşturmaktır. Ağın mimarisi kullanıcı tarafından belirlenir (Tso ve Mather, 2009). Kullanıcı ağın eğitim oranını ve eğitim momentumunu tanımlamalıdır. Tipik bir sinir ağı üç katmandan oluşur. En soldaki katman (yani girdi katmanı) eğitim pikseli vektörlerini depolayan nöronları içerir. Girdi katmanında herhangi bir işlem yapılmaz. Sınıflandırmanın işlemi orta katman (yani gizli katman) tarafından gerçekleştirilir. En sağdaki katman (yani çıktı katmanı) sınıflandırma sonuçlarını üretir (Tso ve Mather, 2009). Aynı katmandaki nöronların hiçbiri birbirine bağlı değildir. Öte yandan, bir katmandaki her bir nöron, bir sonraki katmandaki nöronlara tam olarak bağlıdır. Bir ağdaki her ara bağlantı, öğrenme sırasında ayarlanan bir ağırlıkla ilişkilendirilir (Tso ve Mather, 2009). Geri yayılım algoritması, bu ağırlıkları güncellemek için kullanılan en yaygın algoritmalarından biridir. Geri yayılım algoritması, ileri ve geri yayılma olmak üzere iki adımdan oluşur. İleri yayılma aşamasında, girdi katmanı her bir eğitim piksel vektörü tarafından beslenir ve nöronların etkinliklerini girdi katmanından çıktı katmanına güncellemek için haritalama işlevleri kullanılır. Çıktı nöronlarının aktiviteleri beklenen aktivitelerle karşılaştırılır. Çıktı ile beklenen aktivite arasındaki fark ağ hatasıdır. Bu hata, çıktı katmanından geriye doğru yayılarak dağıtılır. İleri ve geri yayılımlar, tüm sınıfların özellikleri öğrenilene kadar art arda gerçekleştirilir (Tso ve Mather, 2009). Bu çalışmada geri yayılım algoritmasını benimseyen bir YSA kullanılmıştır. Eğitim oranı, eğitim momentumu, gizli katman sayısı ve eğitim momentumu parametreleri sırasıyla 0,3, 0,9, 1 ve 2000 olarak ayarlanmıştır. Bu parametre değerleri birçok farklı parametre denenerek belirlenmiştir. Oluşturulan YSA ile girdi ÇB görüntü ve pan-keskinleştirilmiş görüntüler gölge, bina, çay, orman, yol ve çıplak arazi olmak üzere altı arazi kullanım sınıfına ayrılmıştır. Bütün görüntülerin sınıflandırılmasında aynı eğitim piksellerinden yararlanılmıştır. Eğitim pikselleri arazi sınıflarının renk bakımından homojen kısımlarından toplanmıştır.

5. Bulgular

Önerilen yöntem ile üretilen pan-keskinleştirilmiş görüntüler Şekil 5' de gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere, önerilen yöntem renk kalitesi girdi ÇB görüntünün renk kalitesine oldukça benzer görüntüler üretmeyi başarmıştır. Üretilen en iyi renk kalitesine sahip olan pan-keskinleştirilmiş görüntü (Şekil 5 (b)) neredeyse bütün yeryüzü nesnelere renklerin korumayı başarmıştır. Üretilen iyi renk kalitesine sahip görüntü (Şekil 5 (c)) ise genel olarak renk içeriğini korumakla beraber bazı yeşil alanlarda renk bozulmaları içermektedir. Önerilen yöntem optimum renk ve uzamsal kaliteye sahip pan-keskinleştirilmiş görüntüyü (Şekil 5(d)) üretirken renk yapısında da uzamsal detay kalitesinde de belli oranda bozulmalara yol açmıştır. Önerilen yöntem ile uzamsal detay kalitesini elde etmek üzere üretilen görüntülerdeki (Şekil 5 (e) ve (f)) renk bozulmaları açıkça görülmektedir. Bu görüntülerdeki uzamsal detay kalitesi ise dikkat çekicidir. Girdi ÇB görüntünün ve üretilen pan-keskinleştirilmiş görüntülerin YSA ile sınıflandırılması sonucu elde edilen görüntüler Şekil 6' da gösterilmiştir.



Şekil 5. Üretilen pan-keskinleştirilmiş görüntüler: (a) Girdi ÇB görüntü; (b) En iyi renk kalitesine sahip pan-keskinleştirilmiş görüntü; (c) İyi bir renk kalitesine sahip pan-keskinleştirilmiş görüntü; (d) Optimum renk ve uzamsal kaliteye sahip pan-keskinleştirilmiş görüntü; (e) İyi bir uzamsal kaliteye sahip pan-keskinleştirilmiş görüntü; (f) En iyi uzamsal kaliteye sahip pan-keskinleştirilmiş görüntü



Şekil 6. Üretilen sınıflandırılmış görüntüler: (a) Girdi ÇB görüntünün YSA sonucu; (b) En iyi renk kalitesine sahip pan-keskinleştirilmiş görüntünün YSA sonucu; (c) İyi bir renk kalitesine sahip pan-keskinleştirilmiş görüntünün YSA sonucu; (d) Optimum renk ve uzamsal kaliteye sahip pan-keskinleştirilmiş görüntünün YSA sonucu; (e) İyi bir uzamsal kaliteye sahip pan-keskinleştirilmiş görüntünün YSA sonucu; (f) En iyi uzamsal kaliteye sahip pan-keskinleştirilmiş görüntünün YSA sonucu

Elde edilen tematik görüntülerin sınıflandırma doğrulukları çalışma bölgesinde belirlenen 500 adet referans nokta ile irdelenmiştir. Girdi ÇB görüntü ile pan-keskinleştirilmiş görüntülerden elde edilen tematik görüntülerin kıyaslanabilmesi için girdi ÇB görüntünün boyutu girdi PAN görüntü boyutuna en yakın komşu yöntemine göre çıkartılmıştır. Referans noktaların sınıf değerlerinin tespit edilmesi için girdi PAN görüntüden ve çalışma bölgesine ait Google Earth görüntülerinden faydalanılmıştır. Referans noktalar ile sınıflandırılmış görüntülerden elde edilen hata matrisleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Sınıflandırma doğrulukları

Görüntü	Arazi Sınıfı	Toplam Referans	Toplam Sınıflandırılmış	Doğru Sınıflandırılmış	Üretici Doğruluğu	Kullanıcı Doğruluğu
Orjinal ÇB Görüntü	Çay	187	291	168	% 89.84	% 57.73
	Bina	18	17	12	% 66.67	% 70.59
	Çıplak Arazi	32	48	23	% 71.88	% 47.92
	Yol	13	20	9	% 69.23	% 45.00
	Gölge	37	32	19	% 51.35	% 59.38
	Ağaç	213	92	78	% 36.62	% 84.78
	Toplam	500	500	309	Toplam Doğruluk = % 61.80	
En İyi Renk	Çay	187	200	148	% 79.14	% 74.00
	Bina	18	12	11	% 61.11	% 91.67
	Çıplak Arazi	32	29	22	% 68.75	% 75.86
	Yol	13	25	12	% 92.31	% 48.00
	Gölge	37	22	22	% 59.46	% 100.00
	Ağaç	213	212	165	% 77.46	% 77.83
	Toplam	500	500	380	Toplam Doğruluk = % 76.00	
İyi Bir Renk	Çay	187	201	150	% 80.21	% 74.63
	Bina	18	13	10	% 55.56	% 76.92
	Çıplak Arazi	32	42	28	% 87.50	% 66.67
	Yol	13	17	10	% 76.92	% 58.82
	Gölge	37	29	26	% 70.27	% 89.66
	Ağaç	213	198	160	% 75.12	% 80.81
	Toplam	500	500	384	Toplam Doğruluk = % 76.80	
Optimum	Çay	187	264	173	% 92.51	% 65.53
	Bina	18	12	9	% 50.00	% 75.00
	Çıplak Arazi	32	37	25	% 78.13	% 67.57
	Yol	13	18	11	% 84.62	% 61.11
	Gölge	37	25	22	% 59.46	% 88.00
	Ağaç	213	144	123	% 57.75	% 85.42
	Toplam	500	500	363	Toplam Doğruluk = % 72.60	
İyi Bir Konum	Çay	187	257	166	% 88.77	% 64.59
	Bina	18	9	8	% 44.44	% 88.89
	Çıplak Arazi	32	49	26	% 81.25	% 53.06
	Yol	13	20	12	% 92.31	% 60.00
	Gölge	37	24	22	% 59.46	% 91.67
	Ağaç	213	141	123	% 57.75	% 87.23
	Toplam	500	500	357	Toplam Doğruluk = % 71.40	
En İyi Konum	Çay	187	320	174	% 93.05	% 54.38
	Bina	18	9	9	% 50.00	% 100.00
	Çıplak Arazi	32	46	29	% 90.63	% 63.04
	Yol	13	20	13	% 100.00	% 65.00
	Gölge	37	29	27	% 72.97	% 93.10
	Ağaç	213	76	68	% 31.92	% 89.47
	Toplam	500	500	320	Toplam Doğruluk = % 64.00	

Tablo 1’de görüldüğü üzere bütün pan-keskinleştirilmiş görüntüler sınıflandırma doğruluğunu belli oranda arttırmışlardır. Girdi ÇB görüntünün sınıflandırma doğruluğu %61.80’dir. Bu görüntü için genel sınıflandırma doğruluğunun düşük çıkmasının en büyük nedeni çalışma bölgesinin büyük çoğunluğunun çay ve orman alanlarından oluşmasıdır. Çay ve orman alanları benzer spektral özelliklere sahip olduklarından dolayı bu sınıfların birbirine karışması sınıflandırma performansını olumsuz etkilemiştir. En iyi renk kalitesini sunan pan-keskinleştirilmiş görüntünün sınıflandırma doğruluğu %76 iken, iyi bir renk kalitesi sunan pan-keskinleştirilmiş görüntü ise %76.80’ lik bir doğrulukla sınıflandırılmıştır. Tablo 1’ de görüldüğü üzere, bu iki görüntü de çay ve orman alanlarının ayrılmasında belli oranda başarılı olmuşlardır. Optimum renk ve uzamsal kaliteye sahip pan-keskinleştirilmiş görüntü, iyi bir konum sağlayan pan-keskinleştirilmiş görüntü ve en iyi konum kalitesini sağlayan pan-keskinleştirilmiş görüntü ise sırasıyla %72.60, %71.40 ve %64’lük bir başarıyla sınıflandırılmıştır.

6. Sonuç

Çalışma kapsamına hibrit bir pan-keskinleştirme yöntemi olan IHS-DWT yönteminin performansı çok amaçlı bir metasezgisel algoritma olan NSGA-II ile iyileştirilmiştir. Bu çalışmada önerilen yöntem ile en iyi renk kalitesini sağlayan bant ağırlıkları, iyi bir renk kalitesi sağlayan bant ağırlıkları, optimum renk ve uzamsal kaliteyi sağlayan bant ağırlıkları, iyi bir uzamsal kalite sağlayan bant ağırlıkları ve en iyi uzamsal kaliteyi sağlayan bant ağırlıkları belirlenerek beş farklı pan-keskinleştirilmiş görüntü üretilmiştir. Üretilen pan-keskinleştirilmiş görüntülerin sınıflandırma doğrulukları hesaplandığında, üretilen iyi renk kalitesine sahip olan görüntülerin toplam sınıflandırma doğruluğunu yaklaşık %24 oranında arttırdığı görülmektedir. Üretilen iyi renk kalitesine sahip olan iki görüntü de birbirine karışması muhtemel olan çay ve orman alanlarının diğer görüntülere göre daha yüksek başarıyla sınıflandırılmasına olanak sağlamıştır. Optimum renk ve uzamsal kaliteyi sağlayan görüntü ve iyi bir konum kalitesini sağlayan diğer görüntüler de toplam sınıflandırma doğruluğunu belli oranda arttırmışlardır. Önerilen yönteminin kullanıcıya istediği renk veya uzamsal kalitede görüntü üretme imkânı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, önerilen yöntem ile yüksek sınıflandırma doğruluğu gereken uygulamalara altlık görüntüler oluşturulabileceği ortaya konulmuştur.

Teşekkür

Çalışma kapsamında kullanılan uydu görüntülerinin sağlanmasında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümüne katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

Kaynaklar

- Abd El-Samie, F. E., Hadhoud, M. M., & El-Khamy, S. E. (2012). *Image Super-Resolution and Applications*. CRC press.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. A. M. T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182-197. doi: 10.1109/4235.996017.
- Garzelli, A., & Nencini, F. (2006a). Fusion of Panchromatic and Multispectral Images by Genetic Algorithms. *IEEE International Conference on Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2006)* (3810-3813). Denver, CO, USA. doi: 10.1109/IGARSS.2006.976.
- Garzelli, A., & Nencini, F. (2006b). PAN-sharpening of Very High Resolution Multispectral Images Using Genetic Algorithms. *International Journal of Remote Sensing*, 27(15), 3273-3292. doi: 10.1080/01431160600554991.
- Ghassemian, H. (2016). A review of remote sensing image fusion methods. *Information Fusion*, 32, 75-89. doi: 10.1016/j.inffus.2016.03.003.
- Gogineni, R., & Chaturvedi, A. (2018). Sparsity inspired pan-sharpening technique using multi-scale learned dictionary. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146, 360-372. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2018.10.009.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R.E. 2007. *Digital Image Processing*. 3rd Edition, Pearson.
- Laben, C. A., & Brower, B. V. (2000). *U.S. Patent No. 6,011,875*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Serifoglu Yılmaz, C., Yılmaz, V., & Güngör, O. (2020). On the use of the SOS metaheuristic algorithm in hybrid image fusion methods to achieve optimum spectral fidelity. *International Journal of Remote Sensing*, 41(10), 3993-4021. doi: 10.1080/01431161.2019.1711244.
- Serifoglu Yılmaz, C., Yılmaz, V., Gungor, O., & Shan, J. (2019). Metaheuristic pansharpening based on symbiotic organisms search optimization. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 158, 167-187. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2019.10.014.
- Tso, B., & Mather, P. 2009. *Classification Methods for Remotely Sensed Data*. 2nd Edition, CRC Press.
- Wald, L. 2000. Quality of high resolution synthesized images: Is there a simple criterion? *3rd Conference: Fusion of Earth Data: Merging Point Measurements, Raster Maps and Remotely Sensed Images (99-103)*. Sophia Antipolis, France.

- Yılmaz, V. (2020a). Metasezgisel Guguk Kuşu Arama Algoritması ile Görüntü Kaynaştırma. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 1(1), 1-12.
- Yılmaz, V. (2020b). A Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II-based approach to optimize the spectral and spatial quality of component substitution-based pansharpened images. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, e6030.
- Yılmaz, V., & Gungor, O. (2016). Determining the optimum image fusion method for better interpretation of the surface of the Earth. *Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography*, 70(2), 69-81. doi: 10.1080/00291951.2015.1126761.
- Yılmaz, V., Serifoglu Yılmaz, C., Güngör, O., & Shan, J. (2020). A genetic algorithm solution to the gram-schmidt image fusion. *International Journal of Remote Sensing*, 41(4), 1458-1485. doi: 10.1080/01431161.2019.1667553.
- Zhou, J., Civco, D. L., & Silander, J. A. (1998). A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data. *International Journal of Remote Sensing*, 19(4), 743-757. doi: 10.1080/014311698215973.

A Study of the Impact of Aerosols on The Estimation of Land Surface Temperature from Space Using Simulation of Satellite Data Uydu Verilerinin Simülasyonunu Kullanılarak Aerosollerin Uzaydan Yer Yüzey Sıcaklığının Tahmini Üzerindeki Etkisine İlişkin Bir Çalışma

Abdelkader Labbi^{1*} 

¹Department of Physics, Faculty of Exact Sciences, University of El Oued, 39000, El Oued/Algeria.

ORIGINAL PAPER

*Corresponding author:

Abdelkader Labbi
labbiabdelkadar@yahoo.fr

doi: 10.48123/rsgis.839293

Article history:

Received: 11.12.2020
Accepted: 02.02.2021
Published: 13.03.2021

Abstract

Accurate estimation of land surface temperature (LST) is strongly required for many applications such as environmental studies. However, there are several algorithms in the literature for estimating LST from satellite those do not take into account the effect of the aerosols. Actually, these aerosols can exert an important influence on the estimation of LST from satellite thermal infrared data. Therefore, in this paper we presented a theoretical study and a simple methodology to show the impact of the aerosols on the estimation of LST from satellite in the thermal infrared region. For this, the simulation by the radiative transfer code Modtran3.5 has been carried out. The results showed that, the impact of aerosols on the estimation of LST depends on the Viewing angle, atmospheric situation, type of aerosols and surface emissivity. The results showed also that, the difference between LST estimated when the aerosol model is considered with respect to atmosphere without aerosol content varies increasingly with the viewing angle and is very sensitive to the situation of the atmosphere and varies decreasingly with the visibility and varies increasingly with the surface emissivity. This work shows that, for the lowest values of the visibility, the impact of aerosols is important and correction is needed for estimating LST. Discussion about this is given in this work.

Keywords: Aerosols, Land surface temperature, Satellite data, Thermal infrared region, Radiative transfer equation

Özet

Birçok çevre araştırması için yer yüzey sıcaklığının (LST) doğru tahmin edilmesi büyük ölçüde gereklidir. Literatürde uydu verilerinden yer yüzey sıcaklığını tahmin etmek için önerilen birçok algoritma aerosollerin etkisini dikkate almaz. Oysaki bu aerosoller, uydu termal kızılötesi verilerinden yapılan yer yüzey sıcaklığı tahminleri üzerinde önemli bir etki yaratabilmektedir. Bu nedenle, bu çalışma, aerosollerin termal kızılötesi bölgede yer yüzey sıcaklığı tahmini üzerindeki etkisini göstermek için teorik bir araştırma ve basit bir metodoloji sunmaktadır. Bu amaçla, ışınım transfer kodu Modtran3.5 ile simülasyon gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, aerosollerin yer yüzey sıcaklığı tahmini üzerindeki etkisinin görüş açısına, atmosferik duruma, aerosol tipine ve yüzey emisyonuna bağlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, aerosol modelinin dikkate alındığında ve alınmadığında oluşan yer yüzey sıcaklığı farklarının atmosferin durumuna duyarlı olduğunu, görüş açısına bağlı olarak arttığını, görünürlüğe bağlı olarak azaldığını ve yüzey yayılımına bağlı olarak azaldığını göstermektedir. Bu çalışma, aerosollerin etkisinin görünürlüğün en düşük değerleri için önemli olduğunu ve yer yüzey sıcaklığını tahmin etmek için düzeltmeye ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Bununla ilgili tartışma bu çalışmada verilmektedir.

Anahtar kelimeler: Aerosoller, Yer yüzey sıcaklığı, Uydu görüntüsü, Termal kızılötesi bölge, Radyoaktif transfer denklemi

1. Introduction

The knowledge of land surface temperature (LST) and its spatio-temporal distribution at large scale is possible from thermal infrared data using satellite observations (Labbi and Mokhnache, 2015). The knowledge of LST also is crucial because LST is key input parameter in climatic, evapotranspiration, hydrological, and ecological models. However, the impact of aerosols on the satellite thermal infrared data is widely acknowledged as one of the most significant and uncertain aspects of land surface temperature estimation.

Previous studies show that, LST can be estimated from the thermal infrared radiation emitted from Earth surfaces by using many methods. Therefore, different algorithms for estimating LST from satellite thermal infrared data has been realized (Becker and Li, 1990; Dash et al. 2002; François and Ottlé, 1996; Jiang and Li, 2008; Labbi and Mokhnache, 2015; Qin and Karnieli, 2001; Sobrino and Romaguera, 2004). These algorithms include the split-window methods and the mono-window methods. However, each of these algorithms do not take into account the effect of the aerosols that can exert an important influence on the estimation of LST from satellite and is not always negligible (Jiménez-munoz and Sobrino, 2006; Gao et al. 2015). In reality, the thermal infrared radiation emitted from Earth surfaces is perturbed by the aerosols (solid or liquid particles suspended in the atmosphere) and by the atmospheric water vapor content before reaching a sensor (Malkevich and Gorodetsky, 1988; Gao et al. 2015).

For the sensitivity/uncertainty analyses of LST retrieval from satellite observations, Jiménez-munoz and Sobrino (2006) show that for view angles lower than 25°, the error on LST is lower than 1 K and for a view angle of 55°, the error on LST is higher than 7 K, and this for the following conditions: Mid-Latitude Summer atmosphere, LST equals 300 K, emissivity equals 0.98 and channels 10–12 μm. Also, Gao et al. (2017) indicate that the total LST uncertainty caused by the standard error of the algorithm, the uncertainties of land surface emissivity and the atmospheric water vapor content, and the instrument noise would be 1.22 K and 0.94 K for dry and wet atmosphere, respectively.

Several studies show that, in the thermal infrared region the satellite-measured radiance over desert decreased in the presence of aerosols (De Paepe et al. 2008; Zhao et al. 2020). Gao et al. (2015) show that the root mean square error (RMSE) can decrease to approximately 2.3 K for estimating LST from satellite when the viewing angle equals 60° and the visibility equals 3 km; and RMSE would be increased by approximately 1.0 K when visibility varies from 3 km to 23 km. Therefore, the atmospheric correction from the aerosols effects is necessary for estimating LST from satellite data.

The main goal of this paper is to study the aerosols effects on the estimation of LST from satellite thermal infrared data (10.5-12.5μm). Therefore, the paper is organized as follow: firstly, we presented the radiative transfer equation. Secondly, we explained the methodology for estimating land surface temperature with and without aerosols contents using the Modtran3.5 (Abreu and Anderson, 1996) radiative transfer code. Then, we studied in detail the impact of aerosols on the estimation of LST from satellite in the thermal infrared region. Finally, we presented the main conclusion of this paper.

2. Methodology

In this work, we have used an iterative method for retrieving LST. We can explain this methodology as follow:

2.1 Brightness temperature retrieval

The brightness temperature (T_b) observed by satellite is obtained by applying the inverse of the Planck function to the measured at-sensor radiation. For a cloud-free atmosphere under local thermodynamic equilibrium, this at-sensor radiance can be written as follow (Gao et al., 2015; Qin and Karnieli, 2001):

$$L_{\lambda}^{sat} = B_{\lambda}(T_b) = \tau_{\lambda}(\theta) \{ \varepsilon_{\lambda}(\theta) B_{\lambda}(T_s) + [1 - \varepsilon_{\lambda}(\theta)] L_{\lambda}^{atm\downarrow} \} + L_{\lambda}^{atm\uparrow} \quad (1)$$

where $\tau_{\lambda}(\theta)$ is the total atmospheric directional transmission (dimensionless), $\varepsilon_{\lambda}(\theta)$ is the land surface directional emissivity (dimensionless), $B_{\lambda}(T_s)$ is the radiance emitted by a black body ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) at land surface temperature T_s in K, $L_{\lambda}^{atm\uparrow}$ is the upwelling atmospheric radiance in $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$, $L_{\lambda}^{atm\downarrow}$ is the downwelling atmospheric radiance in $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$, and L_{λ}^{sat} is the at-sensor radiance in $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$.

The upwelling and downwelling atmospheric radiances can be calculated respectively as follow (Li, 1990; Qin and Karnieli, 2001):

$$L_{\lambda}^{atm\uparrow} = \int_0^h B_{\lambda}(T_z) \frac{\partial \tau_{\lambda}(\theta, z)}{\partial z} dz \quad (2)$$

$$L_{\lambda}^{atm\downarrow} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\infty} B_{\lambda}(T_z) \frac{\partial \tau_{i,\lambda}(\theta_i, z)}{\partial z} dz \sin(\theta_i) \cos(\theta_i) d\theta_i d\phi_i \quad (3)$$

where θ_i is the downwelling direction of atmospheric radiance (dimensionless), $\tau_{i,\lambda}(\theta_i, z)$ is the downwelling atmospheric directional transmittance from altitude z to the ground surface (dimensionless), $B_{\lambda}(T_z)$ is the radiance emitted by a black body ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) at atmospheric temperature T_z (in K) and z is the atmospheric altitude (m), and h represents the altitude at the top of the atmosphere (m).

2.2 Land surface temperature retrieval

For retrieving LST, we have firstly calculated the brightness temperature from LST without the aerosols effect using the equation (1) and the Modtran3.5 (Abreu and Anderson, 1996) radiative transfer code. Secondly, we have calculated the same brightness temperature from LST with the aerosols effect (it is necessary to get the same brightness temperature in the two case). Finally, we have made a comparison between the LST estimated without the aerosols effect and the LST estimated with the aerosols effect. Figure 1 shows the flowchart overview of the methodology used in the study.

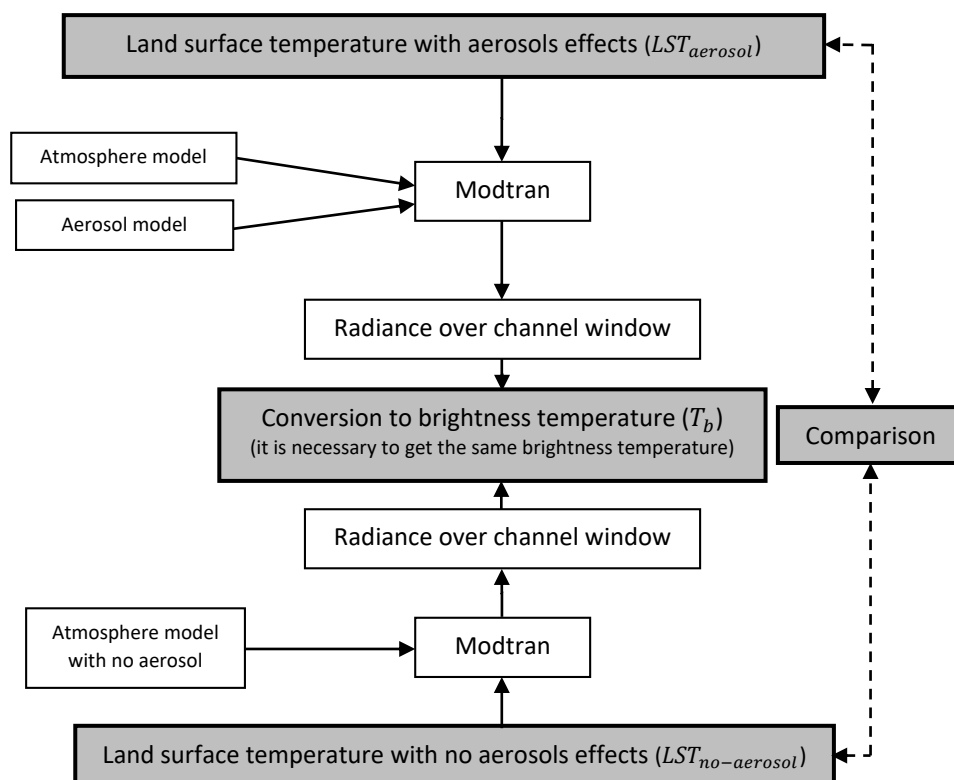


Figure 1. Flowchart overview of the methodology used in the study

3. Results and discussion

In all the following, a simulation using the Modtran3.5 radiative transfer code (in Lowtran7 mode) for the channel window 10.5-12.5 μm (square filter), and for a surface elevation equals 500 m above sea level has been carried out.

3.1 Angular effects

In order to study the impact of the viewing angle on the determination of LST under aerosols conditions, we have used Modtran3.5 code for seven view angles, from 0° to 60° by steps of 10°. The following assumptions were also used: 1) the aerosol model is Radiative fog extinction (visibility = 0.5 km); 2) the atmospheric model used is Mid-Latitude Summer; 3) the surface emissivity equals 1.

Figure 2 shows the angular effects on the difference between LST estimated when the aerosol model is considered with respect to atmosphere without aerosol content (δT_s) for different values of LST estimated without considering aerosol content. The results obtained show that the difference δT_s varies increasingly with the viewing angle; this is due to the increase in the optical thickness of aerosols. Indeed, we found that the angular effects can provide a variation of δT_s equals 3.17K. Therefore, we can conclude that the estimation of LST from satellite when the aerosol is considered is very sensitive and requires real value of the viewing angle. We can also conclude that the angular effects disappear in case of the LST estimated, when the aerosol is considered, equals the LST estimated without considering aerosol content ($\delta T_s=0$).

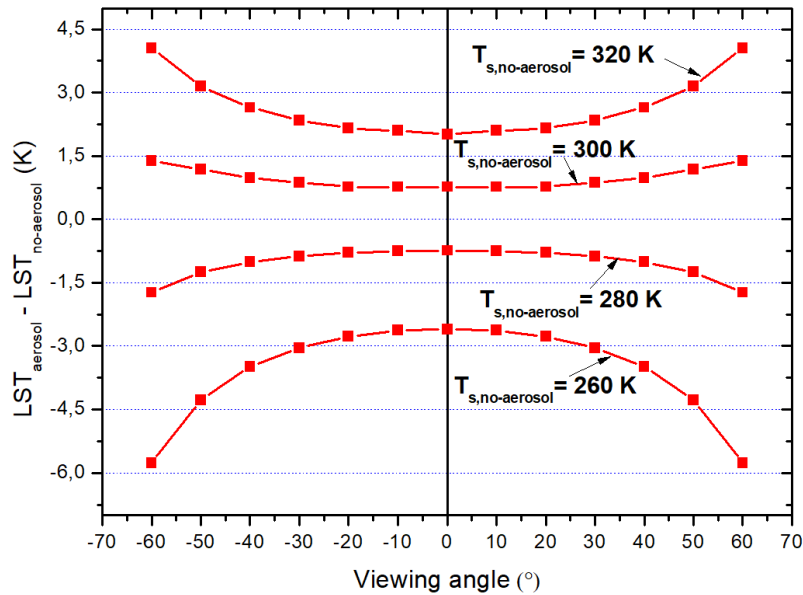


Figure 2. Effect of the viewing angle on the difference between LST when the aerosol model is considered with respect to atmosphere without aerosol content

3.2 Study of the effect of atmospheric situation

In this study, we want to study the impact of the atmospheric situation on the determination of LST for aerosols conditions. Therefore, we have used the Modtran3.5 radiative transfer code for six different atmosphere models (1: Tropical, 2: Mid-Latitude Summer, 3: Mid-Latitude Winter, 4: Sub-Arctic Summer, 5: Sub-Arctic Winter, and 6: 1976 U. S. Standard). In the same simulation, we have used also five aerosol models (Rural extinction: visibility = 5km, Maritime extinction: visibility = 23 km, Urban extinction: visibility = 5 km, Radiative fog extinction: visibility = 10 km, Desert extinction: visibility = 10 km and wind speed = 5m/s). The following assumptions were also used: 1) the LST estimated without considering aerosol content equals 300K; 2) the viewing angle equals 0°; and 3) the surface emissivity equals 1

Figure 3 shows the difference δT_s for six different atmosphere models and for five aerosol models as previously described. The results show that the difference δT_s is very sensitive to the atmospheric situation and depends also to the aerosol model. Indeed, we found that the variation in the atmospheric situation can provide a variation of δT_s equals 5.1K (this for aerosol model Radiative fog extinction). Therefore, we can conclude that the estimation of LST from satellite when the aerosol is considered is very sensitive and requires the real situation of the atmosphere.

