

**Makale
(Article)**

Web Merkator Projeksiyonu

İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ¹, Osman Sami KIRTILOĞLU¹

¹Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü, 42250 Selçuklu/Konya/TÜRKİYE
bildirici@selcuk.edu.tr

Öz

Web kavramının ortaya çıktığı zamandan itibaren, web haritaları, günümüze dek büyük bir evrim geçirmiş ve başlangıçta statik harita görüntüleri olarak sunulmaktayken, günümüzde artık gelişmiş web harita uygulamalarına erişmek mümkün olmaktadır. Web tabanlı harita uygulamalarında genellikle Web Merkator olarak isimlendirilen projeksiyon sistemi kullanılmaktadır. İlk olarak 2005 yılında Google tarafından kullanılmasıyla tanınmaya başlayan Web Merkator projeksiyonu, internet tabanlı harita hizmeti sunan, Google Maps, Bing Maps, OpenStreetMap, MapQuest, ESRI, Mapbox gibi, neredeyse tüm yaygın web haritalama servisleri için bir standart haline gelmiştir. Web Merkator, Merkator projeksiyonunun değiştirilmiş bir şekli olup, web ortamında oldukça fazla kullanım alanına sahip olmasına rağmen, projeksiyonun sahip olduğu özellikler çok fazla tanınmamaktadır. Teknolojide yaşanan gelişmelere paralel olarak, akıllı telefonlar, tablet bilgisayarlar ve hatta akıllı televizyonlar gibi cihazlarla, internetin her an her yerde ulaşılabilir olması, web tabanlı harita uygulamalarına olan ilgiyi arttırmış, bu gibi uygulamaları bulut teknolojileriyle insanların konuma dayalı tüm işlemlerini gerçekleştirdiği bir ekosistem haline getirmiştir. Bu bağlamda, kullanılan projeksiyon sisteminin özelliklerinin ortaya konması, bu servislerin kullanıcıları açısından önemlidir. Merkator projeksiyonundan türetildiği halde, genel kanının aksine bu projeksiyon tam olarak açı koruma (konform) özelliğine sahip değildir. Bu çalışmada projeksiyonun referans yüzeyi, projeksiyondan kaynaklanan deformasyonlar ve haritalanabilir alanının kapsamı ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Harita Projeksiyonu, Merkator Projeksiyonu, WGS84, Web, Mashup

The Web Mercator Projection

Abstract

Since the emergence of the web, web maps have undergone a major evolution until today which initially only been available as static map images. Today it is possible to have access to advanced web mapping applications. Generally in web based map applications the Web Mercator projection is used. After Google was used first time in 2005 with its mapping service, the web Mercator projection has become a standard for almost all major web-based mapping services such as Google Maps, Bing Maps, OpenStreetMap, MapQuest, ESRI, Mapbox and so on. Web Mercator is a modified form of the Mercator projection and despite having a lot of usage area on web environment, features of this projection is not known too much. In last two decades the Internet has become accessible ubiquitously by advanced devices such as smart phones, tablets and even smart TVs and these developments have increased the demand for web based mapping applications. People now perform almost all location-based operations by using these applications in cloud based web mapping ecosystem. In this context, to reveal the characteristics of the projection is important to its users. Contrary to general opinion, the web Mercator projection is not exactly conformal even though it is derived from the Mercator projection. In this paper, the reference surface of the projection, map projection distortions and the mapable area of the World by using this projection have been discussed.

Keywords: Map Projection, Mercator projection, WGS84, Web, Mashup

1. GİRİŞ

Çevrimiçi etkileşimli haritalar son yıllarda mekânsal veri ile bilgi iletişimde önemli bir araç haline gelmiştir [1]. Çevrimiçi harita kavramı, web üzerinden çevrimiçi olarak erişilebilen haritaları temsil etmektedir. WWW (World Wide Web ya da kısaca Web) teknolojisinin 1989 yılında ortaya çıkışından itibaren [2], haritalama alanında gerçekleştirilen çalışmalar kısa sürede web ortamında adapte olmuştur. Hemen ardından 1993 yılında ilk statik harita sunucularından biri olan Xerox PARC Map Viewer ortaya çıkmıştır [3]. Web haritaları ortaya çıkışının ardından kartografya alanında yeni bir eğilim haline gelmiştir [4]. Kısa bir süre öncesine kadar haritacılık faaliyetleri maliyetli ve karmaşık yazılım ve donanım ile deneyimli kartograf gereksinimleriyle, kurumsal olanaklarla sınırlıyken, web haritalama kavramının ortaya çıkışı ile birçok yeni teknoloji ve çevrimiçi olarak dağıtılan veri de gündeme gelerek bu sınırı bulanıklaştırmıştır. Web üzerinde kullanıcıların erişebileceği kitle-kaynaklı veri sağlayan OSM (OpenStreetMap) ya da Google ve Microsoft gibi ticari şirketler tarafından sağlanan mekânsal veriye ulaşmak mümkündür. Bunun yanında bu veriler kullanılarak web haritalarının oluşturulabileceği birçok ücretsiz yazılım da ticari eşdeğerlerinin yanında yerini almıştır. Sonuç olarak web üzerinde harita üretmek ve yayınlamak günümüzde oldukça kolaylaşmıştır.