We have shown in Figure 4 differences between LST when the Rural extinction (visibility = 5km) is considered with respect to atmosphere without aerosol content depending on the LST estimated without considering aerosol for six different atmosphere models (1: Tropical, 2: Mid-Latitude Summer, 3: Mid-Latitude Winter, 4: Sub-Arctic Summer, 5: Sub-Arctic Winter, and 6: 1976 U. S. Standard). The results show that for the six different atmosphere models described previously, the difference δT_s is negative for the lowest values of temperature and positive for the greatest values of temperature. Indeed, according to same figure we found that the variation in the LST estimated without considering aerosol can provides a variation on δT_s . Therefore, we can conclude that the estimation of LST from satellite, when the aerosol is considered, depends also on the LST.

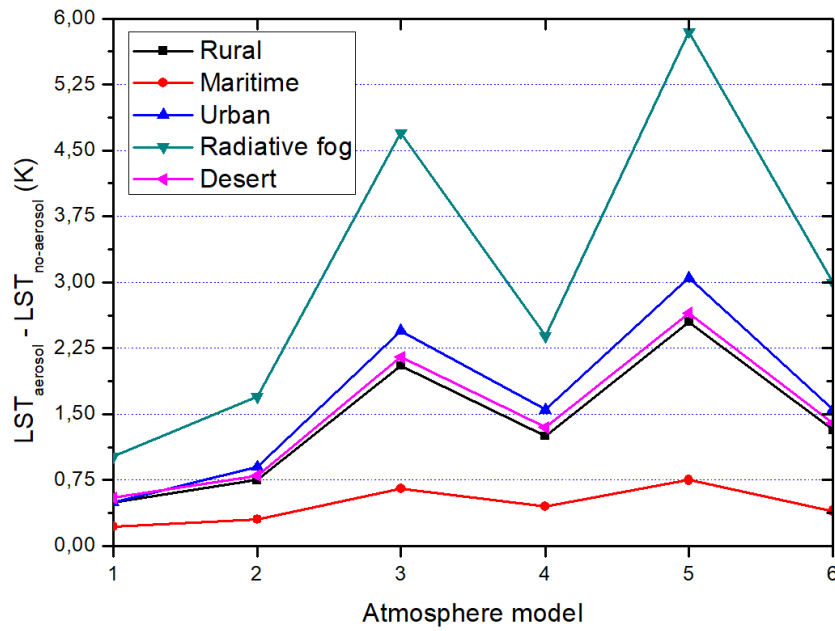


Figure 3. Differences between LST when the aerosol model is considered with respect to atmosphere without aerosol content for six different atmosphere models (1: Tropical, 2: Mid-Latitude Summer, 3: Mid-Latitude Winter, 4: Sub-Arctic Summer, 5: Sub-Arctic Winter, and 6: 1976 U. S. Standard)

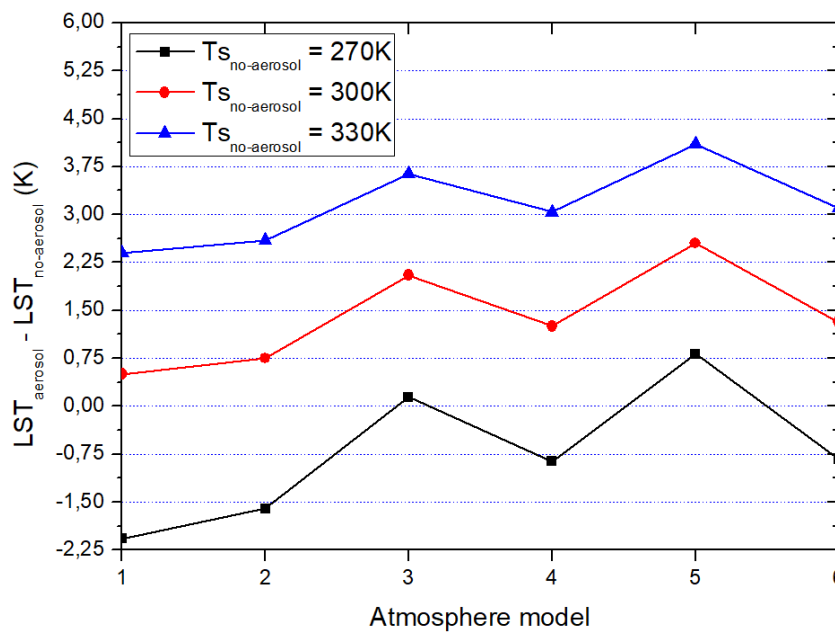


Figure 4. Differences between LST when the Rural extinction (visibility = 5km) is considered with respect to atmosphere without aerosol content depending on the LST estimated without considering aerosol for six different atmosphere models (1: Tropical, 2: Mid-Latitude Summer, 3: Mid-Latitude Winter, 4: Sub-Arctic Summer, 5: Sub-Arctic Winter, and 6: 1976 U. S. Standard)

3.3 Study of the effect of different type of aerosols

To study the effect of different types of aerosols on the determination of the LST, we have made a simulation with Modtran3.5 radiative transfer code for five different aerosol models (Rural extinction: visibility = 5km, Maritime extinction: visibility = 23 km, Urban extinction: visibility = 5 km, Radiative fog extinction: visibility = 10 km, Desert extinction: visibility = 10 km and wind speed = 5m/s). The following assumptions were also used: 1) the atmospheric model used is Mid-Latitude Summer; 2) the viewing angle equals 0°; 3) the surface emissivity equals 1.

Figure 5 shows the differences between atmospheric transmissivity without including the aerosols effect and considering different types of aerosols extinction. The results show that the lowest difference in transmissivity is 1.5%, which corresponds to the Maritime extinction with a default visibility of 23 km. In this case, the impact of aerosols is negligible and correction is not needed. However, there are great differences between the transmissivity for an atmosphere without aerosol content and an atmosphere with fog extinction and a visibility of 10 km. In Figure 6 we have shown the evolution of δT_s depending on the LST without including the aerosols effect. The results show that the lowest values of δT_s correspond also to the Maritime extinction with a default visibility of 23 km and the great values of δT_s correspond to the fog extinction with a visibility of 10 km. Therefore, from these results, we can conclude that the aerosols effect for fog extinction with a visibility of 10 km is important and correction is very required.

In Figure 7 we have shown the evolution of δT_s for different values of the visibility (in which the LST without including the aerosols effect equals 300K). The results show that the difference δT_s varies decreasingly with the visibility; this is due to the decrease in the optical thickness of aerosols. The results show also that the great values of δT_s correspond to the fog extinction.

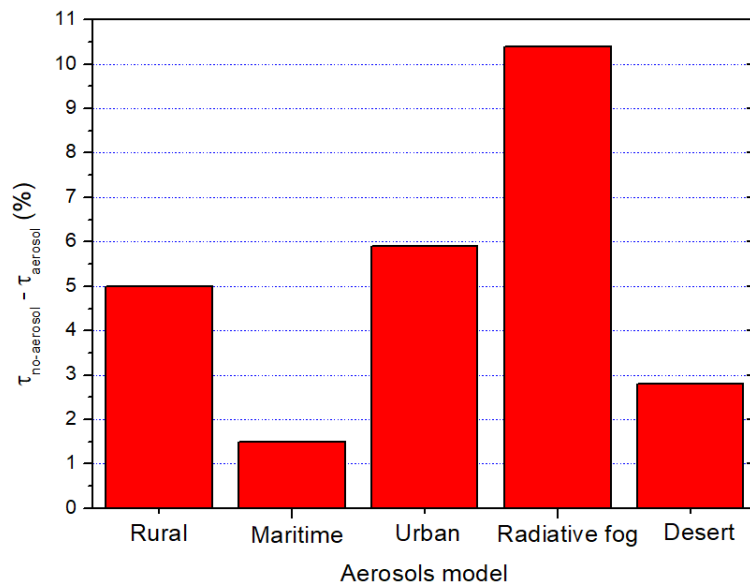


Figure 5. Differences between atmospheric transmissivity without including the aerosols effect and considering different types of aerosols extinction

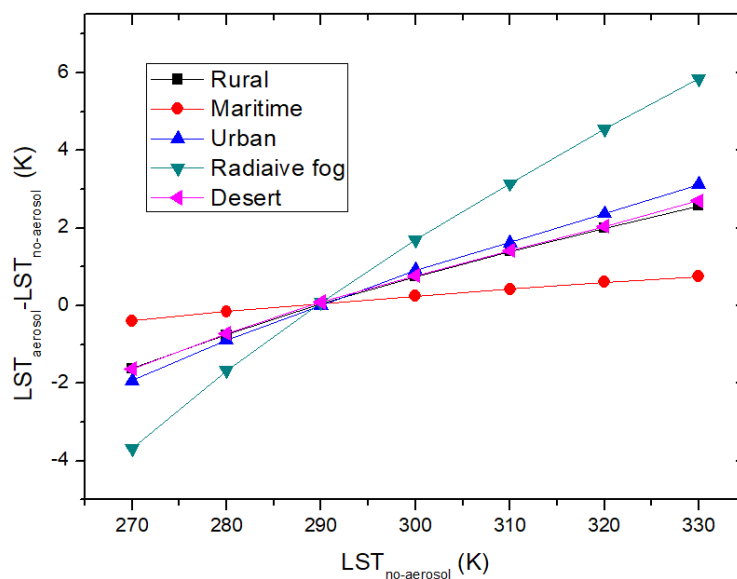


Figure 6. Differences between LST without including the aerosols effect and considering different types of aerosols extinction

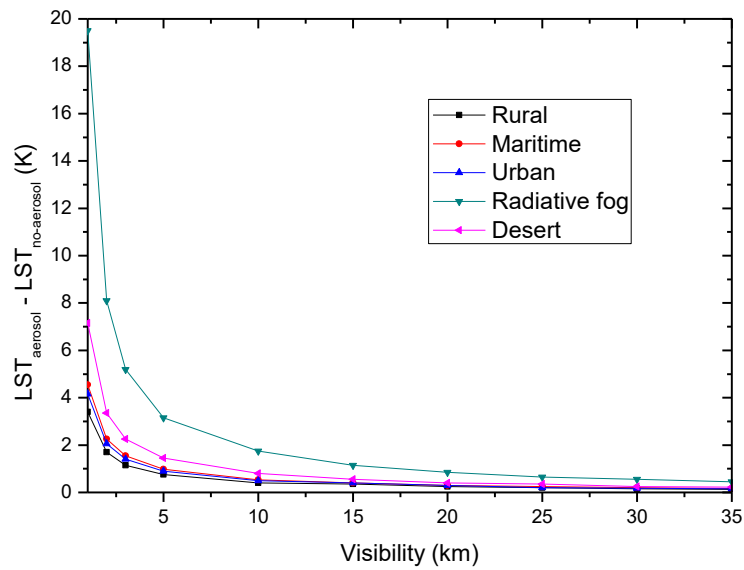


Figure 7. Differences between LST without including the aerosols effect and considering different types of aerosols extinction for different values of visibility

3.4 Study of the effect of desert-aerosol extinction

The Sahara and its borders constitute the main source of mineral dust, yielding over 50% of global production (Vergé-Dépré et al. 2006). In order to study the impact of the desert-aerosol extinction on the determination of the LST, we have used Modtran3.5 code for different values of visibility and wind speed. The following assumptions were used: 1) the atmospheric model used is Mid-Latitude Summer; 2) the viewing angle equals 0°; 3) the LST without including the aerosols effect equals 300K; and 6) the surface emissivity equals 1.

Figures 8 shows the differences between LST estimated without including the aerosols effect and considering desert-aerosol extinction depending on the wind speed and for different values of visibility. The results show that the lowest difference in LST corresponds to the lowest values of wind speed and corresponds to the greatest values of the visibility. In this case, the impact of aerosols is negligible and correction is not needed. It is clear that in the case of lowest values of visibility and for the greatest values of wind speed (~20 m/s) the acquisition of satellite data for estimating LST has no sense. Therefore, from these results, we can conclude that the desert-aerosol extinction in normal conditions is important and correction is very required.

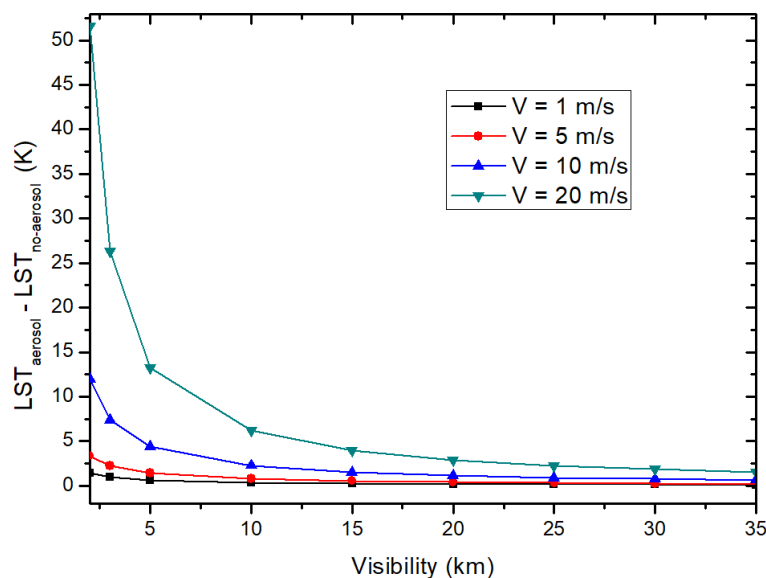


Figure 8. Differences between LST without including the aerosols effect and considering desert-aerosol extinction depending on the wind speed and for different values of visibility

3.5 Study of the effect of surface emissivity

The emissivity of surface has also an impact on the values of δT_s . Therefore, in order to show the impact of the surface emissivity, we have used Modtran3.5 code for different values of the surface emissivity. The following assumptions were used: 1) the atmospheric model used is Mid-Latitude Summer; 2) the viewing angle equals 0° ; and 3) the aerosol model is Rural (visibility = 5 km).

In Figure 9 we have shown the difference between LST without including the aerosols effect and considering rural aerosol extinction depending on the LST without including the aerosols effect for different values of surface emissivity. The results show that the difference δT_s varies increasingly with the surface emissivity and with the LST without including the aerosols effect. Indeed, we found that the variation on surface emissivity can provides a variation on δT_s equals 0.74K. Therefore, we can conclude that the estimation of LST from satellite when the aerosol is considered depend also on the surface emissivity.

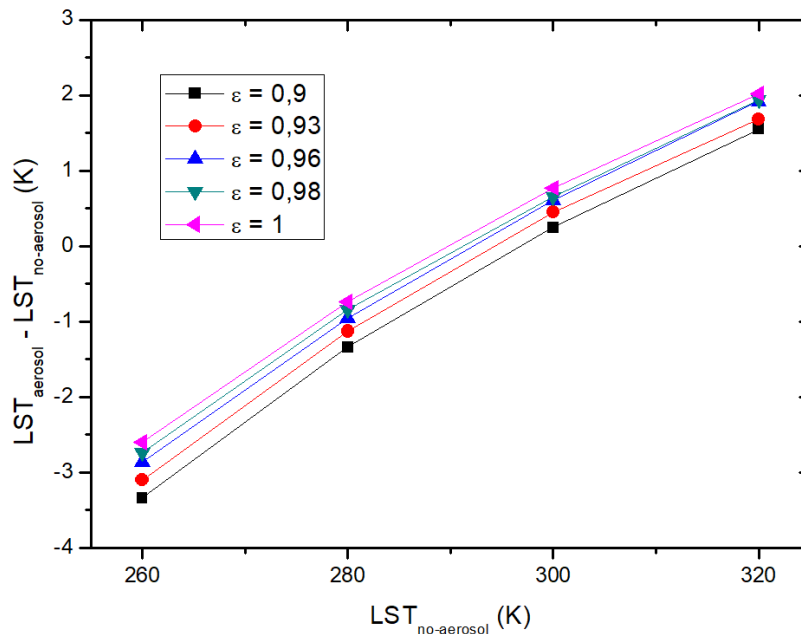


Figure 9. Differences between LST without including the aerosols effect and considering rural aerosol extinction depending on the LST without including the aerosols effect for different values of surface emissivity

4. Conclusion

An overall study for the impact of the aerosols on the estimation of land surface temperature from satellite thermal infrared data was presented. It includes:

- **Angular effects:** : The effects of the viewing angle on the difference (δT_s) between LST estimated when the aerosol model is considered with respect to atmosphere without aerosol content has been investigated. The results obtained showed that the difference δT_s varies increasingly with the viewing angle. We have concluded that the estimation of LST from satellite when the aerosol is considered is very sensitive and requires real value of the viewing angle.
- **Study of the effect of atmospheric situation:** We have concluded that the estimation of LST from satellite when the aerosol is considered is very sensitive and requires the real situation of the atmosphere. We have concluded also that the estimation of LST from satellite when the aerosol is considered depends also on the LST estimated without aerosols effect.
- **Study of the effect of different type of aerosols:** The results showed that the lowest values of difference δT_s corresponds to the Maritime extinction with a default visibility of 23 km and the great values of difference δT_s corresponds to the fog extinction with a visibility of 10km. The results showed that δT_s varies decreasingly with the visibility; this is due to the decrease in the optical thickness of aerosols.
- **Study of the effect of desert-aerosol extinction:** For the desert –aerosol extinction, the results showed that the lowest values of δT_s corresponds to the lowest values of wind speed and corresponds to the greatest values of the visibility. In this case, the impact of aerosols is negligible and correction is not needed.

The results showed also that the great values of δT_s corresponds to the greatest values of wind speed and corresponds to the lowest values of the visibility. Therefore, we have concluded that the desert-aerosol extinction in normal conditions is important and correction is very required.

- **Study of the effect of surface emissivity:** The results showed that the difference δT_s varies increasingly with the surface emissivity and with the LST without including the aerosols effect.

The overall result in this paper is that the difference δT_s depends on the following parameters: 1) the viewing angle, 2) the atmospheric situation, 3) the surface emissivity, 4) the values of the land surface temperature without aerosols effect itself, 5) the visibility of the atmosphere, and 6) the wind speed for the desert-aerosol extinction.

Therefore, for the enhancement of the estimation of LST from satellite, it is necessary to take into account the effects of the aerosol in the atmosphere.

Acknowledgments

The author would like to thank the three reviewers for their comments on our paper.

References

- Abreu, L.W. & Anderson, G.P. (Eds), (1996). *The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 MODEL*, Modtran Report, Contract F19628-91-C-0132, Hanscom, MA: USA.
- Becker, F., & Li Z.-L. (1990). Towards a local split window method over land surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 11(3), 369-393. doi.org/10.1080/01431169008955028.
- Dash, P., Gottsche, F.M., Olesen, F.S., & Fisher, H. (2002). Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice-current trends. *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), 2563-2594. doi.org/10.1080/01431160110115041.
- De Paepe B., Ignatov A., Dewitte S., & Ipe A. (2008). Aerosol retrieval over ocean from SEVIRI for the use in GERB Earth's radiation budget analyses. *Remote Sensing of Environment*. 112(5), 2455–2468. doi.org/10.1016/j.rse.2007.11.005.
- François, C., & Otlé, C. (1996). Atmospheric corrections in the thermal infrared: global and water vapor dependent split-window algorithms-applications to ATSR and AVHRR data. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 34(2), 457-470. DOI: 10.1109/36.485123.
- Gao, C., Qiu, S., Zhao, E. Y., Li, C., Tang, L. L., Ma, L. L., ... & Ren, L. (2017). Land surface temperature retrieval from FY-3C/VIRR data and its cross-validation with Terra/MODIS. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(11), 4944-4953. DOI: 10.1109/JSTARS.2017.2728082.
- Gao, C., Zhao, E., Li, C., Qian, Y., Ma, L., Tang, L., Jiang, X., & Huo, H. (2015). Study of aerosol influence on nighttime land surface temperature retrieval based on two methods. *Advances in Meteorology*, 2015, 1-16. doi.org/10.1155/2015/496458.
- Jiang, G. M., & Li, Z. L. (2008). Split-window algorithm for land surface temperature estimation from MSG1-SEVIRI data. *International Journal of Remote Sensing*, 29(20), 6067-6074. doi.org/10.1080/01431160802235860.
- Jiménez-munoz, J. C. & Sobrino, j. A. (2006). Error sources on the land surface temperature retrieved from thermal infrared single channel remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 27(5), 999–1014. doi.org/10.1080/01431160500075907.
- Labbi, A., & Mokhnache, A. (2015). Derivation of split-window algorithm to retrieve land surface temperature from MSG-1 thermal infrared data. *European Journal of Remote Sensing*, 48 (1), 719-742. doi.org/10.5721/EuJRS20154840.
- Li, Z.L. (1990). L'émissivité spectrale en télédétection infrarouge thermique: mesure relative, analyse spectrale et impacts sur la détermination de la température de surface. Thesis, University of Strasbourg I, France, 163 pp.
- Malkevich, M.S., & Gorodetsky, A.K. (1988). Determination of ocean surface temperature taking account of atmospheric effects by measurements of the angular IR-Radiation distribution of the "Ocean-Atmosphere" system made from the satellite "Cosmos-1151". *Remote sensing reviews*, 3(3), 137-161, doi.org/10.1080/02757258809532093.
- Qin, Z., & Karnieli, A. (2001). A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 3719-3746. doi.org/10.1080/01431160010006971.
- Sobrino, J.A., & Romaguera, M. (2004). Land surface temperature retrieval from MSG1-SEVIRI data. *Remote Sensing of Environment*, 92(2), 247-254. doi.org/10.1016/j.rse.2004.06.009.
- Vergé-Dépré, G., Legrand, M., Moulin, C., Alias, A., & François, P. (2006). Improvement of the detection of desert dust over the Sahel using Meteosat IR imagery. *Annales Geophysicae*, 24(8), 2065-2073. doi.org/10.5194/angeo-24-2065-2006.

Zhao, E., Gao, C., & Yao, Y. (2020). New land surface temperature retrieval algorithm for heavy aerosol loading during nighttime from Gaofen-5 satellite data. *Optics express*, 28(2), 2583-2599. doi.org/10.1364/OE.382813.

Harita Kullanıcılarının Davranışlarının Göz İzleme, Elektroensefalogram ve Dijital Taslak Haritalar Yardımıyla İncelenmesi

Investigation of Map Users' Behaviors Using Eye Tracking, Electroencephalogram and Digital Sketch Maps

Merve Keskin^{1,2}, A. Özgür Doğru^{2*}, Kristien Ooms¹, Philippe De Maeyer¹

¹Ghent Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, 9000, Ghent/Belçika.

²İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Sarıyer, İstanbul/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Ahmet Özgür Doğru
ozgur.dogru@itu.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.844770

Yayın süreci

Geliş tarihi: 21.12.2020
Kabul tarihi: 06.02.2021
Basım tarihi: 13.03.2021

Özet

Bu çalışma, uzman ve uzman olmayan harita kullanıcılarının mekânsal bellek yeteneklerini incelemeye yönelik kullanıcı deneylerinin tasarım süreçlerine odaklanmıştır. Deneylerde, farklı harita kullanıcı gruplarının haritaların içeriğini hatırlamaları istendiğinde geliştirdikleri dikkate bağlı bilişsel stratejilerini açığa çıkarmada kullanılan bilişsel yük; taslak haritalar, göz izleme ve elektroensefalogram (EEG) gibi farklı yöntemlerden yararlanılarak ölçülmüştür. Birinci deneyde kullanıcılardan, basitleştirilmiş bir 2B topografik haritanın ana yollar, yerleşim, su ve yeşil alanlar gibi temel yapı elemanlarını, zaman kısıtlaması olmaksızın, ezberleyerek hatırladıklarını serbest elle çizmeleri istenmiştir. Görev sırasında kullanıcıda açığa çıkan bilişsel yük, çizilen taslak haritaların analizinin yanı sıra, sabitleme ve ilgi alanı (Aol) tabanlı göz izleme ve ortalama alfa gücü ve frontal alfa asimetrisi (FAA) gibi EEG metriklerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Karmaşık yapıda tasarlanan ve farklı zorluk seviyelerini içeren ikinci deneyde, çoktan seçmeli grafikler kullanılmış ve denemelerde zaman kısıtlaması uygulanmıştır. Sonuçların değerlendirilmesi aşamasında, ilk deneyden farklı olarak, bilişsel yük tespiti için EEG güç spektral yoğunluk değişimlerinden yararlanılmış; pariyetal alandaki alfa ve frontal alandaki teta frekanslarının olaya bağlı (de)senkronizasyonları dikkate alınmıştır.

Anahtar kelimeler: EEG, Göz izleme, Taslak haritalar, Bilişsel Kartografya

Abstract

This study focused on the design processes of user experiments conducted to examine the spatial memory abilities, differences and similarities of expert and novice map users. In the experiments, different map user groups were asked to remember the content of maps with uniform or various levels of detail. The cognitive load of the participants that reveals their cognitive strategies depending on the attention they developed was measured using different methods such as sketch maps, eye tracking and electroencephalogram (EEG). In the first experiment, the users were asked to memorize the main structuring elements of a simplified 2D topographic map such as major roads, settlements, green areas and waterbodies without any time limitation, and in the next step, to draw what they remember with free hand. Next to the digital sketch map evaluation, cognitive load was assessed based on the fixation and Aol-based (area of interest) eye tracking metrics, together with EEG mean alpha power and frontal alpha asymmetry (FAA). The second experiment was designed in a more complex structure and included different difficulty levels and multiple-choice graphical options instead of hand-drawn sketch maps. Different from the first experiment, event-related (de)synchronization of alpha for parietal region and theta for frontal region were considered for evaluating the cognitive load through the calculations of EEG power spectral density changes.

Keywords: EEG, Eye tracking, Sketch map, Cognitive cartography

1. Giriş

Harita kullanıcısının haritayı algılama becerisi ve performansı, harita kullanımı sırasında (kendisinden istenen görevleri (ing. user-tasks) gerçekleştirirken) sergilediği davranışlarıyla ilişkilidir. Bilişsel kartografya (ing. cognitive cartography), harita kullanıcılarının harita ile etkileşimleri esnasındaki bilişsel süreçlerini anlamaya yönelik çalışmaları kapsar (Montello, 2002). Bu bilişsel süreçleri incelemek, kullanıcının algı, kısıt ve yeteneklerini anlamının ötesinde, harita tasarımına ilişkin kullanıcı geri beslemesini, haritanın tasarım aşamasında girdi olarak kullanma imkânı sunmaktadır. Mevcut harita tasarımlarının iyileştirilmesi, kullanıcı ile birlikte tasarlayabilme ve dolaylı olarak kullanıcının harita algısını iyileştirme, harita kullanımını olduğundan daha verimli ve kolay hale getirmek, bu imkânlardan bazılarıdır. Kartograflar, harita kullanıcısının, harita bilgisini tespit ederse, onlara yüksek bilişsel yüke (ing. cognitive load) neden olmayan daha efektif harita tasarımları sunabilirler (Keskin vd., 2019).

Harita kullanımına etki eden yaş, cinsiyet, eğitim, uzmanlık, kültürel altyapı vb. gibi pek çok kişisel (kullanıcıya özgü) faktörün yanı sıra, temel öneme sahip iki etken: harita tasarımında görsel değişkenlerin kullanımı ve kullanıcının gerçekleştirmesi gereken harita görevidir. Bertin (1967) tarafından önerilen görsel değişkenler (ing. visual/graphic variables) (renk, biçim, boyut, yön, renk tonu, doku), harita işaretlerinin tasarım süreçlerinin temel yapı taşlarıdır. Tasarım süreçlerinde bu değişkenlerin etkin kullanımı; haritanın görsel hiyerarşisinin sağlanmasında, dolayısıyla harita mantığının kurulması, harita işaretlerinin gruplandırılması ve haritadan bilgi çıkarımında da önemli rol oynamaktadır. Harita tasarımı sırasında kartografin belirlediği görsel değişkenler, harita kullanıcısının haritayı algılayış ve kullanım biçimine doğrudan etki edecektir. Haritanın algılanışı ve kullanım biçimi, kullanım amacına, bir diğer deyişle, kullanıcının haritada neyi sorgulayacağına bağlıdır. Çünkü bilişsel süreçler büyük ölçüde spesifik bir harita sorgusu ya da herhangi bir harita görevi sırasında anlık olarak gerçekleşmektedir (Keskin vd., 2019). Örneğin, kullanıcı aşına olduğ u bir harita üzerine yine alışkın olduğ u bir sorgu mu gerçekleştiriyor, yoksa harita içeriğini, uzun süreli belleğinde (ing. long-term memory) tuttuğu geçmiş bilgi ve deneyimlerden yararlanarak yorumlamasını gerektiren bir bilgi çıkarımında mı bulunuyor? Bu anlık süreçlerin belirteçleri aynı zamanda, yukarıda bahsettiğimiz harita kullanımına etki eden kişiye özgü faktörlerle ilişkilidir. Farklı harita kullanıcılarının uzun süreli belleklerinde sakladıkları bilgilerin farklılaşması nedeniyle, harita okurken her kullanıcının farklı stratejiler/yöntemler geliştirmesi beklenen bir durumdur. Uzmanlığı kişisel bir faktör olarak göz önünde bulundurursak, bu stratejilerin temelde genel ya da özel harita bilgisine bağlı olarak gerçekleştirildiği değerlendirilmektedir (Kulhavy ve Stock, 1996). Harita ile ilgili gerçekleştirilecek herhangi bir görev sırasında, özellikle uzman olmayan kullanıcılar, öncelikle genel harita bilgilerine başvururlar (örneğin, eş yükseklik eğrilerinin yükseklik bilgisini içerdiğini bilmek). Özel harita bilgisi ise uzmanların, uzman olmayanlara kıyasla daha yapısal ve sistematik bir şekilde mekânsal ilişkiler kurmalarını sağlar (örneğin, eş yükseklik eğrilerinden yararlanarak eğim hesaplamak) (Keskin, vd., 2019). Çalışma kapsamında, bu hipotezden yola çıkarak, uzmanlığın, haritadaki mekânsal bilginin hatırlanması özelindeki anlık süreçlere etkisini incelemek amacıyla çeşitli deneysel yöntemlerden yararlanarak deneyler tasarlanmıştır.