Merkator projeksiyonu silindirik, açı koruyan bir projeksiyondur ve diğer silindirik projeksiyonlar gibi, özellikle oluşturulan haritanın kuzey ve güney sınırlarında (normal konumda), projeksiyondan kaynaklanan deformasyonların sonsuza yaklaşması sebebiyle, genel kullanım için, özellikle de Dünya'nın tamamının haritalanması için uygun değildir [5]. Buna rağmen birçok çevrimiçi haritalama sisteminde Merkator projeksiyonunun değiştirilmiş bir şekli olan Web Merkator projeksiyonu yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle 2005 yılında Google, kullanıcılarına mekânsal sorgulamalar oluşturabilecekleri harita tabanlı hizmeti Google Maps uygulamasını sunduğunda tanınmaya başlayan projeksiyon, daha sonra diğer harita sağlayıcıları (Yahoo, Microsoft vb.) tarafından da kullanılmaya başlanmış ve neredeyse tüm çevrimiçi harita sistemleri için bir standart haline gelmiştir. Çok tanınan çevrimiçi harita sağlayıcılarının, kullanıcıları için haritaları özelleştirebilme ve kendi oluşturacakları web sayfaları ya da web sitelerine ekleyebilme yeteneği sunan API (Application Programming Interface) ara yüzleri sayesinde, çevrimiçi harita üretimi oldukça kolaylaşmış ve buna paralel olarak da Web Merkator projeksiyonunda üretilen haritaların sayısı artmıştır. Bu nedenle kullanılan projeksiyonun özellikleri ve projeksiyondan kaynaklanan deformasyon özelliklerinin bilinmesinde yarar vardır.

Bu çalışmada Web Merkator projeksiyonu detaylıca ele alınmıştır. 2. bölümde harita projeksiyonunun tanımı yapılarak düzleme izdüşüm problemi ve deformasyonlar anlatılmaya çalışılmıştır. Ayrıca Merkator ve Web Merkator projeksiyonları, projeksiyon özellikleri, projeksiyon eşitlikleri, haritalanabilir alan sınırları ve bu iki projeksiyonun birbirinden farkları ele alınmaktadır. 3. bölümde Web Merkator projeksiyonunun alan ve uzunluk deformasyonu değerleri sayısal ve görsel olarak analiz edilmeye çalışılmıştır. Sonuç bölümünde Web Merkator projeksiyonunun uygun olmamasına karşın neden çevrimiçi harita servisleri tarafından tercih edildiği, projeksiyonun kullanımının sunduğu avantajlar ve dezavantajlar ortaya konmaya çalışılmıştır.

2. HARİTA PROJEKSİYONU

Harita projeksiyonları matematiksel kartografyanın temel uğraş alanıdır. Bir haritanın oluşturulabilmesi için gerekli matematiksel bağıntıların oluşturulması temel amaçtır. Bilindiği üzere yeryüzü, doğal şekli ile karmaşık bir yapıya sahiptir ve bir düzlem üzerine aktarılabilmesi için referans yüzeyi olarak kendi şekline en yakın dönel elipsoit (ya da küre) kullanılır. Ancak ne dönel elipsoit ne de küre geometrik olarak düzleme açılmamaktadır [6].

Harita projeksiyonları referans yüzeyi üzerindeki bir noktayı harita düzlemine aktaran iki fonksiyonla ifade edilmektedir:

$$\begin{aligned}x &= x(\varphi, \lambda) \\y &= y(\varphi, \lambda)\end{aligned}\quad (1)$$

Yukarıdaki fonksiyonlarda φ, λ coğrafi koordinatları (enlem, boylam) x, y düzlem dik koordinatları ifade etmektedir. Bu çalışmada x sağa, y ise yukarı değerleri temsil etmektedir. (1) eşitliği referans yüzeyinden düzleme ilişkisi tanımlamakta olup, düz dönüşüm (forward transformation) olarak da adlandırılır. Harita projeksiyon uygulamalarında harita düzlemindeki bir noktanın referans yüzeyindeki konumunun bulunması da gerekebilmektedir. Bu durumda (1) eşitliğinin tersi olan iki fonksiyon gerekir ki bu da ters dönüşüm (inverse transformation) olarak adlandırılır.

$$\begin{aligned}\varphi &= \varphi(x, y) \\ \lambda &= \lambda(x, y)\end{aligned}\quad (2)$$

Harita projeksiyonları kapalı bir yüzeyin düzleme açılmasını sağladıklarından, referans yüzeyindeki şekillerde değişimlere yol açar. Bu değişimler alan, açı ve uzunluk deformasyonları olarak adlandırılırlar.