Kartografik bir gösterimin kullanılabilirliğini ölçmek, kullanıcı performansını değerlendirmekle mümkündür. Bunun için pek çok nitel ve nicel deneysel yöntem bulunmaktadır. Nitel yöntemler “kullanıcının deneyim, hareket ve davranışlarını; kullanıcının tepkilerine sebep olan duygu ve düşünceleri de içererek inceler” (örneğin, derinlemesine görüşme, odak grubu görüşmesi, katılımcıların yüksek sesle düşünmesini sağlama, vb.). Nicel yöntemler ise “herhangi bir uyaran ile etkileşim içinde olan kullanıcının hareket ve davranışlarını ölçme, sayma ve miktarını belirleme imkanı sunar”. Yapılandırılmış gözlem, göz izleme, EEG, vb. bu yöntemlere örnek olarak sunulabilir (Keskin vd., 2016, s. 5). Taslak haritalar (ing. sketch map) ise, bireylerin zihinsel/bilişsel haritalarının (ing. mental map, cognitive map) yansımaları olduğundan mekânsal belleği ölçmede güvenilir kabul edilen, niteliği nicel olarak değerlendirilebilen araçlardır (Gardony vd., 2016). Forbus, Usher ve Chapman'a (2004, s. 61) göre taslak haritalar “harita üzerinde gerçekleştirilen göreve bağlı olarak, bir durumun temel mekânsal özelliklerini ifade eden ve bu özellikli amaca katkı sağlamayan tüm detayların soyutlanması ile elde edilen kompakt mekânsal temsiller” olarak tanımlanmaktadır. O halde, taslak haritaların analizi ve yorumlanması, bireyin harita görevine bağlı gerçekleşen bilişsel süreçlerinin açığa çıkarılması demektir (Keskin vd., 2018). Pek çok çalışmada kullanılmasına (Billinghurst ve Weghorst, 1995; Forbus vd., 2004; Huynh ve Doherty, 2007; Bell ve Archibald, 2011; Ooms, 2012) ve mekânsal belleğin analizinde önemli bir rol oynamasına rağmen taslak haritaların nicel olarak değerlendirilmesi, diğer bir deyişle puanlanması, hala külfetli ve herhangi bir standarda tabi olmayan bir yöntemdir.

Nicel yöntemlerden biri olan göz izleme, dışarıdan gözlemlenebilen kullanıcı hareket ve davranışlarını ölçmeye yönelik (ing. overt attention), kişinin ekran ya da fiziksel dünyada hangi anda nereye baktığını tespit etmeye yarayan bir teknolojidir. Göz izleme, deneysel psikoloji, yazılım mühendisliği ve pazarlamadan, spor, havacılık ve navigasyon benzeri birçok farklı disiplini kapsayan, insan-bilgisayar etkileşimi eksenindeki kullanılabilirlik çalışmalarına katkıda bulunmuştur (Jacob ve Karn, 2003; Wedel ve Pieters, 2008; Bertrand ve Thullier, 2009). Birçok kartograf, özellikle görsel öğelerin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen kullanılabilirlik araştırmalarında, göz izleme yönteminden yararlanmıştır (Çöltekin vd., 2010; Fabrikant, vd. 2010; Dickmann vd., 2017).

Kullanıcı eylem ve davranışlarını göz izleme gibi tekniklerle ölçmenin yanı sıra, kullanıcıların karar verme süreçlerinin kaynağını oluşturan zihinsel/psikolojik süreçlerini çözümlenmek de oldukça önem kazanmıştır. Beynin anlaşılmasına katkı sağlayan teknolojik gelişmelerden fMRI (fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme) ve Elektroensefalogram (EEG) gibi beyin görüntüleme teknikleri sayesinde nöronların etkileşimlerini doğrudan izlemek mümkündür. Örneğin, EEG; beyin içindeki nöronların etkileşimi sonucu üretilen elektriksel aktivitenin, hangi duyuşal sistemin test edildiğine bağlı olarak değişen bölgelerine yerleştirilen elektrotlar (frontal, temporal, parietal, vb.) yardımıyla yüksek zamansal çözünürlükle kaydedilmesidir (Lee vd., 2009). Tıpkı göz izleme gibi, EEG de yeni bir yöntem değildir ancak göz izlemenin aksine, dışarıdan gözlemlenemeyen örtülü dikkatin (ing. covert attention) ölçülmesinde kullanılmaktadır, örneğin; beynin belirli bir görselleştirme, imge ya da tasarıma nasıl cevap verdiğini anlamak gibi (Lee vd., 2009; Winslow vd., 2013). Bu yönüyle EEG, harita kullanıcısının kartografik ürünle etkileşimi boyunca açığa çıkan dikkate bağlı bilişsel süreçlerin zamanlaması hakkında detay veren bir veri kaynağı olma potansiyelini taşımaktadır.

Yukarıda bahsi geçen yöntemler ayrı ayrı uygulanabileceği gibi, kullanılabilirlik araştırması süresince aynı anda ya da farklı aşamalarda bir arada kullanılabilirler (ing. mixing methods). Birden fazla veri toplama yönteminin birlikte kullanılması yaklaşımı triyagülasyon olarak adlandırılır (Maxwell, 1996). Roth (2013), kartografik deney tasarımında triyagülasyonun sağladığı faydaları aşağıdaki gibi özetlemiştir (Roth, 2013):

- Verimlilik (ing. Efficiency): Sonuca daha hızlı/ekonomik ulaşmak için yakınsak yöntemleri kullanmak.
- Etkinlik/efektiflik (ing. Effectiveness): Aynı soruya farklı yollardan yaklaşarak yöntem kısıtlamalarını aşmak.
- Güvenilirlik (ing. Reliability): Bulgulara olan güveni arttırmak için farklı yöntemlerle elde edilen sonuçları birleştirerek yorumlamak.
- Geçerlilik (ing. Validity): Tüm olası kullanıcı ve kullanım bağlamlarında tekrarlanabilirliğini artırmak.
- Önem (ing. Significance): Tek bir projede birbiriyle ilişkili çok sayıda araştırma sorusunu ele almak.
- Sersemlik (ing. Stupidity): İlk seferde bir şeylerin unutulmasını önlemek.

Bu çalışmada, yukarıda bahsedildiği gibi, farklı yöntemler kullanmanın getirdiği avantajları göz önünde bulundurarak, uzman ve uzman olmayan harita kullanıcı gruplarının mekânsal bellek kapasite, yetenek, farklılık ve benzerliklerini tespit etmek amacıyla kartografik bağlamda gerçekleştirilen kullanıcı deneylerinin tasarım süreçleri ele alınmıştır. Bu kapsamda, harita kullanıcılarından belli bir haritanın içeriğini hatırlamaları istendiğinde geliştirdikleri bilişsel stratejiler; dijital taslak haritalar, göz izleme ve EEG yöntemleri kullanılarak incelenmesi ve bilişsel yük ölçümleri yardımıyla bu iki grubun kıyaslanması amaçlanmıştır. Deneylere konu olan ve harita içeriğini sonradan hatırlamak üzere gerçekleştirilmesi beklenen ezberleme görevi, başka deyişle, mekânsal bellek görevi, harita kullanıcılarının beyindeki bilişsel harita üretimini (ing. cognitive map production) tetiklemekte ve dolayısıyla bu durum bahsi geçen yöntemlerle ölçülebilen bir bilişsel yüke neden olmaktadır. Bilişsel yükün tespiti, kullanıcı deneylerinin nasıl ve hangi amaçla tasarlandığı ile doğrudan ilişkilidir ve bu çalışmada kartografik kullanıcı deneylerinin tasarım elemanları ve süreçleri ele alınmıştır.

2. Veri ve Yöntemler

Belirlenen araştırma sorusuna bağlı olarak farklılık göstermekle birlikte bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler, gruplar-arası (ing. between subjects) ve gruplar-ıç i (ing. within subjects) deneysel tasarım yöntemlerinin birleştirildiği karışık desende (ing. mixed design) tasarlanmıştır. Bunun sebebi de uzman ve uzman olmayan harita kullanıcılarından oluşan iki deney grubunun; az sayıda ya da tekrarlı ölçümlerle aynı ya da farklı koşullarda karşılaştırılmak istenmesidir. İlk deneyde öncelikle göz izleme ve EEG cihazlarının senkronizasyonunun sağlandığından emin olmak, EEG verisini tanımak ve toplanan veri üzerinden genel çıkarımlar yapmak üzere, basit bir araştırma sorusu ele alınmış, tek bir harita uyarısı için uzun süren ama tek bir denemeden oluşan ve fazla sayıda katılımcıyı içeren bir deney tasarımı yapılmıştır. İkinci deneyde ise ilk deneyde de yer alan fakat daha fazla iç görüye sahip olmak istenilen hususlar detaylandırılıp, farklı harita uyarıları kullanılarak kısa süreli ve çoklu denemelerden oluşan daha karmaşık bir deney tasarımı benimsenmiştir. Özellikle ikinci deneyde, ilk deneyin tasarım süreçlerindeki deneyimsizlikten kaynaklanan eksik unsurların sürece dâhil edilmesi sağlanmıştır.

Her iki deneyde de katılımcılardan, yaşları, cinsiyetleri, eğitim düzeyleri vb. soruları içeren bir anket doldurmaları istenmiştir. Katılımcılardan uzman olanlar, geomatik mühendisliği, coğrafya, coğrafi bilgi sistemleri ya da ilgili alanlarda asgari olarak yüksek lisans eğitimini tamamlamış kişiler arasından belirlenirken bu tanımın dışında kalan katılımcılar, uzman olmayan kategorisinde değerlendirilmiştir.

Tasarlanan ve uygulanan deneyler Gent Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Etik Kurulu tarafından onaylanmış ve aynı fakültenin pazarlama bölümündeki nöro-laboratuvarda gerçekleştirilmiştir. Deneylerde eşzamanlı ve senkronize bir şekilde, katılımcı monitörüne monte edilmiş SMI RED 250 göz izleme cihazı aracılığıyla katılımcıların göz hareketleri ve BIOPAC'ın EEG modüllerine bağlı, uluslararası 10-20 sistemi ile elektrotları yerleştirilmiş olan EEG şapkasının 16 elektrodundan çıkan EEG sinyalleri kaydedilmiştir. EEG ve göz izleme sistemlerinin senkronize ve eş zamanlı veri toplamasının nedeni, göz hareketlerinden kaynaklı gürültünün (örneğin, göz kırpması) EEG verisi üzerinde tespit edilmesi ve gürültü içeren EEG verisinin ana veri kümesinden elimine edilmesini sağlamaktır.

EEG ve göz izleme cihazının veri toplama sürecindeki senkronizasyonu, bütünleşmiş devreler yapmak için yaygın olarak kullanılan bir teknoloji olan TTL (transistör-transistör mantığı) ile sağlanmıştır. Harita uyarıları, katılımcı monitörü diye isimlendirdiğimiz 1680 x 1050 çözünürlükte 22" renkli bir monitörde gösterilmiştir (Keskin vd., 2019).

2.1 Deney I

Kullanıcıların 2B dijital statik bir harita üzerinde mekânsal bellek görevini gerçekleştirirken gelişen bilişsel süreçlerini incelemek amacı ile tasarlanan ilk deneyde araştırma sorusu şöyledir; "bir harita uyarısının temel yapı elemanlarını zaman kısıtlaması olmadan ve sonradan hatırlamak üzere ezberlerken bilişsel yük, uzman ve uzman olmayanlar arasında nasıl değişmektedir?". Deneye 24'ü uzman (13 kadın - K, 11 erkek - E), 30'u uzman olmayan (7K, 23E) ve yaşları 18-35 arasında değişen toplamda 54 kişi katılım göstermiştir. Katılımcılardan, herhangi bir zaman kısıtlaması olmaksızın (Belçika 1 : 10 000 ölçekli topografik haritalarından eş yükseklik eğrilerinin elimine edilmesi ile) basitleştirilmiş bir topografik haritanın temel yapı elemanlarını (yollar, yerleşim bölgeleri, hidrografik objeler ve yeşil alanlar) ezberlemesi ve sonraki aşamada bu haritayı dijital ortamda serbest elle çizmesi istenmiştir (Şekil 1). Deney süresince kaydedilen göz izleme ve EEG verisi tekli denemelerden (ing. single trials) ve uzun kayıtlardan (deneme süresi: M=90.2s, STDEV=59.6s) oluşmaktadır. Deney, "gerçekleştirilen görev uzman olmayan kullanıcılarda, uzman olanlara kıyasla daha fazla bilişsel yükü neden olur" hipotezini test etmek üzere kurgulanmıştır. Bu kapsamda mekânsal bellek görevi sırasında bilişsel yükün tespiti; dijital taslak haritalar, deneme süresi, sabitleme ve AoI (ilgi alanı, ing. area of interest) tabanlı göz izleme ile ortalama alfa gücü ve frontal alfa asimetrisi (FAA) EEG metriklerinden yararlanılarak yapılmıştır. Söz konusu bu metrikler deneyin bağımlı değişkenlerini oluşturmaktadır.

Dijital taslak haritalar, çizilen temel yapı elemanlarının çizim sırası ve bu elemanlara ilişkin Bertin'in (1967) görsel değişkenlerinden renk, boyut ve biçime dayalı özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme ölçütlerinden çizim sırası hangi tür objelerin bellekte daha kolay erişilebilir, yani hatırlanabilir olduğunun yorumlanması ve bilişsel haritanın hiyerarşik yapısının anlaşılması açısından oldukça önemlidir. Çizim sırasının analizi için, Ooms vd. (2015) tarafından, ilk çizilen elemana en yüksek ve en son çizilene ise en düşük puan karşılık gelecek şekilde geliştirilen puanlama sistemi uygulanmıştır. Yüksek puanlar, dört kategoriden birine ait belirli bir elemanın (yol, yerleşim bölgesi, hidrografik obje, yeşil alan) diğerlerinden daha önce çizildiğini göstermekte; örneğin, bir kategori 100 tam puan alıyorsa, bu o kategorinin tüm katılımcılar tarafından ilk sırada çizildiği anlamına gelmektedir.

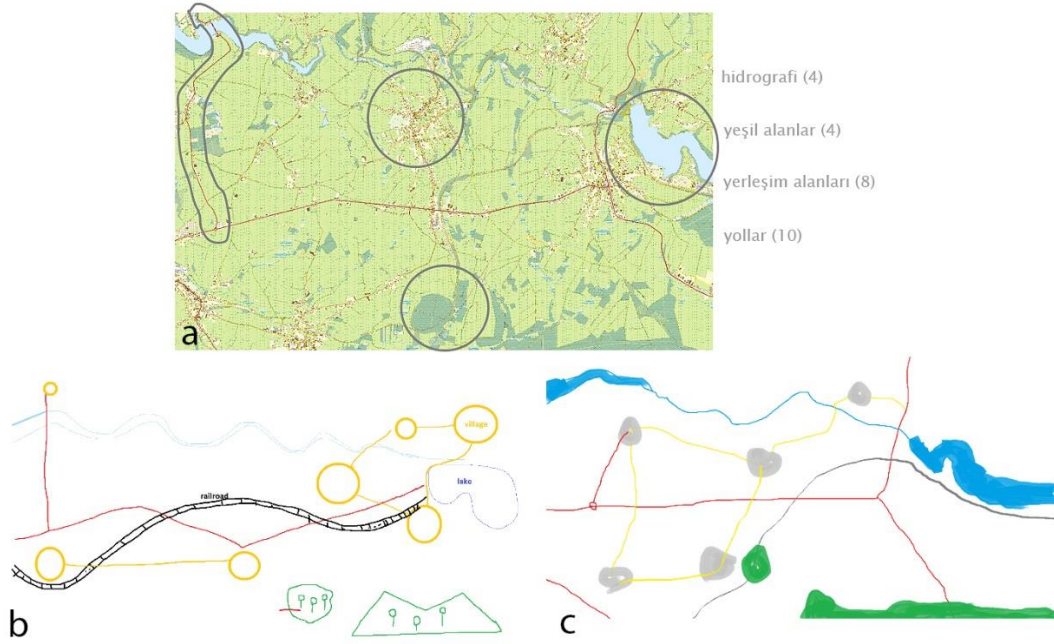
Dijital taslak haritalar, katılımcıların çizimde kullandıkları görsel değişkenler bakımından değerlendirilirken bu kapsamda iki farklı puanlama sistemi uygulanmıştır. Çizilen objenin konumu ve bu konumun doğruluğunu analiz etmek için Ooms vd. (2015); renk, boyut ve biçim için ise Billingham ve Weghorst'un (1995) geliştirdikleri puanlama sistemleri esas alınarak dijital taslak haritalarda ifade edilen her harita kategorisi için bir puan hesaplanmıştır. Son olarak bu iki sistemle elde edilen puanlar eşit bir şekilde ağırlıklandırılarak uzman ve uzman olmayan kullanıcı gruplarının ortalama mekânsal bellek görevi performansları hesaplanmıştır (Keskin vd., 2018).

Literatürde bilişsel yük çalışmalarında yaygın olarak kullanılan göz izleme metrikleri göz bebeği büyüklüğü (ing. pupil size) ve sabitlemeye (ing. fixation) ilişkin ölçütlerdir. Gerçekleştirilen deneyin koşulları gereği katılımcıların gözlerini ekran üzerinde serbestçe hareket ettirmesi sebebiyle göz bebeği büyüklüğü bu çalışmanın dışında tutulmuştur. Sabitleme süresi (ing. fixation duration), dikkatin gözün sabitlendiği noktaya yöneltildiğini gösterir (Henderson ve Ferreira, 2013). Sabitleme süresi işlem yükü altında, yani görsel işlem daha fazla mental çaba gerektirdiğinde artmaktadır (Duchowski, 2007; Holmqvist, vd., 2011; Meghanathan vd., 2015). Örneğin, karmaşık ve efektif olmayan bir harita, aşırı derece ilgi çekici görsel bir unsur olmadığı varsayıldığında, katılımcılarda daha uzun sabitleme sürelerine neden olacaktır. Sabitleme sıklığı ya da birim zamandaki sabitleme sayısı, gerçekleştirilen görevin işlem hızı hakkında bilgi vermektedir ve harita kullanıcısı ne denli bilgi ve beceri sahibiyse, haritadan bilgi çıkarımı o denli yüksek olacak, bir başka deyişle, birim zamana düşen bilgi edinimi o oranda artacaktır (Liu, 2019). Bu çalışmada bilişsel yük değerlendirmesi için saniyedeki ortalama sabitleme sayısı ve ortalama sabitleme süresi metrikleri kullanılmıştır (Togami, 1984; Gedminas, 2011; Ooms, 2012).

Alfa aktivitesi bilişsel yükün tespitinde yaygınca kullanılan bir metriktir. Alfa gücündeki azalma, dikkat gerektiren süreçlerin ya da görece yüksek nöronal uyarılmanın işaretidir; görsel verinin işlenmesi ya da zihinsel aktivasyon ve mental efor vb. içsel aktivitelere cevap verme gibi süreçler buna örnek gösterilebilir (Guay vd., 2018). Bu çalışmada katılımcıların dikkate bağlı davranışlarına ilişkin genel bir fikir edinmek amacıyla, 16 EEG elektrodundan yararlanarak, ortalama alfa gücü hesaplanmıştır.

Öte yandan kullanıcıların dikkat ve odaklanma performansını, motivasyon, duygu ve bilişsel kontrol süreçlerini incelemek için EEG frontal alfa asimetrisi (FAA), yaygın olarak kullanılan bir metriktir (Coan ve Allen, 2003; Harmon-Jones, 2003). Beyindeki rölatif sol ön aktivitenin artması, artan bellek ve dikkat performansı ile eldeki göreve daha odaklı bir yaklaşım ile ilişkilidir. FAA, EEG kaydı sırasında beyin sol ve sağ frontal bölgeleri arasında oluşan alfa gücündeki ortalama yarım küresel farktır (Keskin vd., 2019). Bu çalışmada FAA sol (F3) ve sağ (F4) ön kanallar kullanılarak aşağıdaki Formül 1 yardımıyla hesaplanmıştır (Davidson, 1984).

$$FAA = \log(\alpha F4) - \log(\alpha F3) \quad (1)$$



Şekil 1. a) Deneyde katılımcılara gösterilen harita uyararı ve içerdiği temel yapı elemanları sayısı. b) Uzman bir katılımcının çizdiği taslak harita örneği. c) Uzman olmayan bir katılımcının çizdiği taslak harita örneği

Negatif alfa asimetri skorları daha büyük rölatif sağ frontal aktivasyona karşılık gelirken, pozitif olanlar daha büyük rölatif sol frontal aktiviteye işaret etmektedir. Sol frontal yarım kürede aktivitenin artışı, ilgi ve motivasyonu işaret ederken, sağ taraftaki artış motivasyon ve isteksizlik ve kaçınma anlamına gelir (Lanini-Maggi, 2017; Keskin vd., 2019).

2.2 Deneysel II

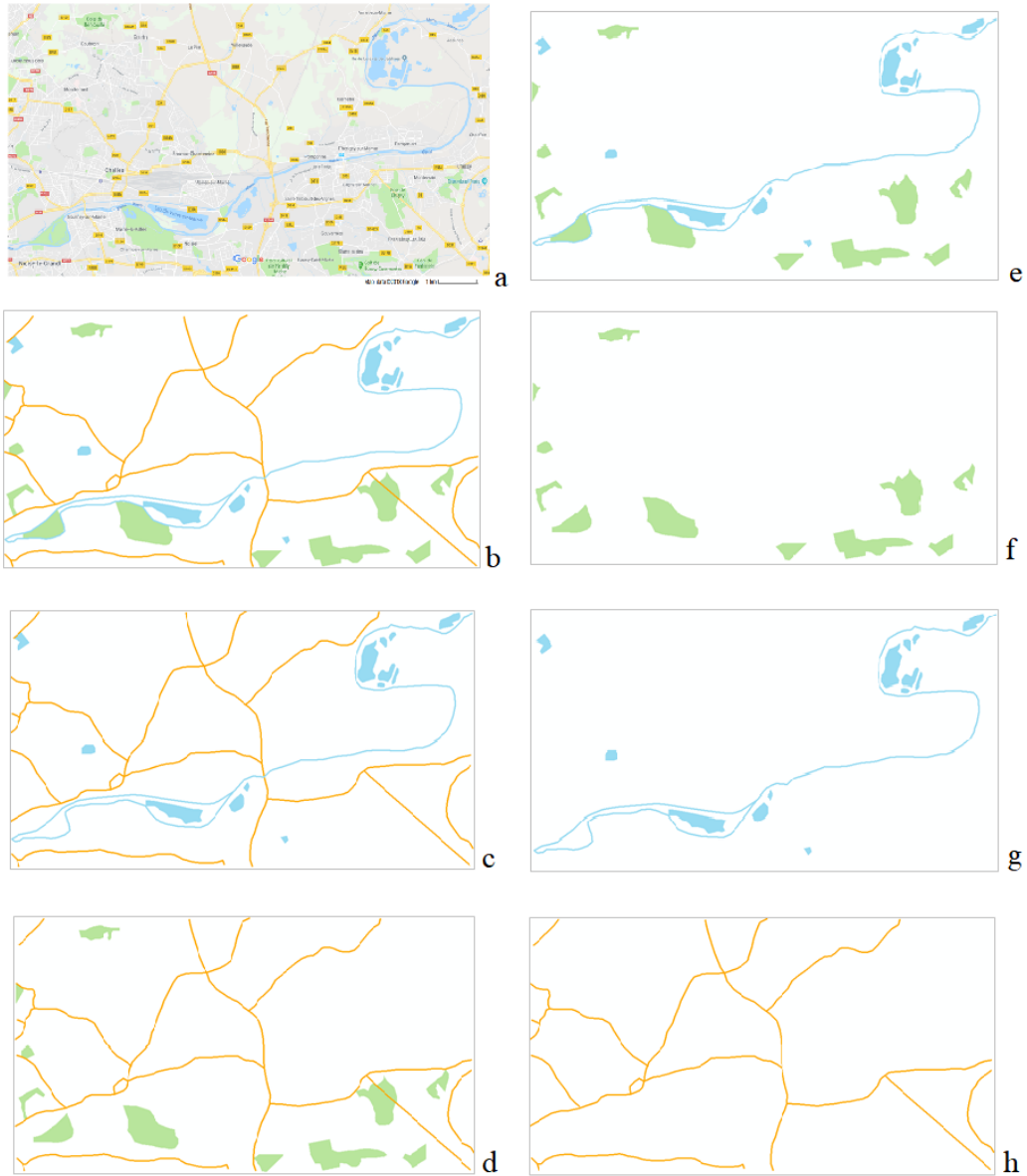
Çalışma kapsamında gerçekleştirilen ikinci deneyde araştırma soruları “bir harita uyararının temel yapı elemanlarını kısıtlı sürede ve sonradan hatırlamak üzere ezberlerken bilişsel yük, uzman ve uzman olmayan harita kullanıcıları arasında nasıl değişir?” ve “mekânsal bellek görevinin zorluk derecesi bilişsel yükü nasıl etkiler?” olarak belirlenmiştir. Bu deneyde görevin zorluk derecesinin kullanıcı davranışı üzerindeki etkisinin tespiti amaçlanmıştır. Deneye yaşları 25-35 arasında değişen 9 kadın ve 8 erkekten oluşan 17 uzman ile 9 kadın ve 12 erkekten oluşan 21 uzman olmayan (toplam 39 katılımcı) kişi katılmıştır.

Bu deneyde çok sayıda harita ve çoklu denemeleri (ing. multiple trials) içeren rastgele bloklar düzeni (ing. randomized block design) kullanılarak farklı zorluk seviyeleri eklenmiş ve zaman kısıtlamaları getirilmiştir. Serbest elle çizim yerine (söz konusu olan haritalardaki temel yapı elemanlarının dijitalleştirilmesiyle üretilen iskelet haritalardan oluşan), katılımcıya çoktan seçmeli grafik seçenekler sunulmuştur. Deney kapsamında “yalnızca çizgisel harita elemanlarının hatırlanmasını içeren görevler, diğer elemanlarına ilişkin görevlere kıyasla, her iki grup için de daha az bilişsel yüke neden olur” ve “uzmanlar, yüksek bilişsel yük gerektiren görevlerde uzman olmayanlardan daha iyi performans sergiler” hipotezleri dikkate alınmıştır.

Mekânsal bellek görevi sırasında bilişsel yükün tespiti; doğru cevapların yanıt süresi, sabitleme tabanlı göz izleme metrikleri ile alfa ve teta frekanslarındaki olaya bağlı EEG güç spektral yoğunluk (PSD) değişimlerinden yararlanılarak yapılmıştır.

Tipik bir EEG deneyinin, fazla sayıda katılımcı ve yüksek sayıda deneme içermesinin sebebi, EEG'nin beyin ile ilgili faaliyetlerin yanı sıra, farklı dış kaynakların meydana getirdiği gürültülere de duyarlı olmasıdır. Ham EEG verisi, beyin aktivitesinin yanı sıra, kas hareketleri, göz kırpmaya ya da göz izleme cihazı dâhil odadaki diğer elektrikli cihazlardan kaynaklanan gürültüyü de içerir. Bu nedenle ham verideki gürültüyü filtrelemek için çeşitli ön işleme adımları uygulanır, bunlardan en temel olanı veriye sistematik bir şekilde etki eden, (Avrupa'da) 50 Hz ya da (Amerika'da) 60 Hz'de gözlemlenen ve ortamdaki elektrikli cihazlardan kaynaklanan gürültünün filtrelenmesidir. Bu çalışmada deneylerden elde edilen ham EEG verisindeki çizgisel gürültüyü gidermek amacıyla 50 Hz'lik notch filtresi ile EEG sinyal aralığı dışında kalan gürültüyü elimine etmek için 100 Hz'lik alçak geçiren ve 0.01 Hz'lik yüksek geçiren filtre uygulanmıştır.

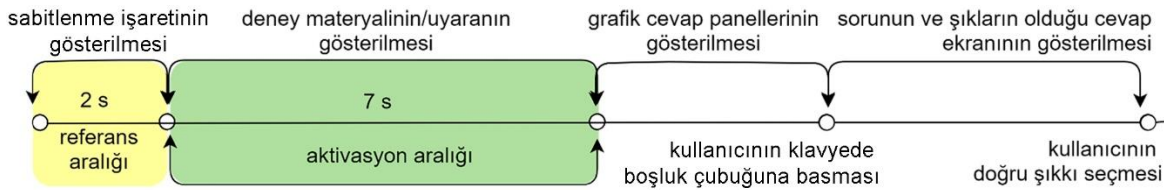
Deneme sayısının fazla olmasının bir diğer sebebi de gürültüsüz deneme sayısının artırmaktır. Bu kapsamda deney, her biri 50 deneme içeren yedi bloktan oluşmaktadır. Her blok, hatırlanması istenen çizgisel ve alansal bir (grup) temel yapı elemanı sınıfına ait belirli bir karmaşıklık seviyesini temsil etmektedir. Şekil 2’de görüldüğü gibi Blok 1’de tüm harita elemanları konu edilirken Blok 2’den Blok 7’ye her bir aşamada sırasıyla yollar ve hidrografi (c), yollar ve yeşil alanlar (d), yeşil alanlar ve hidrografi (e), sadece yeşil alanlar (f), sadece hidrografi (g) ve sadece yollar (h) konu edilmiştir. Böyle bir deney tasarımı ile her bir bloğun bilişsel yük talebinin farklı olacağı öngörülmüş fakat hangi bloğun hangi zorluk derecesiyle eşleşeceğini tespit etmek için pilot testler gerçekleştirilmiştir. Bu testler süresince verilen doğru cevaplar için harcanan tepki süreleri hesaplanarak blok zorluk dereceleri belirlenmiştir. Bu kapsamda veride gözlenen doğal kırılmalar dikkate alınarak Blok 1 ve 2 ‘zor’; Blok 3 ve 4 ‘orta’; Blok 5, 6 ve 7 ise ‘kolay’ görevler olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Deneyde kullanılan örnek bir harita ve deney blokları a) Orijinal harita uyararı, b) Blok 1: Bütün harita, c) Blok 2: Yollar ve hidrografi, d) Blok 3: Yollar ve yeşil alanlar, e) Blok 4: Yeşil alanlar ve hidrografi, f) Blok 5: Yeşil alanlar, g) Blok 6: Hidrografi, h) Blok 7: Yollar (Keskin vd., 2019’dan uyarlanmıştır).

Katılımcıların kendilerinden istenen görevi anladıklarından emin olmak için her blok bir egzersiz denemesiyle başlatılarak katılımcıların o blokta kendilerine yöneltilen görev için hazırlıklı olmaları sağlanmıştır. Deneydeki her deneme üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada katılımcılara aynı ölçekli Google yol haritalarından türetilmiş ekran görüntüleri (hedef uyararı) yedi saniye boyunca gösterilmekte ve onlardan bu görüntünün içeriğini ezberlemeleri istenmiştir.

İkinci aşamada ise katılımcılardan grafik yanıt paneli aracılığı ile sunulan dört adet iskelet haritadan bir önceki aşamada ezberledikleri görüntüye en yakın içerikte olanı belirlemeleri istenmiştir. Seçeneklerden yalnızca biri, haritadaki temel yapı elemanlarının doğru gösterimine karşılık gelmektedir. Üçüncü aşamada ise katılımcıların belirledikleri cevabı ekranda beliren 4 seçenektan (a, b, c, d) birini seçerek işaretlemeleri istenmiştir. Doğru seçenek işaretlendikten sonra katılımcılar otomatik olarak bir sonraki denemeye yönlendirilmektedir ve toplamda 50 deneme sonunda o deney bloğu sona ermektedir. Katılımcılara her bir denemenin öncesinde, mekânsal bellek görev harici süre içerisindeki beyinsel aktiviteyi tanımlamak amacıyla, iki saniyelik referans uyararı (örn. sabitleme işareti - ing. fixation cross) gösterilmiştir. Şekil 3'te zamansal dizilimi sunulan deney sürecinde hedef uyarının gösterildiği yedi saniyelik aralık aktivasyon periyodu olarak tanımlanırken, iki saniyelik ilk periyot referans aralığı olarak isimlendirilmektedir. Deneyin referans ve aktivasyon periyotlarını içerecek şekilde tasarlanmasının sebebi, EEG kaydı boyunca olaya bağlı değişen beyinsel aktiviteyi gözleyebilmektir. Araştırma sorusu ve ona bağlı yapılan deney tasarımı farklılıkları nedeniyle, bu deneyde kullanılan EEG metrikleri ilk deneydekenden farklıdır. Bu metrikler alfa desenkronizasyonu ve teta senkronizasyonu olup, bilişsel yük ve görev zorluğu konulu birçok çalışmada kullanılmıştır (Gevens ve Smith, 2003; Sauseng vd., 2005; Anderson vd., 2011).



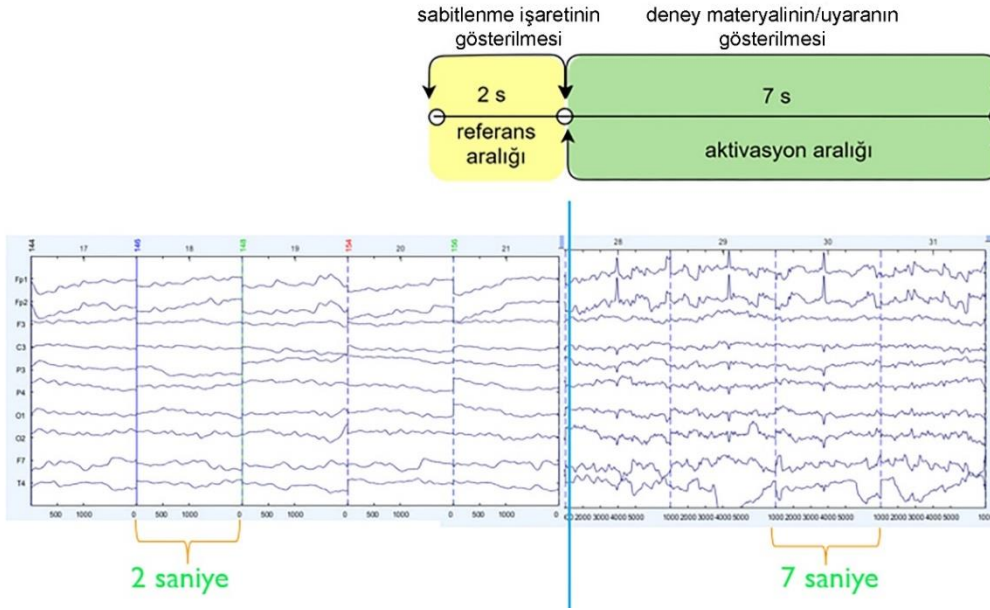
Şekil 3. Deney süreçlerinin zamansal dizilimi

Pek çok çalışmada alfa ve teta frekans bantlarındaki güç spektral yoğunluk değişimlerinin görev zorluğu ile ilişkisi kanıtlanmış ve bu nedenle alfa gücü, kısa süreli belleği ilgilendiren görevler sırasındaki bilişsel yükün tahmin edilmesinde sıklıkla kullanılmıştır (Gevens ve Smith, 2000; Witvoet, 2013). Bu çalışmalarda alfa aktivitesinin (özellikle beyin parietal ve oksipital bölümlerinde) artan görev talepleri ya da zorluğu ile azaldığını; bunun da doğal olarak kısa süreli bellek performansının azalmasına neden olduğu saptanmıştır. Tam tersi şekilde teta aktivitesinin (özellikle ön orta hat alanlarındaki) bilişsel süreçlerle doğru orantılı olduğu, yani yeni bilgileri kodlarken arttığı gözlemlenmiştir (Klimesch, 1999; Pfuertscheller ve Da Silva, 1999; Witvoet, 2013; Kumar ve Kumar, 2016).

Beyinde bilişsel bir işlem gerçekleştiğinde, tetada artış (olaya ilişkin senkronizasyon – event-related synchronization) ve alfada ise bir azalma (olaya ilişkin desenkronizasyon - event-related desynchronization) gözlenmektedir (Pfuertscheller ve Da Silva, 1999). EEG'deki olaya bağımlı bu değişiklikler, bilişsel görev sırasında (mekânsal bellek görevi gibi) belirli bir frekans bandındaki güç ile aynı frekans bandının referans aralıkları süresindeki gücünün karşılaştırılmasıyla nitelendirilebilir (Pfuertscheller ve Da Silva, 1999). Bu deneydeki olaylar, harita uyarısının katılımcıya gösterildiği zaman noktaları olarak tanımlanmıştır. Olaylar, EEG kaydı üzerinde işaretlendikten sonra, referans ve aktivasyon aralıklarına göre bölütlenmiştir (Şekil 4). Bölütleme (segmentasyon) işleminden sonra, alfa ve teta bantlarındaki olaya bağlı güç spektral değişimler, Formül 2 kullanılarak hesaplanmıştır (Benedek vd., 2014).

$$TRP(i)=\log(Pow_i, \text{aktivasyon}) - \log(Pow_i, \text{referans}) \quad (2)$$

Formülde olaya bağlı EEG güç değişimini ifade eden TRP (task-related power change), aktivasyon (Pow_i , aktivasyon) ve referans (Pow_i , referans) aralıkları için hesaplanan güç değerlerinin logaritmik olarak farklarının alınmasıyla elde edilmektedir. Bilişsel yükün tespiti için, bu EEG metrikleriyle birlikte, ilk deneyde olduğu gibi, göz izleme metriklerinden saniyedeki ortalama sabitleme sayısı ve ortalama sabitleme süresi kullanılmıştır. Ayrıca, gözün iki sabitleme arasındaki hızlı geçişlerini (sıçrama – ing. saccade) dikkate alan sıçrama hızı (ing. saccade velocity) ve sıçrama büyüklüğü (saccade amplitude) gibi göz izleme metriklerinden de yararlanılmıştır. Yüksek sıçrama hızı, stresin ve görev karmaşıklığı/zorluğunun artması ve konsantrasyonun düşmesi ile ilişkilendirilirken, kısa sıçramalar yüksek bilişsel yükü işaret etmektedir. Son olarak katılımcıların reaksiyon süreleri ve doğru cevap sayıları hesaplanmıştır. Özetle, göz izleme metrikleri ve EEG alfa ve teta güç spektral değişimleri arasındaki ilişki kurularak, uzman ve uzman olmayan harita kullanıcılarında, farklı zorluk seviyelerindeki mekânsal bellek görevleri sırasında açığa çıkan bilişsel yükün, bütüncül bir şekilde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Böylece, her bir zorluk seviyesinin talep ettiği bilişsel yükün, mekânsal bilgiyi hatırlama performansına etkisi gözlemlenebilmiştir (Keskin vd., 2020).



Şekil 4. EEG verisi bölütlemesi

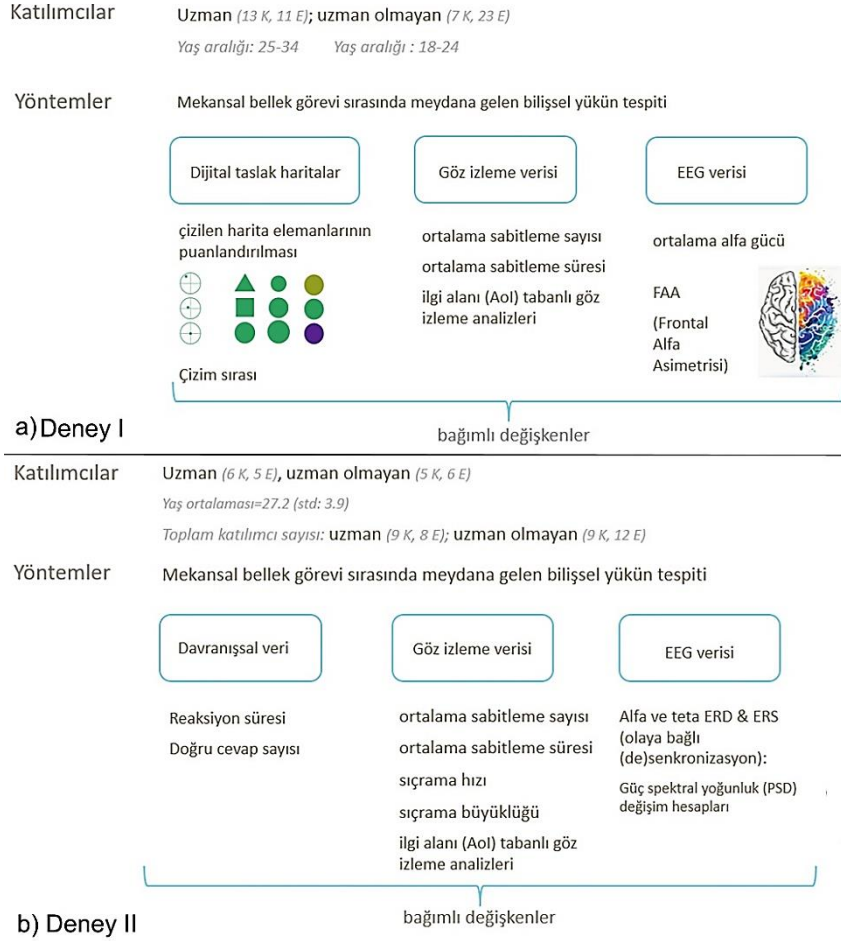
3. Sonuç ve Değerlendirme

Harita kullanıcılarının bireysel farklılıklarının ve benzerliklerinin tespiti, onların bilişsel süreçlerinin iç yüzünü anlamaya ilişkin bütüncül bir çıkarım yapma imkânı sunmaktadır. Analize konu verilerin birden fazla yöntemle elde edilmesi sonuçların güvenilirliğini test etmek açısından katkı sunmaktadır. Bu çalışmada ilk deney kapsamında gerçekleştirilen dijital taslak haritaların değerlendirilmesi, deneme süreleri ve FAA analiz sonuçları ile her iki deney için ayrı ayrı hesaplanan sabitleme ve Aol tabanlı göz izleme metrikleri, uzman ve uzman olmayan kullanıcılar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir (Keskin vd., 2018). Aksine, ilk deneyde EEG alfa gücünün uzman olmayanlarda, uzmanlara oranla daha az olduğu gözlenmiş ve bu sonuç uzman olmayan katılımcılarda daha fazla bilişsel yük açığa çıktığını göstermiştir. İkinci deney kapsamında ilk deneyden farklı olarak alfa ve teta frekanslarında olaya bağlı EEG güç spektral yoğunluk değişimleri ele alınmış ve henüz az sayıda veri kullanılarak gerçekleştirilen ilk analiz sonuçları, katılımcı grupları arasında ayırım yapılmaksızın, genellikle teta değerlerinde artış ve alfa değerlerinde düşüş olduğunu göstermiştir (Keskin vd., 2019). Sonraki aşamada, tüm EEG analizlerinin tamamlanmış ve elde edilen sonuçlar göz izleme metrikleri ile birleştirilerek bilişsel yük saptanmış, uzman ve uzman olmayan kullanıcılar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (Keskin vd., 2020). Deneyler sayesinde, mekânsal bellek görevinin zorluk derecesinin iki grup için de harita kullanımına etkisinin tespit edilmesi ve bu grupların geliştirdikleri farklı stratejileri çözümlemenin yanı sıra, haritanın çizgisel ya da poligon temel yapı elemanlarının görselleştirilmesinde kullanılan görsel değişkenlerin de hatırlamaya etkisini inceleme imkânı bulunmuştur.

Veri triyângülasyonundan yararlanıldığı durumlarda deney tasarımı da kullanılan yöntemlere göre şekillenmektedir. Çalışma kapsamında tasarlanan birinci ve ikinci deneyde kullanılan yöntemler Şekil 5'te, veri triyângülasyonuna konu olan temel yöntemler hakkında bilgi vermek üzere, özetlenmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı kullanıcı deneyi tasarımının önemine vurgu yapmak ve EEG'nin kartografik kullanılabilirlik araştırmasına nasıl entegre edilebileceği, göz izleme ya da dijital taslak harita yöntemleriyle nasıl bir arada kullanılabilirliği, özellikle birden fazla yöntem birleştirildiğinde deney tasarımında nelere dikkat edilmesi gerektiği vb. gibi konulara değinmektedir. Bunun için öncelikle mekânsal bellek ve harita kullanımı kavramlarının üzerinde durularak, harita kullanıcılarının hareketlerinin ölçülmesinde kullanılan yöntemler ile kullanıcının harita algısı ve bilişsel süreçleri hakkında temel bilgiler sunulmuştur. Sonrasında çalışmada bahsedilen mekânsal bellek görevi özelinde ve çerçevesinde, EEG ve göz izlemenin birlikte kaydı sırasında hangi niceliklerin bilişsel yükü ortaya çıkaracağından bahsederek metodolojik bir genel bakış sunulmuştur. Bu kapsamda saniyedeki ortalama sabitleme sayısı, ortalama sabitleme süresi, sıçrama büyüklüğü ve sıçrama hızı gibi göz izleme verileriyle EEG alfa ve teta güç spektral değişimleri ilişkilendirilerek uzman ve uzman olmayan harita kullanıcılarında farklı zorluk seviyelerindeki mekânsal bellek görevleri sırasında açığa çıkan bilişsel yükün belirlenebileceği vurgulanmıştır. Herhangi bir yöntemin sonucunda teorik beklentilerin sağlanamaması durumunda diğer yöntem ile elde edilen sonuçların kontrolüyle çalışma çıktılarının güvenilirliği güvence altına alınabilmektedir. Söz konusu senkronize verilerin uzman ve uzman olmayan kullanıcılar üzerinde kaydedilmesi kullanıcı grupları arasındaki farkların anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

Örneğin, ortalama sabitleme süresi ve sıçrama hızı artıyor, bunlara paralel olarak saniyedeki ortalama sabitleme sayısı ve sıçrama büyüklüğü azalıyor ve eş zamanlı olarak EEG teta aktivitesinde artış ve alfa ise azalış gözlemleniyorsa, bilişsel yükün arttığını söylemek mümkündür (Keskin et al., 2020).



Şekil 5. Deney I ve Deney II’de kullanılan yöntemler

EEG ve göz izleme cihazları ile eş zamanlı ve senkronize veri toplanması, sonrasında bu verilerin birleştirilmesi için gürültüsüz veri sayısının artırılması için deneyin; çok sayıda deneme ve katılımcı ile gerçekleştirilmesi ya da ham EEG verisindeki gürültünün çeşitli yöntemlerle filtrelenmesi gibi, birtakım metodolojik ve teknik problemin çözülmesi gerekmektedir (bkz. Bölüm 2). Bahsi geçen bu problemler, detaylı olarak Keskin (2020) tarafından ele alınmış, ancak bu çalışma kapsamında paylaşılan deneyimlerin özellikle benzer teknolojiler ile çalışacak olan araştırmacılara, deneysel süreçlerin tasarım ve uygulama aşamalarında katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Bu araştırmanın bir bölümü TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenmiştir [hibe numarası: 2214a-1059B141600039]. Deneylerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli imkânları sunan ve deneyimlerini paylaşarak sürece önemli katkılar sağlayan Gent Üniversitesi pazarlama bölümü öğretim üyelerinden Prof. Dr. Hendrik Slabbinck’e ve ikinci deneyin tasarım süreçlerine göz izleme ve EEG konusundaki bilgi ve uzmanlığı ile destek olan Leuven Üniversitesi (KU Leuven) deneysel psikoloji araştırmacılarından Dr. Andrey Nikolaev’e teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Anderson, E. W., Potter, K. C., Matzen, L. E., Shepherd, J. F., Preston, G. A., & Silva, C. T. (2011, June). A user study of visualization effectiveness using EEG and cognitive load. In Computer graphics forum (Vol. 30, No. 3, pp. 791-800). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.

- Bell, S., & Archibald, J. (2011). Sketch mapping and geographic knowledge: what role for drawing ability? In Workshop of an Interdisciplinary Approach to Understanding and Processing Sketch Maps in Conjunction with COSIT 2011, Belfast, ME, vol. 42, pp. 1–10.
- Benedek, M., Schickel, R. J., Jauk, E., Fink, A., Neubauer, A. C. (2014). Alpha power increases in right parietal cortex reflects focused internal attention. *Neuropsychologia*, 56, 393–400, doi:10.1016/j.neuropsychologia.2014.02.010.
- Bertin, J. (1967). *Semiology of graphics*, (W. J. Berg Trans.). Madison, WI, USA: University of Wisconsin Press.
- Bertrand, C., & Thullier, F. (2009). Effects of player position task complexity in visual exploration behavior in soccer. *International Journal of Sport Psychology*, 40(2), 306-323.
- Billingshurst, M., & Weghorst, S. (1995, March). The use of sketch maps to measure cognitive maps of virtual environments. In Proceedings of Virtual Reality Annual International Symposium, 40-47. 4912223, doi:10.1109/VRAIS.1995.512472.
- Coan, J. A., Allen, J. J. (2003). State and trait of frontal EEG asymmetry in emotion. In *The Asymmetrical Brain*, Hugdahl, K., Davidson R. J., Eds., MIT Press: Cambridge, Massachusetts, USA, pp. 566-615.
- Çöltekin, A., Fabrikant, S. I., & Lacayo, M. (2010). Exploring the efficiency of users' visual analytics strategies based on sequence analysis of eye movement recordings. *International Journal of Geographical Information Science*, 24(10), 1559-1575. doi:10.1080/13658816.2010.511718.
- Davidson, R. J. (1984). Affect, cognition, and hemispheric specialization. In Izard, C.E., Kagan, J. & Zajonc, R.B., (Eds.), *Emotion, Cognition, and Behavior*, Cambridge University Press: Cambridge, UK, pp. 320–365.
- Dickmann, F., Edler, D., Bestgen, A. K., & Kuchinke, L. (2017). Exploiting illusory grid lines for object-location memory performance in urban topographic maps. *The Cartographic Journal*, 54(3), 242-253. doi:10.1080/00087041.2016.1236509.
- Duchowski, A. T. (2007). *Eye tracking methodology - Theory and practice*. London: Springer.
- Fabrikant, S. I., Hespanha, S. R., & Hegarty, M. (2010). Cognitively inspired and perceptually salient graphic displays for efficient spatial inference making. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(1), 13-29. doi:10.1080/00045600903362378.
- Forbus, K. D., Usher, J., & Chapman, V. (2004). Qualitative spatial reasoning about sketch maps. *AI magazine*, 25(3), 61. <https://doi.org/10.1609/aimag.v25i3.1777>.
- Gardony, A. L., Taylor, H. A., & Brunyé, T. T. (2016). Gardony map drawing analyzer: software for quantitative analysis of sketch maps. *Behavior research methods*, 48(1), 151-177.
- Gedminas L., (2011). *Evaluating Hurricane Advisories Using Eye Tracking and Biometric Data* (Master's Thesis). East Carolina University: North Carolina, USA, 2011.
- Gevins, A., & Smith, M. E. (2000). Neurophysiological measures of working memory and individual differences in cognitive ability and cognitive style. *Cerebral Cortex*, 10(9), 829-839, doi:10.1093/cercor/10.9.829.
- Gevins, A., & Smith, M. E. (2003). Neurophysiological measures of cognitive workload during human-computer interaction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 4(1-2), 113–131.
- Guay, S., De Beaumont, L., Drisdelle, B. L., Lina, J. M., & Jolicoeur, P. (2018). Electrophysiological impact of multiple concussions in asymptomatic athletes: a re-analysis based on alpha activity during a visual-spatial attention task. *Neuropsychologia*, 108, 42-49.
- Harmon-Jones, E. (2003). Clarifying the Emotive Functions of Asymmetrical Frontal Cortical Activity. *Psychophysiology*, 40(6), 838-848, doi:10.1111/1469-8986.00121.
- Henderson, J., & Ferreira, F. (2013). *The interface of language, vision, and action: Eye movements and the visual world*. Psychology Press.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. OUP Oxford.
- Huynh, N. T., & Doherty, S. T. (2007). Digital sketch map drawing as an instrument to collect data about spatial cognition, *Cartographica*, 42(4), 285–296.
- Jacob, R. J., & Karn, K. S. (2003). Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises. In J. Hyöna, R. Radach, H. Deubel (Eds.) *The mind's eye cognitive and applied aspects of eye movement research*, 573-605. doi:10.1016/B978-044451020-4/50031-1
- Keskin, M., Dogru, A. O., Guney, C., & Başaraner, M. (2016). Kartografik gösterimlerin kullanılabilirliğinin ölçülmesinde nörobilişsel yöntemler (Neurocognitive methods for cartographic usability research), *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(2), 177-189, doi:10.15659/hartek.16.08.331.
- Keskin, M., Ooms, K., Dogru, A. O., & De Maeyer, P. (2018). Digital sketch maps and eye tracking statistics as instruments to obtain insights into spatial cognition. *Journal of Eye Movement Research*, 11(3), 1-20. <https://doi.org/10.16910/jemr.11.3.4>
- Keskin, M., Ooms, K., Dogru, A. O., & De Maeyer, P. (2019). EEG & eye tracking user experiments for spatial memory task on maps. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(12), 546.

- Keskin, M. (2020). *Exploring the Cognitive Processes of Map Users Employing Eye Tracking and EEG (Doctoral dissertation)*, Ghent University, Ghent, Belgium.
- Keskin, M., Ooms, K., Dogru, A. O., & De Maeyer, P. (2020). Exploring the cognitive load of expert and novice map users using EEG & eye tracking. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(7), 429.
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2-3), 169-195.
- Kulhavy, R. W., & Stock, W. A. (1996). How cognitive maps are learned and remembered? *Annals of the Association of American Geographers*, 86(1), 123-145. doi:10.1111/j.1467-8306.1996.tb01748.x.
- Kumar, N., & Kumar, J. (2016). Measurement of cognitive load in HCI systems using EEG power spectrum: An experimental study. *Procedia Computer Sci.* 84, 70-78.
- Lanini-Maggi, S. (2017). *Depicting movement data with animations for embodied and real-time decision-making: a user study with air traffic control displays and real-time movement data (Doctoral dissertation)*, University of Zurich, Zurich, Switzerland.
- Lee, H., Lee, J., & Seo, S. (2009, July). Brain response to good and bad design. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 111-120). Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-02574-7_13.
- Liu, Y. (2019). Visual search characteristics of precise map reading by orienteers. *PeerJ*, 7, e7592.
- Maxwell, J. A. (1996). Applied social research methods series, Vol. 41. Qualitative research design: An interactive approach. Sage Publications, Inc.
- Meghanathan, R. N., van Leeuwen, C., & Nikolaev, A. R. (2015). Fixation duration surpasses pupil size as a measure of memory load in free viewing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 1063.
- Montello, D. R. (2002). Cognitive map-design research in the twentieth century: Theoretical and empirical approaches. *Cartography and Geographic Information Science*, 29(3), pp. 283-304.
- Ooms, K. (2012). Maps, how do users see them?: An in depth investigation of the map users' cognitive processes (*Doctoral dissertation*). Ghent University, Geography Department. Retrieved from <https://biblio.ugent.be/publication/3103344>.
- Ooms, K., De Maeyer, P., & Fack, V. (2015). Listen to the map user: cognition, memory, and expertise. *The Cartographic Journal*, 52(1), 3-19, doi:10.1179/1743277413Y.0000000068.
- Pfurtscheller, G., & Da Silva, F. L. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clinical Neurophysiology*, 110(11), 1842-1857.
- Sauseng, P., Klimesch, W., Schabus, M., & Doppelmayr, M. (2005). Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory. *International Journal of Psychophysiology*, 57(2), 97-103, doi:10.1016/j.ijpsycho.2005.03.018.
- Togami, H. (1984). Affects on visual search performance of individual differences in fixation time and number of fixations. *Ergonomics*, 27(7), 789-799. doi:10.1080/00140138408963552
- Wedel, M., & Pieters, R. (2008). Eye tracking for visual marketing. *Foundations and Trends® in Marketing*, 1(4), 231-320. doi:10.1561/1700000011
- Winslow, B., Carpenter, A., Flint, J., Wang, X., Tomasetti, D., Johnston, M., & Hale, K. (2013). Combining EEG and eye tracking: using fixation-locked potentials in visual search. *Journal of Eye Movement Research*, 6(4), 1-11.
- Witvoet, J. (2013). Does Cognitive Load Influence Performance in a Game-Based Learning Task? <https://essay.utwente.nl/64203>.
- Roth, R.E. (2013). Mixed Methods for Cartographic & Geographic Research. http://www.slideshare.net/roth/mixed-methods-for-cartographic-geographic-research?qid=ffb84221-b757-445a-a262-6271d5f0d66a&v=&b=&from_search=24. Son erişim tarihi: 21.12.2020

Pankromatik Bandın Piksel Tabanlı Sınıflandırmaya Etkisi The Effect of Panchromatic Band on Pixel-Based Classification

Ekrem Saraloğlu^{1*} 

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü 08100 Seyitler, Artvin/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Ekrem Saraloğlu
ekremsaralioglu@artvin.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.852055

Yayın süreci

Geliş tarihi: 01.01.2021
Kabul tarihi: 21.02.2021
Basım tarihi: 13.03.2021

Özet

Bu çalışmada, pankromatik bandın çok bantlı uydu görüntülerinin piksel tabanlı sınıflandırma doğruluğuna etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Çok yüksek uzamsal çözünürlüklü multispektral uydu görüntüleri multispektral bantlar yanında daha yüksek uzamsal çözünürlükte bir pankromatik bant içermektedir. Bu nedenle sınıflandırma aşamasında çeşitli seçenekler oluşmaktadır. Örneğin, sınıflandırma yapıldığında bu bant kullanılmalı mı? Kullanılacaksa nasıl kullanılmalı? Sınıflandırma doğrulukları arasında ne kadar fark olur? Pankromatik bandın sınıflandırma sonuçlarına etkisini incelemek amacıyla 4 adet senaryo oluşturulmuştur. İlk senaryoda pankromatik bant görüntü kaynaştırma yapılarak sınıflandırmada kullanılmıştır. İkinci senaryoda sadece multispektral bantlar üzerinden sınıflandırma yapılmıştır. Üçüncü senaryoda, multispektral bantların boyutu en yakın komşuluk algoritması kullanılarak pankromatik bant boyutuna getirilmiştir. Daha sonra tüm bantların arkasına pankromatik bant eklenerek sınıflandırma yapılmıştır. Son senaryoda ise sadece pankromatik bant sınıflandırılmıştır. En yüksek sınıflandırma doğruluğu pan-keskinleştirme yapılan görüntülerde elde edilmiştir. WorldView-2 görüntüsünün kendi pankromatik bandı ile kaynaştırılması sonucu elde edilen görüntünün destek vektör makineleri ve rastgele orman ile sınıflandırma sonuçları sırasıyla %78 ve %75 olarak bulunmuştur. IKONOS görüntüsü için pan-keskinleştirme yapılmış görüntüde sınıflandırma doğrulukları ise aynı sırada %70 ve %66 olarak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Multispektral uydu görüntüleri, Görüntü sınıflandırma, Pan-keskinleştirme

Abstract

In this study, the effect of panchromatic band on pixel-based classification accuracy of multispectral satellite images was investigated experimentally. Very high spatial resolution multispectral satellite images contain not only multispectral bands but also a higher resolution panchromatic band, which offers a couple of options in the classification phase. For example, should this band be used within classification? If so, how should it be used? What is the difference in the classification accuracies? In order to examine the effect of the panchromatic band on classification results 4 scenarios were created. In the first scenario, panchromatic band was used in classification by pansharpening. In the second scenario, classification was conducted using only the multispectral bands. In the third scenario, the size of the multispectral bands was brought to that of the panchromatic band using the nearest neighborhood algorithm. Then, the classification was made by combining the panchromatic band with all the multispectral bands. In the last scenario, only the panchromatic band was classified. The highest classification accuracy was obtained with pansharpened images. The support vector machines and random forest classification accuracies of the image obtained by pansharpening the WorldView-2 image with its own panchromatic band were found to be 78% and 75%, respectively. The IKONOS pansharpened image resulted in classification accuracies of 70% and 66% in the same order.