Bir nokta etrafında oluşan deformasyonların karakterini ve büyüklüğünü belirlemek için nokta etrafında tanımlanan sonsuz küçük ds yarıçaplı bir dairenin izdüşümü ds' ele alınır. Buradaki uzunluklar diferansiyel büyüklüklerdir. Nokta etrafında projeksiyon nedeniyle oluşan uzunluk değişimi “uzunluk deformasyonu” ya da “diferansiyel ölçek” olarak da adlandırılır. Bu oranı Gauss’un birinci temel formu ile ifade etmek mümkündür:

$$m^2 = \frac{ds'^2}{ds^2} = \frac{ed\varphi^2 + 2fd\varphi d\lambda + gd\lambda^2}{Ed\varphi^2 + Gd\lambda^2}\quad (3)$$

Coğrafi ağ ortogonal parametre sistemi olduğundan referans yüzeyinde $f=0$ olur. Küre yüzeyinde birinci temel form aşağıdaki gibidir:

$$ds^2 = R^2 d\varphi^2 + R^2 \cos^2 \varphi d\lambda^2\quad (4)$$

Elipsoit yüzeyinde:

$$ds^2 = M^2 d\varphi^2 + N^2 \cos^2 \varphi d\lambda^2\quad (5)$$

Elipsoit yüzeyi parametreleri Ek. A’da yer almaktadır. Projeksiyon düzleminde coğrafi koordinatlar parametre alınarak Gauss birinci derece büyüklükleri,

$$\begin{aligned}e &= \left(\frac{\partial x}{\partial \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \varphi}\right)^2 \\ f &= \frac{\partial x}{\partial \varphi} \frac{\partial x}{\partial \lambda} + \frac{\partial y}{\partial \varphi} \frac{\partial y}{\partial \lambda} \\ g &= \left(\frac{\partial x}{\partial \lambda}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \lambda}\right)^2\end{aligned}\quad (6)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Projeksiyon düzleminde coğrafi ağ ortogonal değil ise, diğer bir deyişle, meridyenler ve paraleller dik kesilmiyorsa, $f \neq 0$ olur. Normal konumlu silindirik, azimutal ve konik projeksiyonlarda coğrafi ağ

ortogonal olarak izdüştüğünden $f = 0$ olur. Tissot'a göre bir nokta etrafında oluşan uzunluk deformasyonlarının en büyük ve en küçük olduğu doğrultular birbirine hem referans yüzeyinde hem de projeksiyon düzleminde diktir. Bu doğrultular ana deformasyon yönleri olarak adlandırılırlar [7]. Ortogonal coğrafi ağa sahip projeksiyonlarda bu doğrultular meridyen ve paraleller doğrultusundadır. Parametre eğrileri boyuca uzunluk deformasyonları h meridyen, k paraleller yönündeki uzunluk deformasyonlarını göstermek üzere,

$$h = \sqrt{\frac{e}{E}} = \frac{1}{R} \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \varphi}\right)^2}$$

$$k = \sqrt{\frac{g}{G}} = \frac{1}{R \cos \varphi} \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial \lambda}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \lambda}\right)^2}$$
(7)

şeklinde. Meridyen ve paralel doğrultuları bu tür projeksiyonlar için en büyük ve en küçük deformasyon doğrultularıdır. m_1 en büyük, m_2 en küçük deformasyon doğrultusunu göstermek üzere $h > k$ ise $m_1 = h, m_2 = k$, $h < k$ ise $m_1 = k, m_2 = h$ olur. Referans yüzeyinde sonsuz küçük yarıçaplı bir dairenin izdüşümü, her yönde farklı uzunluk deformasyonları olduğundan, projeksiyon düzleminde elips biçimindedir. Bu elips, Tissot endikatrasi ya da deformasyon elipsi olarak adlandırılır. Ortogonal olmayan coğrafi ağa sahip projeksiyonlarda ise ana deformasyon doğrultuları meridyen ve paraleller yönünde değildir.

Projeksiyon deformasyonları sınıflandırırken kullanılan kavramlar bazen yanlış anlaşılmalara neden olabilmektedir. Her yönde uzunluk koruma mümkün olmadığından (her yönde uzunluk korunursa açı ve alan deformasyonu da oluşmaz!) bu ifade ile genel olarak meridyen uzunluğunun korunması anlaşılır. Konik ve silindirik projeksiyonlarda ise projeksiyonun deformasyon özelliğinden bağımsız olarak uzunluğu korunan eğriler vardır. Normal konumlu uygulamalarda bunlar bir ya da iki paralel daire olup standart paralel olarak adlandırılır. Bir ya da iki standart paralel uygulamaları literatürde kesen ve teğet koni/silindir olarak da tanımlanır. Ancak teğet ya da kesen olma durumu her zaman geometrik olarak tanımlı olmadığından standart paralel kavramı daha doğru bir yaklaşımdır.

Açı koruma kavramı da çoğu kez yanlış anlaşılmaktadır. Burada bir nokta etrafında tanımlanan sonsuz küçük kenarlar arasındaki açılar, değişime uğramadan projeksiyon düzlemine aktarılması söz konusudur. Zaman zaman kullanılan “açı koruma” ifadesinin, “diferansiyel anlamda” olması kavramından, anlaşılması gereken budur. Diferansiyel anlamda olan açı değil açığı oluşturan kenarlardır.