Keywords: Multispectral satellite images, Image classification, Pan-sharpening

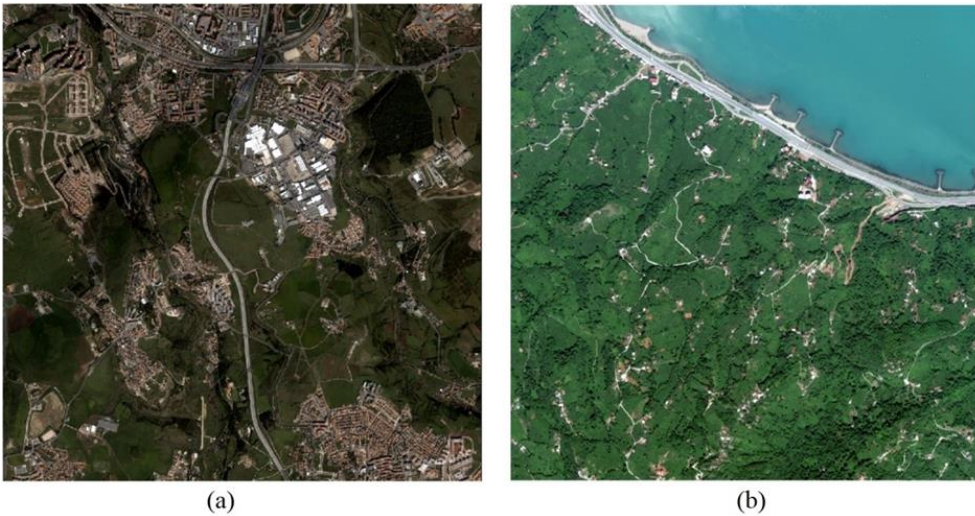
1. Giriş

Uzaktan algılanmış uydu görüntüleri, Dünya yüzeyine ait eşsiz bilgiler sağlamaktadır. Bu veriler uygun maliyet ve coğrafi kapsamı nedeniyle arazi kullanımı / arazi örtüsü haritalaması için en önemli veri kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir (Zhang vd., 2016). Uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılması, bu görüntüleri kullanılabilir ürünlere dönüştüren bir süreçtir. Geleneksel uzaktan algılama (UA) veri sınıflandırma yöntemleri; maksimum benzerlik sınıflandırıcısı (Abou EL-Magd, 2003), uzaklık ölçüsü (Du ve Chang, 2001) ve kümeleme (Kal-Yi, 2002) gibi yöntemleri içermektedir. Son yirmi yılda, K-en yakın komşuluk (k-NN) (Samaniago vd., 2008), rastgele orman (RO) (Breiman, 2001), sinir ağları (Civco, 1993) ve destek vektör makineleri (DVM) (Melgani and Bruzzone, 2004) gibi daha ileri yöntemler arazi örtüsü sınıflandırmada yoğun olarak kullanılmıştır (Carranza-García vd., 2019). Khatami vd. tarafından uydu görüntülerinin sınıflandırılması üzerine yapılan kapsamlı literatür araştırmasında DVM, K-NN ve RO'nun genellikle diğer geleneksel denetimli sınıflandırıcılardan daha iyi performans sağladığı gösterilmiştir.

Uzaktan algılama teknolojisindeki hızlı ilerlemeler ve görüntüleme maliyetlerinin azalması sayesinde, Dünya'nın birçok yerine ait uydu görüntüsü kolayca elde edilmektedir. Uydulardan veya uçaklardan elde edilen çeşitli uzamsal, spektral, radyometrik ve zamansal çözünürlüğe sahip bu veriler birbirlerinden farklılık göstermektedir. Modern uydu sensör teknolojisi sayesinde uzaydan elde edilen görüntüler uzamsal çözünürlük bakımından hava fotoğraflarıyla rekabet edebilmektedir. IKONOS, QuickBird, GeoEye-1 ve WorldView-2 (WV-2) gibi uydu sensörleri, yeryüzünün incelenmesinde gereken ince ayrıntıları yakalayabilen çok yüksek uzamsal çözünürlüklü MS görüntülere örnek oluşturmaktadır. Çok yüksek çözünürlüklü multispektral (MS) görüntüler sayesinde bina, yol, ağaç gibi ayrıntılı özellikler sınıflandırma ile tespit edilebilmektedir. Bu görüntüler genellikle MS bantların yanında daha yüksek uzamsal çözünürlüğe sahip bir pankromatik (PAN) bant da bulundurmaktadır. PAN bandın piksel tabanlı sınıflandırmaya etkisi bu çalışmada incelenmiştir. Pan-keskinleştirme işlemi ile PAN ve MS bantlar birlikte kullanılabilir. Literatürde çok çeşitli pan-keskinleştirme yöntemleri önerilmiştir (Yılmaz, 2020; Wady vd., 2020; Yıldırım ve Güngör, 2012). İyi uzamsal çözünürlük elde etmek genellikle spektral tutarlılığı tehlikeye atar ve bunun tersi de geçerli olmaktadır. Spektral tutarlılık, spektral bozulmadan dolayı önemli bir özelliktir. Keskinleştirilmiş verilerin sınıflandırılmasını ele alan az sayıda makale vardır. Bununla birlikte pan-keskinleştirme görüntüyü görsel olarak iyileştirmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Pan-keskinleştirmenin dışında PAN bandın sınıflandırmaya etkisini gözlemleyebilmek amacıyla, PAN bantlar IKONOS ve WV-2 MS batlarının arkasına eklenerek oluşturulan görüntülerde sınıflandırma yapılmıştır. Son olarak sadece spektral bantlarda ve sadece PAN batlarda sınıflandırma yapılmıştır. Yapılan çalışmada iki görüntü içinde en yüksek sınıflandırma doğruluklarının pan-keskinleştirilmiş görüntülerde olduğu görülmüştür.

2. Çalışma Bölgesi ve Veriler

Çalışma kapsamında WV-2 ve IKONOS görüntüleri kullanılmıştır. IKONOS görüntüsü kentsel bir alana ait çekilmiş bir görüntüyü oluştururken WV-2 görüntüsü Trabzon ili Sürmene ilçesinde bir köye ait görüntüdür. Şekil 1'de çalışma bölgelerine ait IKONOS ve WV-2 görüntüleri gösterilmektedir.



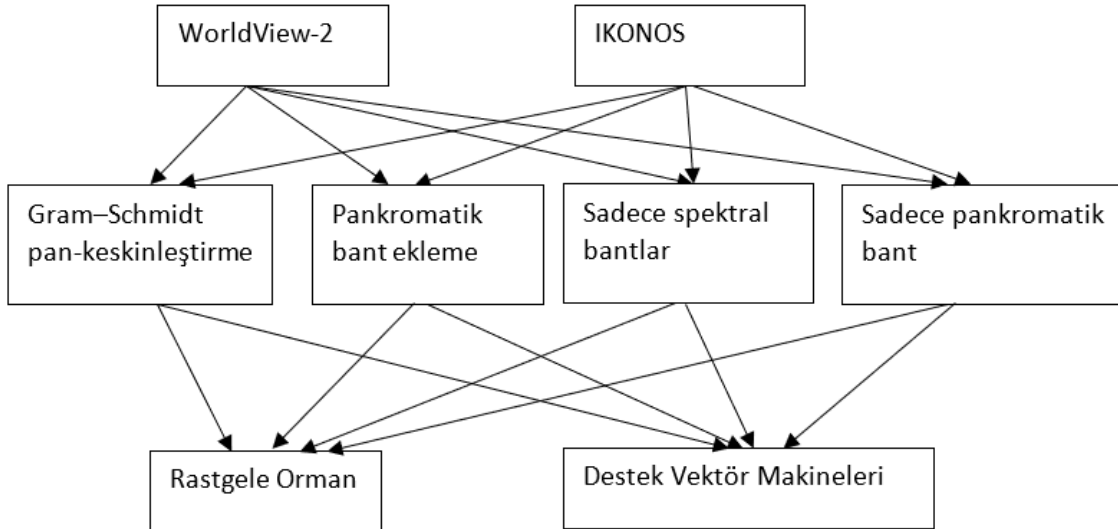
Şekil 1. Çalışma bölgesi uydu görüntüleri: (a) IKONOS görüntüsü, (b) WV-2 görüntüsü

IKONOS görüntüsü 450-900 nm spektral aralığı kapsayan her biri 4 m uzamsal çözünürlükte 4 MS bant ve 1 m uzamsal çözünürlükte PAN bant içermektedir. WV-2 görüntüsü ise bir PAN bant (0,5 m uzamsal çözünürlük) ve 400-1050 nm spektral aralığı kapsayan her biri 2 m uzamsal çözünürlüğe sahip 8 MS bant içermektedir. Spektral aralığı 400-1050 nm arasındaki bu 8 banttan 4'ü standart bantları (kırmızı, yeşil, mavi ve yakın kızılötesi-1(NIR1)) ve geri kalan diğer 4'ü kıyı (coastal), sarı, kırmızı kenar (Red Edge) ve yakın kızılötesi-2 (NIR2)) ek bantları oluşmaktadır (Saralioğlu ve Gungor, 2020). MS görüntüler, sahip oldukları ek bantlar sayesinde insan görüşünün ötesinde önemli özelliklerin çıkarılmasını sağlayabilmektedir. Tablo 1'de IKONOS ve WV-2 görüntülerinin bant özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 1. IKONOS ve WorldView-2 görüntü özellikleri

Sensör	Bantlar	Dalga boyu (nm)	Uzamsal Çözünürlük (m)
IKONOS	Mavi	455-516	4
	Yeşil	506-595	4
	Kırmızı	632-698	4
	Yakın kızıl ötesi	757-853	4
	PAN	450-900	1
WorldView-2	Kıyı Mavisi	396-458	2
	Mavi	442-515	2
	Yeşil	506-586	2
	Sarı	584-632	2
	Kırmızı	624-694	2
	Kırmızı Kenar	699-749	2
	Yakın kızıl ötesi-1	765-901	2
	Yakın kızıl ötesi-2	856-1043	2
	PAN	450-800	0.5

Çalışma kapsamında yapılan işlemler Şekil 2'de gösterilmektedir.

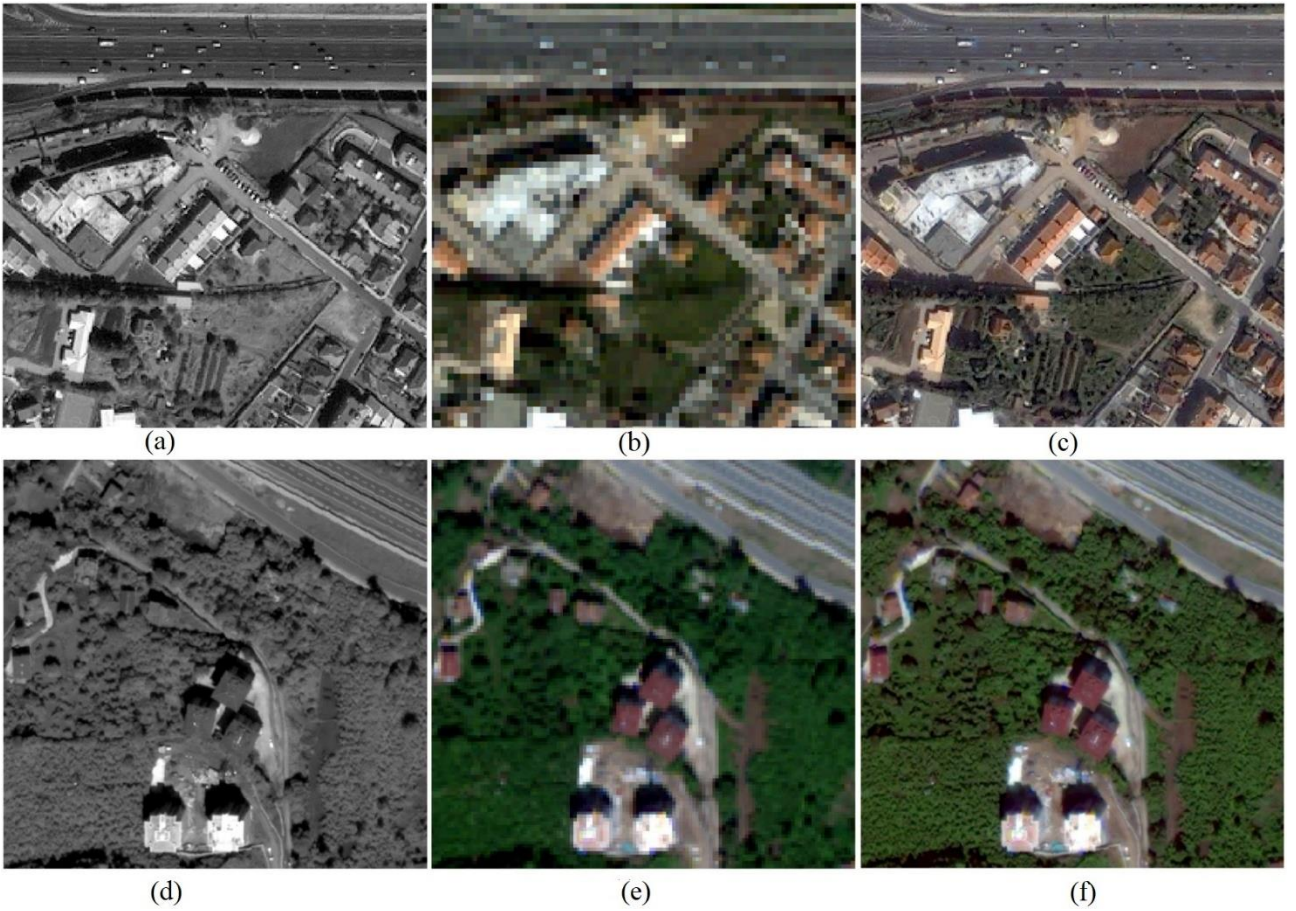


Şekil 2. İş-akış şeması

Şekil 2' de görüldüğü gibi WV-2 ve IKONOS görüntüleri üzerinde sadece MS bantlarda, MS ve PAN bandın kaynaştırılması ile oluşturulan görüntülerde, MS'ye PAN band eklenerek oluşturulan görüntülerde ve sadece PAN bantların sınıflandırılması yapılmıştır. Sınıflandırma çalışmaları DVM ve RO algoritmaları ile gerçekleştirilmiştir.

3. Pan-keskinleştirme

Pan-keskinleştirme ile PAN bantın yüksek uzamsal çözünürlüğü ile MS görüntülerin yüksek spektral çözünürlüğünü birleştirerek yüksek uzamsal çözünürlüklü keskinleştirilmiş MS görüntü oluşturulmaktadır. Bu çalışmada WV-2 ve IKONOS görüntülerinde Gram-Schmidt (GS) yöntemi kullanılarak pan-keskinleştirme yapılmıştır. GS yönteminde, daha düşük uzamsal çözünürlüklü spektral bantlardan bir PAN bant simüle edilir. Genel olarak bu işlem multispektral bantların ağırlıklı ortalaması alınarak elde edilmektedir. Bir sonraki adımda simüle edilen PAN bant MS görüntünün ilk bantı olarak kullanılır. Oluşturulan yeni görüntüye GS dönüşümü uygulanır. Daha sonra yüksek çözünürlüklü PAN bant ile GS dönüşümü sonucu elde edilen görüntünün ilk bantı değiştirilir. Son olarak elde edilen görüntüye ters GS dönüşümü uygulanarak pan-keskinleştirilmiş görüntü elde edilir (Laben ve Brower, 2000). Bu yöntemin iki önemli avantajı olmaktadır. Bu yöntemin en önemli avantajlarından biri tek seferde işlenebilecek bant sayısında bir sınır olmamasıdır. Diğer bir avantajı da orijinal MS verilerinin spektral özellikleri kaynaşmış görüntüde korunmaktadır (Li vd., 2004). Bu şekilde WV-2 görüntüsünün MS ve PAN bantları kaynaştırılarak 0,5 m uzamsal çözünürlükte kaynaşmış renkli görüntü elde edilmiştir. Aynı şekilde 1 m uzamsal çözünürlükte kaynaştırılmış IKONOS görüntüsü elde edilmiştir. Şekil 3'de IKONOS ve WV-2 görüntülerine ait küçük bir alanda kaynaştırma sonrası oluşturulan görüntüler gösterilmektedir.



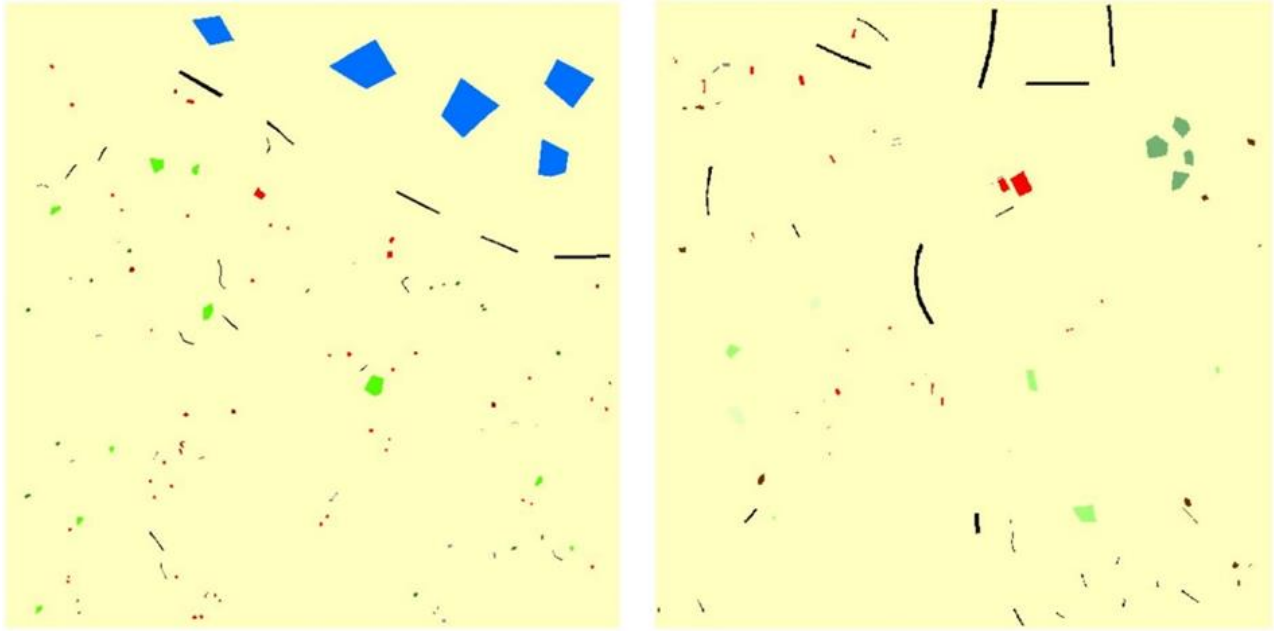
Şekil 3. (a) İKONOS PAN bant; (b) İKONOS doğru renk gösterimde MS bantları; (c) İKONOS GS ile kaynaştırılmış görüntü (d) WV-2 PAN bant; (e) WV-2 doğru renk gösterimde MS bantları; (f) WV-2 GS ile kaynaştırılmış görüntü

4. Sınıflandırma ve Doğruluk Değerlendirme

Tüm sınıflandırma senaryoları, RO ve DVM ile gerçekleştirilmiştir. RO her ağacın giriş vektöründen bağımsız olarak örneklenen rastgele bir vektör kullanılarak üretildiği ve her giriş örneğinde en uygun sınıf için bir birim oyu verdiği karar ağacı tabanlı sınıflandırma yöntemidir (Breiman, 2001). Gürültüye veya aşırı eğitime karşı duyarsızlık ve dengesiz veri kümelerini işleyebilme gibi önemli özelliklere sahiptir (Gomariz-Castillo vd., 2017). Ayrıca az parametre, az manuel müdahale gerektirirken yüksek sınıflandırma doğruluğu sağlamaktadır (Zheng vd., 2017). Yüksek boyutlu verilerden yönetilebilir ve hızlı bir şekilde sınıflandırma sonuçları elde edilmektedir.

RO'nun, sınıflandırma doğruluğu, hesaplama karmaşıklığı ve parametre seçimi açısından k-NN ve yapay sinir ağları (YSA) gibi diğer parametrik olmayan sınıflandırıcılarla karşılaştırıldığında etkili olduğu gösterilmektedir. RO'da en uygun sınıflandırma sonuçlarını elde etmek için, iki anahtar parametrenin önceden tanımlanması gerekmektedir. Bunlar bir ağacı oluşturmak için her düğümde kullanılan özelliklerin sayısı ve oluşturulacak ağaç sayısıdır (Pedergrana, 2012). RO'daki en uygun ağaç sayısını belirlemek için sırasıyla 20, 50, 100, 150 parametreleri denenmiştir. Çalışma bölgesi için sınıflandırma performansının 100'ün üzerinde olduğuunda artık ağaç sayısına duyarlı olmadığı görülmüştür. Sonuç olarak, ağaç sayısı 100 ve özellik sayısı da sınıflandırma doğruluğu ve hesaplama etkinliği dikkate alınarak ağaç sayısına eşit olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan diğer bir sınıflandırma yöntemi olan DVM uzaktan algılama alanında arazi örtüsü tespiti çalışmalarında başarıyla kullanılmış bir yöntemdir. RO, k-NN, YSA gibi güçlü sınıflandırma yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha iyi sınıflandırma sonuçları verdiğini gösteren çalışmalar literatürde mevcuttur (Thanh ve Kappas, 2018; Khatami vd., 2016). Bu sınıflandırma yöntemi, veriyi daha yüksek bir boyuta dönüştürerek oluşturacağı bir hiperdüzlem ile iki sınıfı birbirinden ayırma prensibine dayanmaktadır. Yüksek boyuta dönüşüm aşamasında değişik özelliklere sahip fonksiyonlar kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlar kernel fonksiyonları olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada, çekirdek işlevi olarak Radyal Temel Fonksiyonu (Radial Basis Function (RBF) kullanılmıştır. RBF çekirdeği genellikle az sayıda parametre tanımlamayı gerektirdiğinden ve genel olarak iyi sonuçlar verdiği bilinen bir yöntem olduğundan seçilmiştir (Huang vd., 2018; Petropoulos vd., 2012). Şekil 4'de bu çalışma kapsamında kullanılan eğitim pikselleri ve Tablo 2' de de bu sınıflara ait piksel sayıları gösterilmektedir.



Şekil 4. a) WV-2 eğitim pikselleri, b) IKONOS eğitim pikselleri

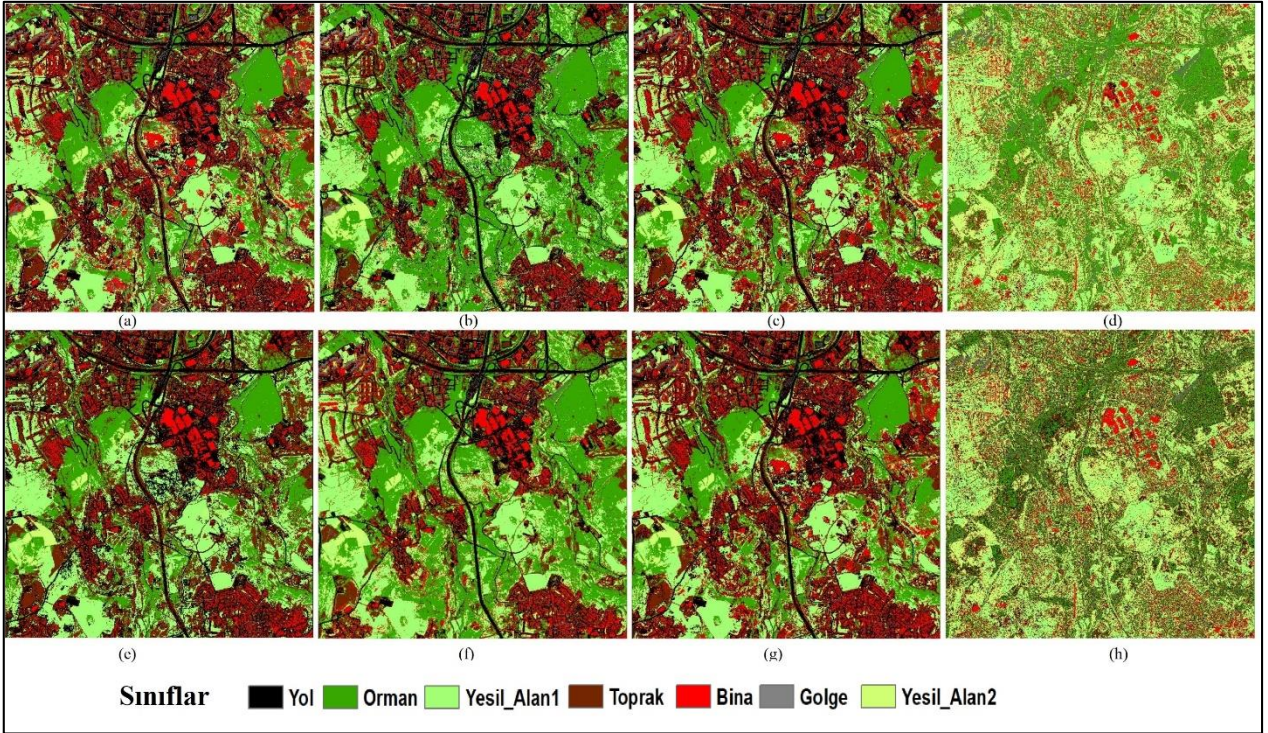
Tablo 2. IKONOS ve WV-2 eğitim sınıfları ve piksel sayıları

IKONOS			WorldView-2		
Sınıf	Renk	Toplam piksel sayısı	Sınıf	Renk	Toplam piksel Sayısı
Bina	Red	24775	Bina	Red	24602
Gölge	Grey	2657	Gölge	Grey	5415
Orman	Green	35156	Orman	Green	11059
Toprak	Brown	11628	Toprak	Brown	9333
Yesil_Alan_1	Light Green	21821	Yesil_Alan	Light Green	47432
Yesil_Alan_2	Yellow Green	10198	Deniz	Blue	382149
Yol	Black	62513	Yol	Black	50774

Sınıflandırma sonrası doğruluk değerlendirme kısmı, yaklaşık aynı boyutlu görüntüler üzerine rastgele atılan 500 adet referans nokta ile sağlanmıştır. Referans noktaların sınıf değerlerinin tespit edilmesi için PAN görüntüler, kaynaştırılmış görüntüler ve Google Earth görüntülerinden faydalanılmıştır. Sınıflandırma aşamasında kullanılan sınıflar ve bu sınıflara ait piksel sayıları Tablo 2’de gösterilmektedir.

5. Bulgular ve İrdeleme

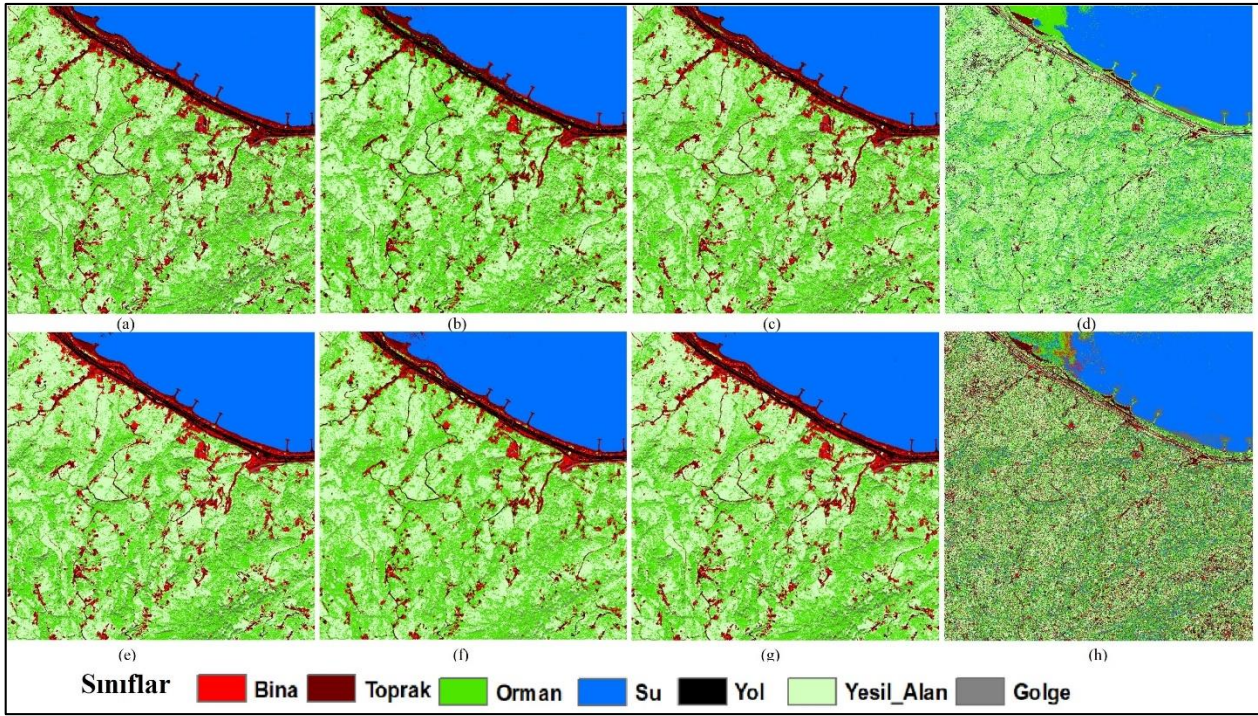
IKONOS görüntüleri üzerinden yapılan tüm sınıflandırma çalışmaları Şekil 5’de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi en kötü sınıflandırma sonuçları sadece PAN bandın sınıflandırılmasında ortaya çıkmıştır. Hem DVM hem de RO yöntemlerinde sınıfların birbirine çok fazla karışmış olması nedeniyle ortaya çıkan çok düşük sınıflandırma doğruluğundaki görüntülerin herhangi bir tematik haritalama çalışmasında kullanılmayacak kadar kötü olduğu görülmektedir. Piksel tabanlı sınıflandırmada sadece PAN bandın kullanıldığı durumda iyi sınıflandırma yöntemleri kullanılmasına rağmen çok düşük sınıflandırma doğrulukları üretebileceği görülmektedir. Tablo 3’de gösterilen sınıflandırma doğrulukları incelendiğinde IKONOS görüntüsü için en iyi sonuçlara pan-keskinleştirilmiş görüntülerde ulaşıldığı görülmüştür. Pan-keskinleştirilmiş görüntünün DVM ile olan sınıflandırma doğruluğunun, kendine en yakın olan MS’ye PAN band eklenerek oluşturulan görüntünün sınıflandırma sonucundan %6’ daha başarılı olduğu görülmektedir. Bunun dışında MS’ye PAN eklenmesi sonucu yapılan sınıflandırma sonucu sadece MS sınıflandırma sonucundan daha iyi olsa bile bu sonuç %2 gibi çok küçük bir değer olduğu görülmüştür. RO ile sınıflandırma sonuçları incelendiğinde sonuçların üç sınıflandırma için birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 5. IKONOS sınıflandırılmış görüntüler: (a) DVM ile MS sınıflandırma; (b) DVM ile pan-keskinleştirilmiş sınıflandırma; (c) DVM ile PAN bant eklenmiş görüntü sınıflandırma; (d) DVM ile PAN bant sınıflandırma; (e) RO ile MS sınıflandırma; (f) RO pan-keskinleştirilmiş sınıflandırma; (g) RO ile PAN bant eklenmiş görüntü sınıflandırma; (h) RO ile PAN bant sınıflandırma

WorldView-2 görüntüleri üzerinden yapılan tüm sınıflandırma çalışmaları Şekil 6’ da gösterilmektedir. Görüldüğü gibi en kötü sınıflandırma sonuçlarının IKONOS görüntüsünde olduğu gibi sadece PAN bandın sınıflandırılmasında ortaya çıktığı görülmüştür. Tablo 3’de gösterilen DVM ile sınıflandırma doğrulukları incelendiğinde WV-2 görüntüsü için en iyi sonuçlara yine %78 genel doğruluk ile pan-keskinleştirilmiş görüntülerde ulaşıldığı görülmektedir. Daha sonra %73 ile MS’ye PAN bandın eklenerek oluşturulan görüntüde ve %69 ile sadece MS görüntülerinin sınıflandırılması gelmektedir. Pan-keskinleştirilmiş görüntünün DVM ile olan sınıflandırma doğruluğuna en yakın olan pan bant ekleme ile yapılan sınıflandırma olmaktadır. Bu sınıflandırma sonucunun pan-kenskinleştirilmiş görüntünün DVM ile sınıflandırılmasından %5’ daha başarılı sonuç verdiği görülmektedir.