Açı koruma konform olma olarak da ifade edilir. Bir projeksiyonun açı koruması için bir nokta etrafında oluşan uzunluk deformasyonunun yöne bağlı olmaması ya da diğer bir deyişle her yönde aynı olmasıdır. Bunun anlamı (3) eşitliği ile tanımlanan m değerinin noktadan noktaya değişmesi ancak bir nokta etrafında değişmemesidir. Bu nedenle Tissot endikatrasi daireye dönüşür.

Maksimum ve minimum deformasyon değerlerine bağlı olarak doğrultu, açı ve alan deformasyonu aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sin \omega = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$$

$$w = 2\omega$$

$$p = m_1 m_2$$
(8)

2.1. Merkator Projeksiyonu

Normal konumlu silindirik konform bir projeksiyon olup, 1569 yılında Flaman kartograf Gerardus Merkator tarafından sunulmuştur [5]. Loksodrom eğrilerinin doğru parçaları ile gösterilmesinden dolayı navigasyon amaçlı olarak özellikle denizcilikte yaygın bir kullanımı vardır. Kutuplara doğru hızla büyüyen alan deformasyonu nedeniyle kartografik açıdan uygun özelliklere sahip olmamasına karşın navigasyon amaçlı olmayan çalışmalarda da yaygın olarak kullanılmıştır ve günümüzde İnternet harita hizmetlerinin projeksiyonu olarak (Web Merkator) kullanılmaya devam etmektedir. Projeksiyonun başka bir kısıtlaması kutupların matematiksel olarak sonsuza gitmesidir. Bu nedenle haritalanabilir alan kutupları kapsamaz. Aşırı alan deformasyonu nedeniyle genellikle $\pm 85^\circ$ enlemleri arasındaki bölge gösterilir. Referans yüzeyi küre alınması halinde projeksiyon eşitlikleri ve deformasyon değerleri aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} x &= R\lambda \\ y &= R \ln \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} h &= k = m = \frac{1}{\cos\varphi} \\ p &= m^2 \end{aligned} \quad (10)$$

Normal konumlu olarak referans yüzeyi elipsoit alınırsa,

$$\begin{aligned} x &= a\lambda \\ y &= a \ln \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \left(\frac{1 - e \sin\varphi}{1 + e \sin\varphi}\right)^{\frac{e}{2}} \end{aligned} \quad (10)$$

eşitlikleri kullanılır. Deformasyon değerleri:

$$\begin{aligned} h &= k = m = \frac{a}{N \cos\varphi} \\ p &= m^2 \end{aligned} \quad (11)$$

Transversal konumda jeodezik amaçlı projeksiyon olarak kullanımı da çok yaygındır. Bir meridyen boyunca elipsoide teğet bir silindire izdüşüm yapılır. Burada tabanı elips olan bir silindir yüzeyi söz konusudur. Projeksiyon eşitliklerine, eliptik integral ortaya çıkması nedeniyle seri açılımları ile ulaşılır. Jeodezik amaçlı kullanımda seçilen teğet meridyenden uzaklaştıkça artan uzunluk ve alan deformasyonları nedeniyle teğet meridyenin yakın çevresi ile sınırlı kullanılır. Bu şekilde tanımlanan bölgelere “*dilim*” denmektedir. Teğet meridyen ise orta meridyen olarak adlandırılır.

Yukarıda verilen projeksiyon eşitlikleri bir standart paralelli (ekvatorndan teğet silindir kabulü) eşitliklerdir. Projeksiyon gerek elipsoit, gerekse küre kabulü ile iki standart paralelli olarak da uygulanabilir. Bu durumda kuzeye doğru artan alan deformasyonu azaltılabilir. Ancak bu durumda iki standart paralel arasındaki bölgede alanlarda küçülme olur.

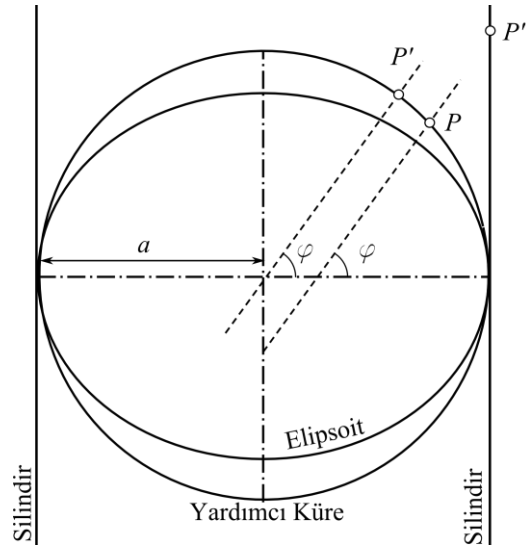
2.2. Web Mercator Projeksiyonu

Google, Yandex, Bing (Microsoft) ve OSM gibi harita hizmeti sunan sistemler harita projeksiyonu olarak Web Mercator projeksiyonunu kullanmaktadır. Bu sistemde referans yüzeyi WGS84 elipsoididir. Burada hesaplamaları hızlandırmak için elipsoidal eşitliklerdeki (10) dış merkezlik parametresini içeren terim ihmal edilmiştir. Bu şekilde yarıçapı elipsoid yarıçapına eşit bir yardımcı küre üzerinden elipsoidal enlem küresel enleme eşit alınarak projeksiyon yapılmaktadır (Şekil 1). Aitchison [8] bu durumu şu şekilde yorumlamaktadır:

“Birçok çevrimiçi haritalama sistemi (Google Maps, Bing Maps, ArcGIS Online vb.) tarafından kullanılan Web Mercator projeksiyonu, coğrafi koordinatları WGS84 datumu kullanarak tanımlamaktadır, ancak bu koordinatları bir küre üzerinde tanımlanmış gibi izdüşürmektedir”.

Bu nedenlerden dolayı projeksiyon bazı uluslararası kaynaklarda “*Spherical Mercator*” [9], “*WGS84 Web Mercator*” ve “*Pseudo Mercator*” olarak da isimlendirilmektedir.

Burada elipsoidten küreye, küreden düzleme yapılan iki aşamalı bir projeksiyon söz konusudur. Elipsoidal enlemin küresel enleme eşit alınması sonucu elipsoidin düzleme izdüşümü konform olma özelliğini kaybetmektedir.



Şekil 1. Web Mercator Projeksiyonunda bir noktanın meridyen düzlemi

Projeksiyon ve deformasyon eşitlikleri:

$$x = a\lambda$$

$$y = a \ln \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (12)$$

$$h = \frac{1}{M} \frac{dy}{d\varphi} = \frac{a}{M \cos\varphi} \quad (13)$$

$$k = \frac{1}{N \cos\varphi} \frac{dx}{d\lambda} = \frac{a}{N \cos\varphi}$$

(13) eşitliklerinden de $h \neq k$ olduğu görülmektedir, dolayısı ile projeksiyon konform/açı koruyan değildir. Ancak bu özelliği sağlamamasına rağmen açı korumadan uzaklaşması görsel olarak fark edilir düzeyde değildir. Başka bir deyişle projeksiyon görsel olarak Merkator projeksiyonuna çok yakındır.

(13) ve (14) eşitlikleri Web Merkator projeksiyonunun metrik ifadeleridir. Ancak projeksiyon bilgisayar grafiği gereksinimlerine göre uygulanmaktadır. İnternet harita servislerinde 0-20 arası zoom düzeyi (zoom level) kullanılır. Harita verisi istenilen zoom düzeyine göre 256x256 piksel boyutlu önceden hazırlanmış resim dosyaları halinde sunucudan istemciye aktarılmaktadır. Burada bir mozaikleme sistemi (tiling) söz konusudur. Bu sistemin 0 düzeyi en küçük ölçekte dünya haritasına karşılık gelir. Bu haritanın kullanılan mozaikleme mantığı gereği 256x256 piksel boyutlu kare biçiminde olması gerekir. Buna göre karenin düşey yöndeki kenarı ekvator çevresine eşitlenerek haritalanabilir alanın en büyük enlem değeri bulunabilir.

$$\ln \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_{\max}}{2}\right) = \pi \quad (14)$$

$$\varphi_{\max} = 2 \arctan e^{\pi} - \frac{\pi}{2} = 85.05129^{\circ}$$

Kullanılan düzlem koordinat sisteminin birimi piksel olup, sistem 0 düzeyindeki harita karesinin sol üst köşesine ötelenmiştir. Projeksiyon eşitlikleri (n zoom düzeyini göstermektedir):

$$x = \frac{128}{\pi} 2^n (\lambda + \pi)$$

$$y = \frac{128}{\pi} 2^n \left(\pi - \ln \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \right) \quad (15)$$

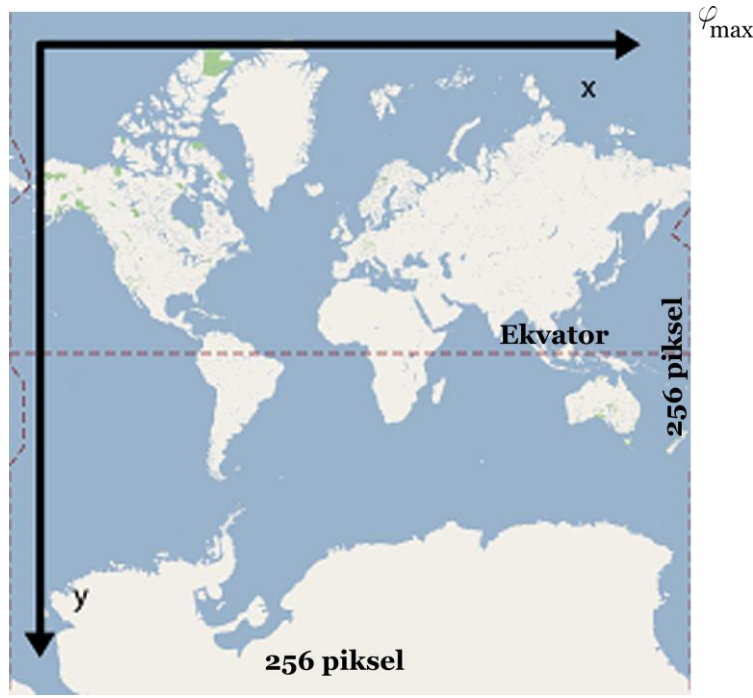
(15) eşitlikleri ile bir noktanın Şekil 2'de görülen koordinat sisteminde piksel biriminde koordinatları elde edilir. Bir pikselin metrik karşılığı ise zoom düzeyine (n) bağlı olarak bulunabilir.