Bunun dışında MS görüntülerinin arkasına PAN band eklenerek oluşturulan görüntünün sınıflandırma sonucunun sadece MS sınıflandırma sonucundan biraz daha iyi olduğu görülmektedir. Bu sonuç %2 gibi çok küçük bir değer olmaktadır. RO ile sınıflandırma sonuçları incelendiğinde ise yine üç sınıflandırma sonuçlarının birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 6. WV-2 sınıflandırılmış görüntüler: (a) DVM ile MS sınıflandırma; (b) DVM ile pan-keskinleştirilmiş sınıflandırma; (c) DVM ile PAN bant eklenmiş görüntü sınıflandırma; (d) DVM ile PAN bant sınıflandırma; (e) RO ile MS sınıflandırma; (f) RO ile pan-keskinleştirilmiş sınıflandırma; (g) RO ile PAN bant eklenmiş görüntü sınıflandırma; (h) RO ile PAN bant sınıflandırma

Tablo 3. Sınıflandırma doğrulukları

	WV-2		IKONOS	
		Genel doğruluk		Genel doğruluk
DVM ile sınıflandırma	Kaynaştırılmış	0.78	Kaynaştırılmış	0.70
	MS	0.69	MS	0.62
	PAN eklenmiş	0.73	PAN eklenmiş	0.64
	PAN	0.57	PAN	0.34
RO ile sınıflandırma	Kaynaştırılmış	0.75	Kaynaştırılmış	0.66
	MS	0.72	MS	0.65
	PAN eklenmiş	0.75	PAN eklenmiş	0.63
	PAN	0.46	PAN	0.33

Genel anlamda DVM ile yapılan sınıflandırma doğruluklarının RO'ya göre biraz daha iyi olduğu fakat sadece MS görüntülerin sınıflandırılmasında RO'un iki görüntüde de DVM'den biraz daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca WV-2 görüntüsünde IKONOS'a göre daha iyi sınıflandırma sonuçlarına ulaşıldığı görülmektedir.

Fakat çalışma bölgesinin iki görüntü için aynı olmaması nedeniyle karşılaştırma yapmak doğru olmasa da yapılan çalışmada piksel tabanlı sınıflandırma kullanıldığı için ve WV-2 görüntüsünde de daha fazla MS bandının olması nedeniyle de bu etki olabilir. VW-2 görüntüsünün IKONOS'a göre spektral çözünürlüğünün daha iyi olması sınıflandırma açısından bir avantajdır.

Bunun dışında sınıflandırma çalışmalarında en yüksek doğrulukların iki farklı görüntü ve sınıflandırma yöntemi içinde GS ile kaynaştırılmış görüntülerde olduğu görülmüştür. Kaynaştırılmış görüntüler genel olarak sınıflandırma performansını geliştirmek amacıyla kullanılmamasına rağmen GS gibi çok bantlı görüntünün spektral yapısına fazla zarar vermeden uzamsal detayı arttırmada başarılı olan bir görüntü kaynaştırma yönteminin sınıflandırma doğruluğunu arttırabileceği görülmektedir.

6. Sonuç

Bu çalışmada MS bantların yanında daha yüksek uzamsal çözünürlüğe sahip PAN bandının sınıflandırmaya etkisi incelenmiştir. Çalışma bölgesinde kullanılan iki farklı yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsünde de en iyi sınıflandırma sonuçlarının GS yöntemi ile kaynaştırılmış görüntülerden elde edildiği görülmüştür. Kaynaştırılmış WV-2'de sınıflandırma sonrası genel doğruluk değerleri DVM ile %78 olurken RO'da %75 olarak bulunmuştur. Kaynaştırılmış IKONOS görüntüsünde ise bu sonuçlar yine aynı sıralamada %70 ve %66 olarak bulunmuştur. Bu durum, GS görüntü kaynaştırma yönteminin uygulandığı görüntünün MS bantlarından daha yüksek uzamsal çözünürlüğe sahip renkli bir görüntü oluşturma avantajının yanında bu görüntünün sınıflandırma sonuçlarında da başarılı olabileceğini göstermektedir. Yapılan çalışma bölgesinde genel anlamda DVM ile yapılan sınıflandırma doğruluklarının RO'ya göre biraz daha iyi sonuç üretebildiği görülmüştür. Tematik ürün olarak kullanılamayacak kadar düşük sonuçlar ise sadece PAN bantlarının sınıflandırılmasında elde edilmiştir. WV-2 ve IKONOS görüntüleri üzerinde yapılan tüm sınıflandırma çalışmalarda VW-2 görüntüsü üzerinde daha yüksek sınıflandırma doğruluklarına ulaşıldığı görülmüştür.

Teşekkür

Çalışma kapsamında kullanılan uydu görüntülerinin sağlanmasında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümüne ve Avrupa Uzay Ajansına katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

Kaynaklar

- Abou EL-Magd, I., & Tanton, T. W. (2003). Improvements in land use mapping for irrigated agriculture from satellite sensor data using a multi-stage maximum likelihood classification. *International Journal of Remote Sensing*, 24(21), 4197-4206.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
- Carranza-García, M., García-Gutiérrez, J., & Riquelme, J. C. (2019). A framework for evaluating land use and land cover classification using convolutional neural networks. *Remote Sensing*, 11(3), 274.
- Civco, D. L. (1993). Artificial neural networks for land-cover classification and mapping. *International journal of geographical information science*, 7(2), 173-186.
- Du, Q., & Chang, C. I. (2001). A linear constrained distance-based discriminant analysis for hyperspectral image classification. *Pattern Recognition*, 34(2), 361-373.
- Gomariz-Castillo, F., Alonso-Sarría, F., & Cánovas-García, F. (2017). Improving classification accuracy of multi-temporal Landsat Images by Assessing the Use of different algorithms, textural and ancillary information for a mediterranean semiarid area from 2000 to 2015. *Remote Sensing*, 9(10), 1058.
- Huang, X., Wang, C., & Li, Z. (2018). A near real-time flood-mapping approach by integrating social media and post-event satellite imagery. *Annals of GIS*, 24(2), 113-123.
- Khatami, R., Mountrakis, G., & Stehman, S.V. (2016). A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research. *Remote Sensing of Environment*, 177, 89-100.
- Laben, C.A., & Brower, B.V., (2000). Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening, United States Eastman Kodak Company (Rochester, NY). US Patent 6011875.
- Li, C., Liu, L., Wang, J., Zhao, C., & Wang, R. (2004, September). Comparison of two methods of the fusion of remote sensing images with fidelity of spectral information. In *IGARSS 2004. 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Vol. 4, pp. 2561-2564). IEEE.
- Melgani, F., & Bruzzone, L. (2004). Classification of hyperspectral remote sensing images with support vector machines. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 42(8), 1778-1790.

- Pedernana, M., Marpu, P. R., Dalla Mura, M., Benediktsson, J. A., & Bruzzone, L. (2012). Classification of remote sensing optical and LiDAR data using extended attribute profiles. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 6(7), 856-865.
- Petropoulos, G.P., Kalaitzidis, C., & Vadrevu, K. P. (2012). Support vector machines and object-based classification for obtaining land-use/cover cartography from Hyperion hyperspectral imagery. *Computers & Geosciences*, 41, 99-107
- Samaniego, L., Bárdossy, A., & Schulz, K. (2008). Supervised classification of remotely sensed imagery using a modified k-NN technique. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(7), 2112-2125.
- Saralioğlu, E., & Gungor, O. (2020). Semantic segmentation of land cover from high resolution multispectral satellite images by spectral-spatial convolutional neural network. *Geocarto International*, 1-21.
- Thanh Noi, P., & Kappas, M. (2018). Comparison of random forest, k-nearest neighbor, and support vector machine classifiers for land cover classification using Sentinel-2 imagery. *Sensors*, 18(1), 18.
- Wady, S.M.A., Bentoutou, Y., Bengermikh, A., Bounoua, A., & Taleb, N. (2020). A new IHS and wavelet based pansharpener algorithm for high spatial resolution satellite imagery. *Advances in Space Research*, 66(7), 1507-1521.
- Yıldırım, D., & Güngör, O. (2012). A novel image fusion method using IKONOS satellite images. *Journal of Geodesy and Geoinformation*, 1(1), 75-83.
- Yılmaz, V. (2020). Metasezgisel Guguk Kuşu Arama Algoritması ile Görüntü Kaynaştırma. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 1(1), 1-12.
- Zhang, L., Zhang, L., & Du, B. (2016). Deep learning for remote sensing data: A technical tutorial on the state of the art. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 4(2), 22-40.
- Zheng, H., Du, P., Chen, J., Xia, J., Li, E., Xu, Z., ... & Yokoya, N. (2017). Performance evaluation of downscaling Sentinel-2 imagery for land use and land cover classification by spectral-spatial features. *Remote Sensing*, 9(12), 1274.

The Effect of Point Density on Point Cloud Filtering Performance Nokta Bulutu Yoğunluğunun Filtreleme Performansı Üzerine Etkisi

Çiğdem Şerifoğlu Yılmaz^{1*}, Oğuz Güngör²

¹Karadeniz Technical University, Engineering Faculty, Department of Geomatics Engineering, 61080, Trabzon/Turkey.

²Ankara University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Real Estate and Management, Ankara/Turkey.

ORIGINAL PAPER

*Corresponding author:

Çiğdem Şerifoğlu Yılmaz
cigdem_srf@hotmail.com

doi: 10.48123/rsgis.864234

Article history

Received: 19.01.2021

Accepted: 25.02.2021

Published: 13.03.2021

Abstract

Point cloud filtering is an important step in Digital Terrain Model (DTM) production. Despite the fact that a great body of research has been conducted in this area so far, there are still some problems that have not yet been solved, especially in complex terrains. The fact that the use of user-defined parameters within the presented point cloud filtering methods, and the difficulty of parameter estimation in parallel to the increase in the topography slope and above-ground object diversity, decreases the filtering success. Another problem is the proper specification of the point cloud density to be studied. Point cloud density, which is generally specified considering the ground sampling distance of the DTM, influences the success of the point cloud filtering process, therefore, the accuracy of the DTM produced. In this study, five Unmanned Aerial System (UAS)-based point clouds of different densities were filtered using two different point cloud filtering algorithms Cloth Simulation Filtering (CSF) and gLiDAR to examine the impacts of the point cloud density on filtering success. It was found that the point cloud filtering performance decreased as the point density increased.

Keywords: Point cloud filtering, Digital Terrain Model, CSF, gLiDAR

Özet

Nokta bulutu filtreleme sayısal arazi modeli üretiminde çok önemli bir aşamadır. Şimdiye kadar bu alanda pek çok çalışma yapılmıştır ancak, özellikle kompleks zeminlerde hala aşılabilen bazı sorunlar vardır. Sunulan yöntemlerde yoğunlukla kullanıcı girişi parametreler kullanılması ve parametre kestiriminin, topografya eğimi ve zemin üstü obje çeşitliliği arttıkça zorlaşması filtreleme başarısını düşürmektedir. Bir diğer sorun ise çalışılacak nokta bulutu yoğunluğunun uygun şekilde belirlenmesidir. Üretilecek sayısal arazi modelinin yer örnekleme aralığına göre belirlenen yoğunluk aynı zamanda nokta bulutunun filtreleme başarısını ve dolayısıyla elde edilecek sayısal arazi modelinin hassasiyetini de etkilemektedir. Bu çalışmada, 5 farklı yoğunlukta üretilen insansız hava aracı tabanlı nokta bulutları, nokta bulutu yoğunluğunun filtreleme başarısına etkilerini incelemek için Cloth Simulation Filtering (CSF) ve gLiDAR filtreleme algoritmaları kullanılarak filtrelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre nokta bulutu yoğunluğu arttıkça filtreleme başarısının düştüğü görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Nokta bulutu filtreleme, Sayısal Arazi Modeli, CSF, gLiDAR

1. Introduction

The advent of sophisticated Unmanned Aerial Systems (UASs) in the last years has opened an era of monitoring the surface of the Earth. The camera systems mounted on the UASs are used not only for surveillance purposes, but also for extracting meaningful information from the features on the ground. In recent years, 3D modelling of the surface of the Earth has been one of the most common uses of data obtained from such camera systems. The UAS data provide comprehensive and accurate information for land cover features. As a matter of fact, the accuracy of the data obtained from UASs has increased so much that it has become competitive with the accuracy obtained from terrestrial measurements.

3D reconstruction of the land objects relies on aerial photogrammetry, whose primary objective is to produce point clouds of the land objects through the use of aerial photos acquired from the cameras mounted on the UASs. The produced point clouds are used to derive further products, including Digital Surface Models (DSMs), Digital Terrain Models (DTMs) and orthophotos. A DTM, which models the elevation information of the bare Earth surface, is an important source of data in many remote sensing applications. In recent years, DTMs have been used for various purposes, including change detection (Ali-sisto and Packalen, 2017), tree detection (Demir, 2018), flood damage assessment (Arrighi and Campo, 2019), estimating forest stand parameters (Yılmaz and Güngör, 2019), determination of waterlogged soil areas (Boiarskii et al. 2019), landslide susceptibility mapping (Karakas et al. 2020), detection of flood zones (Douass and Ait Kbir, 2020) etc.

To produce a DTM, point clouds are first filtered to extract the topography of the bare Earth surface. Point cloud filtering is the removal of the points of the above-ground features such as trees, buildings, bridges etc. In general, point cloud filtering is a challenging process and its success is dependent on many factors including;

- The topography of the application area (Serifoglu Yilmaz et al. 2018). Point cloud filtering is a lot easier on topographies with slight slopes. On the other hand, point cloud filtering performance is expected to decrease on complex topographies.
- The mathematical background of the point cloud filtering method used. The literature has reported a large number of point cloud filtering methods so far and each one of them performs with a different mathematical approach.
- The size and shape of the above-ground features (Serifoglu Yilmaz et al. 2018). The point cloud filtering process becomes more challenging on topographies with varying-sized and -shaped above-ground features.
- The proximity of the above-ground objects. If the application area contains many above-ground features that are very close to or interlocking with each other, point cloud filtering performance is expected to decrease.
- The experience of the analyst. An experienced analyst is aware of which point cloud filtering method may be more successful, considering the topography of the application area. On the other hand, inexperienced analysts tend to choose inefficient filtering algorithms and filtering parameters, committing greater filtering errors.

Another important factor affecting the performance of the point cloud filtering process is the density of the point cloud to be filtered. This factor plays a vital role in point cloud filtering performance, impacting the accuracy of the produced DTM. Hence, this study aims to examine the impacts of the point cloud density on point cloud filtering success. To do so, five UAS photogrammetry-based point clouds with different densities were filtered with two commonly-used point cloud filtering methods Cloth Simulation Filtering (CSF) (Zhang et al. 2016) and gLiDAR (Mongus and Žalik, 2012) and the filtering results were evaluated in this manner.

The reminder of the paper is as follows: Section 2 will provide information for the point cloud generation process and point cloud filtering methods used. Section 2 will also give information on the metrics used to evaluate the point cloud filtering results. Section 3 will evaluate the point cloud filtering results using the quality metrics. Finally, Section 4 will present the concluding remarks.

2. Application

2.1 Point Cloud Generation

This study was conducted in the Karadeniz Technical University campus in Trabzon, Turkey. The study area includes different-sized buildings and trees. The study area is shown in Figure 1.

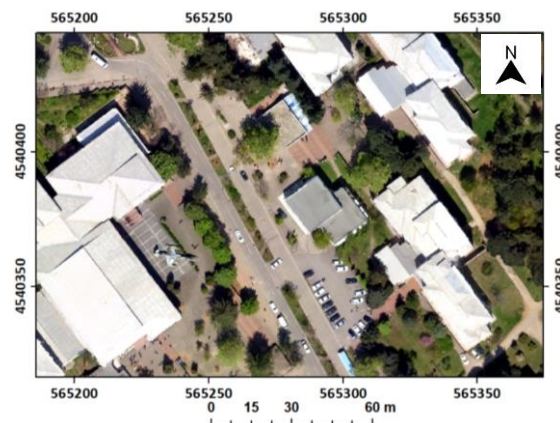


Figure 1. Study area

The point clouds used in this study were produced with 256 aerial photos acquired from an altitude of 185 m. The aerial photos were taken by a RICOH GR DIGITAL IV camera, which is mounted on a Gatewing X100 UAS. The aerial photos were processed in the Agisoft Photoscan Professional (APP) software to generate the initial point cloud having a point density of 0.5 point/m². Then, denser point clouds were produced in the APP software. The software uses the depth information for each image capture point to densify the point clouds (Agisoft Photoscan Professional software user manual, 2016). Point densification process resulted in point clouds with densities of 1.6 point/m², 5.4 point/m², 19.6 point/m², 74.5 point/m² and 272.2 point/m², which will herein be referred as D1, D2, D3, D4 and D5, respectively.

2.2 Point Cloud Filtering

This study used the CSF and gLiDAR algorithms to filter the produced point clouds. This sub-section will provide details on how these algorithms were performed.

2.2.1 CSF

The CSF method is based on the principle of dropping a piece of cloth onto an inverted land surface (Zhang et al. 2016). In such a case, the shape of the cloth forms the DTM of the application area. The very first step of the CSF method is to invert the point cloud. Then, a user-defined grid resolution parameter comes into play to define the number of cloth particles to be dropped. The points and particles are transformed into a horizontal plane and a corresponding point is specified for all cloth particles. The terrain point that intersects with the cloth particle is found and its height is specified as the 'intersection height value'. If the intersection height value is greater than the current height value, then the particle is moved back to the position of the intersection height value and labelled as unmovable (Zhang et al. 2016). In each iteration, the distances between the point cloud and particles are determined. Each point whose distance to the particles is greater than a user-defined threshold (i.e. class threshold parameter) is labelled as a non-ground point (Zhang et al. 2016; Serifoglu Yilmaz et al. 2018). The cloth particles move down and up due to the internal and external (i.e. gravity) forces until the desired height variation or a maximum iteration number is achieved (Zhang et al. 2016). Apart from the aforementioned parameters, the CSF method employs two more parameters, the time step and rigidity. The former is responsible for controlling the movements of the particles, whereas the latter is used to define the terrain type (Zhang et al. 2016; Serifoglu Yilmaz et al. 2018). The optimum values of the parameters used within the CSF algorithm were found by trial-and-error. The parameter values used for the CSF algorithm are shown in Table 1.

Table 1. Parameter values used for the CSF algorithm

Parameter	Point cloud				
	D1	D2	D3	D4	D5
Rigidity	1	1	2	2	2
Grid resolution	2	2	1	1	2
Class threshold	1	1	1	1	1
Time step	1	1	0.6	0.6	1
Maximum iteration number	500	500	500	500	500

2.2.2 gLiDAR

The gLiDAR technique removes the non-ground points considering the height differences between the above-ground objects and their surroundings (Mongus and Žalik, 2012). This technique generates a surface towards the ground using the thin plate spline interpolation whilst filtering off the points belong to the above-ground objects by employing a window whose size decreases gradually. The height differences between the points and interpolated surface are used to filter off the non-ground points. A top-hat transformation is employed to compare the height differences between data points. The obtained non-ground points are substituted by the interpolated points to be used in the next iteration, where a smaller-sized window is used for filtering. The gLiDAR algorithm iterates until the required DTM resolution is achieved (Mongus and Žalik, 2012; Serifoglu Yilmaz et al. 2018). The gLiDAR technique uses a maximum size parameter value to filter off the largest object in the application area. Apart from this, the parameters *n* and *b* are employed to decide whether or not a candidate point is considered a non-ground point, and to specify the ratio between the sizes of the land objects and their responses in the top-hat space, respectively (Korzeniowska et al. 2014; Serifoglu Yilmaz et al. 2018). The optimum values of the parameters used within the gLiDAR algorithm were found by trial-and-error. Table 2 presents the parameter values used for the CSF algorithm.

Table 2. Parameter values used for the gLiDAR algorithm

Parameter	Point cloud				
	D1	D2	D3	D4	D5
n	0	0	0	0.01	0
b	0.4	0.8	0.5	0.02	0.5
Maximum size	50	50	55	45	50

2.3 Evaluation of the Point Cloud Filtering Results

In the literature, point cloud filtering results are generally evaluated with three quality metrics as Type I Error (TIE), Type II Error (TIIE) and Total Error (TE) (Sithole and Vosselman, 2004; Montealegre et al. 2015; Serifoglu Yilmaz and Gungor, 2018). These errors are computed through omission and commission errors. The omission error is defined by the number of ground points classified as non-ground, whereas the commission error is defined by the number of non-ground points classified as ground. The TIE, TIIE and TE are computed as (Sithole and Vosselman, 2004; Serifoglu et al. 2016);

$$TIE = \frac{OE}{GP} \quad (1)$$

$$TIIE = \frac{CE}{NGP} \quad (2)$$

$$TE = \frac{OE + CE}{GP + NGP} \quad (3)$$

where, CE , OE , GP and NGP stand for the commission error, omission error, number of reference ground points and number of reference non-ground points, correspondingly. Since it is not practical to examine the performance of the filtering result using all points of the study area, the method suggested by Zhang et al. (2003) and Zhang and Whitman (2005) was used for accuracy assessment. This method suggests to use randomly selected points for accuracy assessment. At this point, the question as to how many reference points should be used arises. The minimum number of required random points (n_{min}) was obtained with the Multinomial Approach suggested by Congalton and Green (1999). The mathematical definition of this approach is given as;

$$n_{min} = \frac{b}{4a_d^2} \quad (4)$$

where, $b = ci/n_c$. n_c , ci , and a_d define the number of classes, confidence interval and desired accuracy, respectively. This study considered a ci of 95%, which led to an a_d of 0.05. The study area can be categorized into two classes as ground and non-ground, which resulted in a b of 0.025. According to the χ^2 distribution table, 0.025 corresponds to 5.02 in one degree of freedom. Finally n_{min} was computed as 502. In light of this, accuracy assessment was done with 8000 reference points (4000 points for each class), which were randomly selected from the D1 point cloud. The same reference points were also used for the other point clouds for comparison.

3. Results and Discussion

Table 3 presents the quality metric values determined from the filtered point clouds. The best metric values are shown bold in the table. As seen in the table, both the CSF and gLiDAR methods were found to misclassify the ground points as the point density increased. The TIEs computed from the CSF and gLiDAR results range between 10.65% - 35.53% and 6.05% - 75.78%, respectively. On the other hand, both filtering methods were found to be more successful in removing the non-ground points as the point density increased. Table 3 also shows that the TIIEs obtained from the CSF and gLiDAR results vary between 3.20% - 17.10% and 3.15% - 19.73% correspondingly. It can also be seen in Table 3 that the performance of both filtering methods decreased as the point density increased. The TEs calculated from the CSF and gLiDAR results range between 13.88% - 19.74% and 10.98% - 39.46%, respectively.

Table 3. Quality metric values computed from the filtered point clouds

Point cloud	CSF			gLiDAR		
	TIE	TIIE	TE	TIE	TIIE	TE
D1	10.65%	17.10%	13.88%	6.05%	15.90%	10.98%
D2	26.15%	7.80%	16.98%	26.20%	19.73%	22.96%
D3	32.80%	3.73%	18.26%	52.80%	4.20%	28.50%
D4	34.65%	3.20%	18.93%	71.00%	3.25%	37.13%
D5	35.53%	3.95%	19.74%	75.78%	3.15%	39.46%

As depicted in Table 3, the best TIEs of 10.65% and 6.05% were achieved from the CSF and gLiDAR results of the D1 point cloud, respectively. On the other hand, the optimum TIIEs of 3.20% and 3.15% were obtained by the point clouds produced through the filtering of the D3 and D4 point clouds using the CSF and gLiDAR algorithms, correspondingly. As seen in the table, the CSF and gLiDAR results of the D1 point cloud led to the optimum TEs of 13.88% and 10.98%, respectively.

The most important factor in point cloud filtering is to achieve the best balance between TIE and TIIE. This may not always be possible on complex terrains. The fact that the performances of the employed filtering algorithms are pretty much dependent on user-defined parameters increases filtering errors. Because users usually focus much on removing non-ground points especially on complex terrains. However, in such terrains, proper removal of non-ground points is likely to remove a certain amount of ground points either. This becomes more evident as the point density increases. As seen in Table 3, the TIEs dramatically increased as the point density increased. On the other hand, interpolating new points to densify the D1 point cloud produced too many points near the above-ground objects, which made it very challenging to specify the best parameter values to filter off the non-ground points, leading to the removal of points more than necessary.

Filtering a point cloud with a relatively lower point density enables the filtering result to be examined more successfully and easily. The misclassification errors on ground points can be easily noticed. This is, of course, not so easy in cases where point clouds of higher densities are used. On the other hand, working with lower-density point clouds is time-efficient and requires less system sources. However, point density is very important for the DTM to be generating. Producing a high spatial resolution DTM from a lower-density point cloud is likely to lead to greater interpolation errors on the third dimension.

4. Conclusion

This study investigates the impacts of the point density on point cloud filtering performance. To do so, five UAS-based point clouds of different densities were filtered with two state-of-the-art filtering algorithms CSF and gLiDAR. The experiments revealed that the optimum filtering performance was achieved with lower-density point clouds and the filtering success decreased as the point density increased. The filtering performances of the used algorithms were also found to be highly dependent on the parameter values defined by the user. Both filtering algorithms failed to find a good balance between the omission and commission errors committed, which was mainly due to the fact that the study area included many large and complex-shaped above ground features, making the filtering more challenging.

The point density, filtering performance, interpolation technique used and desired spatial resolution are the most important factors that affect the quality of the DTM produced. Further studies will focus on the investigation of the effects of point density on the elevation accuracy of the DTM to be produced.



References

- Agisoft PhotoScan Professional user manual. Version 1.2. 2016. 14. Russia: Agisoft LLC.
- Ali-Sisto, D., & Packalen, P. (2017). Forest change detection by using point clouds from dense image matching together with a LiDAR-derived terrain model. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(3), 1197-1206. doi: 10.1109/JSTARS.2016.2615099.
- Arrighi, C., & Campo, L. (2019). Effects of digital terrain model uncertainties on high-resolution urban flood damage assessment. *Journal of Flood Risk Management*, 12(S2), e12530. doi: 10.1111/jfr3.12530.
- Boiarskii, B., Hasegawa, H., Muratov, A., & Sudeykin, V. (2019). Application of UAV-derived digital elevation model in agricultural field to determine waterlogged soil areas in Amur region, Russia. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8, 520-523.

- Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC press.
- Demir, N. (2018). Using UAVs for detection of trees from digital surface models. *Journal of Forestry Research*, 29(3), 813-821. doi: 10.1007/s11676-017-0473-9.
- Douass, S., and Ait Kbir, M. (2020). Flood zones detection using a runoff model built on Hexagonal shape based cellular automata. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 68(6), 68-74.
- Karakas, G., Can, R., Kocaman, S., Nefeslioglu, H. A., & Gokceoglu, C. (2020). Landslide susceptibility mapping with random forest model for Ordu, Turkey. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 1229-1236. doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-1229-2020.
- Korzeniowska, K., Pfeifer, N., Mandlbürger, G., & Lugmayr, A. (2014). Experimental evaluation of ALS point cloud ground extraction tools over different terrain slope and land-cover types. *International Journal of Remote Sensing*, 35(13), 4673-4697. doi: 10.1080/01431161.2014.919684.
- Mongus, D., & Žalik, B. (2012). Parameter-free ground filtering of LiDAR data for automatic DTM generation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 1-12. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2011.10.002.
- Montealegre, A. L., Lamelas, M. T., & de la Riva, J. (2015). A comparison of open-source LiDAR filtering algorithms in a Mediterranean forest environment. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(8), 4072-4085. doi: 10.1109/JSTARS.2015.2436974.
- Serifoğlu Yılmaz, C., & Gungor, O. (2018). Comparison of the performances of ground filtering algorithms and DTM generation from a UAV-based point cloud. *Geocarto International*, 33(5), 522-537. doi: 10.1080/10106049.2016.1265599.
- Serifoğlu Yılmaz, C., Yılmaz, V., & Güngör, O. (2018). Investigating the performances of commercial and non-commercial software for ground filtering of UAV-based point clouds. *International Journal of Remote Sensing*, 39(15-16), 5016-5042. doi: 10.1080/01431161.2017.1420942.
- Serifoğlu, C., Gungor, O., & Yılmaz, V. (2016). Performance Evaluation of Different Ground Filtering Algorithms for UAV-Based Point Clouds. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41. doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B1-245-2016.
- Sithole, G., & Vosselman, G. (2004). Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59(1-2), 85-101. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2004.05.004.
- Yılmaz, V., & Güngör, O. (2019). Estimating crown diameters in urban forests with Unmanned Aerial System-based photogrammetric point clouds. *International Journal of Remote Sensing*, 40(2), 468-505. doi: 10.1080/01431161.2018.1562255.
- Zhang, K., & Whitman, D. (2005). Comparison of three algorithms for filtering airborne lidar data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(3), 313-324. doi: <https://doi.org/10.14358/PERS.71.3.313>.
- Zhang, K., Chen, S. C., Whitman, D., Shyu, M. L., Yan, J., & Zhang, C. (2003). A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(4), 872-882. doi: 10.1109/TGRS.2003.810682.
- Zhang, W., Qi, J., Wan, P., Wang, H., Xie, D., Wang, X., & Yan, G. (2016). An easy-to-use airborne LiDAR data filtering method based on cloth simulation. *Remote Sensing*, 8(6), 501. doi: 10.3390/rs8060501.