$$1 \text{ pixel} = \frac{\pi a}{2^{n+7}} \text{ meters} \quad (16)$$

Buna göre 0 zoom düzeyinde bir piksel 156km, 18 zoom düzeyinde 0.6m uzunluğa karşılık gelir. Bir pikselin karşılık geldiği fiziksel büyüklük kullanılan görüntüleme aygıtına ve bu aygıtta kullanılan ekran çözünürlüğüne bağlıdır. Bir piksel 0.3 mm kabul edilirse 18 zoom düzeyinde tam ekran görüntülenen harita ölçeğinin 1:2000 olduğu görülür.

3. SAYISAL ve GÖRSEL ANALİZ

Web Merkator projeksiyonun deformasyon özellikleri belirli enlem aralıkları ile hesaplanan deformasyon değerleri ile incelenebilir. (11) bağıntılarından da görüleceği üzere $h > k$ olduğundan en büyük uzunluk deformasyonu meridyenler yönünde en küçük uzunluk deformasyonu ise paraleller yönünde oluşur ($m_1 = h, m_2 = k$). Çizelge 1'de uzunluk, alan ve açı deformasyonları görülmektedir. Burada açı deformasyonunun derece dakikası düzeyinde kaldığı, ekvatorun kutuplara doğru azaldığı, alan deformasyonunun ise kutuplara doğru hızla arttığı görülmektedir. Bu durum hem Merkator hem de Web Merkator projeksiyonlarının 60° güney ve kuzey enlemleri dışındaki bölgelerde kullanımlarının uygun olmadığını göstermektedir. Buna rağmen silindirik projeksiyonların bilgisayar grafiği açısından kullanışlı olmaları (coğrafi ağın düzlem dik koordinatlara çakışık olması) bu projeksiyonun yaygınlaşmasını sağlamıştır.



Şekil 2. Web Mercator koordinat sistemi

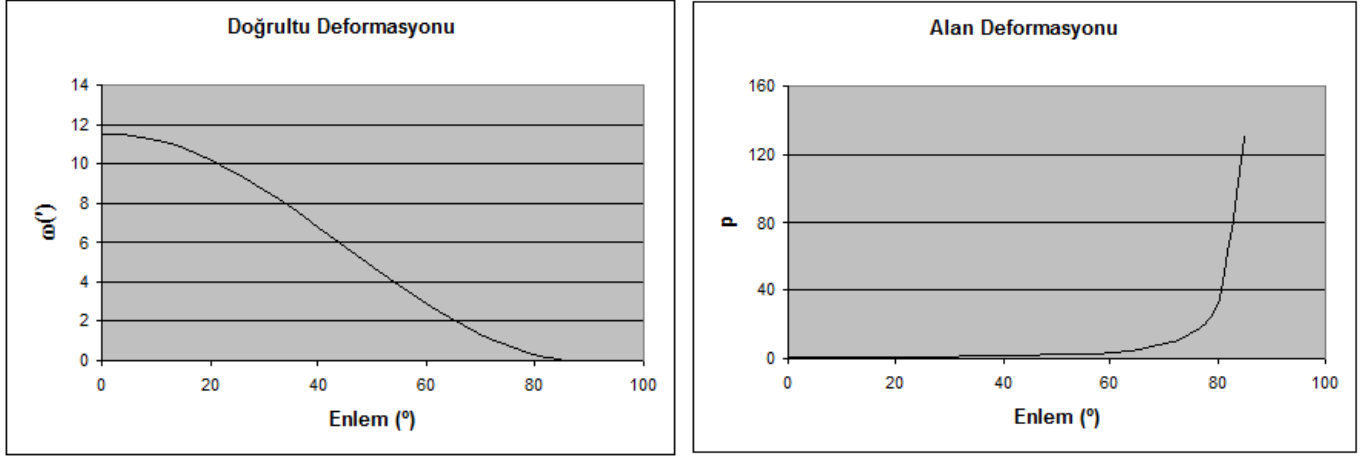
Şekil 3’de alan ve doğrultuların, enleme göre değişimi grafik olarak gösterilmiştir. Doğrultu deformasyonu değerleri derece dakikası seviyesinde olduğundan projeksiyonda açı deformasyonu düşük değerlerdedir, görsel olarak Mercator projeksiyonu ile farkı anlaşılabilir değildir.