Meteorolojik Verilerin Bağlantılı Veriye Dönüştürülmesi: Karadeniz Bölgesi Örneği

Transforming Meteorological Data into Linked Data: The Case of the Black Sea Region

Deniztan Ulutaş Karakol^{1*}, Çetin Cömert¹

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Deniztan Ulutaş Karakol
deniztanulutas@ktu.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.869992

Yayın süreci

Geliş tarihi: 29.01.2021

Kabul tarihi: 08.03.2021

Basım tarihi: 13.03.2021

Özet

Semantik Web'in gereği olan Bağlantılı Açık Veri üretimi, bağlantılı veri teknolojilerinin sağladığı avantajlar ile konumsal ve konumsal olmayan veri ile iş yapan bütün kamu ve özel kuruluşlar için önemlidir. Veriye daha kolay erişim, veri paylaşımı, veri kullanılabilirliğinin artması ve tekrarının önlenmesi bu avantajlar arasındadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri, risk yönetimi, hava tahminleri ve hava kirliliğinin modellenmesi, su kaynakları, tarım, hava trafiği ve endüstri gibi birçok alanda önemli derecede kullanılan meteorolojik verilerin bağlantılı açık veriye dönüştürülmesi gerekli ve önemlidir. Bu çalışmada meteorolojik verilerin bağlantılı veriye dönüştürülmesi Karadeniz Bölgesi örneği ile gerçekleştirilmiştir. Bölgeye ait meteorolojik istasyon ve gözlem verileri ilgili hava ve meteoroloji kavramlarını içeren ontolojilerle referanslandırılarak RDF verisi üretilmiştir. Üretilen meteorolojik RDF verisi ile bağlantılı açık veri kaynağı olan DBpedia veri seti arasında bağlantılar kurularak bağlantılı meteorolojik veriler elde edilmiştir. Silk bağlantı editörü ile otomatik olarak bulunan bağlantı sonuçları, meteorolojik verilerle DBpedia veri kaynağı arasında hesaplanan benzerlik değerlerinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Bağlantılı veri, Meteorolojik bağlantılı veri, RDF, Semantik Web, Ontoloji

Abstract

Linked Open Data creation, which is a requirement of the semantic Web, is significant for all public and private parties related with spatial and non-spatial data with the advantages of linked data technologies. Among these advantages are data being more discoverable, data sharing, increased reusability of data and preventing data duplication. Meteorological data is used significantly in many areas such as Geographical Information Systems, risk management, weather forecasts, modeling of air pollution, water resources, agriculture, air traffic and industry. So it is necessary and significant to transform meteorological data into linked open data. In this study, the transformation of meteorological data into linked data was carried out with the case of the Black Sea region. RDF data was generated by referencing the meteorological station and observation data of the region with ontologies including the relevant weather and meteorology concepts. Linked meteorological data were obtained by establishing links between the generated meteorological RDF data and DBpedia data set, which is an open linked data source. The automatically found link results with the Silk link editor show that the similarity values calculated between the meteorological data and the DBpedia data source are high.

Keywords: Linked data, Meteorological linked data, RDF, Semantic Web, Ontology

1. Giriş

Gelişen teknoloji ile birlikte Web’de anahtar kelime eşleştirme yöntemleri ile veri bulan geleneksel Web arama motorları, yerini semantik veri araması sağlayan Bağlantılı Veri (Linked Data) yaklaşımına bırakacaktır. Bağlantılı Veri, bilgisayarlar tarafından okunup anlaşılacak şekilde semantik olarak tanımlanmış ve diğer Web kaynakları ile ilişkilendirilmiş veri anlamına gelmektedir. Bağlantılı veri, yapısal verinin Web ortamında yayımlanması ve aralarında ilişki kurulabilmesi için farklı Web kaynakları ile bağlanması ile ilgili yöntem ve kuralları belirtir.

Bağlantılı Veri, farklı veri kaynakları arasında birlikte işlerliği, yeniden kullanılabilirliği ve semantik sorgular yapabilmeyi sağlar. Bağlantılı Veri teknolojileri verilerin semantik işlenmesi, görselleştirilmesi, Web’de yayınlanması ve paylaşılmasını sağlar. Semantik olarak verileri tanımlayabilmek için, bir alan için ortak kavramsallaştırmalar olarak tanımlanan ontolojilere ya da harici Web kaynaklarına, bağlantılar kurulur. Kaynak veri sözcükleri ile global olarak yayınlanmış kaynakların kavramları arasında bağlantı kurmak, farklı veri kaynaklarını ve veri kümelerini birleştirir, verileri daha anlaşılır, keşfedilebilir ve kullanılabilir hale getirir, verilerin birlikte işlerliğini ve entegrasyonunu geliştirir, otomatik anlam çıkarsaması sağlar ve veri tekrarını önler (Ulutaş Karakol vd., 2018).

Bağlantılı Veri ilkelerinin yaygınlaştırılması ve benimsenmesi için Bağlantılı Açık Veri Topluluğu Projesinin ürünü olan Bağlantılı Açık Veri Bulutu¹ (LOD Cloud) oluşturulmuştur (Berners-Lee, 2021). Bağlantılı Açık Veri Bulutu, bağlantılı veri formatında yayınlanmış veri setlerini içeren Alanlar arası, Coğrafya, Ülke, Yaşam Bilimleri, Dilbilim, Medya, Yayınlar, Sosyal Ağ ve Kullanıcı olarak dokuz alt buluttan oluşmaktadır. Mayıs 2020 itibarıyla 16201 bağlantı ile 1269 veri seti içermektedir (The LOD cloud, 2021). Projenin ana amacı Bağlantılı veri prensiplerine göre mevcut veri kaynaklarından bağlantılı veri oluşturmak ve Web’de yayınlamaktır (GeoNames, DBpedia, FOAF, MusicBrainz, vb.) (Ulutaş Karakol vd., 2018).

Semantik Web sadece veriyi Web’de paylaşmak değil, bağlantı kurmaktır. Böylece bir kişi veya bilgisayar/makine Web’deki verileri keşfedebilir. Bağlantılı Veri sayesinde, verinin bir kısmına erişim sağlandığında diğer ilgili veriler de bulunabilir (Berners-Lee, 2021).

Bağlantılı Veri prensipleri Berners-Lee (2021) tarafından dört ilke şeklinde sıralanmaktadır:

- Varlıkların isimleri olarak URI’leri kullanın.
- İnsanların o isimleri arayabilmeleri için HTTP URI’leri kullanın.
- Bir URI arandığında, standartları (RDF, SPARQL) kullanarak yararlı bilgi sağlayın.
- Başka URI’lere bağlantılar ekleyin ki insanlar daha fazla bilgi keşfedebilsinler.

Literatürde Bağlantılı Veri oluşturma konusunda akademik çalışmalar ve projeler (Ulutaş Karakol vd., 2018; Kara vd., 2018; Kara vd., 2020; Bischof vd., 2018; Margan vd., 2018; Qiu vd., 2017; Iwaniak vd., 2017; Szekely vd., 2013; Debruyne vd., 2016; Hietanen vd., 2016; Consolia vd., 2017; Ateazing vd., 2011) mevcuttur.

Ulutaş Karakol vd. (2018) konumsal RDF verilerinin mevcut durumunu, standartları, açık kaynak kodlu platformlar ve Web veri kaynaklarını incelemiştir. Yol verisi ile DBpedia Web veri kaynağı arasında bağlantı kurmuştur. Kara vd. (2018) konumsal verilerin bağlantılı veri olarak yayınlanması ve harita üzerinde gösterilmesi için mevcut durum değerlendirmesi yaparak bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntemle göre konumsal verileri bağlantılı veri olarak Web’de yayınlamış ve harita üzerinde göstermiştir. Kara vd. (2020) “Trabzon İdari Sınırlar” veri setini ontolojilerle ilişkilendirerek Web üzerinde Bağlantılı Veri olarak yayınlamış ve konumsal sorgular gerçekleştirmiştir. Bischof vd. (2018) şehir düzeyindeki istatistiksel verilerin toplanması, birleştirilmesi, zenginleştirilmesi ve elde edilen veri kümesinin yeniden kullanılabilir şekilde Bağlantılı Veri olarak yayınlanmasını sağlayan Açık Şehir Veri Hattı oluşturmuştur. Hem istatistiksel regresyon yöntemlerine hem de arka plan bilgi tabanı üzerinde ontolojik çıkarsamalara dayanan sarmalayıcılar (Wrappers), veri tarayıcısı, ontoloji tabanlı entegrasyon platformu, eksik değer tahmin modülü gibi bileşenler geliştirmiştir. Margan vd. (2018) şehirlerde duyarlı ve korunmasız alanlar için hava kalitesi endeksinin hesaplanması amacıyla hava kirliliği sensör verileri için Konumsal Bağlantılı Veri (Geo Linked Data) oluşturmuş ve konumsal istatistiksel analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmada hava kirliliği bilgilerini zenginleştirmek ve zararlı parçacık kirliliği seviyelerine sahip alanları belirlemek için DBpedia veri kaynağı kullanılmıştır. Qiu vd. (2017) çevresel modelleri ve afetle ilgili verileri birbirine bağlayan bir afet azaltma sürecinde iş akışı oluşturulmasında sel afeti yönetim sistemi otonomisini ve veri alımını sağlayan ontoloji tabanlı bir yaklaşım önermiştir. Modellerin ve verilerin birbirine bağlanması, sistemin doğru zamanda heterojen veri kaynaklarından gelen doğru modeller için doğru veri kümelerini bulmasını sağlamıştır. Iwaniak vd. (2017) RDF veri modelini Bağlantılı Veri olarak kullanarak kurumlardan veya veri tabanlarından veri ve meta verileri yayınlamak için bir sistem tasarlamış ve uygulamıştır. Szekely vd. (2013) Smithsonian Amerikan Sanat Müzesi verilerini Bağlantılı Açık Veri ile eşleştiren bir çalışma yapmıştır. Çalışmada herhangi bir müzenin veya kurumun kendi verisini kendi kendine Bağlantılı Veriyle eşleştirmesini sağlayan yazılımlar geliştirilmiştir. Aynı zamanda başka kaynaklara otomatik olarak oluşturulmuş linkleri müze personelinin kolayca görüntüleyip hataları düzeltebileceği bir doğrulama yazılımı geliştirilmiştir.

¹ <https://lod-cloud.net>

Debruyne vd. (2016) İrlanda'nın idari sınırlarını farklı genelleştirme düzeylerinde oluşturarak Bağlantılı Veri olarak yayınlamıştır. Hietanen vd. (2016) WFS'in (Web Feature Service) sunduğu coğrafi isimler veri setini Bağlantılı Veriye çeviren bir servis geliştirmiştir. Çalışmada WFS'in çıktısı anlık olarak RDF formatına dönüştürülmektedir. Consolia vd. (2017) Catania belediyesi için Bağlantılı Açık Verinin toplanması, zenginleştirilmesi ve yayınlanmasını sağlayan bir sistem geliştirmiş ve bu sistemi semantik birlikte işlerliği sağlayan yöntemler, ontoloji tasarım modeli ve araçlar/yazılımlar ile birlikte tanıtmıştır. Ateazing vd. (2011) çalışmasında AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) (İspanyol Meteoroloji Ofisi) tarafından yayınlanan meteorolojik verileri Bağlantılı Veriye dönüştürmüştür. Ayrıca otomatik veri bulma ve güncelleme yapmış ve verilerin konumlarını dikkate alarak ürettiği Bağlantılı Veriyi görselleştirmiştir.

Ülkemiz literatüründe meteorolojik verileri Bağlantılı Veriye dönüştürme konusunda bir çalışma yoktur. Bu çalışmada meteorolojik verilerin bilgisayarların/yazılımların anlayacağı biçimde anlamlandırılması, herkesin erişebileceği şekilde paylaşımına açılıp farklı veri setleri ile entegre edilerek zenginleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla bu çalışmada Karadeniz Bölgesine ait meteorolojik verilerin semantik olarak tanımlanması ve Bağlantılı Veriye dönüştürülmesi gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada meteorolojik verilerin Bağlantılı Veri olarak yayınlanması için dört işlem adımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Öncelikle çalışma alanına ait meteorolojik veriler temin edilmiş ve bu veriler kullanılacak yazılımın veri formatına dönüştürülmüştür. İkinci aşamada meteorolojik verilerin semantik tanımlarının oluşturulması için veri setinde bulunan kavramlarla aynı ya da benzer kavramları içeren ontolojiler belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ontolojilerle referanslandırılan verilerden RDF verisi üretilmiştir. Son aşamada oluşturulan RDF verisi ile farklı veri setleri arasında bağlantılar kurulmuştur. Sıradaki bölümlerde bu işlem adımları detaylı bir şekilde açıklanacaktır.



Şekil 1. Meteorolojik verilerin bağlantılı veri olarak yayınlanması için iş akışı

2.1 Çalışma Alanının Belirlenmesi ve Kullanılan Veriler

Çalışma alanı Karadeniz bölgesi sınırları içindeki illeri kapsamaktadır. Çalışmada kullanılan meteorolojik veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün izni ile kullanılmıştır. Meteorolojik verilerin içeriği Karadeniz Bölgesindeki illerin istasyon numarası, istasyon adı, bölgesi, ilçesi, enlem-boylam koordinatları, rakımı, günlük buhar basıncı, günlük güneşlenme süresi, günlük maksimum aktüel basınç, günlük maksimum buhar basıncı, günlük maksimum deniz suyu sıcaklığı, günlük maksimum nispi nem, günlük maksimum rüzgâr yönü ve hızı, günlük maksimum sıcaklık, günlük minimum aktüel basınç, günlük minimum buhar basıncı, günlük minimum deniz suyu sıcaklığı, günlük minimum nispi nem, günlük minimum sıcaklık, günlük ortalama aktüel basınç, günlük ortalama deniz suyu sıcaklığı, günlük ortalama nispi nem, günlük ortalama sıcaklık, günlük ortalama rüzgâr yönü ve hızı, günlük ortalama sıcaklık ve günlük toplam yağış miktarıdır.

2.2. Meteorolojik Verilerle İlgili Ontolojilerin Belirlenmesi

Veri setinde yer alan kavramların ve özniteliklerin semantik olarak tanımlanabilmesi için ontolojilere ihtiyaç vardır. Bu çalışmada yeni bir ontoloji oluşturmak yerine ontolojilerin tekrar kullanılabilirliğini sağlamak için Web’de mevcut ontolojiler araştırılmış ve meteorolojik verileri temsil eden anahtar kelimeler ve veri tanımlarını içeren Sweet (BioPortal, 2021), Geonames (GeoNames Ontology, 2021), DBpedia (DBpedia, 2021), WGS84 Geo Positioning (Geo, 2021) ve W3C zaman ontolojisi (Time, 2021) uygun bulunarak kullanılmıştır.

2.2.1 Sweet Ontolojisi

Sweet (The Semantic Web for Earth and Environmental Terminology) 200 ontolojiden oluşturulmuş 6000’den fazla kavram içeren olgun, temel bir ontolojidir. Sweet ontolojisinin içerdiği üst düzey kavramlar arasında Temsil (matematik, uzay, bilim, zaman, veri), Bölge (Okyanus, Kara Yüzeyi, Karasal Hidrosfer, Atmosfer vb.), Fenomenler (makro ölçekli ekolojik ve fiziksel), Süreçler (mikro ölçekli fiziksel, biyolojik, kimyasal ve matematiksel), İnsan Faaliyetleri (Karar, Ticaret, Yargı, Çevre, Araştırma) yer alır (BioPortal, 2021). Çalışma kapsamında Sweet Ontolojisi ‘Meteoroloji istasyonu’, ‘hava tahmini’ ve ‘hava’ kavramlarının referanslandırılmasında kullanılmıştır.

2.2.2 DBpedia Ontolojisi

DBpedia ontolojisi, DBpedia veri setinde kullanılan sınıfları ve özellikleri tanımlar. DBpedia Mappings Wiki’de (DBpedia Mappings Wiki, 2021) manuel olarak oluşturulan spesifikasyonlardan üretilmiştir (DBpedia, 2021). Çalışma kapsamında ‘istasyon numarası’ (station number), ‘bölge’ (province), ilçe (district) ve ‘maksimum sıcaklık’ (maximum temperature) kavramlarının referanslandırılması için kullanılmıştır.

2.2.3 WGS84 Geo Positioning Ontolojisi

WGS84 Geo Positioning Ontolojisi, WGS84 jeodezik referans datumunda enlem, boylam ve yükseklik bilgilerini temsil eden bir RDF ontolojisi (Geo, 2021). Çalışma kapsamında meteorolojik veri setindeki ‘enlem’, ‘boylam’ ve ‘yükseklik’ kavramlarını referanslandırmak için kullanılmıştır.

2.2.4 GeoNames Ontolojisi

GeoNames Ontolojisi, GeoNames (GeoNames, 2021) veri tabanında tanımlı coğrafi detaylar için açıklamalar içerir. İçeriğindeki ana kavramlar coğrafi kod, GeoNames detayı, coğrafi detay, harita, RDF verisi ve Wikipedia makalesi’dir. (GeoNames Ontology, 2021). Çalışma kapsamında ‘İstasyon ismi’ (station name) kavramının referanslandırılmasında kullanılmıştır.

2.2.5 W3C Zaman Ontolojisi

W3C Zaman Ontolojisi, Dünyadaki kaynakların zamansal (tarih, saat) özelliklerini tanımlamak için oluşturulmuş bir ontolojidir. İçerdiği ana kavramlar tarih-zaman tanımı, tarih-zaman aralığı, haftanın günü, süre, süre tanımı, genelleştirilmiş tarih-saat tanımı, genelleştirilmiş süre tanımı, anlık zaman, zaman aralığı, yılın ayı, uygun aralık, zamansal süre, zamansal varlık, zamansal konum, zamansal birim, zaman konumu, saat dilimi ve Zamansal Referans Sistemi’dir (Time Ontology in OWL, 2021). Çalışma kapsamında yıl (year), ay (month), gün (day) kavramlarının referanslandırılmasında kullanılmıştır.

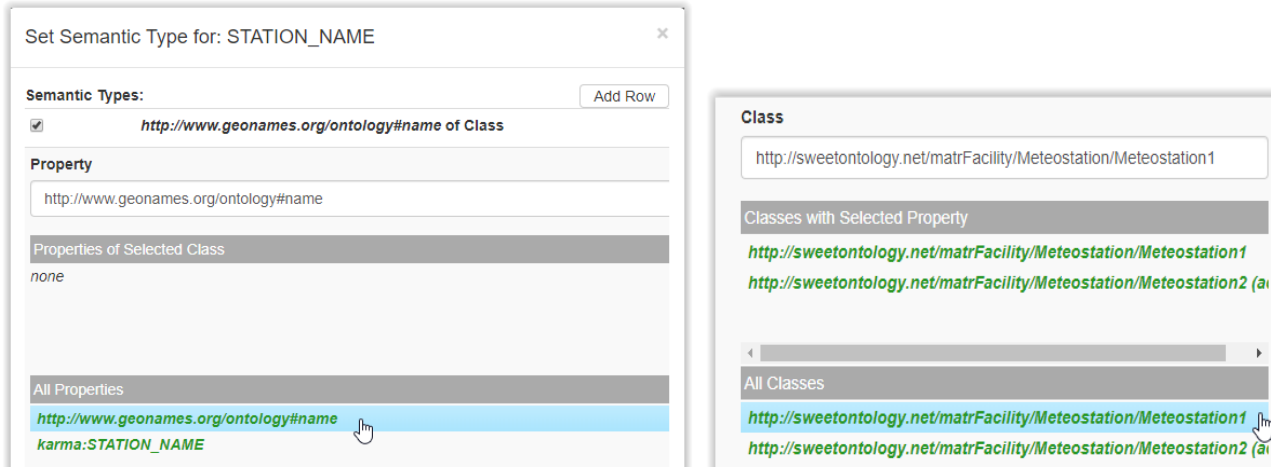
2.3 Verilerin RDF’ye Dönüştürülmesi

Literatürde konumsal veri tabanlarının RDF’ye dönüştürülmesi için GeomRDF (Hamdi vd., 2015), TripleGeo (Patroumpas vd., 2014), GeoTriples (Kyzirakos vd., 2014), shp2GeoSPARQL (Saavedra vd., 2014), OpenRefine (OpenRefine, 2021) ve Karma (Karma, 2021) gibi çeşitli yazılım araçları kullanılmaktadır. Bu çalışmada ilgili meteorolojik verileri RDF formatına dönüştürebilmek için Karma yazılımı kullanılmıştır.

Çalışmada Karma’nın tercih edilmesinin nedeni birçok farklı formattaki veriyi RDF’ye dönüştürebilmesi ve RDF verisini oluştururken kullanıcıya farklı ontolojileri kullanabilme olanağı sunmasıdır. Karma, kullanıcıların verilerini standart sözlüklerle/veri kaynaklarıyla eşleştirebilmeleri için farklı ontolojilerin birleştirilmesini sağlar. Kullanıcıların veri tabanları, elektronik tablolar, sınırlandırılmış metin dosyaları, XML, JSON, KML ve Web API’leri dahil olmak üzere çeşitli veri kaynaklarından verileri hızlı ve kolay bir şekilde entegre etmelerini sağlar.

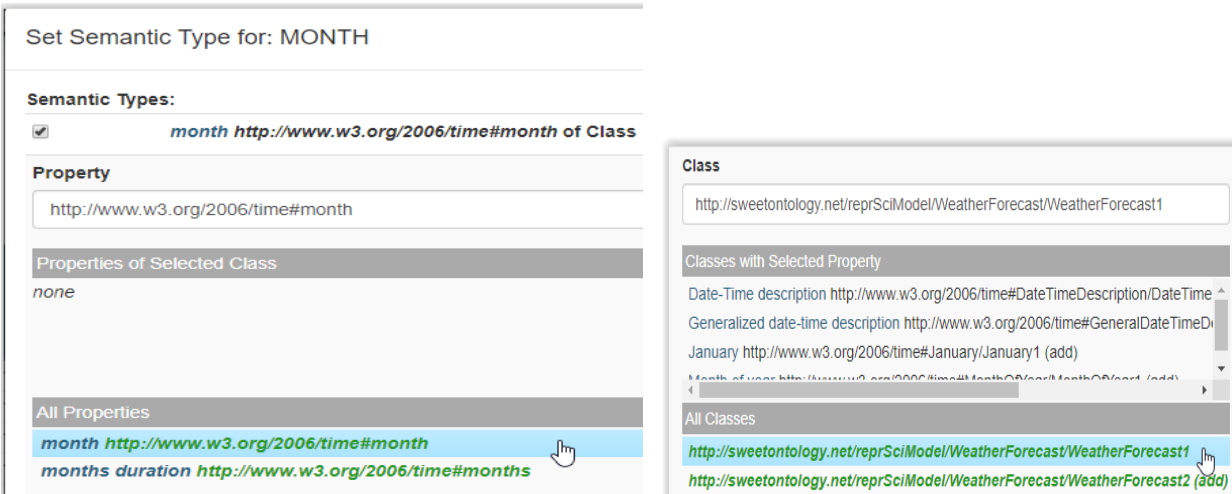
Karma, verilerin ontoloji sınıflarına eşlenmesini öğrenerek bu sınıfları birbirine bağlayan bir model önermek için ontolojiyi kullanır. Bilgileri entegre edebilmek için ontolojileri, alan ve kısıtlamaları kullanır (Karma, 2021).

Çalışmada mevcut meteorolojik istasyon verileri ile günlük maksimum sıcaklık verileri TXT formatından XLSX formatına dönüştürülerek KARMA'nın içine aktarılmıştır. Daha sonra içe aktarılan verilerin modellemesi yapılmıştır. Karma'da veri modelleme, verinin diğer kaynaklardaki verilerle entegre edilebilmesi ve farklı formatlarda yayınlanabilmesi için ontolojiler ile referanslandırılmasıdır. Veri modellemenin ilk aşaması semantik tiplerin belirlenmesidir. Semantik tip, veri setindeki tabloların sütunlarında yer alan öznitelikler ile ontoloji sınıfları ve özellikleri arasındaki ilişkiyi tanımlar. Bu aşamada istasyon veri setindeki İstasyon numarası (station number), İstasyon ismi (station name), Bölge (Province), İlçe (District), Enlem (Latitude), Boylam (Longitude), Yükseklik (Altitude) özniteliklerinin semantik tipleri şekil 2, 3, 4, 5 ve 6 'da gösterildiği gibi belirlenmiştir.



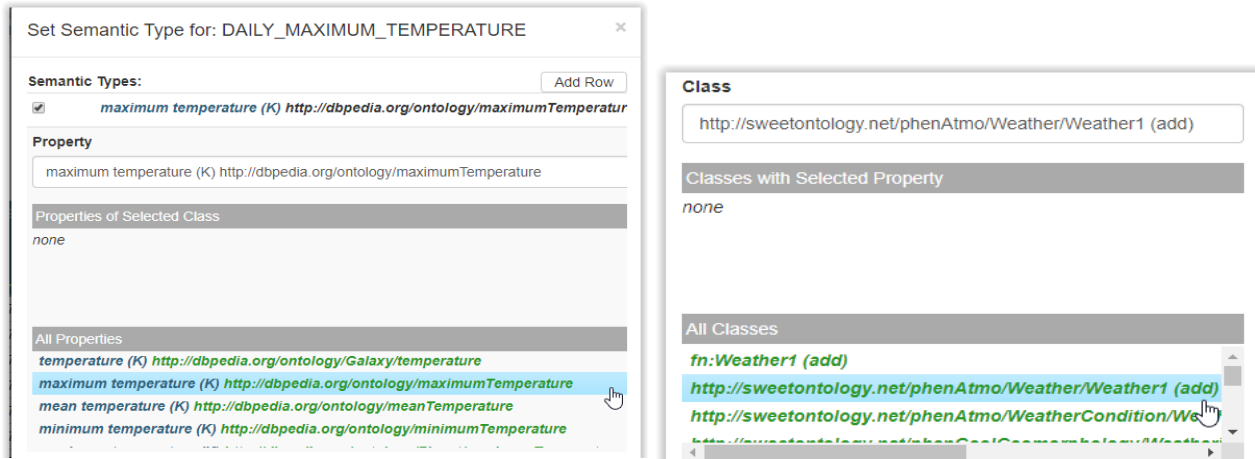
Şekil 2. İstasyon ismi özniteliğinin semantik tipinin belirlenmesi

Şekil 2'de görüldüğü üzere 'İstasyon İsmi' özniteliğinin semantik tipi, Geonames ontolojisindeki "name" özelliği ve Sweet ontolojisindeki 'Meteostation' sınıfı ile referanslandırılması ile belirlenmiştir.



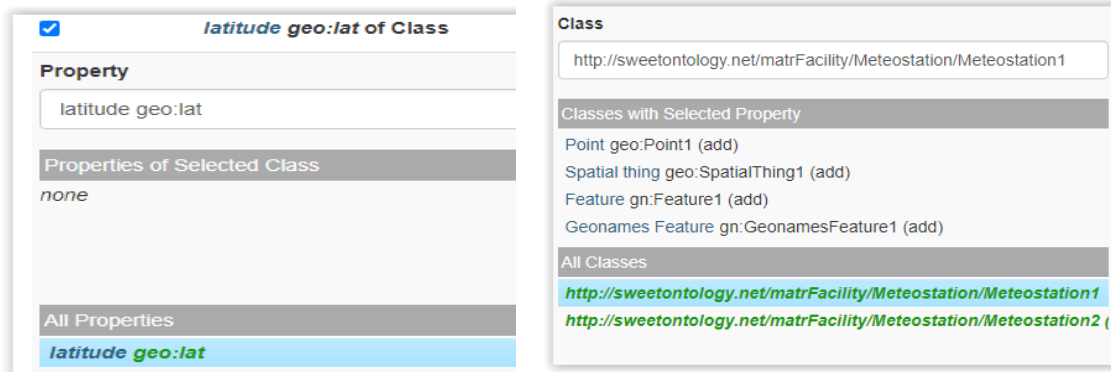
Şekil 3. Ay özniteliğinin semantik tipinin belirlenmesi

Şekil 3'de görüldüğü üzere 'Ay' özniteliğinin semantik tipi W3C Time ontolojisindeki "month" özelliği ve Sweet ontolojisindeki 'Weather Forecast' sınıfı ile referanslandırılması ile belirlenmiştir.