Çizelge 1. Web Mercator projeksiyonu deformasyon değerleri

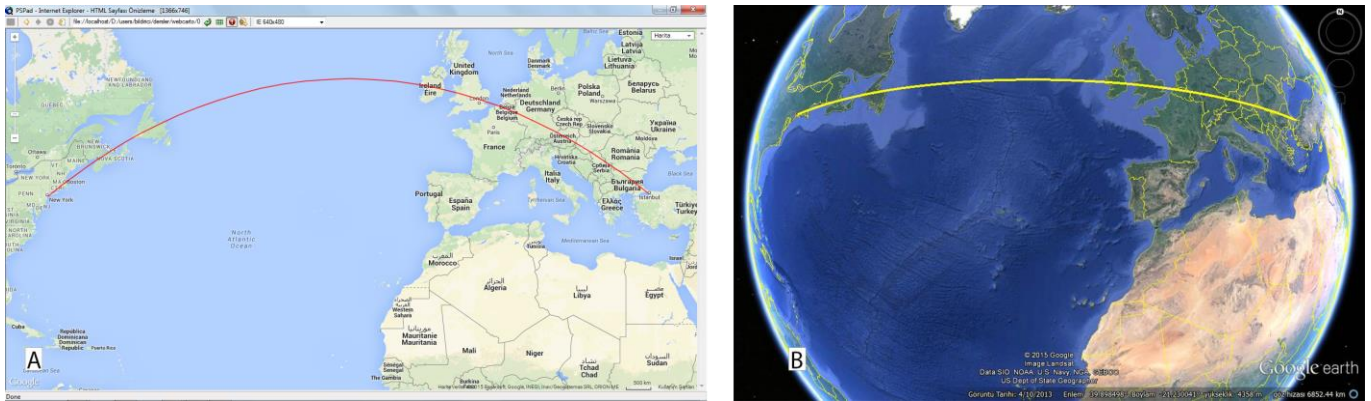
φ°	h	k	p	ω''
0	1.007	1.000	1.007	11.545
5	1.011	1.004	1.014	11.458
10	1.022	1.015	1.038	11.198
15	1.042	1.035	1.078	10.774
20	1.070	1.064	1.138	10.199
25	1.109	1.103	1.223	9.489
30	1.160	1.154	1.338	8.666
35	1.225	1.219	1.494	7.756
40	1.309	1.304	1.706	6.785
45	1.417	1.412	2.000	5.782
50	1.557	1.553	2.417	4.780
55	1.743	1.740	3.033	3.807
60	1.998	1.995	3.987	2.894
65	2.363	2.360	5.575	2.068
70	2.917	2.915	8.505	1.355
75	3.853	3.852	14.842	0.776
80	5.741	5.740	32.955	0.349
85	11.436	11.436	130.778	0.088

Web Mercator projeksiyonunda alan ve uzunluk deformasyonlarının kutuplara doğru hızlı büyümesinin önemli bir etkisi, iki nokta arasındaki en kısa uzaklık olarak tanımlanan ortodrom eğrilerinin çok fazla deforme olmasıdır. Şekil 4(A)’da İstanbul – New York şehirlerini birleştiren ortodrom eğrisi Google Maps sisteminde görülmektedir. Aynı eğrinin Google Earth görünümü de Şekil 4(B)’de yer almaktadır. Google Earth sanal küre görünümünde çalıştığı için en kısa uzaklık, projeksiyon deformasyonu etkisi

altında değildir. Ortalama bir harita kullanıcısının Google Maps’de gördüğü eğrinin en kısa bağlantı eğrisi olduğuna inanması beklenemez. Bu bağlamda bu tür harita servislerinin küre görünümü seçeneği de sağlamaları önemli bir katkı olarak düşünülebilir. Bu seçenek kısa bir süre öncesine kadar Google Earth API ile sağlanmaktaydı. Bu şekilde hazırlanmış sayfalar, küre ve harita görünümleri arasında geçiş yapabilmekteydi. Ancak Google, Google Earth API desteğini durdurmuştur. Küre seçeneği kutup bölgelerinin gösterimi içinde bir çözüm olabilir.



Şekil 3. Doğrultu ve alan deformasyonları



Şekil 4. İstanbul – New York şehirlerini birleştiren ortodrom eğrisi. (A) Google Maps üzerinde (B) Google Earth üzerinde

4. SONUÇ

Bu çalışmada web tabanlı haritalarda sıklıkla kullanılan Web Merkator projeksiyonunun özellikleri detaylandırılmaya çalışılmıştır. Bu projeksiyonun kullanımının bir takım avantajlar sağlamanın yanında sunduğu dezavantajlar da mevcuttur. Bu gibi özelliklerin ortaya konması, günümüzde oldukça kolaylaşan web tabanlı harita üretimi ve dağıtımını işlemlerini gerçekleştiren amatör harita üreticilerinin bilgilendirilmesi açısından önemlidir. Genellikle Web Merkator projeksiyonunun kullanılmasındaki temel avantajlar harita sağlayıcılarının, servislerini istemcilere daha hızlı ulaştırması, daha akıcı uygulamalar ve daha düşük donanım gereklilikleri gibi teknik konulardan kaynaklanmaktadır. Örneğin neredeyse web tabanlı harita servislerinin tamamı, web üzerinde görüntü dosyalarının paylaşımında sıklıkla kullanılan mozaikleme yöntemini kullanmaktadır. Bir mozaik web haritası ya da mozaik görüntü, İnternet üzerinden çağırılan ve birbirlerine aralıksız olarak birleşebilen çok sayıda bireysel görüntü parçasının, web tarayıcısında bir araya gelerek görüntülenmesi mantığı ile çalışmaktadır. Bu da haritanın tamamının istemciye gönderilmesi yerine sadece ekranda görüntülenen bölgenin gönderilmesi ile veri transferini oldukça düşürerek işlemin hızlanmasını sağlamaktadır. Haritaların web üzerinde gösterimi ve harita

üzerinde gezinmek için kullanılan en yaygın yöntemdir. İstemcilerin, harita üzerinde gezinirken hangi mozaik parçalarının yükleneceğine, bu mozaik parçalarının numaralandırılmaları ile karar verilmektedir. Her bir mozaik parçasının ekranın görülebilir alanında bulunup bulunmadığı gibi hesaplamalar, kullanıcılar haritalar ile etkileşim halindeyken yüklenmeli ve kesintisiz görüntü hissi oluşturulmalıdır. Merkator projeksiyonunun değiştirilmiş bir şekli olan Web Merkator projeksiyonu, ilk olarak, küresel model kullandığı için web tabanlı haritalarda, bu gibi hesaplamaları oldukça kolaylaştırmaktadır. Haritanın kesintisiz kaydırma, yakınlaştırma işlemleri için hızlı hesaplamalar gerçekleştirilebilmektedir. Aynı zamanda silindirik bir projeksiyon olmasından dolayı kuzey doğrultusu, harita üzerinde zoom ya da gezinti yaparken her seferinde aynı doğrultuda kalmaktadır. Bu da projeksiyonla ilgili hesaplamaları önemli ölçüde kısaltmaktadır. Bununla birlikte, normal konumlu silindirik projeksiyonların doğası gereği kutup bölgelerine yaklaştıkça hızla artan deformasyonlara sebep olmaktadır. Hem bu nedenle hem de mozaik sistemin gereksinimlerinden dolayı, haritalanabilir alanlar yaklaşık 85° kuzey ve güney enlemleri ile sınırlanmaktadır. Kutup bölgeleri haritada gösterilemezken kutup bölgeleri yakınlarında büyük alan bozulmalarına sebep olmaktadır. Örneğin Alaska kendi yüz ölçümünün yaklaşık 6 katı büyüklükte gösterilmektedir.

Web harita servislerinin gelecekte farklı projeksiyon seçenekleri sunup sunmayacağı bilinmezken, günümüzde bu servisleri kullanarak kendi özel web sitesi ya da web sayfasında özel amaçlı haritalar oluşturmak ya da harita tabanlı uygulamalar geliştirmek isteyen kullanıcıların, oluşturdukları haritanın özelliklerini bilmesi önemlidir. Bu çalışmada bu konuya dikkat çekilmek istenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Battersby, S.E., Finn, M.P., Usery, E.L. and Yamamoto, K.H., (2014). Implications of web Mercator and its use in online mapping. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 49(2), 85-101.
2. McPherson, S.S. (2009). *Tim Berners-Lee: Inventor of the World Wide Web*. Twenty-First Century Books.
3. Putz, S. (1994). Interactive information services using World-Wide Web hypertext. *Computer Networks and ISDN Systems*, 27(2), 273-280.
4. Peterson, M.P. (2012). Online mapping with APIs. In: *Online Maps with APIs and WebServices*. Chapter 1, 3-12. Springer Berlin Heidelberg.
5. Monmonier, M. (2010). *Rhumb lines and map wars: A social history of the Mercator projection*. University of Chicago Press, 5-6.
6. Yang, Q., Snyder, J. and Tobler, W. (1999). *Map projection transformation: principles and applications*. CRC Press, 1-2.
7. Snyder, J.P. (1987). *Map projections-A working manual* (Vol. 1395). US Government Printing Office, 20-26.
8. Aitchison, A. (2011). *The Google Maps/Bing Maps Spherical Mercator Projection*. <http://alastaira.wordpress.com/2011/01/23/the-google-maps-bing-maps-spherical-mercator-projection/>(erişim 20 Mayıs 2016).
9. OpenLayers (2016) *What is Spherical Mercator*. http://docs.openlayers.org/library/spherical_mercator.html

EK A: DÖNEL ELİPSOİT PARAMETRELERİ

Ekvator yarıçapı	a
Kutup yarıçapı	b
Basıklık	$f = \frac{a-b}{a}$
Birinci dış merkezlik	$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$
Meridyen eğrilik yarıçapı	$M = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}}$
Meridyene dik eğrilik yarıçapı	$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}}$