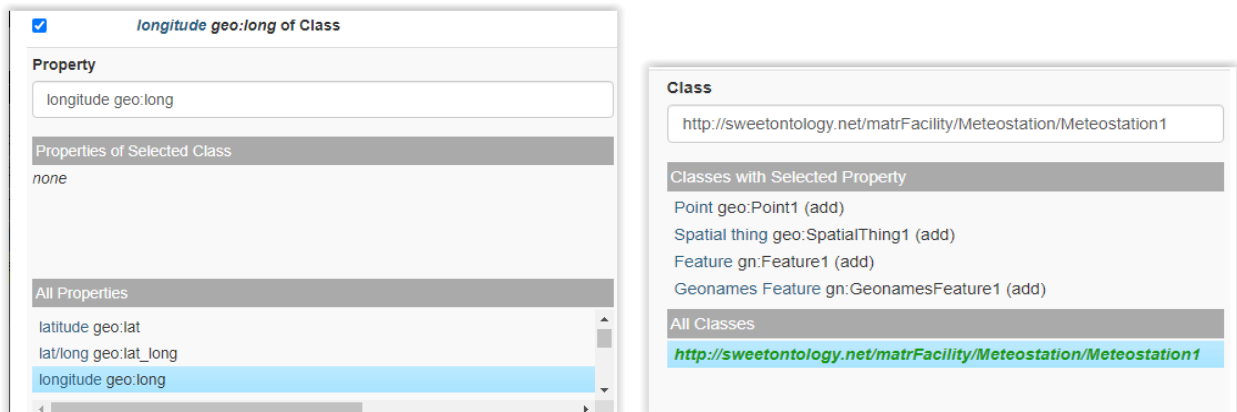
Şekil 4. Günlük Maksimum Sıcaklık özniteliğinin semantik tipinin belirlenmesi

Şekil 4’de görüldüğü üzere ‘Günlük Maksimum Sıcaklık’ özniteliğinin semantik tipi, DBpedia ontolojisindeki “Maximum Temperature” özelliği ve Sweet ontolojisindeki ‘Weather’ sınıfı ile referanslandırılması ile belirlenmiştir.



Şekil 5. Enlem özniteliğinin semantik tipinin belirlenmesi

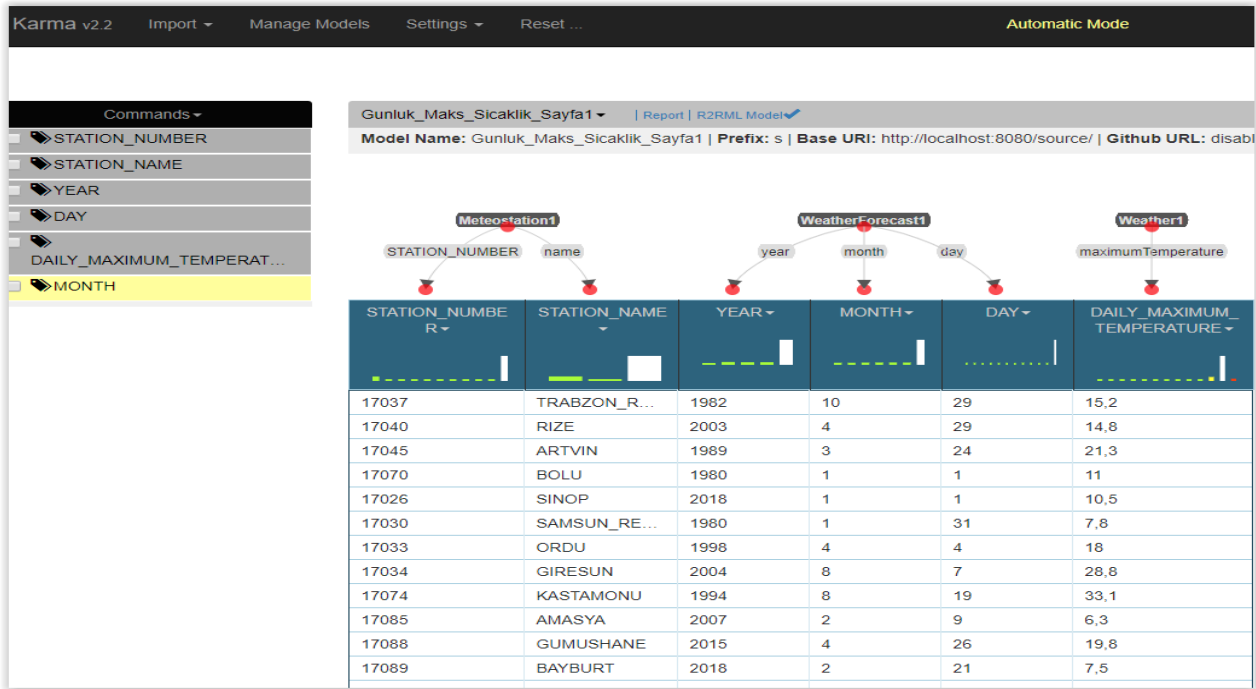
Şekil 5’de görüldüğü üzere ‘Enlem’ özniteliğinin semantik tipi, WGS84 Geo Positioning ontolojisindeki “latitude” özelliği ve Sweet ontolojisindeki ‘Meteostation’ sınıfı ile referanslandırılması ile belirlenmiştir.



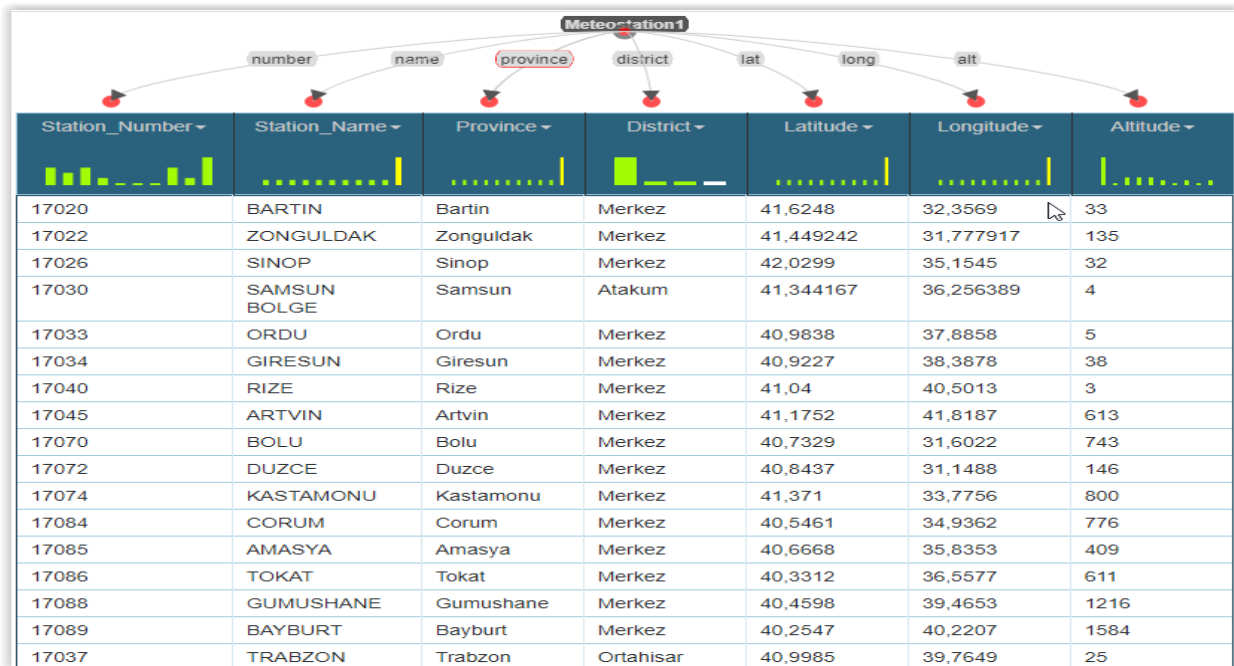
Şekil 6. Boylam özniteliğinin semantik tipinin belirlenmesi

Şekil 6’da görüldüğü üzere ‘Boylam’ özniteliğinin semantik tipi, WGS84 Geo Positioning ontolojisindeki “Longitude” özelliği ve Sweet ontolojisindeki ‘Meteostation’ sınıfı ile referanslandırılması ile belirlenmiştir. Veri setindeki diğer özniteliklerin semantik tipleri de benzer şekilde belirlenmiştir.

Veri modellemenin ikinci aşaması sınıflar arasındaki ilişkilerin belirlenmesidir. Şekil 7 ve 8’de oluşturulan model sınıfı, özellikleri ve ilişkileri ile gösterilmektedir.



Şekil 7. Gözetim verilerinin modeli



Şekil 8. İstasyon verilerinin modeli

Son aşamada Karma’da oluşturulan istasyon ve gözetim veri modelleri RDF formatında yayınlanmıştır. Oluşturulan RDF verisinin bir kısmı Şekil 9’da ‘Artvin’, ‘Giresun’ ve ‘Rize’ istasyon noktaları için gösterilmektedir.

```
[ rdf:type <http://sweetontology.net/matrFacility/Meteostation> ;  
  <http://dbpedia.org/ontology/district> "Merkez" ;  
  <http://dbpedia.org/ontology/number> "17034" ;  
  <http://dbpedia.org/ontology/province> "Giresun" ;  
  <http://purl.org/dc/terms/created> "Giresun" ;  
  <http://www.geonames.org/ontology#name> "GİRESUN" ;  
  <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#alt> "38" ;  
  <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#lat> "40,9227" ;  
  <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#long> "38,3878"  
] .  
  
[ rdf:type <http://sweetontology.net/matrFacility/Meteostation> ;  
  <http://dbpedia.org/ontology/district> "Merkez" ;  
  <http://dbpedia.org/ontology/number> "17040" ;  
  <http://dbpedia.org/ontology/province> "Rize" ;  
  <http://purl.org/dc/terms/created> "Rize" ;  
  <http://www.geonames.org/ontology#name> "RIZE" ;  
  <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#alt> "3" ;  
  <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#lat> "41,04" ;  
  <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#long> "40,5013"  
] .  
  
[ rdf:type <http://sweetontology.net/matrFacility/Meteostation> ;  
  <http://dbpedia.org/ontology/district> "Merkez" ;  
  <http://dbpedia.org/ontology/number> "17045" ;  
  <http://dbpedia.org/ontology/province> "Artvin" ;  
  <http://purl.org/dc/terms/created> "Artvin" ;  
  <http://www.geonames.org/ontology#name> "ARTVIN" ;  
  <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#alt> "613" ;  
  <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#lat> "41,1752" ;  
  <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#long> "41,8187"  
] .
```

Şekil 9. Artvin, Giresun ve Rize istasyon noktaları için oluşturulan RDF (.ttl) verisi

2.4 Verilerin Farklı Veri Setleri ile Bağlanması

Literatürde verinin harici Web kaynaklarına bağlanması konusunda Koho vd. (2018), Zhua vd. (2017), Wetz vd. (2012), Schabus ve Scholz (2017), Iwaniak vd. (2017), Qiu vd. (2017), Bischof vd. (2018), Margan vd. (2018) gibi akademik çalışmalar ve projeler mevcuttur.

Koho vd. (2018) tarihi verilerin harici ilgili veri setlerine bağlanmasını gerçekleştirmiştir. Finlandiya'daki ikinci Dünya savaşı mahkumları ile ilgili verileri Bağlantılı Veriye dönüştürerek WarSampo veri setine entegre etmiştir. Zhua vd. (2017) veri keşfinde konumsal verilerin özelliklerine ve rollerine göre konumsal alandaki Bağlantılı Veriler için çok boyutlu ve nicel bir bağlantı yaklaşımı önermiştir. Çin Ulusal Yer Sistemi Bilimsel Veri Paylaşım Ağında (NSTI-GEO) veri içi bağlantılar oluşturmuş ve NSTI-GEO'da Çin Meteorolojik Veri Ağı ve Ulusal Nüfus ve Sağlık Bilimsel Veri Paylaşım Platformu ile veri bağlantıları oluşturmuştur. Wetz vd. (2012) yerel bir eşanlamlılar sözlüğünde (thesaurus) yer alan bilgileri genişletmek ve zenginleştirmek için LOD (Bağlantılı Açık Veri) varlıklarını eş anlamlılar sözlüğüne bağlamıştır. Schabus ve Scholz (2017) bir üretim organizasyonu içinde farklı iş birimlerinde ve heterojen veri kaynaklarında yer alan veri setlerini, iç mekan alanını ve üretim süreçlerini açıklayan bir ontolojiye dayalı entegre etmek için Bağlantılı Veri yaklaşımı önermiştir. Qiu vd. (2017) çevresel modellerle afet verileri arasında bağlantı kuran ontoloji tabanlı bir yöntem önermiştir. Bischof vd. (2018) istatistiksel açık şehir verisini Bağlantılı Veri ile zenginleştirmiş ve eksik değerleri hesaplamıştır. Margan vd. (2018) hava kirliliği bilgilerini zenginleştirmek ve zararlı partikül kirliliği seviyelerine sahip alanları belirlemek için DBpedia'yi kullanmıştır.

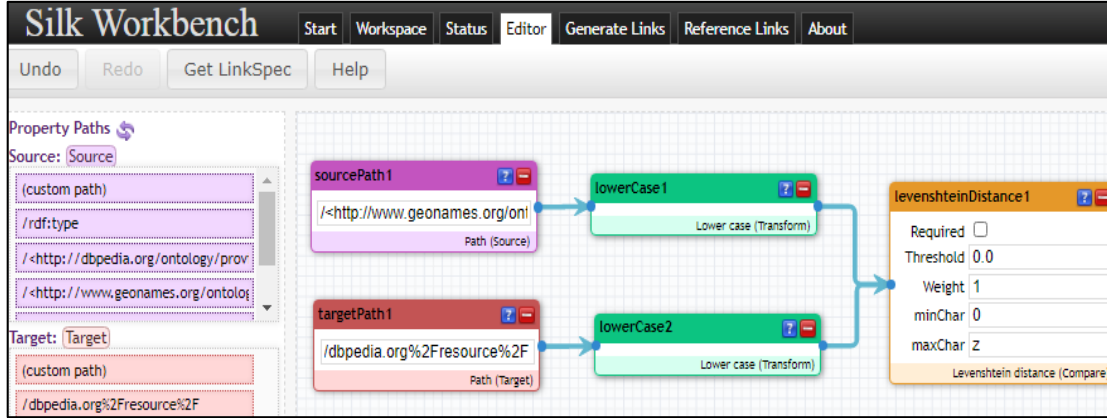
Literatürde farklı veri kaynakları arasında bağlantı kurmak için "owl:sameAs" ve "owl:equivalentClass" OWL ilişkileri kullanılmaktadır. Farklı veri kaynakları arasında bağlantı kuran Silk, Limes, RIMOM, idMash ve ObjectCoref gibi yazılımlar mevcuttur. Çalışma kapsamında veri kaynakları arasında otomatik bağlantı oluşturmak için Silk bağlantı editörü kullanılmıştır. Silk, farklı Bağlantılı Veri kaynaklarına ait veriler arasındaki ilişkileri bulan bir bağlantı bulma çatısıdır. Öznitelik değerlerini veya varlık kümelerini karakter (string), sayısal, veri ve URI gibi benzerlik ölçütleri ve küme karşılaştırma yöntemlerinin yanı sıra bir kavram hiyerarşisinde iki kavram arasında semantik mesafeyi hesaplayan bir taksonomik eşleştirici ile karşılaştırır. Her metrik, '0' veya '1' arasındaki benzerlik değerine göre değerlendirilir, daha yüksek değerler daha büyük bir benzerliği belirtir (Volz vd., 2009).

Çalışma kapsamında meteorolojik veriler ile DBpedia Web veri kaynağı arasında bağlantı kurulmuştur. Silk bağlantı bulma editöründe meteorolojik istasyon isimleri ve DBpedia il veri seti arasında kurulacak bağlantı kuralları şekil 10' daki gibi tanımlanmıştır. Karakter tabanlı Levenshtein Distance benzerlik algoritması ile bağlantılar kurulmuştur.

Levenshtein Distance karşılaştırma operatörü bir sözcüğü diğerine dönüştürmek için tek bir karakterin eklenmesi, silinmesi veya değiştirilmesi gibi düzenleme işlemlerini kapsayan minimum düzenleme sayısını hesaplayarak benzerlikleri bulur. Bulunan bağlantı sonuçlarının bir kısmı şekil 11’de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere bağlantı sonuçları %100 doğrulukla bulunmuştur.

Silk’de meteorolojik istasyon koordinatları ve DBpedia il koordinatları veri seti arasında kurulacak bağlantı kuralları şekil 12’deki gibi tanımlanmıştır. Sayı tabanlı Numeric Similarity benzerlik algoritması ile bağlantılar kurulmuştur. Numeric Similarity karşılaştırma operatörü, veri setlerindeki rakamsal benzerlikleri hesaplayarak bağlantıları bulur. Bulunan bağlantı sonuçlarının bir kısmı şekil 13’de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere bağlantı sonuçları çoğunlukla %90 üzeri doğrulukla bulunmuştur. Bunun sebebi kaynak veri setindeki illerin istasyon koordinatlarının DBpedia meteorolojik istasyon koordinatları yerine il koordinatları ile karşılaştırılmasıdır.

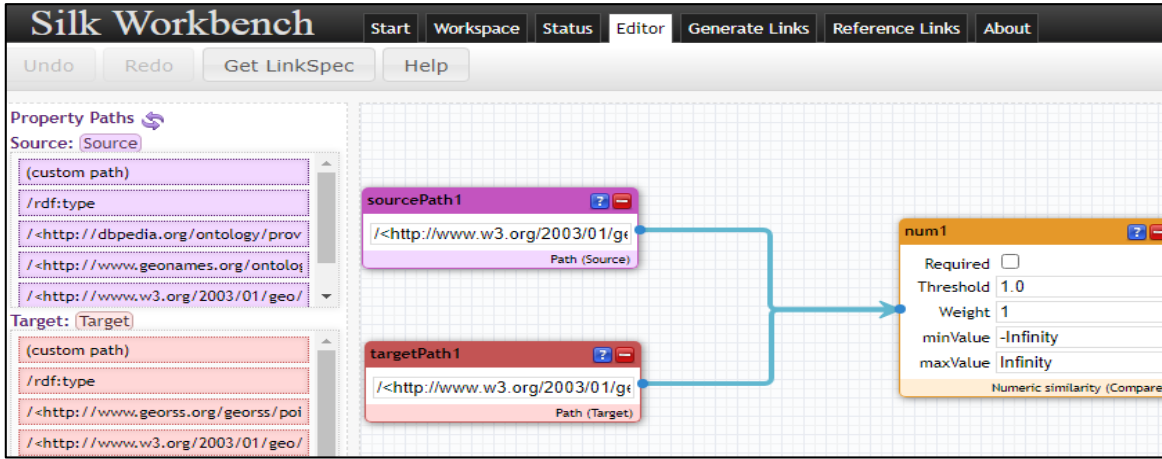
Uygulama kapsamında kaynak veri seti ile hedef veri seti arasındaki bağlantılar “owl: same as” ilişkisi ile kurulmuştur.



Şekil 10. İstasyon isimleri ve DBpedia illeri arasında bağlantı kurallarının tanımlanması

Source	Target	Score
http://www.co-ode.org/ontologies/ont.owl#Tokat	http://www.geonames.org/ontology#name	100,0%
http://www.co-ode.org/ontologies/ont.owl#Bolu	http://www.geonames.org/ontology#name	100,0%
http://www.co-ode.org/ontologies/ont.owl#Artvin	http://www.geonames.org/ontology#name	100,0%
http://www.co-ode.org/ontologies/ont.owl#Amasya	http://www.geonames.org/ontology#name	100,0%

Şekil 11. İstasyon isimleri ve DBpedia illeri arasında kurulan bağlantı sonuçları



Şekil 12. İstasyon koordinatları ve DBpedia il koordinatları arasında bağlantı kurallarının tanımlanması

Source: Source	Target: Target	Score
http://www.co-ode.org/ontologies/ont.owl#Trabzon_Bolge	http://tr.dbpedia.org/resource/Trabzon_Havalimani	99,7%
Comparison: num (num1) 99,7% Input: <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#lat> (sourcePath1) 40.9985 Input: <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#lat> (targetPath1) 40.995834		
http://www.co-ode.org/ontologies/ont.owl#Trabzon_Bolge	http://tr.dbpedia.org/resource/Karadeniz_Teknik_Üniversitesi	99,4%
Comparison: num (num1) 99,4% Input: <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#lat> (sourcePath1) 40.9985 Input: <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#lat> (targetPath1) 40.992428		
http://www.co-ode.org/ontologies/ont.owl#Sinop	http://tr.dbpedia.org/resource/Sinop_Havalimani	98,6%
Comparison: num (num1) 98,6% Input: <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#lat> (sourcePath1) 42.0299 Input: <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#lat> (targetPath1) 42.015835		
http://www.co-ode.org/ontologies/ont.owl#Amasya	http://tr.dbpedia.org/resource/Amasya	98,3%
Comparison: num (num1) 98,3% Input: <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#lat> (sourcePath1) 40.6668 Input: <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#lat> (targetPath1) 40.65		
http://www.co-ode.org/ontologies/ont.owl#Samsun_Bolge	http://tr.dbpedia.org/resource/Samsun_Saat_Kulesi	95,1%
Comparison: num (num1) 95,1% Input: <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#lat> (sourcePath1) 41.344166 Input: <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#lat> (targetPath1) 41.294724		
http://www.co-ode.org/ontologies/ont.owl#Kastamonu	http://tr.dbpedia.org/resource/Kastamonu_Üniversitesi	94,7%
Comparison: num (num1) 94,7% Input: <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#lat> (sourcePath1) 41.371 Input: <http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#lat> (targetPath1) 41.424168		

Şekil 13. İstasyon koordinatları ve DBpedia il koordinatları arasında kurulan bağlantı sonuçları.

3. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada meteorolojik verilerin bilgisayarların/yazılımların anlayacağı biçimde anlamlandırılması, herkesin erişebileceği şekilde paylaşımına açılıp farklı veri setleri ile entegre edilerek zenginleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada Karadeniz Bölgesine ait meteorolojik verilerin bir kısmının semantik olarak tanımlanması ve Bağlantılı Veriye dönüştürülmesi gerçekleştirilmiştir. Dönüşüm işleminde Web'de mevcut Sweet, Geonames, DBpedia WGS84 Geo Positioning ve W3C zaman ontolojileri kullanılmıştır.

Meteorolojik istasyon ve gözlem verileri ilgili ontolojilerle referanslandırılarak Bağlantılı Veri için gerekli olan RDF verisi üretilmiştir. Üretilen meteorolojik RDF verisi ile açık Bağlantılı Veri kaynağı olan DBpedia veri seti arasındaki bağlantılar Silk bağlantı editörü'nde otomatik olarak bulunmuştur. Böylece meteorolojik veriler global DBpedia Web kaynağı ile zenginleştirilmiştir. Bulunan bağlantı sonuçları bu iki ayrı veri seti arasındaki benzerliğin yüksek olduğunu göstermektedir.

Çalışmada kullanılan veri setindeki kavramların Türkçe karakterler içermesi bağlantı kurma aşamasında problem oluşturmuştur. Problemi gidermek için veri seti Türkçe karakterlerden ayıklandıktan sonra kullanılmıştır. Ayrıca, Karma ile üretilen RDF veri modelinde istasyon ve gözlem veri setindeki özniteliklerin RDF 'data property' özelliklerine dönüştürülmesi gerekirken, bir kısmının RDF 'annotation property' özelliklerine dönüştüğü, bir kısmının ise hiçbir RDF özelliğine dönüşmediği görülmüştür. Bu nedenle çalışmada üretilen RDF verisi Protege ontoloji editörü ile düzenlenip eksikleri tamamlandıktan sonra kullanılmıştır. Türkçe karakterleri tanıyan bağlantı kurma yazılımlarının geliştirilmesi gereklidir.

Gelecek çalışmalarımızda meteorolojik verilerin tamamının Bağlantılı Açık Veriye dönüştürülmesi, yayınlanması, harita üzerinde görselleştirilmesi ve Geonames, GeoWordnet gibi farklı Web kaynakları ile bağlanması gerçekleştirilecektir. Ayrıca, aynı verilerle farklı bağlantı kurma araçları kullanılarak yazılımların bağlantı kurma performansı test edilecektir.

Teşekkür

Çalışma kapsamında kullanılan meteorolojik veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün izni ile kullanılmıştır. Meteorolojik verileri sağlayan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Atemezing, G., Corcho, O., Garijo, D., Mora, J., Villalón, P., M., Rozas, P., Suero, V.D., & Terrazas, V.B. (2011). Transforming meteorological data into linked data. *Semantic Web journal*, 1(2011), 1-5.
- BioPortal. (2021, Ocak 21). Semantic Web for Earth and Environment Technology Ontology. Retrieved from <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/SWEET>.
- Bischof, S., Harth, A., Kämpgen, B., Polleres, A. & Schneider, P. (2018). Enriching integrated statistical open city data by combining equational knowledge and missing value imputation, *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 48, 22-47, <https://doi.org/10.1016/j.Websem.2017.09.003>.
- Consolia, S., Presuttia, V., Recuperoa, R.D., Nuzzolesea, G.A., Peronia, S., Mongioli, M., Gangemi, A. (2017). Producing Linked Data for Smart Cities: The Case of Catania, *Big Data Research*, 7, 1-15.
- DBpedia. (2021, Ocak 21). Retrieved from <https://dbpedia.org/ontology/>.
- DBpedia Mappings Wiki (2021, Ocak 21). Retrieved from http://mappings.dbpedia.org/index.php/Main_Page.
- Debruyne, C., Clinton, É., McNeerney, L., Nautiyal, A. & O'Sullivan, D. (2016). Serving Ireland's Geospatial Information as Linked Data, *International Semantic Web Conference 2016*, October 17-21, Kobe, Japan.
- Geo. (2021, Ocak 21). Retrieved from <https://www.w3.org/2003/01/geo/>.
- GeoNames. (2021, Ocak 21). Retrieved from <https://www.geonames.org/>.
- GeoNames Ontology. (2021, Ocak 21). Retrieved from <http://www.geonames.org/ontology>.
- Hamdi, F., Abadie, N., Bucher, B., & Feliachi, A. (2015). GeomRDF: A geodata converter with a fine-grained structured representation of geometry in the Web. *arXiv preprint*, arXiv:1503.04864.
- Hietanen, E., Lehto, L., Latvala, P. (2016). Providing Geographic Datasets As Linked Data In SDI, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B2, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Prague, Czech Republic.
- Iwaniak, A., Leszczuk, M., Strzelecki, M., Harvey, F., & Kaczmarek, I. (2017). A novel approach for publishing linked open geodata from national registries with the use of semantically annotated context dependent web pages. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(8), 252. doi:10.3390/ijgi6080252.
- Kara, G., Yılmaz, C., Ulutaş Karakol, D., Akyazı, İ. & Cömert, Ç. (2018). Bağlantılı Verilerin Yayınlanması ve Görselleştirilmesi, *VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (Uzal-CBS 2018)*, 18-21 Eylül 2018, Eskişehir.
- Kara, G., Akyazı, İ., Cömert, Ç. (2020). Konumsal Verilerin Bağlantılı Veri Olarak Yayınlanması: Trabzon Örneği. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 36(2), 228-237.
- Karma. (2021, Ocak 21). A Data Integration Tool. Retrieved from <https://usc-isi-i2.github.io/karma/>.
- Koho, M. K., Heino, E., Ikkala, E., Hyvönen, E. A., Nikkilä, R., Miettinen, K., & Suominen, P. (2018). Integrating prisoners of war dataset into the warsampo linked data infrastructure. In *Proceedings of the Digital Humanities in the Nordic Countries 3rd Conference (DHN 2018)*. CEUR Workshop Proceedings. 241-249.

- Kyzirakos, K., Vlachopoulos, I., Savva, D., Manegold, S. & Koubarakis, M. (2014). GeoTriples: a Tool for Publishing Geospatial Data as RDF Graphs Using R2RML Mappings, *International Semantic Web Conference (Posters & Demos)* (pp. 393-396).
- Margan, B., Hakimpour, F., & Saber, M. (2018, April). Linked data geo-statistical analysis of air pollution in urban areas. In 2018 4th International Conference on Web Research (ICWR) (pp. 86-91). IEEE.
- OpenRefine. (2021, Ocak 21). Retrieved from <https://openrefine.org/>.
- Patroumpas, K., Alexakis, M., Giannopoulos, G., & Athanasiou, S. (2014, March). TripleGeo: an ETL Tool for Transforming Geospatial Data into RDF Triples. In *Edbt/Icdt Workshops* (pp. 275-278).
- Qiu, L., Du, Z., Zhu, Q. & Fan, Y. (2017). An integrated flood management system based on linking environmental models and disaster-related data, *Environmental Modelling & Software*, 91, 111-126.
- Saavedra, J., Vilches-Blázquez, L.M. & Boada, A. (2014). Cadastral data integration through Linked Data, *Proceedings of the AGILE 2014 International Conference on Geographic Information Science*, Castellón.
- Schabus, S., & Scholz, J. (2017). Spatially-Linked Manufacturing Data to Support Data Analysis, *GI_Forum 2017*, 1, 126 – 140, DOI: 10.1553/giscience2017_01_s126.
- Szekely, P., Knoblock, A., C., Yang, F., Zhu, X., Fink, E., E., Allen, R. & Goodlander, G. (2013), Connecting the Smithsonian American Art Museum to the Linked Data Cloud, *P. Cimiano et al. (Eds.): ESWC 2013*, LNCS 7882, pp. 593-607, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- The LOD cloud. (2021, Ocak 21). Retrieved from <https://lod-cloud.net/#about>.
- Berners-Lee, Tim. (2021, Ocak 21). Linked Data, Retrieved from, <https://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html>.
- Time. (2021, Ocak 21). Retrieved from <https://raw.githubusercontent.com/w3c/sdw/gh-pages/time/rdf/time.ttl>
- Time Ontology in OWL (2021, Ocak 21). Retrieved from <https://www.w3.org/TR/owl-time/>
- Ulutaş Karakol, D., Kara, G., Yılmaz, C. & Cömert, Ç. (2018). Semantic Linking Spatial RDF Data to the Web Data Sources. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-4, 2018 ISPRS TC IV Mid-term Symposium “3D Spatial Information Science-The Engine of Change”, 1-5 October 2018, Delft, The Netherlands.
- Volz, J., Bizer, C., Gaedke, M., & Kobilarov, G. (2009, January). Silk-a link discovery framework for the web of data. In *Ldow. LDOW 2009*, April 20, Madrid, Spain.
- Wetz, P., Stern, H., Jakobitsch, J. & Pammer, V. (2012). Matching Linked Open Data Entities to Local Thesaurus Concepts, *Proceedings of the I-SEMANTICS 2012 Posters & Demonstrations Track*, pp. 6-11.
- Zhua, Y., Zhu, A., Song, J., Yang, J., Feng, M., Sun, K., Zhang, J., Hou, Z. & Zhao, H. (2017). Multidimensional and quantitative interlinking approach for Linked Geospatial Data, *International Journal Of Digital Earth*, 10(9), pp. 923-943, <http://dx.doi.org/10.1080/17538947.2016.1266041>.